

# 数智化工地综合监控系统的建设

黄恒儒 陈 玲 葛集庆 徐彬彬

(广州市盾建建设有限公司, 510030, 广州)

**摘 要** [目的] 针对在地铁项目施工中, 各参与方之间存在的信息沟通不及时、不顺畅、信息指令衰退等问题, 有必要通过数字化、智能化手段, 对综合监控系统数据集成、数据存储、数据传递等方面进行改进, 建设数智化工地综合监控系统。[方法] 广州市轨道交通 3 号线东延段工程及同步实施工程总承包项目数智化工地综合监控系统的建设为研究对象, 梳理了地铁工程总承包模式下的建设内容及整体架构, 阐述了建设管理层、基层管理层、运行维护管理层用户类型和特点, 并针对性地开展了通信网络及感知层功能场景设计, 对在大数据可视化看板、图形引擎、应急指挥系统知识库管理等关键技术的创新性进行分析。[结果及结论] 数智化工地综合监控系统建设体系采用“层级设计、层级管理”理念, 已在广州市轨道交通 3 号线的东延段工程完成部署, 并通过工程实践得以改进。通过数智化工地综合监控系统建设, 以实现对人员、施工、工器具的安全和建造过程管理进行了有效监控, 并通过关键技术研究, 提升了工地综合监控系统数据集成、数据存储及数据传递并有效支撑应急处置。通过数智化工地感知系统, 建立安全可控的施工环境, 实现数智化工地的大数据决策与评价, 对地铁建设工程综合监控系统信息化建设提供了借鉴和促进作用。

**关键词** 数智化工地; 综合监控系统; 分级管控; 数据集成

**中图分类号** TP31: TU71

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.01.044

## Establishment of Digitalized Intelligent Construction-site Comprehensive Monitoring System

HUANG Hengru, CHEN Ling, GE Jiqing, XU Binbin

(Guangzhou Municipal Dunjian Construction Co., Ltd., 510030, Guangzhou, China)

**Abstract** [Objective] To address the issues of delayed, ineffective communication of information and declining instructions among various stakeholders during metro project construction, it is necessary to improve data integration, storage, and transmission in comprehensive monitoring system through digitalization and intelligent means. A DCCMS (digitalized construction-site comprehensive monitoring system) is established.

[Method] Taking the construction of Guangzhou Rail Transit

Line 3 East Extension project and the DCCMS for synchronous implementation of general contracting project as the research object, the construction content and overall architecture under metro project general contracting mode are outlined. The types and characteristics of users at construction management level, frontline management level, operation-maintenance management level are elaborated. Targeted designs for communication networks and functional scenes in the perception layer are conducted. The innovation in key technologies such as big data visualization dashboards, graphic engines, and emergency command system knowledge base management is analyzed. [Result & Conclusion] The construction system of DCCMS adopts the concept of 'hierarchical design and management', which is deployed in Guangzhou Rail Transit Line 3 East Extension project and further improved through engineering practice. Through establishing DCCMS, the effective monitoring of personnel safety, construction safety, equipment safety, and construction process is realized. With research on key technologies, data integration, storage, and transmission in the construction-site comprehensive monitoring system are improved and emergency response is effectively supported. The establishment of a safety-controlled construction environment through digitalized construction-site perception system enables big data-driven decision-making and evaluation, providing reference and promotion for the informatization construction of comprehensive monitoring systems in metro construction projects.

**Key words** digitalized intelligent construction site; comprehensive monitoring system; hierarchical management and control; data integration

总承包工程建设要对各参与方、各工程单位实行全面管理。传统的工程质量管理手段难以满足当前城市轨道交通建设的全生命周期管理。在日常管理中, 各参与方之间的信息沟通不及时、不顺畅、信息指令衰退等问题尤为突出, 易产生信息不真实、不对称或信息孤岛等问题。对此, 需要应用数智化手段, 切实提高城市轨道交通工程建设的信息化水平。

