

上海城市轨道交通通信系统技术发展规划研究

何 洁

(上海申通地铁建设集团有限公司, 200070, 上海//高级工程师)

摘 要 基于城市轨道交通技术演进中发挥基础支撑和排头兵作用的通信系统,针对上海城市轨道交通超大的网络规模和客流量所带来的运营成本、运行效率和服务能力三者间的突出矛盾,全面分析了通信系统所面临的不足和形势要求。结合各类相关技术的演进趋势,明确提出了上海城市轨道交通通信系统下阶段发展的总体蓝图,并根据子系统分类,制定了针对性的发展目标和系统规划。

关键词 城市轨道交通; 通信系统; 技术发展规划

中图分类号 U231+.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.06.025

Research on Development Planning of Shanghai Urban Rail Transit Communication System Technology

HE Jie

Abstract Based on the communication system that plays fundamental supporting and pioneering role in urban rail transit technological evolution, targeting the key contradiction among operation cost, operation efficiency and service ability brought by mega network scale and passenger volume of Shanghai urban rail transit, the deficiencies and requirements of communication system are comprehensively analyzed. Considering the evolution trend of various related technologies, the development blueprint for the next phase of Shanghai urban rail transit communication system is clearly proposed. With the subsystem categorization, specific development objectives and systematic planning are formulated.

Key words urban rail transit; communication system; technological development planning

Author's address Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

目前,城市轨道交通作为上海市立体交通的重要组成部分,承担着缓解通行压力、提高城市运转效率等重要使命。同时,超大的网络规模和客流量也使得运营成本、运行效率、服务能力三者间的矛盾日益突出,而传统的人员、工时、物资等资源性叠

加投入的方式对缓解上述矛盾的边际作用已递减。因此,上海城市轨道交通下一轮建设改造的重要问题之一就是研究如何通过技术革新,实现各系统集成、增效和赋能的目标。

作为城市轨道交通基础设施之一,通信系统实现了各类业务数据的连接汇聚、人员的指挥联动、信息的发布服务、公众的安全监控和业务场景的联系等基础功能,并进一步支撑着城市轨道交通其他系统数字孪生、智能运维和智慧平台等上层应用的构建,承担着城市轨道交通技术演进基础支撑和排头兵的作用。同时数字宽带、视觉感知和融合通信等技术的迅猛发展也使得通信系统的技术发展面临着诸多不确定的方向。

为此,本文全面分析了上海城市轨道交通通信系统发展中面临的现状与形势,并结合各类通信技术的演进趋势,明确上海城市轨道交通通信系统的发展目标,提出各类通信子系统后续的发展规划。

1 上海城市轨道交通通信系统现状分析

1.1 存在的问题

到2025年,上海城市轨道交通线路网络总里程将增至约978 km(不含市域(郊)铁路),线网规模和服务客流将进一步提升。然而,超大的线网规模也存在诸多问题。

1) 系统制式、设备种类繁多,以及新、旧线路存在技术代差。通信系统的技术发展较快,导致各子系统具有系统制式、设备种类繁多和新、旧线路技术代差较大的特征。传统以满足单线路功能需求为核心的通信系统架构已无法支撑效能、质量、成本三者之间的平衡。因此,通过横向合理整合通信资源、简化系统架构、优化系统功能,打造高综合承载性、高线网共享性和高服务拓展性的通信系统是上海城市轨道交通通信系统下一轮建设改造亟待解决的问题。

2) 面对多样化发展的业务,通信系统的纵向基

础服务性能和横向扩展服务能力有待升级。上海城市轨道交通功能定位从单一的交通运输功能向综合服务的城市地铁网络转型,运维模式从单条线封闭式运维向多条线路的网络化、数字化、智慧化、无人化的综合运维发展。但其通信系统的纵向基础服务性能和横向扩展服务能力尚不能完全支撑上层业务的定位调整和重大转型,因此需要进一步升级纵向基础服务性能(如带宽、容量等)和横向拓展通信服务能力(如无线灵活接入、物联网通信等)。

1.2 形势要求

通信系统是轨道交通打造数字底座,实现业务数字化、智慧化演进的基础支撑。此外,城市轨道交通的运行、运营和维护等各类作业模式的升级换代也须依托底层通信技术的发展。通信系统将继续定位于上海城市轨道交通基础设施,但需不断演进与赋能业务,以支撑更加丰富的应用场景。而通信系统演进取决于政策新指导、通信技术新特性及业务发展新需求等3方面因素。

