

地铁工程施工阶段安全智能化体系建设思路探讨

黄钰淇

(中铁一局集团第五工程有限公司, 陕西 宝鸡 721000)

摘要:为有效提升城市地铁工程施工阶段安全管理成效,探索采用新一代信息技术与城市地铁工程深度融合,全面推进安全数字化建设,搭建城市地铁工程“智能化”安全管理平台。结合现有城市地铁工程实践数据与信息化研究成果,从概念与框架、子系统与功能、建设要求3个方面分析城市地铁工程安全智能化体系的建设思路。智能化建设总体架构介绍了动态监测、预警诊断、协同响应、安全教育等管理系统在施工阶段中的应用,对架构基础动态监测子系统的建设要求进行探讨。

关键词:地铁工程;安全智能化;信息化技术;动态监测;预警诊断

中图分类号: X924 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)14-0255-05

城市地铁工程不仅是连接地区间的重要通道,也是缓解城市拥堵、促进经济、改变民生的重要基础设施^[1],然而城市地铁工程建设路线可能会穿越河流、比邻重要建筑物、与地下管线碰撞等,为工程建设带来超越预期的安全风险^[2]。随城市地铁工程建设的需求变化愈发巨大化、复杂化^[3],因此,对于城市地铁工程施工阶段急需更为科学有效管理的模式与信息智能化平台配合安全管理。

目前,在城市地铁工程领域开展的安全智能化管理已受到学者的关注。李乐^[4]基于建筑信息化模型(building information modeling, BIM)技术的地铁工程施工智能化安全监测,有效解决了数据动态更新、收集与存储方式混乱,预警信息传递与多方协同效率较低等问题。侯雅君^[5]采用智能化预测与控制使地铁施工中盾构机在复杂地层姿态控制表现出较强的适应性。刘毅等^[6]基于地铁列车智能化预警系统,实现对列车运营状态的远程实时监视和故障预警。王起全^[7]基于预警系统原理构建地铁拥挤踩踏事故智能化预警系统,使地铁在运营阶段具备拥挤踩踏事故预警控制能力。但有关安全智能化管理的研究仍主要集中在城市地铁工程运营、维护阶段^[8-9],相比之下城市地铁工程施工领域安全智能化管理研究进展缓慢。因此,借鉴其他领域研究成果和实践经验,大力发展城市地铁工程施工领域安全智能化管理将是未来发展方向。

鉴于此,本文将通过引入大数据信息分析、模块化处理等智能化手段,从概念与框架、子系统与功能、建设要求3个方面对城市地铁工程安全智能化体系建设思路进行探讨,通过对施工阶段的安全隐患监管和控制,提高城市地铁工程施工的安全性和效率,实现安全可持续发展的目标。

1 城市地铁工程施工阶段安全管理现状

相较于城市房建工程场地集中封闭,开放式线性工程大多具有施工区域大,作业点分散的特点^[10-11],同时地铁工程建设路线与居民生活空间重叠较大,会对现有生活空间进行局部占用,施工生产与生活的碰撞带来了额外的安全风险。因此,城市地铁工程施工安全管理问题一直是难题。

1.1 传统安全管理的现状

近年来建筑业事故频繁发生,其中城市地铁工程施工阶段事故数量和伤亡人数虽有明显降低但仍起伏较大^[12](图1),给人民生命财产造成了严重的损失。随着我国对建设工程的质量、安全、文明施工的监管提出了更高的要求^[13]。近年来各级政府纷纷发文要求进一步加强建筑施工领域企业安全生产工作。传统的施工现场安全管理模式在速度、可靠性以及经济性等方面已越来越不能适应现代化施工的管理及发展要求^[14-15]。

