

# 地铁车站施工阶段安全风险管理及控制措施研究

郑 腾

中铁一局集团城市轨道交通工程有限公司 江苏 无锡 214000

**摘要:** 地铁是现代城市公共交通骨干,建设规模不断扩大。但地铁车站工程因地质条件复杂、施工环境敏感等特点,成为高风险系统性工程。施工阶段安全事故危害巨大,会致人员伤亡、财产损失,影响城市运行与社会稳定。故构建科学、系统、高效的安全风险管理体系并精准控制,是保障地铁车站顺利建设的核心。本文深入剖析地铁车站施工主要安全风险源,梳理主流风险管理理论方法,结合工程实践提出涵盖风险识别、评估、预警、响应与后评价的动态闭环管理框架。针对明挖法等不同工法,探讨其特有安全风险及控制策略。此外,强调信息化、智能化技术对提升管理效能的关键作用,并展望未来趋势,为全球地铁工程建设安全管理提供参考。

**关键词:** 地铁车站; 施工安全; 风险管理; 控制措施; 信息化

## 引言

全球城市化加速,人口向大城市集聚,交通拥堵问题愈发严重。地铁凭借大运量、准时等优势,成为缓解城市交通压力、促进可持续发展的战略性基建。中国是全球地铁建设规模最大、速度最快的国家,截至2025年底,超50个城市开通地铁,总里程破万公里,还有大量线路在规划或建设中。但地铁车站施工如“在城市血管上做手术”,其位于城市核心区,周边环境复杂,基坑深大,地质水文多变,施工工艺复杂且多工种交叉作业,构成高不确定、高耦合性风险系统。历史上国内外地铁车站施工安全事故频发,造成重大损失与恶劣影响。在此背景下,系统性研究地铁车站施工安全风险,是保障建设、保护人民及实现城市高质量发展的迫切需求,建立科学风险管理机制可变被动为主动、变事后为事前,降低事故风险。

### 1 地铁车站施工安全风险源辨识与分析

地铁车站施工安全风险来源广泛,可从不同维度进行分类。

#### 1.1 按风险来源分类

地质与水文风险是最根本且不可控的,不良地质体开挖易失稳引发连锁灾害,地下水威胁大,降水不当或止水帷幕失效会诱发多种险情,突涌水是暗挖法施工大敌。设计与技术风险也关键,勘察疏漏使地质模型失真,支护结构设计参数不当或施工方案脱离实际会放大风险。施工过程充满动态不确定性,土方开挖、支护施工、降水排水等环节操作不当都是风险点,暗挖法爆破振动也有危害<sup>[1]</sup>。周边环境脆弱性加剧风险,基坑开挖影响邻近建筑,损坏地下管线会引发次生灾害,施工还影响交通。管理与人为因素是软性环节,安全管理体系不健全、人员

不安全行为及设备材料问题都会引入新风险。

#### 1.2 按施工工法分类的风险特征

不同施工工法主导风险类型差异鲜明。明挖法主要风险聚焦于深大基坑稳定性,如围护结构变形、支撑体系失稳、坑底隆起及周边地表沉降等,且因风险暴露面大,对周边环境影响显著。盖挖法除明挖风险外,还有临时路面系统承载与变形风险,以及上下交叉作业带来的高空坠落、物体打击等复合风险,逆作法对中间支撑柱垂直度控制精度要求极高,偏差或影响上部结构受力安全。暗挖法(矿山法)核心风险在于隧道掌子面稳定性与地层超前加固有效性,易突发掌子面失稳、拱顶掉块等事故,对地下水控制要求苛刻,突涌水风险大,同时作业空间封闭,通风不良致有毒有害气体聚集也是重要风险。

## 2 地铁车站施工安全风险管理体系构建

### 2.1 风险管理总体框架

本文提出一个“五位一体”的动态闭环风险管理框架,即风险识别→风险评估→风险预警→风险响应→(图1)。该框架强调全过程、全员参与、动态更新和持续改进。各环节紧密衔接,形成一个有机整体。



图1: 地铁车站施工安全风险管理框架

### 2.2 风险识别

在实践中,可以综合运用专家调查法(德尔菲法)、头脑风暴法、情景分析法、故障树分析(FTA)以及工作危害分析(JHA)等多种方法,充分调动各方经验与智

慧,对施工全过程中可能出现的各类风险事件进行地毯式排查<sup>[2]</sup>。通过这一过程,最终应形成一份《地铁车站施工安全风险源清单》,其中需详细列出每一项风险事件的具体描述、潜在后果以及初步的责任归属部门,为后续的风险评估与管控奠定坚实基础。

