

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2021.08.023

基于北斗卫星技术川藏铁路列控系统 展望与思考

李 强

(中国铁路成都局集团有限公司, 成都 610081)

摘要: 按照川藏铁路建设“高起点、高标准、高质量”要求, 分析青藏铁路 ITCS 系统技术特点, 思考川藏铁路新一代智能列车运行控制系统发展目标, 构建北斗卫星导航与新一代铁路专用移动通信系统 (5G-R) 结合的 CTCS-4 级列车运行控制系统, 实现列车运行控制的全面感知、安全运行、移动追踪、高可靠性、少维护的工作目标, 对于国内高速铁路新一代列控系统发展有很好现实指导意义。

关键词: 川藏铁路; 北斗卫星; 5G-R; 智能列车运行控制; 移动闭塞; 列控联锁一体化

中图分类号: U284.48

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2021)08-0105-06

Outlook and Thinking on Train Control System for Sichuan-Tibet Railway Based on Beidou Satellite Technology

Li Qiang

(China Railway Chengdu Group Co., Ltd., Chengdu 610081, China)

Abstract: According to the requirements of "high starting point, high standard and high quality" in the construction of Sichuan-Tibet railway, this paper analyzes the technical characteristics of ITCS system of Qinghai-Tibet railway, considers the development goal of new generation intelligent train operation control system of Sichuan-Tibet railway, and constructs CTCS-4 train control system combining Beidou satellite navigation with new generation railway dedicated mobile communication system (5G-R) to realize the objective of overall perception, safe operation, mobile tracking, high reliability and less maintenance, which are of great practical significance for the development of new generation train control system of high-speed railway in China.

Keywords: Sichuan-Tibet railway; beidou satellite; 5G-R; intelligent train control system; movable block; train control & interlocking integration

川藏铁路沿线具有地质条件复杂、生态条件恶劣、基础设施分布少、不适宜人居住等特点。根据国内智能高铁发展战略及 CTCS 级列控系统总体规划, 研究基于移动闭塞川藏铁路 CTCS-4 级列车运行控制系统, 在确保安全前提下, 可大大缩短列车

追踪间隔, 提高川藏铁路运输效率, 简化设备地面轨旁设备, 减少现场维护工作。

1 青藏铁路列车运行控制系统概况

青藏铁路信号系统是采用基于 GSM-R 与 GPS

卫星差分定位技术的单线双向虚拟自动闭塞的 ITCS (International Train Control System) 增强型列车控制系统。ITCS 系统由中心设备 (CTC 调度中心、维护中心)、车站设备 (计算机联锁车站、

