

盾构舱压稳定。监测体系须对探空孔变形、管片背后渗流量、地表沉降与地下水位实行联动报警,当出现水位突降或洞腔扩容迹象时立即停掘并转换为局部加固工序。管片防水采用高等级橡胶密封圈、双道止水结构及拼装后封缝压浆,使受溶蚀影响的水力连通被多层结构切断,从而确保掘进过程中的围岩封闭性及施工连续性。

3.5 超浅覆土 / 城市重建区盾构施工适应技术

在城市核心区超浅覆土 / 城市重建区盾构施工环境下,并结合中国复杂地质背景中市政地铁隧道施工实践,提出以下技术适应措施。首先,在施工前必须开展高精度地形与地下空间综合勘察,其中包括采用三维激光扫描结合地质雷达、钻探取样与原位渗透试验,对隧道区段上方既有建筑基础、地下管线、交通设施及其结构本体进行系统识别,特别对建筑基础荷载传递路径、基础沉降历时、地下管线沉降变形极限进行翔实分析,并据此确定隧道掘进埋深、盾构机始发位置与接收位置的最小覆土厚度、防沉降范围及盾构机设计参数。其次,在盾构始发前,应在始发井及首段掘进区域实施多道位注浆加固体系:可采用微细水泥搅拌浆或超细水泥注浆,将建筑物基础边缘、管线周边地层裂隙及松散填土体处理密实;在盾构机刀盘挂渣前端设置挡渣帘,以防止悬空松散体坍塌;盾构尾部附设同步注浆管路,掘进过程中连续注入低水胶比水泥浆,以缩短盾构尾隙并加固管片-围岩界面。再次,在掘进阶段推进控制应采用超低速、高土压、匀推进状态,并实现刀盘扭矩、推进力、护壁压力三参数联动控制,以最大限度降低地层扰动及振动传递,同时实时监控盾构尾隙基准值及盾构推进速率,发现尾隙增大、推进参数异常时立即采取减速、暂停掘进、加密注浆措施^[5]。其后,管片安装完成后应无缝衔接注浆工艺,建议采用预制高模量橡胶支座连接管片环脚与原地层,以吸收微振动并减缓接口

应力集中。此外,为强化监控与应急响应,应在地表及地下关键监测点设置密集沉降观测点、管线振动监测仪、盾构推进参数实时联动传输系统,一旦监测到地表沉降速率或管线振动加速度超过预设阈值,应立即暂停掘进,进行数据分析、异常点注浆加固及设备维护。最后,在设备选型与施工组织上宜优先选用振动低、刀盘运转平稳、推进系统配备减振装置、尾部同步注浆管路配置完备之盾构机型;夜间施工应安排暂停掘进、监测数据复核与设备维保,以减少对上部交通环境和周边建筑的扰动。

4 结语

综上所述,本文结合中国市政地铁隧道盾构施工的实践经验,并针对复杂地质条件提出了五项具体施工技术要点。上述技术内容聚焦于破碎带穿越、富水砂层、软硬叠置地层、岩溶发育区以及超浅覆土地段的盾构施工应对措施。未来在进一步施工中,应持续优化地质预处理、装备选型、监测响应与注浆加固等环节,使盾构掘进技术更好适应国内复杂多变的地质环境。

参考文献

- [1] 江百建,李於赞.复杂地质条件下的市政地铁隧道盾构施工技术研究[J].工程技术研究,2024(19).
- [2] 张立东.地铁隧道施工作业中的盾构机转接始发技术研究[J].经济技术协作信息,2025(2):0265-0267.
- [3] 袁伟嘉.复杂地质条件下的市政地铁隧道盾构施工技术研究[J].工程机械与维修,2024(2):120-122.
- [4] 魏小龙.复杂地质条件下地铁隧道盾构始发掘进施工技术研究[J].建筑机械,2024(2):130-134.
- [5] 彭朝阳.基于盾构施工技术的地铁隧道设计与施工优化[J].工程建设与设计,2024(004):000.

Discussion on safety risk management in subway construction site

Lichen Sun

Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611130, China

Abstract

In practice, the construction environment of subway projects is relatively complex. Whether it is the stations or the tracks, most are located in areas with dense pedestrian flow or traffic congestion. Coupled with the limited working space at the construction site, this significantly increases the safety risks on the subway construction site. In view of this, the article, based on the actual scenarios of subway construction sites in China, first discusses the safety risks faced on-site, and then explores four scientific and actionable risk management points by combining relevant domestic standards and practical experience, aiming to provide strong support for the safety of subway construction.

