

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.07.009

基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统研究

李珉璇, 赵 耀, 吴绍华, 周 敏

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 针对目前铁路隧道防灾疏散救援监控系统有线组网不灵活、监控能力有限、联动功能不足的问题, 结合 5G 技术的优势及其在铁路的应用前景, 提出一种基于 5G 的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统方案。兼容考虑铁路 5G 专网和公网两种承载方式, 对二者兼容性系统架构进行设计, 并对二者系统部署方案进行分析。具备灵活组网、扩展升级的能力, 融合前沿技术手段, 能够实现预警告警、联动控制、一键救援、仿真呈现等功能, 实现智能化运维管理, 提升铁路隧道防灾疏散救援能力。

关键词: 铁路隧道; 防灾救援; 监控; 5G; 运维管理

中图分类号: U285

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)07-0049-06

Research on New 5G-based Railway Tunnel Disaster Prevention and Rescue Monitoring System

Li Minxuan, Zhao Yao, Wu Shaohua, Zhou Min

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: Aiming at the problems of inflexible wired networking, limited monitoring capabilities, and insufficient linkage functions of the current railway tunnel disaster prevention and rescue monitoring system, combined with the advantages of 5G technology and its application prospects in railways, this paper proposes a new 5G-based scheme system. Its compatibility considering the two carrying modes of railway 5G private network and public network, the compatibility system architecture of the two is designed, and the system deployment scheme of the two is analyzed. This system has the ability of flexible networking, expansion and upgrading, and the integration of cutting-edge technical, which means that it is able to realize functions such as early warning and alarm, linkage control, one-key rescue, simulation presentation and so on, so as to realize intelligent operation and maintenance management, additionally to improve the ability of railway tunnel disaster prevention and rescue.

收稿日期: 2022-08-01; 修回日期: 2023-05-20

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目(P2021G012); 中国铁路设计集团有限公司科技开发课题项目(2021A240803)

第一作者: 李珉璇(1993—), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 铁路通信信息系统, 邮箱: liminxuan@crdc.com。

Keywords: railway tunnel; disaster prevention and rescue; monitoring; 5G; operation and maintenance management

随着中国铁路建设里程的陡增,隧道个数及长度也随之增加,特别是西南、川藏地区隧道位置偏远、地理环境不佳,对保障铁路隧道运营安全的防灾疏散救援监控系统(简称系统)提出了更高的要求^[1]。目前,该系统采用铁路专用有线通信组网,被监控设备设施数量多且分布零散,总体上存在有线组网不灵活、监控能力有限、联动功能不足的问题,限制了系统的应用与发展。5G技术在铁路的研究与应用优势为系统提供了良好条件,本文提出将5G技术与该系统相结合,构建基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统,从而有效解决系统现状问题,具备融合前沿技术条件实现系统智能化运维管理,提升铁路隧道防灾疏散救援能力。

1 系统现状

依据《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》(TB 10020-2017)及《高速铁路隧道防灾疏散救

援工程设计补充规定(试行)》(铁总建设[2019]36号),结合项目实践情况,目前铁路隧道防灾疏散救援监控系统如图1所示。系统由两级架构组成^[2],1)中心级:在各路局设置监控主站,包括监控终端、服务器、磁盘阵列等设备,在车站、工区等管理部门设置复示监控终端;2)现场级:隧道内被监控设备设施接入就近的就地控制器,各就地控制器与主控制器组成自愈光纤环网,就地控制器将数据汇聚给主控制器;中心级与现场级架构呈星型连接,通过铁路专用传输网进行双向通信,从而实现对管辖隧道的防灾救援设备设施的集中监视和远程控制。

目前,铁路隧道防灾疏散救援监控系统存在以下问题。

1)有线组网不灵活。各类被监控设备设施数量多且分布零散,隧道内线缆敷设空间有限,前端采集均通过有线方式传输,线缆敷设工程量且复用率低。现场级架构采用工业总线方式,中心级架构

