

# 基于边缘控制逻辑的车站机电设备监控系统一体化设计

葛世平

(上海申通地铁集团有限公司, 201103, 上海)

**摘要** [目的] 现有城市轨道交通管理模式还是以线为对象进行管理, 网络化管理效能还未能充分发挥, 如何更加集约、有效地对城市轨道交通网络进行管理, 已成为各地城市轨道交通运营企业所面临的共同课题。以车站机电设备集中管控为目标, 提出了基于边缘控制逻辑的车站机电设备监控系统一体化设计方案。[方法] 分析了城市轨道交通网络化管理发展趋势以及网络化管理制约因素; 提出了基于 IT/OT(信息技术/运营技术) 融合的边缘控制自动化发展方向; 介绍了既有车站机电设备监控系统的技术架构和基于机电一体化车站机电设备监控系统建设方案, 并分析了该建设方案的技术特点和实施效果。[结果及结论] 基于边缘控制器搭建车站机电设备管理系统, 形成云边端架构, 可实现对车站机电设备的集中管理, 使控制体系更简洁、更安全、更高效、更经济。试点结果表明, 基于边缘控制逻辑的车站机电设备监控系统一体化设计方案可行, 可提升网络化管理能力。

**关键词** 城市轨道交通; 车站机电设备; 边缘控制器

**中图分类号** U29-39

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2024.07.012

## Integrated Design of Station Electromechanical Equipment Monitoring System Based on Edge Control Logic

GE Shipping

(Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China)

**Abstract** [Objective] The current urban rail transit management mode still predominantly manages lines as subjects, and the efficiency of networked management is not fully utilized. Enhancing the efficiency and effectiveness of urban rail transit network management is a common challenge faced by urban rail transit operating companies in many cities. To achieve the centralized management-control of station EM (electromechanical) equipment, an integrated design scheme for station EM equipment monitoring system based on edge control logic is proposed. [Method] The development trend and constraining factors of urban rail transit networked management are

analyzed. The development direction of edge control automation based on IT/OT (information technology/operational technology) integration is proposed. The technical architecture of existing station EM equipment monitoring systems and the construction scheme of station EM equipment monitoring system based on EM integration is introduced. The technical characteristics and implementation effects of this construction scheme are analyzed. [Result & Conclusion] Based on edge controllers, a station EM equipment management system is built, forming a cloud-edge-end architecture for centralized management of station EM equipment, which makes the control system simpler, safer, more efficient, and more economical. Pilot results indicate that the integrated design scheme of the station EM equipment monitoring system based on edge control logic is feasible and can enhance networked management capabilities.

**Key words** urban rail transit; station electromechanical equipment; edge controller

随着我国城市轨道交通建设的进程加快, 许多城市已经步入网络化发展阶段。现有的管理模式还是以线为对象进行管理, 网络化管理效能还未能充分发挥。如何更加集约、有效地管理城市轨道交通网络, 已成为各地城市轨道交通运营企业所面临的共同课题。上海轨道交通作为国内率先进入网络化发展阶段的城市之一, 对城市轨道交通网络特征及管理要求的认识也在不断加深。本文以车站机电设备集中管控为目标, 提出了基于边缘控制逻辑的车站机电设备监控系统一体化设计方案。

## 1 城市轨道交通网络化管理发展趋势

城市轨道交通网络运营特征是线, 管理特征是网。城市轨道交通是大运量、高密度的交通运输工具, 列车按照既定线路、依据客流需求高密度运行, 不断输送乘客。城市轨道交通网络管理者则是站在网络层面, 对客流、对员工、对设备进行集中化统

筹、协调和管控。城市轨道交通网络化管理呈以下发展趋势:

1) 集中管控。随着管理体量的增大和管理层级的增多,信息传递效率会大幅降低,因此对集中管控的要求会越来越高。网络管理要高于线路管理和车站管理,为了确保网络管理者能够更快、更准地把握全网信息,网络管理者需要更快、更准且一揽子看清楚网络状态,这已成为越来越多网络管理者的需求,而网络管控协调性要求也需要网络管理者必须有能够全面、及时、准确地了解和看清网络状态的能力,因此无论从组织设计角度而言,还是从信息化平台建设角度而言,扁平化设计是未来的发展趋势,以为集中管控提供越来越有效的支撑。集中管控支撑平台架构必须扁平、简洁,且可靠性高;集中管控支撑平台需与现有专业系统高度融合,最终表现形式为有专业功能但无独立系统;高度集成的集中管控支撑平台可以监控每个设备的状态,人工运维将被远程智能化运维所替代。

2) 深度管控。专业管控讲深度,现场管理讲广度。深度管控是集中智能管控的一种向下延伸,是对原专业设备状态信息智能管控功能的深度拓展;克服了传统管理模式下各专业系统对供应商(或外包方)设计、维护和升级改造的高度依赖,将现场管理能力集中在运营管理方;通过提升自主化能力在网络技术结构中的占比,提升全网络的管控效能。

3) 智能管控。通过提高设备智能化水平,实现全业务数字化贯通。提升了现场状态的智能化管控能力,可应对集中管控面临的幅度大、对象多、间接性、差异大以及顶层管理能力局限性约束等难题;明确了管控范围和管控重点;借助信息化、智能化分析手段,克服了传统依托人员进行信息判断及传送管理的弊端。

## 2 城市轨道交通网络化管理制约因素

### 2.1 管理模式制约

传统城市轨道交通运营企业的管理模式是以现场管控为主,以线路为核心,多专业配合,强调底层管控能力。随着网络快速发展,专业化的管控队伍会被稀释,这就造成了对设备厂商的依赖度越来越高。

### 2.2 系统技术架构制约

由于建设方、集成商、运营方在系统技术架构和专业壁垒认知上存在局限性,使得城市轨道交通

业主对集成化管控认识不足,对底层运营逻辑理解不深,逐渐形成了跨专业存在天然瓶颈的惯性思维,进而导致自身集成能力比较薄弱。总体而言,传统的系统技术架构主要存在以下问题:

1) 各专业系统相互独立。城市轨道交通线路是分线、分段建设的,这容易造成各专业系统相互独立的情况,甚至存在同一厂商、同一系统都不兼容的极端情况,加剧了线路化管理现状问题。并且,在传统的系统技术架构中,各专业系统大都是独立设计的,因此形成了相对封闭的终端系统。以车站机电设备系统为例,传统的各专业的车站机电设备系统采用的几乎都是从设备控制到车站控制再到线路控制、线网控制(如有)的技术架构,各专业的机电系统采用的是独立甚至私有的软件开发技术和标准协议接口,呈各自独立封闭的“烟囱”式系统,由此造成车站机电设备的深度管理和维护均由设备生产厂家把控,对车站机电设备的优化及升级改造也存在一定难度。

2) 技术手段落后。在传统管理模式中,对机电设备终端的控制和状态感知要求不高,几乎所有的机电设备控制均采用基于 PLC(可编程逻辑控制器)的技术架构。PLC 技术、产品及生态链的优势在于技术成熟、性能稳定,特别适用于对时间同步精度要求特别高的工业自动化流水线生产环境,但其缺点是技术结构固化、难以适应越来越多的新协议、新接口、新设备的通信对接,不支持多种数据类型的高速处理和多任务的并行运算需求,不支持大模型等,因此,不能高效应对互联网时代海量设备与数据的接入与处理需求,也不能良好地支持应用和维护的智能化需求。

## 3 基于 IT/OT 融合的边缘控制自动化思考

当前,随着基础设施行业的管控难度逐步加大,对自动化技术的需求也日益增加,越来越多地使用数据驱动分析力和洞察力。但是长期以来,一谈到数字化建设,第一思维就是 IT 部门的工作,因此许多企业数字化转型建设是由 IT 工程师来主导的。但是,由于缺乏对运营生产业务的深度理解,搭建平台就成了许多企业数字化转型的主要工作,而对业务需求的把握、设计甚至重构经常被忽视,业务创造往往严重滞后于信息化基础能力,造成功能展示与实际生产相脱节,使得数字化建设工作并未对企业发展产生实质性的改变。