文献[1]等对数智化建设理念下的 BIM(建筑信息模型)运用模式的分析,提出了基于 BIM 的智慧工地管理系统的框架。文献[2]等提出了物联网+下智慧工地项目的发展探索。文献[3]提出了推进智慧工地建设的措施和帮助建筑业持续健康发展的对策,对我国建筑智慧工地的应用实践进行了系统总结。但仍难以实现各用户级别的信息共享。对此,本文以广州市轨道交通 3 号线东延段工程及同步实施工程总承包项目数智化工地综合监控系统(以下简称“数智监控系统”)的建设为研究对象,梳理其架构及用户层级,总结其硬件感知层的集成应用及关键技术。该系统综合运用 BIM、GIS(地理信息系统)、大数据、人工智能、物联网、边缘计算等信息技术<sup>[4-10]</sup>,能实现各用户级别的信息共享,适用于参建各方。

## 1 项目概况

### 1.1 工程背景

广州市轨道交通 3 号线东延段工程及同步实施

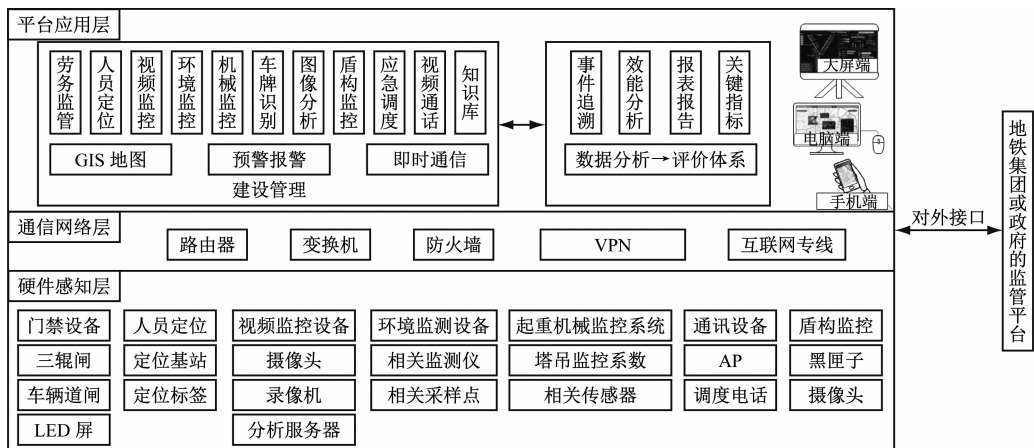
工程总承包项目(以下简称“3 号线东工程”),西起已开通运营的 3 号线番禺广场站,沿亚运大道(原清河东路)向东延伸,止于亚运城媒体中心的南侧。线路全长 9.58 km,均采用地下敷设方式。3 号线东工程包括 4 座车站(包括 1 座换乘站)。在广州新城设有 1 个停车场。对现有的大石控制中心扩展建设,并利用现有的金山主变电站来供应电力。

### 1.2 建设内容

数智监控系统建设主要包括综合监控平台软件(计算机端、综合屏幕端、手机端)、通信系统后端软件、视频监控转换集成后端软件、图像分析软件的开发,出入口系统、人员定位系统、盾构监控系统、环境监控系统、关键机械设备的集成及接口开发,以及无人机航拍数据处理服务、应急指挥等。

### 1.3 整体架构

数智监控系统采用“层级设计、层级管理”理念,由平台应用层、通信网络层及硬件感知层组成,集成了从数据收集到接口展示、数据分析等功能所需的所有软硬件。数智监控系统架构如图 1 所示。



注:LED—低压二极管;VPN—虚拟专用网络;AP—无线接入点。

图 1 数智监控系统的架构

Fig. 1 Architecture of digitalized intelligent monitoring system

### 1.4 用户层级

数智监控系统能提供工地的各种监控设备、监控数据的集成管理和综合数据的展示。当发生警报情况时,相关用户能立即收到警报信息并根据相关管理方法开展相应的处理。以此为基础,数智监控系统的用户分为 3 个层级。

第 1 个用户层级是管理层。该层级用户主要利用数智监控系统提供的综合屏幕端和手机端随时掌握其管辖工地的监控情况;当警报出现时,用户

可以及时知晓并且能根据该系统提供的功能支持或者其他方式采取相应的措施。该层级用户主要包括建设管理部门的管理者,施工部门的总承包、各分部或工区的管理者,监理部门的管理者等。

第 2 个用户层级是基层管理人员。该层级用户需要利用数智监控系统持续采集监测数据,维护工地监控设备,支持系统正常运行。对于非自动采集的监控数据,需要相关业务部门定期填写或上传/导入,并及时更新,以保证监控数据的时效性。该

