

# 针对地铁隧道施工的安全管理与效率优化研究

文 / 宁小龙 中铁十一局集团城市轨道交通工程有限公司

**摘要:** 文章以地铁隧道施工为研究主题,从人员、材料、机械设备、工艺、环境五个方面归纳了地铁隧道施工中的安全风险,围绕加强安全风险识别评估、提高安全管理技术水平、做好施工人员安全教育、健全安全管理责任机制,提出了地铁隧道施工安全管理策略,并就如何优化地铁隧道施工效率,给出了建议。

**关键词:** 地铁隧道施工; 安全管理; 效率

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.060

改革开放后,随着社会经济的发展,我国现代化、城市化水平持续提升,城市人口急剧增长的同时,城市建成区规模不断扩大。公共交通是现代城市交通体系的重要组成部分,城市化进程的加快,使得原有的公共交通,越来越难以满足市民出行的需求。地铁作为一种现代化的交通工具,不仅具有运量大、速度快、舒适度高、不占用地面空间等优势,且越来越多的城市将地铁建设作为改善公共交通的重要项目。隧道施工是地铁建设的重要环节,也是地铁建设安全风险高发领域<sup>[1]</sup>,仅2023年,便发生了多起地铁隧道施工事故,如长春地铁7号线事故、重庆地铁4号线事故,造成了严重的经济损失与人员伤亡。因此,要加强地铁施工安全管理,提高地铁施工效率。

## 一、地铁隧道施工安全风险分类

地铁隧道施工安全风险较多,并且,根据不同的分类标准,地铁隧道施工安全风险的表现也有所不同。本文在前人研究的基础上,从人、材、机、法、环的角度,将地铁隧道施工安全风险划分为五类:

一是人员风险。地铁隧道均由一线作业施工人员施工完成,人员风险是地铁隧道施工最为常见的安全风险之一。比如,安全意识低下风险。地铁隧道施工人员以农民工为主,他们大都未曾接受过良好的教育,安全意识偏低,未按照要求佩戴安全防护设备等。又如,操作风险。地铁隧道施工有着严格的工艺要求;一些施工人员未按照规定操作,增加了施工安全风险。

二是材料风险。地铁隧道施工中需要使用大量的材料,如混凝土、钢材等主要材料以及大量的零部件,材料也成为地铁隧道施工安全风险的重要来源。比如,材料质量风险。部分材料质量不合格,未经严格检测便进入施工现场,增加了施工安全风险。又如,材料损坏风险。受存储、运输不当等因素的影响,一些材料出现损坏现象,也对施工安全带来挑战。

三是机械设备风险。地铁隧道施工中需要使用多种

类型的设备,其中,不少设备的操作方式较为复杂,需要专门的人员操作,如盾构机的操作者不仅需要盾构机操作工资格证书,更看重长年累月跟机掘进经验,并且接受专业培训及考核。一些项目仅重证书,而忽略操作者的实践经验,增加了机械设备的操作风险<sup>[2]</sup>。此外,机械设备缺乏常态化的检修、维护,作业中易出现故障,也对施工安全带来负面影响。

四是工艺风险。地铁隧道施工中,有不少工艺危险系数较高,是导致地铁施工安全事故的重要因素。以支护工艺为例,受地基松软、地质构造复杂等因素的影响,支护作业的难度较大,且易因施工震动、地下水渗漏而出现安全事故。此外,部分项目施工中存在着支护结构设计不合理、施工质量不达标等问题,增加了支护结构失稳的风险,危及隧道施工安全。

五是环境风险。地铁隧道施工为地下施工,环境较为特殊,易出现各种各样的环境风险。比如地质灾害风险,施工过程中可能会遇到地质灾害如地层滑坡、地下水涌入等,导致安全风险。又如岩石崩塌风险,隧道穿越岩石层时,若岩石稳定性差、支护不力等,存在岩石崩塌危险,影响施工安全。此外,通风不畅、隧道坍塌也是常见环境风险<sup>[3]</sup>。

## 二、地铁隧道施工安全管理策略

### (一) 加强安全风险识别评估

从全面的分析可知,地铁隧道施工中存在着大量的安全风险,稍有不慎,便可能酿成安全事故。因此,做好安全风险的识别与评估就成为地铁隧道施工安全管理的先决条件。从风险识别的角度而言,应依据一定的标准,全面识别地铁隧道施工安全风险。比如,从施工流程的角度出发,识别施工准备阶段、施工阶段以及收尾阶段的安全风险。又如,从风险发生领域的角度出发,识别人力资源、材料、机械设备、工艺、环境等领域的安全风险。风险识别需要形成完整的风险目录,为后续的风险评估、风险应对提供参考。从风险评估的角度而

言,地铁隧道施工安全风险多样,不同安全风险的发生概率、危害程度有很大的差别。应采用德菲尔法,对相关领域的专家进行调查,再将调查结果录入到SPSSAU软件中,依托层次分析法、模糊综合评价法等,确定不同安全风险的等级。风险评估应形成风险排序,筛选出关键风险。同时,也要根据风险评估结果,确定风险应对策略,如风险规避、风险降低、风险转移等。

