

ISSN 1673-4440  
CN 11-5423/U

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

# 铁路通信信号工程技术

*Railway Signalling & Communication Engineering*

中国铁道学会通信信号分会指定期刊  
2023. **10** 第20卷 总第154期

主办单位: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

SHARED VISION FOR  
A BETTER WORLD

美好世界的  
共同愿景

WORLD STANDARDS DAY  
世界标准日 14 OCTOBER 2023



公益广告

# 铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

## 主管单位 Administrated by:

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

## 主办单位 Sponsored by:

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

## 主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

## 执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

## 编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

## 责任编辑 Editor in Charge:

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

## 网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

## 英文编辑 English Editor:

刘旸 Liu Yang

## 编辑出版 Edited and Published by:

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

## 地址 Address

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

邮编: 100070 Postcode: 100070

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

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

## 编辑电话 Edition Tel:

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

## 广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

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

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

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

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

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

## 广告代理 Advertising Agency:

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

## 印刷 Printed by:

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

## 广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

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



月刊 Monthly

第20卷第10期总第154期 Vol.20 No.10 S.No.154

出版: 2023年10月25日 Published on: 10/25/2023

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

基于实时参数化数据的应答器报文智能管理系统 .....	徐华沙, 劳炼业	1-5
200C型车载设备常见掉码故障分析 .....	马云鹏, 贺广宇, 罗飞豹, 牛勤, 吉志军	6-12
信号集中监测系统采集设备安装探讨 .....	周单路, 潘圣浩, 王一波	13-17
车载接口仿真系统实现 .....	谢再盛	18-21

### 通信及信息技术

苏州北铁路枢纽GSM-R系统网络规划的研究 .....	刘盛尧, 费跃, 胡金涛	22-29
列控系统车-地无线通信协议测试研究 .....	展鑫, 孙颖	30-36
基于5G NR的车联网在铁路智慧工地车辆管理的研究与应用 .....	杨刚	37-42
MSTP+VRRP在编组站中的设计与实现 .....	张峻赫	43-47
基于AOP的动态数据翻译框架 .....	张舒	48-51

## 城轨交通

城市轨道交通全自动运行系统工程设计联络要点分析 .....	曹启滨, 高伯翰	52-56
城市轨道交通智慧安检发展趋势 .....	付保明, 梁君, 张宁, 朱铭, 宋晓	57-62
自动化测试在城轨联锁产品测试中的应用 .....	王军贤	63-69
城市轨道交通车站智慧客服系统的研究与实践 .....	徐晔, 徐钟全	70-74
基于城轨车辆升级扩容的信号系统方案研究 .....	汪沛	75-79
城市轨道交通信号系统分段式改造方案 .....	李洁, 辛鑫	80-85

## 技术交流

RBC设备常见无线连接超时原因分析 .....	夏朋亮	86-91
高铁有砟线路信号设备运用十年的现状及维护探讨 .....	何华海, 谢伟金	92-96
机车信号异常信息处置及研究 .....	徐伟朝	97-101
单机运行引起轨道电路之间不匹配的研究 .....	曾峰	102-105

## 国外项目

英国轨道交通大数据规划与开放共享的启示 .....	王雨, 刘军, 周灿伟, 李慧	106-110
------------------------------	-----------------	---------

## 国外信息

波兰签署未来铁路移动通信系统测试协议(29) 第3届欧盟铁路局-欧盟网络安全局铁路网络安全会议即将召开(91) 转辙机预测性维护伙伴关系(105)		
---	--	--

## 广告索引

.....		21
-------	--	----

## CONTENTS

### Technological Innovation

#### Signalling Technology

Intelligent Management System of Balise Telegram Based on Real-time Parameterized Data .....	Xu Huasha, Lao Shuoeye	1-5
Analysis of Typical Code Missing Cases of 200C Onboard Train Control Equipment .....	Ma Yunpeng, He Guangyu, Luo Feibao, Niu Qin, Ji Zhijun	6-12
Discussion on Installation Method of Acquisition Equipment in Centralized Signal Monitoring System .....	Zhou Danlu, Pan Shenghao, Wang Yibo	13-17
Implementation of Vehicle Interface Simulation System .....	Xie Zaisheng	18-21

#### Communication & Information Technologies

Research on GSM-R System Network Planning of Suzhou North Railway Junction .....	Liu Shengyao, Fei Yue, Hu Jintao	22-29
Research on Testing and Implementation of Radio Communication Protocol for High-speed Railway .....	Zhan Xin, Sun Ying	30-36
Research and Application of 5G NR V2N in Vehicle Management of Railway Intelligent Construction Site .....	Yang Gang	37-42
Design and Implementation of MSTP+VRRP Technology in Marshaling Yard .....	Zhang Junhe	43-47
Translation Framework of Dynamic Data Based on AOP .....	Zhang Shu	48-51

### Urban Rail Transit

Analysis of Key Points for Engineering Design Liaison of Fully Automatic Operation System for Urban Rail Transit .....	Cao Qibin, Gao Bohan	52-56
Development Trend of Intelligent Security Check in Urban Rail Transit .....	Fu Baoming, Liang Jun, Zhang Ning, Zhu Ming, Song Xiao	57-62
Application of Automatic Testing in Interlocking Product Test for Urban Rail Transit .....	Wang Junxian	63-69
Research and Application of Smart Customer Service System for Urban Rail Transit .....	Xu Ye, Xu Zhongquan	70-74
Research on Signaling System Scheme Based on Vehicle Upgrading and Capacity Expansion of Urban Rail Transit .....	Wang Pei	75-79
Phased Retrofitting Scheme for Signaling System for Urban Rail Transit .....	Li Jie, Xin Xin	80-85

### Technological Exchange

Cause Analysis of Common Wireless Connection Timeout Faults of RBC Equipment .....	Xia Pengliang	86-91
Discussion on Current Situation and Maintenance of Signaling Equipment Used for Ten Years on Ballasted Tracks of High Speed Railways.....	He Huahai, Xie Weijin	92-96
Handling and Research on Abnormal Information of Cab Signal System .....	Xu Weichao	97-101
Research on Mismatch between Track Circuits Caused by Single-locomotive Train Operation .....	Zeng Feng	102-105

### Projects Abroad

Inspirations from Big Data Planning and Open Sharing of Rail Transport in United Kingdom .....	Wang Yu, Liu Jun, Zhou Canwei, Li Hui	106-110
---	---------------------------------------	---------

### Advertiser Index

.....		21
-------	--	----

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.10.001

# 基于实时参数化数据的应答器报文 智能管理系统

徐华沙<sup>1</sup>, 劳烁业<sup>2</sup>

(1. 中国国家铁路集团有限公司成都安全监督管理特派员办事处, 成都 600081;

2. 中国铁路南宁局集团有限公司, 南宁 530003)

**摘要:** 为提升目前应答器设备配套使用的维护手段, 改进应答器报文系统管理的以人工操作为主的方法, 不断提高管理效率, 对应答器报文管理工作进行研究, 简要说明应答器报文管理系统的主要功能和作用; 分析应答器报文管理系统的总体需求, 提出总体设计方案, 并详细阐述应答器报文管理系统的网络结构设计和功能模块划分; 描述实现该软件的相关技术和具体的数据结构、模块功能、操作界面等内容。通过设计基于实时参数化数据的应答器报文智能管理系统, 实现以铁路局统一管理, 各级电务人员在“云-边”协同架构下进行应答器报文动态运用管理的全流程应答器报文安全管理体系, 为高速铁路列车安全运行提供可靠保证。

**关键词:** 高速铁路; 应答器报文; 参数化数据; 报文管理

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0001-05

## Intelligent Management System of Balise Telegram Based on Real-time Parameterized Data

Xu Huasha<sup>1</sup>, Lao Shuoye<sup>2</sup>

(1. Chengdu Safety Supervision Special Office, China State Railway Group Co., Ltd., Chengdu 610081, China)

(2. China Railway Nanning Group Co., Ltd, Nanning 530003, China)

**Abstract:** There is a need to upgrade the maintenance measures associated with balise equipment, by improving the management method of balise telegrams dominated by manual operation, to continuously enhance management efficiency. To this end, this paper studies the management of balise telegrams. It briefly describes the main functions and roles of the balise telegram management system. Then, it analyzes the overall requirements for the balise telegram management system, proposes an overall design scheme, and elaborates on the network structure design and functional module partition of the balise telegram management system. Moreover, it describes such issues as the relevant technologies and specific data structures, module functions and operation interfaces to

收稿日期: 2023-03-07; 修回日期: 2023-10-10

第一作者: 徐华沙(1979—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路电务安全, 邮箱: 1144714674@qq.com。

implement the software. Thanks to the intelligent management system of balise telegram based on real-time parameterized data, a whole-process safety management system of balise telegram has been established, with the railway bureau performing the integrated management, and the signaling personnel at all levels performing the dynamic management of the balise telegrams under the "cloud-edge" collaboration framework, to provide reliable guarantee for the safe train operation of high-speed railways.

**Keywords:** high-speed railway; balise telegram; parameterized data; telegram management

## 1 概述

应答器报文智能管理系统的核心是以铁路信号列控系统关键数据为基础，以列控应答器报文全流程管理为理念，以 workflow、智能化报表、图形化管理、数据分析管理等关键技术为工具，基于网络技术，铁路局负责统一管理，电务人员进行应答器报文动态运用管理的系统软件。该软件基于铁路参数化数据平台软件进行开发，共享列控数据平台数据库。通过读取列控工程数据生成原始数据表来实现报文的生成。可在工程实施、列控运用管理过程中随时查询管内线路应答器数据信息、历史档案信息及列控数据检查检核，保证列控系统关键设备运用安全，协助各级人员提高工程实施和信号设备运用维护效率。

## 2 系统功能

应答器报文管理系统采用“云-边”<sup>[4]</sup>协同架构设置，如图1所示，局级中心设置应答器报文管理云平台，电务段设置业务终端。建设集数字化、智能化为一体的适用于列控系统关键数据的应答器报文管理系统，实现铁路信号关键数据全流程周期的智慧管控。

路局中心：由应用及数据库服务器、路局管理工作站等组成。其中应用及数据库服务器和管理工作站按专业人员权限设置，分别具有应答器报文生成、工程数据校验、列控参数化数据管理、报文查询、报文管理和系统操作管理等工作权限。

电务段客户端：电务段设置应用服务器及业务终端工作站，实现各站段管辖范围内应答器报文学

务管理功能。

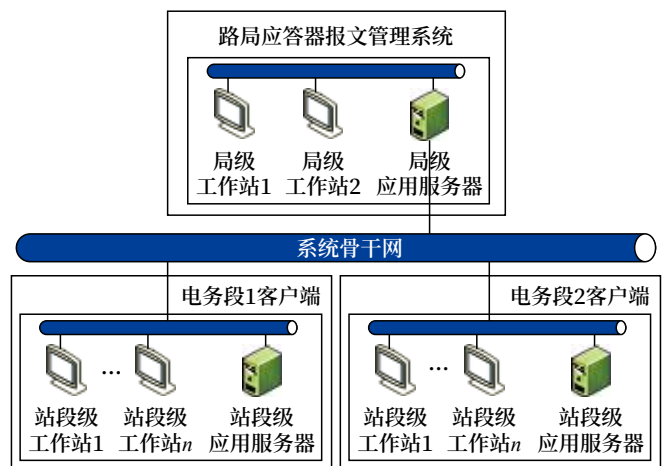


图1 系统架构示意  
Fig.1 System architecture

## 3 应答器报文组成

应答器报文数据由3部分组成：包头信息帧+用户信息包+信息结束标志。

应答器报文整体结构：

- 1) 包头信息帧数据如表1所示；
- 2) 信息结束标识，如表2所示；
- 3) 应答器信息包，为772位，不足772时以1补齐，应答器报文主要包含以下信息包，如表3所示。

以上应答器报文信息包格式及定义详见《列控系统应答器应用原则》(TB/T 3484-2017)。

## 4 系统软件结构

应答器报文智能管理系统基于“云-边”协同BS网络架构，系统设置在路局中心服务器，实现路局应答器报文数据的全流程集中安全管理，电务段

表1 包头信息帧

Tab.1 Information frame of packet header

序号	变量	位数	说明
1	Q_UPDOWN	1	信息传送的方向 (0= 车对地, 1= 地对车) 固定填 1
2	M_VERSION	7	语言 / 代码版本编号 (0010000= V1.0)
3	Q_MEDIA	1	信息传输媒介 (0= 应答器, 1= 环线) 固定填 0
4	N_PIG	3	本应答器在应答器组中的位置 (000=1, 111=8)
5	N_TOTAL	3	应答器组中所包含的应答器数量 (000=1, 111=8)
6	M_DUP	2	本应答器信息与前 / 后应答器信息的关系 (00= 不同, 01= 与后一个相同, 10= 与前一个相同)
7	M_MCOUNT	8	报文计数器 (0 ~ 255)
8	NID_C	10	地区编号 (高 7 位 = 大区编号, 低三位 = 分区编号)
9	NID_BG	14	应答器标识号 (高 6 位 = 车站编号, 低 8 位 = 应答器编号)
10	Q_LINK	1	应答器组的链接关系 (0= 不被链接, 1= 被链接) 固定填 1

注：当应答器为无源应答器时，报文的报文计数器设定为 255；  
当应答器为有源应答器时，报文的报文计数器设定为 252。

表2 结束标识

Tab.2 End identifier

序号	变量	位数	说明
1	-	8	=1111 1111, 表示报文信息帧结束

表3 应答器报文信息包

Fig.3 Information packet of balise telegram

应答器报文信息包														
应答器 链接	线路 坡度	线路 速度	等级 转换 信息	通信 管理 信息	有条件 等级 转换	特殊 区段	文本 信息	里程 信息	轨道 区段	绝对 停车	RBC 切换 命令	调车 危险	目视 行车 危险	默认 报文包
ETCS- 5	ETCS- 21	ETCS- 27	ETCS- 41	ETCS- 42	ETCS- 46	ETCS- 68	ETCS- 72	ETCS- 79	CTCS- 1	CTCS- 5	ETCS- 131	ETCS- 132	ETCS- 137	ETCS- 254

包含的数据包由 config.xlsx 文件配置。

应答器报文生成流程如图 3 所示。

应答器报文生成通过配置模块、原始数据读取模块、报文生成模块和报文输出模块流水线作业实现了通过列控参数化数据实时生产应答器报文。配置模块和原始数据模块的数据作为报文编译模块的

设置应用服务器负责管内应答器报文的备份和管理，业务终端通过服务器进行访问和管理。系统主要由参数数据导入模块、配置模块、原始数据读取模块、报文生成模块、报文编译模块、超长报文合并模块、日志输出模块和数据校验模块、报文查询模块、报文校验模块及业务管理模块等组成。

#### 4.1 参数数据导入模块

参数数据导入模块主要实现列控参数数据的管理、导入及查询功能，并将站台侧信息表导入到数据库中，供应答器报文编译生成 [ETCS-72] 包时使用。

#### 4.2 配置模块

应答器信息包配置模块在 config.xlsx 文件中配置信息包，该文件如表 4 所示。第一列是应答器的应用类型，行是信息包，在表格中第 3 行（应答器 Q）对应的第 3 列填 1 表示 Q 类型应答器有正向 [ETCS-5] 信息包。

#### 4.3 原始数据读取模块

应答器报文需要读取到内存的原始数据如表 5 所示。读取后的数据存储到数据结构中。以下是定义的存储结构，如图 2 所示。

#### 4.4 报文生成模块

报文生成模块是将原始数据组合生成报文的过程。应答器的报文是各种信息包的组合，根据应答器应用类型不同，会有不同的信息包组合，应答器

输入，经报文生成子模块计算后将报文传递给报文输出子模块，由报文输出模块实现应答器报文数据输出与存储。

报文生成模块是对全部应答器的报文进行参数化计算和生产的过程。按应答器组进行计算。

表4 应答器报文信息包配置示意  
Tab. 4 Packet configuration of balise telegram

应答器类型	空包头	无源																
		ETCS-5		ETCS-21		ETCS-27		ETCS-68		ETCS-72		ETCS-79		ETCS-46		ETCS-132		
		正向	反向	正向	反向	正向	反向	正向	反向	正向	反向	双向	正向	反向	正向	反向	正向	反向
Q		1	1	1		1		1				1						
FQ		1	1					1		1								
JZ				1	1		1		1			1						1
FJZ				1	1	1		1				1					1	
CZ				1							1							
FCZ					1					1								
ZJ1		1	1		1		1		1									
ZJ2		1	1	1		1		1				1						
DW		1	1							1	1							
CZ-C0				1		1		1										
FCZ-C0					1		1		1									
YG0-2		1	1	1		1												
FYG0-2		1	1		1		1											
ZX0-2		1	1									1						
FZX0-2		1	1									1						
YG2-0		1	1		1		1											
FYG2-0		1	1		1		1											
ZX2-0		1	1															

表5 原始数据表类型  
Fig.5 Original data table type

原始数据读取							
应答器位置表	信号数据表	线路坡度表	线路速度表	分相区信息表	长短链信息表	站台侧信息表	RBC信息表

#### 4.5 超长报文处理模块

报文超长先合并 [ETCS-21] 包，再合并 [CTCS-1] 包；当 [ETCS-21] 包合并后满足位数要求时，不再合并 [CTCS-1] 包，当合并了 [ETCS-21] 和 [CTCS-1] 包后仍然超长时，在日志中提示错误。

#### 4.6 报文编码模块

应答器报文编码模块负责将生成的报文按照标准格式生成二进制文件或文本数据文件，兼容和主流型号的应答器报文格式。

#### 4.7 日志输出模块

日志输出模块主要实现记录应答器报文生产记录、所有应答器编号、目前该条报文位数和该条报文允许最大位数、报文超过最大容量的应答器编号、应答器校验结果和操作日志等信息。

#### 4.8 数据校验模块

应答器报文数据校核模块实现单一应答器、车

站、线路等应答器报文数据的校验检查功能。

## 5 系统界面

应答器报文智能管理系统界面如图 4 所示。

系统界面分为登录界面、操作界面和日志区，通过登录界面实现人员权限管理，操作界面是软件的操作区，日志区是显示软件执行过程中的过程日志、警告日志和错误日志的区域。

### 5.1 报文数据编码

应答器报文数据生成后，通过“应答器报文编码”操作自动进行编码，日志区显示编码进度。

编码会生成 830 位的 dat 和 txt 文件、1 023 位 dat 文件，分别进行存储，如图 5 所示。

在编码的过程中会在 Log 文件夹下输出 bitlog.txt、log.txt、packlog.txt 文件。

1) bitlog.txt 文件记录所有应答器编号、目前该条报文位数和该条报文允许最大位数。

2) log.txt 文件记录报文超过最大容量的应答器编号、目前该条报文位数和该条报文允许最大位数。

3) packlog.txt 文件记录应答器编号、目前该条报文位数、站外描述区段数量、工具已删除区段数量。



```

class CInputData
{
public:
    → CInputData(void);
    → ~CInputData(void);
    → vector<BalisePlace> v_BalisePlace_InLine; //4个线的应答器数据。因为链接
    需要描述区间，区间可能是下一个站
    → map<int, vector<SigSection>> Dir_SigSection_Zx; //信号数据表,正向的
    → map<int, vector<SigSection>> Dir_SigSection_Fx; //信号数据表,反向的
    ... vector<LongShortChain> v_LongShortChain; //长短链
    → map<int, vector<LineSpeed>> Dir_LineSpeed_Zx; //正向线路速度
    → map<int, vector<LineSpeed>> Dir_LineSpeed_Fx; //反向线路速度
    → map<int, vector<Neutral>> Dir_Neutral; //运行方向上的分相区
    → map<int, vector<LINEGRADE>> Dir_LineGrade; //线路坡度表
    → vector<FlagTrend> v_FlagTrends; //公里标系趋势, int:存放运行方向编号
    → multimap<int, FlagConvert> v_FlagConverts; //int:为运行方向编号,一个运行方
    向上有多个里程转换
    vector<PLATFORM> v_Platform; //站台侧信息
    → vector<RBCInfo> v_rbcInfo; //RBC 信息
    → std::map<int, vector<int>> map_Passive_Packet; //无源应答器类型和数据包的
    对应关系
    → std::map<int, vector<int>> map_Active_Packet; //有源应答器类型和数据包的
    对应关系
    → /*生成的报文数据*/
    → vector<TelegramData> v_TelegramData;
};
    
```

图2 定义的存储结构  
Fig.2 Defined storage structure

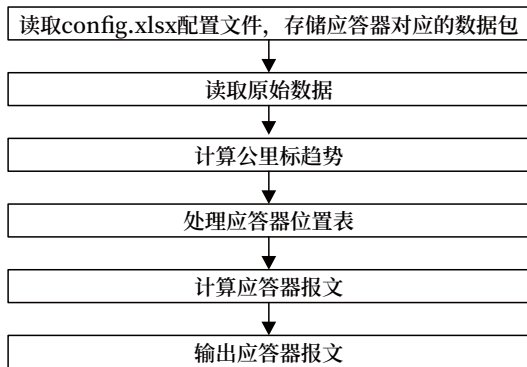


图3 应答器报文生成流程示意  
Fig.3 Generation process of balise telegram

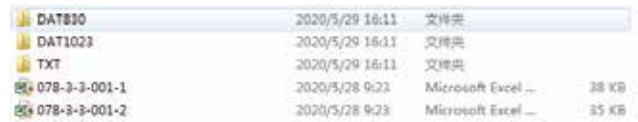


图5 应答器报文编码示意  
Fig.5 Encoding of balise telegram

文信息，并对应答器报文进行解析，便于应答器报文的查询和管理。

5.3 应答器报文数据校核

通过应答器报文数据校核<sup>[9]</sup>模块可根据需要选择车站、线路对应答器报文进行报文信息、版本的校验和比较。

支持全路各厂家型号的应答器报文格式。可逐个应答器进行校核，也可按车站、线路进行批量校核。

校核结果通过直观界面显示一致性、差异数据通过红色进行标注，同时可进行报文数据的版本管理。

6 总结

通过基于实时参数化数据的应答器报文智能管

(下转 36页)



图4 应答器报文智能管理系统界面示意  
Fig.4 Interface of intelligent management system of balise telegram

5.2 报文数据查看

通过业务终端界面可随时调阅管内各应答器报

# 200C型车载设备常见掉码故障分析

马云鹏<sup>1</sup>, 贺广宇<sup>1</sup>, 罗飞豹<sup>2</sup>, 牛勤<sup>2</sup>, 吉志军<sup>2</sup>

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司, 北京 100081;

2. 北京华铁信息技术有限公司, 北京 100081)

**摘要:** 机车信号作为行车的安全凭证, 在采用 CTCS-2 级列控系统的高速铁路中影响着列车制动曲线生成和超速防护, 是列车高速运行的重要保障。就机车信号掉码故障中常见的掉码现象进行分析, 结合车载设备软件逻辑处理过程, 对其进行研究总结, 归纳典型故障的现场运用情况, 并提出相应解决方法。

**关键词:** CTCS-2 级系统; 列控车载设备; 车载逻辑; 掉码制动

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0006-07

## Analysis of Typical Code Missing Cases of 200C Onboard Train Control Equipment

Ma Yunpeng<sup>1</sup>, He Guangyu<sup>1</sup>, Luo Feibao<sup>2</sup>, Niu Qin<sup>2</sup>, Ji Zhijun<sup>2</sup>

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

(2. Beijing Huatie Information Technology Co., Ltd., Beijing 100081, China)

**Abstract:** In the high-speed railways equipped with CTCS-2 train control system, the cab signals serve as the running token, and affect train braking curve generation and over-speed protection, thus providing important guarantee for high-speed train operation. This paper analyzes several typical code missing cases of the cab signal system, and studies the software logic processing process of the onboard equipment. On this basis, it summarizes the on-site operation situation of typical fault cases and proposes the corresponding treatment measures.

**Keywords:** CTCS-2 system; onboard train control equipment; onboard equipment logic; braking application after code missing

在现场的实际运用过程中, 200C 型车载设备掉码的情况可由多种原因导致, 本文从 ATP 软件处理

逻辑层面, 对运用过程中出现的掉码故障进行分析总结, 研究不同场景下的故障分析方法和解决思路, 为列控车载设备故障分析和电务人员维护管理提供优化方案, 提高设备运用维护质量。本文研究列控车载设备处理逻辑层面上的掉码故障案例, 不包括因轨道电路读取单元 (TCR) 译码失败等外部因素

收稿日期: 2022-08-09; 修回日期: 2023-08-10

第一作者: 马云鹏 (1994—), 男, 助理研究员, 硕士, 主要研究方向: 列控系统车载设备实现及优化, 邮箱: 2252181758@qq.com。

影响的掉码情况。

## 1 机车信号掉码分析

随着车载机车信号成为主体信号，高速动车组列车通过 ATP 车载设备生成的动态速度曲线来实现安全控车。机车信号对于监控曲线的生成具有很大影响，根据《机车信号信息定义及分配》(TB/T 3060-2016) 文中的规定，在 CTCS-2/CTCS-3 级 (简称 C2/C3) 区段下，机车信号与列车前方空闲闭塞分区数量有着一一对应的关系<sup>[1]</sup>。落实到车载设备的软件具体实现中，在不同控车模式下对机车信号的处理也给予了更加细致的设计。

车载设备收到非预期信号掉码的原因分为两种：一类是地面设备本身原因导致，随着电码化技术的广泛推进，因轨道电路本身发码导致的掉码已不常见；另一类是地面特殊设计与车载处理逻辑不适应导致的，由于车载设备处理异常导致的掉码故障。

掉码情况通常是在本应正常解码的区段，车载 DMI 界面显示白灯。ATP 可根据运行模式和运行场景控制轨道电路信息接收单元进行锁频及载频切换。上电启动后，司机通过 DMI 手动选择和切换上/下行载频，此时主控单元根据司机的选择控制轨道电路信息接收单元进行上/下行载频锁定。主控单元工作在 FS 模式下，根据应答器描述的地面轨道电路载频信息控制轨道电路信息接收单元根据应答器信息锁定上/下行载频。同时对轨道电路信息接收单元接收到的轨道电路信息进行载频核对，若轨道电路信息接收单元接收到的轨道电路载频与应答器描述的载频不一致，系统将采取安全措施。列控车载设备处理机车信号的数据流程如图 1 所示。

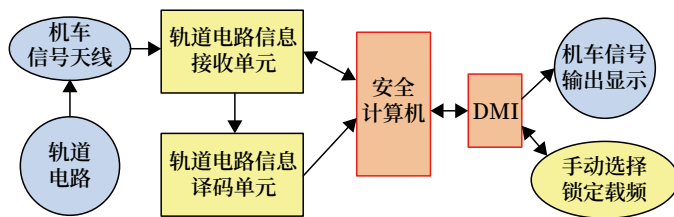


图1 列控车载设备处理机车信号的数据流程

Fig.1 Data flow of cab signal processing of onboard train control equipment

## 2 车载设备的异常处理

### 2.1 在较短的轨道区段内连续处理两次载频切换

吴忠站既与银中高铁接轨，又与西银客专正线接轨。由银川经吴忠至中卫南方向为下行方向，由银川经吴忠至西安方向为上行方向，因此西银客专接/发列车需在吴忠站进行上/下行行别转换。正常接/发列车进路存在一次上/下行载频切换，但 1G~VIG 向 SF 口西安北方面接/发列车进路中，存在短时间内两次上/下行载频切换的特殊场景。车站开放的进路如图 2 所示。

2020 年 11 月 21 日，兰州局配属装备 CTCS-200C 车载设备的 CRH5G 型动车组，吴忠站发车后在 K542+591~K542+567 位置，列车 C2 完全监控模式下以 70 km/h 左右的速度执行跨线作业时，机车信号显示 L5 的情况下，短时掉码触发最大常用制动，大约 2 s 后正常收码，随后自动缓解制动。列车在侧线股道发车后，车载设备根据出站应答器组中的 [CTCS-1] 包描述前方轨道区段载频分别为 2 000 Hz、2 300 Hz 和 2 000 Hz，长度分别为 129 m、177 m 和 745 m。列车触发制动故障位置在 2 300 Hz 的轨道区段。

车载设备会周期性的根据列车当前位置和应

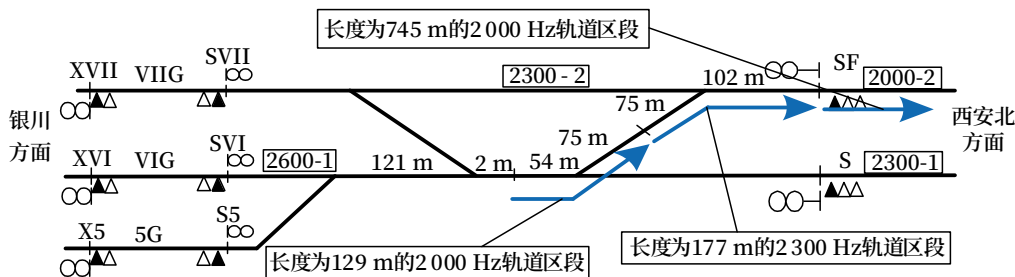


图2 列车进路示意

Fig.2 Train route

答器组中的 [CTCS-1] 包轨道区段信息来更新锁频命令和列车所在当前轨道区段，其中锁频命令被发送至轨道电路接收单元，TCR 根据锁频命令锁定上行 (2 000 Hz/ 2 600 Hz) 或下行 (1 700 Hz/ 2 300 Hz) 载频解析轨道电路信号。

ATP 发送锁频命令的更新逻辑：ATP 根据当前轨道区段载频发送锁频命令，或当列车最小安全前端越过当前轨道区段终点时，根据下一个轨道区段载频发送锁频命令<sup>[2]</sup>。

ATP 更新列车所在当前轨道区段逻辑如下。

满足以下两个逻辑之一即判定进入下一个轨道区段：

1) 逻辑 1：当列车最小安全前端越过当前轨道区段终点+ 50 m 时，列车所在当前轨道区段更新为下一个轨道区段；

2) 逻辑 2：当 ATP 接收到下一个轨道区段载

频并且下一个轨道区段进入更新窗口，列车所在当前轨道区段更新为下一个轨道区段。

而判定下一个轨道区段进入更新窗口需同时满足以下两个条件：

1) 轨道区段更新窗口最大值和最小值至少一个大于轨道电路起点；

2) 轨道区段更新窗口最大值和最小值至少一个小于轨道电路终点。

轨道区段更新窗口最小值取值为：列车位置—最小测距误差—轨道电路传感器天线到车头距离—100 m。

轨道区段更新窗口最大值取值为：列车位置+最大测距误差—轨道电路传感器天线到车头距离+100 m。

如图 3 所示，通过分析车载设备控车数据信息包，可发现以下情况。

时间	日期	车次	设备名称	设备类型	设备地址	设备ID	设备名称	设备类型	设备地址	设备ID	设备名称	设备类型	设备地址	设备ID	设备名称	设备类型	设备地址	设备ID	设备名称	设备类型	设备地址	设备ID		
2020-11-21 15:32:01	15.31.41	38718380	ATP	ATP	ES	1.110	79.026	2.1	00	0	1.174	0	0	1.197	3.674	LS	2000	0	0	0	0	0	0	0
2020-11-21 15:32:04	15.32.04	38718380	ATP	ATP	ES	1.288	78.836	2.1	80	0	1.488	0	0	1.318	3.486	LS	2000	0	0	0	0	0	0	0
2020-11-21 15:32:05	15.32.05	38718380	ATP	ATP	ES	1.110	79.026	2.1	00	0	1.174	0	0	1.197	3.674	LS	2000	0	0	0	0	0	0	0
2020-11-21 15:32:10	15.32.10	38718373	ATP	ATP	ES	1.667	542.884	2.1	80	0	4.821	0	0	1.138	1.821	LS	2000	0	0	0	0	0	0	0
2020-11-21 15:32:17	15.32.17	38718382	ATP	ATP	ES	2.010	342.021	2.1	00	0	4.778	0	0	3.292	4.778	LS	2000	0	0	0	0	0	0	0
2020-11-21 15:32:18	15.32.18	38718382	ATP	ATP	ES	2.018	542.729	2.1	80	0	4.776	0	0	3.292	1.776	LS	2000	0	0	0	0	0	0	0

图3 车载数据分析软件中的控车信息包

Fig.3 Train control information packet in onboard data analysis software

15:32:15，当 ATP 处于 36 746 605 周期时，判断出列车最小安全前端位置大于 2 300 Hz 轨道区段起点，满足锁频命令更新逻辑，ATP 向 TCR 发送的锁频命令由上行切换为下行，如图 4 (a) 所示。

在 15:32:17，当 ATP 周期为 36 746 621 时，列车最小安全前端进入 2 300 Hz 轨道区段+ 50 m，满足前文提到的列车所在当前轨道区段更新逻辑 1，可安全确定出列车已进入 177 m 的 2 300 Hz 区段，但是当前接收的载频尚未更新，仍保持在 2 000 Hz，如图 4 (b) 所示。

因为 ATP 进行轨道区段更新存在逻辑 2，由于 ATP 处于 2 300 Hz 区段并且本周期 ATP 收到的载频信息为 2 000 Hz，所以满足此轨道区段更

新逻辑，更新列车当前所处的轨道区段为 745 m 的 2 000 Hz 区段，向 TCR 发送的锁频命令由下行切换为上行，如图 4 (c) 所示。

由于列车正处于 177 m 的 2 300 Hz 轨道区段，轨道电路接收单元收到的载频命令为上行，但收到的轨道电路信号载频为 2 300 Hz，导致列车触发掉码制动。

综上所述，此次掉码制动的原因是 200C 车载逻辑和过短的 177 m 连续上、下行切换的轨道区段设置不匹配造成的。轨道区段的更新窗口相对于较短的轨道区段来说，显得偏大，致使更新窗口已经越过了短轨道区段，ATP 判断列车已然进入 745 m 的下一轨道区段，造成车载设备错误发送载频锁定

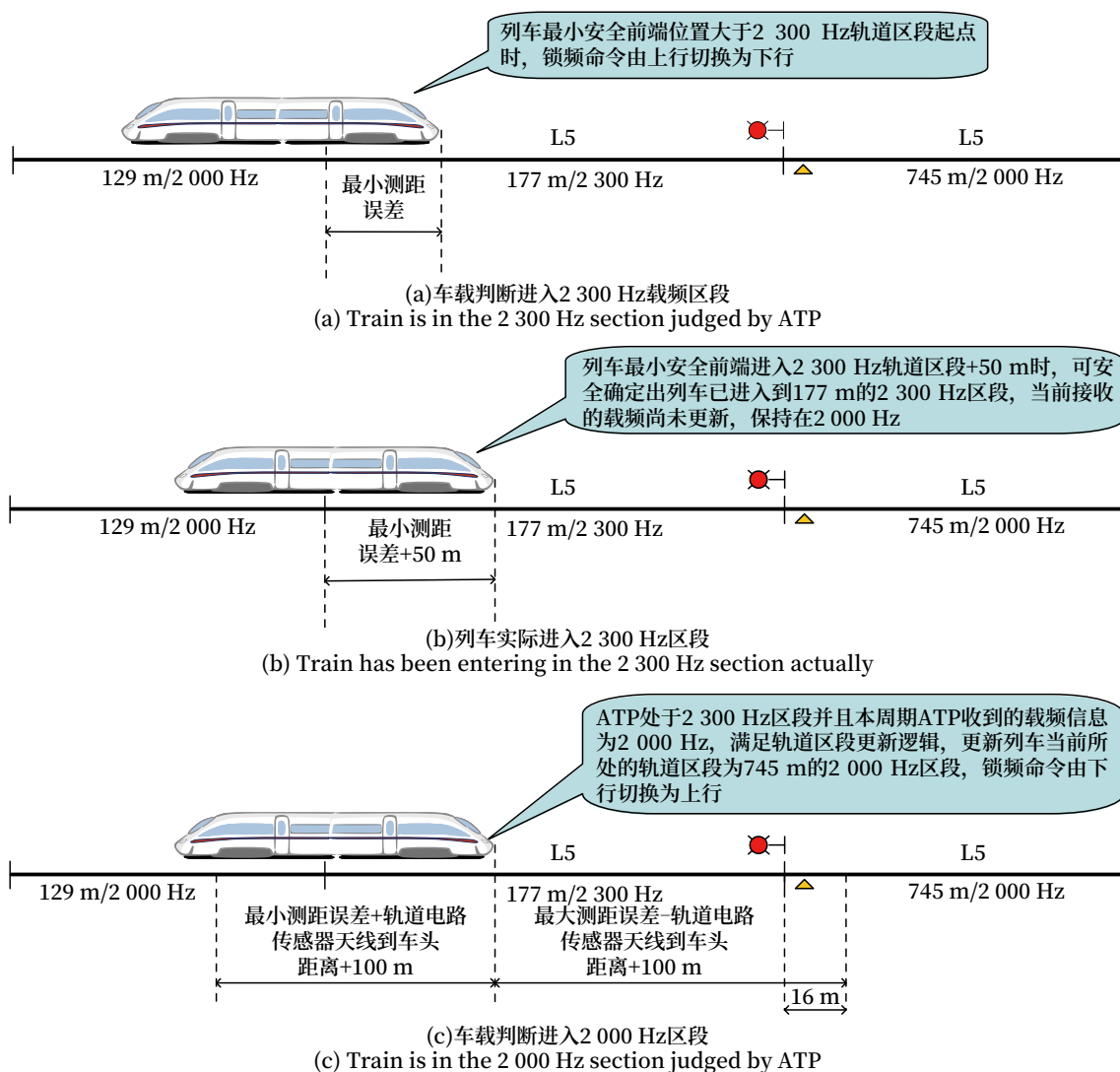


图4 轨道区段窗口判断过程

Fig.4 Judgmental process on track section window

信息，导致列车在完全模式下触发无码制动。

改进措施：现场最便捷的处理措施是让列车以较低速度通过177 m轨道区段，能够使列车位置不进入轨道区段更新逻辑2中的更新窗口内，确保177 m内收到2 300 Hz解码信息，避免此类故障发生。

长期且有效的解决方法可分两种：一方面，在上/下行载频需要进行切换的区段较少使用短轨道区段，轨道电路长度的设置不应仅仅考虑设计规范中符合要求的最小长度，还需要保证现场的适用性，尤其在具备特殊场景作业的车站。另一方面，轨道区段更新窗口计算公式中的100 m偏移量不在使用

固定数值的误差值计算，根据轨道区段长度调整更新窗口，解决车载逻辑与连续上/下行切换的地面轨道区段设置不匹配触发掉码制动的问题。

## 2.2 低速跨线运行时载频切换条件的判断不够严苛

2019年7月21日，广州局配属装备CTCS-200C车载设备的CRH1A-A型动车组，在车站排列列车进路的出站信号后，列车C2完全模式下在岔区机车信号由HU码变为H码，车载设备转入冒进模式，触发紧急制动停车。

车载数据分析软件中的控车数据包如图5所示，在ATP周期为6 902 295时，列车当前位置为1 072 m，列车根据出站应答器组中的[CTCS-1]轨

道信息包描述可知, 1 700 Hz 轨道区段的起点位置为 1 055 m, 终点位置为 1 165 m。列车速度按照

10.5 km/h 计算, 列车将会在周期 6 902 508 越过本区段终点, 驶入 2 000 Hz 区段。

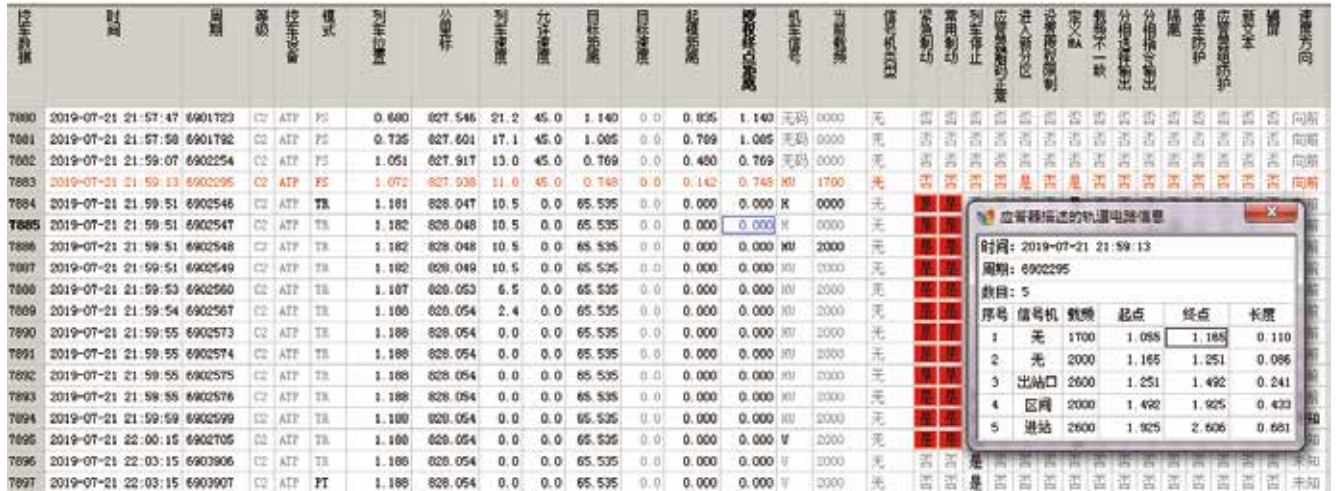


图5 软件中控车数据包  
Fig.5 Train control data packet in software

轨道电路解码数据如图 6 所示, 在 21:59:47 时, 机车信号接收天线已经感应到 2 000 Hz 载频信息, 此时载频命令仍为下行, 在 21:59:49 时, 锁定载频命令切换为上行, 在 21:59:51 轨道电路译码

单元解译输出 2 000 Hz 载频的信息。整个过程为 4 s 左右。掉码原因为上 / 下行载频变换过程中, 列车低速过绝缘节处, 采集到的信号波形不符合译码要求, 出现短暂掉码现象<sup>[3-4]</sup>。

时间	载频	命令	实际	速度	位置	信号	频率	长度	备注
21:59:47	2000	下行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
21:59:49	2000	下行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
21:59:51	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
21:59:53	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
21:59:55	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
21:59:57	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
21:59:59	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:01	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:03	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:05	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:07	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:09	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:11	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:13	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:15	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:17	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:19	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:21	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:23	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:25	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:27	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:29	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	
22:00:31	2000	上行	2000	10.5	1055	无码	0.000	0.000	

图6 轨道电路解码数据  
Fig.6 Decoded data of track circuit

为了优化列车低速跨线运行可能存在的掉码问题, 根据既有逻辑对此类特殊场景下的不适应性, 提出载频切换的优化方案。

允许载频切换的既有逻辑: 当存在下一个轨道区段并且列车最小安全车头位于本轨道区段终点至终点加 50 m 范围内, 允许载频为下一个轨道区段载频; 否则允许载频为本轨道区段载频。

允许载频切换的优化方案: 当存在跨线运行时,

满足列车速度低于 20 km/h 且存在下一个轨道区段并且列车位置大于或等于本轨道区段终点并且列车最小安全车头不大于本轨道区段终点 + 50 m, 允许载频为下一个轨道区段载频; 其他情况处理逻辑维持不变。

优化方案中增加了对于列车低速条件的判断, 以及列车位置是否已经越过本轨道区段终点的判断。相较于之前的处理逻辑来说, 对于列车在完全模式

低速跨线运行场景下，轨道区段分界的判断能做到更加准确，可有效避免此类场景下的掉码制动故障。目前全路设备已完成软件升级。

### 2.3 预期无码区段的掉码制动

2022年2月22日，昆明局配属装备CTCS-200车载设备的CRH2A型动车组，在昆明南动车所入所作业时，列车C2完全模式下在预期无码区段，车载

设备转入冒进模式，触发紧急制动停车<sup>[5-6]</sup>。

列车以C2完全模式在昆明南动车所进行入所作业过程中，根据接收到的应答器组信息中的[CTCS-1]包描述前方轨道区段载频分别为2 300 Hz、0 000 Hz和2 000 Hz，长度分别为682 m、1 025 m和812 m。列车在0 000 Hz区段出现掉码制动现象，如图7所示。



图7 控车相关数据  
Fig.7 Train control related data

ATP主机每周期150 ms运行一次主程序，每周期均会计算最小车头位置和判断无码超时逻辑。在18:42:31，列车接收到应答器组信息，更新轨道区段，默认轨道区段为连续首尾相接，所以将本应答器的起点5 971 m写入本区段终点7 806 m，导致列车当前区段如图8所示。此时定义轨道长度为0，而ATP计算允许速度是以闭塞分区终点7 808 m作为授权终点来倒推模式曲线，非UUS后的无码计算定义轨道长度为0，这种无码情况下不更新模式曲线，对列车允许速度无变化。

为90 m，列车最小车头位置为6 038 m - 90 m = 5 948 m，需满足列车最小车头位置越过轨道区段终点50 m才更新下一轨道区段信息，列车在无码区段不触发制动的条件为：列车位于本区段起点和终点+50 m范围内，即5 971 ~ 6 021 m范围内。此时列车位置6 038 m已超出当前判定范围，触发无码超时制动。

发生上述故障的原因是由于测速测距误差较大导致轨道区段更新出现异常，触发无码超时制动。针对此类问题的解决方法：一方面优化测速测距模块的测速精度；另一方面是提升软件的鲁棒性，在测速测距单元传输来的数据出现明显异常的前提下，适当调整轨道区段更新参数，增加对此类特殊场景下的逻辑判定条件，对实际控制列车运行更具适用性<sup>[7]</sup>。

时间：2022-02-22 18:42:32					
周期：22785838					
数目：3					
序号	信号机	载频	起点	终点	长度
1	出站	0000	5.971	5.971	0.000
2	无	0000	5.971	6.996	1.025
3	出站	2000	6.996	7.808	0.812
4	无	0000	0.000	0.000	0.000
5	无	0000	0.000	0.000	0.000

图8 轨道电路信息描述  
Fig.8 Description information of track circuit

在18:42:39时，列车位置6 038 m，最小误差

### 3 结束语

本文主要针对列车在C2等级完全模式下的掉码进行分析，重点讨论了现场运用过程中出现的车载设备软件处理逻辑与地面数据不匹配的故障场景。通过优化轨道区段更新窗口解决车载逻辑与连续上/下行切换的地面轨道区段设置不匹配触发掉码制动

的问题。优化允许载频切换逻辑解决列车低速跨线运行出现的掉码问题<sup>[8]</sup>。由于测速测距误差方面导致轨道区段更新出现异常触发无码超时制动的情况,通过优化测速测距模块的测速精度和适当调整参数解决现场运用问题<sup>[9]</sup>。

参考文献

[1] 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.

[2] 贺广宇. 列控车载设备的控车核心算法[J]. 中国铁道科学, 2018, 39(3): 110-116.  
He Guangyu. Core Algorithm for Train Control Onboard Equipment[J]. China Railway Science, 2018, 39(3): 110-116.

[3] 胡细东. 分路不良造成机车信号掉码故障分析与电路改进[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(1): 39-41.  
Hu Xidong. Fault Analysis of Cab Signal Code Missing Caused by Bad Shunting of Track Circuit and Circuit Improvement[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(1): 39-41.

[4] 陈建. ATP 车载设备掉码问题研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(10): 72-75.  
Chen Jian. Study on Code Missing of ATP On-Board Equipment[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(10): 72-75.

[5] 谢格亮. 一起特殊的动车掉码问题分析和处理

[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(11): 50-51, 54.  
Xie Geliang. Analysis and Disposal of one Special Case of EMU Code Missing[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(11): 50-51, 54.

[6] 张宁. ZPW-2000 客专轨道电路掉码故障分析[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(6): 23-25.  
Zhang Ning. Analysis of Code Missing of ZPW-2000 Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(6): 23-25.

[7] 秦发园. 既有线区间单向改双向自动闭塞信号设计方案探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 90-94.  
Qin Fayuan. Signal Design Scheme of Changing Single-Direction to Double-Direction Automatic Block in Section of Existing Rail Line[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 90-94.

[8] 郭金信. 动车运用所内掉码问题分析和处理[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(7): 17-20.  
Guo Jinxin. Analysis and Treatment of Track Circuit's Code Missing in EMU Depot[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(7): 17-20.

[9] 赵阳, 马衍明. 进站信号机显示及区间三接近编码电路的分析与改进[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(1): 96-100.  
Zhao Yang, Ma Yanming. Analysis and Improvement of Home Signal Aspect and Third Approach Section Coding Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 96-100.

\*\*\*\*\*

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.1673-4440.2023.10.003

# 信号集中监测系统采集设备安装探讨

周单路, 潘圣浩, 王一波

(卡斯柯信号有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 分析信号集中监测系统技术条件中的各项功能采集特点, 通过现场工程试点进行验证, 试图找到一种大幅提升信号集中监测系统产品质量的安装方式。分散安装即就近监测对象实施安装, 可减少监测采集配线走行径路, 降低安全风险; 工厂预安装将现场配线提前至组合预制阶段, 提高准确率和标准化。二者相结合的安装模式被证明是行之有效的途径。

**关键词:** 预安装; 分散安装; 信号集中监测系统; 联锁

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0013-05

## Discussion on Installation Method of Acquisition Equipment in Centralized Signal Monitoring System

Zhou Danlu, Pan Shenghao, Wang Yibo

(CASCO Signal Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** This paper analyzes the characteristics of acquisition of functions in the technical conditions of the centralized signal monitoring system and verifies the analysis results through on-site trial in specific projects. In this way, it seeks to find installation methods to greatly improve the product quality of the centralized signal monitoring system. Decentralized installation means installation nearby monitoring objects, this installation method will shorten the monitoring and acquisition wirings and reduce the safety risks. Preinstallation at the factory will advance the field wiring to the assembly and prefabrication stage, which improves accuracy and achieves standardization. The installation method combining these two has been proved to be an effective approach.

