

城市轨道交通地铁施工安全管理优化研究

王 健

(中铁十二局集团第二工程有限公司, 山西 太原 030032)

摘 要 地铁施工安全管理是城市轨道交通工程建设的核心环节, 直接关系到工程建设质量、人员生命安全和城市运行秩序。鉴于地铁施工存在空间局限性强、技术工艺复杂、水文地质条件恶劣等固有特征, 传统粗放式安全管理模式已难以满足复杂施工场景的管控需求。本文立足城市轨道交通建设实际, 分析地铁施工的典型特征与安全管理现存问题, 从制度完善、人员管控、风险防控、技术升级四个维度提出针对性优化措施, 旨在对保障城市轨道交通工程的顺利推进有所裨益。

关键词 城市轨道交通; 地铁施工; 安全管理

中图分类号: U215

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.033

0 引言

随着我国城市化进程的持续加快, 城市轨道交通凭借大运量、高效率、低污染的优势, 成为缓解城市地面交通拥堵的重要支撑, 其建设规模与覆盖范围不断扩大。但地铁工程多处于城市核心区域, 施工活动以地下作业为主, 施工过程中安全风险隐患点多、面广、线长, 基坑坍塌、涌水涌砂、机械伤害等安全事故时有发生。基于此, 要加大地铁施工安全管理力度, 结合地铁施工特征与管理重难点, 探索构建全流程、精细化、智能化的安全管理体系, 提升城市轨道交通工程安全管理水平, 保障工程建设顺利推进。

1 城市轨道交通地铁施工特点

1.1 空间局限性强

地下施工活动集中开展于地下空间, 具备有限性、封闭性的鲜明特性, 作业空间狭窄, 人员与设备、设备与设备之间未能保持安全距离, 常出现机械伤害、物体打击等安全事故。结合往期工程案例来看, 地铁隧道断面宽度普遍为 5~6 m, 隧道高度为 4~5 m, 基坑宽度仅为 20~30 m, 作业空间十分有限。例如: 在地铁隧道盾构施工阶段, 盾构机自身长度达到 10~15 m, 占据绝大多数隧道空间, 施工人员利用盾构机尾部狭小空间, 开展管片拼装、注浆等多项作业, 一旦操作不当, 极易被管片砸伤或是被盾构机碰伤^[1]。此外, 地铁路线途径人居密度高的核心城区, 地铁隧道沿线密集分布市政管线, 包括燃气管道、给排水管

网等, 如果不能主动避让、迁移市政管线, 并采取注浆加固地层、设置缓冲垫等专项技术措施, 在施工扰动下, 就会频繁出现市政管线破损泄漏等问题, 严重影响周边居民日常生活, 并在破坏重要市政管线时, 伴随出现安全事故, 如燃气泄漏、爆炸、人员触电。

1.2 施工技术复杂

地铁施工活动具备极高技术含量, 涉及多种施工技术, 涵盖土方开挖回填、基坑支护、盾构掘进、轨道铺设、机电安装等若干分部分项工程, 任一工序环节出现违反技术规范和施工准则的错误操作行为, 都会造成微小施工误差和安全隐患, 随着时间推移, 逐渐演变成重大安全事故, 伴随出现多项施工问题。例如: 在基坑支护阶段, 常见问题包括支护不及时导致基坑暴露时间超标、支护形式选型有误差导致缺乏足够支护强度, 将引发安全风险。

1.3 水文地质条件恶劣

地铁施工范围在空间层面上呈现线性分布状态, 沿途穿越多种地质环境, 局部区域面临极度恶劣的水文地质条件, 穿越富水地层、软弱地层或是面临其他不良地质问题, 常规施工工法未能适应此类特殊施工场景, 中途出现隧道围岩变形失稳、隧道坍塌、涌水涌砂等安全事故。例如: 在某城市轨道交通工程, 地铁基坑开挖阶段, 因遭遇强降雨, 且地下水位本身保持高位, 未能及时启动降水系统, 地下水位急剧上升, 致使基坑内部大面积涌水, 涌水流量超过 50 m³/h, 最终导致基坑边坡坍塌事故。

作者简介: 王健(1988-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 城市轨道交通安全管理。

2 城市轨道交通地铁施工安全管理问题

2.1 制度体系不完善

目前,部分城市轨道交通工程仍沿用早期管理制度,制度内容和地铁施工安全管理情况不一致,未能发挥出应有效用,容易引发多项管理问题。例如:管理制度针对性不足,忽略不同工程背景和现场管理需求,基本沿用通用建筑施工安全管理制度,未能贴合地铁施工情况,对制度内容进行针对性补充,如地铁施工空间狭窄,通风采光条件较差,没有适配狭小空间施工特征来制定安全管理规范,缺少作业人员转入条件、安全防护措施、应急处置方法等具体管理内容^[2]。