VHLC 车站)、车载设备 (车载计算机、列尾)、通信网络 (数字通信网络、GSM-R) 等组成, 系统结构如图 1 所示^[1-2]。

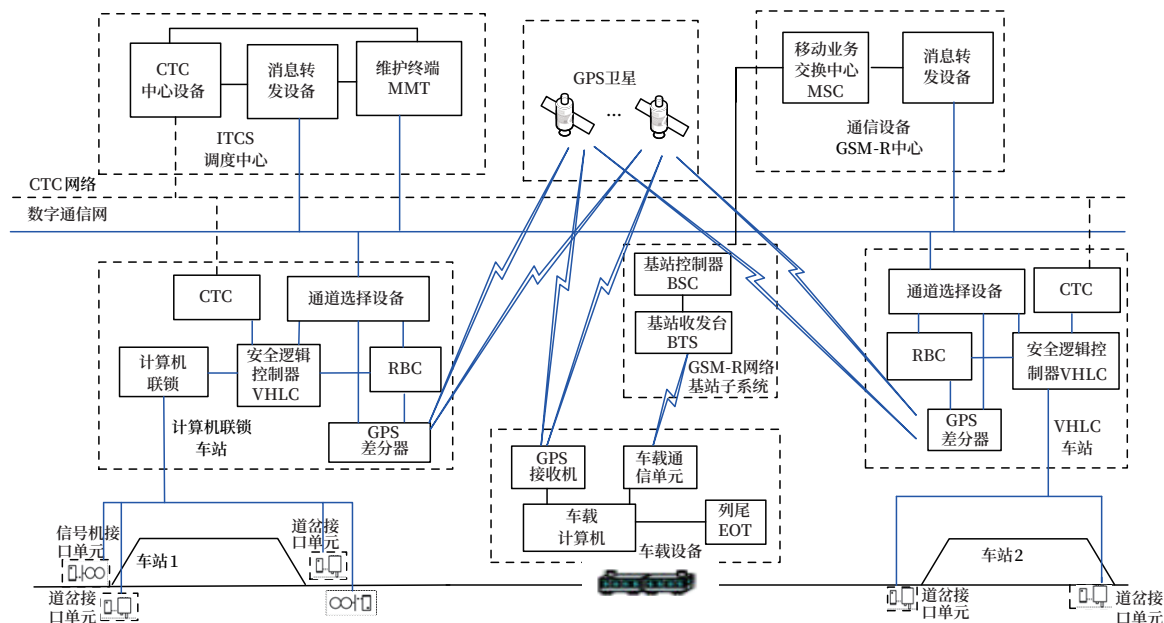


图1 ITCS系统结构
Fig.1 ITCS system structure

2 川藏铁路与青藏铁路情况分析

川藏铁路具有地质环境更恶劣、建设难度更大、速度等级更高、动车与客货车混合运行、行车密度大、运输更繁忙、列车追踪间隔小等特点, 如表 1 所示。这些对川藏铁路信号基础设施智能化、信息化、维修养护、应急管理提出更大挑战, 要求川藏铁路列控系统具有安全可靠、智能化程度高、轨旁设备简单、维护少、免维护等特征, 适应高原山区铁路的特殊环境。

3 川藏铁路列车运行控制系统

鉴于川藏铁路特殊高原复杂地理环境, 借鉴青藏铁路 ITCS 系统成功运行的丰富经验, 川藏铁路信号系统采用基于北斗卫星导航的列车自主定位技术, 利用新一代铁路专用移动通信系统 5G-R 的无线传输平台, 实现精准列车定位的移动闭塞, 适用川藏铁路时速 200 km 客货混跑的 CTCS-4 级智能

表1 青藏铁路与川藏铁路基本情况分析

Tab.1 Basic situation analysis of Qinghai-Tibet railway and Sichuan-Tibet railway

项目	青藏铁路格拉段	川藏铁路雅林段
环境	青藏铁路穿越海拔 4 000 m 以上地段达 960 km, 最高点为海拔 5 072 m	川藏铁路大部分线路在海拔 3 000 m 以上, 最高点为海拔 5 100 m
建设难题	青藏铁路建设面临着 3 大世界铁路建设难题: 千里多年冻土的地质构造、高寒缺氧的环境和脆弱的生态	川藏铁路建设需要面对崇山峻岭、地形高差、地震频发、复杂地质、季节冻土、山地灾害、高原缺氧以及生态环保等建设难题, 桥隧比超过 90%
线路全长	1 142 km	1 011 km
铁路等级	I 级	I 级
正线数目	单线	双线
最高速度	100 km/h	200 km/h
最大坡度	20‰	30‰

列车运行控制系统^[3], 实现列车运行控制的全面感知、安全运行、移动追踪、高可靠性、少维护的目标^[4]。

3.1 系统组成及主要功能

列车运行控制系统主要由中心设备、车站设备、车载设备 3 部分组成, 采用铁路数据通信网络平台、铁路专用移动通信系统 5G-R、北斗卫星网络实现数据交换, 全线区间不设轨道电路、信号机、应答器等轨旁设备。

中心设备: RBC 负责管理列控数字轨道地图库, 利用 5G-R 无线通信平台, 完成列车精准定位、移动授权计算、行车许可生成、移动闭塞、临时限速管理等功能。北斗差分服务器管理北斗卫星差分基准站, 实现北斗卫星的差分定位功能, 并负责向北斗应用服务平台提供服务。调度集中 CTC 中心设备下达调度指挥计划、联锁集中控制指令、列控限速命令等, 融合 GIS 技术实现智能调度指挥。