Keywords

subway engineering; construction site; safety risk; management points; discussion

地铁工程施工现场安全风险管控要点探讨

孙荔晨

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川成都 611130

摘要

结合实践来看,地铁工程的施工环境较为复杂,无论是车站还是轨道,大多位于人流密集或交通拥堵的地段,加之施工现场作业空间有限,这就使得地铁工程现场建设安全风险大大增加。有鉴于此,文章基于中国地铁工程施工现场的实际场景出发,首先对其现场所面临的安全风险展开论述,随后在结合国内相关标准和实务经验情况下探讨出四项科学且可操作的风险管控要点,旨在为地铁工程施工安全提供有力支撑。

关键词

地铁工程; 施工现场; 安全风险; 管控要点; 探讨

1 引言

地铁工程在施工的过程中具有着环境复杂、周期较长、难度较大等特点。其中一些不可预计的风险因素是非常多的。在最近几年来,一些车站施工中发生事故的例子是屡见不鲜的,对社会和国家带来了非常严重的风险和负面影响。因此,应该对工程施工不断地加大安全管理,使得风险得到及时和有效地规避。对此,文章将就地铁工程施工现场安全风险管控要点展开探讨,以供参考。

2 地铁工程施工现场安全风险

2.1 地下岩土与水文地质不良条件所致风险

在城市轨道交通工程中,施工往往穿越复杂地质体、浅覆土区、断层带、含水层或软土层,导致施工面围岩失稳、涌水突涌、基坑倾塌、支护结构超限变形等安全风险。根据《城市轨道交通工程地质风险控制技术指南》指出,地质风

险应在勘察、设计、施工各阶段开展识别、单元划分与动态监控。施工单位若未在盾构掘进、暗挖或浅覆土区采取超前探测、预注浆、围护加固措施,则施工期间极易发生土体突涌、地层隆起、地表沉降超限的情况,进而引发车辆运行区或既有构筑物损伤^[1]。此外,施工深度与城市地下管线、地铁既有线网交错,使得地质风险进一步放大。施工组织若忽视地质条件变化、监测频率不足或支护结构验收不严,风险将迅速累积。

2.2 基坑开挖与明挖/盖挖施工作业空间受限风险

在地铁车站、区间采用明挖或盖挖方式施工时,施工空间狭窄、地表扰动大、支护结构必须满足变形控制、支撑架系统复杂。根据《城市轨道交通建设安全风险技术管理规范》,明挖施工过程中支护体系的施作滞后、侧壁喷护及预加支撑轴力未达到设计比例均为典型风险。当施工单位按照“中间拉槽”方式土方分段开挖、支撑延迟或结构节点加工质量低下时,支撑预加轴力不能维持设计值的一半以上,易造成支护结构变形超限、基坑渗水、流砂损失,甚至引发塌陷。且施工现场受城市交通、周边建筑及地下设施制约,若基坑边荷载未控制或支护体系拆除程序不合理,则可能触发

【作者简介】孙荔晨(1992-),男,中国四川成都人,本科,助理工程师,从事水利水电,市政地铁施工及管理研究。

围护结构失效、变形加剧的问题。此外，基坑深度、支撑结构拆除时机、纵横比、施工顺序等因素的交叉作用，使得明挖/盖挖工法在地铁工程中成为高风险作业类型。

2.3 重型机械吊装与起重设备作业风险

在地铁施工中，大型起重设备、履带吊、塔吊、盾构机段吊运、梁体吊装、轨道构件安装等环节频繁出现。根据地铁建设事故规律分析统计，起重伤害、高空坠落、物体打击是施工事故的高发类型。若施工单位未严格执行吊装方案审批、吊装设备验收、吊具维护、起重机械操作资格审核、吊点布置与轨迹规划、信号协调等环节，吊装作业中容易出现吊臂侧翻、索具断裂、履带吊侵入轨道、与列车或既有设施碰撞的情况。近期某城市轨道交通建设项目中，就发生了吊车侵入轨道区间事故，暴露了吊装管理与轨道安全隔离不到位的问题。此外，起重作业往往与高处作业、物料集中、空间受限等条件叠加，缺乏作业平台防护、物体打击防范、人员安全距离保障等，也成为施工现场安全风险的重要来源。

2.4 周边既有建筑、地下管线及交通环境交叉影响风险

地铁施工位于城市地下环境，常穿越公路、地铁既有线、供水、供电、燃气、通信等城市生命线设施；同时施工区与城市交通、商业活动、人流密集区邻近。地铁施工集中在人口居住或商业密集区，一旦坍塌、爆炸、火灾、地下管线破坏事故发生，其影响不仅限于施工内部，还可能波及周边建筑及城市运行功能^[2]。若施工单位未开展详尽的管线调查、周边环境踏勘、交通疏导、防护及应急预案，则施工过程中可能破坏原有管线，造成燃气泄漏、供水中断、交通拥堵或施工压挤引发周边结构裂缝。此外，施工过程中土体扰动、噪声、振动、排水变形、交通组织干扰等因素也可能诱发周边建筑物沉降、裂缝或基坑失稳。