### 2.3 风险评估

在实际操作中,定性评估常采用风险矩阵法,通过评估风险发生的可能性(L)和后果的严重程度(S)两个维度,在预设的矩阵中确定风险等级(如低、中、高、极高)。对于更为复杂的场景,则可采用半定量或定量方法。层次分析法(AHP)及其模糊扩展形式(FAHP)适用于处理多因素、多层次的复杂风险评价,能有效整合专家判断中的模糊性。蒙特卡洛模拟(MCS)则通过大量随机抽样,模拟风险事件发生的概率分布,特别适用于参数不确定性较大的情况。而数值模拟分析,利用有限元软件对基坑开挖、隧道掘进等关键过程进行仿真,能够直观预测围护结构变形、地表沉降等核心指标,是评估工程本体物理风险最直接、最有力的技术手段。评估的最终成果应是一份详尽的《风险评估报告》,明确各风险的等级,并据此制定差异化的管控策略,特别是对高风险及以上等级的风险,必须编制专项施工方案和应急预案。

### 2.4 风险预警

须建立一套以自动化监测数据为核心的多级预警指标体系。该体系通常设定多个阈值,例如当监测值达到控制值的70%时触发一级(黄色)预警,达到85%时触发二级(橙色)预警,而当监测值达到或超过控制值,或其变化速率出现异常时,则立即启动三级(红色)预警。为了实现预警的实时性和智能化,亟需构建一个基于物联网(IoT)的自动化监测与预警平台,该平台能够实现数据的实时采集、自动分析、智能判别,并将预警信息即时推送给相关责任人,从而为风险响应争取宝贵的黄金时间。上述预警阈值主要依据《GB/T50911-2013》《GB50157-2013》《GB50497-2019》等国家及行业标准设定。例如,《GB/T50911-2013》第6.2.3条规定:监测数据达预警值70%~80%时应加强监测;80%~90%时需风险评估并准备应急措施;超过100%或变化速率突变时须立即启动应急响应。同时参考北京、上海、深圳等地细化的地方要求,结合工程地质、支护结构和周边环境敏感度,对通用阈值进行动态调整,兼顾规范符合性与工程适应性。

### 2.5 风险响应

这首先依赖于一个完善的预案体系,即针对识别出的重大风险,预先编制专项应急预案,其中需清晰界定应急组织架构、各方职责分工、标准化的处置流程、应

急资源的调配方案以及可靠的通讯联络机制。在此基础上,应建立严格的分级响应机制,确保不同级别的预警能够触发相应强度的应急行动。例如,在黄色预警状态下,应加强现场巡查和监测频率;在橙色预警状态下,则需暂停相关危险作业,组织专家分析原因并采取加固补强措施;一旦触发红色预警,必须立即启动最高级别的应急响应,果断疏散人员,并调动一切可用力量进行抢险救援<sup>[3]</sup>。为了确保预案的有效性和团队的实战能力,定期组织贴近实战的应急演练是必不可少的环节。

### 2.6 风险后评价

风险后评价目的在于系统分析本次风险管理的成功经验与失败教训,客观评估所采取风险控制措施的实际效果,并将这些宝贵的知识进行沉淀和固化,为后续类似工程提供重要的参考和借鉴。后评价的内容应全面覆盖风险事件的完整回顾、应急响应过程的效能评估、事故造成的经济损失核算,以及对现有安全管理体系提出的具体改进建议,从而形成一个持续学习和改进的良性循环。

## 3 不同工法下的安全风险控制措施

### 3.1 明挖法车站风险控制

首先,必须强化前期的勘察与设计工作,通过加密勘探点、综合运用多种物探手段来精确判识不良地质体,为支护结构设计提供真实可靠的地质依据;同时,支护结构的设计必须留有足够的安全系数,并充分考虑各种最不利工况组合。在施工过程中,土方开挖必须严格遵循“分层、分段、对称、平衡、限时”的精细化原则,严格控制每一步开挖的深度和长度,并确保支撑结构能够及时架设,以维持土体的应力平衡。对于地下水的管理,应实施“按需降水”策略,通过水位观测井动态调整抽水速率,并在必要时设置回灌井,以有效控制因降水引起的周边地层过度固结沉降<sup>[4]</sup>。此外,一套严密的全过程监测体系不可或缺,需对围护墙(桩)顶水平位移、深层水平位移、支撑轴力、立柱隆沉、坑外水位以及周边地表和建筑物的沉降等关键参数进行全方位、高频次的监控。对于紧邻基坑的敏感建筑物和重要管线,还应采取主动的保护措施,如跟踪注浆或设置隔离桩,以最大限度地减少施工对其造成的影响。