**Keywords:** preinstallation; decentralized installation; centralized signal monitoring system; interlocking

信号集中监测系统车站采集内容主要分为两部分: 自采集部分和外部系统接口部分。影响信号集中监测系统施工进度、质量和系统性能的主要因素就来自于自采集部分。本文旨在探讨通过改进信号

集中监测系统车站信息采集设备的安装模式, 从而有效解决现场施工效率、提升施工质量, 确保信号系统安全。

### 1 现状

信号集中监测系统施工的关键节点流程为: 由设计院根据规划设计出可实施的施工图纸, 施工单

收稿日期: 2022-06-28; 修回日期: 2023-08-10

第一作者: 周单路 (1982—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 信号集中监测, 邮箱: zhoudanlu@casco.com.cn。

位依据设计院提供的施工图纸委托组合柜生产厂家进行各类定型信号组合的生产预制，组合柜生产厂家预制各类定型信号组合时将组合内配线按图完成各类配线。组合柜到达现场后再由施工单位将室外设备通过分线盘接入各类定型信号组合，配线完成后即可开始联调联试工作。该过程也是信号集中监测系统的集中施工配线阶段，多种作业交叉进行，作业场地有限，无法通过增加施工人员缓解，而且信号集中监测采集配线涉及室内所有设备，过程复杂，错线、漏线时有发生。

信号集中监测系统是监测信号设备状态、发现信号设备隐患、分析诊断信号设备故障、实现信号子系统接口信息安全监管、辅助和指导现场维修及故障处理、提高电务系统设备运用质量和维护水平的重要信号设备。但是信号集中监测系统作为辅助设备，是不能影响联锁系统的正常试验和开通运行的。这就要求信号集中监测系统现场施工配线必须达到效率高、准确率高、工艺标准高的要求。通过长期深入现场，不断探索验证，本文基于此提出一个可行性方案，可有效减少现场施工配线工作量，并大幅提高准确率。

首先，根据《铁路信号集中监测系统技术条件》，将自采集部分进行统计分析，如表1所示。

统计得出，表1中直接参与联锁组合内配线相关的自采集项有16项，占比59.26%。如何有效解决这一部分监测采集配线，对信号集中监测系统的现场施工成为关键。其中信号机点灯回路电流采集、转辙机动作曲线采集（含关键继电器开关量）、轨道送端及电码化电缆侧电流采集、区间电缆侧电流采集等均需在联锁组合内穿入监测互感器，这些均对既有联锁（区间）组合配线存在二次施工。

通过不断地探索尝试和积累经验，对关键信号集中监测采集设备进行分散安装和工厂预安装相结合的方式可有效解决上述问题。下面就这两种安装方式进行说明。

## 2 现场安装

信号集中监测系统采集设备根据安装位置的不

表1 自采集统计

Tab.1 Statistics of self-acquisition

采集项	监测内容	联锁组合	分线盘	其他	并联	串联	增加配线
外电网采集				√	√	√	
连续式轨道电路	接收端电压	√			√		
	送端电压		√		√		
	开关量	√			√		√
25 Hz相敏轨道电路	接收端电压	√			√		
	送端电压		√		√		
	开关量	√			√		√
高压脉冲轨道电路	模拟量	√			√		
	开关量	√			√		√
直流转辙机	动作曲线	√				√	
	道岔表示电压		√		√		
交流转辙机	开关量	√			√		√
	动作曲线	√				√	
	道岔表示电压		√		√		
断相保护器	电压	√			√		√
	开关量	√			√		√
电缆绝缘			√		√		
电源漏流				√	√		
信号机点灯回路电流		√				√	
站内电码化	发送盒功出			√	√	√	
	电缆侧电压		√		√		
	电缆侧电流	√				√	
有绝缘移频轨道电路	开关量	√			√		√
	模拟量			√	√	√	
半自动闭塞采集		√	√		√	√	
站(场)间联系电压			√		√		

同可分为分散安装和集中安装2种模式。分散安装是指将部分监测采集设备就近安装在联锁组合内，采集配线就近接入，不再单独设置监测采集组合柜。集中安装是指将监测采集设备集中安装在监测采集组合柜内，采集配线统一敷设至监测采集组合柜内对应采集端子。安装方式统计如表2所示。

表2 安装方式统计

Tab.2 Statistics of installation method

采集项	监测内容	分散	集中
外电网采集	电压、电流等	√	
连续式轨道电路	接收端电压		√
	送端电压		√
	开关量		√
25 Hz 相敏轨道电路	接收端电压		√
	送端电压		√
	开关量		√
高压脉冲轨道电路	模拟量		√
	开关量		√
直流转辙机	动作曲线	√	
	开关量	√	
	道岔表示电压		√
交流转辙机	动作曲线	√	
	开关量	√	
	断相保护器电压		√
	道岔表示电压		√
电缆绝缘	电缆绝缘		√
电源漏流	电源漏流		√
信号机点灯回路电流	信号机点灯回路电流	√	
站内电码化	发送盒功出	√	
	电缆侧电压		√
	开关量		√
	电缆侧电流	√	
有绝缘移频轨道电路	模拟量	√	
	开关量	√	
半自动闭塞采集	电压、电流等	√	
站(场)间联系电压	站(场)间联系电压		√

## 2.1 分散安装

针对联锁(区间)组合内配线需二次施工拆配线的电流类模拟量(含配套的开关量)采集适用于分散安装模式,采集需通过串接方式将监测采集设备串联至联锁(区间)组合相关电路中,通常的采集内容包括:转辙机动作电流(功率)、信号机点灯回路电流、电码化电缆侧电流、半自闭电压电流。分散安装统计如表3所示。

表3中所列配线采用集中安装模式,则需要将联锁(区间)组合内配线进行更换延长至监测采集组合柜,所带来的风险如下:

表3 分散安装统计

Tab.3 Statistics of decentralized installation

采集项	监测内容	说明
外电网采集	电压、电流等	就近防雷配线箱
直流转辙机	动作曲线	道岔组合后部
	开关量	道岔组合后部
交流转辙机	动作曲线	道岔组合后部
	开关量	道岔组合后部
信号机点灯回路电流	信号机点灯回路电流	信号机组合后部
站内电码化	发送盒功出	站内移频柜组合后部
	电缆侧电流	电码化组合后部
有绝缘移频轨道电路	模拟量	移频柜组合后部
	开关量	移频柜组合后部
半自动闭塞采集	电压、电流等	半自动闭塞组合后部

1) 需拆除既有联锁(区间)组合内配线,更换长距离线缆敷设至监测采集组合柜,施工配线量大,成本高,且破坏了既有焊接点,存在接点二次焊接错误的风险;

2) 更换的长距离线缆在传输过程中会存在信号衰减,这对监测系统的数据采集准确性存在影响,容易产生误报警,不利于电务维护判断;

3) 更换的长距离线缆在槽道中容易受其他共槽线缆的电磁干扰影响,既对联锁设备的运行产生安全风险,也不利于监测系统的数据采集准确性;

4) 后期维护需要电务人员跨设备、跨组合反复确认,不利于故障处理,反而容易发生故障范围扩大的风险;

5) 这种参与联锁配线的采集设备集中安装会增加监测专用组合柜的数量,对组合柜数量和机房空间的需求进一步增加。

综上所述,通过采用分散安装模式可有效解决信号集中监测系统中自采集部分最为复杂的配线,实现在联锁(区间)组合内就近安装,也为实现工厂预安装提供了可能性。

## 2.2 集中安装

集中安装主要针对电压类监测采集,包括轨道电压、道岔表示电压、绝缘、漏流、站(场)间联系电

压等。该类采集均通过并接方式在规定采集点进行信息监测，对采集设备本身的工艺制造和现场采集配线的安全都有明确要求。集中安装统计如表 4 所示。

表4 集中安装统计

Tab.4 Statistics of centralized installation

采集项	监测内容	说明
连续式轨道电路	接收端电压	轨道测试盘
	送端电压	室外分线盘
	开关量	与电压采集设备同步采集
25 Hz 相敏轨道电路	接收端电压	轨道测试盘
	送端电压	室外分线盘
	开关量	与电压采集设备同步采集
高压脉冲轨道电路	模拟量	译码器
	开关量	与电压采集设备同步采集
直流转辙机	道岔表示电压	室外分线盘
交流转辙机	断相保护器电压	道岔组合转接输出采集
	道岔表示电压	室外分线盘
电缆绝缘	电缆绝缘	室外分线盘
电源漏流	电源漏流	室外分线盘
有绝缘移频轨道电路	电缆侧电压	室外分线盘
	开关量	与电压采集设备同步采集
站(场)间联系电压	站(场)间联系电压	室外分线盘

表 4 中统计的各类电压(含配套开关量)采集点都集中在室外分线盘和轨道测试盘。而室外分线盘和轨道测试盘自身存在大量配线，空间狭小，不具备监测采集设备的就近安装条件，集中安装是唯一选择。

### 3 工厂预安装

为进一步减轻现场信号集中监测系统施工的压力，可以考虑将非必须现场配线的分散安装定型组合转场至组合柜厂家进行工厂预安装。设计院在设计联锁施工图纸时已经将联锁组合配线定型化，组合柜生产厂家根据定型图纸将联锁组合配线一次性完成。如果在该阶段将信号集中监测配线提前设计到一起，投放到组合柜厂家进行组合配线，即可将监测部分配线一并落实。

### 3.1 工厂预安装范围

工厂预安装统计如表 5 所示。统计分析可知将表 5 中各项进行工厂预安装，其比例可以达到 81.25%。该模式的优化具有以下优势：

表5 工厂预安装统计

Tab.5 Statistics of preinstallation at the factory

采集项	监测内容	联锁组合需增加配线	配线方式
连续式轨道电路	开关量	增配继电器至组合侧面配线	可工厂预制
25 Hz 相敏轨道电路	开关量	增配继电器至组合侧面配线	可工厂预制
高压脉冲轨道电路	开关量	增配继电器至组合侧面配线	可工厂预制
直流转辙机	动作曲线	增配继电器至采集器配线	可工厂预制
	开关量	增配继电器至采集器配线	可工厂预制
交流转辙机	动作曲线	增配继电器至采集器配线	可工厂预制
	断相保护器电压	增配继电器至组合侧面配线	可工厂预制
	开关量	增配继电器至采集器配线	可工厂预制
信号机点灯回路电流		增配继电器至采集器配线	可工厂预制
站内电码化	电缆侧电流	增配继电器至采集器配线	可工厂预制
	开关量	增配继电器至组合侧面配线	可工厂预制
有绝缘移频轨道电路	开关量	增配继电器至组合侧面配线	可工厂预制
半自动闭塞采集		增配继电器至采集器配线	可工厂预制

1) 对建设单位：减少了监测施工线缆、监测组合柜、房屋空间等相关资金投入，同时提升了建设质量；

2) 对施工单位：避免了现场二次配线和监测设备安装，大幅缩减信号集中监测系统施工工期，保证施工安全，提升施工品质；

3) 对运营维护单位：实现了联锁(区间)组合维护一本图，不必跨系统、跨设备核对图纸、维护设备，进而缩小了故障处理时间；

4) 设计院在设计联锁室内配线时可统筹考虑，将监测配线一并纳入设计，避免了信号集中监测系统现场调研空余端子增配线，一种设备两套图纸，

从而出现图实不符的问题。

### 3.2 工厂预安装流程

工厂预安装流程如图 1 所示。设计院设计联锁（区间）内配线通用图时将参与组合配线的监测配线（端子）一并纳入设计，施工单位委托组合柜生产厂家生产联锁（区间）组合式时，信号集中监测系统厂商确保同步将分散安装的设备发给组合柜厂家，由组合柜厂家按照最终组合配线一次性完成生产。实践证明，通过该模式可有效缩短信号集中监测系统整体工期 20%，仅施工单位监测配线施工工期可节省约 50%。

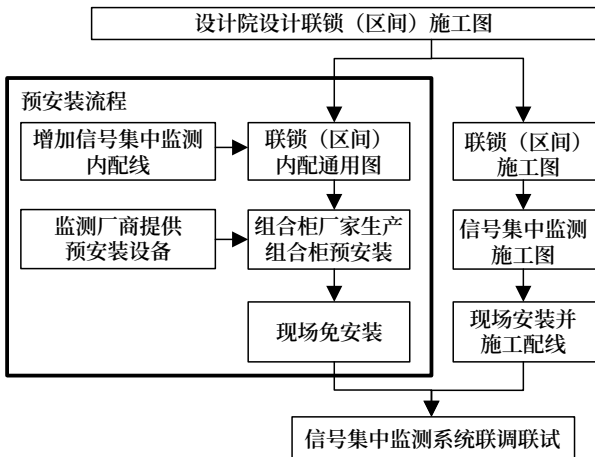


图1 工厂预安装流程  
Fig.1 Work flow of preinstallation at the factory

### 4 结束语

通过实现采集设备分散安装和工厂预安装相结合的模式，可大幅提高信号集中监测系统现场施工质量，缩短工期，提升信号集中监测系统的产品质量。局限性就是仅针对新建线路（车站）和大修车站效果明显。

#### 参考文献

[1] 中国铁路总公司. 铁路信号集中监测系统技术条件: Q/CR 442-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[2] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[3] 靳俊. 铁路信号集中监测系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.

[4] 翟阿南. 信号集中监测接入列控区间逻辑检查功能的数据实现与分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (5): 33-36.

Zhai Anan. Data Implementation and Analysis of Centralized Signaling Monitoring Accessing Train Control Section Logic Check Function[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 33-36.

\*\*\*\*\*

### 本期广告企业简介

## 成都运达科技股份有限公司

运达科技

国铁安全联锁监控系统

致力于为轨道交通业务领域  
提供智能化解决方案及服务

联系电话 :028-82839999

地址: 四川省成都市高新区西部园区康强四路 99号

网址: <http://www.yd-tec.com>

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

(详见封底)

# 车载接口仿真系统实现

谢再盛<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:** 通过对现有车载系统测试场景进行分析, 提出一种车载接口仿真系统的实现方案。该方案将车载仿真系统划分为3个层级, 分别是信息管理层、运行逻辑层、接口执行层, 各层级功能实现高内聚, 低耦合, 提高测试系统的适配性, 降低测试环境搭建成本。从系统架构、系统构成、业务流程3个方面入手, 详细论述该系统的结构和实现方式。为通用车载仿真测试环境的实现提供一种新的解决思路。

**关键词:** 车载系统; 列控系统; 通用总线

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0018-04

## Implementation of Vehicle Interface Simulation System

Xie Zaisheng<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:** Based on an analysis of the existing test scenarios of the onboard system, this paper proposes an implementation scheme of the vehicle interface simulation system. The scheme divides the vehicle interface simulation system into three layers, i.e. information management layer, operation logic layer, and interface execution layer. The functions of each layer feature high cohesion and low coupling, which improves the adaptability of the test system and reduces the costs of building the test environment. This paper also elaborates on the structure and implementation of the vehicle interface simulation system from three aspects, i.e. system architecture, system composition and service process. Thus, it provides a new solution for establishing a general-purpose vehicle simulation test environment.

**Keywords:** onboard system; train control systems; universal bus

车载系统是列控系统的关键组成部分, 不同车载系统可以实现列车状态监控、列车运行控制、车

地实时通信等多种功能。车载系统以车载主机为核心, 通过多种 I/O、通信单元、人机界面和外围传感器共同构成车载系统的神经网络。

由于车载系统结构复杂, 不同系统测试方法、硬件组成和接口定义也不尽相同, 所以一般搭建测试环境都比较复杂。而且, 由于测试环境属于针对

收稿日期: 2022-06-01; 修回日期: 2023-08-23

基金项目: 国家重点研究计划项目(2022YFB4300600)

作者简介: 谢再盛(1985—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号测控技术, 邮箱: xiezaisheng@crscd.com.cn。

车载系统的定制开发，环境通用性较差，无法同时支持多种系统的测试任务，无形中增加了搭建成本。

本文从车载测试环境搭建需求出发，针对地铁 CBTC 系统、国铁 CTCS-2 及 CTCS-3 系统、欧洲 ETCS-2 系统中车载运行控制子系统的测试及仿真运行需要，开发通用车载接口仿真系统。通过业务划分将车载接口仿真系统划分为信息管理、逻辑控制、接口硬件 3 部分。其中信息管理用于测试任务编辑、下达和执行管理；逻辑控制用于适配不同车载系统软硬件接口逻辑；接口硬件用于统一管理、调用测试资源。

车载接口仿真系统针对不同车载系统测试任务，实时提供车载系统所需的模拟 I/O 信号、速传脉冲信号、车辆传感器信号、CAN 通信、MVB 通信、应答器报文信号等，通过接收分析车载系统的状态和数据输出，完成车载系统动态运行指标测试，能够支持多种车载运行环境模拟。

## 1 系统概述

为了满足车载接口仿真系统的通用适配性和测试多样性，将车载接口仿真系统进行解耦设计，划分为信息管理层、运行逻辑层、接口执行层 3 个组成部分。

信息管理层用于下发测试脚本，收集测试数据和系统执行状态，实现系统运行管理和测试数据分析。

运行逻辑层用于仿真系统测试逻辑实现，内部基于不同列控系统的运行参数，构建运行模型，实现车载系统的运行场景匹配。

接口执行层由能够模拟车载系统外部接口对象的各种硬件组成，通过接收模型运行机下发的运行命令，控制各硬件资源提供车载系统运行接口条件，采集车载系统的输出状态。系统架构如图 1 所示。

## 2 系统构成

根据系统架构划分，信息管理层和运行逻辑层分别由信息服务器和模型运行机组成，系统功能主要由软件功能实现。接口执行层由接口管理平台组

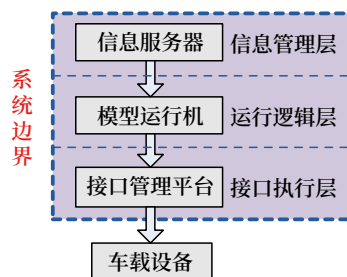


图1 车载接口仿真系统架构

Fig.1 Architecture of onboard interface simulation system

成，因为直接和车载接口匹配，所以包含硬件测试资源和软件驱动接口。

信息服务器和模型运行机均由通用计算机实现，接口管理平台由一台基于通用总线的测试主机和其他外围设备构成。

信息服务器软件采用 B/S 服务器设计，包含前端交互部分、脚本数据库部分和数据分析部分。

模型运行机软件采用事件型多进程架构，包含列车运动模型、运行线路模型、车辆通信协议模型和车辆 I/O 接口模型。

接口管理平台采用模块化设计，硬件由主机单元、适配接口单元、可控应答器、波形发生器、GSM-R 模拟机、司控交互显示屏和电源等 7 部分组成。其中主机单元采用通用总线工业主机，包含机箱、CPU 卡、DI 卡、DO 卡、Serial 卡、AIO 卡，MVB 卡和 CAN 卡。

机箱：安装 CPU 卡、DI 卡、DO 卡、Serial 卡、AIO 卡，MVB 卡和 CAN 卡等功能板卡。

CPU 卡：安装于机箱内，运行接口管理平台程序，接收模型运行机的命令，驱动机箱中各板卡输出和采集信号，并将车载设备关键数据反馈模型上位机。CPU 卡包含 USB、以太网、VGA 等外部接口，通过外部接口与电源、可控应答器、波形发生器和 GSM-R 模拟机连接。

DI、DO 卡：安装于机箱内，输出 ATP 采集条件，采集 ATP 输出状态。

AIO 卡：安装于机箱内，AO 部分用于输出电压、电流信号，模拟列车传感器信号提供给车载系统。AI 部分采集电压、电流信号，监控列车模拟量

输出状态。

MVB 通信板卡：安装于机箱内，模拟车辆和车载系统之间 MVB 通信。

CAN 通信板卡：安装于机箱内，模拟车辆和车载系统之间 CAN 通信。

Serial 通信板卡：安装于机箱内，模拟车辆和车载设备之间 RS-422/RS-485 通信。

适配接口单元与车载系统的重载接口连接，将主机单元的数字 I/O 信号与车载接口的电平和逻辑关系进行隔离转换，针对不同车辆接口调整对应电平和连接关系。同时，适配接口单元内含速度转接板，用于发送 PWM 信号，提供车载系统速传脉冲信息。

（可控应答器：通过 CPU 板卡 USB 接口控制，发送报文信号，提供车载设备应答器报文信息。）

（波形发生器：通过 CPU 板卡 USB 接口控制，发送 FSK 信号，提供车载设备轨道电路信号。）

GSM-R 模拟机：通过 CPU 板卡以太网接口控制，发送 GSM-R 无线信号，提供车载设备 GSM-R 无线数据。

司控交互显示屏通过主机单元控制，可针对不同车辆的司控要求，提供加减速和 I/O 的软件界面控制。

电源：通过 CPU 板卡 USB 接口控制，输出可控电压和电流，提供车载系统的运行供电和适配接口单元内的接口供电。系统结构如图 2 所示。

### 3 业务流程

#### 3.1 信息管理层

测试人员根据车载测试对象，编制测试脚本，并将脚本储存在脚本数据库内。测试时，测试人员选取适宜的测试脚本，载入测试软件内。

测试软件按照以太网协议将脚本信息依次发送至模型运行机。测试软件实时记录并分析模型运行机和接口管理平台上传的测试执行状态和测试结果数据，通过数据比对进行结果评判。测试软件周期处理模型运行机和接口管理平台的运行状态和执行状态，监控系统健康状态。

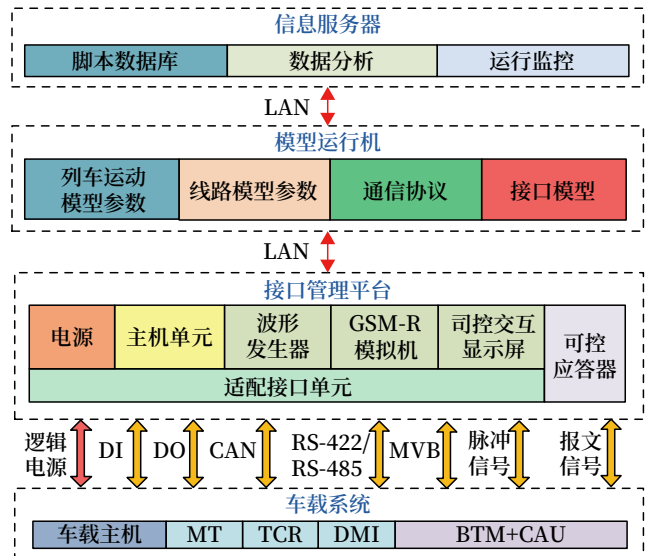


图2 车载接口仿真系统结构  
Fig.2 Structure of onboard interface simulation system

#### 3.2 运行逻辑层

模型运行机接收到信息管理层下发的脚本信息后，模型软件根据脚本内容调用车载接口模型、车辆运动模型和测试线路参数，并按照协议封装通信数据，将含有通信数据的脚本信息转化为命令序列，周期发送至接口管理平台。

模型运行机周期性接收接口管理平台反馈的执行状态和上行通信数据。模型运行机判断接口管理平台反馈的执行状态，确认其接收和执行完整性，并进行命令中断、命令等待、命令重发等决策处理。模型运行机将接口管理平台的上行数据，通过协议进行解构，将应答数据转化为命令序列返回接口管理平台，将结果特征值发送至信息管理层。

#### 3.3 接口执行层

接口管理平台通过主机单元实时调用各硬件资源，按照队列的方式依次执行命令序列。

接口管理平台将车载系统返回的通信数据和接口状态实时上传至信息管理层和运行逻辑层。接口管理平台将命令执行状态和平台运行状态周期上传至信息管理层和运行逻辑层。

### 4 系统优势

- 1) 车载接口仿真环境中测试脚本、运行逻辑、



硬件接口 3 部分相互独立，修改任意部分不会造成其他部分的连带修改。

2) 车载接口仿真环境中通过信息服务器将测试脚本分离出来，便于测试业务的搭建和修改。

3) 车载接口仿真环境中通过模型运行机将测试逻辑和数据模型分离出来，便于测试逻辑的适配修改。

4) 车载接口仿真环境中接口管理平台基于通用总线主机，方便各硬件资源扩展。

### 5 总结

车载接口仿真系统通过顶层设计，构建了一套用于实现车载运行测试的通用类真实仿真环境。该系统通过在信息管理层实现脚本管理技术，在运行逻辑层实现模型、协议和逻辑封装技术，在接口执行层实现硬件模块和接口匹配技术，理论上能够满足一套仿真系统支持多套车载系统，一套仿真系统满足各种测试任务的要求。该系统目前已应用于深度自主化实验室和工厂车载系统测试环境，为测试效率提升和测试成本控制提供有力的支撑。

#### 参考文献

[1] 郜春海. 基于通信的轨道交通列车运行控制系统 [J]. 现代城市轨道交通, 2007 (2): 7-10, 74.  
Gao Chunhai. Communication-Based Train Control System[J]. Modern Urban Transit, 2007(2):7-10, 74.

[2] 阎珺. CBTC 系统中车载设备功能实现 [J]. 电子测试, 2011 (12): 72-76, 90.  
Yan Jun. Realization for the Theory of Onboard Equipment's Functions[J]. Electronic Test, 2011(12): 72-76, 90.

[3] 戴明福. 列控车载设备测试平台软件的设计与实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2014.

[4] 张永发, 刘逸涵. 车载 ATC 系统功能测试平台 [J]. 国外电子测量技术, 2014, 33 (8): 7-9, 20.  
Zhang Yongfa, Liu Yihan. Vehicle ATC System Function Test Platform[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2014, 33(8): 7-9, 20.

[5] 王永清. 车载 ATC 仿真模拟器设计与应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (4): 67-71.  
Wang Yongqing. Design and Application of On-board ATC Simulator[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 67-71.

[6] 徐丽. CTCS-3 列控系统仿真测试平台—车载设备仿真子系统的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2007.

[7] 刘燕. 基于仿真系统的 ATS 自动化测试的设计与实现 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (11): 56-60.  
Liu Yan. Design and Implementation of ATS Automation Test Based on Simulation System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 56-60.

[8] 戴明福. 列控车载设备测试平台软件的设计与实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2014.

[9] 王伟, 张建明. 基于最小系统的 CBTC 仿真测试平台 [J]. 都市快轨交通, 2011, 24 (4): 33-36.  
Wang Wei, Zhang Jianming. Study on CBTC Simulation Test Platform Based on the Minimum System[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2011, 24(4): 33-36.

\*\*\*\*\*

### 广告索引

2023年世界标准日公益广告  
上海锦申铁道科技有限公司  
成都运达科技股份有限公司

封面  
封三  
封底

# 苏州北铁路枢纽GSM-R系统网络规划的研究

刘盛尧, 费跃, 胡金涛

(中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055)

**摘要:**以苏州北铁路枢纽为例, 论述苏州北铁路枢纽 GSM-R 系统网络规划, 在充分调查既有现状、掌握现有网络设备的技术特点的基础上, 通过创新规划方案, 解决大型车站站台雨棚下 GSM-R 系统网络不稳定、不同列控等级线路间的 GSM-R 系统网络覆盖、枢纽内跨线光缆敷设、枢纽频率规划等难题, 为后续的工程提供可借鉴的案例。

**关键词:**铁路枢纽; 大型车站; 高速铁路; CTCS-3; GSM-R; 冗余覆盖; 网络规划

中图分类号: U285.21

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0022-08

## Research on GSM-R System Network Planning of Suzhou North Railway Junction

Liu Shengyao, Fei Yue, Hu Jintao

(China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100055, China)

**Abstract:** By means of a case study, this paper discusses the network planning of the GSM-R system in Suzhou North Railway Junction. An adequate survey of the current situation was conducted to master the technical characteristics of the existing network equipment. On this basis, this paper proposes an innovative planning scheme to solve such difficult issues as unstable network connection of GSM-R system under platform canopies of large stations, network coverage of GSM-R network between lines of different train control levels, laying of cross-line optical cables in junctions, and frequency planning for junctions. Thus, it provides a reference case for future projects.

**Keywords:** railway junction; large stations; high-speed railway; CTCS-3; GSM-R; redundant coverage; network planning

### 1 概述

通苏嘉甬高速铁路, 简称“通甬高铁”, 是国内“八纵八横”高速铁路网沿海通道的重要组成部分、长江三角洲城市群的重要城际通道与纽带。通甬高

铁自苏州北站小里程方向引入苏州北站至苏州东隧道入口, 在该区段与既有京沪高铁存在近 17 km 的并线/临近区段; 在既有苏州北站北侧新建超 10 万 m<sup>2</sup> 的大型站房, 新建站房预留如通苏湖城际铁路的引入条件; 在苏州北站大里程方向约 4 km 处新建动车所及动车所走行线。未来苏州北站区域将成为京沪高铁、通甬高铁、如通苏湖城际铁路交汇以及动车检修作业的综合铁路枢纽, 如图 1 所示。

收稿日期: 2023-04-25; 修回日期: 2023-10-13

第一作者: 刘盛尧(1981-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路无线通信系统设计规划, 邮箱: 272119617@qq.com。



图1 苏州北铁路枢纽示意  
Fig.1 Suzhou North Railway Junction

该区域既有京沪高铁为CTCS-3等级铁路，GSM-R系统网络冗余覆盖<sup>[1]</sup>，考虑到通甬高铁（CTCS-3等级铁路）、如通苏湖城际铁路（CTCS-2+ATO）线路的引入以及动车所检修作业的需求，需对该区域的GSM-R系统网络进行优化调整。

## 2 网络规划

### 2.1 规划分析

经过对调查资料的整理分析，苏州北铁路枢纽GSM-R系统网络规划需重点解决如下问题。

1) 苏州北站GSM-R系统网络规划设计：通甬高铁计划在既有苏州北站北侧新建超10万m<sup>2</sup>的大型站房，与既有苏州北站均为高架车站，站房结构及站台雨棚对GSM-R系统网络信号有遮挡屏蔽，需制定针对性的解决方案。

2) 多条线路交叉/并线/临近区段网络规划设计：如图1所示，该区域除既有京沪高铁，拟建的通甬高铁、如通苏湖城际铁路，周边还有既有沪宁铁路、京沪铁路，其中，沪宁城际铁路为CTCS-3等级铁路（GSM-R系统网络冗余覆盖），京沪铁路为450MHz无线列调系统的普速铁路，该区段无线网规划应以高等级线路的小区规划为基础，兼顾低等级线路的运用需要<sup>[2]</sup>。

3) 网络设备选型：目前，GSM-R系统网络覆盖的主要设备为BTS基站设备、分布式基站设备（BBU、RRU）、数字直放站设备。其中，数字直放

站设备作为无线信号中继设备<sup>[3]</sup>，凭借组网灵活、造价较低等优点广泛地应用于山区、隧道等弱场区段，但是数字直放站设备的网管功能和设备检测功能远不如基站设备，对于多条高速铁路交汇铁路枢纽地区，数字直放站设备不利于运维过程中的故障定位及问题分析，因此在铁路枢纽GSM-R系统网络规划中优先考虑使用基站设备<sup>[4]</sup>。

### 2.2 苏州北站GSM-R系统网络规划

苏州北站拟规划建设10万m<sup>2</sup>以上的大型站房，采用高架结构，如按常规设计方案在车站设置基站铁塔。由于铁塔距离站房很近，站房结构（最高点超过40m）及雨棚会对GSM-R信号造成遮挡，导致站台下的本站GSM-R基站信号场强低，与相邻基站信号场强无法拉开“差距”，易造成乒乓切换、呼叫失败等问题，会对CTCS-3等级铁路GSM-R系统网络服务质量（QoS）指标造成影响，严重的会导致列控系统降级<sup>[5]</sup>，这种问题在上跨站舍下方区域尤为明显。对于高速通过的列车，由于车载终端在站台范围内驻留时间短，上述问题不易显现，但是在实际运营中，尤其是车站上跨站舍下方停靠列车时，这些问题却层出不穷。另外，在车站设置基站铁塔也会影响车站站房以及市政设施的整体美观性。

苏州北站既有基站（SuZhouBei）为京沪高铁既有基站，设置在既有车站站房附近，天线挂高38m，鉴于上述问题，无法满足新建站场的覆盖需求，因此，需要对车站区域内的基站设置进行优化设计。在车站通信机房设置分布式基站BBU设备，综合考虑站房结构的遮挡及正线覆盖的需求，在车站站台外两侧位置设置车站铁塔及分布式基站RRU设备，替换苏州北站既有基站，车站站台外两侧的铁塔天线通过合理的设置天线挂高降低入射角、充分利用定向天线主瓣角的宽度实现站场范围的GSM-R系统网络覆盖。

1) 垂直入射角测算：以车站雨棚区长度450m计列，高架站轨面距地面15m计列，雨棚下沿距轨面11m计列，定向天线垂直半功率角9.3°计列，按照几何学原理，在天线挂高一定距离的情况下，半

功率角与轨面相交的点与基站间的相对距离如表 1 所示。

表1 半功率角与轨面交点距离统计

Tab.1 Statistics of distance of intersection point of half-power angle and rail surface

半功率角与轨面相交的点	轨面相交的点与基站间的相对距离				
	下倾角 /°	0	2	4	6
半功率下倾角与轨面相交于 /m	123	85.5	65.5	53.5	44.5
主瓣与轨面相交于 /m	无限远	286.5	143	95	71
半功率上倾角与轨面相交于 /m	无限远	无限远	无限远	424.5	171

注：距轨面挂高为 10 m，垂直半功率角为 9.3°

可见，下倾角为 0°或 2°时，整个半功率角辐射出的能量并不能完全投射向轨面，部分能量向天空（水平面以上方向）辐射，不仅对基站输出能量造成浪费，且容易导致远处的覆盖较强而形成越区覆盖；当下倾角设置为 6°或 8°时，半功率角辐射出的全部能量投射向轨面，并且还要考虑到车载天线高度（约 4.5 m）；因此，当面向站台侧的天线挂高设置在距轨面 10 m，下倾角设置为 4°时，可实现站台雨棚区域的良好覆盖。

2) 水平入射角测算：根据现有规划，站场行车区域（含京沪高铁）宽度约 300 m，定向天线水平半功率角 65°计列，当铁塔位置距车站中心里程 500 m 时，定向天线水平半功率角覆盖范围将超过 500 m，足以满足站场行车区域的覆盖需求。

3) 小区规划：根据《铁路数字移动通信系统（GSM-R）设计规范》（TB 10088-2015）的要求“车站至上、下行进站信号机外侧宜在同一小区覆盖范围内”<sup>[6]</sup>，并考虑通甬高铁 CTCS-3 等级列控系统，及如通苏湖城际 ATO 系统对 GSM-R 系统网络冗余覆盖的需求<sup>[7]</sup>，可将两处铁塔 GSM-R 系统网络按 A/B 网共小区设置，以避免站台范围内的越区切换。

## 2.3 交叉/并线/临近区段网络规划

### 2.3.1 BSC 规划

如图 2 所示，通甬高铁自苏州北站小里程方向引入苏州北站至苏州东隧道入口，在该区段与既有京沪高铁存在近 17 km 的并线 / 临近区段，区段内

分布着既有京沪高铁 WXD-SZB05、WXD-SZB06、WXD-SZB07、SuZhouBei、SZB-KSN01、SZB-KSN02、SZB-KSN03 等 7 处既有 GSM-R 基站。京沪高铁既有基站设备接入设置在上海的 BSC 设备，经调查，京沪高铁和通甬高铁在该区段均无 RBC 切换区，根据 GSM-R 系统设计规范的相关要求，在区段内可以出现跨 BSC 切换，同时，为了给列控系统提供可靠的 GSM-R 系统网络，在枢纽规划中也需避免频繁的跨 BSC 切换<sup>[8]</sup>。由于京沪高铁的基站设备及 BSC 设备都是 2011 年开通使用的，已投入运营 11 年，且不具备分布式基站组网的能力，因此，该区段内新设基站设备考虑接入通甬高铁设置的 BSC 设备。

### 2.3.2 基站小区规划

京沪高铁与通甬高铁均为 CTCS-3 列控等级的铁路，苏州北铁路枢纽区段的 GSM-R 系统网络应采用冗余覆盖方案。在规划过程中，还需考虑充分利用京沪高铁既有机房及铁塔等基础设施。根据调查情况，既有京沪高铁区间机房为箱式机房，空间较小，因此可使用分布式基站设备组网，充分利用分布式基站有组网方式灵活、体积小、便于安装的优点<sup>[9]</sup>。

#### 1) 苏州北站区段小区规划

##### a. 交叉并线区段

如图 3 所示，通甬高铁在苏州北站小里程方向引入苏州北站，在线路临近、交叉区段内有京沪高铁 WXD-SZB06、WXD-SZB07 两处既有基站，按常规规划方案，可在 WXD-SZB06 增设一套与既有 BTS 基站设备同型号的基站设备，与既有 BTS 基站设备设置同站址双网，并在 WXD-SZB06 增设通甬高铁方向的天线，对通甬高铁进行延伸覆盖。但是，这个方案存在很多不确定因素。

WXD-SZB06 基站对通甬高铁延伸覆盖范围不好控制，网优过程中 GSM-R 系统网络 QoS 指标难以达标，尤其是传输无差错时间（传输恢复时间） $T_{REC}^{[10]}$ 。

通甬高铁与京哈高铁的夹角地为非铁路用地，如果后期建设了高大建筑物，会对 GSM-R 系统网络信号传播造成阻挡。

京沪高铁的 BTS 基站设备已开通运营 11 年，

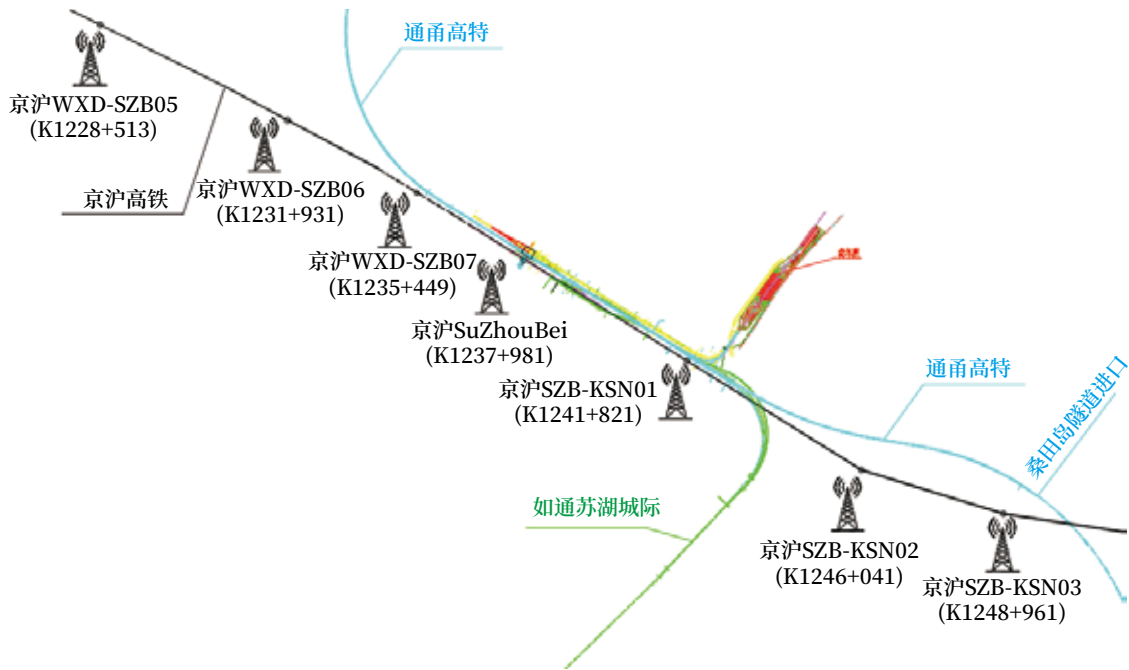


图2 京沪高铁GSM-R基站布置示意

Fig.2 GSM-R base station distribution of Beijing-Shanghai High-speed Railway

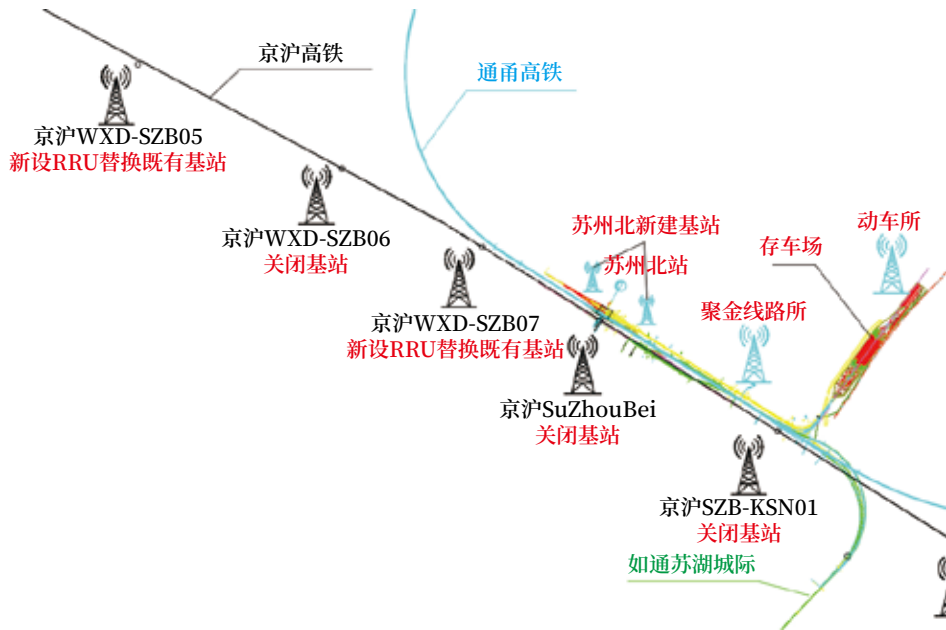


图3 苏州北站区段基站布置示意

Fig.3 Base station distribution in Suzhou North Station section

同型号设备的采购、调试都存在着很大的不确定性。

因此，可考虑利用 WXD-SZB07 基站的机房及铁塔，在 WXD-SZB07 基站设置两套分布式基站 RRU 设备纳入苏州北站的 A/B 网共小区，替换既有 WXD-SZB07 基站的 BTS 基站设备，新设置的分布式基站 RRU 设备接入苏州北站的分布式基站

BBU 设备，结合线路走向设置三方向的天线；考虑到 WXD-SZB06 基站对通甬高铁覆盖的不确定性影响，可对 WXD-SZB06 基站的 BTS 基站设备做关闭处理。

同时，为保证京沪高铁 GSM-R 系统网络的冗余覆盖，需要对 WXD-SZB05 基站的 BTS 基站设

备进行相应的调整,如补设京沪高铁同型号的基站设备设置同站址双网,依然存在同型号设备的采购、调试的不确定性;如采用通甬高铁同型号基站设备,则存在基站设备跨线传输组网的情况,不便于后期的运维;如采用分布式基站方案,RRU设备可设置在WXD-SZB05基站的机房,但BBU设备的设置位置成为难点。

从苏州北铁路枢纽线路设置来看,京沪高铁、通甬高铁、如通苏湖城际3条铁路线路均为独立线路,除苏州北站外,在区间敷设跨线光缆没有可行性,如在非铁路用地内敷设光缆,则光缆线路的安全性难以保证,因此可考虑在苏州北站集中设置分布式基站BBU设备,以便于RRU设备与BBU设备联络光缆的敷设。同时,考虑到容灾备份的需要,可在苏州北站及距离苏州北站约3km的聚金线路所两处站点集中设置分布式基站BBU设备,A网的BBU设备集中设置在苏州北站,B网的BBU设备集中设置在聚金线路所,实现BBU设备的异地容灾,从而实现对WXD-SZB05基站设备进行相应的调整:在WXD-SZB05基站的机房设置两套分布式基站RRU设备,在苏州北站、聚金线路所分别设置1套分布式基站BBU设备,实现京沪高铁GSM-R系统网络的冗余覆盖。

#### b. 动车所及动车走行线

由于京沪高铁、通甬高铁正线的GSM-R系统网络有冗余覆盖需求,而动车走行线(列控等级CTCS-2)GSM-R系统网络无冗余覆盖需求,并综合京沪高铁既有BTS基站设备型号问题,因此,考虑在聚金线路所新设双BTS基站设备替换京沪高铁SZB-KSN01基站,实现京沪高铁、通甬高铁、如通苏湖城际正线的GSM-R系统网络覆盖,并设置动车所方向的天线,实现对动车走行线、存车线等动车所室外场所GSM-R系统网络的延伸覆盖。为避免动车所基站对正线的影响,降低动车所基站正线方向天线的挂高以及BTS基站设备的发射功率,控制动车所基站正线方向的覆盖范围<sup>[11]</sup>。

#### 2) 跨阳澄湖区段小区规划

如图1所示,通甬高铁自京沪高铁SZB-KSN01基站至苏州东隧道入口区段为跨阳澄湖区段,该区段与京沪高铁临近,最远处距离约800m,整个区段约7km范围内都不具备设置基站及铁塔的条件,因此可考虑利用京沪高铁基站及铁塔实现该区段的GSM-R系统网络覆盖。同时,还需要考虑该区段内GSM-R系统网络与苏州东隧道内GSM-R系统网络的切换问题。

如图4所示,结合现场条件,在苏州东隧道入口新设基站一处,新设基站与京沪高铁SZB-KSN02、SZB-KSN03分别设置两套分布式基站RRU设备,在苏州北站、聚金线路所分别设置1套分布式基站BBU设备,按A/B网共小区组网,实现该区段内通甬高铁、京沪高铁GSM-R系统网络的冗余覆盖。其中,苏州东隧道入口新设基站主要负责将该区段内GSM-R系统网络引入苏州东隧道内,苏州东隧道内第一个洞室内的直放站远端按冗余设置,实现正常情况及单点设备故障情况下GSM-R系统网络的正常切换。同时,新设置BBU设备预留如通苏湖城际的接入条件,一并纳入该区段的A/B网共小区。

### 2.4 基站组网

苏州北铁路枢纽GSM-R系统基站组网如图5所示<sup>[12]</sup>。根据整体网络规划,该区段内所有新设的基站设备均接入通甬高铁的BSC设备,对于通甬高铁在区段内无跨BSC切换,对于京沪高铁在进、出区段有两处跨BSC切换(京沪高铁BSC切通甬高铁BSC,通甬高铁BSC切京沪高铁BSC),很好地避免了频繁的跨BSC切换。

## 3 验证分析

### 3.1 频率规划分析

在京沪高铁、通甬高铁交叉并线的区间,按运行速度350km/h、列车最小追踪间隔时间3min考虑,并考虑列车双向行驶因素,则在一处区间基站的覆盖范围内,两条铁路最多共有4列通过列车。按话务模型测算,话音信道4个,调度命令、列尾、



图4 跨阳澄湖区段基站布置示意

Fig.4 Base station distribution in cross Yangcheng Lake section

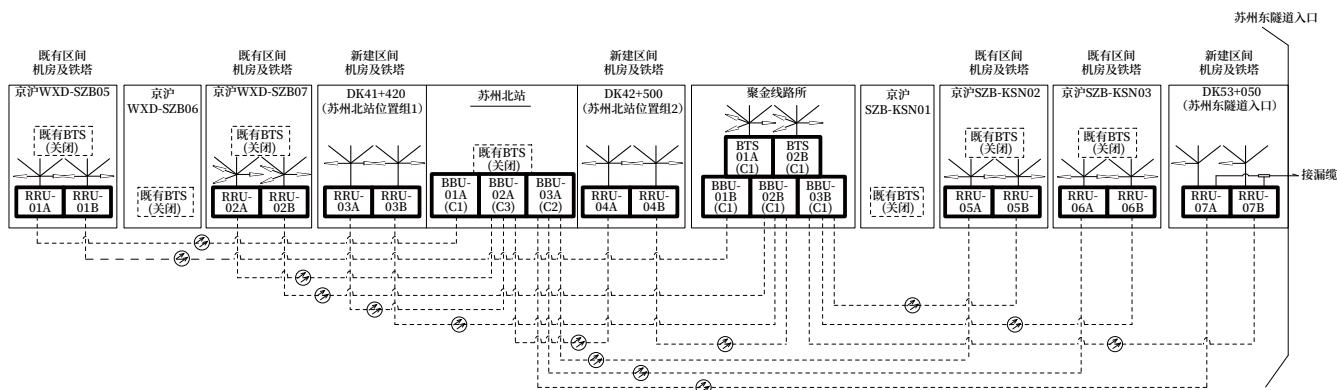


图5 苏州北铁路枢纽GSM-R系统基站组网示意

Fig.5 Networking of GSM-R base station in Suzhou North Railway Junction

车次号共用 1 个信道，列控业务 4 个信道，控制信道 2 个，总计信道数 11 个，基站设置 2 载频配置即可满足需求；在京沪高铁、通甬高铁、如通苏湖城际交叉并线的区间，在一处区间基站的覆盖范围内，3 条铁路最多共有 6 列通过列车，按话务模型测算，话音信道 5 个，调度命令、列尾、车次号共用 1 个信道，列控业务 6 个信道，控制信道 2 个，总计信道数 13 个，基站设置 2 载频配置即可满足需求；苏州北站综合考虑京沪高铁、通甬高铁、如通苏湖城际通过接车（6 列）、停靠列车（9 列）以及地面用户（20 个），按话务模型测算，话音信道 16 个，调度命令、列尾、车次号共用 1 个信道，列控业务 15 个信道，控制信道 5 个，总计信道数

37 个，基站需按 5 载频设置。综上所述，在该区段设置 11 个频点即可满足日常的运维需求，而原京沪高铁 GSM-R 系统基站自 WXD-SZB05 基站至 SZB-KSN03 基站共使用 15 个频点，本次规划采用分布式基站共小区的组网方案实现了小区频率复用距离的增加，提升了频率资源的利用率，比原基站小区减少 4 个频点，实现该区段内的频率优化。

考虑到 GSM-R 系统网络采用高电平切换的方式，可将该处场强值最大的信号判定为载波信号，其余信号判定为干扰信号，通过仿真软件的 C/I 指标分析，铁路沿线的 GSM-R 无线信号 C/I 值均满足邻频 C/I 值大于 -6 dB 的要求，如图 6 所示。

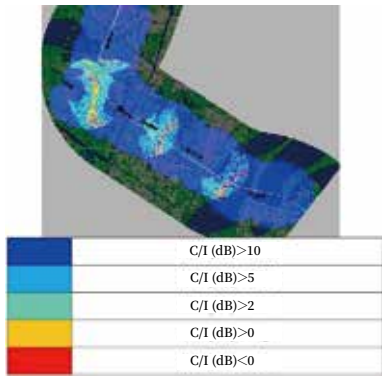


图6 苏州北铁路枢纽GSM-R系统C/I仿真示意  
Fig.6 C/I value simulation of GSM-R system in Suzhou North Railway Junction

### 3.2 无线场强覆盖分析

无线场强覆盖采用基于实地模型的 GSM-R 仿真系统<sup>[13]</sup>进行分析验证,以修正的 Okumura-Hata 模型为理论基础,利用三维电子地图所提供的地理和地貌信息,通过计算机仿真实现无线场强覆盖分析,各基站覆盖的目标区域内最低电平值均在 -90 dBm 以上,无弱场情况,覆盖场强良好,满足设计规范要求,如图 7 所示。

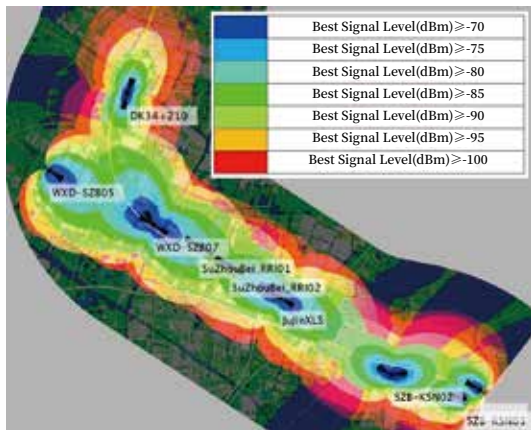


图7 苏州北铁路枢纽GSM-R系统覆盖场强示意  
Fig.7 Coverage field strength of GSM-R system in Suzhou North Railway Junction

## 4 结束语

在铁路下一代移动通信系统投入工程应用之前, GSM-R 系统仍然是国内铁路最主要的移动通信制式。随着国内铁路网的不断完善,铁路枢纽 GSM-R 系统网络规划需要解决的问题也越来越复杂,因此

不仅需要规划设计人员全面掌握现有系统设备的技术特点、详尽调查既有线路的现状,还要充分熟悉铁路枢纽的整体规划,在网络规划过程中,对于传统方案无法解决的疑难问题要敢于创新,在实践中不断地丰富网络规划的方式方法。

### 参考文献

- [1] 中国铁路总公司. CTCS-3 级列控运行控制系统铁路数字移动通信系统(GSM-R)网络需求规范: QCR 541-2016[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2016.
- [2] 中国铁路总公司. 中国铁路总公司关于做好特殊区域 GSM-R 网规划工作的通知: 铁总运[2014]252 号[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2017.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路数字移动通信系统(GSM-R)数字光纤直放站: TB/T 3367-2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [4] 王伟力. 芜湖枢纽 GSM-R 覆盖方案设计[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(8): 90-92.  
Wang Weili. Design of GSM-R Coverage Scheme in Wuhu Hub Region[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(8): 90-92.
- [5] 李润雷, 孟景辉, 杨树忠, 等. GSM-R 越区切换失败问题分析方法研究[J]. 铁道通信信号, 2022, 58(12): 48-53, 58.  
Li Runlei, Meng Jinghui, Yang Shuzhong, et al. Research on Analysis Method of GSM-R Handover Failure[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(12): 48-53, 58.
- [6] 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, 2016.
- [7] 中华人民共和国国家铁路局. 城际铁路设计规范: TB 10623-2014[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [8] 刘盛尧. 铁路枢纽 GSM-R 系统网络规划及实施方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(5): 16-21.