在政策方面,国家正推广5G(第5代移动通信技术)、数据中心、互联网等技术,再加上其在垂直行业的应用,促进城市轨道交通等传统行业的转型升级。因此,上海城市轨道交通通信系统应积极响应国家战略要求,降低行业技术壁垒,促进行业内、外技术产业大循环。

在技术方面,宽带传输、人工智能和5G等先进技术不但极大地提升了通信系统性能,还提供了智能安检、智能分析、海量物联和室内定位等新特性,可更好地服务于上海城市轨道交通各专业系统。结合先进技术发展成果,持续提升通信系统对其他专业系统和各个应用场景的支撑能力是上海城市轨道交通通信系统演进升级的外在要求。

在业务方面,随着上海城市轨道交通全自动驾驶、智慧城市轨道交通等新技术和理念的推广应用,既有通信系统在覆盖完整性、网络资源共享、泛在物联支持、接口标准化、监控智能化水平等方面将明显存在不足,难以满足新型应用的需求。为此,上海城市轨道交通通信系统应以数字化、智慧化为核心,持续推动通信基础设施架构优化和功能升级,以更好地适应业务系统技术演进和新型应用网络化推广的内在要求。

2 上海城市轨道交通通信系统发展的蓝图与目标

2.1 总体蓝图

为应对未来上海城市轨道交通日益增长的通信需求,支持不断涌现的各类业务创新和应用场景,通信系统将以业务为中心,按照可持续发展的通信信息技术创新路线,构建安全、可靠、可用和灵活易拓展的通信系统体系。该体系需具备以下能力:

1) 拓展性:在网络架构不改变的情况下,通信系统各层级可以在不间断运行的条件下,通过调整设备、功能模块或局部升级,以满足各类新增业务需求。

2) 兼容性:不同时间、品牌、版本或线路的软件和硬件可以完全互联互通,相互协调工作。

3) 安全性:在通信全过程和系统运行全过程,保障相关程序和数据的完整、保密、稳定、合法、可信等,不被非法修改、破坏。

4) 通用性:重要的通信接口和设备规格需标准化,不同品牌设备在不同线路间实现互替互换、稳定可靠运行。

5) 可靠性:在设计的生命周期和各使用(尤其是无人化场景)条件下,可靠运行,完善系统应对各种意外情况、发挥设计功能的能力。

6) 通信性能:进一步提升带宽、时延、丢包率、误码率、切换成功率、容量、并发数量等通信服务指标。

7) 智能化水平:提高通信系统运行、维护,以及所提供服务的智能化程度,实现少人或无人化的运维,辅助或替代服务对象决策。

8) 绿色效能:响应国家碳中和、碳达峰发展战略,降低能源消耗;在无线干扰和电磁兼容方面提升效能。

2.2 发展目标

目前,从功能上归类,上海城市轨道交通通信系统可分为通信连接、信息服务、安全监控、辅助支撑4大类,共计14个子系统,如图1所示。

基于上述总体蓝图和系统框架,通信系统需达到架构优化和技术发展2类目标。

2.2.1 架构优化目标

上海城市轨道交通通信系统按照发挥的

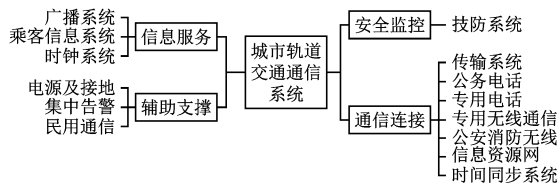


图1 上海城市轨道交通通信系统总体框架

Fig. 1 Overall framework of Shanghai rail transit communication system

作用,可分为核心处理层、传输接入层和终端应用层。而通信系统各层级按照集约共享、灵活可扩展的原则,分别向着网络化共享、有线/无线综合承载、多样化场景应用支持的方向演进,具体要求如下:① 核心处理层从单条线路建设向网络化共享演进;② 按业务安全可靠特性归类的通信综合承载;③ 覆盖范围灵活拓展,支持多样化应用接入。

2.2.2 技术发展目标

1) 通信连接类系统。上海城市轨道交通通信连接功能相关系统的发展方向主要是接口标准化、物联泛在化及通信能力提升,旨在实现人与人之间、人与物之间以及物与物之间在相同时间基准下的无障碍交互。