车站设备: 包括列控联锁一体化车站、区域控制车站、调度集中 CTC 车站设备、信号集中监测设备、北斗卫星差分基准站等。列控联锁一体化车站完成有人值守车站列控、联锁等功能, 设有信号机。区域控制车站完成无人值守车站列控、联锁等功能, 不设信号机。同时利用北斗卫星差分基准站、车站进站口设置有源应答器等, 提高列车车站定位精度^[5]。

车载设备: 包括车载安全计算机、5G-R 无线通信单元、北斗定位单元(车头、车尾)等。车载安全计算机完成列车超速防护功能(ATP)、列车自动驾驶功能(ATO)。5G-R 无线通信单元通过车载电台与地面 RBC 设备建立车地间大容量连续双向通信通道, 实现车地信息安全通信。北斗定位单元采用北斗卫星差分及多传感器组合的定位技术, 提高列车定位精度, 并在车尾安装北斗定位单元, 建立机车与列尾间无线通信链路, 实现列车完整性检查^[6]。

3.2 北斗卫星技术

采用北斗卫星定位技术, 实现高精度列车定位、轨道区段占用检查、列车完整性、列车连续性检查, 大大提升车-地通信、车-车通信传输信息量, 实现具有闭环控制、安全高效功能的移动闭塞, 取消区间轨道电路、信号机、应答器, 大大减少轨旁设备, 实现设备互操作性和安全性, 大大降低设备成

本, 减少现场维护工作量。

3.2.1 基于北斗-惯性导航系统(Inertial Navigation System, INS)多传感器组合铁路站场列车定位技术

利用北斗卫星采集站场的道岔、信号机、股道、区段、车站中心等目标的经度、纬度、高差等离散、无规律的数据, 经坐标系转换为铁路信号系统可识别的公里标位置信息。通过地图匹配法, 将卫星定位数据与列控数字轨道地图库匹配, 利用北斗-INS 组合定位, 辅助里程计、测试电机、多普勒雷达等传感器, 结合进站口有源应答器校准技术, 准确计算出列车在站场的具体位置, 可以提高列车定位的精度和完整性^[7]。

3.2.2 基于北斗组合定位虚拟应答器(Virtual Balise)技术

基于北斗组合定位技术, 通过软件处理北斗卫星组合定位单元的导航信息, 匹配列控数字轨道地图库, 实现区间虚拟应答器定位功能, 提高列车定位的精度和完整性。虚拟应答器与列控系统标准定义的列控车载设备规范兼容, 功能可以完全替代真实的应答器, 无需轨旁布置应答器, 降低区间铺设大量轨旁设备成本和现场维修养护, 非常适合高原铁路的现状^[8-9]。

3.2.3 北斗路基地段增强及隧道覆盖增强技术

1) 北斗路基地段增强技术

在铁路沿线车站不超过 60 km 分别布置北斗卫星差分基准站, 连续观察、接收覆盖范围内所有可见北斗卫星信号, 通过铁路数据通信网, 接入冗余设置的北斗卫星差分服务器。差分服务器利用接收的数据计算卫星的差分改正、完好性信息, 通过 5G-R 网络发送给对应的无线闭塞中心 RBC。RBC 根据当前列车位置, 把相应差分改正、完好性信息发送给列车, 以提高列车导航定位精度和完整性, 同时差分服务器将卫星信息实时发送给铁路北斗卫星平台, 为智能运营维护、应急通信等提供服务, 如图 2 所示。