- Liu Shengyao. Research on Planning and Application of GSM-R System Networks for Railway Hubs[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(5): 16-21.
- [9] 周宇晖, 庞萌萌. 解析 TB/T 3324-2021《铁路数字移动通信系统(GSM-R)总体技术要求》[J]. 铁道技术监督, 2022, 50(9): 15-21, 32.
- Zhou Yuhui, Pang Mengmeng. Interpretation of TB/T 3324-2021 General Technical Specification for Global System for Mobile Communications-Railway(GSM-R)[J]. Railway Quality Control, 2022, 50(9): 15-21, 32.
- [10] 刘威壮. 广湛高铁枢纽及交叉并线区段 GSM-R 网络规划研究 [J]. 中国铁路, 2021(5): 131-136.
- Liu Weizhuang. Research on GSM-R Network Planning for Guangzhou-Zhanjiang HSR Terminal and Crossing and Shared Sections[J]. China Railway, 2021(5): 131-136.
- [11] 赵寅龙. GSM-R 线路交叉区域异常占用引起 CTCS-3 降级分析与优化 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(1): 40-45.
- Zhao Yinlong. Analysis and Optimization of CTCS-3 Degradation Faults Caused by Abnormal Occupancy in GSM-R Line Crossing Area[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(1): 40-45.
- [12] 中国铁路总公司. 铁路数字移动通信系统(GSM-R)分布式基站设备及组网暂行技术要求: 铁总运[2017]91号[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2017.
- [13] 赵一颖, 姜志威. 基于实地模型的 GSM-R 仿真系统研究 [J]. 铁道标准设计, 2021, 65(7): 178-182.
- Zhao Yiying, Jiang Zhiwei. Research on GSM-R Simulation System Based on Realistic Geographic Model[J]. Railway Standard Design, 2021, 65(7): 178-182.

## 国外信息

### 波兰签署未来铁路移动通信系统测试协议

阿尔斯通公司、爱立信公司、NetWorks! 公司和波兰铁路研究所签署一份意向函, 这份意向函涉及在波兰实施并且测试未来铁路移动通信(FRMCS)系统。在这项新近公布的合作框架下, 签署意向函的各方将会参与有关未来铁路移动通信系统的联合研究和开发项目, 在真实铁路条件下(例如在实际尺寸的轨道上)验证有关需求和解决方案, 并且开发有关培训模块和认证。

波兰铁路研究所所长安德烈·马塞尔(Andrzej Massel)表示, “对于所有市场主体而言, 包括机车车辆和技术供应商和研究所, 实现波兰铁路部门的数字化都是一个重大挑战。波兰铁路研究所希望利用多年的经验、独特的专门技能以及拥有的基础设施, 以便确保在波兰的线路上顺利并且尽快完成未来铁路移动通信系统的测试、认证和实施过程。”

根据这份意向函, 阿尔斯通公司将会提供用于车辆的现代控制子系统, 爱立信公司将会提供用于部署未来铁路移动通信系统的试点项目的无线通信网络, NetWorks! 公司将会提供用于铁路部门的通信解决方案, 并且负责用于部署未来铁路移动通信系统的测试网络的施工以及维护工作。波兰铁路研究所将会提供用于测试未来铁路移动通信系统的科研基础设施。

阿尔斯通公司负责波兰、乌克兰以及波罗的海国家的董事总经理 Sławomir Cyza 表示, “阿尔斯通公司每天都在努力通过提供机车车辆以及信号系统解决方案, 使得运输更加智能、更加具有可持续性。确定未来铁路移动通信系统这项新的标准很有必要, 因为铁路网络需要更进一步实现数字化, 在国际层面上实现一致性, 并且提升安全性和运能。”

为先进的通信标准, 未来铁路移动通信系统用于替代当前使用的铁路全球移动通信(GSM-R)系统。主要目的在于, 提升既有铁路网络的运能, 并且优化既有铁路网络的运营成本。这项标准由国际铁路联盟(UIC)与铁路部门主要代表联合设计, 标志着在完全实现铁路运输数字化上迈出重大一步。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 刘旸翻译自: www.railwaypro.com 2023-09-22)

# 列控系统车-地无线通信协议测试研究

展鑫<sup>1</sup>, 孙颖<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. 北京中关村轨道交通产业发展有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 阐述列控系统车地设备无线通信协议的实现方式, 提出针对车-地无线通信 SFM 协议栈和 CFM 协议栈的测试方法, 并阐述测试环境的搭建及测试过程的实现, 对后续车-地无线通信系统协议测试具有指导意义。

**关键词:** 列控系统; 车-地无线通信; SFM 协议栈; CFM 协议栈

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0030-07

## Research on Testing and Implementation of Radio Communication Protocol for High-speed Railway

Zhan Xin<sup>1</sup>, Sun Ying<sup>2</sup>

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

(2. Zhongguancun Rail Transit Industry Development Company, Beijing 100070, China)

**Abstract:** This paper elaborates on the implementation method of the track-train radio communication protocol for high-speed railways, puts forward the test method of SFM protocol stack and CFM protocol stack for track-train radio communication, and elaborates on the building of test environment and the implementation of test process. Thus, it provides guidance for the future protocol testing work for track-train radio communication systems.

**Keywords:** train control system; track-train radio communication; SFM protocol stack; CFM protocol stack

根据 EN 50159 标准对安全相关系统参考模型  
的描述, 列控系统车-地无线通信系统是一种基于  
开放式网络的安全通信系统。目前车-地无线通信

协议主要采用基于铁路数字移动通信系统 (Global  
System for Mobile Communications-Railway,  
GSM-R) 网络的电路交换方式, 欧标 Subset-037  
协议 V3.2.0 版本发布后, 增加了 GSM-R 分组无线  
服务 (General Packet Radio Service, GPRS)。  
在下一代铁路列控系统中, 车-地通信数据较之前  
更为丰富多样, 数据传输的安全性和可靠性要求更  
高, 延时要求更低, 5G-R (5G for Railways) 将

收稿日期: 2023-02-07; 修回日期: 2023-10-09

基金项目: 中国铁路通信信号股份有限公司科研项目  
(2300-K1200023.01)

作者简介: 展鑫 (1989—), 女, 工程师, 硕士, 主要研  
究方向: 铁路信号车载安全控制系统测试研究, 邮箱:  
zhanxin@crscd.com.cn.

替代现有的 GSM-R 作为车-地通信系统。为验证车-地无线通信接口间传输信息的正确性和一致性, 确保无线通信的安全可靠, 本文针对车-地无线通信系统协议内容和测试方法展开研究, 提出一种车-地无线通信协议测试方法, 并采用该方法对车-地无线通信系统协议进行测试。

## 1 车-地通信系统

高速铁路通信系统根据高速铁路运输和信息化的需求设置, 在物理层、链路层、网络层提供综合业务的接入、交换和传输服务。高速铁路的通信系统是铁路通信网的一部分, 与既有铁路通信网互联互通。

GSM-R 是在 GSM 公众移动通信系统平台上增

加铁路运输专用调度通信功能, 专门为铁路通信设计的综合专用数字移动通信系统。

目前高速铁路车-地通信系统就是基于 GSM-R 的列车运行控制系统, 通过 GSM-R 无线通信实现车-地之间的连续、双向信息传输, 实现基于无线通信的列车运行控制。

## 2 车-地无线通信协议

欧标 Subset-037 协议约束车-地无线通信系统, 将车-地无线通信系统划分为安全相关的安全功能模块 (Safe Functional Module, SFM) 和非安全相关的通信功能模块 (Communication Functional Module, CFM) 两部分。车-地无线安全通信协议分层结构如图 1 所示。

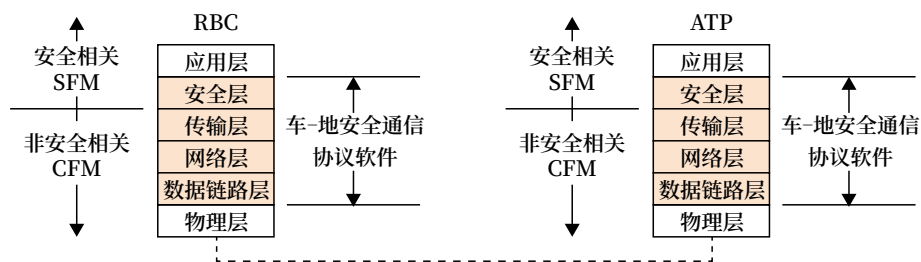


图1 车-地无线安全通信协议分层结构

Fig.1 Hierarchical structure of secure track-train radio communication protocol

### 2.1 SFM协议栈

SFM 协议栈提供安全服务, 确保进 / 出安全功能模块的数据流传输完整性和数据真实性, 报告安全层中发生的错误并从下层传输错误指示。在 SFM 协议栈中, 安全实体与对等安全服务实体通过一个或多个安全服务原语 (SaSAP) 与其用户进行通信。对等安全实体支持通过安全协议数据单元 (SaPDU) 进行安全连接交换。这些协议交换使用传输层的服务 (TS), 通过一个传输服务接入点 (TSAP) 进行连接, 即安全实体扮演用户的角色, SaPDU 的交换为逻辑视图。正常服务原语传输正常数据, HP 原语传输 HP 数据。SFM 协议栈主要实现车-地建立安全连接期间的安全数据传输, 保证车-地交互数据的完整性和真实性。

### 2.2 CFM协议栈

CFM 协议栈提供通信服务, 目前主要基于 GSM-R 网络的电路交换或基于 GSM-R 分组无线服务来承载通信业务。

CFM 协议栈的核心功能层包含传输层、网络层、数据链路层及物理适配层。传输层承载 CFM 数据传输, 将应用数据拆包 / 组包, 通过优先级功能、寻址功能、数据的分割重组功能, 以及基于同一个网络连接的多路复用功能等, 实现传输连接的建立。网络层主要是对来自上层的数据进行分割, 并对来自下层的数据进行重组。网络层支持上层在同一网络层上的多路复用, 从而实现 D 信道和 B 信道的协调以及对传输层信息包 TPDU 的拆包组包处理。数据链路层遵循 HDLC 标准, 可通过分帧发送实现包括对等双方数据链路连接的建

立、维护、释放，具备数据传输、链路重置、链路连接重传、查询、CRC 校验等功能。CFM 协议栈的物理适配层根据底层挂载设备不同，分为车载和地面两种物理层控制模块。在车载侧，CFM 通过 ModemHandler 与 MT 进行通信交互。在地面 RBC 侧，CFM 通过 Capi 接口与 ISDN 网卡进行通信交互。

在 CFM 协议栈中，如果一个 CFM 用户实体

(例如车载 ATP 安全层实体) 想要建立一个与其他 CFM 用户实体的连接，则应提供寻址被呼叫的 CFM 用户 (例如 ETCS\_ID 类型和 ETCS\_ID) 和应用类型的信息，地址信息将被映射为 CFM 建立连接所要求的格式和结构。主叫 TS 用户实体从应用层获得被叫传输地址 (ETCS\_ID 类型和 ETCS\_ID)。地址信息由安全层传至 CFM。CFM 协议栈地址信息映射如图 2 所示。

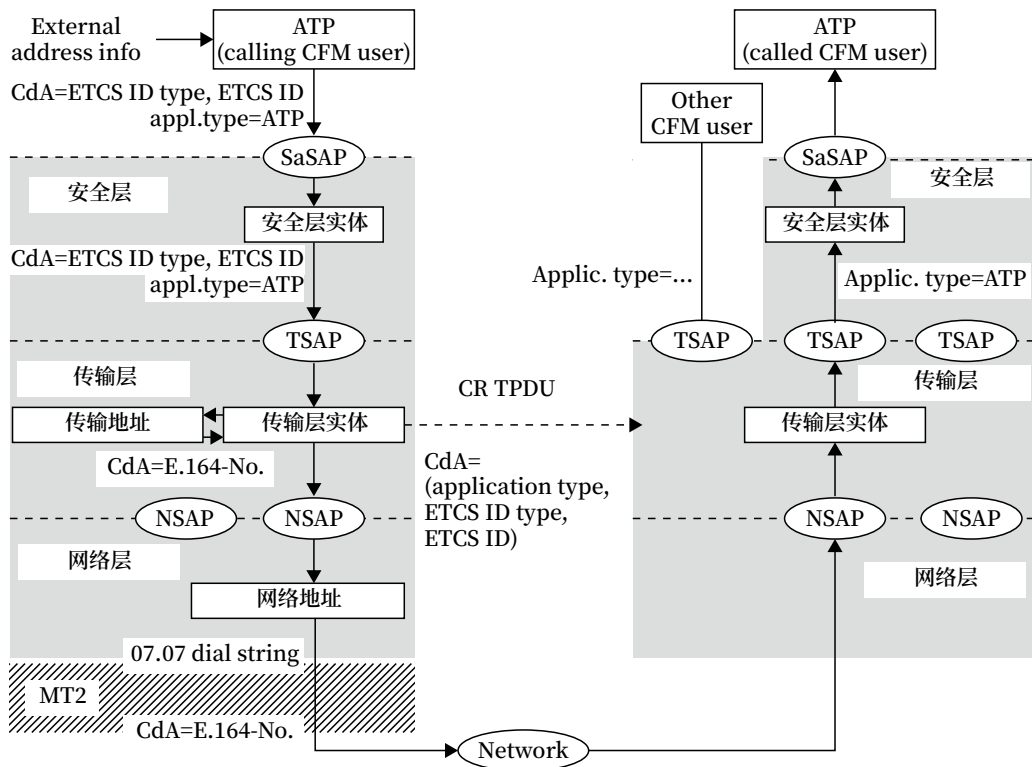


图2 CFM协议栈地址信息映射  
Fig.2 Mapping of address information of CFM protocol stack

### 3 车-地无线通信协议测试方法

为了实现对车-地无线通信 SFM 协议栈和 CFM 协议栈的测试，首先针对协议栈特征，假设对包含  $n$  个对等层的待测协议栈 A 进行测试。具体方法是利用待测协议栈 A 的拷贝或仿真建立与待测协议栈 A 通信的仿真协议栈 B，利用仿真协议栈 B 与待测协议栈 A 进行对等层数据交互，测试相同对等层逻辑是否正确，从而实现完整测试。此外，未测试待测协议栈 A 各层对应用数据的处理逻辑，还需

要考虑从待测协议栈 A 最高对等层的数据注入，协议栈测试原理如图 3 所示。

上述为理想情况，而车-地无线通信 SFM 协

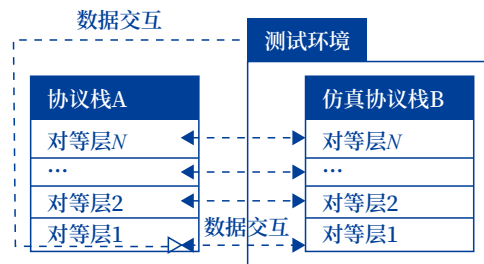


图3 协议栈测试原理  
Fig.3 Testing principles of protocol stack

议栈和 CFM 协议栈是依托于具体设备运行的，实际测试过程可能需要从设备提供的接口进行数据的注入。以车 - 地无线通信系统中的车载侧为例，SFM 协议栈依托于车载 ATP 主控板，CFM 协议栈依托于 RCC 板，电台 MT 通过无线接入 GSM-R 网络与地面设备通信。主控板、RCC 板通过机笼的

SBP 总线通信，RCC 和电台 MT 通过  $I_{GSM-R}$  定义的接口通信。RCC 根据  $I_{GSM-R}$  接口协议与电台通信。因此需要引入该接口对应的协议栈 C 以及协议栈 C 的仿真协议栈 D 来辅助数据注入。作为仿真协议栈 B 和 D，支持拆解至用户关注的对等层来与待测协议栈进行数据交互，该过程示意如图 4 所示。

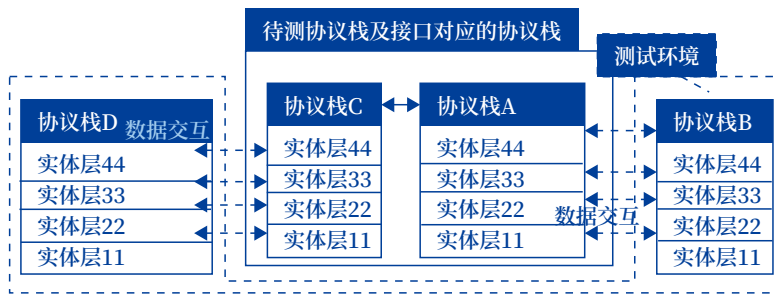


图4 多协议栈测试原理  
Fig.4 Testing principle of multiple protocol stacks

根据以上分析，以测试过程中 RCC 板的 CFM 协议栈为待测协议栈 A，主控板 SFM 协议栈为其相关协议栈 C，则对待测协议栈 A、相关协议栈 C 设计对应的仿真协议栈 B 和 D，车载 RCC 板 CFM 协议栈测试原理如图 5 所示。由于 CFM 协议栈有基于 GSM-R 网络的电路域 CS 和基于 GSM-R 分组无线服务的分组域 PS 两种工作模式，对应的物理层 AT 指令有所区别。另外，在 PS 模式下在传输层 (TCP/IP) 之上引入冗余适配层 (ALE) 进行与安全层功能及接口间的适配，实现安全层使用 X.214 规定的标准原语来访问模拟的 ISO 传输服务，并负责 TCP 连接建立、通道监控及安全信息包与 TCP 流转换等功能。

主控板侧仿真最高对等层为传输层 (TCP)，该层输入数据和反馈数据为 Subset 037 规定的 T 原语数据，主控板侧仿真透传该数据。电台侧仿真最高对等层为物理层，该层输入数据和反馈数据为数据链路层数据，电台侧仿真根据 AT 指令控制与 RCC 建立连接，并进行数据交互。

#### 4 车地设备无线通信协议测试实现

##### 4.1 测试环境

为了模拟车载 CFM 协议栈主控板向待测 RCC 注入数据，接收校验 RCC 反馈至主控板的数据，搭建的测试环境是将主控板侧仿真作为服务端，待测设备作为客户端。待测设备启动后，与测试环境

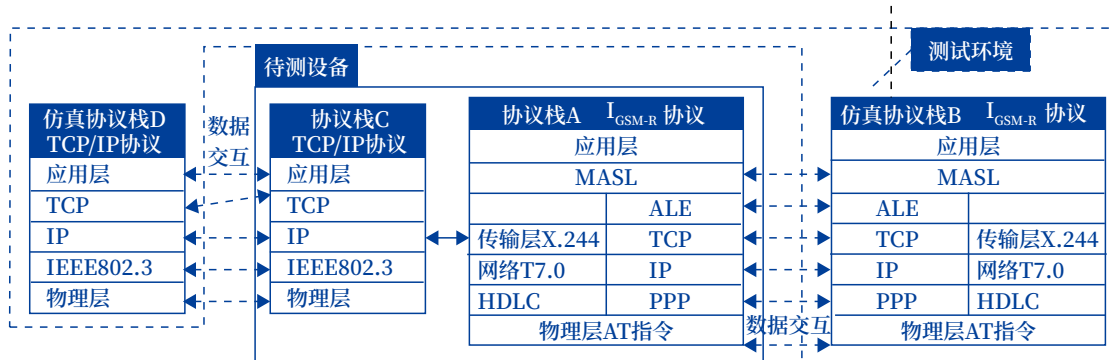


图5 车载RCC板CFM协议栈测试原理  
Fig.5 Testing principles of CFM protocol stack of onboard RCC board

主控板侧仿真建立连接，主控板侧仿真根据脚本模拟主控板侧与 RCC 进行数据交互。同样，为了模拟双电台向待测 RCC 注入数据，接收校验 RCC 反馈至电台的数据，测试环境通过两路 RS-422 串口与待测设备 RCC 接口板连接，可与待测 RCC 交互 AT 指令、电路域数据、分组域数据。车载 CFM 协议栈测试环境及其连接示意如图 6 所示。

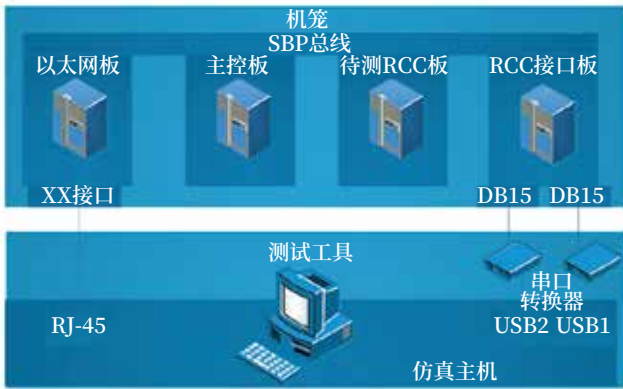


图6 车载CFM协议栈测试环境连接示意  
Fig.6 Connections of test environment of CFM protocol stack of onboard equipment

#### 4.2 测试过程

对车-地无线通信协议栈功能进行验证的测试属于黑盒测试，测试过程包括测试用例的设计、测试脚本的设计、测试执行与结果验证等步骤。测试简要过程如图 7 所示。

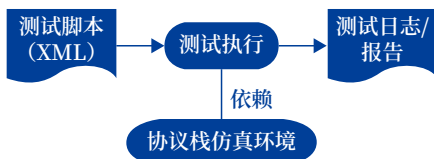


图7 测试过程示意  
Fig.7 Test process

黑盒测试常用等价类划分法、边界值分析法、错误推测法、因果图法等基本方法来设计测试用例。以车载 CFM 协议栈为例，测试用例设计内容包含主控板侧仿真最高对等层传输层 (TCP) 和双电台侧仿真 AT 指令数据内容。

测试脚本通常由“任务”和“状态”组成。任务是一组有序状态的集合，一个脚本可以包含多个任务。状态是控制测试逻辑的基本单元，通过不同状态

之间的有条件跳转控制与待测设备的信息交互流程。状态由动作和迁移构成，其中动作表示当前状态需要进行的操作，迁移表示跳转至目标状态所需的条件。

测试脚本将细化测试用例转换为数据内容，包括数据的编号、本数据发送或被接收到的时间、数据所在协议栈层次、协议数据单元的类型、具体数据单元的子类型、数据传输方向和本消息对应的电台名称等，同时增加校验标记，在该字段取值为 check 时，即该行数据的下一信息帧在收到该行数据后才会发送。另外测试脚本应能实现时间调整，表示当前行数据发送后处理下一行数据的延时。

主控板侧脚本框架主要关注案例中协议数据单元类型字段为“Safety”的数据行，根据此数据生成脚本的任务组、任务、状态、动作、迁移元素以及相关属性取值。电台侧脚本框架主要关注案例中协议数据单元类型字段为“DL”的数据行，根据此数据生成脚本的任务组、任务、状态、动作、迁移元素以及相关属性取值。

当主控板侧和电台侧脚本编制完成后，依赖协议栈仿真执行测试脚本，根据生成的测试日志及记录判定测试结果。

#### 4.3 测试实例

以查询允许网络功能为实例：CFM 协议栈在处理允许网络查询结果时，查询到 2 个允许网络，仅上报本次查询到的 2 个允许网络。

ATP 主控板侧模拟发送查询网络请求，验证车载 RCC 板 CFM 协议栈发送查询允许网络“AT + COPS =?” 的指令。主控板侧脚本编制实例如图 8 所示。

MT 模拟回复 AT 指令“+COPS”，验证车载 RCC 板上报 2 个允许网络 RAILWAY-CMCC-46020; RAILWAY UNICOM-UNICOM2-46001。MT 侧脚本编制实例如图 9 所示。

测试执行后，查看测试日志和报告，结果如图 10 所示。CFM 协议栈在处理允许网络查询结果时查询到 2 个允许网络，仅上报本次查询到的 2 个允许网络 46020 和 46001，与预期一致，测试通过。



- [3] 王同军. 铁路 5G 关键技术分析和路线[J]. 中国铁路, 2020(11): 1-9.  
Wang Tongjun. Key Railway 5G Technology Analysis and Development Route[J]. China Railway, 2020(11): 1-9.
- [4] 谢和欢. 支持 GSM-R 与 LTE-R 通信的双模车载电台技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(8): 53-61.  
Xie Hehuan. Technical Research on Dual-Mode Onboard Radio Supporting both GSM-R and LTE-R Communication[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(8): 53-61.
- [5] 王建敏. 兼容 GSM-R 和 5G-R 互联互通的列控系统无线通信方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(5): 42-46, 99.  
Wang Jianmin. Research on Wireless Communication Scheme of Train Control System Compatible with 5G-R and GSM-R Interoperability[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(5): 42-46, 99.
- [6] 张霞. CTCS-3 无线接口安全功能模块分析与验证[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [7] Behrouz A. Forouzan. TCP/IP 协议簇[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

\*\*\*\*\*

(上接 5 页)

理系统, 实现了以铁路局统一管理, 各级电务人员“云-边”协同进行应答器报文动态运用管理的全流程应答器报文安全管理体系, 保证了列控数据运用管理和工程实施列控关键数据的安全性, 提高了电务核心数据管理效率, 实现铁路信号关键数据全流程周期的智慧管控。同时也为各级电务部门列控系统关键数据的管理提供了思路和方法。

### 参考文献

- [1] 黄旭, 刘中田. 应答器报文编制规则的形式化建模与验证[J]. 铁道学报, 2019, 41(6): 100-106.  
Huang Xu, Liu Zhongtian. Formal Modeling and Verification of Compilation Rules of Balise Telegram[J]. Journal of the China Railway Society, 2019, 41(6): 100-106.
- [2] 张艳宁, 赵会兵, 全宏宇, 等. 应答器报文优选及快速编码方法的研究[J]. 铁道学报, 2015, 37(2): 52-57.  
Zhang Yanning, Zhao Huibing, Quan Hongyu, et al. Research on Optimization and Fast Coding Method of Balise Telegram[J]. Journal of the China Railway Society, 2015, 37(2): 52-57.
- [3] 李斌勇, 韩敏, 孙林夫, 等. 云服务平台多层网络协同控制模型[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(5): 1382-1388.  
Li Binyong, Han Min, Sun Linfu, et al. Multi-Layer Network Collaborative Control System of Cloud Services Platform[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(5): 1382-1388.
- [4] 中国国家铁路集团有限公司. 列控系统应答器应用技术条件: Q/CR 769-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.
- [5] 孟令韬, 张新明, 管伟军, 等. 应答器报文实时组帧技术的研究[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(9): 11-13.  
Meng Lingtao, Zhang Xinming, Guan Weijun, et al. Research of Balise Real-Time Framing Technology[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(9): 11-13.
- [6] 中国国家铁路集团有限公司. 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.



DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.10.007

# 基于5G NR的车联网在铁路智慧工地车辆管理的研究与应用

杨 刚

(中国铁建电气化局集团有限公司北京城市轨道交通工程公司, 北京 100043)

**摘要:** 通过先进的调度与多连接等方案, 基于灵活配置的平台和软件架构以及5G NR的车联网技术, 提供一种对现场车辆有效管控的智慧工地车辆管理系统方案, 以实现铁路施工车辆及驾驶人员的智能管理, 提升应急抢险车辆的作业能力, 也为铁路建设智能化提供更加可靠、安全和高效的实施基础和环境。

**关键词:** 5G; 标准化; 车联网; 铁路智慧工地; 车辆管理

中图分类号: U285.21

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0037-06

## Research and Application of 5G NR V2N in Vehicle Management of Railway Intelligent Construction Site

Yang Gang

(Beijing Urban Rail Engineering Company, China Railway Construction Electrification Bureau Group Co., Ltd., Beijing 100043, China)

**Abstract:** This research makes use of such schemes as advanced dispatching and multi-connection, and builds on a flexibly configured platform and software architecture, as well as the 5G NR based vehicle to everything technology. On this basis, this paper proposes a system scheme of smart construction vehicle management for effective control of on-site vehicles. In this way, it enables the intelligent management of railway construction vehicles and drivers, and improves the operational capability of emergency vehicles. It also provides a more reliable, safer and more efficient implementation basis and environment for intelligent railway construction.

**Keywords:** 5G; standardization; V2N; railway intelligent construction site; vehicle management

### 1 概述

2020年, 中国国家铁路集团有限公司发布《新

时代交通强国铁路先行规划纲要》, 明确加大5G通信网络、大数据、区块链、物联网等新型基础设施建设应用。同时丰富应用场景, 以新一代信息技术与铁路建设深度融合为牵引, 打造现代化铁路智慧体系。

按照前期国内智能高铁系统体系架构模型, 智慧铁路的建设涉及到建设、装备、运营等几个主线开展。

收稿日期: 2022-10-26; 修回日期: 2023-09-21

基金项目: 中国铁建股份有限公司2021年度科研计划项目(2021-C43)

作者简介: 杨刚(1991—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 轨道交通通信施工与研究, 邮箱: shine8855@163.com。

面向智能化建设的方向需求，铁路建设工地的智慧化管理需要满足整体智慧铁路的建设要求。而铁路智慧工地将人工智能、传感技术、虚拟现实等高科技技术植入到建筑、机械、人员穿戴设施、场地进/出关口等各类物体中，并且被普遍互联，形成“物联网”，再与“互联网”整合在一起，实现工程管理体系与工程施工现场的整合。

第五代移动通信技术（5G）具有大带宽、广连接、低时延等优势，不仅可以为现场的人员、环境提供管理手段，还可以通过 5G 新空口（NR）车联网技术为铁路工地上各种作业车辆提供智慧管理手段。与此同时，可实现人与物、物与物的泛在互联，是支撑经济社会数字化、网络化、智能化转型的关键新型基础设施。

## 2 5G特性及场景

5G 新空口协议需要支持各种参数集、新编码、新调制、多流与大规模天线技术，并通过先进的调度与多连接等方案，基于灵活配置的平台和软件架构，以满足不同场景的业务需求。针对连续广域覆盖场景，需要采用大规模天线技术、公共信道波束扫描、高效编码等技术实现大带宽高性能传输。针对低时延高可靠场景，需要采用自包含、Mini-Slot、上行免调度方式来降低空口传输时延，通过 HARQ 快速重传和降低资源碰撞等技术方案提供数据传输的可靠性。针对低时延高可靠场景，可通过对用户面的协议栈架构进行精简，以最少的协议子层完成对数据处理的技术手段来降低业务面时延。针对高频段场景，需要支持大带宽、数模混合波束赋形、多波束扫描等技术实现高传输速率。

5G 典型场景分为增强移动带宽、超可靠低时延通信、海量机器类通信 3 种。

增强移动带宽（eMBB）为现场大量的高清视频监控提供传输通道。借助 5G 大带宽特性，用户可利用高清摄像机的部署实现视频业务的回传，通过地面全景、车载等多种摄像机监管现场车辆及驾驶人员。

超可靠低时延通信（URLLC）网络特性契合车联网技术网联化及智能化的发展方向，该场景对吞吐量、时延和可靠性等功能有严格要求。可为建设工地提供面向智能无人驾驶、远程驾驶等应用场景。能够为用户提供毫秒级的端到端时延和接近 100% 的业务可靠性保证。

海量机器类通信（mMTC）：该场景为现场提供大量的设备连接能力。可以实现现场传感器设备的信息回传，通过大量数据的采集和分析，为车辆的运行提供辅助决策依据。

根据 3GPP 对 5G 相关需求的定义，相关系统指标如表 1 所示。

表1 5G需求定义  
Tab.1 5G requirements definition

指标名	指标值	
峰值数据速率	下行 20 Gbit/s 上行 10 Gbit/s	
时延	用户面时延	4 ms for eMBB 0.5 ms for URLLC
	控制面时延	10 ms
移动中断时间	0 ms	
可靠性	URLLC : 99.999%	
覆盖	164 dB	
用户电池寿命	mMTC : 10 年	
连接数密度	1 000 000 设备 /km <sup>2</sup>	
移动性	500 km/h	

## 3 5G相关标准

### 3.1 eMBB参数集和帧结构

1) 5G NR 的 eMBB 场景下空口无线帧长 10 ms，分为 10 个长度 1 ms 的子帧，采用自包含 (Self-contained) 的时隙结构，时隙长度 0.5 ms，每个时隙内同时包含 DL、GP 和 UL 符号。

2) 系统带宽 100 MHz，子载波间隔 30 kHz，采用 4 096 点 FFT 变换，有效子载波数目 3 264 个。OFDM 符号长度缩短为 LTE 的一半，每个 slot 符号 0 的 CP 包含 352 个采样点，其他符号的 CP 包含 288 个采样点。

3) 每个 PRB 频域包含 12 个 RE，长度为 360 kHz；时域包含 14 个符号，长度为 0.5 ms（1 个 slot）。

100 MHz 全带宽分为 272 个 PRB。

4) 根据不同的上/下行业务负载需求, eMBB 场景支持两种时隙结构。其中, DL-dominant

(D) 时隙包含 10 个 DL 符号, 2 个 GP 和 2 个 UL 符号; UL-dominant (U) 时隙包含 2 个 DL 符号, 2 个 GP 和 10 个 UL 符号, 如图 1 所示。

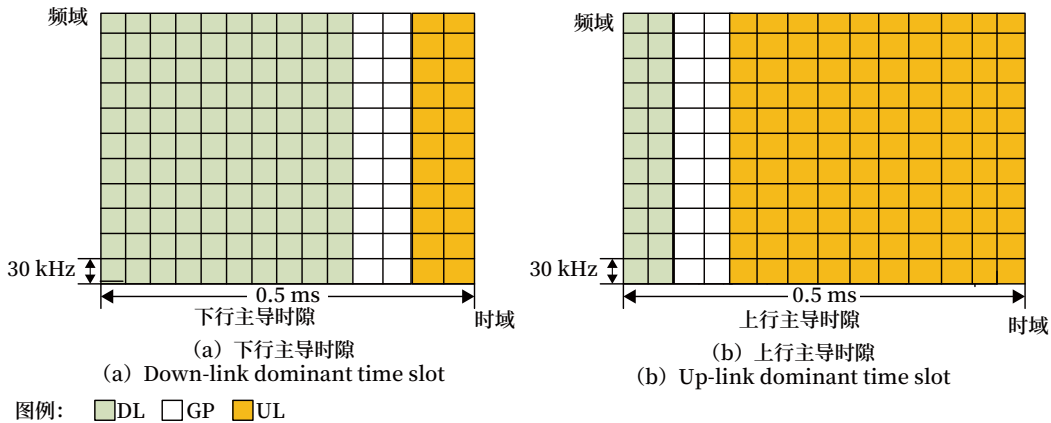


图1 eMBB时隙示意  
Fig.1 eMBB time slot

### 3.2 URLLC参数集和帧结构

基于 ITU 对空口用户面时延的定义, 以下行方向为例, 是从应用层数据包到达基站侧 PDCP 服务数据单元 (SDU) 入口开始, 经过空口的正确传输, 数据包到达终端侧 PDCP 服务数据单元出口, 所经历的单向传输时间。可见, 下行单向空口时延包含基站侧发送处理时延、空口数据传输时延、终端侧数据接收处理时延 3 个环节总耗时。4G 的 LTE 物理层标准定义中, 以 1 ms 子帧为基本处理单元, 如发送端信道编码、速率匹配和交织、资源映射过程, 接收端信道估计时域插值、解速率匹配和解交织及 Turbo 译码等过程。这种子帧级的处理时序无法满足 URLLC 的 0.5 ms 时延指标要求。目前 4G 的空口时延指标在理想情况下超过 4 ms, 因此 5G 设计新型帧结构, 采用短 TTI 传输, 结合快速高效的检测和译码方案等技术手段才能满足空口时延指标。

### 3.3 5G NR车联网标准演进

从 2015 年开始, 3GPP 持续开展有关蜂窝车联网 (Cellular Vehicle-to-Everything, C-V2X) 的技术研究和标准化工作, 在 2018 年 6 月完成了基于 LTE 的 C-V2X 第一阶段研究工作 (R14、R15), 主要面向周期性的基本道路安全类业务等。

伴随着智能汽车行业的快速发展, 2017 年底, 3GPP 又完成了基于 NR 的 5G 标准第一个版本 (R15), 5G 能够提供更加灵活的无线空口设计, 并且支持更加广泛的业务需求。

从 2018 年开始, 3GPP RAN 开启 C-V2X 第二阶段的研究和标准化工作 (R16、R17) 称之为 NR-V2X。2020 年 6 月完成 R16 标准化工作, 通过在直通链路引入高阶调制和空间复用的多天线传输机制, 用以支持更高的传输速率, 同时在直通链路上引入 HARQ 反馈机制提升传输可靠性。在 2022 年完成的 R17 标准中, 主要研究终端节电机制及终端之间资源协调机制, 用以持续提升直通链路的可靠性, 并降低传输时延。

3GPP NR V2X&sidelink 的第一个标准已经在 Rel-16 中, 由 Work Item “5G V2X with NR sidelink” 完成, 其中包括 NR sidelink 在内的解决方案主要针对 V2X, 同时在满足服务要求的情况下也可用于公共安全。

Rel-17 NR sidelink 在 Rel-16 NR V2X 的基础上继续进行增强。根据 Rel-17 sidelink 增强 WID, 主要为增强可靠性和降低延迟两个方面。

增强可靠性和降低时延方面的研究允许在更广泛的操作场景中支持 URLLC 类型的 Sidelink 用例。

Sidelink 的系统级可靠性和延迟性能受无线信道状态和提供的负载等通信条件影响，而 Rel-16 NR V2X 在某些条件下（如当信道相对繁忙时）在实现高可靠性和低延迟方面有局限性。为了在这样的通信条件下不断提供需要高可靠性和低延迟的用例，Rel-17 将提供增强可靠性和降低延迟的解决方案。

基于 5G NR 的车联网技术，为了满足更高级的业务需求，引入 4 类应用：车辆编队行驶、半 / 全自动驾驶、传感器扩展和远程驾驶。

车辆编队行驶能够支持车辆动态组成车队进行行驶，所有编队行驶的车辆能够从头车获取信息，使得编队行驶的车辆之间间距更小，从而提高交通的效率，并且降低油耗。

半 / 全自动驾驶包括半自动驾驶和全自动驾驶，可以通过邻近车辆之间共享感知数据，并进行驾驶策略的协调和同步，要求每个车辆给临近的车辆共享自己的驾驶意图。

传感器扩展要求车辆之间、车辆与路侧单元（RSU）之间、车辆与行人、以及车辆与 V2X 应用服务器之间能够实现车载传感器或者车载动态视频信息的交互，从而获得更全面的当前道路的环境信息。

远程驾驶要求通过远程的驾驶员或者 V2X 应用服务器对远程车辆进行操控和驾驶，这种应用需要更小的时延和更可靠的通信服务提供支撑。

## 4 智慧工地车辆管理架构设计

### 4.1 车辆通信方式

5G 车联网技术主要可以实现两种通信方式，即直通通信方式（PC5 接口）和蜂窝通信（Uu 接口）。车联网通信方式如图 2 所示。

直通通信方式实现车与车之间（Vehicle-to-Vehicle, V2V）、车与路之间（Vehicle-to-Infrastructure, V2I）、车与人之间（Vehicle-to-Pedestrian, V2P）短距离的低时延高可靠通信，支持道路安全类实时应用的近程数据交互，采用基站集中控制或终端间分布式信道接入控制、资源管理和干扰控制方法，在蜂窝覆盖范围内、覆盖范围外

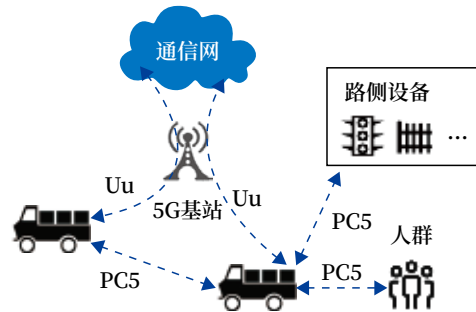


图2 车联网通信架构示意  
Fig.2 V2N communication architecture

时均可工作，即可以独立于蜂窝移动网络工作。

蜂窝通信方式通过基站转发实现车与网络之间（Vehicle-to-Network, V2N）的长距离、大带宽通信，支持远程信息服务，采用基站集中式控制方法，只能在蜂窝覆盖范围内工作。

C-V2X 通过终端直通通信和蜂窝通信两者间的高效协同，为多样化的车联网应用提供不同通信要求。

### 4.2 车辆管理架构

传统铁路工地通信系统需要车辆在蜂窝网络覆盖的情况才能正常工作，而对于某些场景下，当车辆运行到偏远无网络覆盖地区时，依赖于蜂窝网络覆盖的方式无法正常工作。而 5G 车联网系统可以在无蜂窝网络覆盖的情况下，以直通通信方式，应用在无蜂窝网络覆盖的特殊场景下，增加蜂窝网车辆通信的可靠性和冗余度。利用终端和网络的能力实现工地车辆管理、报警管理、指挥调度和司机管理等功能。工地车辆管理架构示意如图 3 所示。

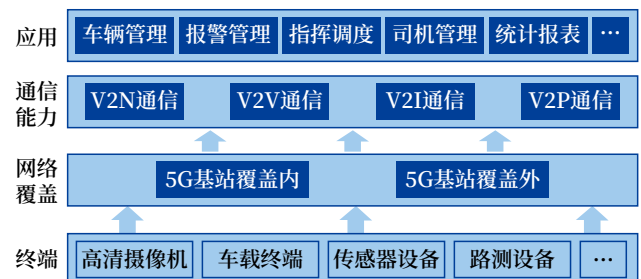


图3 工地车辆管理架构示意  
Fig.3 Construction vehicle management architecture

### 4.3 系统功能

车辆管理功能可实现施工车辆实时车况查看、

故障诊断、定位跟踪、实时路况和轨迹回放等功能。

报警管理功能可实现路线偏离告警、危险区域告警、超速告警、驾驶行为告警和车辆故障告警等功能。

智慧调度功能可实现车辆派遣、用车记录、进/出工地记录等功能。

司机管理功能可实现司机档案管理、工地考勤管理、驾驶行为分析和效率分析等功能。

统计报表功能可实现车辆使用时间统计、油耗分析、异常形势统计等功能。

## 5 车联网在智慧工地应用价值

### 5.1 保障车辆行驶安全

车辆在施工工地行驶时，需要对周围环境、天气、线路等数据进行采集分析，提升车辆全面感知能力，还需要对其他车辆、临近铁路线的火车等进行提示预警，降低施工车辆在工作过程中发生意外事故的概率。5G NR 车联网技术进一步为铁路通信的智能化提供条件，提升车辆的感知能力，辅助提升车辆应对突发情况的能力，降低意外事故发生，保障车辆行驶安全。

### 5.2 对现场车辆有效管控

对于铁路施工场景，需要用到大量的车辆进行辅助建设，从重型运输车辆到挖掘机、推土机。各种车辆需要协调一致，有效管理，才能在避免现场发生生产事故的同时提高生产效率。各种车辆需要保持与邻近车辆以及路侧设备之间的通信，传输自身的状态信息至控制中心以保证自身的安全运行。5G NR 车联网技术可以实现车与车之间直接通信的需求，提升现场各种车辆的通信能力，满足现场工地智慧化管理需求。

### 5.3 对车辆驾驶员有效管控

车辆在行驶过程中，不仅需要对车辆状况进行有效管控，同时对司机的驾驶行为也需要进行有效管控，包括驾驶员身体健康情况和危险驾驶行为的监控。结合 5G NR 车联网、视频监控、图像分析等技术实现驾驶员信息的采集，针对异常行为进行报警，加强人员管理，全面提升安全管理能力。

### 5.4 提升铁路应急抢险能力

当现场出现紧急情况，需要应急指挥车辆和救援车辆抢险救灾时，5G NR 车联网首先为作业车辆提供现场感知能力，对现场复杂环境协同感知，避免次生灾害的发生。同时可以利用远程驾驶等手段辅助现场车辆完成特殊危险环境下的作业，在保证作业人员安全的情况下提升抢险能力。

## 6 结论

5G 车联网技术以 5G 网络为依托，具有支持列车之间的直接通信的能力，且有传输速率高、稳定性高、抗干扰能力强、传输时延低等特点，可以实现铁路施工车辆及驾驶人员的智能管理、提升应急抢险车辆的作业能力。而 5G 车联网技术的快速发展也会为铁路智能化运行提供更加可靠、安全和高效的实施基础和环境。

### 参考文献

- [1] 陈苏, 赵晟. 新一代铁路通信系统演进探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(8): 45-50.  
Chen Su, Zhao Sheng. Evolution of New Generation Railway Communication System [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 45-50.
- [2] 邱恭安, 包志华, 章国安, 等. 高稳定被动群集车联网连通性研究 [J]. 通信学报, 2016, 37(11): 42-48.  
Qiu Gong'an, Bao Zhihua, Zhang Guoan, et al. Connectivity Analysis of Passive Cluster with High Stability in Vehicular Wireless Network [J]. Journal on Communications, 2016, 37(11): 42-48.
- [3] 王良民, 刘晓龙, 李春晓, 等. 5G 车联网展望 [J]. 网络与信息安全学报, 2016, 2(6): 1-12.  
Wang Liangmin, Liu Xiaolong, Li Chunxiao, et al. Overview of Internet of Vehicles for 5G [J]. Chinese Journal of Network and Information Security, 2016, 2(6): 1-12.

- [4] 陈杨, 薄明亮. 基于实时车载导航系统中的电子地图若干关键技术研究 [J]. 电子技术与软件工程, 2016 (6): 247.  
Chen Yang, Bo Mingliang. Research on Some Key Technologies of Electronic Map Based on Real-Time Vehicle Navigation System[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2016(6): 247.
- [5] 刘宗巍, 匡旭, 赵福全. 中国车联网产业发展现状、瓶颈及应对策略 [J]. 科技管理研究, 2016, 36 (4): 121-127.  
Liu Zongwei, Kuang Xu, Zhao Fuquan. The Current Situation, Problems and Countermeasures in Chinese Internet of Vehicles Industrialization Development[J]. Science and Technology Management Research, 2016, 36(4): 121-127.
- [6] 乔宏飞, 李刚, 陈洋. 车联网系统架构关键技术研究 [J]. 电子制作, 2018 (11): 41-42, 48.
- [7] 陈山枝. 蜂窝车联网 (C-V2X) 及其赋能智能网联汽车发展的辩思与建议 [J]. 电信科学, 2022, 38 (7): 1-17.  
Chen Shanzhi. Critical Thinking and Suggestions on C-V2X with the Developments of Intelligent Connected Vehicles[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(7): 1-17.
- [8] 吴志勇, 鞠传香. 一种采用 WUSB 的物流车辆油耗监控系统 [J]. 自动化仪表, 2013, 34 (3): 25-27.  
Wu Zhiyong, Ju Chuanxiang. WUSB-Based Vehicle Fuel Consumption Monitoring System for Logistics Enterprises[J]. Process Automation Instrumentation, 2013, 34(3): 25-27.
- [9] 胡倩, 吴鸿启, 张晓文, 等. 物联网技术在客运索道管理中的应用与发展趋势 [J]. 起重运输机械, 2022 (13): 69-70.  
Hu Qian, Wu Hongqi, Zhang Xiaowen, et al. Application and Development Trend of Internet of Things Technology in Passenger Cableway Management[J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2022(13): 69-70.
- [10] 林小沪. 分析物联网技术在智能交通中的应用 [J]. 低碳世界, 2021, 11 (1): 167-168.  
Lin Xiaolu. The Application of Internet of Things Technology in Intelligent Transportation is Analyzed[J]. Low Carbon World, 2021, 11(1): 167-168.
- [11] 赵伟, 刘言菊. 物联网开关在智慧交通中的应用浅析 [J]. 中国交通信息化, 2020 (S1): 52-53.  
Zhao Wei, Liu Yanju. Analysis on the Application of Internet of Things Switch in Intelligent Transportation[J]. China ITS Journal, 2020(S1): 52-53.
- [12] 赵耀, 冯敬然, 周敏. 物联网技术在智能铁路客站的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (3): 44-49  
Zhao Yao, Feng Jingran, Zhou Min. Application of IoT Technology in Intelligent Railway Passenger Station[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 44-49.
- [13] 马祥. 5G 超级物联网技术赋能智慧交通体系建设分析 [J]. 电子技术与软件工程, 2021 (6): 10-11.  
Ma Xiang. Analysis on the Construction of Intelligent Transportation System Empowered by 5G Super Internet of Things Technology[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2021(6): 10-11.
- [14] 柴韬. 无线感知在交通物联网中的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2021 (3): 14-15.  
Chai Tao. Application of Wireless Sensing in Traffic Internet of Things[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2021(3): 14-15.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.10.008

# MSTP+VRRP在编组站中的设计与实现

张峻赫

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 在编组站网络的规划设计中, 不仅要保证网络的可靠性, 还要考虑到链路带宽的利用率, 达到既实现冗余切换功能又能满足负载分担的目的。针对单一网关部署、生成树协议(STP)和快速生成树协议(RSTP)已经不能满足编组站的网络要求的问题, 结合编组站综合自动化系统(CIPS)在宝鸡东站的建设实施, 提出采用MSTP+VRRP双协议联动的方法, 实现冗余切换和负载分担, 保证编组站网络的高可靠性和充分的资源利用率。

**关键词:** MSTP; VRRP; 综合自动化; CIPS

中图分类号: U284.67+3

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0043-05

## Design and Implementation of MSTP+VRRP Technology in Marshaling Yard

Zhang Junhe

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

**Abstract:** In the network planning and design of marshaling yards, it is necessary to not only ensure network reliability, but also consider the utilization rate of link bandwidth, so as to achieve both redundancy switching and load sharing. Single gateway deployment, Spanning Tree Protocol (STP) and Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) can no longer meet the network requirements of marshaling yards. Building on the construction and implementation situation of Computer Integrated Process System (CIPS) in Baoji East Station, this paper proposes a double-protocol interaction method based on MSTP+VRRP technology to achieve redundancy switching and load sharing, and ensure high network reliability and full utilization of network resources in marshaling yards.