2) 信息发布类系统。信息发布类系统的发展目标是在既有系统的基础上整合与简化系统,优化数据源的质量和内容。

3) 安全监控类系统。安全监控类系统主要是技防系统。受人工智能、无线宽带技术的影响,技防系统的技术演进方向为精细化、云集化、智能化、移动化。

4) 辅助支撑类系统。在辅助支撑类系统中,民用通信系统用于为乘客、车站附属设施等提供公网通信服务,并随公网技术路线持续演进。电源及接地应考虑5G等新系统引入带来的扩容、安全等要求。而集中告警系统向智能化综合运维的目标发展,在各子系统网管数据的基础上构建通信智能平台,提供集成化、智能化的运维主动服务功能,以取代原集中告警系统单一、被动的告警功能。

3 上海城市轨道交通通信系统中重要子系统发展规划研究

按照上述通信系统分类、蓝图和目标,本文对上海城市轨道交通通信系统中的重要子系统做出发展规划建议,提出其系统架构、技术制式、性能拓展、接口标准等方面的演进方向。

3.1 通信连接类

3.1.1 有线通信承载网

按照一张网综合承载的原则演进,有线通信承载网包含通信光缆、传输系统、数据通信网等3部分,且提供了一张网络所需具备的物理连接、独立通道通信、数据包交换与路由3大功能,以及综合承载了除列车控制以外的其他生产、管理业务。网络拓扑如图2所示。

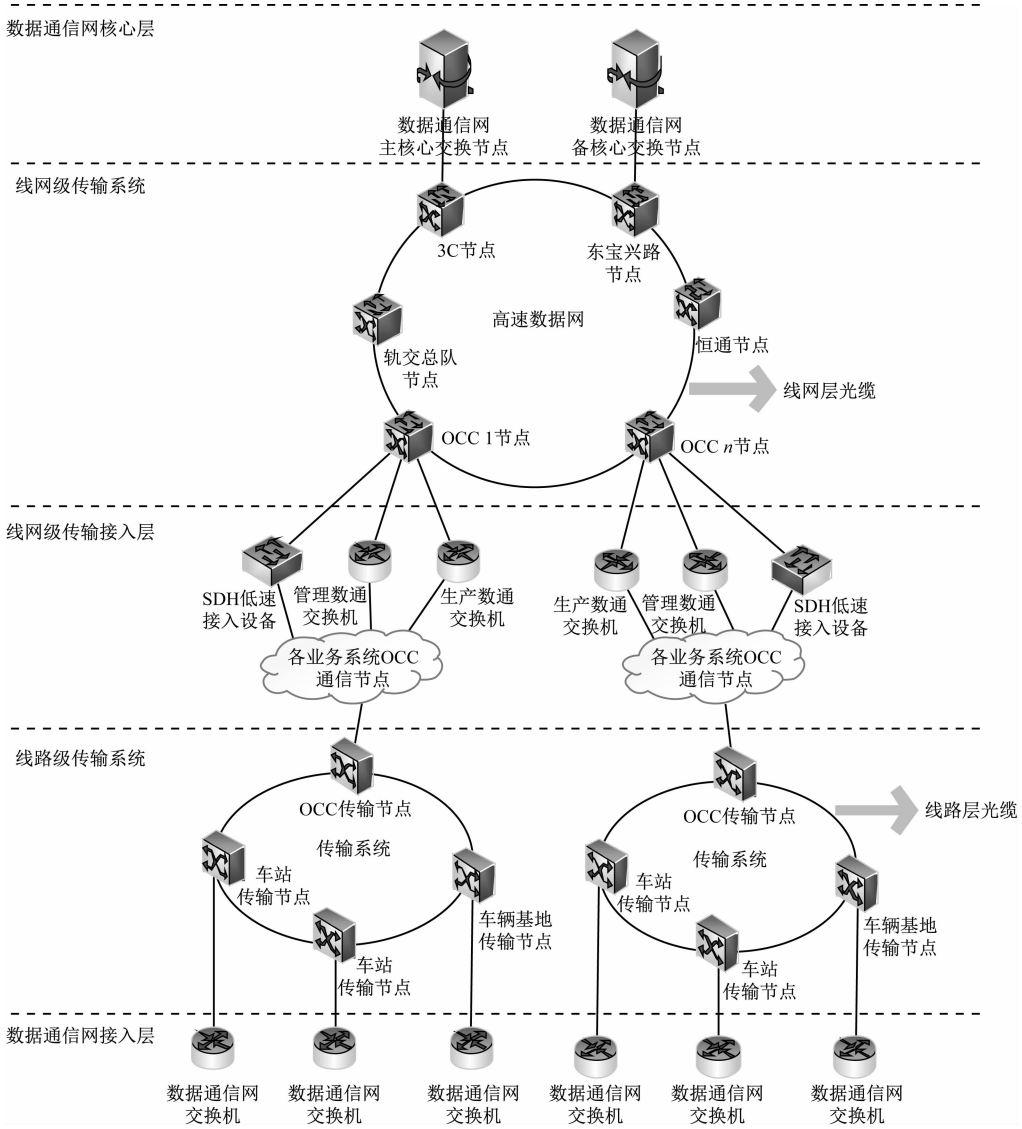
通信光缆和传输系统均保持线网级、线路级两层传输网的架构同步建设,通信光缆为传输系统提供基础物理资源。其中,线网级传输统一建设管理,根据各项业务的数据传输需要,对应拓展并调整业务端口和节点布局;线路级传输系统根据技术发展选择主流、标准、先进的系统制式,综合承载生产类业务。而数据通信网则基于传输系统的透明通道实现接入层的信息布点、OCC(运营控制中心)侧的线路侧汇聚及线网侧的核心交换,为各管理类业务提供通信服务。