### (二) 提高安全管理技术水平

数字技术的诞生与发展,为施工管理提供了巨大的支持。对地铁隧道施工安全管理而言,数字技术有着广阔的应用空间,能够从多个方面提供施工安全管理水平。因此,要多维加强数字技术的应用。比如,以数字技术做好施工现场监测。在地铁隧道施工现场安装各种类型的传感器及监控设备,利用传感器和监控设备实时采集信息,并上传到数据中台,动态把握地铁隧道施工情况<sup>[7]</sup>。又如,以数字技术开展应急演练。应急管理是地铁隧道施工安全管理的重要一环,在提高突发事件的应对能力,降低突发事件的危害程度中具有重要的作用。可利用虚拟现实技术、增强现实技术等,模拟施工现场,开展应急演练,提高施工人员的应急反应能力。此外,数字技术在安全事故分析与预警中也有良好的应用价值。应借助大数据技术,全面采集地铁隧道施工数据,利用关联分析、聚类分析等分析工具,多维发掘数据价值,构建安全风险预警模型,为安全管理决策提供科学依据,同时,将安全管理的重点,从什么应对转变为事前防范。

### (三) 做好施工人员安全教育

人员风险是地铁隧道施工常见风险,轻则影响施工进度,重则导致人员伤亡事故。对此,应将施工人员安全教育作为地铁隧道施工安全管理的重点,并从以下两个方面采取好措施:一是开展常态化安全教育。施工人员安全意识偏低,仅凭突击式的培训,难以扭转此一现象。应将安全教育常态化,以显隐结合的方式,开展好安全教育。比如,在施工现场张贴“生命只有一次,安全重于泰山”“安全文明施工,呵护生命,铸就精品工程”等宣传语,营造安全施工氛围。又如,利用抖音发布安全事故视频,依托真实案例开展警示教育。二是加强技术交底。地铁隧道施工涉及的工序繁多,不少施工工艺安全风险较大。应健全技术交底机制,由技术管理员向施工班组开展技术交底,同时,创新技术交底的方法,以施工人员能够接受、易于理解的方式进行技术交底,提高技术交底的效果。对安全风险大的施工工艺,如洞口爆破工艺,更要进行反复交底,确保施工班组对

技术要点有充分了解,从而有效防范人员层面的安全风险<sup>[5]</sup>。

### (四) 健全安全管理责任机制

责任机制不完善是地铁隧道施工安全管理常见问题,对此,需从以下三个方面,健全地铁隧道施工安全管理责任机制。一是组建专门的安全管理小组。安全管理不仅关系到施工安全,对施工进度、施工质量、施工成本等也有重要影响。应在项目部下设立专门的安全管理小组,广泛吸纳各部门人员,如设计部门、采购部门、技术部门、施工班组的人员,参与到安全管理小组中,并邀请相关领域的专家、学者,担任安全管理小组的顾问,责成安全管理小组统筹负责地铁隧道安全管理适宜。二是细化安全管理责任。引入精细化管理理念,将安全管理责任细化到每一个岗位,并根据岗位性质、内容,合理分配安全管理责任,确保安全管理工作无死角、无漏洞,提高安全管理的效果<sup>[6]</sup>。三是做好绩效考核。绩效考核在反馈安全管理现状,分析、诊断安全管理问题以及构建安全管理激励机制中,均有着重要的应用。应从员工的安全管理责任出发,设计绩效考核指标,采用科学的方法,考核其在安全管理中的表现,并做好考核结果的应用。

## 三、地铁隧道施工效率优化路径

### (一) 提高供应链的稳定性

材料供应层面的问题是影响地铁隧道施工效率的首要问题。对此,应从以下三个方面采取措施,提高供应链稳定性。一是严格供应商的选择。地铁隧道施工需要使用的材料有很多,应根据材料类型、用量、重要性等,设计供应商选择指标,再采用各种方式,对供应商进行调查,选择最为适宜的供应商。二是加强供应商管理。围绕交付日期、材料质量两个方面,加强供应商管理。从交付日期的角度而言,应在合同内约定好交付日期以及交付方式,并要求供应商严格按照合同日期交付材料。提前交付和延期交付,均不利于地铁隧道施工,前者会增加项目的存储成本,后者会导致工期延误。从材料质量的角度而言,应做好材料质量检验工作,重点做好进场材料质量检查。三是选定备用供应商。受各种因素的影响,供应商可能存在无法如期交付,或者交付材料质量不达标现象。应提前选定备用供应商,一旦供应链出现风险,及时将供应商切换到备用供应商,从而保证供应链的稳定性。