城市地铁发展初期,施工阶段安全生产的管理手段主要依靠项目管理人员施工经验、专业知识,工人的自觉意识、安全培训效果和人盯式管理,周

收稿日期: 2024-03-29

作者简介: 黄钰淇(1993—),女,甘肃兰州人,助理工程师,研究方向为可持续工程建设与项目管理。

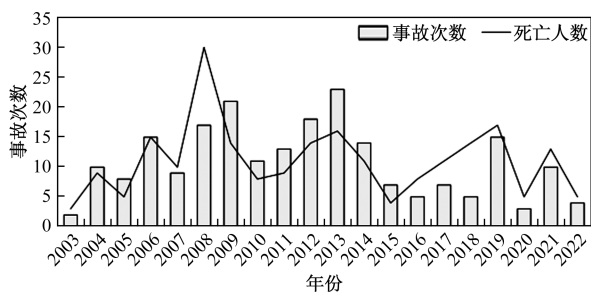


图1 地铁施工事故统计

期性检查的传统模式。虽然可在短期依靠劳动力完成任务但传统安全管理手段具有轻事前管理,重事后总结;全员参与不充分、不能调动施工过程中每位员工的主动性和积极性;现场操作规章制度落实难、隐患排查不精准、整改情况难追溯等痛点难点。现阶段,多数地铁项目安全管理与检查依赖人工/半人工方式实现数据监测,相比传统阶段有了很大进步但感知手段单一,自动化手段主要集中在保护区专项监测;监测断面间隔太大,无法全面反映地铁结构现状,也无法实现智能感知;尤其是保护区施工,只能做到结构破坏了才能感知,造成城市地铁工程施工阶段安全管理效率低、易出错的现状。

1.2 智能化管理优势与存在的问题

(1)安全智能化管理优势。目前城市地铁工程存在以下问题:施工区域难围合,施工过程中人员管理难;作业点分散,重大危险源及特种设备数量大、安全监管难;工地基础网络线路不全,现场混乱,监控布线经济压力大。而运用大数据、物联网、云计算等新一代新型计算机技术(图2)研发智能化安全管理系统,建立健全安全管理体系,营造先进的安全文化氛围,正是解决这一问题的有效手段。城市地铁工程安全智能化是未来趋势。例如,长沙地铁6号线研发了地铁施工监测一体化智能数据处理与安全预警管控平台,创建了变形监测与病害检测系统;天津地铁项目部智慧工地建设涵盖了从人脸识别到智能隐患排查系统30个智能项目;上海地铁项目部建立云平台,以现场实际施工及管理经验为依托,针对工地现场痛点,组织相关单位研发攻关出模块化、一体化工地综合管理平台等地铁项目在安全管理均取得较高成效。

(2)发展应用具有局限性。当前,我国建筑业信息化、智能化程度总体较低,2021年有关数据显示建筑业信息化排名倒数第一。不仅如此,信息化

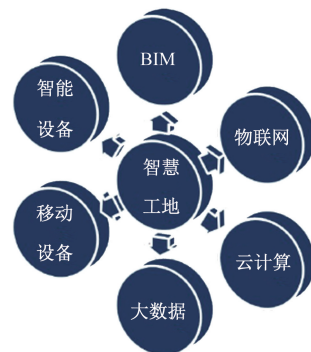


图2 智能化安全管理平台建设技术

在专业系统管理中的应用不够深入,办公自动化(office automation,OA)系统、安全、进度、质量、财务、设备、物资等管理系统虽然被普遍应用,但还未达到企业信息化、智能化建设的初衷,所建成的信息化系统对建筑企业核心业务管控作用有限。同时安全人员意识由传统生产安全转变难,缺少安全智能化建设高端信息技术人才。因此,应用信息化进行“智能化”监管的企业仍凤毛麟角。