**Keywords:** MSTP; VRRP; integrated automation; CIPS

### 1 概述

随着编组站不断发展, 规模不断扩大, 编组站

信息化的程度也越来越高, 编组站网络的稳定性显得尤为重要。为保证网络稳定性, 增强网络健壮性, 实现网络高效性, 在对机房关键设备采用双机冗余、硬件备份的基础上, 需要采用相应的协议技术, 从而进一步提高对网络的管理与控制, 实现负载均衡和冗余切换。

收稿日期: 2022-07-04; 修回日期: 2023-08-16

基金项目: 国家重点研究计划项目(2022YFB4300500)

作者简介: 张峻赫(1996—), 男, 助理工程师, 本科, 主要研究方向: CIPS编组站综合自动化系统, 邮箱: 1176062231@qq.com。

## 2 硬件设备的冗余技术

以计算机为例，其服务器、电源等重要设备，基本采用主/备机模式。正常工作时，主/备服务器同时工作，互为备用，电源也是如此。遇到设备掉电或者硬件故障等特殊情况，程序自动迁移至正常的机器上运行，确保系统平稳运行。

## 3 编组站网络协议的选择

### 3.1 多生成树协议 (Multiple Spanning Tree Protocol, MSTP)

在宝鸡东编组站的网络中，大多为以太网交换链路。为保证编组站网络的稳定性，采用冗余备份的方式，在各个设备之间部署多条物理链路，来减少单点故障对网络的影响。由于部署了多条物理链路并划分为主/备链路，导致编组站网络中形成环路。而网络环路会引发广播风暴和 MAC 地址表震荡等问题，导致用户通信质量差，甚至通信中断。

为了避免因交换网络存在环路而导致的网络问题，提出了 3 种解决方案。

#### 1) 采用生成树协议 (Spanning Tree Protocol, STP)

STP 是一个用于局域网中消除环路的协议，通过将部分冗余链路强制为阻塞状态，其他链路处于转发状态，将环形网络结构修剪成无环路的树形网络结构，可实现消除环路。当处于转发状态的链路不可用时，STP 重新配置网络，并激活合适的备用链路状态，恢复网络连通性。

虽然 STP 可以破除网络中的环路，但随着局域网规模的不断增长，STP 拓扑收敛速度慢的问题逐渐凸显。一旦网络中拓扑结构发生变化，例如发生某链路中断或接口异常 Down 等情况，报文是根据 MAC 地址进行转发，而 MAC 地址的老化时间默认为 5 min，如果不能及时通知上游设备，则可能会导致上游设备的报文在这段时间内一直向一个不可达的链路发送，导致用户通信中断，这是编组站网络中所不能允许的，因此提出了第二种方案。

#### 2) 采用快速生成树协议 (Rapid Spanning Tree Protocol, RSTP)

RSTP 是对 STP 进行了修改和补充，通过对端口状态的重新划分、修改配置网桥协议数据单元 (Bridge Protocol Data Unit, BPDU) 的处理方式等手段，解决了 STP 收敛速度慢的问题。

虽然 RSTP 消除了局域网内的环路，对网络拓扑可以进行快速收敛，但是在测试中发现：RSTP 同一局域网内，所有 VLAN 共享同一生成树，链路利用率低，被阻塞的链路无法承载流量，造成部分 VLAN 报文无法转发。RSTP 不能够满足编组站对于网络互联互通的基本需求，也无法实现流量的负载分担，造成带宽的浪费，于是提出了第三种解决方案。

#### 3) 采用多生成树协议

MSTP 兼容 STP 和 RSTP，既消除了局域网内的环路，又实现了快速收敛。MSTP 把一个交换网络划分成多个域，每个域叫做一个 MST 域 (Multiple Spanning Tree Region, MST Region)。每个域内形成多棵相互独立的生成树，每棵生成树叫做一个多生成树实例 (Multiple Spanning Tree Instance, MSTI)。通过将 VLAN 映射到 MSTI 中，把 VLAN 和 MSTI 紧密连接起来，其中每个 VLAN 只能对应一个 MSTI，一个 MSTI 可以包括多个不同 VLAN。从而实现 VLAN 间的互联互通，使得不同 VLAN 的流量沿着各自的路径转发，实现流量负载均衡，MSTP 满足了编组站网络的需求。

### 3.2 虚拟路由冗余协议 (Virtual Router Redundancy Protocol, VRRP)

在宝鸡东编组站网络规划的时候，考虑到如果网络内部只有单一网关，当网关设备发生故障的时候，以故障设备为网关的主机无法与外部通信，造成业务流量上的中断。如果通过部署多网关的方式实现网关备份，可能会导致网关间地址冲突或者主机会频繁切换网络通信出口，也不符合编组站网络的要求。



而 VRRP 将多台路由设备结合起来，共同组成一个虚拟路由设备，将虚拟路由设备的 IP 地址，作为用户与外部通信的网关。如果网关设备发生故障，通过 VRRP 协议将冗余设备选举为新的网关设备，保证网络正常通信。同时 VRRP 可以实现多台设备同时承担业务流量，从而减轻主用设备上数据流量的承载压力，在路由设备之间实现负载均衡。

VRRP 不仅实现了冗余备份的功能，也实现了多网关负载分担功能。

#### 4 编组站网络协议配置的实现

结合编组站综合自动化系统 (CIPS) 在宝鸡东站的实际组网应用，对 MSTP+VRRP 在编组站网络的冗余设计及实现方法进行描述，MSTP+VRRP 组

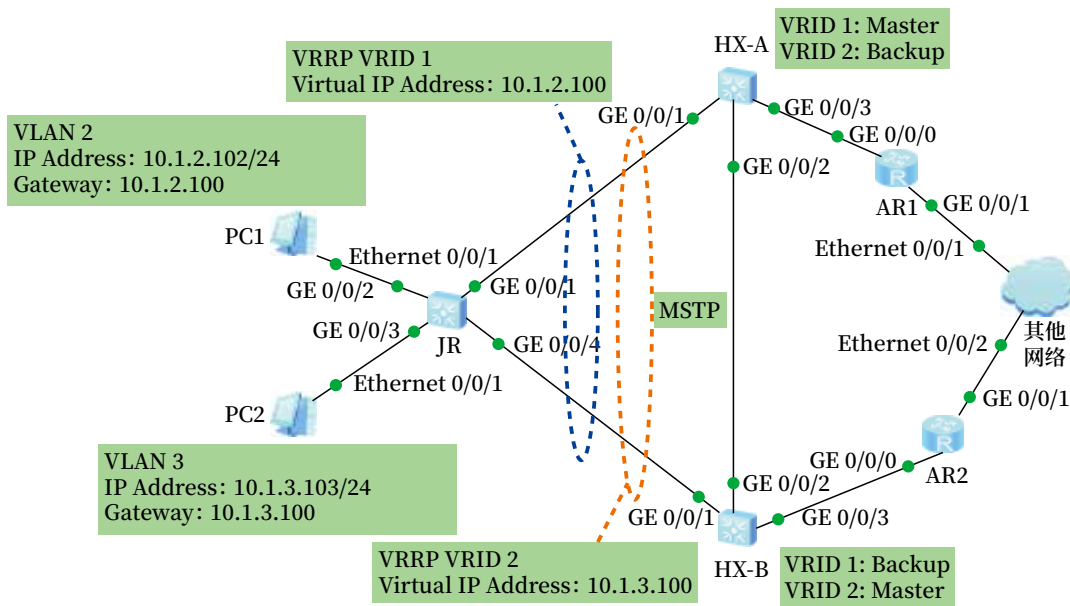


图1 MSTP+VRRP组合组网示意

Fig.1 Composite network based on MSTP+VRRP technology

合组网示意如图 1 所示。

##### 4.1 网络结构

PC1 和 PC2 处于不同网段，通过接入层交换机 (JR) 接入系统网络中，接入层交换机 (JR) 通过双上行链路连接核心层交换机 (HX-A) 和核心层交换机 (HX-B) 与其他网络进行通信。系统内部署了冗余链路，导致系统网络中出现环路，为避免环路引起广播风暴和 MAC 地址表震荡等问题，决定在网路中部署 MSTP 用于解决环路问题。通过 MSTP 阻塞二层网络中的冗余链路，用来消除网络中的环路。

同时在核心层交换机 (HX-A) 和核心层交换机 (HX-B) 上采用 VRRP, PC1 以核心层交换机 (HX-A) 为默认网关与其他网络进行通信，将核心层交换机 (HX-B) 作为网关的备份；PC2 以核心层交换

机 (HX-B) 为默认网关与其他网络进行通信，将核心层交换机 (HX-A) 作为网关的备份，以实现可靠性和流量的负载分担。

##### 4.2 主要配置

配置主机 PC1 的缺省网关为 10.1.2.100，配置主机 PC2 的缺省网关为 10.1.3.100，具体 IP 地址配置如图 1 中网络拓扑所示。HX-A、HX-B、JR 交换机主要进行了以下几个方面的配置。

- 1) 配置 MSTI2、MSTI3 的根桥与备份根桥；
- 2) 配置 MST 域；
- 3) 配置端口路径开销计算方法；
- 4) 创建 VRRP 备份组；
- 5) 划分相应 VLAN 及端口保护。

##### 4.3 验证与结论

- 1) MSTP 配置验证与分析

配置完成后，等待网络稳定，执行端口查看指令，验证配置，结果如图 2 ~ 4 所示。

通过图 2 ~ 4 可以看出。

在 MST2 中，HX-A 的端口 GE0/0/1 和 GE0/0/2

为指定端口，HX-A 为 MST2 根桥。HX-B 的端口 GE0/0/1 是指定端口，端口 GE0/0/2 是根端口。JR 的端口 GE0/0/1 在 MST2 中为根端口，端口 GE0/0/4 是 Alternate 端口（根端口的备份端口）。

```
<HX-A>dis stp brief
```

MSTID	Port	Role	STP State	Protection
0	GigabitEthernet0/0/1	DESI	DISCARDING	ROOT
0	GigabitEthernet0/0/2	ROOT	FORWARDING	NONE
0	GigabitEthernet0/0/3	DESI	FORWARDING	NONE
2	GigabitEthernet0/0/1	DESI	FORWARDING	ROOT
2	GigabitEthernet0/0/2	DESI	FORWARDING	NONE
3	GigabitEthernet0/0/1	DESI	FORWARDING	ROOT
3	GigabitEthernet0/0/2	ROOT	FORWARDING	NONE

图2 HX-A端口类型  
Fig.2 HX-A port types

```
<HX-B>dis stp brief
```

MSTID	Port	Role	STP State	Protection
0	GigabitEthernet0/0/1	DESI	FORWARDING	ROOT
0	GigabitEthernet0/0/2	DESI	FORWARDING	NONE
0	GigabitEthernet0/0/3	DESI	FORWARDING	NONE
2	GigabitEthernet0/0/1	DESI	FORWARDING	ROOT
2	GigabitEthernet0/0/2	ROOT	FORWARDING	NONE
3	GigabitEthernet0/0/1	DESI	FORWARDING	ROOT
3	GigabitEthernet0/0/2	DESI	FORWARDING	NONE

图3 HX-B端口类型  
Fig.3 HX-B port types

```
<JR>dis stp brief
```

MSTID	Port	Role	STP State	Protection
0	GigabitEthernet0/0/1	DESI	FORWARDING	NONE
0	GigabitEthernet0/0/2	DESI	FORWARDING	BPDU
0	GigabitEthernet0/0/3	DESI	FORWARDING	BPDU
0	GigabitEthernet0/0/4	ROOT	FORWARDING	NONE
2	GigabitEthernet0/0/1	ROOT	FORWARDING	NONE
2	GigabitEthernet0/0/2	DESI	FORWARDING	BPDU
2	GigabitEthernet0/0/4	ALTE	DISCARDING	NONE
3	GigabitEthernet0/0/1	ALTE	DISCARDING	NONE
3	GigabitEthernet0/0/3	DESI	FORWARDING	BPDU
3	GigabitEthernet0/0/4	ROOT	FORWARDING	NONE

图4 JR端口类型  
Fig.4 JR port types

在 MST3 中，HX-B 的端口 GE0/0/1 和 GE0/0/2 为指定端口，HX-B 为 MST3 根桥。HX-A 的端口 GE0/0/1 是指定端口，端口 GE0/0/2 是根端口。JR 的端口 GE0/0/4 在 MST3 中为根端口，端口 GE0/0/1 是 Alternate 端口（根端口的备份端口）。

由此可见 MSTP 通过在实例中阻塞特定端口，使不同 VLAN 的流量沿着各自的路径转发，实现流量的负载分担，充分利用了链路带宽。如果 JR 的端口 GE0/0/1 发生故障，端口 GE0/0/4 会成为根端

口，VLAN2 的流量会通过端口 GE0/0/4 进行转发；当 JR 的端口 GE0/0/4 故障时，端口 GE0/0/1 会成为根端口，VLAN3 的流量会通过端口 GE0/0/1 进行转发，实现冗余备份的功能，保证了网络的可靠性，由此可见 MSTP 满足了编组站网络的需求。

## 2) VRRP 配置验证与分析

配置完成后，执行 VRRP 查看指令，进行 VRRP 的配置验证，结果如图 5 所示。

由图 5 可以看出，HX-A 在备份组 1 中作为

```

<HX-A>dis vrrp
Vlanif2 | Virtual Router 1
State : Master
Virtual IP : 10.1.2.100
Master IP : 10.1.2.102
PriorityRun : 120
PriorityConfig : 120
MasterPriority : 120
Preempt : YES Delay Time : 20 s
TimerRun : 1 s
TimerConfig : 1 s
Auth type : NONE
Virtual MAC : 0000-5e00-0101
Check TTL : YES
Config type : normal-vrrp
Create time : 2022-07-07 08:43:16 UTC-08:00
Last change time : 2022-07-07 08:43:25 UTC-08:00

Vlanif3 | Virtual Router 2
State : Backup
Virtual IP : 10.1.3.100
Master IP : 10.1.3.103
PriorityRun : 100
PriorityConfig : 100
MasterPriority : 120
Preempt : YES Delay Time : 0 s
TimerRun : 1 s
TimerConfig : 1 s
Auth type : NONE
Virtual MAC : 0000-5e00-0102
Check TTL : YES
Config type : normal-vrrp
Create time : 2022-07-07 08:43:16 UTC-08:00
Last change time : 2022-07-07 08:44:45 UTC-08:00

<HX-B>dis vrrp
Vlanif2 | Virtual Router 1
State : Backup
Virtual IP : 10.1.2.100
Master IP : 10.1.2.102
PriorityRun : 100
PriorityConfig : 100
MasterPriority : 120
Preempt : YES Delay Time : 0 s
TimerRun : 1 s
TimerConfig : 1 s
Auth type : NONE
Virtual MAC : 0000-5e00-0101
Check TTL : YES
Config type : normal-vrrp
Create time : 2022-07-07 08:44:18 UTC-08:00
Last change time : 2022-07-07 08:44:23 UTC-08:00

Vlanif3 | Virtual Router 2
State : Master
Virtual IP : 10.1.3.100
Master IP : 10.1.3.103
PriorityRun : 120
PriorityConfig : 120
MasterPriority : 120
Preempt : YES Delay Time : 20 s
TimerRun : 1 s
TimerConfig : 1 s
Auth type : NONE
Virtual MAC : 0000-5e00-0102
Check TTL : YES
Config type : normal-vrrp
Create time : 2022-07-07 08:44:18 UTC-08:00
Last change time : 2022-07-07 08:44:44 UTC-08:00

```

图5 VRRP配置结果

Fig.5 VRRP configuration results

Master 设备，在备份组 2 中作为 Backup 设备。HX-B 在备份组 1 中作为 Backup 设备，在备份组 2 中作为 Master 设备。若 HX-A 发生故障时，HX-B 会成为备份组 1 的 Master，承担备份组 1 的业务流量；若 HX-B 发生故障，HX-A 会成为备份组 2 的 Master，承担备份组 2 的业务流量。可见 VRRP 不仅实现了冗余备份的功能，也实现了多网关负载分担功能，满足了编组站网络的基本需求。

## 5 结束语

随着编组站的不断发展，网络可靠性和安全性越来越重要，采用 MSTP 和 VRRP 双协议联动的方法，既保证了主/备切换的安全可靠，又实现了流量的负载分担，保证了编组站网络的稳定性，增强了编组站网络的健壮性，实现了编组站网络的高效性。

### 参考文献

[1] 苏进胜, 郑开涛, 周伟. 园区网中负载分担和可靠性保障实验分析 [J]. 网络安全技术与应

用, 2021 (5): 2-5.

Su Jinsheng, Zheng Kaitao, Zhou Wei. Experimental Analysis of Load Sharing and Reliability Guarantee in Campus Network[J]. Network Security Technology & Application, 2021(5): 2-5.

[2] 刘雪梅. 构建高可用和高可靠企业局域网络的实践研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2021, 33 (11): 206-208.

Liu Xuemei. Research on Building a Highly Available and Highly Reliable Enterprise Local Area Network[J]. China Computer & Communication, 2021, 33(11): 206-208.

[3] 李巍. 仿真软件在计算机网络教学中的应用 [J]. 无线互联科技, 2019, 16 (22): 41-46.

Li Wei. Application of Simulation Software in Computer Network Teaching[J]. Wireless Internet Technology, 2019, 16(22): 41-46.

[4] 郭能华. 基于 MSTP+VRRP 双核心技术的企业网络冗余设计与实现 [J]. 中国管理信息化, 2016, 19 (12): 54-55.

(下转 62页)

# 基于AOP的动态数据翻译框架

张 舒

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 软件市场国际化进程不断加快, 动态数据翻译工作日益重要。设计一种通用动态数据翻译框架, 采用 AOP 的切面技术进行翻译功能的织入, 自定义注解用于标记具有翻译需求的方法和字段, 使用翻译内容和唯一键值的方式满足交互数据的唯一性, 双向翻译功能保证翻译与业务解耦。此方案已经实现并且应用到了海外铁路信息项目, 满足多语言的翻译需求, 且其可移植性和高可复用性极大提高开发效率。

**关键词:** AOP; 动态数据; 翻译框架; 国际化

中图分类号: TP311

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0048-04

## Translation Framework of Dynamic Data Based on AOP

Zhang Shu

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

**Abstract:** As the internationalization of the software market is accelerating, the translation of dynamic data is increasingly important. In the general-purpose translation framework of dynamic data designed in this paper, the following methods are adopted. The aspect-oriented technology AOP is used to weave the translation function. The customized annotations are used to mark the methods and fields with translation requirements. The translation contents and unique key values are used to meet the uniqueness requirement of interactive data. The two-way translation function is used to ensure the decoupling between translation and services. The proposed translation framework has been implemented and applied to railway information system projects in the overseas market. It not only meets the needs of multilingual translation, but also greatly improves the development efficient thanks to its portability and high reusability.

**Keywords:** AOP; dynamic data; translation framework; internationalization

### 1 动态数据翻译概况

目前越来越多的项目有了国际化需求, 国际化

主要是指根据语言选择, 显示符合不同国家阅读习惯的页面和数据。国际化功能不仅需要将前台界面固定使用的文本元素进行翻译, 对于程序动态产生的数据也需要进行翻译展示。针对固定文本信息的翻译, 可以使用通用的 `i18n` 组件, 根据用户当前选择语言类型, 从语言配置文件中提取相应的内容。后台数据

收稿日期: 2022-05-05; 修回日期: 2023-09-07

作者简介: 张舒 (1990—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路运输指挥调度, 邮箱: zhangshu@crscd.com.cn.

的翻译功能，目前主流方案主要有以下两种。

使用翻译网站提供的在线翻译 api。这种方式不需要自备翻译数据集，方便灵活。但是当需要前后台交互并涉及到业务逻辑时，虽然可以将前台输入内容进行反向翻译统一成同一种语言内容，但是无法保证传递给逻辑业务数据内容的唯一可识别性。因此该方法仅适用于只展示动态数据，不对动态数据进行业务逻辑的情况。此外，正常网络访问也是使用此方法的必备条件。

构建数据字典，包括键值及对应的翻译语言内容。前后台交互及后台业务使用键值，前台显示时使用翻译内容。此方案完美解决了输入内容唯一可识别的需求，但是需要将待翻译的字段扩展为键值和翻译内容两个字段。这种方式要在程序设计时就考虑进去，如果是在业务开发完成或部分完成后增加，需要重新梳理并修改前后台数据结构，增大了开发工作量。

基于以上情况，因此需要设计一种易于配置并且具有高可复用性的框架实现动态数据翻译工作。

## 2 翻译框架设计

### 2.1 总体设计

动态数据翻译框架设计如图 1 所示。

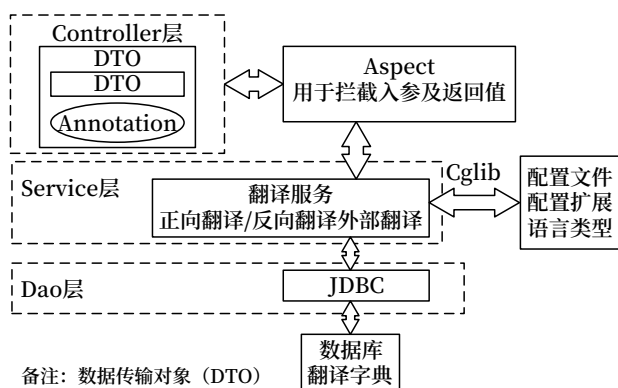


图1 翻译框架设计  
Fig.1 Translation framework design

此框架设计遵循分层原则，划分不同层的功能职责。其中 Aspect 用于对请求的参数及返回值拦截，调用翻译服务进行字段翻译更新数据内容；

Service 层（服务层）提供翻译服务，承担该框架的主要业务；Dao 层（数据访问层）实现数据持久化功能，与数据源交互。框架内默认设置翻译服务包括中文、英文，如需扩展语言类型，使用时需要填写在配置文件中并更新数据库结构及内容。此功能是通过使用 Cglib 动态扩展 java 类及其接口实现。应用此框架，后台接收到请求后的运行时序如下。

- 1) 解析请求的语言类型；
- 2) 具有入参翻译标签的方法进行入参结构扫描，国际化功能处理成统一可识别键值；
- 3) 核心业务逻辑处理；
- 4) 具有返回值翻译标签的方法进行返回值结构扫描，国际化功能处理成翻译后的内容；
- 5) 返回替换翻译值后的响应内容。

应用此方案，基于动态数据翻译的请求 http 请求过程如图 2 所示，对于 B/S 架构的前台而言，仅需在 http 请求头中增加语言类型属性。

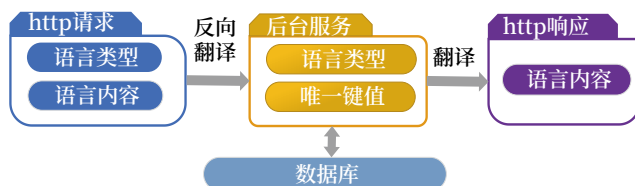


图2 http请求过程  
Fig.2 HTTP request process

此方案的优点如下。

- 1) 对于已存在的项目进行国际化功能添加时，不会变动原有数据结构，与业务解耦。
- 2) 使用注解标注需要翻译的接口、翻译类型（正向翻译 / 反向翻译）以及待翻译字段，使用 AOP 进行请求拦截和翻译织入，可以缩减代码，控制开发成本。
- 3) 对于需要增扩翻译的语言种类和语言内容，可以动态扩展字典表并进行文件配置，无需增添代码。
- 4) 框架易于配置，代码可复用，有效提高系统的开发效率。

动态数据翻译框架与已有程序的结构兼容情况如图 3 所示。

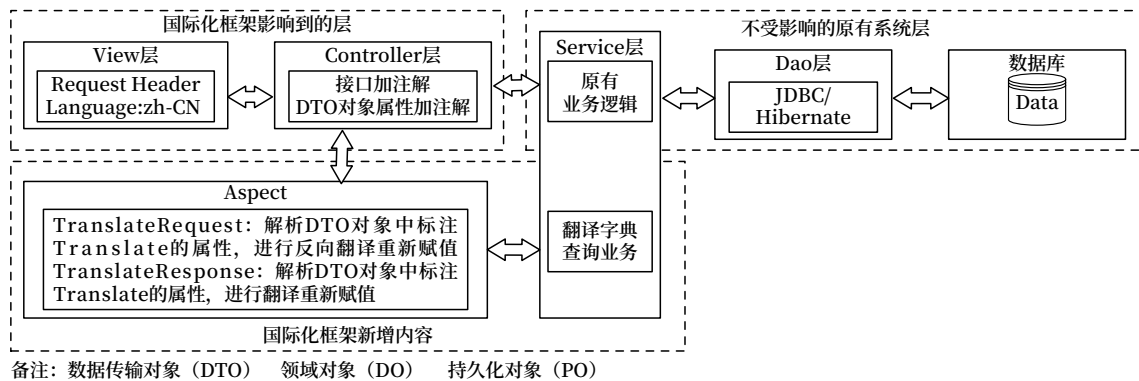


图3 翻译框架兼容

Fig.3 Compatibility of translation framework

## 2.2 具体实现

动态数据翻译框架搭建步骤如下。

1) 建立数据表，内容包括键值、需要翻译的语言类型，比如中文、英文。其中键值是标记翻译内容的唯一后台通用语言，用于在后台服务中进行数据交换和数据存储。

2) 翻译字典查询业务，提供正向翻译和反向翻译功能。正向翻译是指输入键值和语言种类，返回对应的语言内容；反向翻译是指输入翻译内容和语言种类，返回唯一键值。语言种类包括中文、英文、以及自定义的语言类型。对于后者，程序读取配置文件并通过 Cglib 自动进行装配，读取数据源数据提供对应的翻译功能。

3) 自定义注解 TranslateRequest, Translate Response 和 Translate。其中 TranslateRequest 标记需要对入参进行反向翻译的接口，Translate Response 标记需要对返回值进行翻译的接口，Translate 标记结构体中需要参与翻译的字段。

4) AOP 切面级别拦截接口的请求和返回值。对于请求进行拦截，根据请求头所带语言类型，将语言内容反向翻译为唯一键值，在服务中进行数据交换；对于接口返回值进行拦截，根据请求头所带语言类型，将返回内容中的唯一键值进行翻译，替换成翻译内容作为接口调用的响应内容。

## 2.3 框架使用方法

1) 前台在 http 请求头增加 Language 字段，标记当前前台选择语言类型，作为后台接口输入参

数反向翻译以及输出参数翻译的标准。

2) 数据库中添加翻译字典。

3) 并不是所有的接口和参数都有翻译需求，因此只为有翻译需求的接口和字段添加注解。在需要对入参进行反向翻译的接口进行 TranslateRequest 标记，在需要对返回值进行翻译的接口进行 TranslateResponse 标记，结构体中需要参与翻译的字段进行 Translate 标记。这样操作可以最大化减少不必要的翻译工作。

4) 如果需要增扩翻译语言类型，需要在 application.yml 文件中以 json 的 key-value 格式写入 dict 字段。如：dict: "{id-ID: 'C\_ID'}"，其中 key 是前后台交互的语言类型，value 是对应的数据库列名。

## 2.4 参考用例及测试

需要正向翻译的方法及返回值结构如图 4 所示。

外部调用该接口，根据请求头 Language 字段值不同，返回内容不同，测试结果如图 5 所示。

## 3 结束语

本文设计了一种动态数据翻译框架，可以应用于有翻译需求的软件开发，尤其适用于增量式开发和有前后台交互需求的情况。借助 AOP 技术实现国际化翻译工作与核心业务的分离，使用注解方式提高框架的易用性和可复用性。通过使用本框架，可以有效提高系统的开发效率，降低人力和时间成本。该方案已经应用于海外铁路的信息化产品中并且使

```

@Controller(path = "/api/1/air/dict/passTypes")
@TranslateResponse
public ResponseMessage getPassTypes(@RequestHeader("language") String language) {
    List<String> passTypes = DicService.getPassTypes();
    return ResponseMessage.genSuccessfulResult(passTypes);
}

public class ResponseMessage {
    private Integer code; //状态码
    private String msg; //响应消息
    @Translate
    private Object data; //实际返回数据
    public static ResponseMessage genSuccessfulResult(Object data) {
        ResponseMessage result = new ResponseMessage();
        result.setCode(200);
        result.setMsg("SUCCESS");
        result.setData = data;
        return result;
    }
    ...
}

```

图4 参考用例代码

Fig.4 Code of reference use case

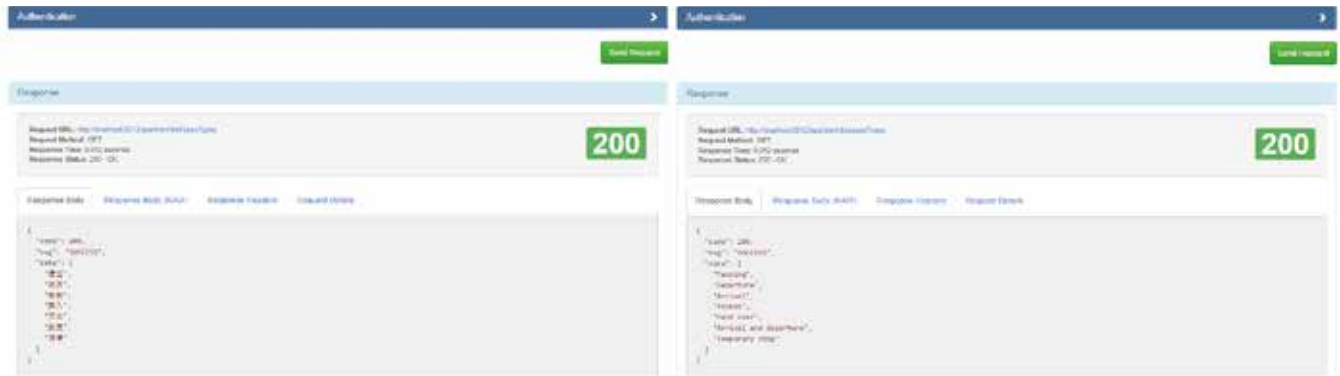


图5 翻译测试结果

Fig.5 Translation test results

用效果良好，希望本框架可以为更多具有多语言动态数据翻译需求的项目提供服务或设计思路。

### 参考文献

- [1] 林睿睿, 黄锦桥. 基于B/S框架的交互式在线翻译系统设计[J]. 现代电子技术, 2021, 44(9): 115-119.  
Lin Ruirui, Huang Jinqiao. Design of Interactive Online Translation System Based on B/S Framework[J]. Modern Electronics Technique, 2021, 44(9): 115-119.
- [2] 袁英, 张传立. 利用AOP实现I18N[J]. 交通运输部管理干部学院学报, 2007, 17(4): 40-41, 48.
- [3] 孟皓冉, 李祥星, 于秀娟. 基于AOP的字  
典翻译实现方法、系统、电子设备及存储介  
质: CN114020250A [P]. 2022-02-08.
- [4] 郑舒文, 蒋湘宁, 杨阳. 多语言显示方法、装  
置、电子设备及存储介质: CN113568692A [P].  
2021-10-29.
- [5] 谭勇德 (Tom). Spring5 核心原理与 30 个类手写  
实战 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2019.
- [6] 杨开振, 周吉文, 梁华辉. Java EE 互联  
网轻量级框架整合开发: SSM 框架 (Spring  
MVC+Spring+MyBatis) 和 Redis 实现 [M]. 北  
京: 电子工业出版社, 2017.
- [7] 小马哥. Spring Boot 编程思想 - 核心篇 [M].  
北京: 电子工业出版社, 2019.
- [8] 朱智胜. Spring Boot 技术内幕: 架构设计与实  
现原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.

# 城市轨道交通全自动运行系统 工程设计联络要点分析

曹启滨<sup>1</sup>, 高伯翰<sup>2</sup>

(1. 北京市地铁运营有限公司, 北京 100044;

2. 交控科技股份有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 轨道交通全自动运行系统是综合性极强的大平台系统, 也是轨道交通当前最前沿的技术创新。做好新技术的落地实施, 工程设计联络是关键环节。针对全自动运行系统, 以运营单位的视角探讨工程设计联络的重要性, 并阐述分析全自动运行系统工程设计中, 运营单位要着重关注的要点。

**关键词:** 全自动运行系统; 轨道交通; 设计联络; 行车运输

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0052-05

## Analysis of Key Points for Engineering Design Liaison of Fully Automatic Operation System for Urban Rail Transit

Cao Qibin<sup>1</sup>, Gao Bohan<sup>2</sup>

(1.Beijing Subway Operation Co., Ltd., Beijing 100044, China)

(2.Traffic Control Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** The fully automated FAO system for urban rail transit is a highly comprehensive large platform system, and a cutting-edge technical innovation in urban rail transit. The engineering design liaison is a key link for the implementation of new technologies in specific projects. Focusing on fully automated systems, this paper explores the importance of engineering design liaison from the perspective of urban rail transit operators, and describes and analyzes the key issues for urban rail transit operators in the engineering design of fully automatic systems.

**Keywords:** fully automatic operation system; urban rail transit; design liaison; driving and transportation

当前全国轨道交通领域新兴技术快速发展, 全

自动运行 (Fully Automatic Operation, FAO) 系统逐步成为行业热点和发展主流。FAO 通常是以信号系统为核心的综合联动自动控制大系统, 一方面是将传统的人工驾驶迭代为“设备系统自动驾驶”, 直接减少了司乘人员的参与度和劳动强度; 另

收稿日期: 2023-05-23; 修回日期: 2023-10-07

第一作者: 曹启滨 (1982—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通信号、列控, 行车与运营组织等, 邮箱: caoqibin@139.com。



一方面，全自动运行系统联动列车唤醒自检、自动收发车、清客、自动处置故障等十分庞大的功能，已然大幅度打破了传统信号系统以列车位置防护为重心的设计思路框架，需要从轨道交通线路全局安全可靠的高度总体统筹设计，并应全场景全功能全要素地对接运营单位的运营管理体系，实现新建线路设计与投运的深度匹配吻合。

全自动新技术变化大，实现技术的稳定落地，一个关键环节就是在新建线路的工程设计联络环节把控好“建、运”对接。下面围绕信号专业，从运营管理角度，阐述全自动运行新技术落地中，设计联络的关键要点。

## 1 FAO系统的主要特点分析

FAO系统最主要的特点有两个方面，集中在驾驶层面和联动场景层面。

第一，传统CBTC-ATO信号系统，列控防护建立在传统信号系统本身的行车安全角度，以列车位置安全防护为根本、以列车高效追踪为目标，属于“狭义”的行车安全。自动驾驶ATO旨在降低司机人工牵引-制动的劳动强度。行车安全中的瞭望、异常情况的处置仍需要人工操作，信号系统并非全要素防护覆盖。FAO系统替代了司机的人工驾驶动作，瞭望及故障处置，对司机的替代程度更加深入，系统判断与处置的介入度和覆盖度大幅提升。例如，列车自动唤醒、自动出入库、自动清客、站台门自动对位隔离等功能场景更加丰富。

第二，传统的信号系统对外专业的联动功能及接口设计相对简单，FAO系统包括车辆、通信、灾害告警、乘客服务的功能联动集成度高，接口专业的设计跨度和集成深度要求明显提升。如列车区间迫停、列车及区间火灾检测、临时调整交路的清客服务等功能，在传统线路上是由分专业独立完成，各专业之间少有系统联动关系，需要人工关联相关处置和决策。全自动系统由系统串接了全部功能系统的动作，实现自动采集、分析决策和触发处置。

结合以上两点主要原因，FAO系统信号专业的

工程设计联络必须从功能上、场景上做到统筹设计，信号专业作为统领专业，设计联络的任务和职责要发生根本性提升。

## 2 FAO系统设计联络中运营管理的对接匹配

轨道交通新技术的关键是服务运营，提升运营管理品质。FAO系统目前已然从示范工程发展成为建设主流，从小客流边缘线路逐步成为服务超大城市主干线路的主推设计方案。运营管理的对接是确保该技术落地的核心环节，需要运营单位的行车管理、调度指挥、车站应急、列车驾驶等功能制定适应全自动的管理规则、岗位设置、操作规范并结合技术联络共同配合实施。

### 2.1 行车运输方面

运营单位结合FAO系统工程实际、线路特点、客流预期、接驳站位等行车及客运特点，编制设计出接受全自动线路运营的管理人员构架与操作人员构架。

重新定义或修编乘务员（司机）、综控员、站务员、调度员的职责，确保行车运输的指挥监控到位、指令的传达执行无疏漏的组织体系。

设计单位和各专业供货集成单位根据运营单位管理规则，配置中心调度的显示操作界面、告警菜单、监控内容，规划调度指令的发布反馈路径；布局车站综控室、监察厅的设备方案、显示操作设备等；根据综控员、站务员、监察厅人员的分布职责，配置信号、通信、综合监控、站台门及车辆远程显示及操作手段；布置乘务人员车上操作系统，既符合有人驾驶的安全操作，又满足以全自动投入为主模式下的无人监控条件自动运行。

传统线路的运营管理是自上而下的指挥体系，调度员指挥车站和司机，主要由司机负责本车的安全运行操作和监护，现场情况反馈调度员决策；全自动运行系统中，现场发生的情况、故障主要由系统自动告警、自动处置，并上传告知调度员，必要时由调度员远程决策和干预，执行层和决策层上移至控制中心调度员。因此必须考虑到调度员远程掌

控和接管时，全面及时，充分准确地了解现场情况，通过视频、故障检测、异常场景推送等环节统筹现场信息，并用于研判和权威决策的下达。

在功能设计中，比较典型的设计联络案例就是“车辆调”界面。传统线路的车辆驾驶掌控在乘务员手中，运营线上涉及车辆异常情况，均有乘务员现场处置，调度员远程了解事件情况及进展，根据列车特殊情况、故障处置进展预估可能延误程度，预判影响范围并调整临近列车的运行状态，尽力减少故障点或异常情况对全线路的服务影响，控制中心调度员较少参与车辆状态的远程观察和干预。FAO系统降低了本地现场乘务员干预程度，将车辆状态信息、故障应对远程上移至控制中心供调度员研判处置，增加了“车辆调”显示和操作界面，要求中心调度员远程关注列车异常及故障，并决策干预和处置。一是要求设计车辆状态的远程显示界面；二是具备车辆关键部位，如牵引、制动、车门、广播、空调等关键部件的远程复位、重启命令等，实现列车的控令远程遥控；三是需要调度员在行车组织、运输管理的同时，能够清晰灵活的处置车辆的异常问题，包括技术分析决策在内的应对，是对调度员行车指挥决策能力一大提升。在“车辆调”功能设计上，是无先例的新事物，统筹考虑技术落地、管理对接，实现综合施策平稳衔接。

在正线车站、段场的全自动运营区域设计中，应特别重视考虑“无人作业区域”的“无人”管理，一方面做好无人的管理手段落地，同时在抢修过程中必须有人员进入的区域，一定设计明显安全可靠的技术防范措施，包括但不局限于区间紧急关闭、远程紧急停车等人员防护开关，防止无人列车对作业人员的危害发生，做到技防与管理的无缝嵌套设计，实现作业人员的安全防护，是系统自身安全的最重要的安全体现。

## 2.2 系统设备及维保方面

传统的轨道交通按照专业划分维保职责，专业之间割裂明显，跨专业的接口主要是电气硬件节点，

传递信息简单且有限。FAO系统包括了车辆故障诊断、远程重启合闸、现场视频同传、广播视频推送联动、火灾告警及处置联动等大量的硬件接口和软件联动场景，无法按照传统的专业划分做明确切割，生硬的切割职责将会带来更多接口失管失效。

打破传统专业的割裂，实现电务综合维保，是解决问题的关键思路。运营单位可将涉及全自动运行的信号、通信、综合监控、电力、机电站台门、防灾告警及车辆的维修维保业务纳入到专业分公司(车间)。统筹各专业力量，集体维修，减少跨单位、跨部门的切分，是驾驭全自动运行系统的维保基础。

FAO系统中，也要同步考虑系统功能失效的影响，并落实到系统设计中。当发现全自动运行的信号系统故障、车地传输中断、车载ATP故障、联动系统接口异常时，将无法接收到远程控制指令并执行指令，必要时需要司机的人工介入值乘，需要实现系统功能的模式可靠转换、人工可靠衔接，着重分析场景的连贯性和人工介入的可达性。在车辆设计中，同步考虑列车远程接收控制命令的可达性，车辆大部件故障“机破”时人工救援的可行性，避免主系统、主功能异常后直接停运、长时间中断服务而无法恢复的局面。

FAO是传统ATO、DTO、UTO功能的进一步提升，增强了故障远程应对及处置，但系统失灵时，留给司机介入的处置内容是自动化系统无力可达、无力满足的交叉故障、深度故障及叠加失效，并已然对行车秩序带来明显困扰后交由人工接手应对。因此对乘务员司机的岗位职责、处置能力要求陡升，乘务员司机将主要承接疑难故障应对。在系统的工程设计时，建议在故障提示、车辆信号及接口专业状态提示等信息方面进一步征求经验丰富乘务员的操作需求和意见，开发显示、提示丰富的界面提示状态，并在车站、调度显示界面开发尽可能及时、准确、丰富的提示列表，以增进乘务员、调度员应对的直观性、可达性、可视性。

在设计联络中，要考虑运维基地的设置方案，

将故障报修、故障告警、维修管理的信息化平台整合，如行车监控ATS、维护支持系统、故障诊断及专家会商等系统建设项目内及未来预开发的平台资源合理布局在正线车站、段场的作业室内，为搭建整体维保做足准备。

### 2.3 系统可靠度指标方面

设计联络是约定设备系统具体功能和技术指标设计的关键沟通交底机会。在全自动运行环节，运营单位统筹行车运输、维保维护的各相关业务环节，严格把控大系统平台的整体安全性、稳定性和可靠性。传统线路的专业是严格划分，信号系统也将主要精力集中在本系统设备的安全可靠和维护便捷上，对接口及协同联动的关注度较浅。全自动是一套联动大平台，任何分支子系统、接口部件的失效失灵或接口不匹配，都不仅仅是单一专业设备自身的问题点，而有可能对全平台运行带来安全隐患和服务风险。例如列车远程复位的控制单元和执行单元、站台门夹人夹物激光探测等都是为实现FAO而新建子系统，又是关乎安全行车全局的风险节点，设计联络中对接口的匹配、跨专业供货商的技术约定特别提及，并且应充分考虑和评估除信号系统外，系统平台内其他专业的安全可靠影响。

## 3 FAO系统设计联络中应考虑开通筹备因素

全自动运行的大系统，其开通筹备过程比传统的独立专业的系统工作量成几何数增加，存在调试过程长、调试场景多、调试资源耗费多、联动统筹协调量繁杂的现实特点。因此全自动线路一定要充分考虑线路开通的实际情况和可能的划分阶段开通的情形，结合既有线路开通的特点，在设计联络阶段做好预留预判，便于后续工筹。

### 3.1 新线一次性全功能开通准备

新建线路全线一次性全功能开通，在开通前没有投运载客，不存在边调试边运营的阶段。因此调试灵活、试验方便，无需考虑运营影响，是最方便的筹备方式。具备该种开通条件的线路，要抓紧筹备时期，设计联络中宜重点夯实全自动运行系统功

能，对降级系统完成基本测试，在建设交付阶段将完善的全自动系统一次性投入。在开通运营初期，实现有人监控但不介入干预的全自动运行，充分实现全系统功能，在初期有异常情况或出现性能不稳定情况时，由乘务员及时应对。

### 3.2 功能降级开通、逐步完善的线路开通筹备

轨道交通建设周期长、投资巨大，特别是特大城市的客流需求量大。为尽快保证城市服务，尽早为市民提供运输服务功能，轨道交通线路往往不能实现全功能一次性调试完成、全功能开通，需要在保证安全运营的条件下，降级开通并边运营边调试完善。

在设计联络时，要着重对CBTC普通级别开通，人工驾驶的操作控制系统、调度指挥系统，各系统相对独立的功能系统完善设计，补强次级功能，实现安全可靠开通。同时宜结合全自动交付时段，对降级系统宜采用“够用、不浪费”的原则，保证功能可靠又要避免降级系统的过度建设、过度投资，对于综控室、司机操作台等部位避免出现短时使用，长久废弃的投资浪费。

边运营边调试，存在着互相干扰，安全运营与建设进度的矛盾，如必须分级别投运时，在设计阶段还要考虑备足子系统调试倒切装置，实现运营与调试的硬/软件便捷切割，为投运后的工程建设调试提供预留便捷。

### 3.3 延长线分段开通（含互联互通）

受制于城市规划、土建及一体化开发等多方面影响，轨道线路存在分段开通或既有线再延伸贯通的实际筹备情况。在传统线路上，信号系统的延长贯通都是既有线调试的难点，平衡既有运营与新建调试的难度较高。在全自动设计时，宜充分利用实验室环境尽可能搭建完整的仿真平台，复现既有线路及新建线路控制数据及功能，减少在载客线路上线调试、修动既有设备安全控制数据的机会。

目前北京等城市，推行了互联互通的设计方案，一条线路的列车可以跨越到另一条线路载客运输，

本线路也可以由非本线路的列车参与运输服务。两条线路的车辆、信号及相关专业均由不同厂家提供,实现跨线运营的互联互通,可以实现车辆资源充分利用、便于调配,打破了传统线路一线一系统的封闭体系。该种新系统在全自动设计阶段,力求双线操作的一致性、调试的一致性、全功能投运的一致性,尽可能弱化差异配置,实现互联互通的运营操作无缝衔接。

#### 4 结论

全自动运行目前仍是轨道交通行业的新兴事物,建设、运营及各参加单位都在高度关注新技术的落地实施和应用水平。为了更好地促进新业务新技术的准确可靠服务,建设中、设计时均应全面深入会同运营单位进行充分交底沟通,并做好不断发展完善迭代升级的准备,运营单位也要制定切实的运管规则来迎接新技术的落地见效。

#### 参考文献

- [1] 冯浩楠, 黄苏苏, 付伟, 等. 城市轨道交通全自动运行系统多功能仿真平台设计与实现 [J]. 实验技术与管理, 2020, 37(1): 238-241, 249.  
Feng Haonan, Huang Susu, Fu Wei, et al. Design and Realization of Multi-Function Simulation Platform of Full-Automatic Operation System for Urban Transit[J]. Experimental Technology and Management, 2020, 37(1): 238-241, 249.
- [2] 冯维佳. 适用于全自动运行信号系统的站台功能研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(12): 80-83.  
Feng Weijia. Research on Platform Function of Fully Automatic Operation Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 80-83.
- [3] 雒一帆. 全自动运行下城市轨道交通车站配线区人员登乘列车方案研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(3): 238-241.  
Luo Yifan. Staff Boarding Solutions in Station Auxiliary Line Area of Urban Rail Transit in FAO Mode[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(3): 238-241.
- [4] 王锦畅, 范庆宝, 林一帆. 城市轨道交通全自动运行车辆司机室区域技术方案分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(2): 121-124.  
Wang Jinchang, Fan Qingbao, Lin Yifan. Technical Scheme Analysis of Driver's Cabin Area on Urban Rail Transit FAO Vehicle[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(2): 121-124.
- [5] 盛伊琳, 梁贺程. 城市轨道交通全自动运行系统中安全相关系统的确定及安全保证模式探讨 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(2): 72-75, 85.  
Sheng Yilin, Liang Hecheng. Determination of Safety-Related System and Safety Assurance Mode for Urban Rail Transit FAO System[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(2): 72-75, 85.
- [6] 张振华. 城市轨道交通全自动运行线路运营安全风险分级管控 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(2): 23-27.  
Zhang Zhenhua. Hierarchical Management and Control of Operation Safety Risks of Urban Rail Transit FAO Lines[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(2): 23-27.
- [7] 陈文彬. 城市轨道交通全自动运行系统运营场景验证研究 [J]. 隧道与轨道交通, 2022(4): 59-61, 68.  
Chen Wenbin. Study on Verification of Operation Scenarios of Fully Automatic Operation System of Urban Rail Transit[J]. Tunnel and Rail Transit, 2022(4): 59-61, 68.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.10.011

# 城市轨道交通智慧安检发展趋势

付保明<sup>1</sup>, 梁君<sup>1</sup>, 张宁<sup>2</sup>, 朱铭<sup>2</sup>, 宋晓<sup>2</sup>

(1. 苏州市轨道交通集团有限公司, 江苏苏州 215006;

2. 东南大学智能运输系统研究中心轨道交通研究所, 南京 210018)

**摘要:** 针对城市轨道交通安检存在的信息化水平低、客流与安检能力不匹配、运营成本高等问题, 分析智慧城轨发展形势下安检的业务需求, 并从安检信息系统、AI智能判图、集中判图、信用安检、票检与安检一体化等多个方面, 提出安检专业的技术发展趋势, 为智慧安检的发展、建设与运营提供参考。

**关键词:** 城市轨道交通; 智慧安检; 集中判图; 信用安检

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0057-06

## Development Trend of Intelligent Security Check in Urban Rail Transit

Fu Baoming<sup>1</sup>, Liang Jun<sup>1</sup>, Zhang Ning<sup>2</sup>, Zhu Ming<sup>2</sup>, Song Xiao<sup>2</sup>

(1. Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd. Suzhou 215006, China)

(2. ITS Rail Transit Research Institute of Southeast University, Nanjing 210018, China)

**Abstract:** In view of such problems of security check in urban rail transit as insufficient use of IT technologies, mismatch between passenger flow and security check capacity, and high operation costs, this paper analyzes the service requirements of security check in the current situation of the development of smart urban transit. On this basis, it proposes the technical development trend of security check from the aspects of security check information system, AI based intelligent image judgment, centralized image judgment, credit-based security check, ticket check & security check integration. Thus, it provides reference for the development, construction and operation of smart security check systems.