### 3.2 盖挖法车站风险控制

首要任务是确保临时路面系统(盖板)的安全,这要求对盖板结构进行精确的受力计算,确保其承载能力和刚度足以满足上方交通荷载的要求,并在其上设置沉降观测点,实时监控其变形状态,防止因变形过大而影响交通安全。在逆作法施工中,中间支承柱的施工精度

是另一个关键控制点,必须采用高精度的导向和定位技术(如HPE液压垂直插入法),将钢管柱的垂直度和平面位置偏差严格控制在毫米级范围内,以保证上部结构的受力安全。由于存在上下交叉作业,安全管理的复杂性显著增加,必须在作业面之间设置硬质隔离防护棚,规范物料吊运路线,并严格限制非作业人员进入下方危险区域,以防范高空坠物和物体打击事故。此外,还需精心优化出土口的布置和出土方案,在保障逆作法出土效率的同时,尽量减少对上方城市交通的干扰,并加强对出土口周边的临边防护,确保作业人员安全。

### 3.3 暗挖法(矿山法)车站风险控制

首要原则是“先探后挖”,通过综合运用TSP、地质雷达、超前钻探等超前地质预报(GPR)手段,准确探明掌子面前方的地质构造和水文状况,为施工决策提供前置信息。在开挖过程中,必须坚决贯彻“管超前、严注浆、短进尺、强支护、快封闭、勤量测”的十八字方针。这意味着要及时施作初期支护(通常由钢拱架和喷射混凝土构成),并尽早使其形成封闭环,以有效约束围岩变形,防止失稳。对于地下水的综合治理,应秉持“堵排结合、以堵为主”的原则,一方面采用超前小导管注浆、帷幕注浆等技术对富水地层进行有效封堵,另一方面也要设置完善的排水系统,确保洞内干燥。由于作业环境封闭,必须配置大功率的通风设备,保证洞内空气持续流通,并安装固定式与便携式有害气体检测仪,对瓦斯、一氧化碳等有毒有害气体浓度进行实时监控,严防窒息或中毒事故。在需要爆破的地段,应采用微差爆破、光面爆破等先进技术,严格控制单段药量和爆破振动速度,以最大限度地减少爆破作业对围岩稳定性和周边环境的扰动。

### 4 信息化与智能化赋能安全风险管控

现代信息技术正重塑工程安全管理模式。BIM与GIS融合构建三维数字孪生模型,集成地质、管线等多源信息,实现风险可视化、空间化管理,管理人员能在虚拟

环境中审视风险分布、模拟施工影响、预演应急预案。物联网改变监测模式,在工程关键部位布设传感器,实现7×24小时自动化监测,克服人工巡检的不足。大数据与人工智能带来风险预测突破,利用机器学习挖掘海量数据,建立智能模型预测风险趋势,推动管理从“阈值报警”迈向“趋势预警”,还能视频智能分析,预警人员不安全行为。最终,这些技术汇聚于统一智慧工地平台,集成人员、设备、环境等多项管理功能,真正达成安全管理数字化、网络化与智能化。

### 5 结语

地铁车站施工安全风险管控是复杂系统工程,需多层次协同。本文研究结论如下:一是施工安全风险由地质、技术等多因素交织,具多元性与强耦合性,须全面动态辨识;二是构建覆盖全过程的动态闭环管理体系,是实现风险可控在控的根本;三是不同施工工法有独特风险特征,要采取差异化、精细化控制措施;四是新一代信息技术是提升安全风险管控效能的核心驱动力。展望未来,研究将深度融合,风险评估模型会是物理力学与数据驱动模型结合,以构建高精度混合预测模型。安全管理更注重“人”,借助智能可穿戴设备等提升作业人员安全素养。此外,“韧性工程”理念将融入,目标从“防灾减灾”转向提升工程系统抗冲击能力,降低潜在损失。

### 参考文献

- [1]潘锴晟,丁万星,白兵阳,等.复杂环境下地铁车站施工安全风险评价[J].低温建筑技术,2025,47(05):39-43.
- [2]乔晓磊.软土地区地铁车站长大深基坑施工安全技术控制技术研究[J].运输经理世界,2025,(03):7-9.
- [3]谷家相.地铁车站土建施工安全风险控制措施研究[J].工程技术研究,2024,9(08):131-133.
- [4]丁军成.地铁车站土建施工安全风险及优化措施[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(35):190-192.