

市政工程地铁项目施工中的深基坑施工技术研究

李秀健

天津国际工程建设监理有限公司 天津 300353

摘要：市政工程地铁项目深基坑施工涉及地质条件复杂、周边环境敏感等挑战，其核心技术涵盖支护结构选型（如地下连续墙、SMW工法、排桩支护）、降水排水系统设计（井点降水、深井降水）、时空效应控制的分层分段开挖、实时监测预警体系，以及逆作法等创新工艺。施工需兼顾安全性、稳定性与环保性，通过动态调整参数、强化支护力学性能、严控降水效果等措施，有效应对软土变形、承压水突涌等风险，保障地铁建设高效推进。

关键词：市政工程；地铁项目施工；深基坑施工技术

引言：随着城市化进程加速，地铁建设成为缓解交通压力的关键举措，而深基坑工程作为地铁施工的核心环节，其技术难度与安全风险日益凸显。深基坑施工需应对复杂地质条件、高水位渗透、周边环境敏感等多重挑战，任何失误都可能引发支护失稳、周边建筑沉降等严重后果。因此，深入研究深基坑施工技术的优化策略、风险控制及创新应用，对保障地铁工程安全、提升施工效率、实现城市可持续发展具有重要意义。

1 深基坑施工技术基础理论

1.1 深基坑工程特点与分类

深基坑工程具有开挖深度大、地质条件复杂、对周边环境敏感三大核心特点，施工中需兼顾安全性与环境协调性。其分类主要有三类：按开挖深度可分为浅层（3-5m）、中层（5-10m）、深层（>10m）基坑，深层基坑需更严格的支护措施；按地质条件可分为软土基坑、岩石基坑、混合地层基坑，软土基坑易出现沉降变形，需重点控制；按周边环境可分为城市中心基坑（临近建筑/管线）、郊区基坑（环境约束少），前者需强化监测与防护。

1.2 深基坑施工核心原理

（1）土压力理论：是支护设计的核心依据。主动土压力指土体主动挤压支护结构的力，被动土压力指支护结构推挤土体产生的反力，二者需通过现场试验确定；水土合算适用于渗透性弱的黏土层，将水压力计入土压力统一计算，水土分算适用于砂层等强透水层，需分别计算土压力与水压力，避免水压力叠加导致结构破坏。

（2）支护结构力学模型：根据支撑数量分为三类。悬臂式支护依赖结构自身刚度平衡土压力，适用于浅基坑；单支点支护通过锚杆或内支撑提供单点反力，适用于中层基坑；多支点支护通过多层支撑形成多点受力体系，适用于深层基坑，可有效控制结构变形。

1.3 关键技术体系

（1）支护技术：地下连续墙适用于复杂地层与周边环境敏感区域，具有刚度大、防渗性好的特点；排桩支护由钻孔灌注桩或预制桩组成，施工便捷，成本较低，适用于中等深度基坑；SMW工法通过水泥土搅拌桩与型钢结合，兼具支护与防渗功能，绿色环保，适用于软土地区。（2）降水与排水技术：管井降水通过深井泵抽取地下水，降水深度大，适用于砂层等强透水地层；轻型井点降水通过真空系统降低地下水位，降水范围广，适用于黏土层与浅层基坑，可有效防止基坑突涌。（3）土方开挖与支撑技术：采用分层分段开挖方式，控制开挖速度与深度，避免土体应力集中；结合时空效应原理，缩短开挖面暴露时间，及时施加支撑，确保基坑稳定性，适用于各类深度基坑。（4）监测与信息化施工技术：通过变形监测（如沉降、位移监测）实时掌握基坑与周边建筑变形情况；建立风险预警系统，当监测数据超限时及时发出预警，调整施工方案，实现信息化动态管控，保障施工安全^[1]。

2 市政工程地铁项目施工中的深基坑施工关键技术分析

2.1 支护结构选型与优化

（1）不同地质条件下的支护结构适应性：地铁深基坑穿越地层复杂，需针对性选型。软土地层（如淤泥质黏土）易产生大变形，优先选用SMW工法或地下连续墙，前者通过水泥土与型钢协同受力控制沉降，后者凭借防渗性强的特点避免管涌；岩层地层（如中风化花岗岩）强度高、稳定性好，可采用排桩支护（如钻孔灌注桩），减少施工成本与工期；砂卵石层渗透性强、易坍塌，需采用“排桩+止水帷幕”组合体系，通过高压旋喷桩形成防渗屏障，搭配灌注桩抵抗侧向土压力。（2）支护结构力学性能对比：从刚度来看，地下连续墙刚度最

大(弹性模量约25-30GPa),能有效限制基坑变形,适用于临近既有地铁线或建筑群的区域;排桩支护刚度次之(弹性模量约20-25GPa),变形控制能力适中,适用于对变形要求中等的路段。从经济性分析,SMW工法型钢可回收,综合成本比地下连续墙低15%-20%;排桩支护施工工艺成熟,成本比SMW工法再低10%左右,需根据项目预算与变形控制要求平衡选择。