**Keywords:** urban rail transit; intelligent security check; centralized image judgment; credit-based security check

收稿日期: 2022-04-21; 修回日期: 2023-09-28

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFB1600700); 苏州轨道交通专项项目(H202120045)

第一作者: 付保明(1990-), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通建设与管理智能化, 邮箱: baomingfu@126.com.

### 1 安检的目标及问题

轨道交通快速发展, 线网运营规模持续扩大, 城市轨道交通安全运行面临严峻挑战, 安全保障压力不断增加。安全检查是规避个人极端犯罪, 保障轨道交通运营, 保护乘客人身安全的重要手段<sup>[1]</sup>, 但

其延长了乘客进站时间、限制了乘客进站体验，且地铁站内乘客人员复杂、密度高、无序流动，一旦发生突发安全事故将引发严重的经济损失及大面积的社会恐慌。2020年3月，中国城市轨道交通协会制定发布的《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》指出建立智能安检（防）系统，研究与城轨交通客流相适应的智慧安检，探索票检、安检合一的新模式<sup>[2]</sup>。

在智慧城轨发展趋势下，安检系统在安检效率、管理信息化、数据挖掘、人才培养、减少运营成本等方面尚存在明显的不足<sup>[3-4]</sup>。同时，受制于建设及运营模式、信息化发展水平等差异，各地对安检的认知不同，影响了安检系统的可持续发展。

因此，根据城市轨道交通智慧安检的发展需求，结合国内城轨安检的发展现状，总结归纳新形势下安检系统的技术发展趋势，对未来智慧安检的健康发展有重要的指导意义。

## 2 智慧安检需求

随着物联网、大数据及人工智能技术的快速发展及应用，安检系统已进入信息化、智能化快速发展期，主要表现为以下方面。

1) 业务管理信息化。利用计算机网络技术，实现车站安检设备集成化管理，包括设备状态在线监控、安检数据统计与可视化分析、安检人员考勤信息化等功能，提高设备的信息化管理水平；基于物联网等技术，实现安检各流程的信息化关联处置，即安检判图、开包检查、违禁品确认与处置等过程均由系统记录，确保安检事件的闭环处理及全程可追溯，提升安检业务处置水平，为安检信息化、智能化发展奠定基础。

2) 提升判图精度及效率。基于人工智能、大数据等技术，实现安检设备自主化判图，减少乘客包裹、判图员等因素的干扰，弥补人工判图存在的误判、漏判等问题，缩短判图时间，缓解安检人员工作压力，改善乘客安检体验。

3) 优化安检流程。基于大数据、生物识别等技术，在满足“人物同检、逢包必检”等安检要求

的同时，对乘客进行分类安检，优化安检流程、缩短安检时间，提高乘客通行效率。此外，整合安检与票检，进一步简化进站流程，实现乘客无感乘车，解决安全防控与通行效率的矛盾。

4) 运营成本控制。基于人工智能、云计算等技术，实现安检人员集中办公，优化安检人员配置，改善安检人员工作环境，进而培养职业化的安检队伍，提升人员业务水平，降低运营成本。

## 3 安检发展趋势

根据智慧安检发展需求，充分调研国内安检技术发展现状，可知安检技术发展趋势包含以下几个方面：安检信息系统、智能化判图、信用安检、安检与票检合一、安检互信。

### 3.1 安检信息系统

通过搭建线网安检信息平台，将安检机等车站终端设备统一纳入系统管理，打破安检信息孤岛现状<sup>[5]</sup>。通过对安检数据结构化、标准化处理，安检信息平台实时监管并存储各线路终端设备状态信息、违禁品报警信息，并对安检全流程处置数据进行90天集中存储，形成全局视图和可视化报表，建立轨道交通安检大数据库，为管理层决策提供鲜活、真实、有效的数据支撑。

当前，上海、长沙、苏州等地已落地安检信息平台，实现了安检设备状态、安检数据及安检员考勤的系统化、信息化管理。

### 3.2 智能化判图

#### 3.2.1 AI智能判图

AI智能判图是指利用基于深度学习的人工神经网络模型<sup>[6]</sup>，通过对X光安检图像进行特征提取、特征融合等分析处理，实现对危险液体、管制刀具和枪支器械等违禁品的智能识别与自动实时报警，其处理流程如图1所示。

由图1可知，AI智能判图的识别效果取决于3个因素：适用的深度学习神经网络、海量的具有多样性的带有违禁品的X光安检图像训练库以及安检机自身的X光成像质量。与传统人工判图相比，AI智能判图具有效率高、识别精度高、识别能力强、

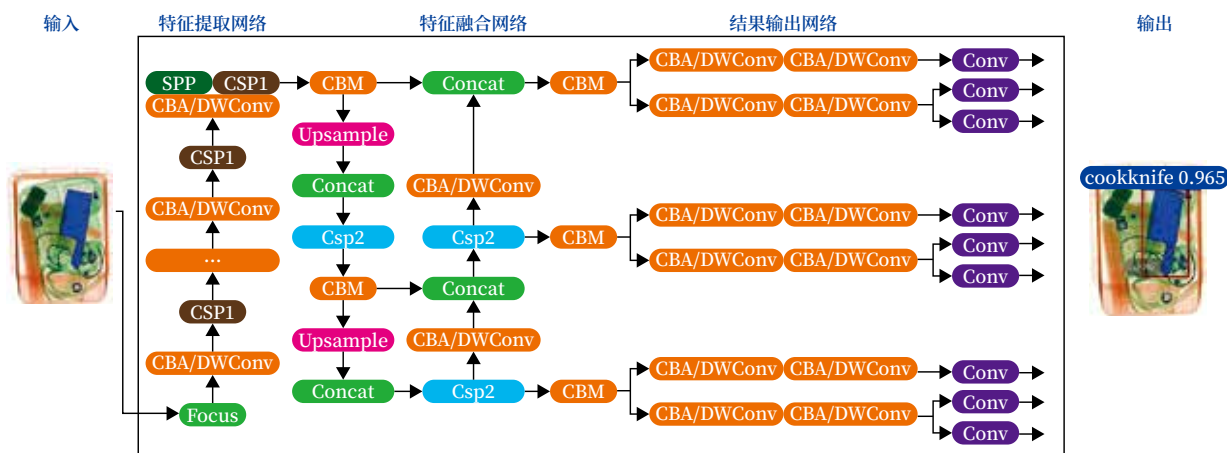


图1 AI智能判图处理流程

Fig.1 Processing flow of AI-based intelligent image judgment

抗干扰能力强及识别类别丰富等优势。

当前，AI智能判图的违禁品检出率已达到95%以上，并在苏州、西安、广州等地得到了应用。在AI智能判图辅助下，安检判图员只需做少量判读工作，大幅减轻其工作强度和压力，提高安检设备危险物品自动识别能力，在提高安检效率的同时有效地降低了漏判危险品的风险。

但是，受制于既有车站安检的相关规定，AI智能判图暂不能完全取代判图员。同时，国内外尚无针对X光安检图像进行智能判图的标准数据集，也没有相关标准、测试方法、规范或指南，这在一定程度上限制了AI智能判图技术的推广，仍需要广大学者及机构进行深入的研究，并由国家有关机关和行业协会制定相应的标准及规范。

### 3.2.2 集中判图

集中判图是指在AI智能判图辅助的基础上，采用实时传输、负载均衡以及人工智能等技术，改变本地判图模式，打破物理空间对安检判图任务的桎梏，动态调整系统内各安检点的判图任务与判图人员的匹配关系，赋予判图员处置安检点判图任务的能力，实现跨地域安检资源共享<sup>[7]</sup>。负载均衡动态分发技术是集中判图的关键，其原理如图2所示。

由图2可知，集中判图平台实时获取车站X光安检图像，通过预处理，对X光机图片序列化，基于灰度检测识别包裹和定长分割相结合的算法，获

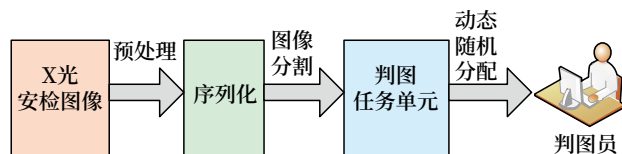


图2 判图任务动态分发原理

Fig.2 Dynamic distribution principles of image judgment tasks

取判图任务单元；然后基于多种加权因子的加权轮询法、随机法，将判图任务动态发送给最合适的判图员。车站现场首先利用AI智能判图对包裹进行初步判定，若判定含有危险品，直接进入人工复检；判图中心判图员结合AI智能判图对图像进行处理，并将处理结果反馈给车站现场，由现场安检员进行开包检查及处置结果录入，实现安检信息的闭环处理，具体流程如图3所示。

由图3可知，集中判图模式取消了现场判图员，判图员集中办公，判图任务随机、均衡分配，解决了判图员闲忙不一的问题，从而优化了判图员的配置，推进安检员的职业化进程。同时，通过现场及判图平台二次判图，进一步提高安检精度。根据判图中心规模，可将其分为线网级判图中心、线路级判图中心及区域级判图中心。依据车站客流规模及时空分布特征，兼顾资源利用率与管理难度，选取适宜的集中判图模式。广州、西安等地已试点集中判图，其中西安5号线采用4~5个站为一个区域判图中心，其安检员优化率达到40%，取得了良好的效果。

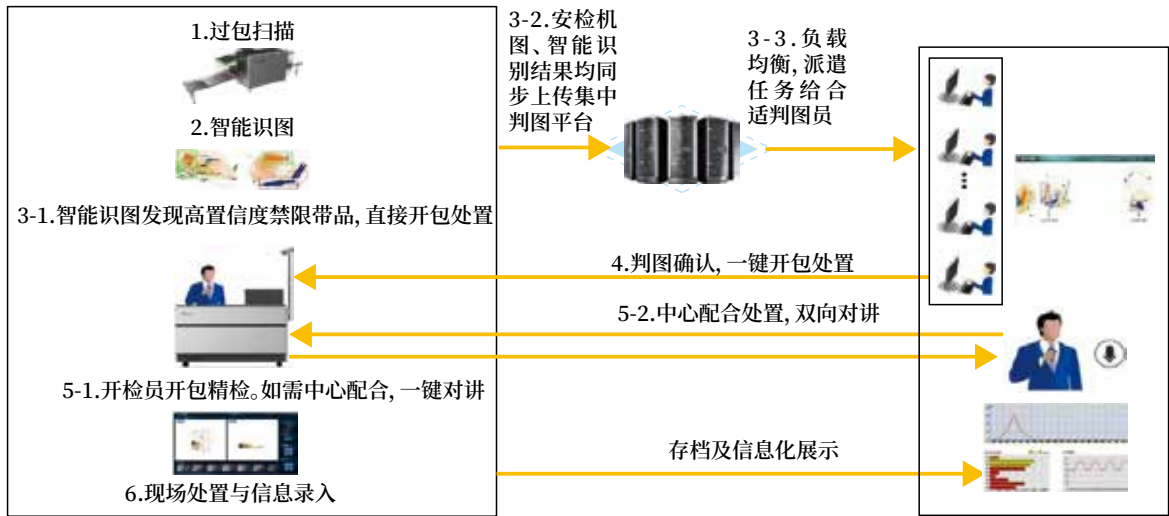


图3 集中判图业务流程  
Fig.3 Service process of centralized image judgment

集中判图是利用 AI 智能判图等技术，对既有车站安检模式的突破。随着 AI 智能判图准确率的提升、各种标准规范的完善以及安检思维的转变，AI 智能判图最终将取代安检判图员，大幅降低车站安检人员配置。

### 3.3 信用安检

信用安检是指基于乘客信用体系及人脸识别技术，对乘客实施分类、分级的差异化安检<sup>[8]</sup>。随着“互联网+”在轨道交通乘客出行服务中的推广应用，乘客对实名乘车的接受度亦逐步提升，运营部门积累了海量的乘客出行数据，已初步具备信用安检的实施条件。

#### 3.3.1 信用体系构建

乘客出行信用体系是信用安检实施的基础。当前，银行、部分互联网企业等均根据自身业务特点，构建用户信用体系，并为用户提供免押金、后付费等各类信用服务。根据身份特质、公安标签、行为特征、出行偏好、履约能力等指标，利用决策树、神经网络等数据模型，构建与轨道交通乘客出行业务相匹配的信用体系，完成乘客安全信用分级，形成不同信用等级并对乘客的权限赋予管理机制。

#### 3.3.2 差异化安检

采用人脸识别等技术，形成一套地铁安检场景下乘客低配合条件下的乘客身份精准识别系统。对

于信用等级较高的常通勤旅客，利用信用安检通道快速进站，简化其进站安检流程甚至免于安检；对于信用等级一般或者未实名乘客，通过普通安检通道进行常规安检；对于信用等级较低人群，在安检过程中，应予以重点关注，并及时与公安进行信息联动，确保运营安全。

由于免检乘客亦有可能携带危险品，必须采用抽检等措施对免检乘客进行不定期、随机检查。对于违规的乘客，降低其信用等级，从而确保免检乘客的安全性。

### 3.4 安检与票检合一

安检与票检合一，是指在信用安检的基础上，建立安检、票检快捷通道，设计安检票务一体化设备，简化乘进站流程，实现“安检+票检”一体化<sup>[9]</sup>。在高峰期大客流情况下，该模式不仅能对大客流进行分流，解决大客流与安检瓶颈的冲突，而且能够缩短乘客进站时间，提高客运服务水平。

目前，国内一线城市已逐步开展票检安检一体化方案的应用研究。上海地铁在部分站点试点“安检、票检快捷通道”进站措施，乘客可持 METRO 大都会 App 通过“安检、票检快捷通道”刷码进站乘车；武汉地铁开展试点研究，通过大数据采集将乘客按白、灰、黑名单进行分级，完成人脸采集的白名单乘客可通过“安检、票检快捷通道”，灰、黑



名单乘客仍采用传统的安检方式。此外，郑州、西安等城市已经在进行依据人脸识别的安检票检一体化实践。

但是，乘客差异化安检模式和“安检+票务”一体化的进站新模式仍处于新兴阶段，相关技术手段的研究还非常有限。

### 3.5 安检互信

安检互信是指乘客在城市轨道交通与市域铁路、城际铁路及国铁间换乘时，无需进行二次安检，直接进站<sup>[10]</sup>。根据都市圈“四网融合”发展要求，城市轨道交通与市域铁路、城际铁路及国铁间实施无障碍换乘是行业发展的必然结果。安检互信是实施无障碍换乘的重要前提。

受制于城市轨道交通非实名安检的乘车现状，当前南京、苏州等地已实现单向安检信任，即乘客可从国铁换乘至城市轨道交通，直接进行票检。随着城市轨道交通信用安检的推广与普及，安检互信的限制条件将消除，为四网间无障碍换乘奠定基础。

## 4 结语

随着城市轨道交通的快速发展以及大数据、人工智能、云计算等技术在安检行业的应用，制约乘客服务质量的关键瓶颈将被突破。安检信息系统、AI智能判图、集中判图、信用安检等应用将有效解决安检信息化水平低、人工判图精度及效率不足、运营成本高、乘客进站/换乘流程复杂且时间长等问题，有效缓解进站客流与安检能力不匹配的矛盾，实现“快速安检、快速通行”的目标，为智慧乘客服务体系的建设提供较大的研究和应用价值，有利于城市轨道交通安检的可持续性发展。

### 参考文献

- [1] 赵野, 付保明, 张宁. 城市轨道交通安检集成系统研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(4): 71-76.  
Zhao Ye, Fu Baoming, Zhang Ning. Research on Integrated Security System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 71-76.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要[J]. 城市轨道交通, 2020(4): 8-23.  
China Association of Metros. Outline of Smart Urban Rail Transit Development in China[J]. China Metros, 2020(4): 8-23.
- [3] 陈鹏, 张璋, 胡啸峰, 等. 影响城市轨道交通安检速度的乘客特征分析[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(5): 5-9, 14.  
Chen Peng, Zhang Zhang, Hu Xiaofeng, et al. Analysis of Passenger Behaviors Impacting on Subway Station Security Test[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(5): 5-9, 14.
- [4] 陈晓红, 徐敏捷, 陈武华. 考虑成本、等待时间和安全水平的分类安检模式研究[J]. 运筹与管理, 2021, 30(7): 35-43.  
Chen Xiaohong, Xu Minjie, Chen Wuhua. Research on Classified Security Inspection Mode Considering Cost, Waiting Time and Security Level[J]. Operations Research and Management Science, 2021, 30(7): 35-43.
- [5] 周明. 上海城市轨道交通安检系统的智能化与网络化[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(Z2): 28-31.  
Zhou Ming. Intelligence and Network of Shanghai Metro Security Inspection System[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(Z2): 28-31.
- [6] 程林, 柏杨, 都昌平, 等. 基于深度学习的X光地铁危险物品检测算法[J]. 中国体视学与图像分析, 2021, 26(3): 301-309.  
Cheng Lin, Bai Yang, Du Changping, et al. Deep Learning Based Algorithm for Dangerous Object Detection in X-Ray Images for Subway Security Check[J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2021, 26(3): 301-309.
- [7] 张森, 于敏. 基于网络化集中判图的城市轨道交通新安检系统设计[J]. 城市轨道交通研究,

2021, 24 (7): 174-177.

Zhang Sen, Yu Min. Design of New Security Inspection System for Urban Rail Transit Based on Network Centralized Map Judgment[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(7): 174-177.

[8] 宋优才. 基于“白名单”的城市轨道交通快速安检方案构想 [J]. 隧道与轨道交通, 2020 (4): 6-8.

Song Youcai. Conception of “Whitelist” Based Rapid Security Inspection Scheme of Urban Rail Transit[J]. Tunnel and Rail Transit, 2020(4): 6-8.

[9] 杨承东, 刘洋. 智慧城轨自动售检票系统的技术发展趋势 [J]. 都市轨道交通, 2021, 34

(1): 52-56.

Yang Chengdong, Liu Yang. Technical Development Trend of AFC System of Smart Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(1): 52-56.

[10] 吴蒙, 孟毅美, 荣文等. 基于安全等级的铁路与城市轨道交通安检互认研究 [J]. 大连交通大学学报, 2022, 43 (1): 8-13, 20.

Wu Meng, Meng Yimei, Rong Wenyu. Security Check Mutual Recognition between Railway and Urban Rail Transit Based on Safety Level[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2022, 43(1): 8-13, 20.

\*\*\*\*\*

(上接 47页)

Guo Nenghua. Design and Implementation of Enterprise Network Redundancy Based on MSTP+VRRP Dual-Core Technology[J]. China Management Informationization, 2016, 19(12): 54-55.

[5] 胡江云, 肖琳琳, 龚芸娟, 等. 数据通信网 VRRP 与 MSTP 联动引发的次优路由问题分析 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (8): 59-62.

Hu Jiangyun, Xiao Linlin, Gong Yunxian, et al. Problem Analysis of Suboptimal Routing Caused by Linkage of Data Communication Network's VRRP and MSTP[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(8): 59-62.

[6] 王彬鉴, 张勋. 卫星预定位算法在编组站调机自动化系统中的研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 46-50.

Wang Binjian, Zhang Xun. Research on Satellite Pre-Positioning Algorithm in Marshalling Station Shunting Locomotive Automation System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering,

2021, 18(1): 46-50.

[7] 谷宝磊. 基于 VRRP 协议实现路由冗余和负载均衡的应用研究 [J]. 办公自动化, 2014, 19 (23): 45-48.

Gu Baolei. The Research and Application of VRRP Protocol on Routing Redundancy and Load Balancing[J]. Office Informatization, 2014, 19(23): 45-48.

[8] 程宁. VRRP 和 MSTP 协议在企业园区网的应用与研究 [J]. 软件, 2013, 34 (7): 100-103.

Cheng Ning. Application of VRRP and MSTP in Enterprise Network[J]. Software, 2013, 34(7): 100-103.

[9] 范敏, 魏书伟, 张海霞. 通过交换机检测解决网络环路的探索 [J]. 无线互联科技, 2022, 19 (4): 23-25.

Fan Min, Wei Shuwei, Zhang Haixia. Exploration of Solving Network Loop by Switch Detection[J]. Wireless Internet Technology, 2022, 19(4): 23-25.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.10.012

# 自动化测试在城轨联锁产品测试中的应用

王军贤

(通号城市轨道交通技术有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 针对城轨联锁产品测试周期长、效率低的瓶颈, 分析目前联锁产品交付测试现状, 在分析测试需求基础上, 构建一种基于脚本控制器的自动测试方法与架构, 通过调用基础数据形成测试用例集并实现测试结果的自动输出, 实现联锁产品交付测试的自动化, 通过验证表明该自动化测试工具可以在提高测试效率的同时高质量的完成测试任务, 进而保障联锁产品测试的可靠性。

**关键词:** 自动化测试; 城市轨道交通; 联锁产品

中图分类号: U292.91

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0063-07

## Application of Automatic Testing in Interlocking Product Test for Urban Rail Transit

Wang Junxian

(CRSC Urban Rail Transit Technology Co., Ltd., Beijing 10070, China)

**Abstract:** Aiming at such bottlenecks of interlocking product tests for urban rail transit as long test cycle and low efficiency, this paper analyzes the current situation of the delivery tests of interlocking products. Based on an analysis of the test requirements, it proposes an automatic test method and framework based on script controller. After the basic data is called, the test case sets are created, and the test results are automatically output, so that the automation of the delivery tests of interlocking products is achieved. The verification shows that the proposed automatic test tool can improve the test efficiency and complete the test tasks with high quality, thus ensuring the reliability of the delivery tests of interlocking products.

**Keywords:** automatic testing; urban rail transit; interlocking product

### 1 概述

随着城市轨道交通的快速发展, 计算机联锁

(CBI) 在城轨基于通信的列车控制系统 (CBTC) 中广泛应用。计算机联锁作为保障行车安全的子系统, 它的功能、性能和产品质量直接关系到列车运行的安全与效率, 而联锁软件作为计算机联锁系统的核心软件, 其数据的准确性对信号系统的安全性与可靠性至关重要, 是城轨 CBTC 运行的基础, 因此对联锁产品遍历测试在城市轨道交通领域显得非

收稿日期: 2022-04-10; 修回日期: 2023-08-16

基金项目: 通号城市轨道交通技术有限公司研究项目 (5100-K100002)

作者简介: 王军贤 (1985—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 城轨信号系统集成, 邮箱: wjx@crscu.com.cn。

常关键。目前主要采用人工测试，人工测试的弊端为效率低、测试成本高、测试结果不可重复等。为了解决这些问题，可以采用自动化测试技术，以提高测试效率和降低测试成本。联锁自动测试是一种自动化测试技术，它可以帮助开发人员更快地测试软件，确保软件的正确性和可靠性。

## 2 CBTC联锁产品交付测试现状

目前城轨 CBTC 联锁产品交付测试包括软件版本校核、单项测试、输入输出测试、界面显示测试、进路测试、维护机测试、平台数据测试、接口测试 8 个大项，其中单项测试包括上电锁闭测试、道岔单锁 / 单解、道岔强扳等 15 个测试项；进路测试包括进路办理、进路锁闭、信号开放、引导进路等 48 个测试项，进路测试分为 CBTC 模式和降级模式两种；接口测试包括联锁与区域控制器（ZC）接口信息测试、联锁与地面电子单元（LEU）接口应答器报文数据测试、联锁与列车自动防护系统（ATP）接口数据测试、联锁与车地通信（TWC）接口数据测试等 4 个测试项。联锁产品交付测试共计 72 个测试项，测试对象如图 1 所示。

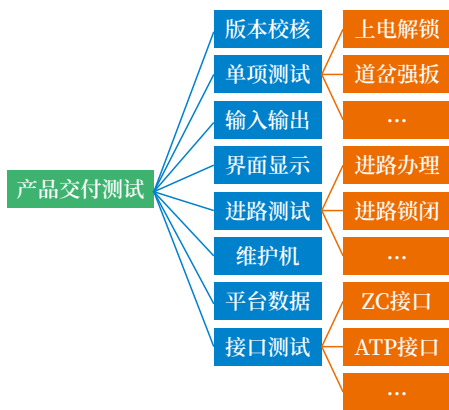


图1 测试对象  
Fig.1 Test objects

目前联锁产品测试主要依靠纯人工测试，完整测试 1 条进路包括 CBTC 模式和降级模式大约需要 2.5 ~ 3 h，对于车站规模为 25 ~ 30 条进路的新建车站，进行一轮完整的交付测试周期大约为 20 个工作日，有些车站进路数量超过 50 条，进行完

整一轮交付测试的周期大约需要 30 个工作日，加上前期测试输入资料准备、测试环境准备、编写测试大纲和测试报告相关工作，每个车站的测试周期会更长；另外，人工测试操作重复性高、测试效率低，难免出现人为操作失误，导致测试结果的可信性降低，很难做到完全的遍历测试。

综上，无论是从测试效率和测试准确率都无法满足联锁产品交付测试工作的需求，为了满足测试的高效性、准确性及覆盖率，急需研究一种联锁自动测试工具代替人工测试来提高测试效率和准确率，进而大大提升联锁产品测试的交付能力和水平。

## 3 人工测试与自动测试方案比对

### 3.1 人工测试流程

人工测试采用一台可进行限定环境模拟的接口计算机，测试工程师使用自然语言编写测试用例，选择测试数据的样本，初始化测试环境并向测试人机界面发送命令，后通过显示的数据检查结果并编写测试报告，如图 2 所示。

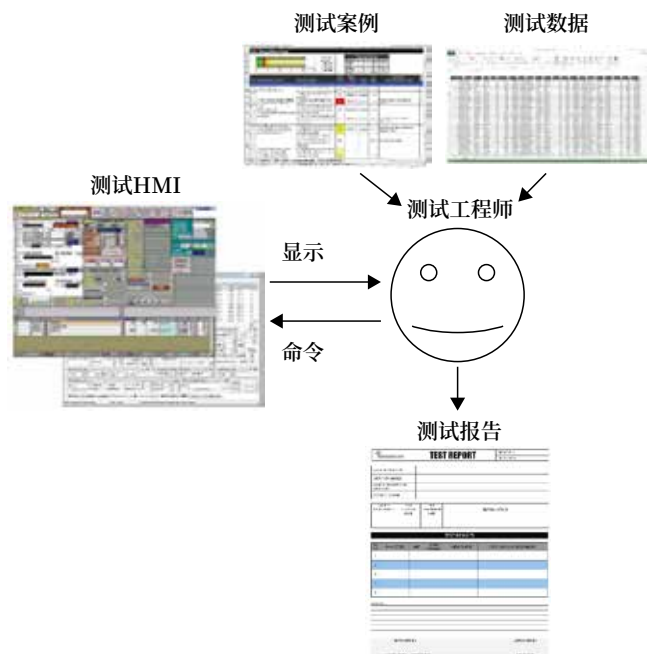


图2 人工测试流程  
Fig.2 Manual test process

人工测试潜在的问题主要包括：不具代表性的数据样本、数据丢失或数据滥用；数据读取错误，

测试报告完整度不高等均会给测试带来干扰，造成逃逸缺陷（NCR），影响系统安全。

### 3.2 自动测试流程

自动测试工具具有场景运行功能，它有完整的环境和故障模拟，测试工程师使用高级指令和宏以及系统知识去编写测试案例，上载所有测试数据后运行测试，自动选择要测试的案例，通过测试工具管理场景结果，根据测试结果自动编写测试总结报告，自动测试流程如图 3 所示。

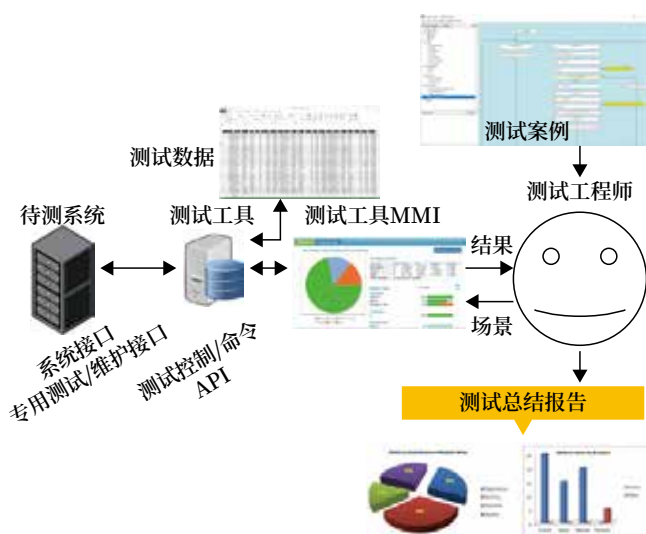


图3 自动测试流程  
Fig.3 Automatic test flow

### 3.3 自动测试的优势

综上，自动测试的优势总结如下：

- 1) 测试运行时无人错误，包括操作或检查；
- 2) 确保可重复性和非回归能力；
- 3) 测试结果有明确通过 / 失败标识；
- 4) 测试库、宏、场景的可以被复用；
- 5) 可实现测试案例逻辑和故障分析。

## 4 联锁产品交付测试自动化实现

### 4.1 自动化测试工具设计

自动化测试是不在人工干预的情况下，按提前预设的流程自动进行测试、数据分析并以一定的方式输出展现测试结果，基于以上思路设计以场景库、测试引擎及测试平台为核心的自动化测试工具。自动化测试工具架构如图 4 所示。

**场景库：**存储、维护多种测试场景和测试脚本，方便回归测试。场景定义应结合信号系统需求、子系统需求，以及由此设计的用例，并将这三者的追踪关系进行记录，以保证测试用例的可追溯性并满足覆盖审查条件。

**测试引擎：**负责被测对象软件的初始化和数据传输，解析自动化测试脚本，对各子系统的接口函数进行驱动，对其中的调用可以进行加速、减速等模拟时钟操作。

**测试平台：**以信号系统和各子系统（列车自动控制系统（ATS）、计算机联锁（CI）、ZC、车载控制器（VOBC））为被测对象，包括运行在一台或多台 Linux 操作系统的由真实信号系统源代码编译的应用程序、基于共享内存技术实现的内存变量监视和重载库、轨旁设备（信号机、道岔、计轴、屏蔽门等）模拟器、仿真车辆模拟器和以太网模拟器等多个应用进程。

**司机操作界面：**提供车辆运行状况显示，包括速度、告警、驾驶模式等信息，可以执行人工操作指令或场景库中的测试脚本触发的指令。

**子系统仿真代理接口：**负责获取信号系统软件中的数据，记录软件运行时的各类属性值、状态机

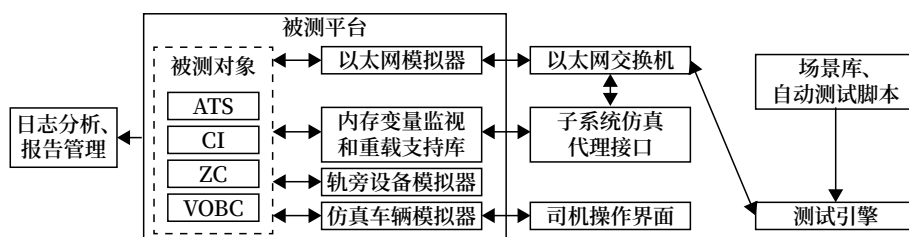


图4 自动化测试工具架构  
Fig.4 Architecture of automatic test tool

工况、代码执行路径等。

## 4.2 联锁自动化测试工具实现

针对城轨联锁产品测试项，部分测试项主要为人工校核，如控显界面显示信号机朝向、高矮柱、平台参数等，该测试项主要为界面或数据核对，工具识别相对困难且测试用时占比较小，通过大量测试实践证明，单项测试、进路测试信息量大且耗时耗力，主要通过人工识别联锁表内信息同步手动操作控显界面按钮来测试，因此这部分具备自动化测试的特点。构建自动测试工具首先读取输入资料如联锁表、采驱表，并生成具体联锁车站自动测试基础数据，然后根据预先设定好的测试项目、测试方法和步骤对联锁软件进行单项测试和进路测试，最后生成测试日志和测试记录，实现流程如图 5 所示。

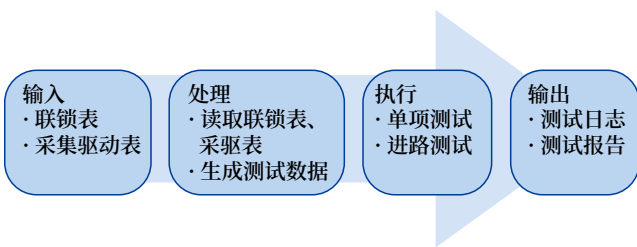


图5 联锁自动测试实现流程

Fig.5 Implementation flow of automatic test of interlocking product

联锁自动化测试工具通过脚本文件来定义测试场景，通过多次运行编辑和生成的脚本文件实现对测试案例的重复测试，能模拟用户在控显界面和键盘上操作，并能识别屏幕上的文本以及图片，并根据控显界面元素的颜色以及状态的变化来检查界面显示是否满足测试结果，如识别道岔是否处于期望位置，信号机显示的颜色是否符合预期。同时，联锁自动化测试工具可通过适配器采用以太网通信方式获取联锁输入与输出数据，并以此判断测试结果是否符合预期。

本文设计的联锁自动化测试工具可涵盖单项测试、进路测试等测试体系的所有测试内容，采用人工与自动相结合的方式，执行效率更高，对于回归测试也可以启用自动测试工具实现，可以运行在测试人员工作电脑或者工控机上，通过读取输入资料，

包括联锁表、采驱表，并生成具体车站自动测试数据，通过人机界面选择测试项目，满足 7×24 h 自动测试的需求，并自动生成测试日志和测试报告，并记录相关 NCR，测试工具架构如图 6 所示。

工具核心是测试工具的控制单元，通过它加载场景和配置数据，发送待执行的命令，并在日志文件中记录测试结果。工具核心也允许用户去定义测试场景及整体测试配置。当适配器从工具核心收到执行命令后，执行操作并把测试结果返回工具核心。采用图像识别技术自动定位和确定软件界面中包含的控件进而自动生成测试脚本；测试过程中，通过对待测软件进行屏幕截图，采用图像识别算法识别截图中是否包含预定义的可操作控件，如果存在，则触发控制指令，达到图像识别引导测试过程的目的；测试结果的验证通过对待测软件的界面进行截图操作，利用图像识别技术将截图与期望的结果进行匹配，从而自动获取测试结果。LSTEST 适配器通过 UDP 界面控制与 LSTEST 应用软件接口，并检查显示，适配器从工具核心收到执行命令，执行操作并将结果送回工具核心。对于接口使用 cwind 库和 twapi 来控制适配器到 HMI 的鼠标操作，并使用 Img 和 twapi 来检查设计位置的屏幕显示，该接口基于 TCP 实现，事实上在执行其他命令时，工具核心会等待反馈，以防造成通信堵塞。如果有通信故障发生，将尝试建立 3 次通信，如果失败，则会向工具核心返回 1 个故障信息。

为最大限度提高测试效率，做如下优化，定义可替换测试 MMI 的接口，定义 MMI 虚拟用户来控制 and 检查 MMI，增加故障命令、环境模拟，并加入从旧的测试数据自动导入测试数据。

### 4.2.1 读取输入资料

首先读取 Excel 格式文件 CBTC 联锁表、降级模式联锁表、引导进路联锁表、自动折返进路联锁表并识别联锁表中的道岔信息、区段信息、信号机信息等其他元素，然后将测试数据进行存储，导入联锁表数据，同时读取输入输出信息表，然后将测试数据进行存储，作为生成自动测试基础数据的输入。

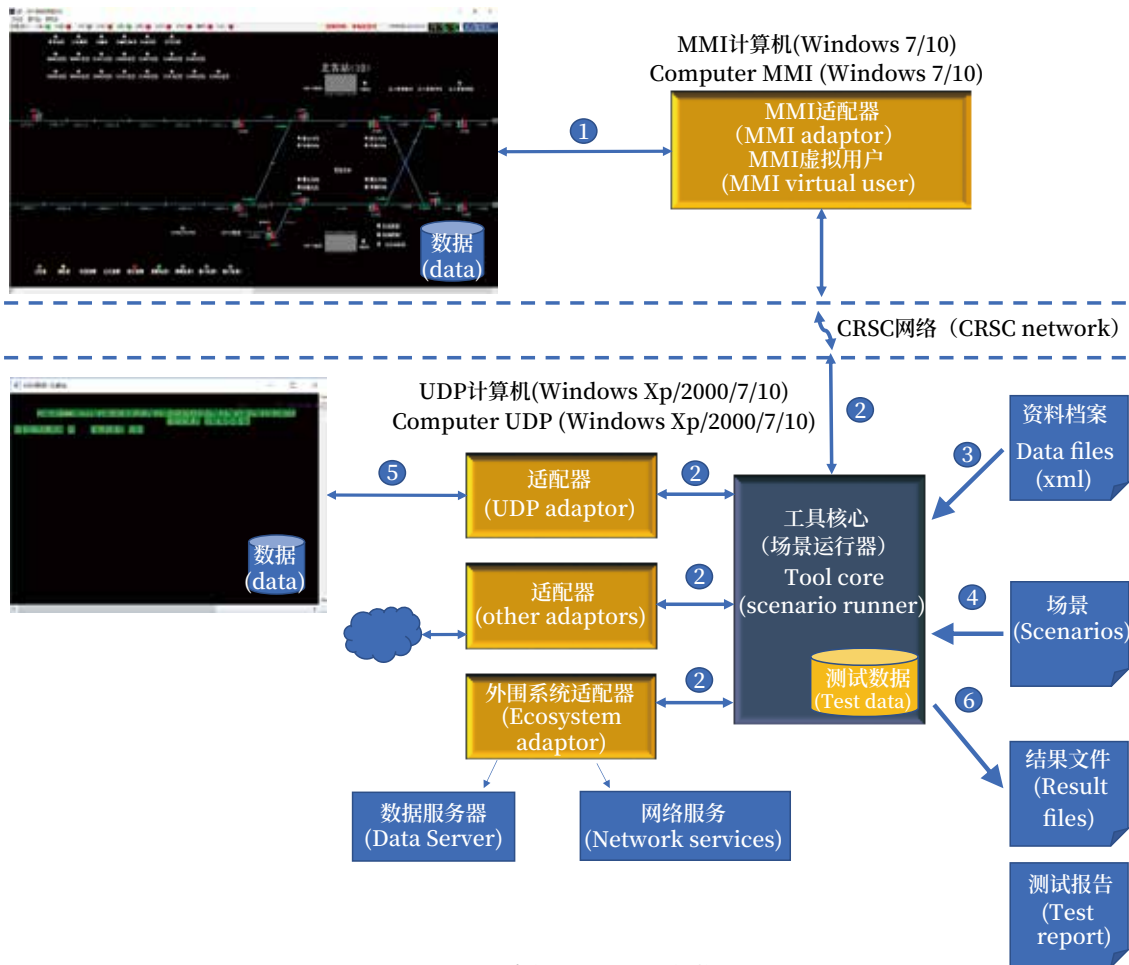


图6 联锁自动测试工具架构  
Fig.6 Architecture of automatic test tool of interlocking product

#### 4.2.2 生成测试数据

在完成基础数据的读取后，生成基于特定线路和特定站场的测试数据以便调用，在测试时调用并生成测试基础数据，基础数据生成结果如图 7 所示。

#### 4.2.3 测试运行

启动工具核心，对车站联锁数据进行完整测试、部分测试，可以根据项目特性与差异点任意选取测试项，也可在任意测试项内选择所需要测试的数据灵活设置，测试项选择如图 8 所示。

#### 4.2.4 测试输出

测试完成后，测试主界面可直接显示测试错误数量，测试日志内则详细记录了测试结果，测试结果主界面显示如图 9 所示。

测试完成后，除查看测试主界面测试错误数量外，测试日志内也详细记录了测试结果，并给出错

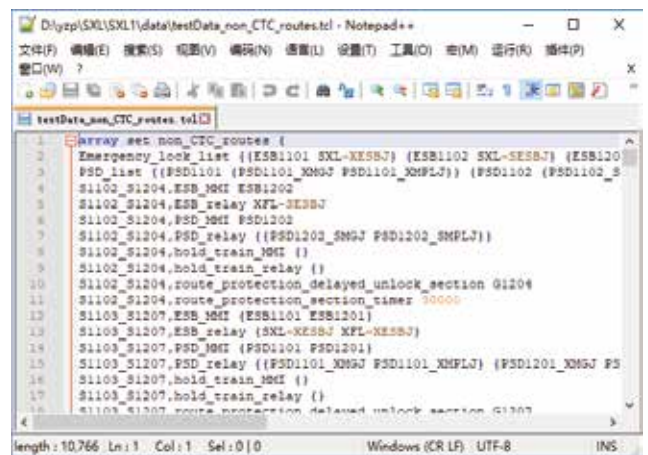


图7 基础数据生成结果  
Fig.7 Results of basic data generation

误原因，可供测试人员分析，同时可根据测试日志生成最终的测试记录单，导入要生成报告的日志，可同时选择一个或多个日志文件，然后单击“生成”

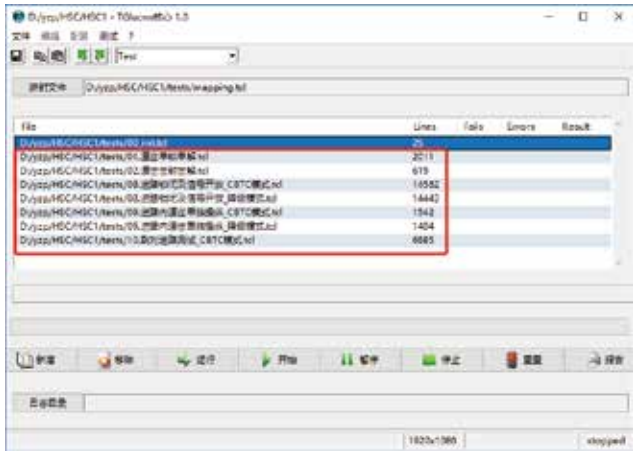


图8 测试项选择  
Fig.8 Selection of test items



图9 测试结果显示  
Fig.9 Display of test results

即可。测试报告如图 10 所示。

## 5 优点与不足

本文构建的自动化测试工具的优点可在不改变任何数据代码的情况下代替人工操作鼠标执行测试，且满足 7×24 h 自动测试的需求，大大提高测试效率，尤其是在需求改变不大的回归测试中，甚至可以达到 3 倍以上效率的提高，有助于信号系统交付能力的整体提升；同时自动测试工具支持 C/S、B/S 各种技术框架和基于组件智能识别的组件工具，可实现自动化回归测试和功能测试，让测试更智能。在手动测试中测试人员存在一定的人为失误风险，并且很难做到完全的遍历测试，人工测试存在一定的测试误差，自动化测试工具可优先弥补此测试风险。测试成本降低约 15% ~ 30%，测试时间大大

序号	道岔名称	单锁 单解	岔封 岔解	强扳 道岔	备注	序号	道岔名称	单锁 单解	岔封 岔解	强扳 道岔	备注
1	F1001	✓	✓	○		22					
2	F1002	✓	✓	○		23					
3	F1005	✓	✓	○		24					
4	F1006	✓	✓	○		25					
5	F1007	✓	✓	○		26					
6	F1201	✓	✓	○		27					
7	F1202	✓	✓	○		28					
8	F1501	✓	✓	○		29					
9	F1502	✓	✓	○		30					
10	F1503	✓	✓	○		31					
11	F1504	✓	✓	○		32					
12	F1505	✓	✓	○		33					
13	F1506	✓	✓	○		34					
14	F1507	✓	✓	○		35					
15	F1508	✓	✓	○		36					
16	F1509	✓	✓	○		37					
17	F1510	✓	✓	○		38					
18	F1511	✓	✓	○		39					
19	F1512	✓	✓	○		40					
20						41					
21						42					

说明：试验时请在测试结果栏中正确画“✓”，错误画“×”，无此项画“○”

图10 测试报告  
Fig.10 Test report

缩短，提升现场交付效率约 30% ~ 50%。

但是自动化测试工具在使用前需要进行测试准备，包括截图配置、菜单配置、输入资料配置等等，配置相对耗时，同时自动测试工具对测试设备要求较高，测试设备需运行流畅。若出现卡顿则会影响测试结果，纠错能力稍差，在测试过程中若弹出其他不相干的窗口，则会影响测试结果，甚至停止测试，同时对于自动测试工具的检测认证以及其系统的安全性及可靠性认证及维护是一个有待优化的问题。

## 6 结束语

本文在现有联锁产品交付测试方法和特点的基础上结合各线路，提出自动化测试的方式，且构建自动化测试工具架构，实现联锁产品交付测试的自动化过程。目前该自动化测试工具已经用于城轨联锁产品交付测试中，对提高测试效率及测试质量发挥了一定作用，但后期仍有一定的改进空间，可优化降低配置时间及配置通过率并增加图像识别技术



达到完全的自动化测试, 让测试效率及测试质量再上一个新台阶。

### 参考文献

- [1] 杨韬. 列控系统数据校核技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2013, 10 (Z1): 55-58.  
Yang Tao. Research on Data Checking Technology of Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2013, 10(Z1): 55-58.
- [2] 王俊峰, 汪希时. CTCS-3 列车控制系统数据融合方法研究 [J]. 铁道学报, 2012, 34 (9): 70-74.  
Wang Junfeng, Wang Xishi. Research on Data Fusion of CTCS-3 Train Control System[J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 34(9): 70-74.
- [3] 卜庆宇, 宋沛东. CBTC ZC 子系统功能实现简介 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2015, 12 (1): 47-49.  
Bu Qingyu, Song Peidong. Introduction of CBTC ZC Subsystem Functions[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2015, 12(1): 47-49.
- [4] 周书铮. LKJ 基础线路数据辅助校验系统 [J]. 铁道运营技术, 2010, 16 (3): 50-52.  
Zhou Shuzheng. Railway Line Basic Data Verification System of Automatic Train Operation Monitoring Device[J]. Railway Operation Technology, 2010, 16(3): 50-52.
- [5] 代继龙, 李晓刚, 李兆龄, 等. 新一代 CBTC 系统方案研究与关键技术探索 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13 (6): 41-44.  
Dai Jilong, Li Xiaogang, Li Zhaoling, et al. Scheme Research and Key Technology Exploration of New Generation CBTC System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(6): 41-44.
- [6] 王军贤. 中低运量城轨交通系统分析与选型 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (3): 75-78.  
Wang Junxian. Analysis and Selection of Urban Rail Transit System with Medium and Low Volume[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(3): 75-78.
- [7] 白广争, 李亮, 白广良. 基于通信的列车控制系统数据采集与解析软件的设计与实现 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (10): 119-122.  
Bai Guangzheng, Li Liang, Bai Guangliang. Design and Implementation of Data Collection and Analysis Software Based on CBTC System[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(10): 119-122.
- [8] 冲蕾, 马子彦, 杨明来. CBTC 系统与车辆段联锁系统接口研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2013, 16 (12): 64-66, 73.  
Chong Lei, Ma Ziyang, Yang Minglai. On the Interface between CBTC and Depot Interlocking System[J]. Urban Mass Transit, 2013, 16(12): 64-66, 73.

\*\*\*\*\*

## 《铁路通信信号工程技术》期刊简介

《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管, 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办, 在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响, 深得科技人员的好评。经国家新闻出版总署批准, 自 2005 年 12 月起面向国内外公开发刊。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。

期刊官网: <https://rsce.crsced.com.cn>

# 城市轨道交通车站智慧客服系统的 研究与实践

徐 晔<sup>1</sup>, 徐钟全<sup>2</sup>

(1. 南京地铁运营有限责任公司, 南京 210000;

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:** 各城市地铁线网的不断发展和各种新技术在地铁的应用, 乘客对地铁提供的服务要求越来越高。如何快速有效为乘客提供高质量的服务, 是当前地铁亟待探索的课题。基于南京地铁, 首先利用相关出行数据分析乘客的行为, 从而引出智慧客服系统的概念, 阐述智慧客服系统设计理念, 通过系统层、应用层、管理层 3 个层次的改造, 车站现场逐步向“无人化”值守转变, 形成“一站式”快捷的智慧客服系统。节约车站运营人力, 降低运营成本。

**关键词:** 城市轨道交通; 智慧客服; 自动售检票系统

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0070-05

## Research and Application of Smart Customer Service System for Urban Rail Transit

Xu Ye<sup>1</sup>, Xu Zhongquan<sup>2</sup>

(1. Nanjing Metro Operation Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

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

**Abstract:** With the continuous development of subway networks in various cities and the application of new technologies in subways, passengers have increasingly high requirements for subway services. There is an urgent need to explore how subways can quickly and effectively provide quality services for passengers. Taking Nanjing Subway as an example, this paper first analyzes the behavior of passengers by using relevant travel data, to introduce the concept of smart customer service system, and then describes the design concept of smart customer service system. Through the transformation at three layers, i.e. system layer, application layer and management layer, the station is gradually changed to the "unmanned" operation mode, so that a "one-stop" convenient smart customer service system is created. In this way, the station operation staff and operation cost are reduced.

**Keywords:** urban rail transit; smart customer service; automatic fare collection system

收稿日期: 2022-09-20; 修回日期: 2023-08-26

基金项目: 南京地铁集团有限公司建设项目 (JS-D. 005. X-SG28-00-2110-0224)

第一作者: 徐晔 (1980—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 自动售检票系统, 邮箱: xu\_ye@njmetro.com.cn.