数字化是对企业生产业务的重构与再创造,在从传统业务到数字化转型发展的过程中,不仅仅是技术系统的升级,企业的组织架构、业务流程、管理模式等均会发生变化。

### 3.1 业务场景设计是核心

业务场景是数字化服务的对象。在整个设计过程中,业务场景不应由一线业务执行层来提出,正如标准制定不能由现场执行层主导。业务场景设计应当由具有丰富管理经验和流程设计经验的上级职能部门的管理者或专业工程师负责,尤其是在城市轨道交通网络化管理中会涉及大量设备之间、区域之间、层级之间的协调联动,这是现场执行层很难去把握的,但在设计过程中可以听取现场执行层的意见。例如,在城市轨道交通施工管理场景设计中,车站门禁系统可以成为审核施工人员资质、统计施工时长、清点施工人员数量的有效手段,但这个过程涉及施工审批、人员资质管理、现场施工管理等多个环节,并不是车站现场执行层能够进行完整设计的。

### 3.2 架构设计是关键

在数字化架构设计中,往往会参照工业互联网中的“云边端”架构,将采集、分发和数据分析工作进行融合。

IT 工程师推动云化建设,力求把大量的数据和算例布设在云端,但由于现场执行终端会产生大量的数据(如高清摄像头所生成的高清视频数据),要将如此大量的数据转移到云端并存储会对网络带宽、存储容量和访问效能有极高的要求,成本高昂。同时,网络的不稳定性也会对现场级控制产生影响,正如许多重要核心设备的网络控制都希望独立组网以确保安全。对于城市轨道交通系统来说,相互关联的系统多,就地联动、操作的需求多,因此,边缘能力要强,云端计算要少。行车核心专业具有线的特征,车站机电设备则是网的特征,因此完全可以对各专业的车站机电设备进行集约化管控,并提升联动能力(如对自动扶梯运行声音、振动、温度等异常状态监测与电梯健康状态相结合,视频监控与扶梯应急处置相结合)。由于存在降级运行需求,对于现场相互独立的各专业系统而言,云边端不是严格意义上的架构,也可以是边端架构,也可以是边架构。因此越来越多的网络设计会更倾向于边缘部署,基于软件和硬件相结合的边缘控制器无疑是最佳解决方案,尤其是对于车站机电设备体

量大、控制点位多、控制频度高的应用环境,边缘控制器具有独特优势。

边缘控制器采用了 IT 通信和物联网的先进技术,同时保留了 PLC/PAC(可编程自动化控制器)在 OT(运营技术)方面的优势,配置于数据生成位置边缘端的创新软件平台上,集成用户管理、网络、安全性和硬件接口,创建一个应用程序和工具的生态系统,可以提供更丰富的应用功能。

不同于针对 PC 的解决方案,边缘控制器简化了硬件和软件许可,统一了接口标准,成本一般会比较低,这是 PLC 替代发展的一个趋势。另外,在强化就地端控制的同时,也需为后台进行深层次、专业化分析提供可能性,以真正推动后台管理专业化的功能实现。

### 3.3 智能化是目标

由于车站的各项业务基本类似,车站与车站之间在系统设备方面的联动要求不高(除区间风机联动运转外),因此进行车站机电设备网络化管控最重要的是解决设备状态采集和远程控制功能。设备状态采集功能主要是为了降低现场设备巡检和日常维护工作量,通过在设备关键控制功能上设置传感器,能及时了解和掌握设备运行状态,并对可能产生的风险及时做出预警。远程控制则是通过统一集中控制和联动控制,针对不同工况场景,对诸多设备的联动控制逻辑进行预设,形成菜单化与个性化相结合的管理模式,实现远程集中控制,如车站突发应急情况下的联动控制等。