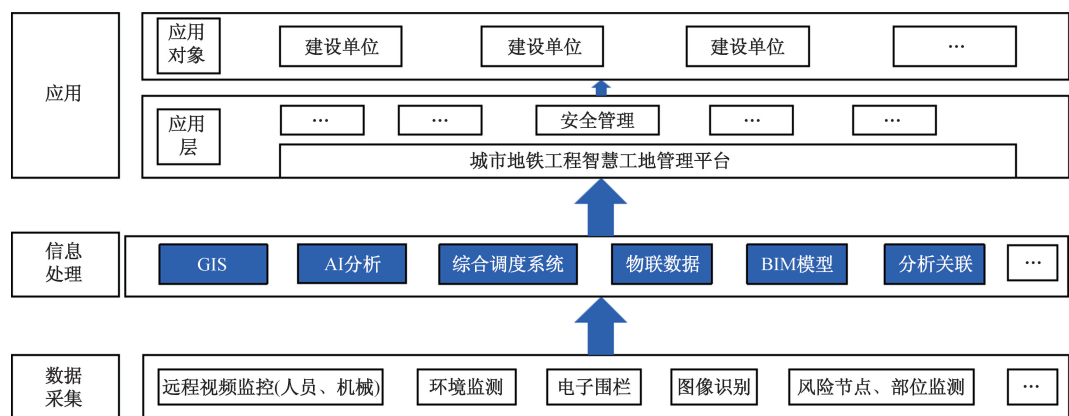
(3)前期投入大。智能化、信息化开发阶段,耗时长、持续投入大;城市地铁工程作为政府重点工程,关注度高和通车期紧迫,使得项目部层级缺少时间、精力进行智能化信息化研发;目前市场软件品种繁多,能满足通用性需求不能满足个性化需求,与各行业项目需求有一定差异,这就需新增新需求新模块进行定制开发。

2 城市地铁工程安全智能化体系建设

城市地铁工程安全智能化体系建设是指通过5G、人工智能(artificial intelligence, AI)、可视化技术、物联网、云计算等先进的信息技术手段对作业过程中项目风险、隐患、盾构机、人员管理等信息进行全面监测和控制,从而实现城市地铁工程施工安全的动态监测、预警和快速响应,提高安全管理效率和质量,为加速项目建设提供助力。同时有利于树立良好的企业形象,提高企业在市场中的竞争力。

2.1 概念和框架

城市地铁工程施工阶段安全智能化体系包括数据采集、信息处理和应用3个环节。数据采集环节是指实现地铁工程施工生产要素清单、风险源、重大隐患、应急事件管理全过程电子化,采用信息化技术手段对危大工程、高处作业、设施设备、临时用电、人员违章等进行监测,信息处理和应用是基



注:GIS为 geographic information system 的简称,即地理信息系统

图3 安全管理信息平台整体架构

于前期数据采集进行施工阶段的实时预警、协同响应、应急处理,建立可扩展的信息化平台,实现全流程可视、可控,整体架构如图3所示。

2.2 组成部分和功能

城市地铁工程安全智能化体系由动态监测子系统、预警诊断子系统、协同响应子系统、安全教育子系统组成。通过各子系统之间的协同作用,可实现城市地铁工程施工阶段的全面监测,可以有效降低地铁工程安全事故的发生率和严重程度。

(1)城市地铁工程动态监测子系统。通过安装传感监测仪器、360度无死角高清监控等设备,对城市地铁施工的各种安全对象进行实时监测,包括现场人员、工程机械、风险节点、危险区域、环境监测与场景识别等动态信息。

(2)城市地铁工程预警诊断子系统。通过结合图像识别技术,对视频流的关键帧进行AI监测分析,与地铁施工规范指标阈值进行判断比较,可自动辨别潜在危险行为与安全隐患,系统以广播、警报铃声、手机和个人电脑(personal computer, PC)端弹窗的方式自动向所覆盖工地的项目管理人员、相关部门的监管人员及施工人员进行提醒。

(3)城市地铁工程协同响应子系统。当事故发生或者触发预警阈值时,通过实时视频监控关键帧分析判断受影响人群和准确位置信息,对比案例数据库快速确定事故范围和危险等级,系统自动通知该事故负责领导与相关联动单位与部门,制定救援方案进行救援和现场处理。