2) 北斗隧道覆盖增强技术

北斗隧道覆盖系统基于北斗导航信号实时再生

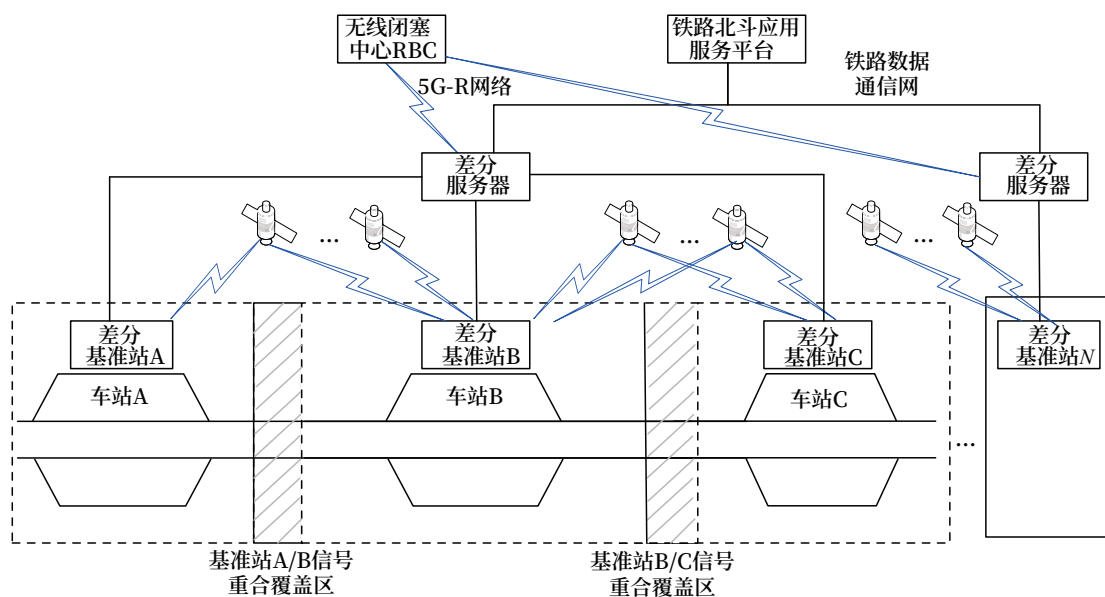


图2 北斗路基地段增强系统结构示意图
Fig.2 Structure diagram of Beidou railway bed section enhancement system

技术，利用隧道外设北斗卫星天线接收卫星信号，通过线缆把卫星信号由天线传给基准单元，由间隔布置的中继单元将北斗信号增强传送至隧道屏蔽区域，实现隧道内北斗信号增强覆盖。通过管理单元

把系统设备纳入网络系统、北斗应用服务平台，实现隧道内北斗智能运营维护，为应急抢险等提供服务，如图3所示。

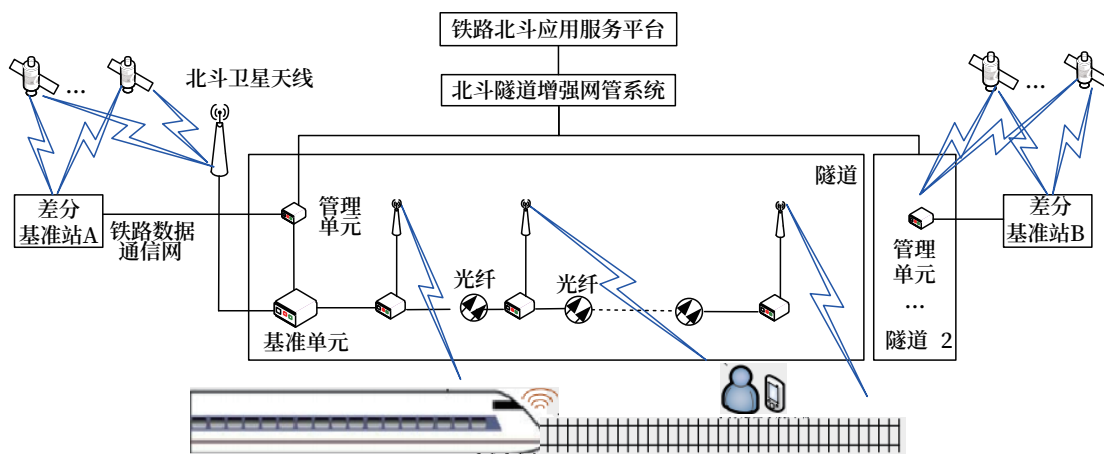


图3 北斗隧道覆盖增强系统结构示意图
Fig.3 Structure diagram of Beidou tunnel coverage enhancement system

利用北斗隧道覆盖增强系统，通过铁路数据通信网络将管理单元与相邻车站的基准差分站及差分服务器将信号发送至无线闭塞中心RBC，提高了列车在隧道屏蔽范围内的导航定位精度和完整性。