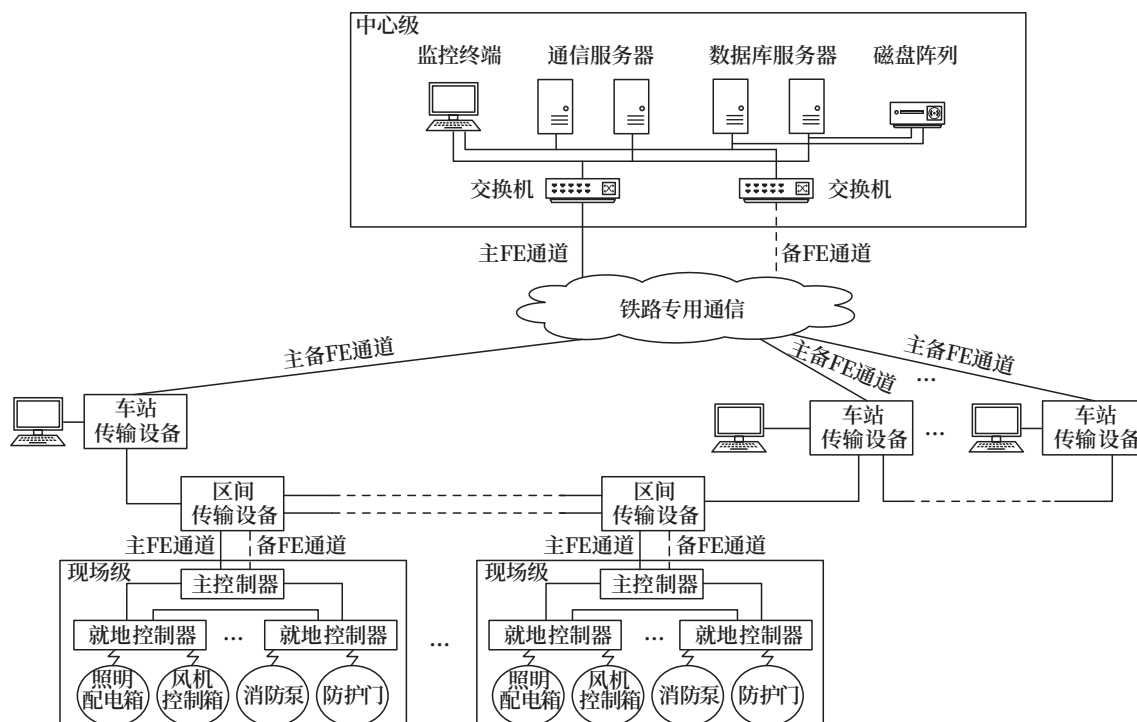


图1 目前铁路隧道防灾疏散救援监控系统组成

Fig.1 Composition of the current railway tunnel disaster prevention and rescue monitoring system

采用以太网,通过有线连接,总体组网不灵活,功能不易扩展。

2) 监控能力有限。被监控设备设施接入类别少,一般仅包括照明配电箱、风机控制箱、防护门、消防泵,对气体、洪涝、异物、结构等复杂灾害因素的实时监测、视频监控能力不足,多接入后系统业务数据量倍增。

3) 联动功能不足。系统中心级架构仅具备数据汇聚能力,尚未形成有效的运维管理平台,多接入的被监控设备设施数据互通困难,联动控制能力不足,限制系统发展及发挥有效功能作用,不能满足智能化安全运营维护及管理需求。

针对以上问题,有必要研究一种新型的铁路隧道防灾疏散救援监控系统,通过一种能够灵活组网,且具备与物联网、大数据、云计算等主流智能化手段融合的方式,提高系统监控及联动能力,提供系统灵活扩展、功能升级的条件,助力智能铁路隧道防灾疏散救援。

2 系统规划

2.1 5G技术概述

作为代替有线通信的移动通信已步入第5代商用阶段,将移动互联网扩展到移动物联网,具有增强型移动宽带(eMBB)、大规模物联网(mMTC)和超高可靠低时延通信(uRLLC)3大特性。目前,物联网、大数据、云计算等前沿技术是驱动新型信息产业发展的核心,5G技术是促进这些技术应用的关键,满足未来信息化发展的通信需求^[3]。

智能高铁是新型信息化建设,5G技术适用于不断涌现的新型业务场景应用^[4],能够为应用系统提供灵活接入、组网和扩展的网络条件,提供大带宽、低延时、高可靠的数据承载条件,提供融合前沿技术手段实现智能化的规划建设、装备研发及运营维护的条件^[5]。