3 地铁工程施工现场安全风险管控要点

3.1 针对地质水文不良条件的风险控制

为适应地铁隧道在复杂岩层和突变水文环境中的施工需求，需在进场前依据详勘成果构建地质单元分区体系，通过对土体结构、水压梯度、软弱夹层连续性、富水通道的剖面化识别，形成可直接用于施工组织与支护参数匹配的风险底图；在此基础上，施工方案中应细化超前探查矩阵，包括采用长钻孔地质预探、分级帷幕水压试验及节理裂隙充填判别程序，以校核已知地质模型的可信度。对于揭示为高渗透性砂层、断层破碎带及承压水突涌敏感区段，应提前布设分区化注浆体系，通过分序袖阀管注浆、变浆液黏度调控及压力封控试注，构建逐段成型的加固屏障，并在隧道掌子面推进中实施围岩应力响应监测，以捕捉应力卸载、渗流迁移及变形突变迹象。当实测地质与勘察模型产生偏移时，应立即启动再识别程序，通过地质素描、围岩结构面再测及原位渗

透参数复测，修正施工参数与支护结构组合。在富水地层掘进过程中，还需构建动态降水与水压-变形耦合控制体系，通过井点降水、局部反滤减压及渗流场重构校核，限制水头波动对围岩稳定性的影响；地表沉降与隧道周边收敛的监测频率应按风险等级差异化配置，使监测曲线可与支护刚度、注浆扩散半径及围岩软化趋势形成闭环校验，从而实现风险单元在推进过程中的实时调整。

3.2 针对基坑开挖与明挖/盖挖作业空间受限风险的管理

在基坑开挖及明挖/盖挖施工阶段，针对作业空间受限所引发的风险，作为地铁工程施工现场安全风险管理工程师，应从以下几方面予以专业化控制。首先，在专项安全技术方案编制阶段，应依据《城市轨道交通工程建设安全风险技术管理规范（DB11/1316-2016）》中有关支撑体系轴力、围护结构变形监测、边坡边荷载控制的要求，明确施工段内土方开挖方式、支撑结构布置、预加轴力节点、加固节点与监测节点。方案应包括图纸会审、施工方案会审、安全专家论证流程，确保对基坑支护形式（如内支撑、拉锚、锚杆墙、地下连续墙）与开挖顺序（分段或分层）作出明确界定^[3]。其次，施工单位应按照进度合理组织拉槽开挖与支撑同步施工，支撑装置应在土方卸载前完成节点校核、组装精度验收、预加轴力实施。具体做法包括采用专用张拉设备对支撑件预加轴力，轴力值应按照设计比例（例如预加至设计轴力的80%~90%）施加并进行锁定检查，所有支撑构件加工、焊接、装配应符合支护体系节点加工质量要求，并作为施工质量验收内容^[4]。再次，应严格控制支护体系拆除顺序与边坡边荷载作用管理，在拆除支撑前，应确认主体结构混凝土强度已达到设计要求（通常不低于其标号强度的70%），拆除时应分段、分层进行，同时设置填充回泻或“肥槽”回填措施以恢复侧壁支撑土体，避免支撑卸荷瞬间引发土体变形。然后，监测系统必须设置沉降监测、支撑轴力监测、支护构件变形监测三大类指标。监测频率应由方案中明定（例如每日一次初期、土方深度达到关键节点后增加至每2h一次），预警值一旦被触发（如支撑轴力下降超过10%、支护变形超过允许值1/1000、地表沉降率超过设计值的50%）须立刻暂停土方开挖，启动支撑强化或方案调整。最后，施工现场周边交通、既有建筑物、地下管线等位于空间受限区段时，施工荷载、材料堆放、机械车辆行驶引起的侧壁荷载不得超过边壁设计荷载的80%，需设置施工堆载区、车辆通行区与基坑边缘距离不小于支护结构设计要求，并对行驶车辆轨迹、堆载区位置进行动态检查，防止因不当荷载引起支护结构变形或倾移。

3.3 针对起重机械吊装与重型设备作业风险的管控

在地铁工程施工现场，针对起重机械吊装与重型设备作业风险的管控应围绕以下关键环节展开。首先，在吊装方案编制阶段，应由施工单位组织结构验算、轨迹分析及吊点