

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.08.012

# 南京地铁5G公网智能应用探索及实践

杨 勇<sup>1</sup>, 孙舒淼<sup>1</sup>, 王国华<sup>2</sup>, 吴 可<sup>2</sup>

(1. 南京地铁建设有限责任公司, 南京 210017;

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:** 以南京地铁在 5G 方面的应用探索为出发点, 利用公网 5G 的高带宽低时延特性及资源隔离手段赋能轨道交通行业, 覆盖轨道交通全场景, 并创造性提出跨行业商业模式, 探索出一条适合城轨行业的绿色低碳发展之路, 取得数字化绿色化协同发展的明显成效, 推动城轨行业高质量可持续发展。

**关键词:** 南京地铁; 城市轨道交通; 5G 公网

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)08-0059-07

## Exploration of Intelligent Application of 5G Public Network Specialized in Nanjing Metro

Yang Yong<sup>1</sup>, Sun Shumiao<sup>1</sup>, Wang Guohua<sup>2</sup>, Wu Ke<sup>2</sup>

(1. Nanjing Metro Construction Co., Ltd., Nanjing 210017, China)

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

**Abstract:** This paper takes the exploration of the application of 5G in Nanjing Metro as the starting point, makes use of the high bandwidth and low latency characteristics and resource isolation means of 5G on the public network to empower the urban rail transit industry, covers all the scenarios of rail transit, creatively proposes a cross-industry business model, explores a green and low-carbon development path suitable for the urban rail transit industry, and achieves noticeable results in the coordinated development of digitalization and greenization, promoting the high-quality sustainable development of the urban rail transit industry.

**Keywords:** Nanjing metro; urban rail transit; customized 5G public network

### 1 概述

城市轨道交通是城市运作的大动脉和展示城市形象的重要窗口, 无线通信系统作为城市轨道交通的重要子系统之一, 为地铁行车安全、提高运输效率和管理水平、改善服务质量提供重要保证。但随着城市轨道交通的发展及技术的进步, 无线通信系

收稿日期: 2023-03-22; 修回日期: 2023-08-07

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-G4220007.01)

第一作者: 杨勇 (1983—), 男, 高级工程师, 本科, 主要研究方向: 地铁通信, 邮箱: 164190380@qq.com。

统也面临着越来越多的问题和挑战，如无线制式繁多、独立建设、投资较高、各城市频点批复不一、频率干扰较多、带宽不足等问题；此外，随着云计算、大数据、物联网、人工智能等信息技术兴起，轨道交通行业也诞生了诸多智能及智慧应用，如智慧车站、车辆智能运维、车载设备智能运维、电扶梯智能运维、轨行区智能监测等，都对无线通信承载网络提出更高的要求，既有线通信系统已无法满足，亟需更高性能、更多样化的无线通信系统制式。

第五代移动通信技术（5th Generation Mobile Communication Technology, 5G）作为新基建 7 大领域之首，具备高速率、低时延和大连接的特点，是提供数字转型、智能升级、融合创新等服务的基础设施体系，可有效解决目前城市轨道交通遇到的问题和挑战，成为实现城市轨道交通数字化及绿色化的重要支撑。

在国家“双碳”及江苏省数字化绿色化协同转型发展的战略部署下，南京地铁积极探索城轨行业的发展方向，通过运营商 5G 网络，智慧赋能城市轨道交通各项业务，促进不同行业融合，有效推动数字化、绿色化协同发展。

## 2 南京地铁5G+轨道交通融合创新探索

自 3GPP 发布标准以来，5G 技术迈出了飞速发展的步伐。截止目前，5G 基站已基本覆盖全国地级以上城市，并逐步实现轨道交通线路及区间的全面覆盖。同时，在城市轨道交通领域，南京、石家庄、武汉、杭州等地均已开展基于 5G 公网的智慧化应用探索。5G 网络可以提供新的连接通道，实现各类数据业务联接重塑，促进工业化和信息化的深度融合。

### 2.1 南京地铁5G+试验测试

基于以上分析及思考，南京地铁联合运营商、轨道交通产业链各单位，于 2020 年在马群车辆基地搭建了全国首个 5G 智慧轨道示范项目。项目利用中国联通 3.5 GHz 频谱，完成基于 NSA&SA 两种模式下的 5G 地铁专网建设。系统通过在信号楼、综合楼、列检库建设 5G 宏站，在室内建设数字化室分设备，在试车线 1.2 km 模拟隧道场景的 3.5 GHz 漏缆覆盖完成整个试验基地的 5G 网络建设，同时，在试车线设备室布放了 5G MEC 设备对接各业务测试平台，实现轨道交通数据业务 SA 本地实时处理。5G 网络分布如图 1 所示。