(4)城市地铁工程安全教育子系统。主要负责地铁施工各阶段高风险节点(部位)施工前,需完成

线上相关环节视频培训并进行打卡报备,才允许进入下一施工环节,做到事前有效预防,事故发生后针对此类事故制定相应的专题安全教育。通过线下集中安全培训与线上安全答题的方式,以提高全员安全意识、经验教训与安全知识储备。

2.3 全智能化建设要求

城市地铁工程安全智能化建设中,安全全要素收集的准确性是安全智能化体系的基础,将直接影响后续子系统做出正确的判断。动态监测子系统是基于对现场人员、工程机械、危险作业区域与风险节点等进行实时视频监控以完成安全全要素信息的收集工作,因此,动态监测子系统的建设非常重要,本文将对动态监测子系统组成模块与功能进行介绍。

(1)现场人员监测模块。现场人员监测模块结合信息化技术与监控设备,通过施工人员信息档案和门禁系统进行实名认证,实时监管进入施工区域的施工人员及管理人员。通过全球定位系统(global positioning system, GPS)和基站定位的方式,对人员状态信息进行动态展示,实现人员信息查询、定位跟踪,同时对不戴安全帽进入作业现场、人员受伤、人员倒地、人员聚集等异常情况进行监测。通过图像识别和对视频流的关键帧进行AI监测分析可自动辨别施工人员危险行为,并推送报警信息,能够有效减少安全事故的发生。

(2)工程机械监测模块。工程机械监测模块是基于物联网、通信技术集成、GPS定位等技术平台,通过PC端和手机端全面掌握本项目设备的工作状态、运行轨迹、健康情况等相关数据,实现为项目管理者及时传输数据。主要包括盾构机、钻孔台车、

锚注台车、多功能钻机、拱架台车、湿喷台车、铺挂台车、二衬台车、隧道衬砌台车、吊车等工程机械实时监控,并借助后台大数据分析和异常状态判断,将会自动弹出报警窗,手机自动提示报警铃音和短信预警方式。

(3)风险节点监测模块。风险节点监测模块对工地各区的关键要害部位、重点区域等现场情况进行24小时实时监控。例如,下穿既有公路、下穿既有结构物时对结构地基应力及位移的变化监测、深基坑的支护结构及周边环境监测、基坑渗漏检测、穿越复杂地质环境时盾构机行进姿态监测。

(4)电子围栏监测模块。电子围栏管理系统是基于定位及危险源探测技术于一体,实现人员、工程机械位置信息实时监控,当接近设定的电子围栏区域时,报警提醒管理人员和警示危险源附近施工人员,保证施工安全。例如,预留洞口、临边区域、吊装区域等。

(5)环境监测与场景识别模块。环境监测模块应包含地面和地下粉尘监测、能见度监测和有毒气体监测等功能,场景识别通过高处安装监控设备,自动巡查脚手架防护网破损、防护栏杆脱落、配电箱和材料堆放处火光与温度等异常情况。环境监测对象的实时监控数据以监测曲线呈现,当实时信息数据超出阈值后,能以弹窗的方式自动覆盖工地的项目管理人员及相关部门的监管人员进行提醒。

3 城市地铁工程安全智能化建设的展望

城市地铁工程属于线性工程,现场数据采集和传输技术不完善,造成了数据获取和处理难度大。现阶段,大部分施工现场仍采用最原始的人盯式管理、周期性检查,少数智慧工地结合电子围栏、智能消火栓、智能安全帽进行全线预警和监测,城市地铁工程施工区域主要集中在地下未知空间,难度大,未知因素多,因此,在施工环节中实现智能化就变得尤为重要。随计算机技术的发展,未来城市地铁工程将实现采用智能机器人现场巡检,智能化设备与地铁相关领域工程规范阈值、政府法规的限制条款进行对接,通过智能机器人或者智能监控平台自动违规研判,实现对施工安全生产的实时掌控,能够做出更精准的安全风险识别和预测。