3.2.4 基于北斗卫星+地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 调度指挥技术

北斗卫星具有定位、导航、短报文等功能，

GIS以地理空间信息库为基础，具有数据采集、存储、运算、分析、管理、显示等功能。建立铁路线路空间信息库，利用北斗卫星+GIS技术，纳入调度指挥系统，可以为运输人员提供列车运行轨迹、线路运行环境状态等综合信息，在行车指挥、故障处置、应急抢险时提供智能导航、可视化的地理信息数据、应急资源数据，为智能调度指挥提供强有

力的技术支撑。

3.2.5 基于北斗卫星时钟同步技术

通过北斗时钟同步系统，与北斗卫星实现时钟同步，为川藏铁路调度指挥系统、列控联锁一体化系统、无线闭塞中心、临时限速服务器、列控车载设备、信号集中监测系统等进行全面授时，确保时间统一准确，消除行车作业带来安全隐患。

3.3 铁路专用移动通信系统(5G-R)车地双向传输技术

5G-R 技术能实现车地间大容量双向无线通信，提高车地间通信传输带宽和传输可靠性指标，具有安全、高效、便于维护特点，能提供列车运行控制、铁

路行车指挥、列车安全防护和预警、列车自动驾驶、动车组及机车运行状态监测、地面基础设施状态监测、应急通信等业务，满足川藏铁路行车运用、智能运营维护、旅客服务 3 大类应用业务的需求^[10]。

3.4 全电子列控联锁一体化系统

全电子列控联锁一体化系统是将列控中心和联锁集成一体化的系统，实现车站联锁、区间闭塞及有源应答器控制等功能，推动列控联锁一体化系统向着简洁、集中、安全、统一化的方向发展，适合川藏铁路的特殊环境，系统构架如图 4 所示^[11]。主要优点如下。

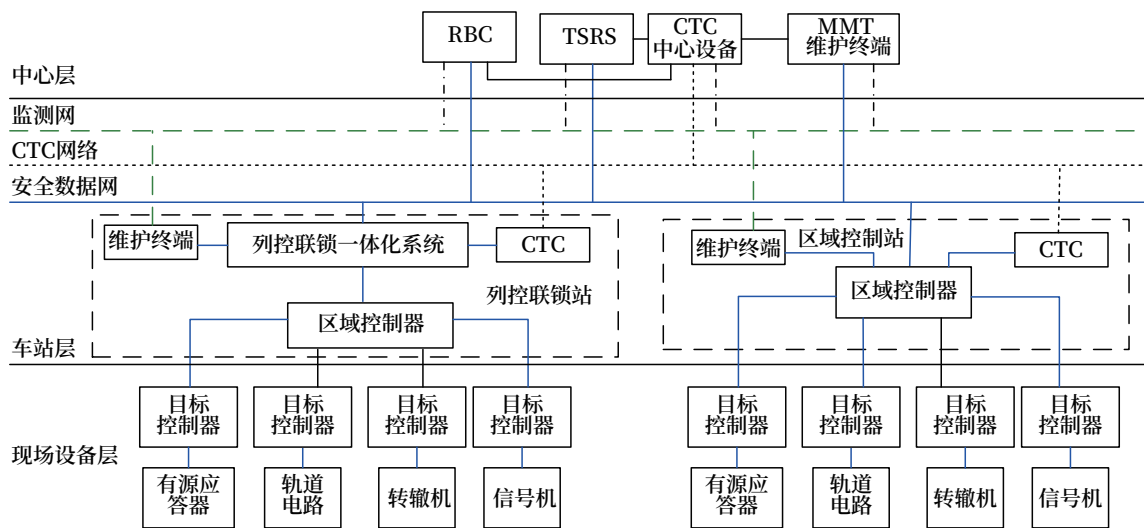


图4 列控联锁一体化车站系统结构
Fig.4 Structure diagram of train control& interlocking integrated station system

1) 减少列控中心与联锁系统间数据交互，消除数据畸变，提高通信效率；列控联锁一体化后能够降低数据传输的迂回性，提高系统数据实时性；优化列控、联锁信号系统架构、减少系统间接口；减少系统维护工作量，便于现场维护。

2) 采用电子执行单元取代传统计算机联锁系统执行层的 I/O 驱采电路和继电器，设置道岔转辙机单元、信号机单元、应答器单元、接口单元等，取消了机械室大部分继电器组合架及继电器设备，具有设备简单且高度集中、机械室占地面积小、节省设备投资、缩短施工周期，大大减少现场维护工作量。同时全电子列控联锁一体化系统采用专用监测