2.2 降水与排水技术

(1)复杂地下水条件下的降水方案设计:地铁基坑常面临潜水、承压水双层水位,需分层降水。潜水层采用轻型井点或管井组合,如在黏土层设置轻型井点降低表层水位;承压水层需布设深井管井,井深需穿透承压含水层,配备大功率深井泵,确保降水后承压水位低于开挖面1-2m,防止基坑突涌。同时,在基坑周边设置截水沟与集水井,及时排出地表雨水与施工积水。(2)抗浮稳定性分析与抗浮措施:当地铁基坑开挖深度大、地下水位高时,需验算抗浮稳定性。若验算不满足要求,可采用抗浮锚杆或抗浮桩,抗浮锚杆通过钻孔植入锚杆体,注浆固化后提供抗拔力,适用于软土与砂层;抗浮桩选用预制桩或灌注桩,深入稳定岩层,适用于岩层地层。此外,可利用基坑顶部堆载(如沙袋、钢筋堆)增加配重,提升抗浮能力^[2]。

2.3 土方开挖与支撑施工

(1)分层分段开挖的时空效应控制:遵循“分层开挖、分段支护、限时完成”原则,每层开挖深度不超过2m,分段长度根据地层稳定性确定(软土段不超过15m,岩层段不超过25m)。开挖过程中控制开挖速度,软土段每日开挖进度不超过3m,减少土体扰动;开挖面暴露时间不超过24小时,及时施作支撑,利用时空效应降低基坑变形风险。(2)支撑体系的安装与拆除技术:钢支撑安装需采用吊装设备精准就位,轴线偏差控制在±50mm内,安装后及时施加预压力(按设计值的70%-80%),补偿支撑变形;混凝土支撑采用分段浇筑,预留施工缝,养护强度达到设计值的80%后方可开挖下层土方。拆除时遵循“先换撑、后拆除”原则,钢支撑采用气割分段拆除,混凝土支撑采用静态爆破拆除,避免对围护结构产生冲击。

2.4 动态监测与信息化施工

(1)监测内容:重点监测围护结构变形(水平位移、竖向沉降,监测频率1次/天)、地表沉降(监测范围为基坑外2-3倍开挖深度,预警值30mm)、地下水位(每2小时监测1次,控制水位降深符合设计要求),同时监测临近建筑物、地下管线的沉降与位移,布设测斜

管、沉降观测点与水位观测井^[3]。(2)监测数据实时反馈与施工参数动态调整:建立监测数据实时传输系统,将数据接入信息化管理平台,通过数据分析软件生成变形曲线。若监测数据接近预警值,及时调整施工参数,如减缓开挖速度、增加支撑预压力、加密降水频率;若数据超预警值,立即停止开挖,采取应急措施(如回填土方、增设临时支撑),待变形稳定后再恢复施工。

3 市政工程地铁项目施工中的深基坑施工风险与应对措施

3.1 常见风险类型

(1)支护结构失稳:是地铁深基坑施工的核心风险,主要表现为倾覆、滑移与隆起。倾覆风险多因支护结构刚度不足或入土深度不够,在软土地层中,若钢支撑预压力施加不足,易导致围护桩向基坑内侧倾斜倾覆;滑移风险常发生于砂卵石层,因地层抗剪强度低,支护结构受侧向土压力作用,可能沿地层薄弱面发生水平滑移;隆起风险多见于高水位软土地层,基坑开挖后底部土体卸荷,若抗浮措施不到位,易出现坑底土体向上隆起,严重时导致支护结构断裂。(2)周边环境影响:地铁基坑多位于城市核心区,易对周边管线与建筑物造成破坏。当地铁基坑临近给水管、燃气管等柔性管线时,基坑变形会牵拉管线,导致接口渗漏甚至破裂,引发停水、燃气泄漏等事故;若周边存在老旧建筑物,基坑开挖引起的地层沉降会导致建筑物墙体开裂、地基不均匀沉降,严重时威胁建筑结构安全。(3)地下水渗透与突涌风险:在高富水地层或存在承压水层的地铁基坑中,易出现地下水问题。当地下水通过支护结构缝隙、降水井管涌等途径渗透至基坑内部时,会导致坑底积水,影响土方开挖与混凝土浇筑施工;若承压水层水头压力超过基坑底部土体抗剪强度,会引发基坑突涌,导致坑底土体瞬间隆起,破坏支护体系,造成重大安全事故。