## 1 概述

目前,南京地铁线网不断发展,车站运营组织愈加复杂。有效增强设备管理能力,提升运营服务水平,应对大线网运营挑战是当前地铁亟待探索的课题<sup>[1-2]</sup>。移动互联网时代,乘客不仅需要更加便利、快捷的服务,更需要针对不同乘客群体提供差异化、全方位的一站式出行服务,如线网导航、智能问询、各类异常处理等<sup>[3-4]</sup>。

智慧客服正是在这一背景下出现。从乘客角度看,可以通过语音识别、远程帮助与现场智能服务等多种渠道获得帮助与服务,从而解决咨询高峰期等候时间长、服务质量受人员素质影响等问题。从企业角度看,通过引导乘客优先使用智能化、自助化乘客事务处理系统,可以释放更多的人力资源<sup>[5]</sup>。

国内主要地铁城市都在尝试和发展车站智慧客服,比如上海地铁对地铁车站服务中心升级改造造成“阳光伴你行”服务台<sup>[6]</sup>。广州地铁在部分车站设置了智能客服中心及乘客自助终端,系统稳定运行至今<sup>[7]</sup>。这些都为南京地铁的智慧客服系统的研究提供了基础与借鉴。

## 2 乘客行为研究

南京地铁想要设计出方便实用、推广性强的智慧客服系统,一方面需要借鉴已有城市的经验。另一方面需要对乘客行为深入分析,得到乘客最普遍、最原始的需求,从而构建相匹配的智慧乘客服务系统。本节以南京地铁机场线为例,通过运营数据和实地调研对乘客行为进行研究。

### 2.1 运营数据

2021年11月1日,机场线半自动售票机共发生447笔交易,详细数据如表1所示。从数量上看,单程票业务(包括单程票更新、发售和退票)为主要部分,占比为80.54%,一卡通和二维码业务分别占15%和4.46%。

交易量排名前3的车站是南京南站、禄口机场和翔宇路北,占比分别是36.47%、32%和

11.86%。禄口机场站两个客服点,B2单日交易量97人次,B4单日交易量46人次。南京南站5个客服点,最高单日交易量为B7的48人次,最低单日交易量为B2的20人次。

表1 机场线半自动售票机车站交易量统计

Tab.1 Transaction data at stations equipped with semi-automatic ticket machines of Airport Line

车站	客服点	交易量/人次					合计
		单程票更新	一卡通更新	二维码更新	单程票发售	退票	
禄口机场	B2	85	5	3	3	1	97
	B4	35	4	4	3	0	46
翔宇路南	B2	16	5	2	0	0	23
翔宇路北	B4	37	6	2	8	0	53
正方中路	B4	8	4	1	0	0	13
吉印大道	B1	7	6	1	5	0	19
翠屏山	B3	1	6	1	8	0	16
佛城西路	B1	3	2	3	1	0	9
	B4	5	3	0	0	0	8
南京南站	B2	12	2	0	6	0	20
	B4	20	5	2	6	0	33
	B7	32	8	0	8	0	48
	B8	24	7	1	7	0	39
	B9	14	4	0	2	3	23
合计	14	299	67	20	57	4	447

如图1所示,机场线半自动售票机交易量从07:00开始增多,至12:00达到最高峰48人次/小时,随后缓慢下降,随着晚高峰到来,18:00左右,交易量再次增长至37人次/小时。

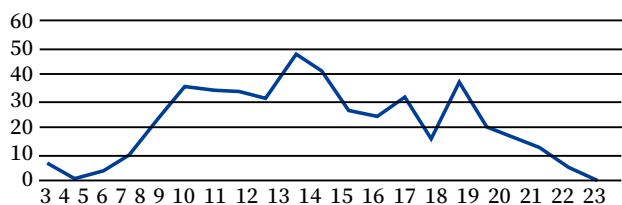


图1 机场线半自动售票机运营数据分时段  
Fig.1 Operation data of semi-automatic ticket machines of Airport Line by time period

### 2.2 实地调研

2021年11月14日,课题组在机场线南京南站进行实地调研,统计一天以来乘客所有实际需求,

归纳后总共分为 7 大类，分别是票卡业务处理（含边门）、地铁业务咨询、票务业务咨询、导航、发票类业务、现金兑换业务和特殊需求。经统计，当天共发生乘客事务 4 724 次，其中票卡业务处理（含边门）占比 13.6%，其余问询类业务占比 86.4%。导航和票务业务咨询是乘客需求最大的两类，占比分别是 51.78% 和 16.09%，如表 2 所示。

表2 南京南站客服中心乘客事务处理分类

Tab.2 Classification of passenger services handled at customer service center of Nanjing South Station

业务大类	事项	次数
票卡业务处理 (含边门)	单程票、一卡通、二维码更新、退票、边门放行等	642
地铁其他业务 咨询	列车时刻表、站内洗手间位置等 问询	56
票务相关业务 (政策) 咨询	如何购票和票务相关政策咨询	760
导航	高铁站、汽车站路线和旅游景点 等位置导航	2 446
发票类业务	领取发票，发票领取政策咨询	425
现金兑换业务	微信换钱，大额兑零	201
特殊需求	购买口罩，手机充电，找寻失物， 接送残障人士	137

### 2.3 调研结论

从运营数据分析看，交易量呈现出 3 个不平衡，分别是不同车站之间、同一站内不同客服点之间以及线路内不同时间段之间。这就导致在大型车站、客流高峰和特殊客服点的工作人员工作饱和，而其他工作人员工作则相对较少。而在现有的模式下，车站又必须在每个客服点配置工作人员，且工作时间覆盖整个运营时段，造成人力资源的严重浪费。通过智慧客服系统，将现场客服人员集中在后台，不但能平衡各客服人员的工作量，又能减少人力资源浪费，以较少的人员数量取得同样甚至更优的乘客服务。

从实地调研情况看，客服中心每日工作中，主要的工作量是导航与业务咨询，且相当多的乘客需求是重复的。在现有模式下，这些重复的问询会消磨客服人员的热情，处理不好还会影响乘客体验。因此，必须要充分考虑乘客的导航和问询需求，将

简单、重复的需求通过机器实现，后台客服处理一些个性化的专项服务。

## 3 智慧客服系统的研究与实践

### 3.1 设计理念

智慧客服设计理念主要包括 3 层架构，即第 1 层系统层、第 2 层应用层、第 3 层管理层，如图 2 所示。

系统层强调智慧客服对整套自动售检票系统的智能化改造。要求设备稳定、故障率低，且运行方式从“以人为本”的角度出发，优化处理流程。第 1 层的主要目的在于通过系统的智能化，增加系统的容错性，尽量减少乘客事务处理的数量。

应用层需要开发虚拟化的乘客事务处理机器人，乘客通过线上和线下的入口，不受时间和空间的限制，实现与智能机器人的交互，其具有问询、导航、票务查询与处理等功能。线上入口有官方 APP、微信小程序等，线下入口有车站的自助查询机、自助处理终端等。第 2 层的主要目的在于把乘客的一些简单的、重复的需求进行收集整理，通过智能机器人为乘客提供咨询服务，最大限度减少重复的人工处理时间。

当智能事务处理机器人无法满足乘客需求时，可以向呼叫中心后台专业化客服寻求帮助。第 3 层的主要目的在于通过远程客服的形式处理第 1 和第 2 层无法处理的乘客需求。

通过上述 3 层的智慧化改造，车站现场将逐步向“无人化”值守转变，形成智慧化客服“一站式”快捷服务方式。

### 3.2 前期研究成果

近年来，南京地铁自动售检票系统在乘客服务智慧化上的成果颇丰。2013 年开始全线推广“单程票未进站也可出站”模式，2019 年开始推广“二维码过闸业务离线比对”模式，上述两项创新使闸机智慧化进一步提升，每年可减少大量的乘客事务处理。2019 年试点语音购票功能，使自动售票机智慧化进一步提升，此举可减少相当多的乘客由于不熟

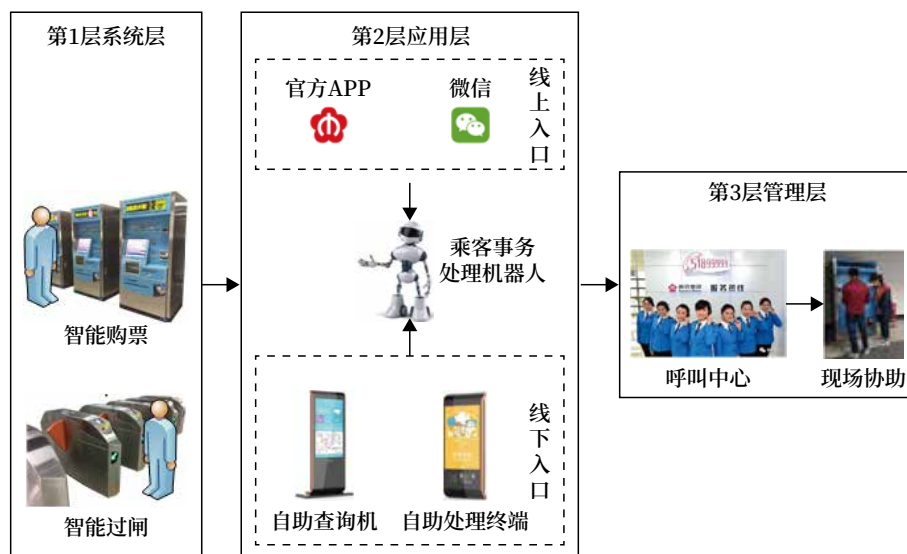


图2 智慧客服设计理念

Fig.2 Design concept of smart customer service

悉站点而产生的问询工作。

上述3项功能的实现，是智慧客服第1层的重要组成部分，大大提升乘客的购票和过闸效率，减少乘客由于不熟悉乘车路线、不熟悉设备使用方法而发生的问询和处理工单，是智慧客服系统不可或缺的一环。

### 3.3 智慧客服系统研究

#### 1) 智能问询

随着通信技术和互联网技术的不断发展，乘客的沟通行为习惯也在发生变化，车站客服中心的人工问询模式已经无法满足乘客的多元化沟通模式。因此，如何提高客服中心的工作效率，提升乘客的出行体验，减少地铁运营人力成本，是迫切要解决的问题。

南京地铁在新一轮建设规划中已考虑建立智慧客服系统，并已在宁句城际线马群站进行试点，而智能问询是其重要的一环，其入口分线上和线下两种，线上入口有官方APP、微信小程序。线下入口有车站自助终端、智慧票亭，乘客可通过线上和线下入口与智能问询机器人对接，随时获取咨询服务。

问询方式有智能推荐、文字输入和语音问询3种。乘客登录后，系统首先会根据后台数据分析，推荐给乘客若干个咨询量较高的问题，如果是乘客想要

咨询的问题，乘客可以直接点击进入获取相关信息。如果不是乘客想要咨询的问题，乘客可另外通过文字或者语音问询的方式访问智能问询系统<sup>[8-10]</sup>。

智能问询的实现，是智慧客服第2层的重要组成部分，把乘客的一些简单的、重复的需求进行收集整理，通过智能机器人为乘客提供咨询服务，最大限度减少重复的人工处理时间。

#### 2) 远程客服

远程客服需要构建一套远程音视频对讲系统，具备远程屏幕共享和远程控制等功能，实现远程客服功能。车站票亭需要增加麦克风和摄像头，具备音视频对讲功能。当乘客在遇到自身无法解决的问题时，可转为人工服务。客服人员可进行远程客服服务，如果是简单的问询服务，则通过音视频交互完成。如果是操作类问题，则进行远程控制解决。

远程客服在整个智慧客服系统中处于第3层，是完成乘客需求闭环的重要保证。由于乘客需求的多样性以及智能问询系统的不完善，必然有部分乘客需求在第1和第2层无法处理，远程客服可以有效帮助乘客完成问询或者票务处理。

## 4 智慧客服经济效益分析

智慧客服系统的经济效益主要集中在人员配置

减少,用工成本降低。以机场线为例,远程客服中心定员的数量  $N_{\text{总}}$ ,如公式(1)所示<sup>[7]</sup>。

$$N_{\text{总}} = \frac{N \cdot m \cdot d \cdot h}{3600} \cdot \frac{T_m + T_s}{c} \quad (1)$$

其中,  $N_{\text{总}}$ ——远程客服中心定员数量。

$N$ ——月呼叫总量:根据2.2节中调研结果,南京南站单日共计发生问询4724次,而当天客流占机场线总客流的28.93%,估算出机场线当天的问询总量约为16326次。

$m$ ——人工呼叫比例:是指需要人工处理的呼叫数占呼叫总数的百分比。暂按50%考虑,随着系统的逐步完善及乘客的适应,人工比例会逐步降低。

$d$ ——忙日系数:是指一个月里最忙一天的呼叫量占呼叫总量的百分比。参考电信热线电话,一般取值7%。

$h$ ——忙时系数:是指一天里最忙1h的呼叫量占日呼叫量的百分比。参考电信行业,一般取值10%。

$T_m$ ——人工呼叫平均时长:是指客服人员处理一个人工呼叫的平均时长。参考广州地铁,建议  $T_m$  暂按300s估算。

$T_s$ ——通话后整理时间:是指客服处理完一个人工呼叫后的后续整理工作时间。电信行业一般取值5~10s,地铁建议暂按10s考虑。

$c$ ——坐席利用率:是指坐席处理工作时间和总时间的比例。电信行业一般利用率在80%~90%,地铁建议暂按85%计算。

综上所述,如表3所示,以一条9个站的城际线路为模型样本进行计算。为便于计算,年人均工资计10万元每年,  $N_{\text{总}} \approx 5.79$ ,四舍五入后得出,该线路人工客服可定员6人/班次,按照四班运作,总人数为24人,年均节省费用约560万元,如果考虑到全线推广等因素,智慧客服的经济效益将更加明显。

## 5 总结

南京地铁在国内城市轨道交通行业中较早开展

表3 智慧客服用工成本对比

Tab.3 Comparison of staff costs before and after smart customer service is provided

客服分类	定员人数/人	年均工资/(万元/年·人)	年工资总额/(万元/年)
满员编制	80	10	800
智慧客服	24	10	240

了线网智慧客服平台的设计和建设,平台通过主动式和响应式服务模式促进沟通方式变革,从面对面服务到语音服务,再到线上文字互动以及现在智慧客服机的视频语音服务,通过声音、文字、图片、动画等全方位的立体型服务,使得沟通更加人性化。

## 参考文献

- [1] 李树鹏.城市轨道交通突发大客流运营组织研究[D].兰州:兰州交通大学,2018.
- [2] 宋利明.地铁线网大客流应对措施探讨[J].城市轨道交通研究,2011,14(8):49-50,64.  
Song Liming. Measures for Large Passenger Flow Organization in Metro[J]. Urban Mass Transit, 2011, 14(8): 49-50, 64.
- [3] 朱小瑶,卜邦梅.“用心做”才能做好:乘客心理与地铁服务质量改善分析[J].上海质量,2009(2):57-60.  
Zhu Xiaoyao, Bu Bangmei. “Do it with Your Heart” to Do It Well—Analysis of Passenger Psychology and Improvement of Subway Service Quality[J]. Shanghai Quality, 2009(2): 57-60.
- [4] 肖维.移动互联网时代在线旅游企业差异化经营研究[D].桂林:广西师范大学.
- [5] 江志彬,陈菁菁,谷金晶.地铁智慧车站的内涵和实践途径[J].城市轨道交通研究,2019,22(9):6-9.  
Jiang Zhibin, Chen Jingjing, Gu Jinjing. Connotation of Smart Metro Station and Practical Approaches[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(9): 6-9.
- [6] 陈光华.互联网时代地铁车站客服中心智慧服务对策[J].城市轨道交通研究,2020,23(8):6-10.

(下转85页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.10.014

# 基于城轨车辆升级扩容的信号系统方案研究

汪 沛

(卡斯柯信号有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 描述典型 CBTC 系统, 从车辆扩容的角度分析信号系统的各个子系统的影响和设计方案, 对项目初期的信号系统设计提出建议; 结合项目实际情况, 明确车辆升级扩容后会影响到信号系统设计的车辆参数, 结合车辆参数进行信号系统方案的研究, 同时从信号系统的角度提出对车辆尺寸、设备安装位置、牵引制动特性、接口总线等各个设计的需求, 评估信号系统可接受的车辆参数, 为车辆方的车辆设计及信号系统的技术方案提供设计参考。

**关键词:** 信号系统设计; 车辆升级扩容; 车辆参数

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0075-05

## Research on Signaling System Scheme Based on Vehicle Upgrading and Capacity Expansion of Urban Rail Transit

Wang Pei

(CASCO Signal Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** Based on a description of the typical CBTC system, this paper analyzes the impacts and design scheme of each subsystem of the signaling system from the perspective of vehicle capacity expansion, and provides suggestions for the signaling system design at the initial stage of the project. Considering the actual situation of the project, it determines the vehicle parameters affecting the signaling system design after vehicle upgrading and capacity expansion. Based the analysis of the vehicle parameters, it studies the signal system scheme. It also proposes the design requirements for vehicle dimensions, equipment location, traction and braking characteristics, and interface bus from the perspective of the signaling system. Assessing the acceptable vehicle parameters for the signaling system, it provides a design reference for the vehicle design of the vehicle supplier and the technical scheme of the signaling system.

**Keywords:** signaling system design; vehicle upgrading and capacity expansion; vehicle parameters

随着同一城市轨道交通线路的规模化建设和网络化运营, 地铁客流量大幅度增长, 部分地铁线路

前期购置车辆的载客能力和运营间隔逐步无法满足客流的增长需求, 车辆升级扩容势在必行。由于升级扩容车辆与既有车辆设计参数往往不同, 这对信号系统设计提出了新的要求, 在满足保障运营安全、提高运营效率、不影响轨旁设备布置的前提下兼容

收稿日期: 2022-08-23; 修回日期: 2023-08-24

作者简介: 汪沛 (1990—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路信号控制, 邮箱: wangpei\_admin@163.com。

既有车辆与升级扩容车辆的参数特征。本文梳理了信号系统对车辆参数变化的系统性设计，供后续增车项目参考，同时也对车辆方的车辆设计提出建议。

## 1 项目概况

以北京某线车辆升级扩容项目为例，某线已运营超过 10 年，既有列车 10 列，升级扩容新车 8 列，考虑在运营过程中发现的既有列车的不足，车辆方重新设计了升级扩容列车。

本文基于通信的列车自动控制系统 (Communication Based Train Control System, CBTC)，研究升级扩容列车的参数变化对既有信号系统设计的影响，以便车辆方进行方案的制定选择，同时为信号系统和车辆接口提供帮助。

## 2 升级扩容车辆对信号系统的影响

典型的 CBTC 系统：轨旁部分主要有计算机联锁子系统 (CI)、列车自动监控子系统 (ATS)、数据通信子系统 (DCS)、维护子系统 (MSS)，列车自动防护子系统和列车自动运营子系统合称为列车自动控制子系统 (ATC)<sup>[1]</sup>。ATC 子系统含轨旁区域控制器 (ZC)、轨旁线路控制器 (LC)、定位信标和车载信号设备。

信号系统设计包括总体设计和子系统设计。总体设计是整个信号系统的设计基础，为后续的子系统设计提供参考输入<sup>[2]</sup>。子系统设计主要包含 ATC、ATS、CI、DCS、MSS 等方面，它们直接影响着项目的硬件设备和软件数据。升级扩容列车设计的变化，均会影响到信号系统的相关设计。

### 1) 对列车自动控制子系统 ATC 的影响

ATC 直接与车辆进行信号车辆接口，包括硬线接口和网络接口，同时 ATC 子系统还会结合总体设计中的定位信标、停车点等相关内容进行车辆的精确停车控制。为满足信号需控制车数增加的需求，轨旁 ATC 设备的 ZC 和 LC 需要进行软件扩容，同时根据升级扩容列车新的车辆参数，重新对轨旁设

备布置进行分析，确认轨旁设备是否兼容新的车辆设计。

### 2) 对 ATS 的影响

ATS 子系统主要根据列车运行时刻表对全线列车进行集中监控，对运营实施控制，控制联锁区范围内的进路和信号<sup>[3]</sup>，车数的增加也会导致 ATS 的软件扩容。

### 3) 对 CI 的影响

CI 主要负责信号机、道岔、计轴、站台门的联锁控制，车数的增加也会导致 CI 的软件扩容。同时新增车辆的开关门时延会影响车门屏蔽门的同步，车载信号系统需与 CI 综合设计，以满足升级扩容车的车门屏蔽门开关门同步的需求。

4) DCS 和 MSS 根据新增车辆数量对软件进行扩容

综上所述：对于新增车辆项目，轨旁的信号系统子系统均需进行软件扩容以满足信号系统控车的需求。在信号系统的初期设计中，建议信号系统提前核算在满足最大运营效率前提下需求的列车数量，在轨旁软件设计中提前进行容量的预留。该建议可以保障在新增车辆与既有车辆参数完全一致的情况下，不影响既有轨旁子系统，直接实施升级扩容项目。

## 3 信号系统设计实施

列车升级扩容一般采取两种方案：一是与既有车完全保持一致；二是为了满足现代化、实用性、舒适性等需求，对升级扩容的车辆进行重新设计<sup>[4]</sup>。某线升级扩容项目为方案二，配合新车升级扩容，信号系统设计需要进行相应变动以满足需求。针对重新设计的列车，信号系统需与车辆重新进行接口谈判，根据新的车辆参数和车辆设计重新进行信号系统设计，基于保障运营安全和保障运营效率的需求，对于升级扩容新车项目，信号系统要求升级扩容车辆不影响轨旁信号系统设备布置。

### 3.1 车辆参数

在升级扩容列车的信号系统设计中需重点考虑



到列车的车长车重等物理特性、列车的紧急制动等性能特性、信号车辆的接口方式等各类参数，具体如下表 1 所示。

表1 影响信号系统设计的车辆参数

Tab.1 Vehicle parameters affecting signaling system design

参数	描述
列车尺寸和重量	列车车长、列车空载重量、列车满载重量、旋转质量
信号设备安装位置	信标天线到车端的距离、编码里程计是否安装在制动轴或自由轴
牵引制动特性	牵引制动特性参数、牵引制动延迟时间
紧急制动参数	保障紧急制动率、紧急制动时间 <sup>[5]</sup>
车门开关门延时	从发出开门（关门）命令到车门完全打开（锁闭）的时间
信号车辆接口方式	硬线、CAN、MVB、RS-485

## 3.2 方案设计

### 3.2.1 停车点设计

停车点的设计主要考虑车体中心与站台中心对齐，保证每一个车门都能与屏蔽门对齐，不影响乘客乘降。对于增车项目，需不影响既有布置，此处需考

虑车长和车载设备中信标天线安装位置这两个因素。

对于升级扩容车与既有车车长一致的情况，停车点可按既有配置实行，无需进行停车点的变更，此时只需考虑信标天线的位置。如图 1 所示，对于列车头尾冗余定位及精确停车，信号会根据列车停车后的信标天线位置布置第二接近信标、第一接近信标以及确保列车精确停车的精确停车信标。精确停车信标距离信标天线的距离为 1 ~ 1.5 m，故新增车为了满足精确停车的功能，需保证停车后信标天线满足该安装范围，此处需车辆方进行车下设备布置时综合考虑。

对于升级扩容车与既有车车长不一致的情况，信号系统设计需按两种车型最长车长考虑，将短车在设计层面虚拟成长车，保障列车停车后在软件逻辑层面匹配同一个停车点。车辆方需根据信号系统提供的停车点，核算停车后的信标天线与精确停车信标之间的距离，设计信标天线的安装位置，如图 1 所示。

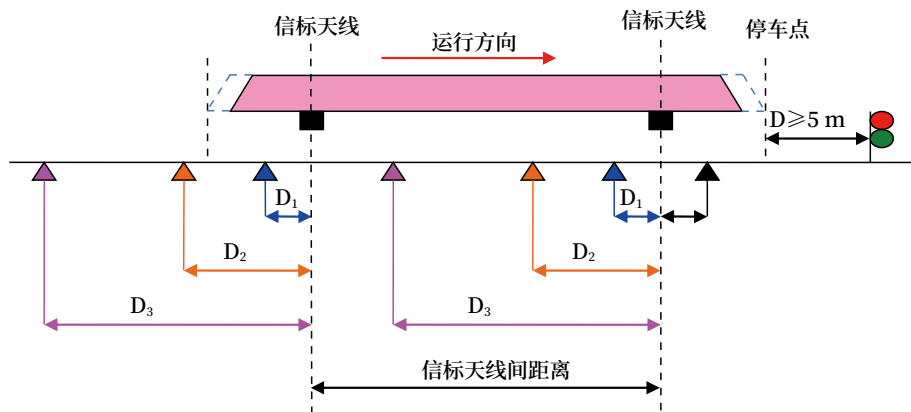


图1 信标、停车点、信标天线位置

Fig.1 Location of beacon, parking point and beacon antenna

### 3.2.2 紧急制动时间影响

紧急制动时间参数主要有  $T_{cut\_off}$ 、 $T_{eb-0}$ 、 $T_{eb-10}$ 、 $T_{eb-90}$ ，分别对应紧急制动接点打开到牵引切断之间的延迟时间、紧急制动接点打开到开始制动之间的延迟时间、从  $T_{eb-0}$  到施加了 10% 的制动之间的延迟时间、从  $T_{eb-0}$  到施加了 90% 的制动之间的延迟时间，均需考虑最恶劣的情况<sup>[6]</sup>，如图 2 所示。

紧急制动各参数主要影响信号系统的保护区段

长度<sup>[7]</sup>、EOA 距离、保护区段解锁时间、紧急进路解锁时间、紧急制动距离，时间参数越大，信号系统各相应的设计参数就会越大<sup>[8]</sup>，最终影响信号系统轨旁设备布置以及运营效率。

某线车辆升级扩容项目中，车辆方最初给出的紧急制动时间参数远大于既有车，经信号系统核算后不满足既有轨旁信号设备的布置需求，同时极大地影响运营效率。经信号方和车辆方沟通后，车辆

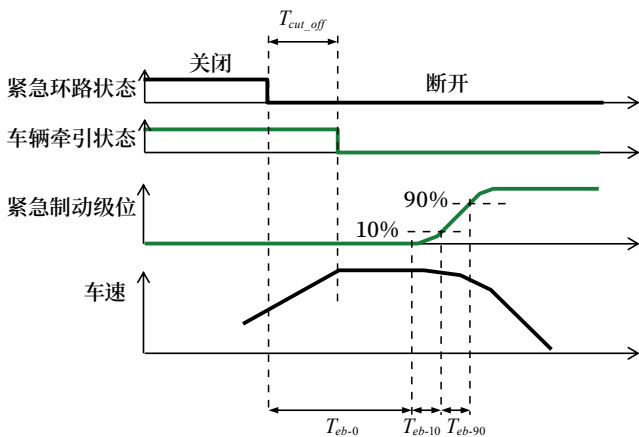


图2 紧急制动时间参数示意  
Fig.2 Time parameters of emergency braking

方重新进行了设计，最终给出满足需求的参数。

### 3.2.3 车门和屏蔽门的同步开/关

屏蔽门的开、关控制由车载信号设备来实施，它们之间的接口通过联锁子系统实现，联锁子系统作为车载设备与站台屏蔽门中间桥梁，将车载的开、关门命令输出到屏蔽门。

车门的开、关控制也由车载信号设备实施，它们之间的接口通过硬线实现。

升级扩容车相对于既有车，由于门控器和车门的区别，车门的开/关门延时存在一定的差异，信号层面是可接受的。为满足车门和屏蔽门同步打开和关闭的需求，信号系统需要根据车辆方提供的车门开/关门延时进行软件配置。以车门屏蔽门完全打开到位为例，开/关门时序如图3所示。列车进入站台区域停准停稳后，为满足车门屏蔽门同步打开到位的需求，信号输出屏蔽门开门命令，经时延后输出车门开门命令（一般为2 s的脉冲信号），保证车门屏蔽门最终同步完全打开。关门同理。该时延需根据车门的开/关门延时进行考虑。

某线车辆升级扩容项目，车辆门控器逻辑与既有车存在区别，信号系统根据新的车门开/关门时延参数重新设计车载信号软件，最终满足车门屏蔽门同步的需求。

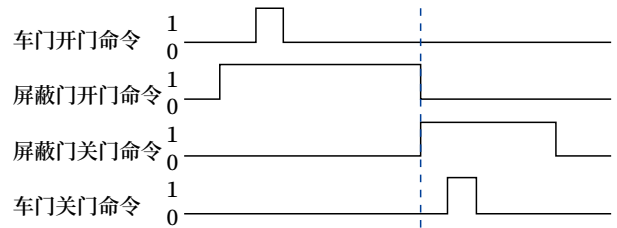


图3 车门屏蔽门同步开/关门时序  
Fig.3 Time sequence of synchronous opening and closing of train doors and platform screen doors

### 3.2.4 接口总线变化

CAN 总线是一种串行通信协议，传输速率根据传输距离的不同而不同，最高可达1 Mbit/s，能够满足短编组运营车辆 TCMS 数据的传输需求。MVB 总线同样是一种串行通信协议，属于总线仲裁型网络，传输速率为1.5 Mbit/s。MVB 总线及协议相对 CAN 总线规定要更加严苛，能够满足各种车辆运营工况下 TCMS 的数据传输需求。这也保证了 MVB 在城市轨道交通车辆运用中的稳定性<sup>[9]</sup>。

基于既有车辆 CAN 总线造成的种种困扰，某线车辆升级扩容项目将总线方式更换为 MVB，信号与车辆 TCMS 的网络接口也变更为 MVB。信号与车辆的 TCMS 接口信息中，电制动使能信号、液压制动使能信号、牵引制动级位信号为信号 ATO 控车的主要信号<sup>[10]</sup>，接口方式的变化会导致车辆牵引制动响应的变化。信号方通过测试，最终确认了不同电制动等级之间的响应延时、不同液压制动等级之间的响应延时、电制动转液压制动的响应延时、不同牵引等级之间的响应延时，重新建立新的车辆模型，实现信号 ATO 精确控车，保障 ATO 模式下的舒适度和停车精确度。

## 4 结束语

某线车辆升级扩容项目，所有设计、软件均通过评审，完成了室内外测试，已进入载客运营阶段。本文对初期的信号设计提出建议，轨旁设备为增加车辆做好容量预留，同时结合项目情况对车辆参数

进行分析,在满足既有信号系统轨旁设备和保障运营的前提下,明确对车辆参数的需求,要求新增车辆进行设计时,需同步考虑信号系统设计,避免影响整个信号系统的安全。同时也从信号系统设计角度评估可接受的车辆设计变化,根据新的车辆参数进行信号软件的优化,有效减少设计、安装、调试的工作量,减少全生命周期成本,降低对运营的影响。

### 参考文献

- [1] 郑京生. 列车占用检测延时对CBTC信号系统安全影响研究[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(10): 9-11.  
Zheng Jingsheng. Study on Impacts of Train Occupancy Detection Delay on Safety of CBTC Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(10): 9-11.
- [2] 阮杰, 张成国. 不同列车编组运行信号设计方案研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(5): 77-80, 84.  
Ruan Jie, Zhang Chengguo. Design of Signal System Suitable for Different EMU Train Formation[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(5): 77-80, 84.
- [3] 孙士博. 天津地铁各线路ATS系统的结构和功能浅析[J]. 铁道运营技术, 2017, 23(3): 22-24.  
Sun Shibo. Analysis on the Structure and Function of ATS System in Tianjin Metro Lines[J]. Railway Operation Technology, 2017, 23(3): 22-24.
- [4] 刘义, 孙瑶, 庄文锋, 等. 城市轨道交通既有有线增购车辆方案比选[J]. 铁道技术监督, 2021, 49(5): 53-57.  
Liu Yi, Sun Yao, Zhuang Wenfeng, et al. Comparison and Selection of Schemes for Purchasing Additional Train on Existing Lines of Urban Rail Transit[J]. Railway Quality Control, 2021, 49(5): 53-57.
- [5] 安超帅, 滕靖, 刘万明, 等. 现代有轨电车安全制动距离的变化规律[J]. 交通科学与工程, 2018, 34(4): 64-70.  
An Chaoshuai, Teng Jing, Liu Wanming, et al. Variation Regularity of Safe Braking Distance of Modern Tram[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2018, 34(4): 64-70.
- [6] 杨志, 王冬海. 地铁CBTC信号系统列车紧急制动相关车辆参数评估[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(22): 76-79.
- [7] 布登兵, 陈绍文. 基于车辆制动延时的列车自动防护系统防护距离优化[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(4): 105-107.  
Bu Dengbing, Chen Shaowen. ATP System Protection Distance Optimization Based on Vehicle Braking Delay[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 105-107.
- [8] 闫贝贝, 徐恒亮. CBTC系统中接近锁闭区段的计算与应用场景说明[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(8): 92-95.  
Yan Beibei, Xu Hengliang. Application Scenario and Calculation of Approach Locking Section in CBTC Signal System[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(8): 92-95.
- [9] 李星宜, 李正, 崔杰, 等. 城市轨道交通车辆总线对比分析[J]. 现代城市轨道交通, 2019(6): 55-60.  
Li Xingyi, Li Zheng, Cui Jie, et al. Contrastive Analysis of Bus Bars of Vehicles on Urban Rail Transit[J]. Modern Urban Transit, 2019(6): 55-60.
- [10] 钱华, 余接任, 谭寿云. 基于网络数据传输模式的列车制动电空混合控制的改进[J]. 机车电传动, 2014(3): 69-73.  
Qian Hua, Yu Jieren, Tan Shouyun. Improvement of Train Brake Control Dynamic-Pneumatic Blending Algorithm Based on Train Network[J]. Electric Drive for Locomotives, 2014(3): 69-73.

# 城市轨道交通信号系统分段式改造方案

李 洁, 辛 鑫

(北京市地铁运营有限公司, 北京 100044)

**摘要:**城市轨道交通部分线路的信号系统服役接近 15 年, 信号系统改造迫在眉睫。传统的改造方案施工难度大、施工周期长、涉及设备多。提出一种分段式的改造方案, 可降低成本提升效率, 尽早解决既有车载设备故障率高给运营带来的影响。

**关键词:**城市轨道交通; 信号系统; 分段式改造; 自主感知

中图分类号: U231+.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0080-06

## Phased Retrofitting Scheme for Signaling System for Urban Rail Transit

Li Jie, Xin Xin

(Beijing Subway Operation Co., Ltd., Beijing 100044, China)

**Abstract:** As the urban rail transit signaling systems of some subway lines have been in service for nearly 15 years, there is an urgent need to retrofit such signaling systems. The traditional retrofitting solution has such problems as huge construction difficulties, long construction period, large amount of involved equipment. Thanks to technical development, it is possible to reduce the retrofitting costs of signaling systems. The paper provides a phased retrofitting solution, which can not only reduce the costs and increase the efficiency, but also eliminate as soon as the negative impacts of the failure rate of existing onboard equipment on subway operation.

**Keywords:** urban rail transit; signaling system; stage-based retrofitting; autonomous perception

截至 2022 年底, 国内 (大陆地区) 共有 55 个城市开通城市轨道交通运营线路 308 条, 运营线路总长度 10 287.45 km。城市轨道交通已经成为国内大中型城市缓解城市拥堵、满足市民出行需求的重要手段。信号系统是城市轨道交通的“大脑和中枢神经”, 基于通信的列车控制 (Communication-

Based Train Control, CBTC) 是信号系统的主流制式。自 2008 年北京地铁 10 号线首次采用 CBTC 技术并成功开通运营, 经过十几年的发展, CBTC 技术在国内各个城市得到广泛应用。

根据《城市轨道交通设施设备运行维护管理办法》, 信号系统的整体使用寿命一般不超过 20 年。目前, 北京、上海等地的部分 CBTC 系统已逐步接近 15 年使用期限, 为确保其在 20 年的服役年限截止前完成改造, 应尽快开展城市轨道交通信号系统的改造工作。

既有的信号系统改造方案存在时间长、成本高、

收稿日期: 2023-06-13; 修回日期: 2023-09-27

基金项目: 北京市地铁运营有限公司科研项目 (2022000581015001)

第一作者: 李洁 (1985—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 城市轨道交通信号系统, 邮箱: ljbx029@126.com。

施工难度大的问题。伴随着信号系统的发展,新的信号制式陆续出现,亟需提出一种能够提升效率新的信号改造方案。

本文对信号系统的既有改造方案和模式进行了系统分析,结合信号系统的发展趋势和技术现状,提出了一种分段式改造方案,能够有效提高信号系统改造的效率,降低成本。

## 1 信号系统改造方案研究现状

信号系统的升级改造要遵循不影响运营、成本可控、高效可靠的基本原则。目前,国内部分线路已经完成信号系统的改造,主要有以下两种方式。

### 1) 主/备冗余式

以CBTC系统为主用模式,另一制式信号系统为备用模式。当CBTC系统故障时,备用模式启动。主用系统和备用系统采用不同的模式,从而降低共因失效的概率,提升信号系统的可靠性和可用性。上海地铁2号线以既有基于轨道电路的列车控制(Track Circuit-Based Train Control, TBTC)系统为备用模式,以新建CBTC系统为主用模式。正常情况下CBTC模式为主用模式,当CBTC设备发生故障时切换到TBTC模式运行。

主/备冗余式改造方案对运营秩序的影响较小,既有设备利用率高,且能够分阶段改造。但改造后设备数量大大增加,提高了维护难度和维护成本。

### 2) 一次性整体切换式

在既有信号系统运营期间新建一套完全独立的信号系统,新信号系统在安装、调试过程中均不能影响既有系统的正常工作,待新系统全部调试完成后一次性开通运营,最后拆除既有信号系统。北京地铁1/2号线、八通线以及天津地铁1号线均是在TBTC系统运营期间,新建CBTC系统并在建设完成后整体替代原系统。

一次性整体切换式能够解决既有信号厂家设备老化、支持力度不足、备品备件停产等问题。由于地面设备较多施工复杂,且只能利用夜间3~4h的天窗点进行施工,时间极其有限,车载和地面设

备无法独立使用等原因,该方案实施难度大,总体工期长。同时,一次性整体切换式改造对既有设备的利用率低,难以达到降本增效的目标。

由于CBTC技术成熟、安全高效且性能稳定,目前国内的信号系统改造大多采用“整体改造,一次倒切”的方式新建一套CBTC系统整体替代既有系统。传统CBTC系统轨旁设备多,实施难度大,见效慢,如北京地铁2号线整体改造用了3年时间,极大提升了改造成本。随着各大中城市的城轨信号系统陆续进入改造阶段,加之信号系统技术也进入了新时代,亟需寻求一种施工难度小、见效快、成本低且性能优的信号系统改造方式,以提升社会效益和经济效益。

## 2 列车自主运行系统

列车自主运行系统(Train Autonomous Control System, TACS)伴随着通信技术、计算机技术、传感技术和控制技术的发展日趋成熟,已成为城市轨道交通信号系统的发展方向。TACS能够通过车-车通信和自主感知实现列车自主安全运行,具有结构扁平化、轨旁设备数量少和运行效率高特征,与传统的CBTC系统架构和运行原理有较大区别。

TACS核心功能从地面转移到车载,地面设备相对较少。车载设备自主计算列车移动授权,室内设备不再配置区域控制器(ZC)和联锁设备,而是配置资源管理器(RC),真正实现以列车为主体配置资源。如图1所示,TACS主要由列车车载设备、RC、中心ATS等设备组成。中心列车自动监控系统ATS向车载下发行车计划;车载根据行车计划和前车位置等信息向RC申请线路资源,并自主计算移动授权,实现列车自主运行,当列车行驶过后向RC释放线路资源;RC负责登记列车信息并管理线路资源。车载设备包含自主感知设备和信号设备,其中,自主感知设备通过相机、激光雷达、毫米波雷达等技术融合,实现列车测速定位、识别信号机状态、识别障碍物类型(如车辆、人、纸箱等)及

计算可视距离等功能，为列车兼容不同的地面信号系统提供技术支持。

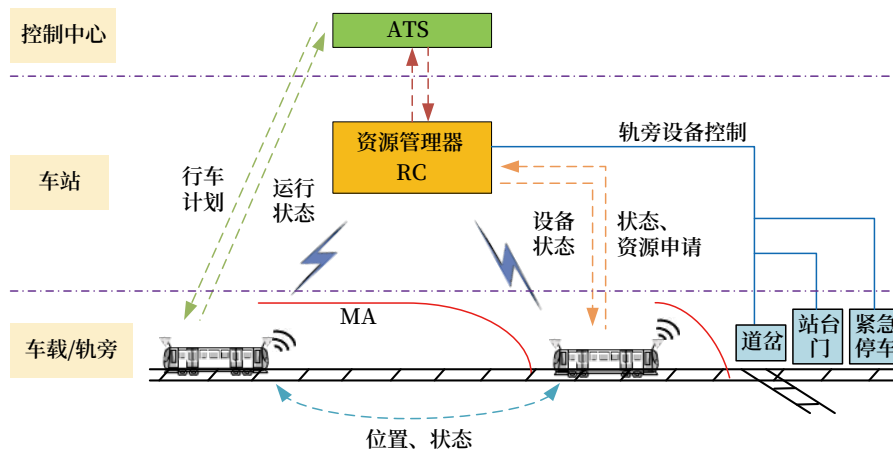


图1 TACS架构示意  
Fig.1 Typical architecture of TACS

基于自主感知和车-车通信的TACS即Autonomous Perception Based, TACS, 简称A-TACS。当列车降级后, A-TACS车载设备能够通过自主感知技术识别信号机状态, 控制列车按照进路自主运行。与CBTC系统相比, A-TACS改变降级模式的信息获取方式, 使列车在降级模式下与地面信号系统的关联度大大降低。根据这一特征, A-TACS替代CBTC时, 可改变一次性整体切换模式所面临的问题, 分段式改造则成为可能。

### 3 信号系统分段式改造方案

本文提出一种A-TACS替换CBTC的分段式改造方案, 分为车载设备改造和地面设备改造两个阶段。待改造线路由于服役时间长、设备老化导致的故障时有发生, 尤其车载设备故障频发, 采用车载设备先行改造的方式, 完成改造的列车即可使用新设备上运营。随着装载新设备的列车上线数量的增加, 逐步降低既有车载设备故障给运营带来的严重影响, 提升信号系统的可靠性。同时, 车辆改造相比于整体改造完成时间明显缩短, 全部车辆改造完成后将彻底解决车载设备故障问题, 成效显著, 大大提升改造效率, 进一步有利于提升社会效益。相比于传统CBTC系统, A-TACS的地面设备数量少、功能简单, 可以减少地面设备用房限制, 缩短

地面施工调试时间, 降低施工成本。考虑到地面改造施工主要占用夜间天窗点开展工作, 一般仅有3~4h, 在同等条件下, 由于A-TACS地面设备少于CBTC系统, 改造工期将缩短1/3。可见, 采用A-TACS分段式改造既能提升改造效率, 也能降低改造成本。改造方案如下。

#### 1) 车载设备改造阶段

列车加装A-TACS车载设备, 新车载设备和既有车载设备独立运行, 可通过倒切开关进行切换。新车载设备能兼容既有地面设备, 通过自主感知技术识别信号机状态, 按照进路闭塞的降级模式行驶。车载设备的改造安装时间不需要依赖“天窗”, 可在场段分批次进行。以全线配置50列车为例, 场段每月完成改造4~5列车, 经调试后分批次上线运营, 全部列车改造在1年半内时间即可完成。

#### 2) 地面设备改造阶段

A-TACS地面设备改造与车载设备改造分段进行, 亦可同时进行分阶段完成。RC和既有联锁设备加装倒切设备, 夜间调试切换到改造设备, 白天运营恢复为既有设备。本阶段是对列车自主运行系统的全功能验证, 完成后拆除既有信号系统设备, 最终完成改造。

相比于传统的整体改造方案, A-TACS分阶段改造方案能够分期见效, 只需列车车载设备完成改

造即可分批次上线运营。改造后的列车能够兼容既有地面信号设备，在降级模式下自主运行。既有地面设备识别到改造后列车为非通信车，为其排列后备进路，此时车载设备依靠自主感知技术识别信号机状态和前方障碍物，并自主计算移动授权，确保列车安全运行。当只有部分列车完成改造时，线路上同时存在装载新设备的列车和既有设备的列车，既有设备列车依然能够按照 CBTC 模式运行，新设备列车则按照降级模式运行，新旧两种车载列车混跑运行。

由于分段式改造方案在系统全部改造完成前无法建立车-车、车-地无线通信，所以改造后的列车使用新设备上线运行时，只能采用降级模式，按照进路闭塞行车，因此会加大行车间隔，损失一部分运力。当运营线路本身的行车密度较低时，改造期间造成的运力损失相对较小；反之，则相对较大。因此，A-TACS 分阶段改造方案更适合客流量适中或较小的线路。对于本身客流量较高的线路，亦可使改造后的车载设备作为既有车载设备的后备系统，当既有车载故障后切换到新车载设备，使列车能够继续运行，避免设备故障导致列车下线给运营带来的不利影响。

#### 4 分段式改造方案验证

北京地铁 15 号线首开段 2010 年底开通，至今已运营 10 多年，接近改造周期。15 号线信号系统正在进行分段式改造方案的车载改造验证，试验已于 2022 年 4 月开始实施，预计 2023 年底完成验证。

选取俸伯到石门的三站两区间作为分段式改造试验段，以两列车作为试验车，加装 A-TACS 车载设备。15 号线的最小运营间隔为 3 min 19 s，客运能力与客流需求不匹配是当前线路的主要问题。为此，在第一阶段的 A-TACS 降级模式改造中，除车载改造以外，还需要在线路增加区间信号机，从而缩短进路闭塞间隔，达到降级模式下 2 min 30 s 的列车运行间隔。线路布置如图 2 所示，其中区间信号机 XQ1、XQ2、SQ1 和 SQ2 为新增信

号机。同时，加装室内设备 RC 对新增信号机进行驱采控制，并通过倒切装置实现对既有轨旁设备的驱采控制。

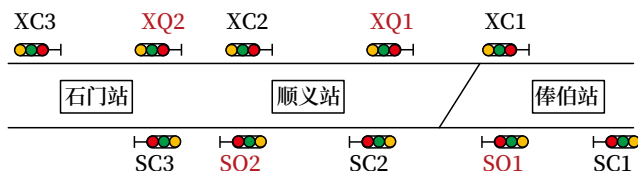


图2 北京15号线试验段线路  
Fig.2 Layout of test section of Beijing Subway Line 15

#### 4.1 车载设备改造

如图 3 所示，两列试验列车上加装自主感知设备和车载信号设备。自主感知设备包括摄像头、激光雷达、毫米波雷达和感知主机；车载信号设备包括车载 ATP、BTM 主机、MMI 显示屏、应答器天线和测速设备等。

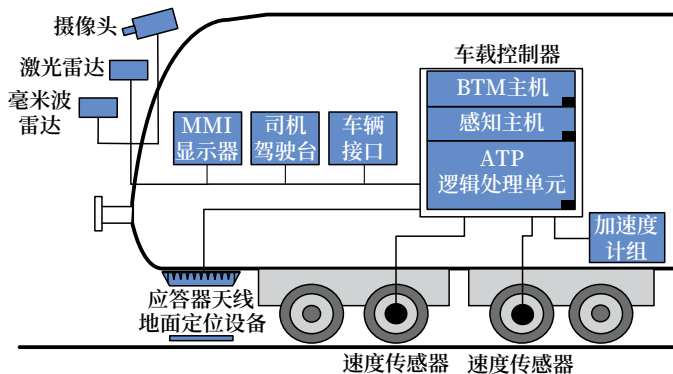


图3 新增车载设备结构示意图  
Fig.3 New on-board equipment

新增车载信号设备、既有车载信号设备对车辆的控车指令输出保持独立，可通过切除开 / 关进行切换，如图 4 所示。运营期间新增车载设备处于断电切除状态，试验调试期间既有设备处于断电切除状态，彼此无干扰。新增车载信号设备同步持续采集车辆信息，信息采集不会影响既有车载设备工作，如图 5 所示。

#### 4.2 地面设备改造

如前所述，为提升北京地铁 15 号线后备模式下的运行能力，在试验段加装信号机。在俸伯站信号设备室安装 RC 设备，并设置倒切柜实现 RC 和

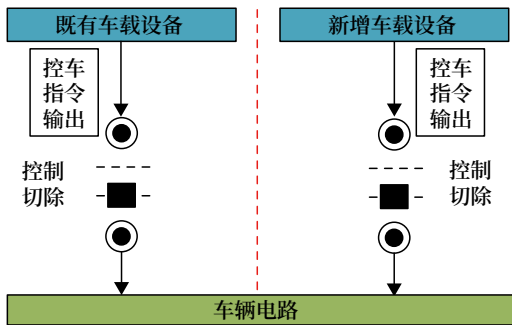


图4 新旧车载设备对车辆指令输出示意  
Fig.4 Command output to the train by the new and old on-board equipment

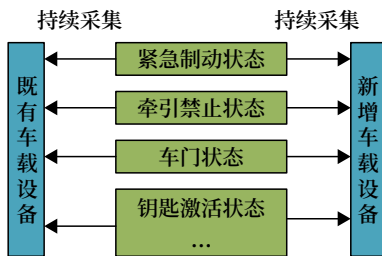


图5 新旧车载设备采集车辆信息示意  
Fig.5 Information acquisition from the train by the new and old on-board equipment

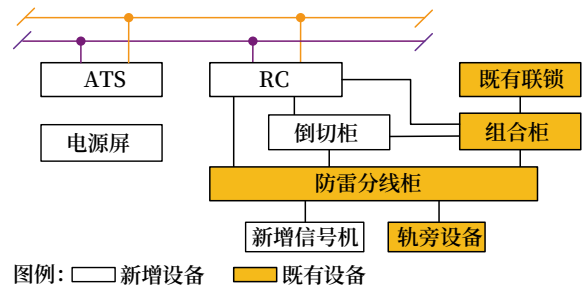
既有联锁对轨旁信号机、道岔的控制切换。另外还安装了ATS设备、DCS设备、电源屏等。室内设备结构如图6所示。对于其他室外设备，RC同步采集既有继电器的空余接点，减少配线改动以降低对既有设备的影响。

### 4.3 改造试验目标

目前北京地铁15号线的改造试验正在按照上述方案开展进行。本试验目的在于验证分段式改造方案的可行性，确保分段式改造中后备运行模式的可用性，为A-TACS的分段式改造的实际应用奠定基础。

## 5 结论

A-TACS分段式改造方案采用先改车载设备，确保新车载设备改造完成后能够上线运营，后改地面设备，实现车-车通信全部功能，最终完成新信号系统整体替代的方式。对比传统的主/备冗余式和一次性整体切换式改造，不仅精简了新系统的设



图例：□ 新增设备    ■ 既有设备

图6 室内设备结构  
Fig.6 Architecture of indoor equipment

备数量，降低改造难度，还实现了分期见效，在第一阶段改造后能够全面提升车载设备的可靠性，缩短改造见效周期，提高改造效率。但由于整体改造完成前新车载设备只能在降级模式下按照进路行车，可能会加大行车间隔，降低行车效率。本文以北京地铁15号线改造试验为例，介绍第一阶段后备运行模式的改造方案，为即将进入改造周期的城轨线路提供合理可行的参考依据。

### 参考文献

- [1] 王二中, 李新. 两种城市轨道交通既有有线信号系统改造方案对比分析[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(5): 66-68.  
Wang Erzhong, Li Xin. Comparison and Analysis of Two Types of Reconstruction Schemes of Urban Rail Transit Existing Line Signaling System[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(5): 66-68.
- [2] 朱莉. 城市轨道交通信号系统改造方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 118-121.  
Zhu Li. Retrofit Solution Research of Urban Rail Transit Signaling System[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 118-121.
- [3] 王喜军, 杨立新, 武少峰. 城市轨道交通信号系统升级改造项目方案研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(11): 77-81.  
Wang Xijun, Yang Lixin, Wu Shaofeng. Study on Upgrading and Transformation Scheme of Signal System in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(11): 77-81.