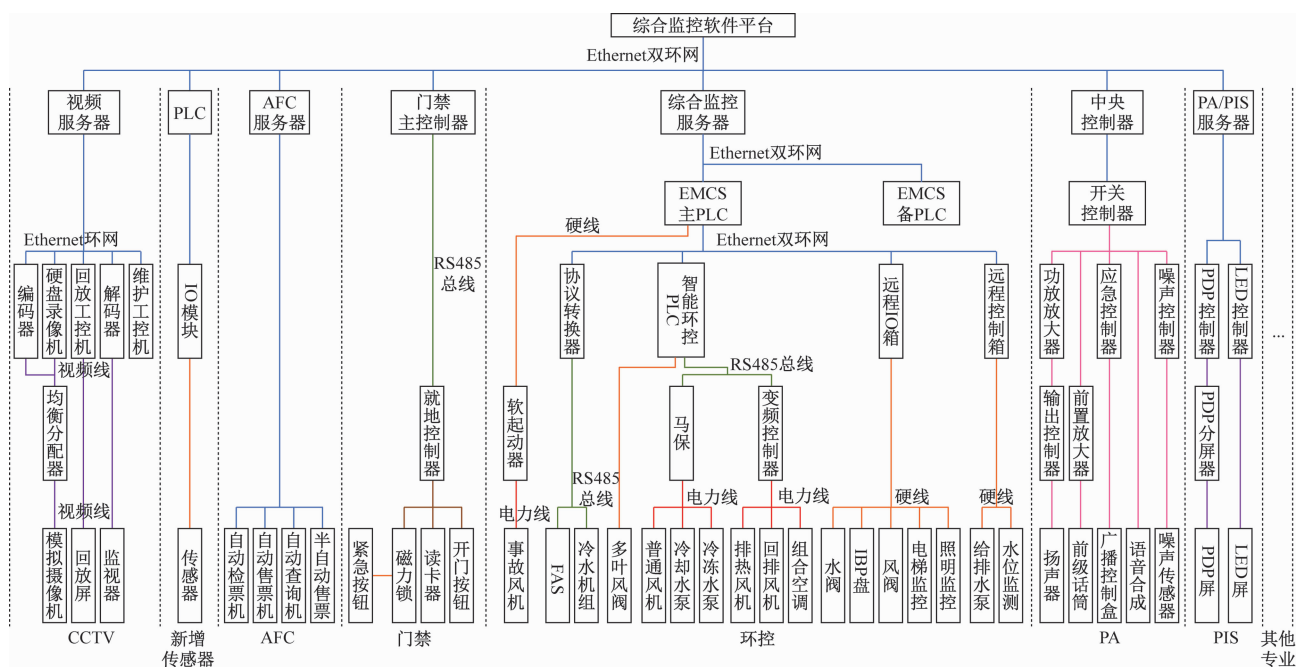
## 4 车站边缘控制器建设实践

### 4.1 试点站基本情况

选取上海轨道交通某站进行车站边缘控制器建设试点。该站为地下站,站内包含风、水、电、IBP(综合后备盘)、门禁、PA(广播)系统、PIS(乘客信息系统)、FAS(火灾报警系统)、AFC(自动售检票)系统、CCTV(视频监控)系统及重要设备和环境监控等完整的机电设备和专业系统。既有车站机电设备监控系统架构如图 1 所示。

从网络管理角度出发,站内机电设备监控系统主要面对环控、乘客出行、特种专业对接这三部分需求。环控面向风机、风阀、组合空调、水泵、水阀等最终执行设备,相关配套设备包含接触器、马保、变频控制器、软启动器等,需保障所有设备安全、稳定、高效运行;乘客出行面向 PA、站台显示屏、电梯、





注:EMCS—机电设备监控系统;LED—发光二极管;PDP—等离子显示屏。

图1 既有车站机电设备监控系统架构

Fig.1 Architecture of existing station electromechanical equipment monitoring system

照明、视频探头等最终执行设备。PA、PIS、CCTV三个专业与线级控制中心关联密切;特种专业主要包含FAS,FAS的响应与其他所有专业关联,其中与环控专业的响应尤其重要。