在网络安全方面,通信光缆和传输系统均提供透明通信通道,其安全防护更侧重管理和物理防护。数据通信网最接近业务侧,涉及数据路由,存在一定的安全风险;相关网络划分为生产网域、管理网域和互联网域,并对其进行分级保护。其中,生产网域的核心子网域与辅助子网域通过成对的单向网闸实现互联与安全收敛;生产辅助子网域与管理网域通过双向网闸互联;管理网域设置隔离缓冲区与互联网交互。此外,为了实现责任界面清晰和网络资源集约的均衡,生产网由各专业系统的自组局域网组成,管理网由通信专业统一建设和运维;在统一的网域划分和网域间接口约束的准则下,同网域系统间互联的安全防护由各对应专业负责。

在技术演进方面,上海城市轨道交通将跟踪SDN(软件定义网络)技术的标准进程和产业情况,适时开展相关SDN应用研究,以改善数据通信网控制功能分散于全网络的网元不利于网络策略集中部署的现状,从而简化运维管理,降低整体全生命周期成本。

3.1.2 专用无线通信系统

专用无线通信系统采用按业务特性分类建设和承载的原则。运营指挥类无线系统采用自建专用LTE(长期演进)系统综合承载CBTC(基于通信的列车控制)、集群调度业务,以及部分重要的车载



注:3C 为全线网调度指挥中心;SDH 为同步数字体系传输制式。

图 2 上海城市轨道交通有线通信承载网总拓扑

Fig. 2 General topology of Shanghai urban rail transit wired communication bearer network

状态数据(可选),逐步替换既有线路的 TETRA(陆上集群无线电)窄带系统。既有线路列车运行状态、人员办公等运营辅助类无线系统暂通过 Wi-Fi 制式的 MMIS(城市轨道交通移动互联网系统)承载,如图 3 所示。

随着 5G 技术和产业的进一步发展,上海城市轨道交通持续探索研究利用运营商 5G 公网承载运营辅助类无线的可行性。在技术方案成熟可靠、商务竞争力强劲的前提下,适时考虑运营辅助业务由 MMIS 承载过渡到 5G 承载,并利用 5G 海量物联的特性,支撑泛在物联相关应用。