2.2 系统5G承载方式规划

铁路5G网络覆盖划分为铁路自主建设的5G专网(5G-R)和由运营商在铁路沿线覆盖的5G公

网。铁路5G专网采用专用频段独立组网,而5G公网利用公网频段及网络组网。

铁路移动通信业务按与铁路运营的相关性分为3类,根据业务特点对其公、专网承载方式进行规划:1) 行车指挥及控制、运营维护类:与行车安全、运输生产直接相关的核心业务由5G专网承载,在专网传输能力不足时,对于优先级相对低的部分运营维护类业务可以考虑由5G公网承载;2) 旅客及货运客户服务应用类:为外部服务应用,由5G公网承载;3) 工程建设类:建造期间尚未建设铁路专网,由5G公网承载。

铁路隧道防灾疏散救援是一项涉及人员安全的工程,监控相关设备设施状态是保障安全的重要措施,被监控的设备设施数据具有安全保密性要求,业务数据传输具有低时延、高可靠的需求,因此,基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统属于上述的第一类业务,建议采用铁路5G专网承载。同时,由于铁路5G专网频谱资源有限,本系统较行车指挥及控制类业务的优先级相对低,属于不直接影响行车安全的运营维护类系统,因此,在公网安全策略可以保障的情况下,本系统也可以考虑采用高可靠的技术方式实现5G公网承载。

3 方案研究

5G技术能够满足系统灵活组网、扩展升级的需求,提供与主流智能化技术手段融合的条件,为系统提高监控及联动能力、实现智能化运维管理提供基础支撑。本次研究基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统按兼容专网和公网两种承载方式进行架构设计,并对二者承载方式的部署方案进行分析。