### (二) 优化施工流程

施工流程不合理也是制约地铁隧道施工效率的常见因素,应着力优化施工流程。首先,优化施工设计。施

工设计是地铁隧道施工的依据, 施工设计是否合理, 对地铁隧道施工效率有重要的影响。应采用BIM技术进行施工设计, 利用BIM技术协同设计、碰撞检查、三维建模等功能, 提高施工设计的合理性。其次, 引入流程再造。流程再造是对组织业务流程的根本性的思考和彻底重建<sup>[7]</sup>。流程再造过程中, 组织通常会对流程中的每个环节进行全面审视, 包括功能、角色、数据、技术等方面, 从而找出问题, 并重新设计流程以实现更优化的效果。应从地铁隧道项目的实际情况出发, 细致梳理作业流程, 采用价值链分析法, 删除其中不具增值性的环节, 并做好剩下环节的整合工作, 使施工流程更为科学。最后, 开展协同施工。为进一步提高地铁隧道施工效率, 可采用多班组协同施工模式, 各班组负责地铁隧道施工的某个方面, 并借助配套的项目管理软件, 做好各班组的合作与协调, 保证施工方案的统一性和一致性。

### (三) 引入先进设备与技术

地铁隧道施工中需要使用到大量的设备, 如钻机、掘进机、盾构机等推进设备, 喷淋机、喷涂机等喷射设备以及测量设备、电力设备、通信设备、安全设备等。传统设备已经难以满足当前地铁隧道施工的需求, 应做好先进设备的引入工作。以盾构机为例, 盾构机的主要功能是在地下开挖隧道。近年来, 随着数字技术的不断发展, 盾构机也在更新迭代, 不少盾构机安装了智能化控制系统, 并配备了高品质的刀盘、钻头, 极大地提高了作业效率。因此, 在盾构机的选择中, 要优先选择新型盾构机。又如, 在测量设备中, 可采用全站仪、激光测距仪等智能测量设备, 精确测量隧道的尺寸、位置等参数, 提高地铁隧道施工的精准性。复杂环境下的施工, 可通过机器人来完成, 如爬墙机器人等, 降低施工人员的劳动强度, 防范安全风险。地铁隧道施工存在一定的环境风险, 传统施工技术在环境风险的防范中存在很大的不足。应引入新型技术, 提高地铁隧道施工的环保性, 比如, 针对隧道掘进中的泥浆污染问题, 可采用高效泥浆处理技术, 将泥浆回收及再利用。

### (四) 加强施工质量管理

质量管理是地铁隧道施工管理的重点, 质量问题不仅会延误地铁隧道项目工期, 也会导致建设成本的增加。因此, 要切实加强施工质量管理。首先, 编制质量管理计划。根据地铁隧道项目的特点, 编制专门的质量管理计划, 明确质量管理的要点、内容以及具体要求, 使质量管理具有全面、详实的依据, 有效防范项目质量风险。其次, 推行全员质量管理模式。传统的质量管

理, 多由专门的质量安全部负责, 存在很大的局限性, 难以保障施工质量。应推行全员质量管理模式, 将质量管理的任务, 分解到各部门、各岗位, 使全体人员均参与到施工质量管理中, 从而保证施工质量<sup>[8]</sup>。最后, 加强质量问题分析。针对地铁隧道施工中的质量问题, 应组织施工人员、技术人员、设计人员乃至外部专家, 共同分析质量问题的成因, 并根据质量问题成因, 提出整改建议, 为返工提供参考。同时, 构建质量问题数据库, 为后续施工提供案例资源, 以防同类型质量问题再次发生。

### 结语

一直以来, 隧道施工均是地铁建设项目安全风险的高发领域, 而安全事故的发生, 不仅严重影响地铁项目进度, 更会导致巨大的经济损失与惨重的人员伤亡。因此, 要高度重视地铁隧道施工的安全管理, 同时, 着力提高地铁隧道施工的效率。

### 参考文献

- [1] 丁烈云, 周诚. 复杂环境下地铁施工安全风险自动识别与预警研究[J]. 中国工程科学, 2012, 14(12): 85-93
  - [2] 张联锋. 隧道施工安全风险与施工管理研究[J]. 工程技术研究, 2019(23): 159-160
  - [3] 张军伟, 迟作强, 杨学超. 大断面复杂地质隧道施工全过程安全管理[J]. 公路, 2017(9): 714
  - [4] 于硕硕, 宋纯飞, 何亚蕾. 可视化技术在推进施工安全管理精益化中的应用分析[J]. 工程与建设, 2022(02): 552-554
  - [5] 白晓路. 铁路隧道施工安全管理及风险预警技术应用[J]. 建筑技术开发, 2018(6): 80-81
  - [6] 丁烈云, 吴贤国, 骆汉宾等. 地铁工程施工安全评价标准研究[J]. 土木工程学报, 2019(11): 121-127
  - [7] 赵春平. 超大断面铁路隧道施工技术要点探讨[J]. 建材与装饰, 2017(32): 276-277
  - [8] 王宏伟. 隧道施工安全风险与施工现场管理[J]. 居舍, 2019(33): 147-148
  - [9] 白晓路. 铁路隧道施工安全管理及风险预警技术应用[J]. 建筑技术开发, 2018(06)
  - [10] 丁烈云; 周诚. 复杂环境下地铁施工安全风险自动识别与预警研究[J]. 中国工程科学, 2012(12)
- 作者简介: 宁小龙(1989年), 男, 汉族, 山西省运城市, 中级工程师, 学士学位, 主要从事地铁车站及隧道施工管理研究。