## 4.2 建设方案

按照车站机电一体化设计的总体目标,本次改造建设以边缘控制器对核心设备PLC的替换和功能升级、监控系统的架构重塑、智能化水平提升为主要任务,以既有设备最大程度利旧、最短时间内完成改造建设、建设周期内不影响既有系统运行为重要原则。基于机电一体化的车站机电设备监控系统建设方案如图2所示。

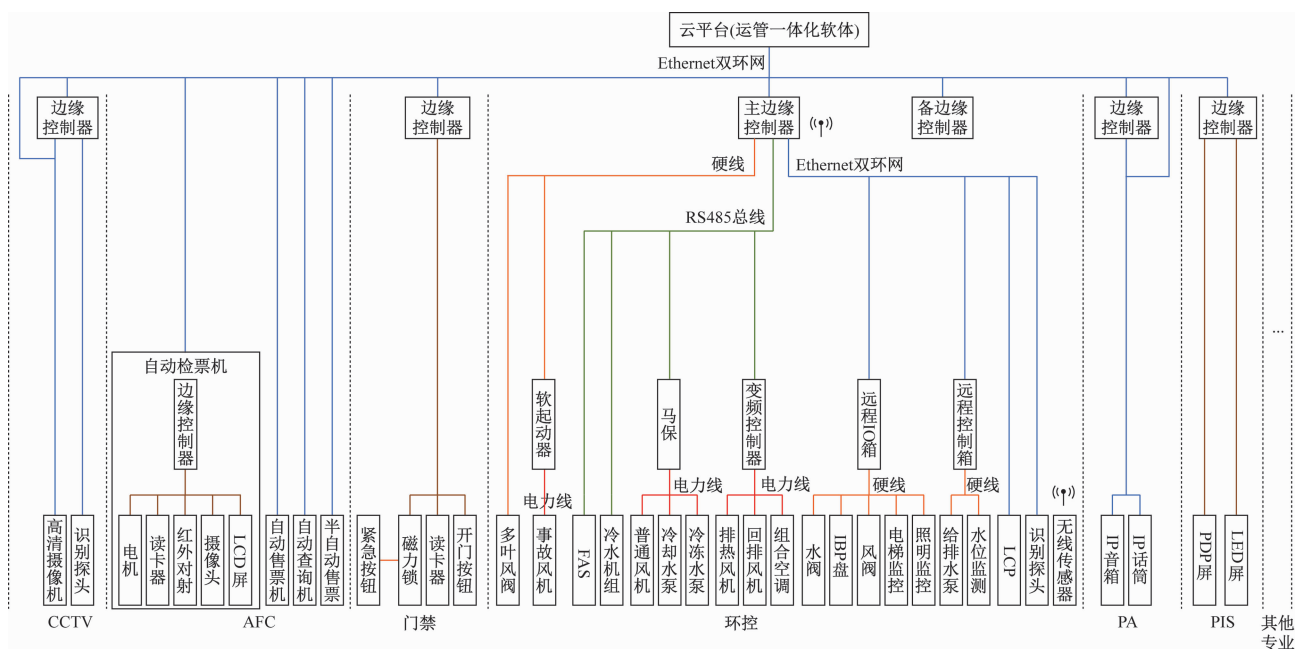
该建设方案相关技术特点为:边缘控制器替换了原有的两层PLC(EMCS+环控)和专业控制器,实现了既有的采集、通信、运算、控制需求,同时支持主、备冗余与灾备切换;边缘控制器内建无线、总线、硬线、以太网、音频、视频等多种接口,直联全种类终端设备,直联无线传感器,低成本获取原生数据;边缘控制器内有完整操作系统,支持高级编程语言,直联LCP(就地端触摸控制屏),实现设备端图形化人机操控;边缘控制器有AI(人工智能)算力和非结构化数据处理能力,直联视频探头,可实现边缘侧图像识别和场景联动;边缘控制器内有机电设备对象化模型,将设备的完整信息和控制逻辑以

属性和行为的编程方式固化在模型中,可实现敏捷的设备联动、业务编程、业务复制和功能升级;边缘控制器与云平台间定义标准通信协议,协议包含完整业务信息和对象化模型,支持云、边协同,减少无效数据传输,支持云平台的高效数据理解和大数据分析。