层级用户主要为施工部门的各分部、工区的信息化管理者,相关业务部门的管理者。

第 3 个用户层级是数智监控系统运行维护管理人员。该层级用户的职责是监督全线所有监测设备的运行情况,利用系统定期统计这些设备本身状态的监测记录,并辅助进行评估管理。此外,要确保系统正常、安全运行,并在应用过程中组织完成基本的系统维护操作。该层级用户主要为施工部门的总承包部信息部门,相关模块的管理人员。

总承包部设备同各工区及工点设备通过专用的稳定传输网络连接。上层监控层和中间控制层的设备主要通过符合国际标准或行业标准的通用开放式智能通信接口形式连接。中间控制层和底层设备层主要通过通用的、开放的工业控制网络、物联网、现场总线和硬线等接口形式连接。

数智监控系统根据项目管理水平,在总承包部设置线路级监控中心,通过其系统平台功能统一全线建设管理工作。各分部工区设置分部监控中心,按责任划分管理。在各工点设置综合监控点,以便在现场对工点进行管理控制。

## 2 硬件感知层的集成应用

### 2.1 实名制和分类账管理子系统

实名制和分类账管理子系统包括劳务实名制管理和劳务数据分析两个功能模块,能对人员综合信息及在场情况进行分级分类统计。主要有以下功能:能显示各劳动者的详细情况和安全教育记录;根据面部识别门禁记录,对进入施工作业区的人员进行监控,实时显示进出施工作业区的人员信息;分析劳务人员数据,包括实时现场人员分析、工作时间统计、特殊工种数等。

### 2.2 人员机械定位子系统

人员机械定位子系统安装在各车站、车辆段及停车场、主变电所,集施工人员出勤、区域定位、安全预警、灾后应急、日常管理等功能于一体。主要有以下功能:能随时反映施工现场人员、重要设备及轨道车等的分布状况和各人员设备的运动轨迹,便于进行更合理的调度管理和安全监控管理。

人员机械定位子系统采用长距离 UWB(超宽带)精密定位技术,可用于基坑、暗挖掌子面及盾构隧道等场景的精密定位。隧道内的线性定位安装间隔可以达到 500 m。施工区域三点定位有效范围的设置间隔可达 150 m(开阔区可达 300 m)。

### 2.3 视频监控子系统

视频监控子系统通过在各施工现场设置的监控点,利用工程现场通信网络,全天候不间断地进行在线实时监控,实现视频的本地存储。视频监控系统通过网络与 GIS 系统结合,可以实时集中观看监控视频,能实时以固定频率捕捉,支持移动终端的同步观看;可以根据区域存储时间和区间标段来执行视频回放。

视频监控子系统包括监控设备部分和监控平台部分。监控设备部分由安装在施工现场的监控摄像机和视频存储设备组成。现场级设备主要包括智能高速球摄像机、红外枪式摄像机、红外半球摄像机、六类非屏蔽双绞线连接节点箱的交换设备、室外铠装光纤、节点箱(节点箱材质、对内装设备的保护、安装工艺等,满足隧道复杂施工环境要求)。

### 2.4 环境监测子系统

为实现绿色施工管理,在各车站、区间、风井、盾构井安装环境监测设备,建设环境监测子系统。环境监测子系统可查看全线监测设备的安装位置和报警状态,提供历史记录追溯,能实现对颗粒物浓度的实时、远程、自动监控,以及多种统计和颗粒物高浓度报警功能。各工点环境监测子系统通过接入各工点的交换机,接入全线的骨干传输网络,根据监控系统的要求上传数据,并通过网络传输到建设工程监控系统。

### 2.5 综合通信子系统

综合通信子系统是包含工程现场综合无线网络、交互广播和通信电话一体化的综合系统。对讲通信功能集成数智监控系统中,由数智监控系统提供统一的业务管理接口,并对线路上的所有通信终端和监控、广播设备进行统一的管理和控制,通过 IP(网际互连协议)网络配置在各分部及工点终端进行通信,实现基本的语音通信、调度通信及通信会议等业务功能。