3.1 架构设计

根据系统业务发展实际需求,按照设备层、传输层、数据层、应用层及展示层进行系统架构设计,形成的系统架构如图2所示。

1) 设备层

设置开关传感器、位移传感器、光缆传感器等

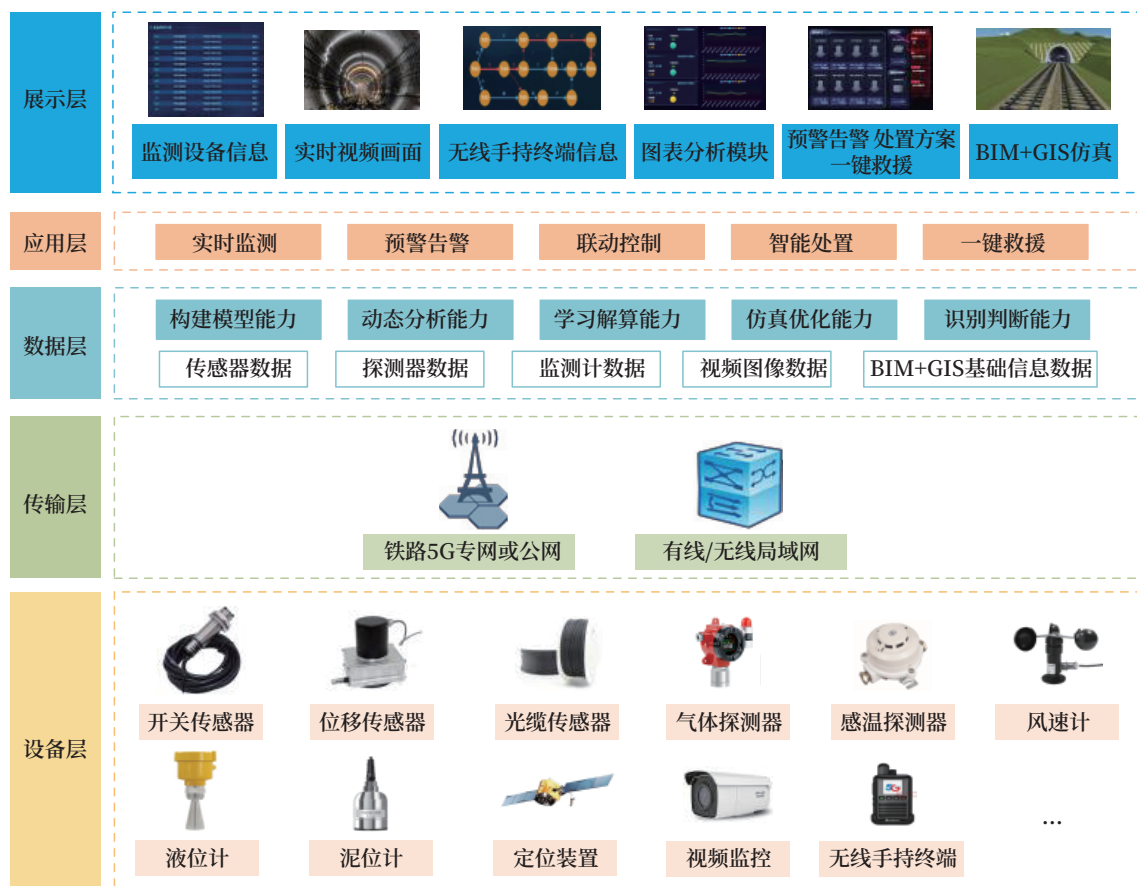


图2 基于5G的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统架构
Fig.2 System architecture of a new 5G-based railway tunnel disaster prevention and rescue monitoring system

设备用于通风、照明、水泵、防护门等设备设施的信息采集，相较于传统有线IO模块采集，通过多类型的传感方式、多点位的传感监控能获取更全面精准的系统设备状态信息。

设置气体探测器、感温探测器、风速计、液位计、泥位计等设备用于隧道内有害气体、火、风、雨、泥等环境灾害因素的检测，设置雷达、北斗定位、异物探测传感器、光缆传感器等设备用于隧道变形、异物侵线、轨道高温变形等设施灾害因素的检测。

设置视频监控设备用于采集隧道内外实时图像信息，配置图像识别模块，提供智能辅助判别功能。

设置无线手持终端用于现场人员语音通信、数据传送、人员定位，提供与中心互动指挥作业功能，保障人员安全。

2) 传输层

通过铁路5G专网或安全可靠的5G公网进行数据双向传输，打通从前端到后端的数据无线传输链路，解决系统灵活组网和设备层扩展接入的需求。特别适用于地理环境较差或长大的隧道，解决有线传输光缆敷设及维护工程量大、光缆复用率低的问题。同时，系统也支持有线/无线局域网等传统组网方式。

3) 数据层

将采集的各类传感器、探测器、监测计、视频图像等数据进行融合，与BIM+GIS基础信息数据集成，形成构建模型、动态分析、学习解算的能力，提供系统仿真优化、识别判断的能力。

4) 应用层

形成系统智能化运维管理平台，通过数据层的融合分析，实现多种灾害的预警告警、设备设施的实时监测及联动控制，提供更精准的信息告警、处

置方案推荐及一键救援功能,更好地辅助人员进行运维管理及判断决策。

5) 展示层

在系统运维管理中心监控终端及大屏上,呈现各应用模块内容,包括实时监测设备设施信息、实时视频画面、现场无线手持终端人员信息、日常图表分析信息、预警/告警信息、处置方案信息、一键救援按钮等。同时,通过 BIM+GIS 仿真呈现直观界面,清晰地展示出隧道内、外部与被监控设备

设施的位置关系,在同一界面内同时呈现出运维人员关心的全部重要信息,从而提高系统的易操作性。

3.2 部署方案

基于 5G 的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统由现场级、边缘节点、中心级组成。

1) 铁路 5G 专网承载方式部署方案

以某隧道为例的本系统部署方案拓扑如图 3 所示。

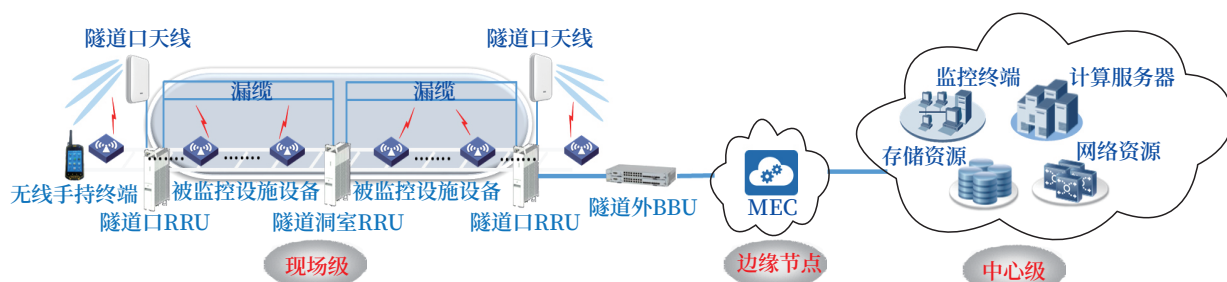


图3 基于铁路5G专网的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统部署方案拓扑

Fig.3 Deployment scheme topology of a new railway 5G private network based railway tunnel disaster prevention and rescue monitoring system