图1 5G网络分布

Fig.1 5G network distribution

试验项目开展了全场景、多阶段、全业务、边缘云测试和应用部署，涵盖了轨道交通信号、车辆、通信、AFC、综合监控、电扶梯 6 大专业，开展了

多种 5G 切片方案的试验验证工作，验证公网 5G 对轨道交通业务的适应性。切片方案如图 2 所示。

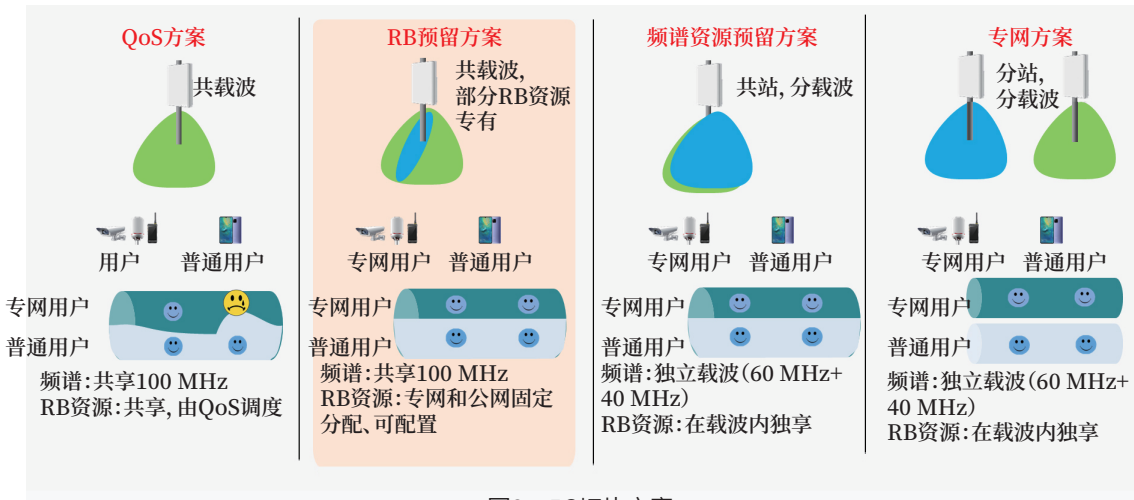


图2 5G切片方案  
Fig.2 Solution for 5G network slicing

1) 软切片测试

软切片验证测试共有 6 大系统共十几个厂家参与，优先级共划分 4 个等级。测试场景分为车载静态或动态测试、轨旁设备或机房内测试，如

表 1 所示，车载场景当前所有业务并发状态下上行占用速率 <57 Mbit/s，5G 小区上行总带宽能力达 200 Mbit/s。

表1 软切片测试场景

Tab.1 Test scenarios for soft slicing

厂家类别	厂家名称	业务类型	拟定 QCI	测试场景
信号	西门子	列控和紧急文本（低时延）	3	静态 + 动车测试
信号	西门子	列车运行控制信息（主 / 备）	6	静态 + 动车测试
车辆	株洲时代	列车控制业务数据 TCMS，车门、空调、制动	7	静态 + 动车测试
车辆	阿尔斯通	列车控制业务数据（主 / 备）	7	静态 + 动车测试
综合监控	南瑞	智慧车站综合管理系统	7	轨旁配电房独立测试，联通加载
自动售检票	熊猫	交易数据处理、终端设备监控、系统运营管理（3 种业务接在 1 张卡下，交易数据处理要求级别最高）	7	综合北楼 3 楼独立测试，联通加载
CCTV	视频 4 厂家	视频监控，业务场景描述	7	轨旁独立测试，联通加载
大数据	西门子	列车大数据平台	7	静态 + 动车测试
电扶梯设备	博华	电扶梯运营管理（主 / 备）	8	设备房内独立测试，联通加载

经过测试，优先级在速率保障方面效果非常明显，能保障优先级用户在重载条件下正常开展业务，达到预期目标，普通用户接入不会影响优先级用户的资源占用。

优先级 3 在时延方面可提供相对较好的保障，可为列控等时延敏感型业务提供可靠保障。

地铁业务上行带宽占用需求大，下行业务量小；而普通大网用户集中使用下行流量。当优先级用户抢占小区上行带宽的情况下，普通用户下载类业务基本不受影响，但会影响普通用户的大数据上传能力（如大文件上载、4K 高清视频直播等特殊人群的需求）。