### 2.6 关键机械设备监控子系统

施工过程中要配备关键机械设备监控子系统来监控设备数据。例如,全线盾构机监控子系统不仅能实现对全线盾构推进状态的实时监控,能实现盾构施工进度查询、预警功能、效能统计、数据分析、数据存储、姿态查询及质量记录等功能;其将人工智能深度学习等技术、区间管道模型地质模型及实时工况数据结合起来分析,还能智能推荐盾构掘



进参数指标。

## 2.7 图像分析子系统

图像分析子系统通过现场视频来实时动态分析作业者的工作状态,判断施工行为是否文明、安全。例如,一旦发现未戴安全帽、在工地追逐、打架、侵入危险区域等易发生安全事故的行为,图像分析子系统立即报警,通过值班人员反馈通知现场,减少人员的不安全行为。

各工点设置图像分析子系统。图像分析子系统包括图像分析服务器、图像分析软件及配件构成,图像分析服务器设置在各分部的综合监控设备室。各工点的图像分析子系统为 40 路以上,可存储分析画面的内容。图像分析服务器在采集 CCTV(闭路电视)数字化视频图像后,采用专用分析手段获得分析结果,并将分析结果发送给数智监控系统,统一进行警报信息显示。基于分析结果、警报信息可以实现与其他相关系统的联动功能。此外,图像分析子系统还可以将图像分析模块部署在前端摄像机上,将分析结果传输至后台。

## 2.8 特殊功能的集成应用

### 2.8.1 重要部位的监控和数据集成

在施工过程中,在关键位置设置监测点,上传、导入施工或第三方监测数据,结合无人机航拍生成的正射影像图、三维实景模型集成到数智监控系统中,显示现场布置设备的具体位置,实现关键部位监测、限界预警、风险预警的监测目标,向数智监控系统传送数据。当监测值超过报警值时,数智监控系统平台在发送报警信号的同时设置了报警推送功能,通过短信或应用信息通知管理员,采取应急措施消除安全隐患。各部门也可以通过该系统快速查询建设工程现场的监测数据。实时了解工程监测情况,实现动态监管目的,确保工程施工安全。

### 2.8.2 特殊大数据人员防控

打通项目工地人员信息与当地政府公安、卫健委等政府特殊大数据平台的相关接口,实现数据共享。在防疫等特殊时期,数智监控系统平台能自动统计工地人员的健康码状态、核酸检查记录、疫苗接种记录,并对健康码异常的人员自动预警,自动给相关负责人发送防疫报警信息,自动启动相关应急预案。

现场门禁施工现场门禁系统主要用于进入施工作业区人员的监控,能实时显示出入施工作业区的人员信息,随时掌握进入施工作业区人员信息。

门禁系统设置在办公、生活区与施工作业区之间,劳务人员经人脸识别确认为合格的进场人员后,由工点综合监控中心结合政府大数据信息推送授权信息,方可进入施工区域。人员信息与工地闸机联动,对于身份信息授权异常的人员,自动锁定入闸权限,严禁相关人员进入工地,并推送现场管理小组处理。作业人员出场时通过人脸识别,门禁授权失效,并由工点综合监控中心统一管理访客门禁卡,做到分类控制,有效管控作业员工完场清。

## 3 关键技术

### 3.1 大数据可视化看板关键性技术

数智监控系统的大数据综合展示看板截图如图 2 所示。看板展示内容包括本工程所有工点的劳务人员、关键设备、关键部位、环境监测、视频监控、图像分析、风险管控等数据。基于工程组织关系,实现了线路级、分部级及工点级 3 个层级组织,并呈现综合展示看板数据;支持在 3 个层级数据统计和趋势分析的基础上,逐级下钻至工点的原始数据。直观呈现 3 号线东工程概况,以及安全、进度、质量、投资、党建等关键指标,项目情况一目了然。每个指标可逐级展开查看详细分析和原始数据。

各级管理人员可通过电脑或手机随时查看大数据可视化看板内容,90% 以上的看板数据采用智能感知设备、数据共享集成等方式自动采集、自动分析,大大提高用户获取数据的效率,节省采集统计数据的人工成本。智能设备的自动分析与预警,既减少了事故发生的概率,又为安全生产、按期保质完成工程项目提供了信息化保障手段。