现场级：隧道内按需间隔设置各类传感器、探测器、监测计、摄像头等设备,设备内配置 5G 传输模块用于信号的接收与传递,通过铁路隧道 5G 覆盖网络进行传输。铁路隧道 5G 覆盖方案为：隧道内一般采用漏缆进行柱状均匀覆盖,隧道口空间宽阔,采用天线进行定向覆盖,以分布式基站(BBU+RRU)方式组网,隧道洞室、隧道口处设置 RRU,隧道外机房设置 BBU,BBU 与 RRU 之间推荐采用安全可靠、节约光缆资源的环型连接方式^[6]。

边缘节点：多接入边缘计算是 5G 的关键技术之一^[7],5G 网络是基于服务化的架构,控制面与用户面分离,5G 承载的铁路多场景业务数据如果全部透传至中心级进行处理,会产生大量的并发数据,占用较大的带宽资源,导致数据传输时延较大,引起网络阻塞。本系统对数据实时性、安全可靠要求较高,因此,在近隧道处机房部署边缘计算设备,将业务数据进行边缘本地化快速计算处理,能够有效提高系统性能,减少中心级网络资源压力。

中心级：云计算可以应用于基于服务化的 5G 网络,通过 5G 核心网与中心级云计算平台安全对

接,依托路局中心云的计算、存储、网络资源实现系统功能。

根据管理需求,在路局监控主站设置监控终端、大屏等设备,在站段运维管理部门配置复示监控终端,现场配置无线手持终端设备。

2) 铁路 5G 公网承载方式部署方案

以某隧道为例的本系统部署方案拓扑如图 4 所示。

现场级：设备部署方式同上述专网一致,铁路 5G 公网隧道覆盖目前较为成熟,系统设备数据利用隧道公网基站进行传输^[8]。为充分保障系统数据安全、保密和可靠,需采用定制无线网及承载网切片技术,将本系统数据与公网业务数据隔离传输,为系统提供资源预留、优先调度^[9]的功能。

边缘节点：在近隧道处机房部署系统专用边缘计算设备,形成系统级“园区”,以保障数据不出场,实现数据的本地化安全处理,保障大带宽、时延敏感的业务数据计算效率。

中心级：设备部署方式同上述专网一致,由于铁路 5G 公网应用方案尚未明确,至中心级的传输



图4 基于铁路5G公网的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统部署方案拓扑

Fig.4 Deployment scheme topology of a new railway 5G public network based railway tunnel disaster prevention and rescue monitoring system

链路，可通过上述边缘节点经安全措施接入铁路通信网至系统中心级设备，或经运营商公网中心节点与路局中心直接对接至系统中心级设备。

4 结语

目前，铁路隧道防灾疏散救援监控系统总体上存在有线组网不灵活、监控能力有限、联动功能不足的问题，限制了系统发展。通过分析 5G 技术在铁路的应用优势，以及铁路 5G 承载方式规划，本文提出将 5G 技术与系统相结合，可实现基于铁路 5G 专网和公网两种承载方式的新型铁路隧道防灾疏散救援监控系统。根据业务发展需求，系统按设备层、传输层、数据层、应用层及展示层五层架构，现场级、边缘节点、中心级三级部署的兼容性方案进行构建。系统具备灵活组网、扩展接入、融合智能化手段的能力，提供预警告警、联动控制、一键救援、仿真呈现等功能，从而实现该系统的智能化运维管理，提升隧道防灾疏散救援能力，助力中国智能高铁发展。