2) 基于 RB 资源预留的硬切片测试



基于 RB 资源预留的硬切片测试是在 5G 专网上给地铁专网用户开辟一个专网切片，地铁所有业务走专用通道接入网络，经 MEC 转发至各业务子系统。

通过在硬切片环境下对静态业务及动车业务的测试，得出结论：公网负荷高低不影响专网服务性能，硬切片隔离能力达到预期效果。专网切片空闲状态下低时延业务可以获得优良的低时延特性，在重载下低时延能力有所下降，但相比软切片测试的时延要低。

## 2.2 南京地铁首创城市轨道交通5G公网

南京地铁通过马群试验测试，积累了大量实际数据及测试成果，经过多家单位梳理总结，以轨道交通 5G 公网白皮书的形式发布了相关成果。白皮书中首次提出 5G 公网概念，即基于运营商 5G 公网，通过资源隔离等技术手段，提供专属网络能力，承载轨道交通相关数据业务，覆盖轨道交通全场景，从而实现 5G 公网专用。

通过马群试验测试，还总结出以下两点结论，一是在 5G 公网基础上，仅需增加边缘计算设备，采用切片技术即可构建 5G 公网，承载城市轨道交通业务；二是 5G 公网具备承载轨道交通各专

用业务的能力，效果良好。

## 3 南京地铁5G公网应用部署方案

2021 年 12 月 28 日，首次搭载 5G 公网智能应用的宁句线工程顺利开通，南京地铁将前期理论及试验成果在工程线路落地，是对数字化绿色化智慧城轨转型发展的有力实践。5G 公网智能应用方案共享运营商 5G 承载网、接入网及核心网，在不自建无线网络系统的前提下，仅在轨道交通侧增加 MEC 设备，即可实现轨道交通智慧业务的传送及应用。

### 3.1 首创5G公网+MEC+专网应用的公网架构

宁句线工程构建 5G 公网 + MEC + 专网应用架构，是全国首个都市圈轨道交通 5G 公网应用架构如图 3 所示，首次在运营线路上对 5G 公网进行应用示范。

5G 公网无线信号覆盖范围包括两个车站及正线所有区间，在百水桥站通信设备室设置边缘计算 MEC 设备，通过光纤通道接入运营商地铁内有线网络，从而接入运营商 5G 网络，构建 5G 公网。5G