4 结论

智能化安全管理是城市地铁工程施工阶段未

来发展方向也是安全生产的保障,安全智能化需要深度融合新一代信息技术来搭建城市地铁工程“智能化”安全管理平台。本文针对城市地铁工程施工阶段安全管理提出了安全智能化体系建设架构,并对动态监测子系统安全全要素收集角度进行了论述。未来信息化领域技术革新将不断推动智能化平台扩展和创新,在有效降低施工现场安全事故发生概率及损失的同时实现可持续发展的目标。

参考文献

- [1] 王谦,杨昌鸣,陆继广. 地铁施工影响下邻近建筑遗产安全风险评估[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(23): 9615-9621.
- [2] 刘映晶,闵加正,张文宏,等. 软土地层盾构近距上跨运营地铁施工技术[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(3): 1147-1153.
- [3] 景通,古小梦,孟凡杰. 地下洞群施工安全智能化管理系统设计应用[J]. 东北水利水电, 2022, 40(12): 60-62.
- [4] 李乐. 基于BIM与多源监测的地铁施工安全风险智能化预警研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京), 2022.
- [5] 侯雅君. 地铁盾构姿态智能化预测及其控制[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2021.
- [6] 刘毅,孙庆文,刘贵香,等. 地铁深基坑施工安全评估FDEMATEL-TOPSIS模型及应用[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(10): 4253-4260.
- [7] 王起全. 地铁拥挤踩踏事故脆弱性区域智能化预警研究[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(11): 162-167.
- [8] 陈赞,刘慧琳. 基于演化博弈的地铁施工人员不安全行为动态惩罚策略优化[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(13): 5506-5512.
- [9] 马康,李云鹏,王慧娇,等. 地铁降水施工地表沉降分析及应用[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(3): 264-269.
- [10] 王琼. 建设项目智能化安全预警平台构建研究[J]. 建筑经济, 2021, 42(11): 35-39.
- [11] 刘洋,丁震. 煤矿安全智能化体系建设思路探讨[J]. 工矿自动化, 2023, 49(S1): 18-20.
- [12] 刘平,武文凯,许家铭,等. 基于GRA的国内地铁施工事故统计分析[J]. 工程管理学报, 2023, 37(4): 53-58.
- [13] 王敏,许诚权,季威. 智能化测绘技术在地铁结构安全监控中的应用[J]. 现代城市轨道交通, 2022(S1): 118-122.
- [14] 王海涛,王凯,宋词,等. 地铁隧道钻爆法施工邻近埋地管线的安全风险管理研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(11): 106-110.
- [15] 周慧,孙伟,霍如桃. 地铁隧道施工监控量测技术的应用[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(12): 3003-3007.

Discussion on the Construction Ideas of Safety Intelligent System during the Construction Phase of Subway Engineering

HUANG Yuqi

(The Fifth Engineering, Co., Ltd of China Railway First Engineering Group, Baoji 721000, Shaanxi, China)

Abstract: In order to effectively improve the safety management effectiveness of urban subway engineering construction phase, explore the deep integration of new generation information technology and urban subway engineering, comprehensively promote the digital construction of safety, and build an intelligent safety management platform for urban subway engineering. Existing urban subway engineering practice data and information technology research results were combined to analyze the construction ideas of a safety intelligent system for urban subway engineering from three aspects that were concept and framework, subsystems and functions, and construction requirements. The overall architecture of intelligent construction introduces the application of management systems such as dynamic monitoring, early warning diagnosis, collaborative response, and safety education in the construction stage, and explores the construction requirements of the basic dynamic monitoring subsystem of the architecture.

Keywords: subway engineering; security intelligence; information technology; dynamic monitoring; early warning diagnosis