- [4] 杜建新, 左旭涛. 列车自主运行系统在城市轨道交通网络化建设和运营中的适用性分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (10): 199-201.  
Du Jianxin, Zuo Xutao. Applicability Analysis of Train Autonomous Circumambulate System in Urban Rail Transit Network Construction and Operation[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(10): 199-201.
- [5] 郭玉珊, 成正波, 陈绍文. 基于车车通信系统的折返能力研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (7): 77-80.  
Guo Yushan, Cheng Zhengbo, Chen Shaowen. Study on Turn-back Capacity Based on TACS[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(7): 77-80.
- [6] 吴昊. 城市轨道交通列车自主感知系统及关键技术研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25 (6): 230-233.  
Wu Hao. Research on Urban Rail Transit Train Autonomous Perception System and Key Technologies[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(6): 230-233.
- [7] 戴翌清. 城市轨道交通信号系统更新改造需求分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25 (11): 14-17, 22.  
Dai Yiqing. Demand Analysis of Urban Rail Transit Signal System Renovation[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(11): 14-17, 22.
- [8] 刘媛维. 城市轨道交通既有信号系统改造项目的风险管理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (7): 92-95.  
Liu Yuanwei. Risk Management of Reconstruction Projects of Existing Signal Systems for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 92-95.

\*\*\*\*\*

(上接 74页)

- Chen Guanghua. Smart Service Strategy for Metro Station Service Center in the Internet Era[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(8): 6-10.
- [7] 张森, 于敏. 基于“互联网+”的城市轨道交通乘客智能服务模式探讨 [J]. 都市快轨交通, 2021, 34 (3): 146-152.  
Zhang Sen, Yu Min. Passenger Service Mode of City Rail Transit Based on Internet Plus[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(3): 146-152.
- [8] 王敬一. 基于大数据分析的智能客服系统研究与设计 [J]. 计算机产品与流通, 2018 (2): 145.  
Wang Jingyi. Research on Artificial Intelligence Customer Service System under the Background of Big Data[J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2019(16): 65.
- [9] 张正普, 王晓冬, 郭奕聪. 铁路企业智能问询平台关键技术研究 [J]. 铁路计算机应用, 2022, 31 (3): 68-72.  
Zhang Zhengpu, Wang Xiaodong, Guo Yicong. Key Technologies of Intelligent Inquiry Platform for Railway Enterprises[J]. Railway Computer Application, 2022, 31(3): 68-72.
- [10] 陆焯. 大数据背景下的人工智能客服系统研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2019 (16): 65.  
Lu Ye. Research on Artificial Intelligence Customer Service System under the Background of Big Data[J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2019(16): 65.

# RBC设备常见无线连接超时原因分析

夏朋亮

(中国铁路西安局集团有限公司西安高铁基础设施段, 西安 710000)

**摘要:** 主要阐述目前国内无线连接超时的现状, 重点探讨 CTCS-3 级列控系统常见无线连接超时的原因分析, 对无线连接超时故障进行定义和阐释。结合目前管内高铁的实际情况, 以地面设备 RBC 侧导致无线连接超时的故障为例, 对常见无线连接超时原因及处置流程进行分析总结, 并提出分析方法及应对措施。

**关键词:** CTCS-3 级列控系统; 无线连接超时; 无线闭塞中心

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0086-06

## Cause Analysis of Common Wireless Connection Timeout Faults of RBC Equipment

Xia Pengliang

(Xi'an High-speed Railway Infrastructure Depot, China Railway Xi'an Group Co., Ltd., Xi'an 710000, China)

**Abstract:** This paper mainly describes the current situation of wireless connection timeout in China, and provides a cause analysis of the common wireless connection timeout faults of the CTCS-3 train control system. Taking the wireless timeout faults case by the wayside equipment RBC as an example, it provides a definition and an interpretation of "wireless connection timeout" faults, and considers the actual situation of the high-speed railways under the management of Xi'an Railway Bureau. On this basis, it provides the cause analysis and summarizes the disposal procedures of common wireless connection timeout faults. It also puts forward reasonable suggestions on analysis methods and countermeasures.

**Keywords:** CTCS-3 train control system; wireless connection timeout; radio block center

### 1 目前无线连接超时现状

CTCS-3 (简称 C3) 无线连接超时处理涉及通信、信号两个专业, 影响因素较多, 是目前国内较

难解决的一个问题, 国内许多高校及相关科研单位正在努力研究。C3 无线连接超时是指车载设备与 RBC 通信过程中, 由于 GSM-R 网络、车载 ATP 或无线闭塞中心 (RBC) 等原因, 引起车载与 RBC 通信异常中断, RBC 无法对列车进行控制。C3 无线连接超时是影响 C3 级列控系统安全稳定运行的重要问题, 由无线连接超时引起的 C3 降至 C2 级, 严重影响高铁的运输效率。因此, 通信、信号维护

收稿日期: 2022-07-18; 修回日期: 2023-08-06

作者简介: 夏朋亮 (1984-) 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 车地传输信息分析研究, 邮箱: xplwhq@163.com。

单位应准确分析、判断 C3 超时原因，及时消除造成超时的隐患，进一步减少超时对列车运行的影响。

C3 级列控系统主要由车载列控系统 (ATP)、铁路专用移动通信网络 (GSM-R)、无线闭塞中心 (RBC) 3 部分及其他地面设备组成。RBC 根据轨道电路、联锁进路等信息生成行车许可 (MA)，并通过 GSM-R 无线通信系统将 MA、线路参数、临时限速等信息传输给 ATP 车载设备，同时通过 GSM-R 无线通信系统接收车载设备发送的位置和列车数据等信息。CTCS-3 列控系统无线超时，即车载在 T\_NVCONTACT 时间内未收到任何来自 RBC 的应用层消息。无线超时发生后，车载 ATP 将通过 DMI 提示司机无线连接超时，同时控制列车输出最大常用制动。

### 2 无线超时类故障分析基本步骤

以西安局管内 RBC 为例，郑西 RBC 的通信日志，主要包含 RBC 与地面子系统之间 (RBC-CTC、RBC-CBI、RBC-TSRs 和 RBC-RBC) 以及 RBC 与

车载之间的通信日志。在发生 C3 无线连接超时后，基于车地闭环监测链，综合对比分析 RBC 设备地面数据及各接口监测数据，其各接口监测位置如图 1 所示，确定故障点，提出处理措施建议。基本分析步骤如下。

- 1) 检查 RBC 地面设备，确认设备对应各板卡是否运行正常，与其他连接设备是否通信正常。
- 2) 下载 RBC 日志数据，并分析 RBC-CC 传输层 (L4 层) 和网络层 (L3 层) 的日志数据，查看车地双方是否按照规范发送相应数据包，以及对方是否正常收到所需的数据包，确定 C3 数据层面的拆链原因。
- 3) 下载 RBC 业务监测数据，分析是否启动定时器等，与 RBC 日志数据分析进行对比，再次确认超时原因。
- 4) 将数据发送各自厂家协助分析，进一步确认超时故障原因。
- 5) 通过综合对比各个接口的数据和 RBC 地面数据来最终确定超时原因。

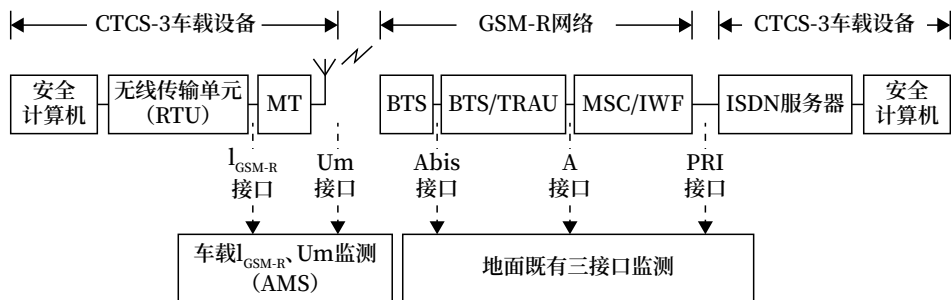


图1 各接口监测位置示意  
Fig.1 Locations of interface monitoring

### 3 典型故障案例分析

以西安局管内高铁发生的无线连接超时典型故障为例，简述故障发生时数据分析方法及处理措施。

1) 2021 年 7 月 19 日 15:12，由兰州局 CRH 380B-5829-01 车担当的 G3181 (300T) 次运行至徐兰高铁线茂陵东辅助所—杨陵南站间下行线 1 111 km 100 m 处，因无线连接超时由 C3 级降为 C2 级运行。

如图 2 所示，从日志数据分析看，14:12:27 CC

```
Jul 19 09:12:27 (none) kernel: [4.1.1] [0] source = /proc/kmsg started.
Jul 19 09:12:27 (none) kernel: Inspecting /boot/System.map
Jul 19 09:12:27 (none) audit: Interior number: 1
Jul 19 09:12:27 (none) logread: CC version: 08.11111C

trapex: speed: 100 Mbps
Jul 19 09:12:27 (none) rpsst: [500]: stop the server to 0.00.0.1 after 200.000.0.000
Jul 19 09:12:27 (none) logread: CC starting M.O.
Jul 19 09:12:27 (none) kernel: sysfs: [0.0.0.0] [0.0.0.0] [0.0.0.0]
```

图2 西宝RBC1 CC1 syslog日志  
Fig.2 Syslog log of RBC1 CC1 of Xi'an-Baoji High-speed Railway

系统日志显示：CC 开始重启。CC 启动时，CC 系统时间较北京时间有 8 个时区差异，此时时间未经

校时不准 15:13:15 CC 系统日志显示：CC 启动完成并进行系统校时。

由于 CC1 重启，CC1 与外部通信中断，重启后与外部通信逐渐恢复。原因为西宝 RBC1 CC1 板卡异常重启，造成 RBC1 CC1 与外部通信中断，引起 G3181 次无线连接超时。

2) 2021 年 4 月 30 日 16:03，G833 次（西安动车段 CRH380AL-2591 号，广州南至西安北，西安机务段值乘）运行至徐兰高铁线临潼东站—西安北站间下行线 1 070 km 500 m 处无线连接超时，由 C3 级转 C2 级运行。

查看 RBC5 的 CC 日志，发现郑西 RBC5 发生 3 系宕机。原因为 RBC5 收到该车尾部（即最小安全后端）进入 C2 区域的位置报告，判定 C9308 次列车的 C3/C2 等级转换流程已完成，并为该车更新基于 BSL1 应答器的 MA，但该 MA 中又包含 C3/C2 等级转换执行应答器信息。RBC5 按照 MA 中的 C3/C2 等级转换信息再次启动 C3/C2 等级转换流程。由于该车已完成 C3/C2 等级转换，RBC 5 按照

其安全处理逻辑判断列车编号无效并触发宕机。最后通过修改郑西 RBC5 软件问题得以解决。

3) 2021 年 8 月 27 日 18:40，G2024 次（郑州动车段 CRH380B-5802，300T）运行至杨陵南站至茂陵东辅助所间上行线 K1118+500 处无线连接超时，C3 转 C2 模式运行（未停车），19:03 运行至西安北站—临潼东站间上行线 K1065+500 处恢复 C3 级运行，未影响列车。

综合分析 RBC 日志和 RBC 业务监测数据：18:21:54 ~ 18:40:57 L3 层大量连续出现 FALC Loss of alignment 信息（表示从 MSC 来的物理层帧有异常），车-地信息交互异常，18:39:27 RBC 主动发送安全连接断开。

结合通信关于机械室 2 M 缆施工如更换 2 M 缆倒切有关 RBC 业务时，由于 2 M 同轴电缆芯较为灵敏，往往会出现因通信不畅而导致无线连接超时，依据 RBC 侧数据分析经验，可提前预判网络通信不好所引起的无线连接超时，如图 3 所示。

```
29/09:23.18.25:560;:STATS;:L2 Counters:
29/09:23. I=1616 RR=2194 RNR=0 REJ=0 SREJ=5 FRNR=0 SABN(E)=
29/09:23. I=2004 RR=1305 RNR=0 REJ=0 SREJ=8 FRNR=0 SABN(E)=
29/09:23.18.25:560;:STATS;:T1 expired=201
29/09:23.18.25:618;24248;2204879388;L3 D;:RX:08 02 3b ca 5a
30/09:00.47.16:989;24249;2210208358;L1 D;:FALC Loss of alignment;
30/09:00.47.17:001;24250;2210208358;L1 D;:FALC state Deactivation Pending;
30/09:00.47.17:013;24251;2210208368;L1 D;:FALC Frame alignment establish;
30/09:00.47.17:025;24252;2210208368;L1 D;:FALC state Activation Pending;
30/09:00.47.17:037;24253;2210208373;L1 D;:FALC Frame alignment establish;
30/09:00.47.17:049;24254;2210208377;L1 D;:FALC state Activated;
30/09:00.56.46:959;24255;2210778414;L1 D;:FALC Loss of alignment;
30/09:00.56.46:970;24256;2210778414;L1 D;:FALC state Deactivation Pending;
30/09:00.56.46:982;24257;2210778414;L1 D;:FALC Frame alignment establish;
30/09:00.56.46:994;24258;2210778414;L1 D;:FALC state Activation Pending;
30/09:00.56.47:006;24259;2210778415;L1 D;:FALC Loss of alignment;
30/09:00.56.47:018;24260;2210778415;L1 D;:FALC state Deactivation Pending;
30/09:00.56.47:030;24261;2210778416;L1 D;:FALC Frame alignment establish;
30/09:00.56.47:042;24262;2210778416;L1 D;:FALC state Activation Pending;
30/09:00.56.47:054;24263;2210778419;L1 D;:FALC Frame alignment establish;
30/09:00.56.47:066;24264;2210778420;L1 D;:FALC state Activated;
30/09:02.25.25:483;24265;2216097747;L3 D;:RX:08 02 41 e7 05 04 02 88 90 18
30/09:02.25.25:495;:;:91 a1 15 02 01 21 02 01 19 30 04 0a 01 01 0a 01
30/09:02.25.25:507;:;:01 04 05 00 00 00 00 00 6c 0d 21 83 31 34 39 38
```

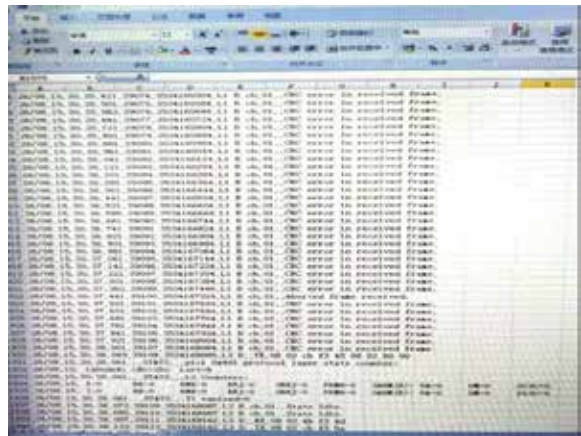


图3 大量FALC

Fig.3 large amount of FALC

#### 4 RBC侧无线连接超时分析及处置流程

C3 级列控系统日常的无线连接超时现状，依据国铁集团和中国铁路西安局集团有限公司电务部关于 C3 无线通信超时分析的要求，为规范西安高铁基础设施段 C3 无线通信超时分析流程，减少无线连接超时对高铁运输的影响，深入分析查找 C3 无

线通信超时问题原因。按照“谁发现、谁发起”的原则，对发现的无线连接超时报警信息，由发起方及时联系配合方进行配合分析，确定其故障原因。

##### 4.1 无线连接超时信息传递流程

RBC 工区值班人员每日定时对 RBC 设备状态及各终端进行巡视检查，发现无线连接超时报警后，及时对报警前后时段的数据进行下载和初步分析，

分析报警原因并逐级汇报，并将下载的 RBC 数据发给各自厂家协助分析。值班人员应第一时间联系西安通信段核心网工区，提出获取 MSC 侧 RBC 与 GSM-R 网络通信的相关数据。同时询问相关站段核心网工区和 RBC 工区的初步分析结果，若无法获取相关数据，将联系结果逐级反馈并最终由电务部协调解决。

#### 4.2 无线连接超时信息分析流程

无线连接超时发生后，由电务维修技术中心组织电子检测维修队及各自厂家对 RBC 数据进行初步分析，确定无线连接超时发生的关键点和初步原因。电子检测维修队由当日值班干部组织 RBC 工区人员及各自厂家技术人员进行分析，查找故障原因。通过对 RBC 的 CC 日志数据、CC 的 L3 层日志数据、通信 ORI 接口数据等方面进行分析，确认无线消息包的收 / 发及在网络中的传递情况、RBC 的处理逻辑、车载设备是否正常挂断的结论。

#### 4.3 无线连接超时信息处置流程

结合数据分析结果，如果为 RBC 设备问题，根据影响范围采取立即申请隐患要点、立即更换不良设备或在不影响正常使用情况下天窗内处理。如果分析与 RBC 设备无关，则通知通信段及车载设备车间进一步分析查找原因。电子检测维修队形成故障报告，经段主管领导审核后，由段生产监控中心上报局集团公司安监室和电务部。

### 5 优化并完善RBC监测手段

结合西安局管内高铁的实际情况，部分无线连接超时依然分析不具体原因。依据每年全国 C3 无线超时（空口监测）数据统计，其中 RBC 相关问题占整体 C3 超时问题的 13% 左右。目前 GSM-R 网络中已经监测的接口有 PRI、A、Abis、Um 和 I<sub>GSM-R</sub> 共 5 个接口，但对于 RBC 侧的监测仍然是空白。RBC 作为主要的行车安全设备，一旦发生故障，影响范围较大。为了更好地解决 C3 无线超时问题、深入分析 RBC 相关原因、完善 RBC 侧监测手段，西安高铁基础设施段新增加 RBC 业务监测系统。系统主要监测 RBC 收 / 发的数据，能够进一步准确判断 C3 无线超时问题发生的位置，也为分析 RBC 侧问题提供数据支撑。

MSC 与 RBC 之间通过传输设备连接，既有 PRI 接口监测在 MSC 侧，通过 PRI 接口数据无法判断数据从 MSC 发出后，经过传输到达 RBC 之前是否产生变化，增加 RBC 侧业务监测系统，便于确定 MSC 发出的数据经过传输到达 RBC 之前是否发生变化，综合对比 PRI 接口、RBC 业务监测及 RBC 记录数据来定位数据出现异常的具体位置。具体 RBC 业务监测的数据如图 4 所示，目前汇总 RBC 不明问题如下：

- 1) 在 PRI 接口查看上行方向数据无异常，

记录时间	信息方向	CRC 校验	帧类型	帧长度	传输层	安全层	应用层	发送方 Train
2020-10-11 10:37:54.412818	RBC->CIRK	通过	HDLC	1101C	RII Frame: B			
2020-10-11 10:37:54.502969	OBC->RBC	通过	HDLC	1 Frame: B				
2020-10-11 10:37:54.502902	OBC->RBC	通过	APDU			-->	23 : Train Position Report	130J010ra
2020-10-11 10:37:54.502897	OBC->RBC	通过	HDLC	1 Frame: B				
2020-10-11 10:37:54.502900	OBC->RBC	通过	TPDU			DT:AD		
2020-10-11 10:37:54.502911	OBC->RBC	通过	SupDII			--> SaPDI DT		
2020-10-11 10:37:55.102944	OBC->RBC	通过	HDLC	1 Frame: B				
2020-10-11 10:37:55.102940	RBC->CIRK	通过	HDLC	1101C	RII Frame: B			
2020-10-11 10:37:55.302900	OBC->RBC	通过	HDLC	1 Frame: B				
2020-10-11 10:37:55.102901	OBC->RBC	通过	APDU			-->	23h : Train Position Report	130J010ra
2020-10-11 10:37:55.302902	OBC->RBC	通过	SupDII			--> SaPDI DT		
2020-10-11 10:37:55.102903	OBC->RBC	通过	TPDU			DT:AD		
2020-10-11 10:37:56.297910	RBC->OBC	通过	HDLC	11 Frame: A				
2020-10-11 10:37:56.297913	RBC->OBC	通过	APDU			-->	24 : General message	130J010ra
2020-10-11 10:37:56.392868	RBC->OBC	通过	HDLC	11 Frame: A				
2020-10-11 10:37:56.297911	RBC->OBC	通过	TPDU			DT:AD		
2020-10-11 10:37:56.392869	RBC->OBC	通过	SupDII			--> SaPDI DT		
2020-10-11 10:37:56.703902	OBC->RBC	通过	HDLC	RR Frame: A				
2020-10-11 10:37:56.011999	OBC->RBC	通过	HDLC	1 Frame: B				
2020-10-11 10:37:56.703905	OBC->RBC	通过	TPDU			-->	AK:32	
2020-10-11 10:37:56.012001	RBC->CIRK	通过	HDLC	1101C	RII Frame: B			

图4 RBC业务监测数据示意  
Fig.4 Monitoring data of RBC services

RBC 发送 FRMR 帧拒绝；

2) 列车 ATP 控制电台起呼，起呼失败或 RBC 无应答；

3) RBC 突然发送 DISCONNECT；

4) 在 PRI 接口未看到 RBC 发送的有效数据。

以上几种情况，利用既有接口监测数据无法准确定位原因，需要综合 RBC 业务监测数据来确定

RBC 侧是否正常。

## 6 常见无线连接超时原因分析总结

导致 C3 无线连接超时的因素较多，但 ATP、GSM-R、RBC 三者是关键影响因素。依据日常无线连接超时分析经验，大部分因 RBC 侧导致无线连接超时的原因如表 1 所示。

表1 C3无线超时原因分析类别（RBC）

Tab.1 Cause analysis of wireless connection timeout of CTCS-3 system by fault type (RBC)

原因类别	原始
RBC-无线连接超时	单电台交权
软件缺陷	特定线路场景下造成的 RBC 宕机问题引起
RBC-CC 板卡异常	RBC-CC 板卡异常重启导致与外部通信中断
RBC 日志和业务监测数据出现大量 FALC	由于 CC-6100 记录大量 NICC 板上报的报警信息，占用 CC-6100 大量缓存空间，造成 CC 无法及时向主控单元转发应用消息，导致同一通信周期（500 ms）内向主控单元转发超过 8 条应用消息，RBC 判断车载通信异常，向车载发送断开命令，并进行删车处理
RBC-RBC 发送 P42 包	在某些特殊场景下，RBC 发送的 P42 包，要求车载断开安全连接
RBC-RBC 不发送应用层数据（RBC 停止发送应用层数据）	车载在 T_NVCONTAVCT 时间内未收到任何来自 RBC 的应用层数据。测量报告上/下行接收质量正常，PRI 接口显示 ATP 的安全传输层（Sapdu/Tpdu）发送 DI
RBC-RBC 与联锁通信中断	1) RBC 记录有与联锁通信中断的告警信息 2) MA 覆盖该联锁管辖范围内所有车次降级 C2 运行 3) PRI 接口监测数据显示，RBC 侧接收到了来自车载的多条数据，但 RBC 在一段时间内未向车载发送任何数据 4) 车载侧发送 DI SAPDU 断开连接
RBC-RBC 异常重启	1) RBC 管内的所有车次均降级 C2 运行 2) RBC 记录有相关的重启信息 3) PRI 接口监测数据显示，RBC 侧接收到了来自车载的多条数据，但 RBC 在一段时间内未向车载发送任何数据 4) 车载侧发送 DI SAPDU 断开连接
RBC-RBC 主动发送 Disconnect	GSM-R 网络和车载发送的数据未发现异常，RBC 发送 Disconnect 断开连接
RBC-ISDN 服务器问题	呼叫无法建立，ISDN 发送 Disconnect
RBC-RBC 安全传输层通信中断	测量报告上、下行接收质量正常，PRI 接口显示数据交互正常，RBC 的 TPDU 层发送 DR，导致连接释放
RBC-移交过程中 RBC-RBC 通信超时，未向车载发送数据	1) 处于移交过程中的两台相邻 RBC 之间的通信中断 2) PRI 接口监测数据显示，RBC 侧接收到来自车载的多条数据，但 RBC 在一段时间内未向车载发送任何数据 3) 车载侧发送 DI SAPDU 断开连接 4) RBC 记录有相关的告警信息
RBC-CC 板卡重启	导致 RBC-CC 与外部设备通信中断
信号系统相关设备	因联锁、CTC 等其他相关设备问题造成的无线连接超时

## 7 结束语

由于引起 C3 无线连接超时的原因较为复杂，涉及到的网元众多，往往包含信号和通信两个专业。目前各路局对于无线连接超时类故障的分析及定位，往往是通信侧、车载侧和地面 RBC 侧等各自分析，

不能做到对整个分析过程的全面梳理，从而导致分析过程单一化、片面化，故障点定位不够准确。因此要对各方面分析进行融合，以准确分析定位无线连接超时故障原因。当前不断对硬件设备进行优化，增加更多的分析手段和应对措施，以确保一旦发生超时，尽可能快地分析出结果，确定其故障原因。

本文仅供初次分析人员参考，对分析处理无线连接超时问题具有一定的指导意义，其分析方法与总结将在日后进一步完善和优化。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 王买智. CTCS-3 无线超时分析方法研究 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (1): 72-76.  
Wang Maizhi. Study of Analysis Method of CTCS-3 Radio Link Timeout[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(1): 72-76.
- [3] 李志欣. 简谈 CTCS-3 级列控系统无线链接超时问题 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (3): 28-33, 45.  
Li Zhixin. Wireless Connection Timeout Problem of CTCS-3 Train Control System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(3): 28-33, 45.
- [4] 武汝涵, 刘长波. 基于虚拟信号的场间大号码道岔联络线 RBC 切换方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (8): 6-12.  
Wu Ruhan, Liu Changbo. RBC Handover Scheme Based on Virtual Signal for Large Number Turnout Connecting Line between Yards[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 6-12.
- [5] 朱晨龙. CTCS-3 级列控无线超时的分析处理及预防建议 [J]. 铁道通信信号, 2017, 53 (5): 59-61.  
Zhu Chenlong. Analysis Treatment and Prevention of Wireless Timeout of CTCS-3 System[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(5): 59-61.
- [6] 李东亮. 关于 CTCS-3 级列控系统无线超时的分析和建议 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (7): 82-84.  
Li Dongliang. Analysis and Suggestion of Wireless Timeout of CTCS-3 Train Control[J]. Railway Signalling & Communication, 2016, 52(7): 82-84.

\*\*\*\*\*

## 国外信息

### 第3届欧盟铁路局-欧盟网络安全局铁路网络安全会议即将召开

第3届欧盟铁路局-欧盟网络安全局铁路网络安全会议将于11月召开，会议召开日期：2023年11月8日至11月9日。会议地点为希腊雅典。

欧盟铁路局 (ERA) 和欧盟网络安全局 (European Union Agency for Cybersecurity, ENISA) 将通过本次会议继续双方在铁路领域网络安全方面的密切合作。此前，第1届和第2届铁路网络安全会议分别于2021年和2022年举行。

议程草案——在欧盟委员会的大力支持下，本次联合会议将包括以下主题：

1) 更新网络安全政策框架；2) 在合作和信息共享方面的进展；3) 与铁路网络安全相关的研究与创新项目提供的见解；4) 从利益相关方的角度提供的实际实施示例；5) 介绍欧盟网络安全技能框架；6) 增强网络安全意识并介绍铁路行业内的网络威胁形势；7) 标准制定情况。

本次会议将提供社交机会，旨在建立一个铁路网络安全社群。演讲者和参会者将分享关于最新进展的信息，并且加强铁路利益相关方对网络威胁形势的认识。本次会议仅采用线下形式举行。

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王冲翻译自: www.era.europa.eu 2023-09-14)

# 高铁有砟线路信号设备运用十年的 现状及维护探讨

何华海, 谢伟金

(中国铁路广州局集团有限公司惠州电务段, 广东惠州 516000)

**摘要:** 信号设备是铁路行车安全的重要组成部份, 是实现控制列车运行的关键设备, 阐述高铁有砟线路信号设备运用十年的既有现状, 分析设备随着使用年限的增长, 逐渐出现不良影响的原因, 同时指出在维护过程中面临的实际问题, 并提出相应的建议及针对性的整治措施, 帮助现场提高信号设备维护质量, 减少因故障从而导致对铁路行车运输造成干扰。

**关键词:** 运用十年; 信号设备; 有砟线路; 设备维护

中图分类号: U284.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0092-05

## Discussion on Current Situation and Maintenance of Signaling Equipment Used for Ten Years on Ballasted Tracks of High Speed Railways

He Huahai, Xie Weijin

(Huizhou Signaling & Communication Depot, China Railway Guangzhou Group Co., Ltd., Huizhou 516000, China)

**Abstract:** The signaling equipment is an important link for railway operation safety, and the key equipment for train operation control. This paper elaborates on the current situation of signaling equipment that has been used for ten years on the ballasted tracks of high-speed railways, and analyzes the reasons for the adverse effects on signaling equipment that have gradually appeared with the increase of service life. Moreover, it points out the actual problems during equipment maintenance, and proposes corresponding suggestions and targeted rectification measures. Thus, it helps to improve the quality of on-site maintenance of signaling equipment and reduce the interference to railway transportation caused by equipment faults.

**Keywords:** used for ten years; signaling equipment; ballasted track; equipment maintenance

### 1 概述

近年来高铁建设快速高质量发展, 有砟客货混

跑类型的高铁线路被广泛运用。随着设备使用年限的累加, 信号设备逐渐暴露出一些存在问题。如某线自 2013 年开通运营, 其中历经多次提速, 因有砟道床不稳定及设备十年的使用年限, 设备元器件老化导致不良信息时有发生, 对铁路运输造成一定干扰。后经采取有效整治, 提高了设备质量, 保证

收稿日期: 2023-07-31; 修回日期: 2023-10-13

第一作者: 何华海 (1975—), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁道通信信号现场设备维护管理, 邮箱: hhhai1230@163.com。



了铁路运输畅通。本文阐述高铁有砟线路信号设备运用十年的现状，分析设备逐渐的变化现象及原因，指出在维护过程中存在的问题，并提出建议及针对性整治措施。

## 2 现状

某高速有砟铁路线路在某段管内线长308.851 km，设站20个，转辙设备999台，轨道电路1 033个区段，信号机646架，室内设备20套，道岔换算15 638.6组，设备类型共计约10大类，是目前运行速度最快、密大最大的客货混跑有砟线路之

一。现场共设3个信号车间、班组11个，人员121人，其中定岗职工82人占67%，2020年以来入路的新工68人，占57%。自2013年开通运营十年以来，其中历经几次提速，因有砟道床不稳定及设备十年的使用年限，设备元器件老化，且新入路职工占比较高，维护经验不足，现场临时性任务多、人员少，在有限的天窗时间内，难以完成大量的工作任务，从而导致设备不良信息呈现逐年递增的趋势，10年间累积共计发生2 711起，给正常的安全产生及铁路运输秩序带来被动局面，2020年始采取有效的设备整治及针对性措施，设备的不良信息大幅下降如表1所示。

表1 设备不良信息统计分析

Tab.1 Statistical analysis of equipment defect information

设备位置	设备类型	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
室外设备	转辙设备	43	46	51	62	71	101	145	93	86	65
	轨道电路	18	25	33	46	52	76	86	77	61	31
	信号机设备	12	11	22	32	38	59	60	55	44	19
	电缆设备	8	11	13	18	19	30	37	26	24	16
	应答器设备	1	2	2	5	4	7	9	5	6	3
室内设备	联锁设备	5	6	7	7	10	14	17	15	12	8
	列控设备	5	8	12	12	18	26	26	25	21	13
	CTC设备	7	6	7	8	8	13	16	12	10	9
	电源设备	2	2	4	5	5	10	13	10	7	5
	检测设备	15	18	22	29	34	75	96	57	42	31

## 3 室外设备不良原因分析

### 3.1 道岔设备分析

道岔设备是改变列车运行方向的关键设备，构造复杂，强度较低，且零部件多，在列车通过时，承受纵向横向的列车轮对冲击力，尤其有砟道床的不稳定，在列车速度越来越快的情况下，容易造成设备变形，经过十年长时间的使用老化、磨损从而导致杆件断裂，油路系统劣化，且工电结合部存在病害，整治效果不佳，也是薄弱环节之一。在日常维护过程中，在满足维护规则的前提下，还要保证设备正常使用，同时因昼夜温差的变化，对道岔设备维护、调整增加困难。

### 3.2 轨道电路分析

轨道电路设备作为控制列车运行的主体，其重要性举足轻重，它实时反映列车占用轨道线路的情况，并传输列控中心的低频信息，是实现控制列车运行的关键设备。随着使用年限增加，室内外电子元器件劣化、性能下降，电压波动现象逐渐突显。在列车提速后，大功率机车的牵引电流进一步加剧轨道电路电压的不稳定，尤其当小轨道纳入联锁后，轨道电路信号的不稳定及传输延时无法满足设备正常运用需求，时常因设备不良影响运输秩序。同时，因前期工程施工源头质量不过关，导致移频干扰严重，多达约200个区段，在后续维护过程中，因器材购置更换费用高，维修成本难于满足需求，整治

难度大。

### 3.3 其他设备分析

1) 信号机是站内及 C2 区间线路指挥列车运行的重要组成部分。由许多元器件及电缆线路连接而成,其每个元器件的物理性能有差异,设备的安装、使用条件、维修水平不同都可能影响其正常使用。且信号灯泡昼夜运行,受其使用寿命限制,导致设备异常报警。

2) 电缆设备在信号设备中起到各设备、元器件连接作用,其性能直接影响各设备的正常运行,且出现故障后涉及范围广,处理时间长。早期施工工艺采用万科端子配线,电缆的接续采用地下对接的方式,随着长时间使用,出现线头容易断股,地下对接头进水,从而引发设备故障、综合绝缘不良,影响设备使用。

3) 应答器设备是列车控制系统的重要环节,列车经过时感应并接收其相应的信息。因应答器安装在室外线路中间,易受外力损伤,且其属于集成电子化设备,使用年限长后,电子元件性能下降,感应距离变小,反应时间长,导致列车通过时无法快速、准确感应到相应的信息,从而影响行车。

## 4 室内设备不良原因分析

### 4.1 系统设备分析

室内系统设备计算机联锁、列控中心、CTC、监测设备是高铁信号设备的中枢,是控制列车运行的关键设备,其由多套不同功能类型的设备共同组成。在前期的工程施工中,因软件设计存在缺陷、后期的站改、软件数据变化等因素考虑不全,且仿真试验人员的经验不足,导致软件现场应用中存在特殊场景的问题。室内设备均为电子模块化,长时间使用后积尘、元器件性能下降,软/硬件易造成卡顿死机、通道易传输阻塞延时、不同步等故障。其集成精密度高、彼此间接口众多及数据管理严格的特性,对维护人员的要求高,现场从业人员不能胜任相应的设备巡检需求,能够进行巡检的项目受

限,导致故障时常发生。

### 4.2 电源设备分析

电源设备是所有信号设备正常工作的前提保证,它由电源屏、蓄电池组及 UPS 设备组成。电源设备维护属于专业性较强的工种之一,在现场维护过程中难度大,且巡检时影响范围广,容易超范围作业。其蓄电池组使用寿命短的固有特性,易造成蓄电池组漏液、鼓包从而存在安全风险,性能下降导致 UPS 电源供电不足,报警频发,在外电网停电时导致信号设备无法使用。

## 5 解决措施

### 5.1 调整车间班组机构

1) 针对维护人员经验不足,现场任务多、人员少,在有限的天窗时间内,难以完成大量工作任务的困难,为满足现场机构人员配置需求,通过对现有设备维护工作量的精准测算,按照“因地制宜,先试后推”的原则,优化班组结构,实行集中整治、集中检修“大工区”模式,集中精干力量提高劳动效率和设备质量。近 5 年来,该线先后减少了 6 个异地班组,实现无人值守站 16 个。集中开展设备维护、人员管理、职工培训教育等工作,在提高效率的同时也节省了费用支出。解决因多个工区同时开展天窗作业,跟班盯控干部不足,造成现场作业安全、维护质量盯控力量不到位的问题,让现场作业得到有效把控,实现生产组织“规范化、流程化、简单化”,从而实现全面构建“集中修+监测监控分析工区+现场工区”生产组织模式,管内各现场车间全部实现了集中修模式,并逐步向集中化、专业化推进。

2) 通过对作业人员的日常考察,结合业务知识、实作能力的综合考评结果,根据职工相应的技能掌握情况安排对应的岗位尽最大优势地发挥职工的个人特长,搭建专业化队伍,实行“专业检、专业修”。面对新工 68 人占 57%,道岔调整维护经验不足的情况,成立道岔专修整治工区 2 个;针对室

内系统集成精密度高、彼此间接口众多及数据管理严格,对维护人员要求高的特性,成立专职的联锁列控工区1个;对专业性较强、技术含量高、作业风险较大的设备巡检及整治,组织成立“专班”开展,充分发挥专业团队作用,从而全方位提高设备巡检整治质量,作业过程得到有效卡控。

3)按照“检、修”分离的思路实施质检分离模式。在车间成立质量检查工区,对设备检修质量和隐患整治情况进行检查,通过实施标准化质检流程,着重对现场设备巡检工作的“盲区”以及设备维护质量的“痛点”进行深入检查,以质检问题为导向,完善巡检作业标准,剖析器材运用质量,总结设备维护规律,落实闭环管理。2022年累计发现设备质量和隐患问题3182个,规范标准作业流程76条,为段、车间、现场工区组织生产维修提供参考,实现设备质量稳步提升。

## 5.2 生产组织模式上移

1)实行段级组织生产。现场作业人员技术力量有限,面对“高、精、尖”的高铁信号设备巡检项目局限的情况,对技术含量高,作业风险大、影响范围广的关键设备,由段技术科室铺排管内段级年月表巡检计划,并组织对应的“专修”工区、车间及厂家共同参与,对室内外信号设备进行深度的全面整修,从而切实提高设备巡检质量。技术科室每日组织工程师对分管设备异常信息、典型问题进行追踪分析,总结专业管理存在不足及完善管控措施,针对涉及的现场高铁信号车间提出专项工作要求,直接连线车间技术管理人员进行细化布置,确保过程实施准确高效。

2)同步实行车间组织生产。推行“集中修”模式以来,改变以往由沿线工区组织开展生产任务的方式,提高生产组织等级,一般生产任务上升至车间组织,集中力量开展较简单的临时性、施工等生产任务,更加高质高效。车间每天由主任组织召开日生产会,对次日工作进行安排布置,研判风险,制定作业方案,由调度指挥中心及相关职能部门审

核把控。由于人员集中,相同的作业时长能够完成更大范围的设备维护工作,能有效减少上下道次数,减少作业天窗数量。以某线为例,2020年维修天窗作业数共计5016次,2021年共计4858次,2022年共计3766次,减轻了现场作业人员工作强度,同时提高了设备质量及作业过程安全。

## 5.3 针对性的设备整治

某线自2013年开通以来,伴随设备使用年增长,设备元器件老化及历经列车提速,有砟道床不稳定,新入路职工占比较高,维护经验不足,自2013年至2019年设备不良的信息呈现逐年递增的趋势如表1所示,因此,采取有针对性的设备整治必不可少。

### 5.3.1 室外设备整治

1)针对道岔设备有砟道床的不稳定,联合工务成立对接机制,每周、每月、每季联合调查,共同制定整治方案,工电双方定期在练功基地联合模拟演练,针对不同的工电结合部问题进行设备整治前的实操,从而实现实际设备整治的最佳效果。面对设备变形、老化、磨耗从而导致杆件断裂、油路系统劣化的情况,按照“先远后近、先正线后侧线”原则,组织道岔专修工区对管内道岔进行全面的平推检查整治,2022年共计发现整治问题约700余条。制定外锁杆件更换计划,共计更换146余套,并通过现场实际道岔运用状态调研,按照运用3年倒排外锁分解计划,从而大幅度提高了运用质量。日常维护过程中,总结分析昼夜温差的变化规律,在道岔设备调整过程中纳入温差参数,如温度突变超15℃时,进行密贴试验检查,夜间调整实行2.5mm锁闭,保证白天气温升高时不至于密贴过紧,确保2.0mm能锁闭,不断地摸索总结,形成相应的维护指导意见,从多方面结合确保设备正常运用。

2)针对轨道电路设备工作不稳定问题,因器材购置更换费用高,维修成本难于满足更换需求,梳理统计更换最多的设备器材及返修检测报告,分

析故障率最高的电子元件,采取更换器材内部单个元件的措施,进行升级更换,如PT内的4700 $\mu$ F电容、发送盒的监测单元等,减少费用支出。联合设计单位先后优化三版符合技术要求的轨道电路调整表在现场进行调整,通过降低轨道电路发送器输出电压等级,延长器件使用寿命,更换长短不一的引入线等手段,克服移频干扰的问题,共计整治1033个区段。并对小轨道纳入联锁后,站间轨道电路信号的不稳定及传输延时无法满足设备正常运行需求进行软件升级20个站,避免因设备不良影响运输秩序。

3) 提高信号机元器件、信号灯泡的源头质量,组织厂家分析存在问题,提高设备出所质量,减少设备异常报警。规范电缆设备整修作业流程,制定作业指导书,同时优化施工工艺,采用六柱端子上配线,电缆的接续采用地面箱盒对接的方式,减少电缆芯线断股故障及对接处进水导致电缆综合绝缘不良可能,从而影响设备使用。调整应答器设备巡检测试项目,增加室内外C1/C6接口电压、感应距离读取测试,实时掌握设备运用状态,更换不良应答器共计300余个。

### 5.3.2 室内设备整治

1) 利用后期的站改及提速软件数据更换契机,专业的联锁列控工区,全程负责仿真试验,及时发现软件存在的问题,同步对相关系统、监测软件进行升级更换,克服运行易造成卡顿死机、通道阻塞传输延时不同步现象。联锁列控工区编排年月表巡检任务,全面负责段管内室内系统除尘,整修共计20个站,改变现场从业人员不能胜任设备巡检的现状,切实提高设备检修质量。

2) 段层面梳理研判系统及电源设备巡检的作业范围,下发相应的要点停用参考内容,防止超范围作业,同时对蓄电池组漏液、鼓包情况进行全面排查,共计更换167节不良电池,消除存在安全风险。同时,调整电源设备巡检测试项目,增加电池内阻、混电测试项目,加密电源设备巡检周期,由电源屏专业工区编排年月表巡检计划,全面负责管内电源设备巡检,推行专业修以保证检修质量及作业人身安全。

## 6 建议

1) 在后续的新线建设过程中,对于室内外设备安装及施工工艺标准应吸取现实应用中的经验,并在《铁路信号设计规范》中进行优化明确,提高设备源头质量。

2) 设备的元器件在接近大修更换前,性能下降明显,适当考虑提前大修更换。

## 7 结束语

通过对某线的车间班组机构调整,优化生产组织模式,对设备存在问题采取针对性的整修,自2020年始设备不良信息逐步下降,在实际运用中效果显著,切实减少维护成本,提高设备运用质量,减少了对铁路运输的影响,并为高铁信号设备维护积累了宝贵经验。

### 参考文献

- [1] 张金. 列控维护数据解析工具的研究与实现[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(12): 27-31.  
Zhang Jin. Research and Applications of Train Control Maintenance Parsing Tool[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 27-31.
- [2] 陈磊, 谢明军, 何建峰. 铁路道岔转辙机接点维护装置研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(12): 105-109.  
Chen Lei, Xie Mingjun, He Jianfeng. Research on Contact Maintenance Device of Railway Switch Machine[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(12): 105-109.
- [3] 丁利. 全电子计算机联锁维护机研究及应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(11): 93-97.  
Ding Li. Application of Full-electronic Computer Interlocking Maintenance System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(11): 93-97.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.10.018

# 机车信号异常信息处置及研究

徐伟朝

(中国铁路上海局集团有限公司杭州电务段, 杭州 310002)

**摘要:** 铁路信号系统、产品、功能的不断迭代更新, 机车信号异常信息处置在信号设备日常维护中, 显得尤为复杂繁琐。通过现场机车信号异常的案例, 提出采取联合数据分析的方法和措施, 实现对机车信号异常信息故障的准确定位, 以期对现场电务维修人员提供帮助及经验积累, 确保信号设备安全稳定运行。

**关键词:** 机车信号异常信息; 联合数据分析; 协助判断

中图分类号: U284

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0097-05

## Handling and Research on Abnormal Information of Cab Signal System

Xu Weichao

(Hangzhou Signaling &amp; Communication Depot, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Hangzhou 310002, China)

**Abstract:** With the continuous iteration and update of railway signal systems, products, and functions, the handling of abnormal locomotive signal information in the daily maintenance of signal equipment becomes particularly complex and cumbersome. This article proposes the use of joint data analysis methods and measures to accurately locate faults in abnormal locomotive signal information through on-site cases of abnormal locomotive signals, in order to provide assistance and experience accumulation for on-site electrical maintenance personnel, and ensure the safe and stable operation of signal equipment.

**Keywords:** abnormal information of cab signal system; combined data analysis; collaborative judgment

### 1 概述

随着铁路信号系统现代技术手段及装备的不断提升, 一方面可通过加强监控体系建设, 完善监测系统智能诊断, 实现预警分析功能, 提高电务设备设施维管水平和铁路设备设施管理信息化水平; 另一方面

利用新装备系统运用替代维护人员自动分析采集及接口数据, 通过分析实现信号设备的智能诊断, 并实现辅助分析功能, 在设备存在隐患或电气特性发生一定量值的趋势变化时, 提前预警, 在设备故障时, 能诊断定位故障范围及原因, 从而提高设备运用质量及设备维护效率。结合现场实际, 如何运用好各类技术手段做好联合数据分析, 有效辅助故障判别显得尤为重要。在实际运用中, 乔司上行到发场某年3月1日机车信号异常信息和皋埠站某年3月11日机车信号异

收稿日期: 2022-08-09; 修回日期: 2023-08-22

作者简介: 徐伟朝(1979-), 男, 工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路交通信号应用与维护, 邮箱: 104070385@qq.com.