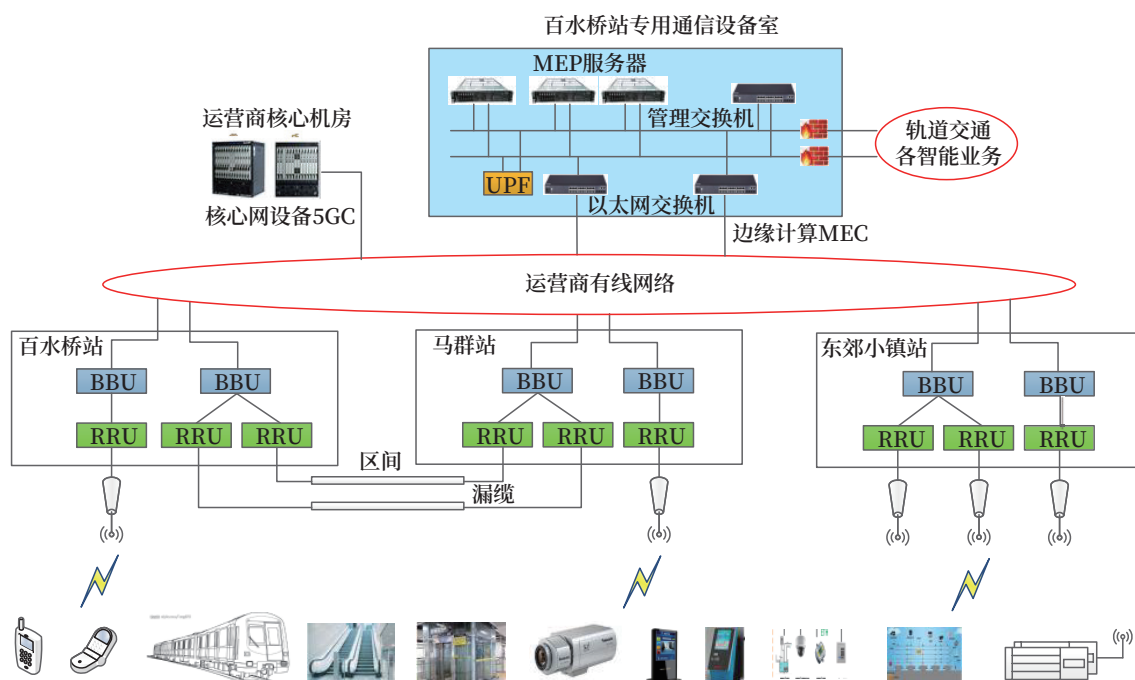


图3 宁句线5G公网网络构架示意

Fig.3 The network architecture for the customized 5G public network of Nanjing Metro Line S6

公网在正线区间（含高架）承载车地无线数据业务，在车站内承载固定终端的数据业务，轨道交通内各业务系统通过防火墙与 MEC 设备连接，实现各业务系统的数据落地，具体业务流向如图 4 所示。

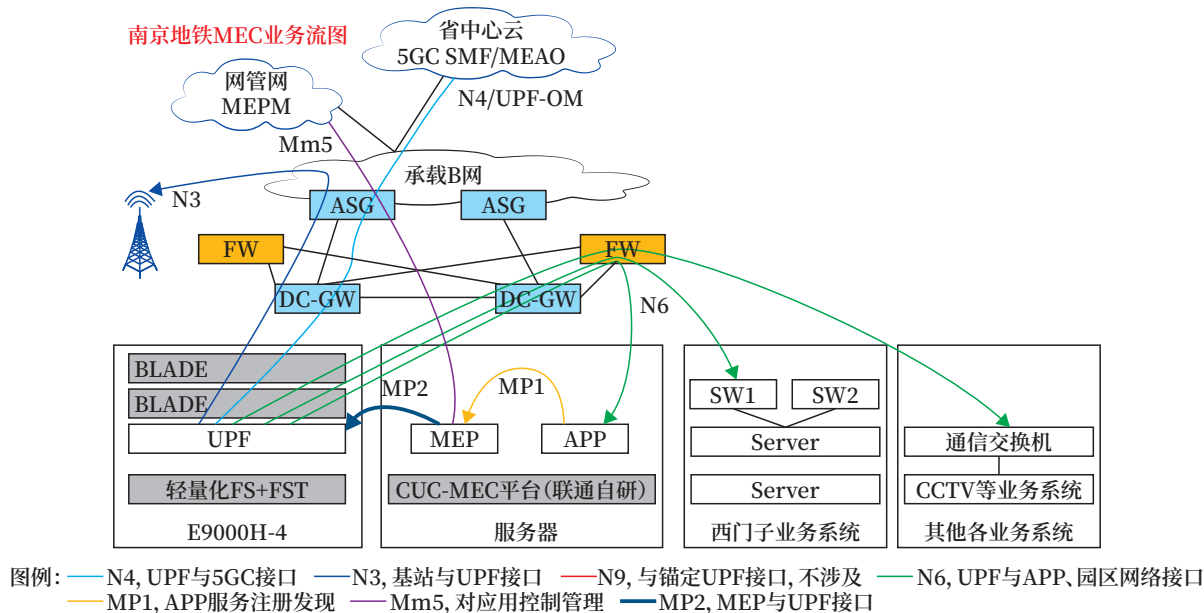


图4 5G+MEC地铁业务流向  
Fig.4 5G+MEC metro service flows

### 3.2 5G公网网络覆盖方案

根据宁句线示范工程智能应用的实际需求，5G 公网覆盖分为室内和区间两部分。室内覆盖站厅、站台等公共区域，包括站厅公共区、站台公共区、出 / 入口通道等处，区间覆盖所有正线轨行区。

#### 3.2.1 室内5G公网覆盖方案

根据宁句线示范工程智能应用的实际需求，5G 公网需要覆盖包括站厅、站台公共区及出 / 入口通道等处。5G 公网采用 BBU+PHUB+PRRU 对车站公共区进行全覆盖，信源设备均设置在民用通信设备室。