2.2 人员安全意识淡薄

目前,部分城市轨道交通工程均存在人员安全意识淡薄的共性问题,一线施工人员文化水平偏低,缺少系统性培训教育,未能树立自我保护意识,也不具备各项安全技能,频频出现错误操作行为和安全违规行为,不断形成安全隐患,常见问题包括私自取下安全帽等安全防护装备、违规私自搭电。此外,人员流动性过强,在地铁施工期间,不断流失施工人员和引进全新人员,由于专职管理人员数量有限,满足日常管理需求的前提下,无法长期抽调多名管理人员组织开展安全教育培训活动,安全交底作业不完善,导致施工工艺和施工标准掌握不足。

2.3 风险防控机制缺位

结合往期工程案例来看,基坑坍塌、涌水涌砂、隧道围岩失稳等安全事故都存在清晰脉络,掌握安全隐患形成规律,及时察觉前期异常征兆,即可精准判定安全事故类型、出现时间地点和危害程度,辅以防治处理措施。但在现实层面上,部分城市轨道交通工程仍秉持被动管理理念,施工安全管理体系缺少风险管控内容,安全巡查等常规管理手段仅能发现一部分安全隐患,无法前置消除施工风险。同时,一些城市轨道交通工程建立风险管控机制,但由于管理经验不足和管理技术落后,存在风险辨识不全面、风险评估结果有误、风险管控措施缺乏针对性的问题,实际收效甚微。

2.4 安全技术支撑不足

面对复杂的施工形势,传统管理技术存在滞后性,无法满足实际管理需求。以现场巡查技术为例,早期以人工巡查方式,定期巡视检查施工现场各处区域,以安全防护装备穿戴情况、安全设施使用情况、工程机械运行状况、施工操作是否违规作为巡查内容,整体巡查效率低下,抽调大量管理人员,虽然可以提高

巡查效率,识别更多安全隐患,但也会导致其他管理工作停摆,无法提高整体管理效能。

3 城市轨道交通地铁施工安全管理体系的优化措施

3.1 完善安全管理制度体系

针对地铁施工复杂工况,施工单位需立足现场作业实际,健全覆盖全工序的安全管理制度体系,通过细化管控标准、强化监督考核,确保制度落地执行,切实提升安全管理效能。

第一,细化施工全工序安全管控要求。施工单位需系统收集同类地铁工程施工案例,组织技术人员、一线施工班组开展专题调研,全面梳理现行制度与现场施工的适配性问题,重点摸排狭小空间作业、盾构掘进、深基坑支护等高危工序的管理漏洞。基于调研结果,修订完善安全管理制度,补充各工序专项管理细则。例如:针对地下狭小空间作业场景,编制《地铁狭小空间施工作业安全管理细则》,明确作业人员准入资质、气体检测频次、通风照明设备配置标准、安全防护装备穿戴要求等内容,严格限定同一作业面的人员数量与机械设备台套数,保障作业空间内人员与设备的安全间距^[3]。第二,强化制度执行的监督考核力度。施工单位需构建“项目部—工区—班组”三级安全责任体系,逐层签订安全生产责任书,明确各级管理人员与作业人员的安全职责。将安全管理执行情况纳入绩效考核范畴,定期对各工区、班组的制度落实情况进行检查,重点核查工序安全交底记录、隐患整改闭环情况、特种作业人员持证上岗情况等内容^[4]。对严格落实安全管理制度、及时排查处置安全隐患的班组与个人给予专项奖励;对违反制度规定、违规操作引发安全隐患的责任主体,采取通报批评、经济处罚等措施,情节严重的责令停工整改,倒逼全体人员履行安全职责,推动安全管理责任落实到每一道施工工序、每一个作业岗位。

3.2 强化人员安全管理

工程人员安全素养是决定管理效果和施工安全的核心因素,唯有确保全体工程人员都能树立安全生产意识,主动配合管理活动开展,自发识别安全隐患并上报问题,才能杜绝安全事故发生。为实现上述目标,必须强化人员安全管理力度,具体从分层分类安全培训、人员资质审核两方面入手。

第一,分层分类安全培训。按照所属岗位职能和具体工作内容,把工程人员划分为若干层级,差异化制定培训计划,确定安全培训内容,以实操内容为主,理论知识为辅。针对普通作业人员,把安全基础知识、

安全操作规程、安全隐患识别处置方案和安全管理制度作为培训内容。针对特种作业人员,以本工种安全操作技能、工程机械标准化操作方法与维护保养方法作为培训内容。针对管理人员,则以新型管理理论、现代管理技术和安全管理知识作为培训内容。第二,人员资质审核。建立特种人员作业档案,入岗前审核资质证书,不予录用资质证书过期、资质类型和从事特种作业类型不相符的特种作业人员。如果缺乏足够时间开展安全教育培训活动,直接对特种作业人员的操作技能与安全知识进行考核,通过考核后,直接分配工作岗位,后期利用空闲时间补充开展安全培训作业^[5]。