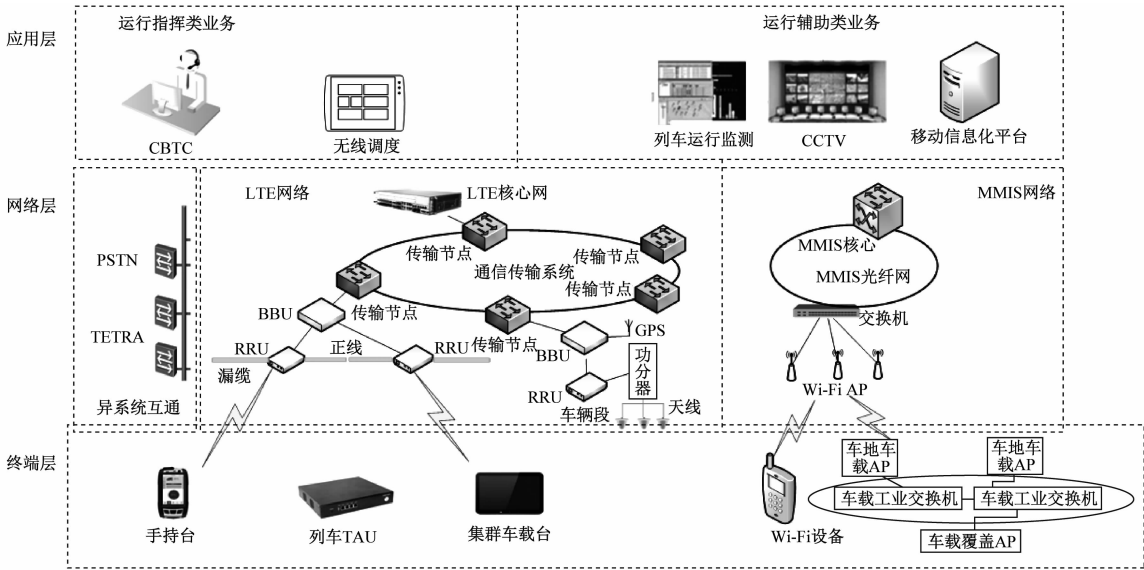
3.1.3 电话系统

上海城市轨道交通电话系统继续按专用电话与公务电话同技术制式、独立分离的原则设计,分别共享网络级软交换核心。后续电话系统考虑采用多软交核心均衡分担线路接入负荷,以提高其可靠性。公务电话探索研究借用运营商公网服务实现线路侧电话接入的可行性。

3.2 安全监控类系统

基于有线通信承载网的通道,技防系统逐步改造为由网络级安防平台、线路级安防子平台和车站级安防子平台组成的 3 层系统架构,为车站、OCC

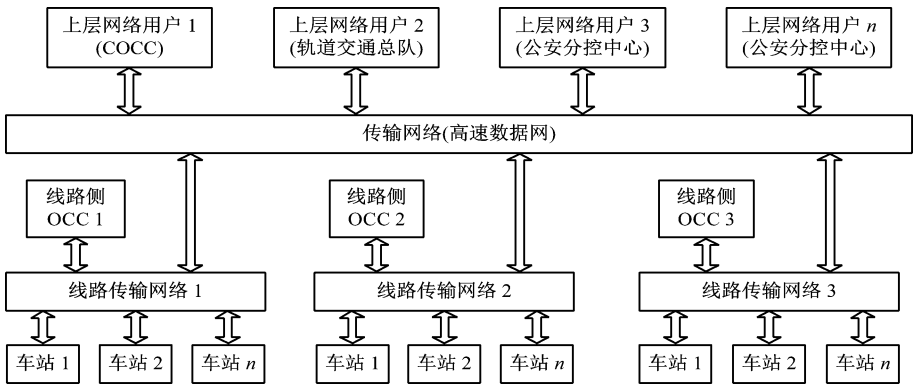
和上层网等 3 个层面的用户提供前端共享的能力，以降低建设和运维成本,如图 4 所示。



注:AP 为无线访问接入点;BBU 为基带处理单元;RRU 为射频拉远单元;CCTV 为闭路电视;GPS 为全球定位系统;PSTN 为公共交换电话网络;TAU 为车载接入单元。

图 3 无线通信系统分类建设和承载规划示意

Fig. 3 Schematic diagram of classified construction and bearer planning of wireless communication system



注:COCC 为中央运行控制中心。

图 4 技防系统架构规划

Fig. 4 Architecture planning of technical protection system

后续上海城市轨道交通将根据技防系统架构,完善线网级安防集成平台搭建,并标准化相关接口,建立相应的检验能力。在功能方面,技防系统将结合视频智能分析技术、云计算和无线宽带技术,建设网络视频智能分析平台,提供算法训练统一环境,结合 5G 等新技术拓展系统移动监控、客流分析、人脸和行为识别等智能感知和智慧挖掘的能力。

此外,技术防范各子系统还将向集约化、协同化方向发展,基于平台、数据、算法的共享,实现技术防范的危险事件分析预警、事件中的多系统迅速

联动响应、事后的轨迹和事件追踪,以提升城市轨道交通车站、区间等重点部位的安全防范水平。

3.3 信息服务类系统

上海城市轨道交通将按照 PA/PIS(广播/乘客信息系统)音频、视频统一信息服务的原则,逐步整合 PIS 与 PA 后台控制和信息输入管理,实现视频、音频信息的统一发布与控制,增加车厢满载率等展示内容和换乘电子屏导向等展现形式,扩展信息服务广度,丰富信息服务形式,并逐步有序取消车站二级母钟,优化冗余信息服务,以经济集约地满足日趋复杂、高标准的运营模式对信息发布的需求。