车站内站厅站台 5G 覆盖质量指标及时延指标如表 2 所示。

#### 3.2.2 区间5G公网覆盖方案

地下区间 5G 公网覆盖方案：地下区间统一

采用 1-1/4 泄漏同轴电缆进行覆盖，隧道内采用 4T4R 方案，百水桥站和马群站轨行区、以及马群站折返线区域采用 2T2R 方案。

区间过渡段 5G 公网覆盖方案：在铁塔上新增 5G AAU 设备实现 5G 公网网络覆盖。新设 5G 设备利用联通公司提供的光缆接入宁句线民用通信传输网，业务数据回传至百水桥站 MEC 设备。

区间 5G 覆盖质量指标及时延指标如表 3、4 所示。

### 3.3 业务承载落地方案及效果

宁句线 5G 公网承载 6 大系统业务，包括信号系统、车辆系统、电扶梯系统、自动售检票（AFC）系统、综合监控系统及通信系统，首批接入的 5G 终端数量近 50 台，每月产生流量 11 TB。

表2 车站5G覆盖质量指标及时延指标

Tab.2 The quality indicators and time delay indicators for 5G coverage at stations

测试点	平均 RSRP/dBm	平均 SINR/dB	平均下行 /(M/(bit/s))	平均上行 /(M/(bit/s))	时延 (连续发包) /ms		
					平均	最大	最小
百水桥站厅	-78.11	21.07	756	228	16.91	23	14
百水桥站台	-76.83	19.13	756	228	17	25	14

表3 区间5G覆盖质量指标

Tab.3 The quality indicators for 5G coverage on sections

测试区间	平均 RSRP/ dBm	SS-RSRP $\geq$ -90 dBm 的 概率 /%	平均 SINR/ dB	SS- SINR $\geq$ 5 dB 的概率 /%
马群→白 水桥	-78.46	96.1	15.76	99.62
白水桥→ 马群	-73.42	94	18.47	99.73

表4 区间5G覆盖时延指标

Tab.4 The delay indicators for 5G coverage on sections

测试区间	帧长 /Byte	时延 (连续发包) /ms			丢包率 /%
		平均	最大	最小	
马群→ 白水桥	64	9.96	17	6	0
	256	9.93	17	6	0
	1 280	12.19	21	8	0
白水桥→ 马群	64	9.83	17	6	0
	256	10.02	19	6	0
	1 280	12.4	22	8	0

### 3.3.1 信号系统

信号专业在列车上设置 5G TAU 设备 (区分红蓝网), 利用 5G 公专网将车载控制单元 (OBCU) 和车辆段调度 (DCM) 数据传输至控制中心信号系统进行数据分析处理, 并在 NCC 大屏上进行可视化展示。

5G 公专网的建设实现了信号车载数据的实时回传, 数据经系统分析处理, 可实时进行雷达异常 (测速)、模块故障 (停车)、车轮磨损程度、电机、停车位位置矫正等故障排查, 助力地铁运营及时发现列车运行故障隐患, 缩短故障恢复时间, 节省人工拷贝成本。

### 3.3.2 车辆系统

利用信号专业列车至控制中心的有线网络和 5G 公专网, 将车辆专业 RST 数据传输到控制中心云平台内列车智能运维系统中, 并在 NCC 大屏上进行展示。

5G 公专网的低时延特性为车辆运行状态监测业务传输时延提供保障, 确保车辆运行状态监测业务不中断, 5G 传输时延不超过 100 ms 的概率不小于 99%, 确保数据传输安全可靠。

### 3.3.3 通信系统

通信系统设置自带 5G 接入模块的高清摄像机, 利用 5G 公专网将摄像机视频传输至车站视频监控系

统平台中, 实现各视频监控终端对 5G 摄像机图像的调看, 利用既有数据通道接入 NCC 平台, 在 NCC 大屏上显示监控图像。

利用 5G 公专网助力通信系统实现应急指挥、调度、线路运营、应急和维护等需要的视频和管理等业务。5G 公专网可保障视频融合调度业务系统可靠性不低于 99.9%, 传输时延不超过 150 ms 的概率不小于 99%。

### 3.3.4 综合监控系统

综合监控系统在白水桥区间设备及过渡段安防设备上设置 5G CPE 设备, 接入 5G 公专网, 采集综合监控专业区间设备及工况数据、过渡段安防监控数据、安防设备状态及报警情况, 将数据预处理后传输至控制中心云平台综合监控系统中, 并在 NCC 大屏上进行展示。经过实际验证, 隧道摄像头、传感器信号数据实时上传至控制中心运营系统, 效果良好。