3.2 风险控制措施

(1)风险评估方法:在施工前需采用专业方法开展风险评估。层次分析法通过构建“目标层-准则层-指标层”评估体系,将支护结构刚度、地层稳定性、周边环境敏感性等因素量化,计算各风险因素权重,确定风险等级;模糊综合评价法针对地铁基坑施工风险的模糊性特点,通过建立模糊评判矩阵,对支护失稳、管线破坏等风险进行多因素综合评价,明确高风险环节,为后续防控提供依据。(2)应急预案与抢险技术:需制定完善的应急预案,并配备专业抢险设备与材料。当出现支护结构位移超标时,立即采用注浆加固技术,通过向支护

结构周边地层注入水泥浆,提高土体强度,限制结构变形;若发生坑底隆起或管涌,迅速采用回填反压措施,向基坑内回填砂石、黏土等材料,平衡地下水压力,阻止险情扩大;针对管线破坏事故,提前储备应急抢修器材,一旦发生渗漏,立即关闭上下游阀门,组织专业队伍进行抢修,减少事故影响范围。同时,需定期开展应急演练,提升施工人员抢险处置能力,确保风险发生时能快速响应、有效处置^[4]。

4 市政工程地铁项目施工中的深基坑施工技术发展趋势

4.1 智能化施工技术的应用

(1) BIM技术:在地铁深基坑施工中,BIM技术可实现全流程数字化管控。通过三维建模整合地质勘察数据、支护结构设计参数,构建可视化基坑模型,直观呈现基坑与周边管线、建筑的空间关系;利用碰撞检测功能,提前排查支护结构与地下管线的冲突(如排桩与燃气管交叉),避免施工中返工。同时,BIM模型可关联施工进度计划,动态模拟土方开挖、支撑安装流程,优化施工工序,减少工期延误。(2) 自动化监测系统与AI预警:传统人工监测逐渐被自动化系统取代,通过布设物联网传感器(如测斜仪、沉降计),实时采集围护结构变形、地下水水位数据,数据传输频率可达1次/15分钟,大幅提升监测效率。结合AI算法对监测数据进行分析,建立风险预测模型,当数据出现异常趋势(如变形速率突增)时,系统可自动触发预警,推送信息至管理人员手机端,相比人工判断缩短预警响应时间80%以上,降低事故发生概率。

4.2 绿色施工技术

(1) 节能型支护材料:绿色材料成为支护结构发展方向。可回收钢支撑采用高强度钢材制作,施工结束后拆除回收,重复利用率达90%以上,相比一次性混凝土支撑减少钢材消耗30%;低碳混凝土通过掺加粉煤灰、矿渣粉等工业废渣替代部分水泥,降低碳排放40%,同时保持混凝土强度满足支护要求,适用于地铁基坑混凝土支撑施工,兼顾环保与结构安全。(2) 施工废弃物资源化利用:针对基坑开挖产生的渣土,不再简单外运填

埋,而是通过破碎、筛分处理,将合格渣土加工为再生骨料,用于制作基坑回填材料或临时便道基层,资源化利用率可达75%以上;支护结构拆除产生的混凝土块、钢筋等废弃物,分类回收后送专业厂家处理,钢筋重新熔炼加工,混凝土块破碎后用作路基填料,实现“变废为宝”,减少环境负担^[5]。

4.3 复杂地质条件下的技术创新

针对岩溶地区、高富水地层等特殊地质,适应性技术不断突破。在岩溶地区,采用“地质雷达探测+超前注浆加固”技术,提前探明溶洞分布,通过向溶洞注入水泥-水玻璃双液浆,填充溶洞并加固周边岩体,防止基坑开挖时出现溶洞坍塌;在高富水地层,研发“新型止水帷幕+智能化降水”组合技术,新型止水帷幕采用高压喷射注浆与深层搅拌桩复合工艺,提升防渗效果,搭配智能化降水系统根据水位变化自动调节抽水泵功率,实现精准降水,避免水资源浪费,保障基坑施工安全。

结束语

市政工程地铁项目中的深基坑施工技术研究,是保障城市轨道交通建设安全与效率的核心课题。通过科学选型支护结构、精准设计降水排水方案、严格把控土方开挖与支撑时序,并依托动态监测与信息化管理,可有效化解复杂地质与周边环境带来的风险。未来,随着智能化、绿色化技术的融合应用,深基坑施工将向更高效、环保、安全的方向迈进,为城市地下空间开发提供坚实的技术支撑,助力市政工程高质量发展。

参考文献

- [1]李永力,徐静.关于市政工程施工中的深基坑施工技术探讨[J].工程技术:文摘版,2020,(05):40-41.
- [2]丁倩茹.市政工程中的深基坑施工技术分析[J].商品与质量,2021,(04):78-79.
- [3]孙道勋.关于市政工程施工中的深基坑施工技术探讨[J].建筑工程技术与设计,2020,(05):32-34.
- [4]罗志强.市政工程深基坑施工技术研究[J].科学与财富,2021,(14):143-144.
- [5]毛海强.地铁深基坑逆作施工的数值模拟与实测分析研究[J].中国标准化,2021,6(24):140-141.