3.3 全流程风险管控

为前置消除风险隐患,需建立全流程风险管控机制,包含风险辨识、风险评估、风险防治三道环节,管理方法如下。

第一,风险辨识。组合采取专家论证法和 BIM 模拟施工方法,全面收集工程资料信息和相似工程施工案例,专家小组凭借自身经验,全要素辨识地铁施工阶段可能存在的风险隐患,共同对风险隐患出现概率进行评价打分。同步构建 BIM 模型,先后模拟多种工况场景下的地铁施工活动,专家评价结果和 BIM 仿真施工结果相互论证。第二,风险评估。由定量评价方法取代定性评价方法,着手设立多项核心指标,包括风险事件发生概率、有无人员伤亡、存在时间、影响范围等,量化计算各项风险问题的危害程度,进行优先级排序,划分为若干等距,具体分为重大风险、较大风险、一般风险与低风险四个等级,差异化选择风险响应力度。第三,风险防治。深入分析各类风险事件的形成机理和发展规律,针对性采取多项防治措施。以基坑涌水事故为例,形成原因在于遭遇强降雨和地下水位急剧上升,需要额外部署降排水系统,利用排水设施来阻隔地表径流,实时监测地下水位,部署降水井点,确认地下水位即将超过警戒值后,立即启动降水系统,持续抽采地下水。

3.4 推进施工安全管理技术智能化升级

施工单位需以技术创新驱动安全管理效能提升,聚焦地铁施工高危工序与风险点,构建智能化、信息化安全监测与管控体系,通过技术手段弥补人工管理的局限性,实现安全风险的提前预警与精准处置。

施工单位应针对深基坑支护、盾构掘进、狭小空间作业等核心工序,部署全维度在线监测系统。在深基坑边坡布设位移传感器、沉降传感器与孔隙水压力传感器,在盾构机刀盘及管片区域安装应力传感器与姿态传感器,在狭小空间作业面配置气体浓度传感器

与人员定位终端;同时,在施工现场关键节点布设 AI 智能摄像头,实现对人员违规操作、设备运行状态的实时可视化监控。同时,构建施工安全风险数据库,整合同类地铁工程的安全事故案例、风险辨识清单与应急处置方案,基于机器学习算法对监测数据与监控画面进行智能分析,建立风险识别模型,明确不同监测数据阈值对应的风险等级^[6]。

在地铁施工全过程中,传感器实时采集的地层变形、结构应力、气体浓度等数据,以及 AI 摄像头捕捉的画面信息,均会传输至安全管理平台。当监测数据超出安全阈值,或 AI 算法识别出未系安全带、违规动火等操作行为时,系统会自动判定风险等级,第一时间向管理人员移动端推送预警信息;针对重大安全隐患,系统可联动施工现场的声光报警装置与人员定位系统,自动触发报警程序,精准定位危险区域内的作业人员,提醒其迅速撤离。此外,施工单位可依托 BIM 技术构建施工场景数字孪生模型,将监测数据与模型深度融合,模拟风险发展趋势,为管理人员制定应急处置方案提供数据支撑,实现从“被动处置”向“主动预防”的安全管理模式转变。

4 结束语

城市轨道交通地铁施工安全管理是一项兼具复杂性与系统性的工作,其管理成效直接关乎工程建设成败、人员生命安全与城市公共利益。在地铁施工中,要构建科学高效的地铁施工安全管理体系,立足工程实际,从制度、人员、风险、技术四个维度协同发力。通过完善贴合现场施工需求的管理制度,强化分层分类的人员安全培训,建立全流程风险管控机制,推动管理技术向智能化、信息化方向升级,方能实现安全管理的精细化与常态化。

参考文献:

- [1] 刘东升.地铁施工安全管理的影响因素及优化措施[J]. 居业,2024(01):152-154.
- [2] 韩伟.城市轨道交通地铁工程施工安全管理研究[J]. 住宅与房地产,2021(31):168-169.
- [3] 同[2].
- [4] 李洪恩.城市轨道交通地铁施工安全管理研究[J]. 时代汽车,2021(23):189-190.
- [5] 袁宏涛,田泽民.城市轨道交通地铁施工安全管理措施研究[J]. 云南水力发电,2024,40(12):126-128.
- [6] 洪昌.地铁施工安全管理的影响因素及优化措施:从人因干预到技术赋能的安全风险防控体系构建[J]. 中国科技论文在线精品论文,2025,18(03):169-171.