常信息，通过发挥联合数据分析作用，有效协助判断出故障原因，分析介绍如下。

## 2 乔司上行到发场机车信号异常信息分析

### 2.1 异常信息描述

乔司上行到发场平面如图 1 所示。某年 3 月 1

日 26626 次从乔司出发场进入乔司上行到发场 II-4G，II-4G 列车 26626 次按正常信号出发时，车站值班员通知机车乘务员反馈接收到红黄码后停车，控制台发车进路第一个区段 233-299DG 闪红，SII-4 信号关闭后，233-299DG 红光带恢复，区段显示白光带。

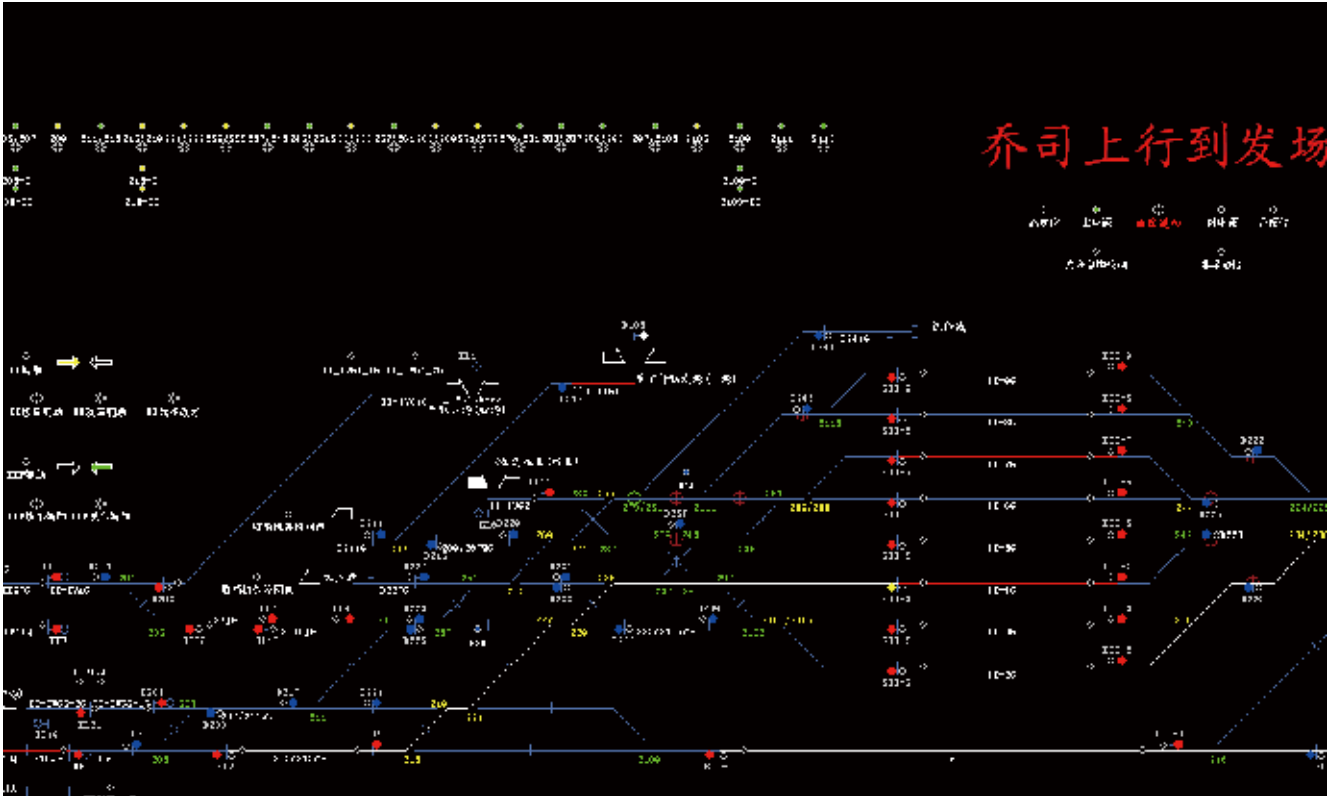


图1 乔司上行到发场平面  
Fig.1 Layout of Qiaosi Up-track receiving-departure yard

### 2.2 问题分析及处理

接到不良信息后，通过回放集中监测，初步分析 26626 次 14:06:00 出发时，233-299DG 先占用出现红光带，SII-4 信号机由绿灯转红灯后，233-299DG 红光带消失恢复白光带。从集中监测回放表面分析系 233-299DG 闪红引起 SII-4 信号机非正常关闭。通过浏览集中监测中 233-299DG 轨道电路区段电压日曲线，故障时段该区段电压曲线波动异常如图 2 所示，初步怀疑是分路不良现象造成。

现场车间重点组织对 233-299DG 区段电压标调情况、送受端设备、233-299DG/II-4G 绝缘节、

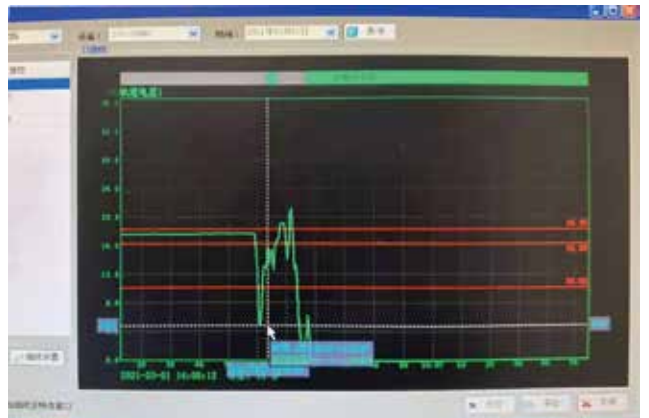


图2 233-299DG区段电压异常波动曲线  
Fig.2 Curve of abnormal voltage fluctuation of 233-299DG section

是否存在邻线干扰等情况进行排查，通过现场检查 233-299DG 区段电压在标调范围内，室外发送 / 接收端设备各部良好无异常情况发现，233-299DG/II-4G 绝缘节轨端及槽板绝缘测试值正常，测试 II-4G 机车出 / 入口电流无明显异常邻线干扰信号。现场检查发现当时出发进路上有明显喷砂现象，且故障时段下大雨。

综合现场检查分析原因：一是 233-299DG 先出现闪红光带，SII-4 信号机非正常关闭后，26626 次机车在 II-4G 接收到红黄码后停车；二是 233-299DG 存在分路不良可能性，怀疑当时机车压上 233-299DG/II-4G 绝缘节瞬间，占用 233-299DG，SII-4 信号机由绿灯转红灯时接收到红黄码后停车。第二点需联合信息科下载车载数据信息后分析判断。

### 2.3 联合数据分析结果

根据 3 月 2 日下载 26626 次车载数据如图 3 所示，并联合信息科分析判断，当日 26626 次车从乔司出发场进入乔司上行到发场，从压入乔司上行到发场 II-4G 接收到 26.8 Hz（当时出发未开放）开始到全部进入停车，距离是 902 m，再从接收到 18.0 Hz（UU 码）开车到接收同载频的 26.8 Hz（HU 码）的距离是 170 m。从 XII-4 绝缘节开始到接收到 26.8 Hz（HU 码）的距离之和是 1 072 m。调阅技术资料 II-4G 股道有效长为 1 069 m。倒算当时列车进 II-4G 停车位置距绝缘节距离大约为 167 m。加上接收到 26.8 Hz 时机车感应电压波动与 233-299DG 分路不良引起电压波动时机吻合，可判断 26626 次车在 233-299DG/II-4G 绝缘节附近接收到 26.8 Hz（HU 码）。

### 2.4 现场验证

现场车间利用天窗点对 II-4G 出 / 入口电流进行测试，II-4G 出口电流为 1.327 A（2 600 Hz），入口电流为 0.728 A（2 600 Hz），出 / 入口电流在标准范围内。模拟 II-4G 占用的情况下，测试 233-299DG 区段无移频干扰信号。人为模拟短接 233-299DG/II-4G 左侧钢轨绝缘节，在 233-299DG 区

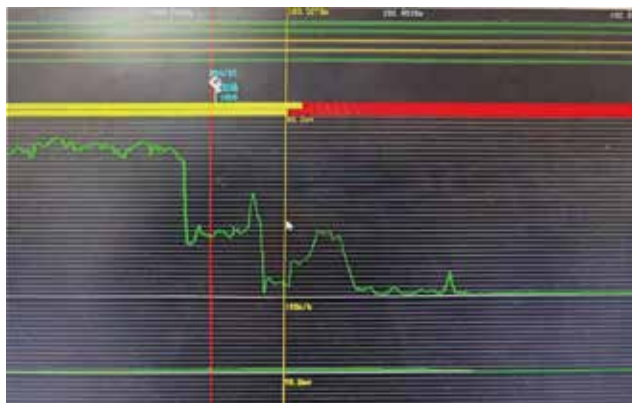


图3 3月1日乔司上行到发场26626次车载数据

Fig.3 Onboard equipment data of train No. 26626 in Qiaosi up-track receiving-departure yard on March 1

段（靠近 II-4G 侧）测得机车入口电流为 0.282 A（2 600 Hz），人为模拟短接 233-299DG/II-4G 右侧钢轨绝缘节，在 233-299DG 区段（靠近 II-4G 侧）测得机车入口电流 0.243 A（2 600 Hz），人为模拟短接 233-299DG/II-4G 两侧钢轨绝缘节，在 233-299DG 区段（靠近 II-4G 侧）测得机车入口电流 1.324 A（2 600 Hz），相当于 II-4G 的出口电流，可进一步证实判断 26626 次车在 233-299DG/II-4G 绝缘节处接收到 26.8 Hz（HU 码），如表 1 所示。

表1 出/入口电流测试情况

Tab.1 Current test results at inlet and outlet

序号	条件	233-299DG 区段 出 / 入口电流	备注
1	模拟 II-4G 占用	无移频干扰信号	
2	短接 233-299DG/II-4G 左侧钢轨绝缘节	入口电流为 0.282 A（2 600 Hz）	II-4G 的部分干扰电流
3	短接 233-299DG/II-4G 右侧钢轨绝缘节	入口电流 0.243 A（2 600 Hz）	II-4G 的部分干扰电流
4	短接 233-299DG/II-4G 两侧钢轨绝缘节	入口电流 1.324 A（2 600 Hz）	II-4G 的干扰电流

## 3 皋埠站机车信号异常信息分析

### 3.1 异常信息描述

皋埠站平面如图 4 所示，3 月 11 日 04:40，36094 次上行 II 道出发占用 35-41DG 后机车信号无码，影响 36094 次岔区停车。

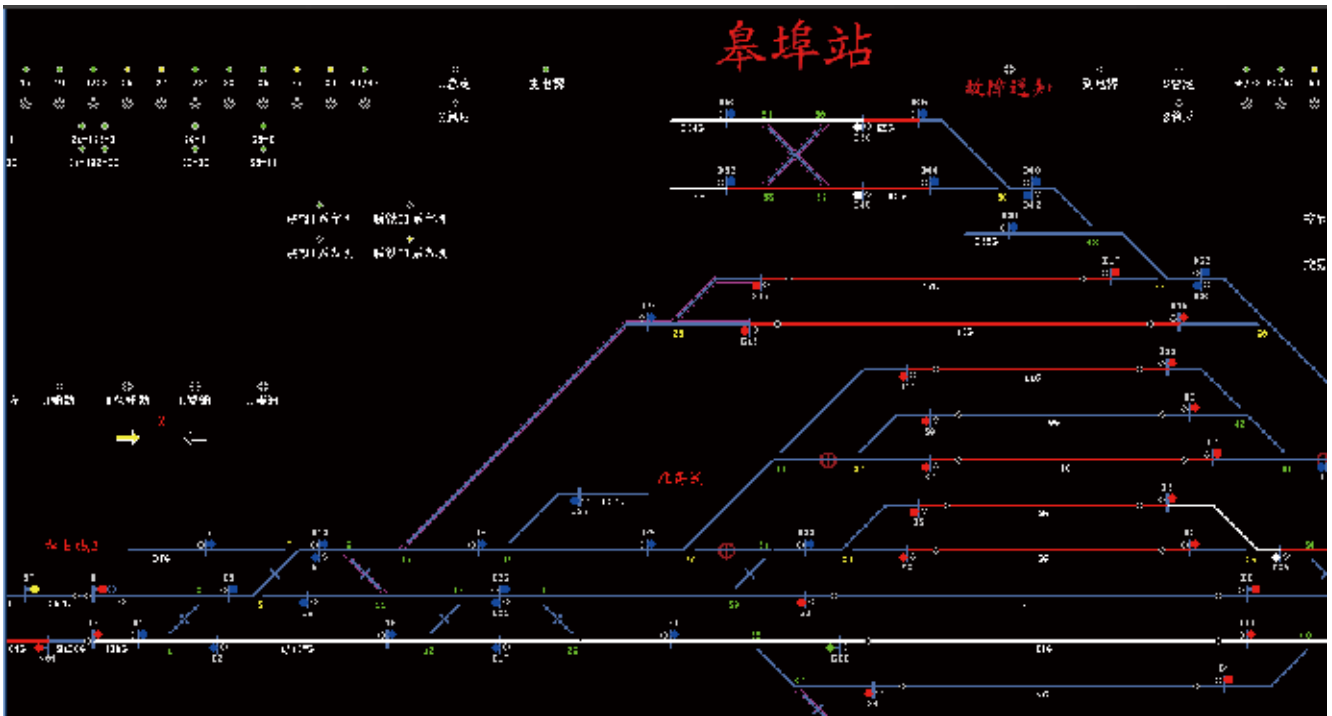


图4 皋埠站平面  
Fig.4 L-Layout of Gaobu station

### 3.2 问题分析及处理

接不良信息后，调阅回放集中监测，36094次车压入35-41DG出现红光带后，SII信号机由绿灯转红灯后，35-41DG红光带消失恢复白光带。从集中监测回放表面分析系35-41DG闪红引起SII信号机非正常关闭。通过浏览集中监测中35-41DG轨道电路区段电压日曲线，故障时段该区段电压曲线波动异常如图5所示，同时浏览SIIFM-FS的低频编码信息曲线，不良信息发生时段SIIFM-FS发送稳定26.8 Hz，初步怀疑该不良信息是分路不良现象造成。

现场车间重点组织对35-41DG区段电压标调情况、送受端设备、35-41DG/IIG绝缘节等情况进行排查，通过现场检查35-41DG区段电压在标调范围内，室外发送/接收端设备各部良好无异常情况，35-41DG/IIG绝缘节轨端及槽板绝缘测试值正常。现场检查发现35-41DG区段有明显喷砂现象且当时下雨。查阅编码电路发现当列车压入35-41DG，因35-41DG分路不良，造成DGJ落下又吸起，导致

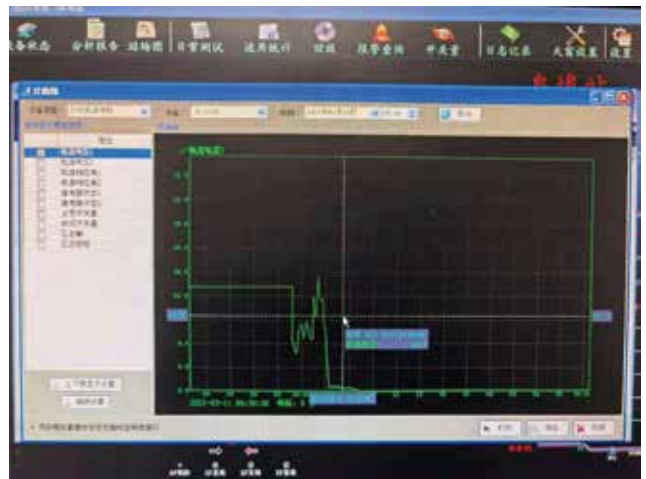


图5 皋埠站35-41DG区段电压异常波动曲线  
Fig.5 Curve of abnormal voltage fluctuation of 35-41DG section of Gaobu station

SIIFMJ落下，一方面SIIFMJ编码电路改发红黄码，一方面切断发码通道，此时发车进路全无码。

综合现场检查分析原因：怀疑当时机车压上35-41DG瞬间分路不良，机车接收到红黄码后停车。需联合信息科下载车载数据信息，确认以上分析判断。



### 3.3 联合数据分析结果

根据3月12日下载36094次车载数据如图6所示,并联合信息科分析判断,当日36094次列车出站后收到2 s绿码后就无码了,后续列车启动600 s后才又收到绿码。据此可判断为36094次车出站后由于35-41DG分路不良导致SIIFMJ落下切断发码通道,此时发车进路全部无码。一直待列车运行到SILQG后又重新收到绿码后正常。综合LKJ数据及机车文件数据分析,确认机车喷砂造成分路不良导致进路发码中断。

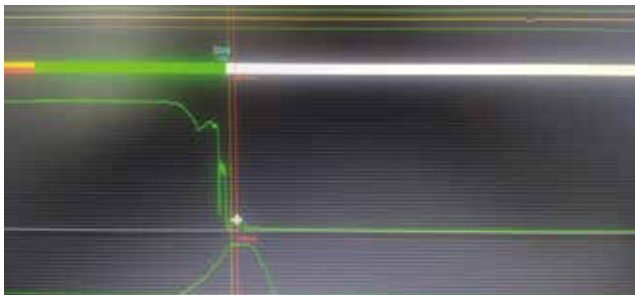


图6 3月11日皋埠站36094次车载数据  
Fig.6 Onboard equipment data of  
train No.36094in Gaobu station on March 11

## 4 结束语

在确保既有设备安全的基础上,有效利用现有装备的一切信号监测监控设备,组织联合分析,联合判断,最终协助确定造成机车信号异常信息的源头,实现对信号设备的故障定位,给出现场可操作性的维修建议,有效辅助现场维修。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [2] 杨世武. 铁路信号抗干扰技术及实践[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [3] 陈建译, 陈习莲. 25 Hz相敏轨道电路技术与应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [4] 安海君. 25 Hz相敏轨道电路[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [5] 周明君. 电化区段特殊位置25 Hz相敏轨道电路的分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(4): 77-80.  
Zhou Mingjun. Analysis of 25 Hz Phase-sensitive Track Circuits in Special Positions in Electrification Sections[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 77-80.
- [6] 刘曦. 电化区段高压脉冲轨道电路干扰机车信号分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 96-101.  
Liu Xi. Analysis of High-voltage Pulse Track Circuits Interfering with Locomotive Signals in Electrified Sections[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 96-101.
- [7] 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.
- [8] 邓俊. 广州地铁CBTC信号系统车-地通信传输方式的分析比较[J]. 铁道通信信号, 2011, 47(11): 52-55.  
Deng Jun. Analysis and Comparison of Wayside-Train Communication Transmission Mode in Guangzhou Metro's CBTC Signaling System[J]. Railway Signalling & Communication, 2011, 47(11): 52-55.
- [9] 魏振生. 25 Hz相敏轨道电路故障分析及处理[J]. 中国新技术新产品, 2016(11): 79-80.  
Wei Zhensheng. Fault Analysis and Treatment of 25 Hz Phase-Sensitive Track Circuit[J]. New Technology & New Products of China, 2016(11): 79-80.

# 单机运行引起轨道电路之间不匹配的研究

曾 峰

(中铁通信信号勘测设计院有限公司, 北京 100036)

**摘要:** 轨道电路是一种用于反应列车占用并传递列车运行控制信息的重要设备。在改建普速铁路的过程中出现由于单机运行速度过高、设备反应延时、继电器动作延时等原因引起的轨道电路之间的不匹配问题。提出一种使用电容电阻构成的缓吸电路或设备替换的方法, 以解决这种不匹配问题, 并在改建京广线荣家湾站的轨道电路中进行现场应用, 证明了该方法可以有效解决轨道电路的不匹配和由不匹配引起的联锁无法正常解锁、漏解锁、联锁反应轨道有车无占用等问题。

**关键词:** 单机运行; 不匹配问题; 轨道电路; 缓吸电路

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0102-04

## Research on Mismatch between Track Circuits Caused by Single-locomotive Train Operation

Zeng Feng

(China Railway Communication and Signal Survey & Design Institute Co., Ltd., Beijing 100036, China)

**Abstract:** Track circuit is an important device to reflect the train occupancy status and transmit the train control information. During the retrofitting of the normal-speed railways, there has been the problem of mismatch between track circuits due to the high running speed of the single-locomotive train, the delay in equipment response, and the delay in relay action. This paper proposes the method of slow-operating circuit using capacitors and resistors or equipment replacement to solve this mismatch problem. The proposed method has been applied during the retrofitting of the track circuits of Rongjiawan Station of Beijing-Guangzhou Railway, and has been proven to effectively solve the problem of mismatch between track circuits and such ensuing problems of the interlocking system as fail to unlock normally, forget to unlock, and report track unoccupied in the presence of train.

**Keywords:** single-locomotive train operation; mismatch problem; track circuit; slow-operating circuit

### 1 概述

轨道电路用于反应列车占用并传递列车运行控

制信息, 对列车的运行安全具有重要作用。普速铁路车站目前一般采用 25 Hz 相敏轨道电路, 在分路不良区段一般采用脉冲轨道电路, 所以在一个普速铁路的车站中可能存在 25 Hz 轨道电路和脉冲轨道电路交替使用的情况。列车的正常解锁一般采用

收稿日期: 2022-06-10; 修回日期: 2023-08-23

作者简介: 曾峰(1997-), 男, 助理工程师, 本科, 主要研究方向: 铁路信号与控制, 邮箱: 2287158317@qq.com。

“三点检查法”。随着铁路技术装备的提升,列车运行速度不断提高,当单机列车高速通过车站时,由于轨道区段长度、高压脉冲轨道电路设备反应时间、继电器动作延时等原因引起的在97型25 Hz相敏轨道电路之间及高压脉冲轨道电路与97型25 Hz相敏轨道电路之间的不匹配,导致联锁进路无法正常解锁、漏解锁、联锁反应轨道有车无占用等问题。

## 2 问题分析

根据《不对称高压脉冲轨道电路技术条件(暂行)》(铁运[2012]311号)中6.11规定:轨道电路接收设备的吸起时间2~2.5 s,落下时间1~1.5 s。轨道继电器采用JWXC-1700型无极继电器。97型25 Hz相敏轨道电路采用微电子接收单元,系统反应时间为0.3~0.5 s,轨道复示继电器可采用JWXC-1700型无极继电器,若轨道继电器采用JRJC1-70/240,则轨道复示继电器采用JWXC-H310型缓放继电器。暂不考虑联锁设备反应时间,单机列车按东风7型轴距为14.1 m计算,25 Hz轨道电路采用微电子接收单元,根据《普速铁路信号维护规则(技术标准)》中11.2.10规定,24 V时继电器动作时间如表1所示,假定某一站场中存在四段轨道电路AG、BG、CG、DG,AG为25 Hz区段、BG为脉冲区段、CG为25 Hz区段、DG为25 Hz区段,如图1所示。具体情况可分为以下几种。

表1 继电器动作时间

Tab.1 Relay action times

设备型号	吸起时间	落下时间
JWXC-1700	180~220 ms	20~30 ms
JWXC-H310	0.4±0.1 s	0.8±0.1 s
JWXC-H340	≥0.3 s	≥0.5 s
JRJC1-70/240	200 ms	66 ms



图1 站场平面示意

Fig.1 Station layout

1) 机车由AG向CG运行经过BG,考虑BG长度为 $L_1$ ,车长为 $L_2 = 14.1$  m, BG占用反应时

间为 $t_1 = 1.5$  s + 0.03 s,列车压入BG到出清AG的时间为 $t_2 = (L_2/v + 0.5 + 0.22)$ s,  $v$ 为列车运行速度,如果 $t_2 < t_1$ 则联锁可能出现有车无占用。若要脉冲轨道电路不发生此类情况,则列车速度必须小于62.67 km/h。

2) 机车由BG向DG运行经过CG,考虑CG长度为 $L_1$ ,车长为 $L_2 = 14.1$  m, BG恢复空闲时间为 $t_1 = 2.5$  s + 0.22 s, CG从占用到恢复时间 $t_2 = (\frac{L_1 - L_2}{v} + 0.5 + 0.03 + 0.5 + 0.22)$  s,  $v$ 为列车运行速度,如果 $t_2 < t_1$ 可能导致CG无法正常解锁或者错误提前解锁。当机车运行速度为40 km/h时,若不发生此类情况相邻非脉冲区段长度需大于30.4 m;当机车运行速度为80 km/h时,相邻非脉冲区段长度需大于46.8 m;当机车运行速度为120 km/h时,相邻非脉冲区段长度需大于63.1 m;当机车运行速度为160 km/h时,相邻非脉冲区段长度需大于79.4 m。如果不采用微电子单元要求非脉冲区段长度更大。

3) 当列车由DG向CG运行且轨道继电器采用JRJC1-70/240,轨道复示继电器采用JWXC-H310,考虑车长为 $L_2 = 14.1$  m,最不利情况下CG占用反应时间为 $t_1 = 0.9$  s, DG恢复空闲时间 $t_2 = (L_2/v + 0.3)$  s,  $v$ 为列车运行速度,如果 $t_2 < t_1$ 则联锁可能出现有车无占用。若要97型25 Hz不发生此类情况,则列车速度必须小于84.6 km/h。

## 3 解决方案

经理论分析,当97型25 Hz相敏轨道电路之间相邻使用(不采用微电子接收单元)或脉冲轨道电路与25 Hz相敏轨道电路相邻使用,导致轨道区段无法正常解锁、错误解锁、联锁反应有车无占用等问题,主要在于轨道电路之间反应占用空闲时间特性不同。解决方案如下:

1) 97型25 Hz相敏轨道电路,轨道继电器采用JRJC1-70/240,轨道复示继电器采用JWXC-H310时的不匹配,在冲击电流影响不大的情况下可以采用

JWXC-H340 型替代 JWXC-H310 型继电器, 或者采用电容电阻串联构成缓吸电路使其相匹配。

2) 在新建站场设计中考虑脉冲轨道电路和 25 Hz 相敏轨道电路相邻使用, 应尽可能使 25 Hz 相敏轨道电路区段加长。

3) 在无法满足加长 25 Hz 相敏轨道电路区段, 如改建铁路时也可使用电容电阻构成缓吸电路, 使轨道电路之间反应占用空闲时间相匹配。

#### 4 应用与结论

在改建京广线荣家湾站的设计过程中, 由于 3-5DG (区段长度 127 m)、1-7DG (区段长度 100 m) 分路不良, 采用高压脉冲轨道电路, IAG (区段长度 302 m)、9DG (区段长度 75 m)、IIAG (区段长度 302 m)、15DG (区段长度 92 m)、IIG (区段长度 412 m) 采用 97 型 25 Hz 相敏轨道电路, 其轨道继电器采用 JRJC1-70/240, 轨道复示继电器采用 JWXC-H310, 具体站场如图 2 所示。在

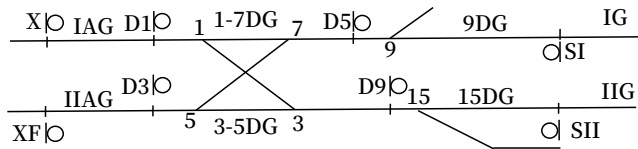


图2 列车运行平面  
Fig.2 Track layout for train operation

运行试验时, 当单机列车上行高速通过车站, 在最不利条件下 15DG 反应占用时间为 0.9 s, IIG 恢复空闲时间为 0.3 s, 两轨道电路之间存在 0.6 s 的时间差, 导致联锁出现有车无占用, 因此在设计过程中, 采用 JWXC-H340 型替代 JWXC-H310 型继电器, 可以将这种时间差减小到 0.2 s, 只要列车运行速度控制在 253.8 km/h 以下, 便可以有效解决此类问题。当单机列车下行高速通过车站时, 在最不利条件下, 1-7DG 恢复空闲时间为 2.72 s, 9DG 占用和恢复总时间为 1.25 s, 两轨道电路之间存在 1.47 s 的时间差, 导致联锁出现漏解锁。在设计过程中, 考虑到改建铁路, 在不更改轨道区段长度的条件下, 利用电容电阻构成充放电电路原理设计缓吸电路, 当 9DGGJR 吸起时电流从 KZ 经过  $R_1$  和  $C_1$  构成的串联电路到 KF 给电容  $C_1$  充电。当电容  $C_1$  充满电后, 对直流电为断开状态, 电流再流经 9DGJF 继电器线圈到 KF, 使 9DGJF 继电器的缓吸 2.5 s (考虑缓吸电路的损耗), 当 9DGGJR 落下时电容  $C_1$ 、电阻  $R_2$  和 9DGGJF1 第 7 组接点的后接点构成回路使电容  $C_1$  放电, 电路如图 3 所示, 减小轨道电路之间的时间差, 便可以有效解决此类问题。荣家湾站改建前后对应轨道继电器吸起 / 落下时间如表 2 所示。因此在新建站场中, 轨道电路尽量做

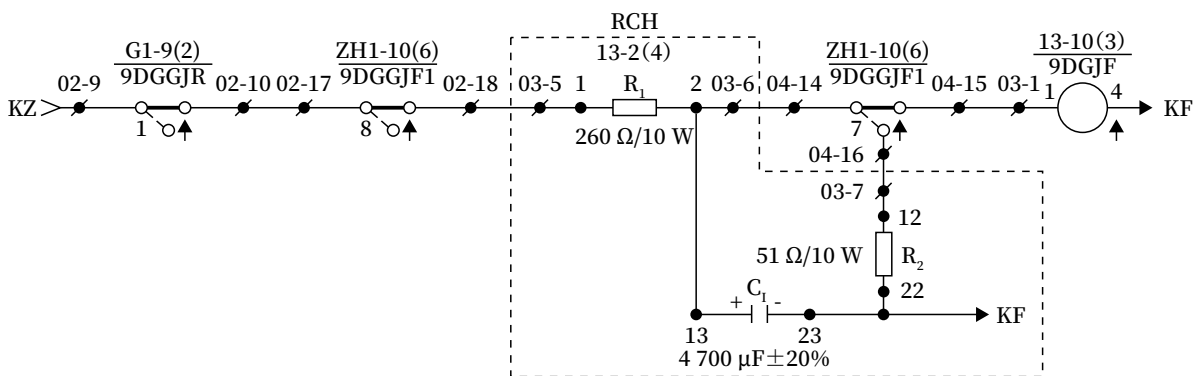


图3 9DGJF缓吸2.5 s电路原理  
Fig.3 Circuit principles of 2.5s slow energizing of 9DGJF relay

表2 改造前后对比数据

Tab.2 Data comparison before and after retrofitting

轨道区段名称	改造前轨道继电器吸起时间 / 落下时间	改造后轨道继电器吸起时间 / 落下时间
15DG	0.3 ~ 0.5 s / 0.7 ~ 0.9 s	0.3 ~ 0.4 s / 0.5 ~ 0.6 s
IIG	0.3 ~ 0.5 s / 0.7 ~ 0.9 s	0.3 ~ 0.4 s / 0.5 ~ 0.6 s
1-7DG	2.22 ~ 2.72 s / 1.22 ~ 1.72 s	2.22 ~ 2.72 s / 1.22 ~ 1.72 s
9DG	0.3 ~ 0.5 s / 0.7 ~ 0.9 s	2.5 s / 0.5 ~ 0.6 s

到统一制式, 97 型轨道电路尽量采用微电子接收单元, 可以避免这类不匹配问题, 但在条件无法满足的情况下, 采用 JWXC-H340 型替代 JWXC-H310 型继电器和设计缓吸电路可以有效解决不匹配问题。

### 参考文献

- [1] 陈建译, 陈习莲. 25 Hz 相敏轨道电路技术与应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [2] 王永信. 车站信号自动控制 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.
- [3] 赵红广. 论高压脉冲轨道电路的研究与应用 [J]. 价值工程, 2019, 38 (34): 122-123.  
Zhao Hongguang. Research and Application of High Voltage Pulse Track Circuit[J]. Value Engineering, 2019, 38(34): 122-123.
- [4] 胡晓芳. 25 Hz 轨道电路原理与故障分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (10): 106-110.  
Hu Xiaofang. Principle and Fault Analysis of 25 Hz Track Circuit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(10): 106-110.
- [5] 乔志超, 谢文磊, 王智新. 不对称高压脉冲轨

道电路的计算机仿真模型研究 [J]. 铁道学报, 2018, 40 (3): 82-87.

Qiao Zhichao, Xie Wenlei, Wang Zhixin. Research of Simulation Model for Asymmetric High-Voltage Pulse Track Circuit[J]. Journal of the China Railway Society, 2018, 40(3): 82-87.

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

Liu Xi. Analysis of High-voltage Pulse Track Circuits Interfering with Locomotive Signals in Electrified Sections[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 96-101.

- [7] 王崇明. RCH 阻容盒在高压脉冲轨道电路中的作用分析 [J]. 郑州铁路职业技术学院学报, 2017, 29 (1): 4-5.

Wang Chongming. Analysis of the Functions about RCH Resistance Capacity Boxes in High Voltage Pulse Track Circuit[J]. Journal of Zhengzhou Railway Vocational and Technical College, 2017, 29(1): 4-5.

\*\*\*\*\*

## 国外信息

### 转辙机预测性维护伙伴关系

欧洲通过与瑞典数据分析和人工智能公司 Predge 的战略合作, Vossloh 将为转辙机开发预测性维护模型。

Vossloh 首席执行官 Oliver Schuster 在 9 月 18 日表示: “在这种趋势预测模型的帮助下, 我们的客户将能够更主动、更详细、更好地规划他们的维护措施。故障数量将显著减少, 最终轨道的可用性将显著提高。与此同时, 我们将更深入地了解各种轨道部件的相互作用。”

Predge 首席执行官 Simo Pykälistö 表示: “我们专注于开发尖端的预测性维护解决方案, 并专门为运营使用设计我们的人工智能模型。与 Vossloh 的合作将我们的产品扩展到转辙机, 并为更广阔的市场提供预测性见解。”

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 王锦翻译自: www.railwaygazette.com 2023-09-21)

# 英国轨道交通大数据规划与开放共享的启示

王雨<sup>1</sup>, 刘军<sup>1</sup>, 周灿伟<sup>2</sup>, 李慧<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. 重庆市铁路(集团)有限公司, 重庆 401120)

**摘要:** 分析英国运输部对交通运输大数据的顶层规划和英国轨道交通数据公开情况, 包括运输部提出的大数据应用方向、交通运输数据集以及数据交互融合相关内容, 整理英国轨道交通监管部门铁路与公路监管办公室以及英国路网公司为公众提供的数据统计、数据门户服务和数据应用开发情况。最后从构建轨道交通数据集, 建设轨道交通数据门户、促进数据开放共享的角度对国内轨道交通行业大数据应用和发展提出建议。

**关键词:** 轨道交通; 大数据; 大数据应用; 数据服务

中图分类号: U28

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)10-0106-05

## Inspirations from Big Data Planning and Open Sharing of Rail Transport in United Kingdom

Wang Yu<sup>1</sup>, Liu Jun<sup>1</sup>, Zhou Canwei<sup>2</sup>, Li Hui<sup>2</sup>

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

(2. Chongqing Railway Group Co., Ltd., Chongqing 401120, China)

**Abstract:** This paper first examines the UK Department for Transport's top-level planning for transport big data and UK rail data access, including the Department's proposed directions for big data applications, transport data sets and data fusion. It then summarizes such information as data statistics, Data Portal Services and data application developed and provided to the public by UK's rail regulator Office of Rail and Road and UK's rail operator Network Rail. It finally puts forward suggestions on the application and development of the big data in China's rail transport industry from the perspective of building the rail transport data set, constructing the data portal for rail transport, and promoting the opening sharing of relevant data.

**Keywords:** rail transport; big data; big data application; data service

收稿日期: 2022-10-11; 修回日期: 2023-08-15

基金项目: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司科研项目 (2300-K1220046)

第一作者: 王雨(1987—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 轨道交通运输组织, 邮箱: wangyu@crscd.com.cn.

英国轨道交通路网是世界上历史最悠久、运输最繁忙的轨道交通网络之一。2000年, 英国政府颁布《信息自由法》, 促进了信息数据在交通行业的开放共享。2014年, 大数据技术被英国政府评为八项伟大技术之一。近年来, 英国运输部

(Department For Transport, DFT) 非常重视大数据技术在交通运输行业的发展, 开展了诸多相关分析研究。2019年, 铁路与公路监管办公室 (Office of Rail and Road, ORR) 专门开发了新的数据门户, 为公众提供更全面、互动性更强的数据服务。数据资源的开放, 有力地促进了第三方开发机构的数据应用开发, 提升了乘客信息服务质量。

## 1 英国轨道交通管理部门

DFT 负责英国境内除管道内的所有交通运输方式的行业管理。DFT 下属 24 个执行机构和公共机构, 其中与铁路相关的主要是铁路与公路监管办公室 (ORR), ORR 主要负责监管英国路网公司 (Network Rail) 对路网的有效管理、安全管理和事故调查、为经营者颁发许可证以及建设项目的批准和监管工作等。

Network Rail 是一家不以营利为目的的保证有有限公司, 担任轨道交通基础设施管理者的角色, 负责英国在英格兰、威尔士和苏格兰的铁路基础设施建设、运营和开发, 包括约 3 万 km 的轨道以及英国最大的 20 个车站等。英国境内的铁路运营公司从 Network Rail 租赁并管理车站, 提供运输服务。

## 2 英国运输部的大数据规划

### 2.1 提出大数据应用方向

2017年, DFT 发布研究报告《交通运输从智慧城市的大数据和物联网中获益的范围研究》(以下简称研究报告)。研究内容包括交通运输行业大数据的潜在机遇、面临的挑战、数据需求和可能的商业模式, 旨在推动智慧城市环境中的大数据在交通运输领域的应用。报告提出了大数据在交通运输行业应用方向, 其中与轨道交通相关的内容主要包括以下方面。

1) 提高运输规划和运营理论技术: 通过大数据分析技术实现现有基础设施优化使用、需求预测、资产维护和建立交通模型。

2) 提升网络运输效率和效能: 大数据技术应用

到运营和管理中去, 数据分析和实施工具将提高运输网络规划、管理和运营的效率 and 效益。

3) 提高乘客服务水平: 收集客户需求和反馈 (例如票务、社交媒体和 Maas 应用程序), 可以改善服务, 同时满足运输客户对及时和准确的门到门旅程信息的日益增长的需求。

4) 保障运输安全, 降低风险: 大数据能够确定因果因素和模式, 从而有助于制定和实施减少安全风险的措施。例如, 运输和非运输相关数据集 (例如关于重大事件、天气数据) 可以更快地应对紧急情况 and 事件。

### 2.2 梳理交通运输相关数据集

研究报告梳理了交通运输行业相关的数据集, 共分为 9 个大项: 位置和空间、环境、人/物和行程、延误和事故相关数据、公通服务、私人交通工具、货运、国际运输、消费及交易数据, 并给出各项的概述。报告指出英国政府的数据门户网站提供最新的英国各地与交通有关的数据集目录, 由政府部门、地方议会和相关机构上载。通过报告可以看出, 英国政府提供的数据集比较具体而且均与面向民众的运输服务相关, 这样更有利于行业监管, 以及被应用开发者利用开发信息服务产品。例如交通运输行业相关数据集的第一大类“位置和空间”定义为“任何可以看到、触摸到或者找到的有形的东西”其中包括: 交通管制局的数字限速数据集, 火车站/汽车站的位置。延误和事故相关数据包括: 体育赛事信息、实时和计划的道路管制信息、实时事故信息、实时冬季道路铺砂信息和实时道路施工等。

## 3 ORR和Network Rail的数据公开

### 3.1 详尽的数据统计

ORR 通过官网提供一个“数据门户”, 发布非常详细的数据统计资料和报告。同时, 用户还可以依照英国“信息自由法”(Free Of Information, FOI) 向 ORR 提交数据开放申请, 从而获得数据统计报告之外的符合法律要求的数据。根据官网展示, 通过数据申请可获得的数据包括“残疾人乘坐轨道

交通情况”以及“英国轨道交通每个车站提供的停车位数量”等。部分 ORR 统计报告的内容和更新频率如表 1 所示。

表1 ORR统计数据报告  
Tab.1 ORR's statistics report

一级目录	二级目录	内容	更新频率
概要	运营公司关键统计数据	每个客运列车运营公司的主要统计数据的年度摘要，包括乘客使用、绩效和投诉，以及员工人数、运营的路线公里数和管理车站数量的参考数据	年
	信息自由和临时数据请求	此页面包括铁路统计团队为响应信息自由和其他临时数据请求而提供的数据集	不定时
乘客体验	延误赔偿	英国境内铁路服务乘客提出的延误赔偿索赔数量以及火车运营公司如何有效处理和解决这些数据的数据	季度
	残疾人乘车情况	定期（每 4 周）统计数据，流通中的残疾人铁路卡数量数据	季度
	客运铁路服务投诉	运营公司、基础设施管理人员和乘客监管机构的投诉数量和原因	季度
	乘客协助	定期（每 4 周）统计数据，其中包含有关预订协助的乘客数量和列车运营公司交付数量的数据	季度
	乘客满意度（投诉处理）	关于列车运营公司对投诉的回应情况的年度统计数据	年度
表现	客运铁路性能	在英国干线网络上运行的客运列车的准时性、可靠性和延误原因的季度和定期（每 4 周）统计数据	季度

除表 1 中列出的内容，统计数据还包括金融、健康和​​安全、基础设施和排放等，所有的数据统计

可以通过国家档案馆的信息平台查阅历史数据。

### 3.2 交互式的数据服务

除了详尽的数据统计报告之外，针对利用率和关注度较高的一些基础数据，ORR 官网还提供一种“交互式统计”服务模块，实际上是一种可视化数据检索。通过官网的数据统计模块，用户可以自行搜索需要的统计数据，内容涵盖比较广泛，数据详细，呈现的形式简单易懂、美观。检索的主题包括“最繁忙的车站”“有多少列车准时到达”“有多少人使用铁路”“投诉处理”“乘客、劳动力和公共安全”。数据检索条件和视角的选择非常丰富，例如可以通过地区、行政区域、所在线路等搜索进/出站量、换乘量；可以根据运营商、延误时间查询准点率，也可以根据造成延误的原因分类检索总的延误时间。ORR “交互式”数据统计平台如图 1 所示。

### 3.3 开放的实时数据源

Network Rail 在官网上面向轨道交通行业的应用开发人员提供开放的数据服务称为数据馈赠“Data Feeds”，旨在鼓励轨道交通行业的开发商创造更多有利于行业发展的产品。任何需要数据的个人或者机构只需要注册一个账户，就可以申请获得实时数据源的访问。实时数据源数据包括以下方面。

- 1) 基本列车运行计划：包括位置和分段运行时间，每半年更新。
- 2) 当日列车运行计划：每日从综合列车规划系统中提取和更新列车时刻表，采用 CIF 和 JSON 格



图1 ORR “交互式”数据统计平台  
Fig.1 ORR's "interactive" statistics platform



式，每日更新。

3) 基础信息库：列车的位置参考信息，每月更新。

4) 行驶信息：列车定位和行车事件数据，实时更新。

5) SMART：用于列车报点的列车之间安全距离偏移量，实时更新。

6) 列车追踪信息：信号系统层面的列车追踪信息，实时更新。

7) 临时限速：临时限速信息，每周更新。

8) 临时行车计划：不能够从当日运行计划中获得的临时运行计划，实时更新。

9) 基础设施模型：以 XML 格式从综合列车规划系统中每日提取基础设施模型，每日更新。

10) 延迟归因数据：列车晚点历史数据的归因，每年更新。

Network Rail 在官网上发布了第三方机构根据“数据馈赠”服务开发的应用产品。“Open Train Times”是开发产品之一，为旅客提供每条线路的实时列车到达和离站时间，精细到列车在信号区间的具体位置，能够帮助旅客更好地计划行程。“实时 PPM”是另外一项开发产品，显示每个火车公司的实时的准点率信息。它在英国路网运营中具有非常大的价值，因为在网站之前，准点率数据只能在静态统计中获得。该网站每月获得 1 000 万次点击，并在英国以外的铁路行业内外拥有用户群。

## 4 国内轨道交通大数据应用和服务的建议

### 4.1 创建轨道交通数据集

2020 年，ORR 的工程师 Howard Taylor 在国际铁路安全会议上做了题为“人类进步：ORR 的数据接口”的报告，提到 ORR 的数据门户建立在“收集了近 10 000 个不同的数据集”的基础上，以便数据的存储、调用和重新格式化。轨道交通数据集的创建，一方面是大数据应用开发者工作的基础，另一方面对于轨道交通行业管理者和运营组织者也有着重要的意义。创建数据集能够实现数据的有效

组织，是数据资源从采集到整合利用的关键步骤。

目前，国内交通运输行业管理部门对于创建数据集已经发布了一系列的政策标准，包括 2017 年交通运输部办公厅发布的《交通运输政务信息资源目录编制指南》以及《交通运输基础数据元》系列标准等，中国城市轨道交通协会也开展了大数据集的相关研究工作。但是目前还没有专门针对轨道交通的官方的数据集发布。目前，国内各城市轨道交通主管部门和运营单位都在进行大数据相关研究和开发工作，各城市各自建立自己的数据资源目录，各有数据分类和编码方式，不利于轨道交通行业乃至交通运输行业大数据的融合、交换。建议建立统一的轨道交通数据集，统一数据资源分类、元数据、编码方式等。

轨道交通大数据资源涵盖的范围比较广泛，参照英国运输部对数据集的归纳以及 ORR 和 Network Rail 的数据公开情况，可以看出，某些轨道交通数据资源应该用于行业交互共享、服务乘客和管理部门的应用平台开发；某些数据则主要用于企业自身的生产管理，例如人力资源和财务管理等，开放和共享的意义不大。建立格式统一的轨道交通数据集，把重点放在支撑行业监管以及提升服务水平的数据上。在此基础上归纳轨道交通数据集如表 2 所示。

表2 轨道交通数据集

Tab.2 Data set for rail transport

数据集	内容
基础数据集	车站类（车站位置、车站类型、运营时间等）、线路类（区间长度、桥梁、隧道等）、线网类（线网分区、线路数、车站数等）
实时数据集	客运：实时客流量（进站检票、出站检票）、售票量、满载率（轴重）等 行车：计划时刻表、实际时刻表、实时列车位置、限速情况、行车调整、延误情况等 突发事件：行车事件（清客、跳站、停运等）、关键设施设备故障、大客流、恶劣天气、自然灾害等
统计数据集	行车：行车历史延误归因、准点率、兑现率等 客运：客运量、客运周转量、换乘量、断面客流量、平均运距等 货运：货运列车量、货运量、货运准点情况等 服务：乘客满意度、投诉处理情况等

#### 4.2 加强数据标准化建设

除了建立官方数据集以外，还应当加强相关政策标准研究，规范数据内容、格式和管理流程，促进数据融合交互。英国运输部委托英国标准协会(BSI)进行的关于“数据标准范围研究”的研究，报告指出系统互操作性和数据交换标准的方向，一是信息结构、内容和交换的规范；二是数据类型定义和分类；三是数据创建、交换和使用的组织流程。建议国内从下面4个方面着手建立轨道交通不同区域、不同运营主体数据融合交互的标准政策体系：一是数据交互范围，包括交互内容和定义等；二是数据资源体系建立，包括数据分类、编码、元数据等；三是数据交互要求，包括数据交互时间、频率、接口要求等；四是数据管理，包括质量管理、数据安全要求等。

#### 4.3 开发数据门户，促进数据共享

对比英国的轨道交通数据门户，国内轨道交通行业在数据服务的内容覆盖面、数据精确性和开放性方面都存在较大的差距。目前国内轨道交通行业为公众和应用开发者提供的数据主要是行业协会和管理部门发布的统计信息，发布频率为半年或一年，能够根据自身需求进行数据检索的平台或实时数据源还比较少，信息开放程度也比较低。建议参照英国轨道交通数据门户的形式，一是在数据统计方面，建立覆盖更全面、更精确的统计制度，特别是对于延误赔偿、残疾人乘车情况、服务投诉情况、乘客协助等关乎人民出行体验的内容；二是建立开放式的能够实现互动检索的信息平台；三是建立实时数据源平台，鼓励开发者根据实时数据信息开发应用程序，为乘客出行提供更精准、更便捷的信息服务，面对商业开发提供数据源可以采用收费的形式；四是建立信息自由机制，在法律允许的范围内赋予机

构和个人根据自身需求向相关部门提出数据申请的权利，提升数据的开放性，有利于开展行业监督和促进大数据应用发展。

#### 参考文献

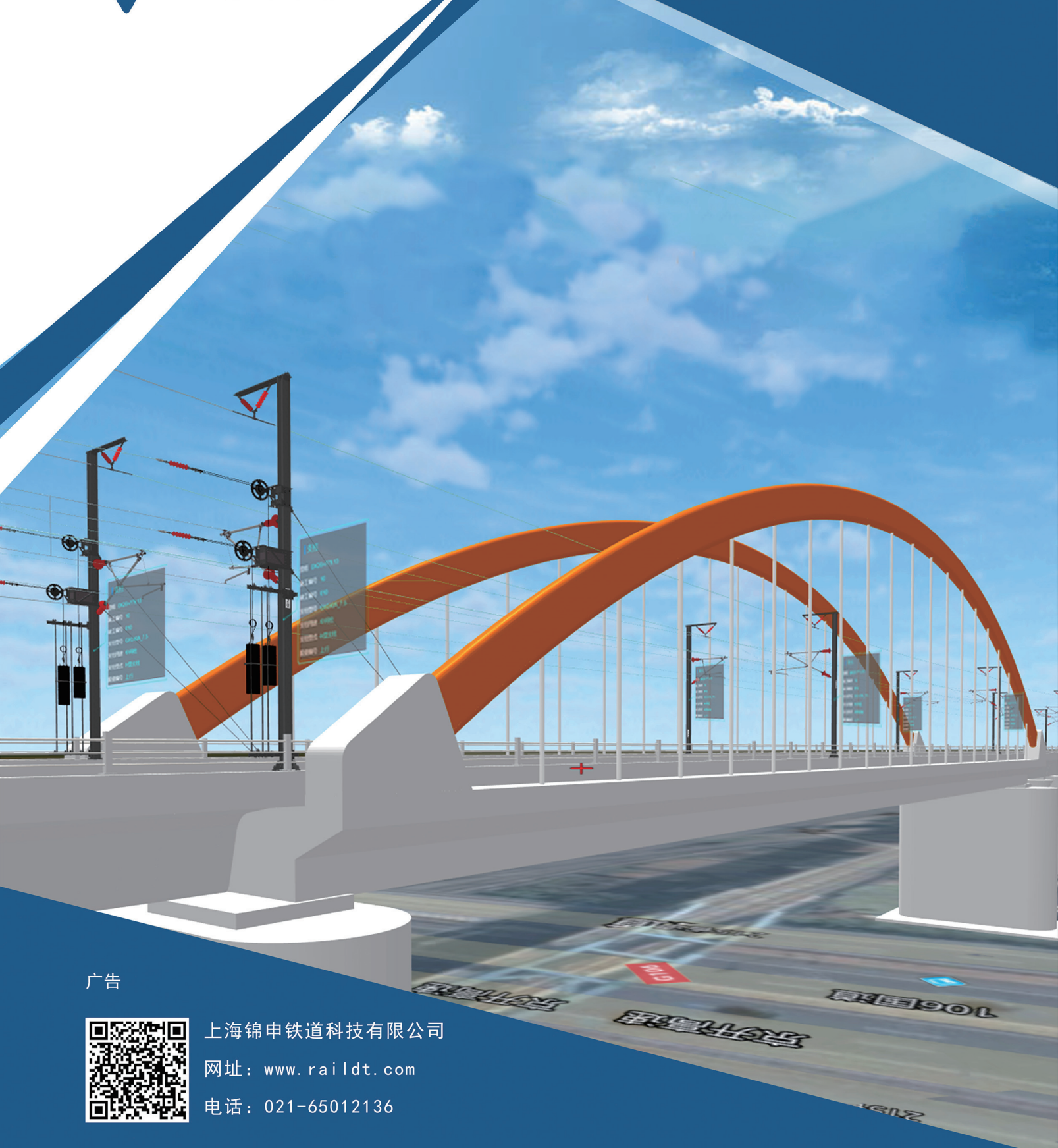
- [1] 王正兴, 刘闯. 英国的信息自由法与政府信息共享[J]. 科学学研究, 2006, 24(5): 688-695.  
Wang Zhengxing, Liu Chuang. Freedom of Information Act and Publicly Funded Information Access in the UK[J]. Studies in Science of Science, 2006, 24(5): 688-695.
- [2] 李娜, 李凤玲. 英国铁路行政管理体制的变迁及发展现状[J]. 经济视角, 2013(9): 109-111.  
Li Na, Li Fengling. Changes and Development Status of British Railway Administration System[J]. Economic Vision, 2013(9): 109-111.
- [3] 潘莹, 徐文洁, 颜彦文, 等. 城市轨道交通大数据资源目录构建探究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(6): 141-145.  
Pan Ying, Xu Wenjie, Yan Yanwen, et al. Research on Construction of Big Data Resource Directory of Urban Rail Transit[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(6): 141-145.
- [4] 邓宇. 海外铁路通信工程风险简谈[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(11): 90-94.  
Deng Yu. Discussion on Risk of Overseas Railway Communication Project[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(11): 90-94.
- [5] 宋大治, 王健, 徐钟全, 等. 城市轨道交通大数据技术应用研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(2): 70-75.  
Song Dazhi, Wang Jian, Xu Zhongquan, et al. Application of Big Data Technology in Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(2): 70-94.



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

# 运达科技

股票代码:300440

致力于为轨道交通业务领域  
提供智能化解决方案及服务



## 国铁安全联锁监控系统



联系电话  
**028 8283 9999**

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

广告

ISSN 1673-4440  
CN 11-5423/U

<https://rsce.crsed.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