### 3.3.5 电扶梯监测诊断系统

利用电扶梯侧设置的 5G CPE 设备, 将电扶梯监测诊断数据接入 5G 公专网, 并传输至控制中心云平台电扶梯监测诊断系统中, 在 NCC 大屏上进行展示。

5G 公专网的大带宽特性满足自动扶梯监测诊断业务的实时上传需求, 5G 公专网保障其系统丢包率不超过 1%, 每部电扶梯传输速率上行不小于 3 Mbit/s。

### 3.3.6 AFC

在 AFC 系统的查询机和补票机上增加 5G CPE 设备, 利用 5G 公专网, 将查询机和补票机数据传输至控制中心云平台 AFC SC 系统中, 并在 NCC 大屏上进行展示。

AFC 业务包括终端设备、系统运营管理和交易数据处理等环节。5G 公专网可保证 AFC 业务系统可靠性不低于 99.9%, 传输时延不超过 100 ms 的概率不小于 99%, 终端设备监控及系统运营管理环节丢包率不超过 1%, 交易数据处理系统丢包率不超过 0.1%。

## 4 总结

南京地铁通过宁句线 5G 公专网智能应用, 取

得以下成效：一是 5G 公专网关键指标达到预期效果；二是 5G 公专网车地回传时延和带宽达到预期效果；三是 5G 网络切片技术可保障轨道交通业务优先使用，满足城市轨道交通业务各项性能要求。

南京地铁 5G 公专网从行业合作、共建共享、资源共用、节省投资等多方面出发，有效提升 5G 资源利用率，充分响应了国家低碳绿色发展要求，大大降低了建设成本、运营成本和改造成本；同时 5G 公专网结合云数融合平台及新一代信号系统，共同打造数字化、绿色化协同转型发展精品工程，为轨道交通绿色持续发展提供了解决方案。

## 5 展望

南京地铁对 5G 技术的探索实践只是 5G 技术在城市轨道交通应用的一小部分，未来还有更多的智能应用有待进一步挖掘。南京地铁始创的 5G 网络架构、独创的行业白皮书、开创的商业合作模式，已逐步形成全国示范性，目前已在多个城市轨道交通行业中进行不同程度的应用探索，正在引领轨道交通行业加速向数字化、网络化、智慧化的方向转型，推动智慧城轨建设，并有力促进不同行业的融合创新和资源共享，推进经济高质量发展。

目前，南京地铁正在与中国城市轨道交通协会、各设计院及设备厂商共同编制城市轨道交通 5G 公专网系列团体标准，作为南京都市圈智慧市域快轨示范工程的主要成果，编制完成后将进一步推动《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》快速向前，引领智慧城轨及绿色城轨发展潮流。

### 参考文献

- [1] 裴顺鑫, 孙舒淼. 5G+ 南京地铁创新探索 [J]. 城市轨道交通, 2020 (9): 24-27.  
Pei Shunxin, Sun Shumiao. Exploration on Innovation of 5G+ Nanjing Metro[J]. China Metros, 2020(9): 24-27.
- [2] 何涛, 党选丽. 城市轨道交通 5G 公专网建设思路探讨 [J]. 现代城市轨道交通, 2021 (12): 85-90.
- [3] 李辉, 张新波. 公专融合 5G 车地无线通信系统 [J]. 光通信研究, 2021 (3): 72-78.  
Li Hui, Zhang Xinbo. Wireless Communication System of 5G Vehicle and Ground Fused by Public and Private Network[J]. Study on Optical Communications, 2021(3): 72-78.
- [4] 杨琪, 冯敬然, 周敏, 等. 城市轨道交通 5G 公专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.
- [5] 高义标. 5G 承载城轨车-地综合通信的方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (9): 69-72, 100.  
Gao Yibiao. Research on Scheme of 5G Carrying Integrated Vehicle-Ground Communication for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(9): 69-72, 100.
- [6] 张博, 余晓君, 卫建芳, 等. 城市轨道交通 5G 虚拟专网建设方案研究 [J]. 电子技术应用, 2021, 47 (5): 19-24.  
Zhang Bo, Yu Xiaojun, Wei Jianfang, et al. Research on Construction Scheme Of Virtual 5G Private Network for Urban Rail Transit[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(5): 19-24.
- [7] 景亮, 赵程, 燕玲, 等. 基于 5G 通信的智慧地铁运营模式设计 [J]. 现代城市轨道交通, 2021 (6): 76-80.  
Jing Liang, Zhao Cheng, Yan Ling, et al. Design of Intelligent Metro Operation Mode based on 5G Communication[J]. China Metros, 2021(6): 76-80.