## 4.3 实施效果

1) 技术结构更加简单。采用云边端控制技术,在网络结构上采用一层网络架构基于边缘控制器 $N$ 个分布对等节点控制体系,每个边缘控制器节点既能处理本地业务又能单独上云接受云上业务,通俗地讲,每个边缘控制器节点既能处理各自的业务(例如处理自己负责的风机、水泵、摄像头、闸机、电梯、卷帘门等对象)或者协同处理其他边缘控制器节点的业务(如冷水机组和空调箱的节能控制等),又能处理车站和控制中心赋予的业务(如水灾、火警等联动需求),这样的部署使这个控制体系更简洁(一层结构)、更安全(控制中心或车站宕掉本地仍然可独立控制)、更高效(环节少、任务清晰、运维方便)、更经济(物理配置少,一次性投资比传统的少)。

2) 实现了车站机电系统的运营的数字化转型。采用与智能家居相似的面向对象的控制技术,便于提供系统的自动化、智能化和可维护化水平,能自动或更高效地应对突发事件下(如火情、水情、大客



注:LCD—液晶显示屏;LCP—就地控制操作屏。

图2 基于机电一体化的车站机电设备监控系统建设方案

Fig. 2 Construction scheme of station electromechanical equipment monitoring system based on electromechanical integration

流等紧急场景下)的动态、多变的复杂业务需求。例如可以融合视频图像和水流传感器的信息,通过边缘快速计算或AI智能分析快速判断水系统管网是否是处于正常和非正常状态。如是非正常状态,系统能自动定位和自动处置相应区域的电动水阀快速关闭,并将相应信息同步推送相关人员,以快速处置此类水情。又比如可以融合视频图像、烟温感传感器、手报、末端水流传感器等的报警信息,通过边缘快速计算或AI智能分析能快速判断火情和非火情,同时针对判断结果能自动定位和自动处置相应区域的场景。如是非火情误报场景,系统会自动执行相关场景处置应用APP;反之则可根据火情大小、风险等级分析等自动执行相应处置APP,以最优方案来应对火情,从而实现火情的智能化处置和控制,保证运营安全。

## 5 结语

城市轨道交通车站机电设备长期以来的传统技术架构制约了车站管理能力的提升和网络化管理转型。要从机电设备系统的本质功能出发,以业务场景为核心,对系统的控制架构进行正向设计,才能真正让设备功能得以充分发挥,为数字化转型创造条件。此种架构也可用于城市轨道交通其他设备管理领域。

## 参考文献

- [1] 葛世平. 关于城市轨道交通网络的总体研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(6): 彩12.  
GE Shiping. General study on urban rail transit network[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(6): C12.
- [2] 马粮. 云控制系统研究及其实现[D]. 北京: 北京理工大学, 2018.  
MA Liang. Research and implementation of cloud control system [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2018.
- [3] 于海霞. 北京地铁6号线西延工程设计创新综述[J]. 交通工程, 2019, 19(6): 28.  
YU Haixia. Design innovation for west extension project of Beijing Metro Line 6[J]. Journal of Transportation Engineering, 2019, 19(6): 28.
- [4] 葛世平. 从大客流运营角度谈地铁车站的建筑布置优化设计[J]. 城市轨道交通研究, 2010, 13(4): 1.  
GE Shiping. Optimal design of subway station building layout from operational point of view[J]. Urban Mass Transit, 2010, 13(4): 1.
- [5] 叶明珠, 陈卫国, 董凤翔, 等. 基于多断面出图技术的地铁车站机电管综设计应用研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2023, 15(2): 109.  
YE Mingzhu, CHEN Weiguo, DONG Fengxiang, et al. Research on the design and application of subway station pipeline colligate based on multi section drawing technology[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2023, 15(2): 109.