参考文献

- [1] 唐文国, 王鹏翔, 包存文, 等. 铁路高海拔特长隧道防灾疏散救援设备设施监控系统建设[J]. 中国铁路, 2020(12): 173-180.
Tang Wenguo, Wang Pengxiang, Bao Cunwen, et al. Construction of Disaster Prevention, Evacuation and Rescue Equipment & Facilities Monitoring System for High-Altitude Extra-Long Railway Tunnels[J]. Chinese Railways, 2020(12): 173-180.
- [2] 马伟斌, 王志伟. 新型铁路隧道防灾疏散救援设备设施智能监控系统研究[J]. 中国铁路, 2020(1): 4-10.
Ma Weibin, Wang Zhiwei. Research on New Intelligent Monitoring System for Disaster Prevention, Evacuation and Rescue Equipment and Facilities in Railway Tunnel[J]. Chinese Railways, 2020(1): 4-10.
- [3] 丁建文, 孙斌, 郑鹏, 等. 铁路 5G 技术创新应用探索[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(6): 1-9
Ding Jianwen, Sun Bin, Zheng Peng, et al. Exploration of Innovative Application of 5G in Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(6): 1-9.
- [4] 艾渤, 马国玉, 钟章队. 智能高铁中的 5G 技术及应用[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(6): 42-47, 54.
Ai Bo, Ma Guoyu, Zhong Zhangdui. 5G Technologies and Applications in High-Speed Railway[J]. ZTE Technology Journal, 2019, 25(6): 42-47, 54.
- [5] 艾渤, 章嘉懿, 何睿斯, 等. 面向智能高铁业务和应用的 5G 基础理论与关键技术[J]. 中国科学基金, 2020, 34(2): 133-141.
Ai Bo, Zhang Jiayi, He Ruisi, et al. Fundamental Theory and Key Technologies of 5G for Service and Application of Intelligent High-Speed Railway[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2020, 34(2): 133-141.
- [6] 葛伟涛, 冯敬然, 周敏, 等. 铁路 5G-R 无线接入网组网方案[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(6): 59-63.

(下转 58 页)

- Song Jiangping. Brief Analysis of Train Functional Number Call in Railway Line with GSM-R[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(5): 71-73.
- [4] 卓少聪. 浅谈机车综合无线通信设备(CIR)在途监测系统的实施[J]. 信息通信, 2017, 30(3): 267-268.
- Zhuo Shaocong. Discussion on the Implementation of Locomotive Integrated Wireless Communication Equipment (CIR) In-Transit Monitoring System[J]. Information & Communications, 2017, 30(3): 267-268.
- [5] 张浩, 高尚勇, 姜宏敏. 机车综合无线通信设备在途监测系统[J]. 铁道通信信号, 2017, 53(6): 58-60.
- Zhang Hao, Gao Shangyong, Jiang Hongmin. On-Line Monitoring System of Cab Integrated Radio Communication Equipment[J]. Railway Signalling & Communication, 2017, 53(6): 58-60.
- [6] 马健. CIR通信设备故障分析及防范对策[J]. 上海铁道科技, 2017(3): 40-41.
- Ma Jian. Fault Analysis and Preventive Measures of CIR Communication Equipment[J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2017(3): 40-41.
- [7] 刘顺. 高速铁路GSM-R干扰问题分析及对策[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(8): 47-51.
- Liu Shun. Analysis and Countermeasure of GSM-R Interference in High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(8): 47-51.
- [8] 夏焕祥. GSM-R系统弱场处理有关问题的分析[J]. 铁道通信信号, 2005, 41(7): 36-37.
- [9] 袁廷瑞, 陶舵丞. 河谷地带铁路无线通信设备布放方式的探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(4): 43-46.
- Yuan Tingrui, Tao Duocheng. Discussion on Railway Wireless Communication Equipment Layout in Valley[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 43-46.
- *****

(上接 54页)

- Ge Weitao, Feng Jingran, Zhou Min, et al. Networking Scheme of Railway 5G-R Wireless Access Network[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(6): 59-63.
- [7] 刘语馨, 陈姝, 钟章队. 边缘云技术在智能铁路中的应用[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(Z1): 7-12.
- [8] 葛伟涛, 孙庆东. 杭台高铁隧道公网覆盖实施方案[J]. 铁道通信信号, 2022, 58(6): 7-11.
- Ge Weitao, Sun Qingdong. Implementation Plan of Public Network Coverage in Tunnels in Hangzhou-Taizhou High-Speed Railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(6): 7-11.
- [9] 杨琪, 冯敬然, 周敏, 等. 城市轨道交通5G公网融合组网方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(7): 63-69.
- Yang Qi, Feng Jingran, Zhou Min, et al. Research on 5G Public-Private Network Convergence Scheme for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(7): 63-69.