网络，具备智能的维护诊断功能，有利于实现列控系统向着更高的智能化、网络化、信息化方向发展。

3.5 智能化目标控制器

分布式全电子列控联锁系统执行单元与智能目标控制器结合，将智能目标控制器分散设置于轨旁，通过总线控制技术纳入咽喉区域控制器控制，采用光缆以安全通信的方式与车站列控联锁系统连接通信，执行列控联锁命令，完成对轨旁的转辙机、信号机、应答器等现场信号设备的控制、监测功能^[12]，如图 5 所示，主要优点如下。

轨旁控制设备可靠性高、小型化、占用空间小，且大大减少信号机械室面积，适合有人值守的列控

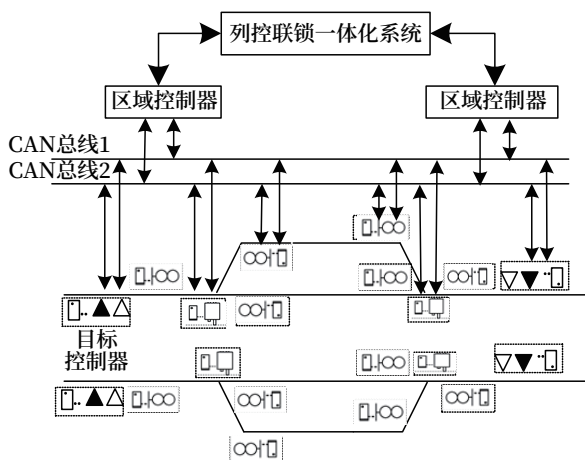


图5 目标控制器布置示意图
Fig.5 Layout of object controller

联锁车站和无人值守区域控制站。在保证设备安全可靠的前提下，将室内外间大量电缆变为少量电缆和光缆，实现由电气传输改进为光传输，可显著扩展传输距离，降低传输成本。同时，减少了室外的控制和通信电缆，消除电缆混线的安全隐患，提升系统的防雷性能。实现铁路信号轨旁设备的控制命令发送、采集信息接收和通信管理等功能，易于实现轨旁信号设备的智能化、数字化水平，有利于实现车站联锁及信号系统的智能化。能大大缩短施工周期，减少现场系统调试和维护时间。

4 工作展望

提前构建列控数字轨道地图库标准，研究站内虚拟信号机、虚拟轨道电路、虚拟电码化、虚拟应答器等融合发展的列控联锁技术，实现车站列控联锁一体化系统轨旁设备的虚拟化、稀疏化，进一步提升列控系统设备安全性、智能化、数字化、信息化水平，符合新一代智能列控系统发展趋势。

及早研发既适用 CTCS-4 级的动车组列控车载设备，又满足 CTCS-4 级运行普通机车、轨道车等不同车型的列控车载设备，合理配置降级后备模式，满足动车组、客货机车兼容不同等级线路，实现列车跨线运行、与路网兼容的要求。

北斗卫星导航系统支持短报文通信技术特点，研究北斗卫星导航系统作为列车后备车地通信技术，在 5G-R 网络中断等故障情况下车地通信应急恢复，无缝支持混合运营模式。

建立川藏铁路新一代列控系统安全评估机制，正确处理智能化、信息化、数字化与安全的关系，在确保列控系统安全可靠前提下，经科学充分论证后，稳步实现列控系统的智能化、信息化、数字化，满足铁路运输生产需要。