(下转第87页)

- [5] 朱瑶宏, 高一民, 董子博, 等. 盾构法 T 接隧道结构受力足尺试验研究[J]. 隧道建设(中英文), 2020, 40(1): 9.  
ZHU Yaohong, GAO Yimin, DONG Zibo, et al. Full-scale experimental study on structural mechanism of T-connected tunnel constructed by shield method[J]. Tunnel Construction, 2020, 40(1): 9.
- [6] 朱瑶宏, 高一民, 董子博, 等. 盾构法 T 接隧道结构受力现场试验研究: 以宁波轨道交通 3 号线联络通道为例[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(11): 1759.  
ZHU Yaohong, GAO Yimin, DONG Zibo, et al. Field test on structural mechanism of T-connected shield tunnel: a case study of connecting passage on Ningbo Metro Line No. 3[J]. Tunnel Construction, 2019, 39(11): 1759.
- [7] 黄大维, 陈后宏, 徐长节, 等. 联络通道施工盾构机接收对已建盾构隧道影响试验研究[J]. 岩土工程学报, 2024, 46(4): 784.  
HUANG Dawei, CHEN Houhong, XU Changjie, et al. Experi-

- mental study on influences of shield machine reception on existing shield tunnels during construction of connecting channels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2024, 46(4): 784.
- [8] 张恒忠, 舒卫建, 孟绥宝, 等. 海底隧道联络通道机械法施工的结构稳定性分析[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(9): 181.  
ZHANG Hengzhong, SHU Weijian, MENG Suibao, et al. Structure stability analysis of subsea tunnel link passage constructed with shield method[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(9): 181.
- 收稿日期:2024-02-21 修回日期:2024-03-20 出版日期:2024-07-10  
Received:2024-02-21 Revised:2024-03-20 Published:2024-07-10
- 通信作者:周萌,高级工程师,zhoumeng@sty.sh.cn
- ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

#### (上接第 76 页)

- [6] 罗曼, 邹亚平, 李媛. 地铁装配式车站机电装修一体化设计研究[J]. 现代城市轨道交通, 2022(增刊 2): 24.  
LUO Man, ZOU Yaping, LI Yuan. Research on the integrated design of electromechanical decoration of subway assembled station[J]. Modern Urban Transit, 2022(S2): 24.
- [7] 申樟虹, 乔志忠, 刘潇洋, 等. 城市轨道交通车站机电设备智能运维及能源管理系统[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(增刊 2): 131.  
SHEN Zhanghong, QIAO Zhizhong, LIU Xiaoyang, et al. Intelligent operation and maintenance and energy management system of

electromechanical equipment in urban rail transit station[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(S2): 131.

- 收稿日期:2024-03-02 修回日期:2024-03-20 出版日期:2024-07-10  
Received:2024-03-02 Revised:2024-03-20 Published:2024-07-10
- 通信作者:葛世平,正高级工程师,Geshiping6430@163.com
- ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

#### (上接第 80 页)

2) 随着排烟口长度的增加,临界 Froude 数明显减小;当排烟口长度大于 0.100 m 时,进一步增加排烟口长度对临界 Froude 数的影响很小。

3) 临界 Froude 数同排烟口间距与火灾热释放率无关。

## 参考文献

- [1] LIN P, LO S M, LI T. Numerical study on the impact of gradient on semi-transverse smoke control system in tunnel[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2014, 44: 68.
- [2] 卢艳艳. 区间隧道火灾半横向排烟研究[D]. 重庆:重庆大学, 2013.  
LU Yanyan. Study on smoke flow with semi-transverse smoke extraction in tunnel fire [D]. Chongqing: Chongqing University, 2013.

- [3] 范传刚. 隧道火灾发展特性及竖井自然排烟方法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2015.  
FAN Chuangang. Studies on characteristics of tunnel fire development and natural ventilation mode using shafts[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2015.
- [4] OKA Y, OKA H, IMAZEKI O. Ceiling-jet thickness and vertical distribution along flat-ceilinged horizontal tunnel with natural ventilation[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2016, 53: 68.

- 收稿日期:2023-05-05 修回日期:2023-06-29 出版日期:2024-07-10  
Received:2023-05-05 Revised:2023-06-29 Published:2024-07-10
- 通信作者:王瑞,工程师,340350388@qq.com
- ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license