此外,上海城市轨道交通还将建立 PA/PIS 与 ATS(列车自动监控系统)、时间同步系统与业务系统的接口规范体系,以优化数据源实时性、准确性和完整性等方面的质量;并研发相应的接口监测和检测平台软件,以准入检测、在线监测的方式,保障接口规范和数据质量,同时把控信息服务的关键影响因素。

3.4 辅助支持类系统

民用通信系统跟随公网技术路线持续演进。上海城市轨道交通将配合运营商积极推进 5G 在车站站厅、站台和区间等乘客可达公共区域的信号覆盖,并研究在车辆基地、车站专用机房等管理区域补充信号覆盖、公专合用的可行方案。

电源系统在下一轮建设改造中继续采用共享综合 UPS(不间断电源)的方案。同时该系统将基于历史数据,在系统设计和容量计算上更精细,使得资源利用率更高。

集中告警系统应按照上海城市轨道交通数字化转型的整体要求,提升智能化运维水平。将该系统整合到智能化运维平台中,使其与相关信息化系统打通,并整合、关联各通信系统的网管数据,以实现设备状态统一监测管理;同时针对系统数据挖掘、分析系统的健康度,降低计划修的比例,逐步增加状态修和预防修的占比,从而有效减少重复无效的人工劳动,降低对运营造成实际影响的故障,提升系统运行的可靠性,为维护工作提供更全面、高

效、方便信息化支持。

4 结语

上海城市轨道交通在“十三五”期间取得了显著的成绩,形成了超大规模线路网络,服务了日均千万级客流,但也为各系统带来了运营成本、运行效率、服务能力三者间的突出矛盾。为此,本文首先研究分析了作为其他系统技术演进基础支撑的通信系统的既有问题和形势要求,明确提出了相应的总体蓝图,并针对性地制定了下阶段各分类子系统的发展目标和规划要求,力争在下一轮上海城市轨道交通新线建设和既有线路改造中,通过有序地应用新一代信息通信技术,达到系统集约、增效和赋能的效果。

参考文献

- [1] 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]. 城市轨道交通研究, 2020(4):8.
China Association of Metros. Development outline of smart urban rail transit in China[J]. Urban Mass Transit, 2020(4):8.
- [2] 于超. 城市轨道交通通信系统升级改造中的重点问题把控及风险管理[J]. 城市轨道交通研究, 2021(9):191.
YU Chao. Control and risk management of key issues in urban rail transit communication system upgrading and reconstruction[J]. Urban Mass Transit, 2021(9):191.

(收稿日期:2022-03-03)

(上接第 127 页)

- SUN Jianming, DING Jianyong, DONG Shihuan. Power supply scheme of urban regional railway and the reliability analysis[J]. Urban Mass Transit, 2015(12):22.
- [3] 廖芳芳. 市域铁路电力供电系统关键技术分析[J]. 城市轨道交通研究, 2019(12):30.
LIAO Fangfang. Analysis of key technologies in urban regional railway power supply system[J]. Urban Mass Transit, 2019(12):30.
- [4] 曲衍宁. 全户内牵引变电所设计研究[J]. 铁道标准设计, 2012(10):91.
QU Yanning. Study on the design for full indoor traction substation[J]. Railway Standard Design, 2012(10):91.
- [5] 马凌晨, 薛辉, 张明锐. 轨道交通供电系统主变电站的资源共享[J]. 城市轨道交通研究, 2005(2):6.

- MA Lingchen, XUE Hui, ZHANG Mingrui. Resource sharing in the main substation of Shanghai rail transit power supply system[J]. Urban Mass Transit, 2005(2):6.
- [6] 王开康. 城市轨道交通不同牵引供电制式下的电源系统共享方案[J]. 城市轨道交通研究, 2019(9):53.
WANG Kaikang. Urban rail transit power supply system sharing scheme under different traction power supply systems[J]. Urban Mass Transit, 2019(9):53.
- [7] 郑欣. 上海轨道交通新建线路主变电所的资源优化共享[J]. 城市轨道交通研究, 2015(6):79.
ZHENG Xin. Optimization of main substation resource sharing for new urban mass transit lines in Shanghai[J]. Urban Mass Transit, 2015(6):79.

(收稿日期:2021-11-16)