5 结束语

提前研究川藏铁路新一代智能列车运行控制系统，适应高原山区铁路“安全可靠稳定、技术先进智能、设备结构简单、轨旁设备少、维修养护简便”的要求，非常具有现场指导意义。

参考文献

- [1] 逯宗田. 青藏线 ITCS 系统 [J]. 铁道通信信号, 2007, 43 (8): 12-13.
- [2] 李凯. 青藏铁路 ITCS 信号控制系统方案 [J]. 中国铁路, 2005 (7): 31-36.
Li Kai. Plan of ITCS Signal Control System on Qinghai-Tibet Railway[J]. Chinese Railways, 2005(7): 31-36.
- [3] 中华人民共和国铁道部. 科技运函 [2004] 14 号 CTCS 技术规范总则 [S]. 北京: 中华人民共和国铁道部, 2003.
- [4] 程剑锋, 赵显琼, 刘磊. CTCS-4 级列控系统关键技术研究 [J]. 北京交通大学学报, 2016, 40 (5): 104-110.
Cheng Jianfeng, Zhao Xianqiong, Liu Lei. Research on Key Technologies of CTCS-4 Level Train Control System[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2016, 40(5): 104-110.
- [5] 蔡伯根, 上官伟, 王剑, 等. 基于北斗卫星导航系统的列车安全定位保障方法 [J]. 中国铁路, 2013 (4): 12-17.
- [6] 郭进, 张亚东, 王长海, 等. 我国下一代列车控制系统的展望与思考 [J]. 铁道运输与经济, 2016, 38 (6): 23-28.
Guo Jin, Zhang Yadong, Wang Changhai, et al. Outlook and Thoughts on Next Generation Train Control System [J]. Railway Transport and Economics, 2016, 38 (6): 23-28.

(下转 116 页)

- [4] 虞泽凡. 基于云计算技术的软件测试探索 [J]. 自动化技术与应用, 2019, 38(12): 53-56.
Yu Zefan. Software Testing Exploration Based on Cloud Computing Technology[J]. Techniques of Automation and Applications, 2019, 38(12): 53-56.
- [5] 宋西欣, 郁文斌. 铁路信号产品自动化测试探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(9): 94-100.
Song Xixin, Yu Wenbin. Discussion on Automatic Tests of Railway Signal Products[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(9): 94-100.
- [6] 王振辉. 高速铁路 CTCS-3 级系统功能测试必要性研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(3): 23-27.
Wang Zhenhui. Study on Necessity of Function Test of Chinese Train Control System Level 3(CTCS-3)[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(3): 23-27.
- [7] 王军贤. 城轨云在全自动运行系统中的应用研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(9): 73-77.
Wang Junxian. Application of Urban Rail Cloud in Fully Automatic Operation Systems[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(9): 73-77.
- [8] 李文涛. 计算机联锁系统自动测试系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(1): 1-5.
Li Wentao. Research on Computer Interlocking Automatic Testing System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(1): 1-5.
- (收稿日期: 2021-05-24)
(修回日期: 2021-06-14)

(上接 110 页)

- Control System in China[J]. Railway Transport and Economy, 2016, 38(6): 23-28.
- [7] 樊玉明. 基于北斗-INS 组合的铁路站场列车定位方法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [8] 张雅静, 王剑, 蔡伯根. 基于 GNSS 的虚拟应答器研究 [J]. 铁道学报, 2008, 30(1): 104-108.
Zhang Yajing, Wang Jian, Cai Baigen. Research of Virtual Balise Based on GNSS[J]. Journal of the China Railway Society, 2008, 30(1): 104-108.
- [9] 上官伟, 蔡伯根, 王剑, 等. 一种虚拟应答器的实现方法: CN101817354A [P]. 2010-09-01.
- [10] 姜永富. 我国铁路专用移动通信技术发展思路探讨 [J]. 中国铁路, 2019(4): 73-78.
Jiang Yongfu. Development of China's Railway Dedicated Mobile Communication Technology[J]. China Railway, 2019(4): 73-78.
- [11] 贾春肖, 张宏韬, 齐志华. 我国铁路列控联锁系统发展趋势研究 [J]. 中国铁路, 2020(2): 1-5.
Jia Chunxiao, Zhang Hongtao, Qi Zhihua. Development Trend of Interlocking and Train Control System of China Railway[J]. China Railway, 2020(2): 1-5.
- [12] 关辉琿, 赵梦瑶, 韩安平. 基于智能轨旁设备的数字化联锁系统研究 [J]. 中国铁路, 2020(2): 6-10.
Guan Yunhui, Zhao Mengyao, Han Anping. Digital Interlocking System Based on Intelligent Trackside Equipment[J]. China Railway, 2020(2): 6-10.
- (收稿日期: 2021-02-07)
(修回日期: 2021-02-09)