### 3.2 图形引擎技术

基于开源框架 Cesium 引擎的图形平台开发应用,该图形平台基于 WebGL 技术实现。WebGL 技术通过一个 JavaScript API(应用程序接口)实现,可在任何兼容的 Web 浏览器中渲染高性能的交互式 3 维图形和 2 维图形,且无需使用插件。3 号线东工程的数智监控系统在 Cesium 引擎平台的基础上,创新性使用了无人机航拍影像图、线路走向图及工点图等数据的瓦片化处理及渲染展示,盾构区间矢量数据的空间分析计算和渲染展示,无人机航拍三维实景模型和建筑信息模型的轻量化处理及渲染展示;实现了在同一个图形平台上多数据源的融合与切换展示,以及基于空间特征的几何测量、信息查询、数据检索、三维漫游等交互展示功能。



图 2 大数据综合展示看板截图

Fig. 2 Screenshot of big data comprehensive display board

图形引擎关键性技术研究。降低了用户获取和浏览各类工程图形数据的技术门槛,用户可通过电脑浏览器或手机即可查看相关的图形数据,提高工作效率,减小获取数据的时间成本。

### 3.3 应急指挥系统知识库管理技术

基于可动态配置维护框架的知识库管理技术,可根据应急体系管理需求,动态配置知识库类型,自定义知识库组织体系目录。开发了知识库文件的上传、下载、在线预览、在线分享、在线复制与粘贴、历史版本维护等功能。实现统一的数字化管理,为各类应急事件的处理提供知识储备和支撑。

应急指挥系统知识库的关键性技术研究。规范知识库文件管理,统一的数字化管理,提高知识库文件传递的可靠性,为各类应急事件的处理提供了知识储备和支撑。

## 4 结语

3 号线东工程的数智监控系统服务于参加广州轨道交通项目建设过程的建设方、总承包方、各施工承包方、监理方及设计方,是辅助工程建设安全管理的信息化手段和工具。该系统的开发及应用有利于参与建设的各方在工程建设过程中第一时间掌握现场安全监测信息,实现信息互联和共享,有利于参与建设的各方基于现场实时监测和报警信息的管理和决策,有利于为参与建设的各方管理人员和施工人员创造安全可控的工作环境,从而保障广州市轨道交通 3 号线东延段的建设工程按时顺利完成。

本工程建设工程综合监控系统在广州地铁集

团“十三五”新建线路建设施工管理的应用中一直处于领先水平。为我国其他城市地铁建设工程的综合监控系统信息化建设提供了借鉴和促进作用。

需在建设前期加强关联系统统一规划,避免重复性开发相关功能和避免重复性录入部分数据。需加强建筑信息模型中台系统的建设,发挥数据枢纽和数据神经网络的作用,以便加强数据的汇聚和数据组织。

## 参考文献

- [1] 曾凝霜,刘琰,徐波. 基于 BIM 的智慧工地管理体系框架研究[J]. 施工技术, 2015, 44(10): 96.  
ZENG Ningshuang, LIU Yan, XU Bo. On-site construction management framework based on building information modeling system [J]. Construction Technology, 2015, 44(10): 96.
- [2] 李霞,吴跃明. 物联网+下的智慧工地项目发展探索[J]. 建筑安全, 2017, 32(2): 35.  
LI Xia, WU Yueming. Exploration on the development of smart construction site project under the Internet of Things + [J]. Construction Safety, 2017, 32(2): 35.
- [3] 毛志兵. 推进智慧工地建设 助力建筑业的持续健康发展[J]. 工程管理学报, 2017, 31(5): 80.  
MAO Zhibing. Promoting the construction of intelligent sites to advance sustainable and healthy development of construction industry [J]. Journal of Engineering Management, 2017, 31(5): 80.
- [4] 谢永刚. 地铁施工安全管理创新及应用[J]. 价值工程, 2021, 40(3): 204.  
XIE Yonggang. Innovation and application of subway construction safety management [J]. Value Engineering, 2021, 40(3): 204.
- [5] 赵驰. 基于 5G 技术的远程监控系统在轨道交通建设工程中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(1): 169.

(下转第 247 页)

### 3.2 改进措施

针对 OVT-IGBT 故障发生的原因,本文提出如下改进措施:

1) 优化过压吸收回路主动放电功能,将开通过压吸收回路对应的支撑电容电压阈值提高,降低过压吸收回路斩波器的工作频率,减少开关损耗。这可有效避免斩波器因过热而损坏;提高支撑电容电压阈值对电容本身的性能和寿命无影响。

2) 对过压吸收回路相关逻辑处理进行优化,增加有斩无流故障(斩波器工作,但回路中没检测到电流,说明回路有故障)和未斩有流故障(斩波器不工作,但回路中检测到电流,说明斩波器有故障),从而可实时监控该回路的工作状态。

3) 当斩波器 IGBT 发生故障后,易造成过压吸收电阻过热烧损,并导致 GR 故障。建议优化 VVVF 控制程序——一旦 OVT-IGBT 故障后,可通过控制高速断路器切除该故障单元,避免故障影响范围扩大。

4) 优化驱动板的相关参数,调节驱动电阻,降低 IGBT 的开关频率,从而减小 IGBT 在关断过程中产生的尖峰电压,进而减小尖峰电压对适配板的冲击。

经现车验证,最终解决了 OVT-IGBT 故障,保证了 2 号线正常运营。

### 4 结语

针对 2 号线多起过压斩波 IGBT 故障,结合故障现象、故障机理和试验验证,最终确定了故障原因。针对故障原因,提出了故障改进措施。在后续车辆设计时,可考虑每路过压斩波回路单独配置 1 套过压吸收电阻,从设计初期避免潜在的风险。

### 参考文献

- [1] 陈勇,刘承志,郑宁,等.基于逆变回馈的地铁再生制动能量吸收的研究[J].电气化铁道,2011,22(3):36.  
CHEN Yong, LIU Chengzhi, ZHENG Ning, et al. Research of inversion and feedback based energy absorption in metro regenerative braking[J]. Electric Railway, 2011, 22(3): 36.
- [2] 李友瑜,杨守焕,阳吉初,等.地铁列车制动电阻的种类及优化设计[J].城市轨道交通研究,2010,13(5):49.  
LI Youyu, YANG Shouhuan, YANG Jichu, et al. Types of metro braking resistor and optimal design[J]. Urban Mass Transit, 2010, 13(5): 49.

· 收稿日期:2021-09-07 修回日期:2021-11-19 出版日期:2024-01-10  
Received:2021-09-07 Revised:2021-11-19 Published:2024-01-10  
· 通信作者:谷翠军,高级工程师,014600005587@srsri.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 243 页)

- ZHAO Chi. Application of remote monitoring system in urban rail transit construction project based on 5G technology[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(1): 169.
- [6] 徐曼洋. 基于 BIM + GIS 城市大数据平台的智慧临港应用示范[J]. 土木建筑工程信息技术, 2021, 13(2): 139.  
XU Minyang. BIM + GIS urban big data platform application demonstration of smart Lingang area[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2021, 13(2): 139.
- [7] 张金月. BIM 应用于设施管理之路:物联网和人工智能的影响[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 10(6): 10.  
ZHANG Jinyue. The future of BIM for facility management: the impact of IoT and AI[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2018, 10(6): 10.
- [8] 邱洲. 公路工程智慧工地开发模块建设及具体应用[J]. 公路, 2021, 66(7): 214.  
QIU Zhou. Construction and application of intelligent construction site development module for highway engineering[J]. Highway,

2021, 66(7): 214.

- [9] 望远福,蒋永祥,李晓龙. BIM + 信息化技术在京雄高速项目的综合应用[J]. 公路, 2021, 66(4): 241.  
WANG Yuanfu, JIANG Yongxiang, LI Xiaolong. Comprehensive application of BIM + information technology in Jingxiong Expressway Project[J]. Highway, 2021, 66(4): 241.
- [10] 孙文侠,王志文. “智慧工地”在公路工程中的应用研究[J]. 公路, 2019, 64(8): 353.  
SUN Wenxia, WANG Zhiwen. Research on the application of 'smart construction site' in highway engineering[J]. Highway, 2019, 64(8): 353.

· 收稿日期:2022-08-09 修回日期:2022-11-23 出版日期:2024-01-10  
Received:2022-08-09 Revised:2022-11-23 Published:2024-01-10  
· 第一作者:黄恒儒,高级工程师,595807378@qq.com  
通信作者:徐彬彬,工程师,511206551@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