

市政工程深基坑施工工艺及质量安全控制

李泳潼

天津公路工程设计研究院有限公司 天津 300170

摘要: 市政工程深基坑施工工艺涵盖地质勘察、支护结构选型、降水排水、土方开挖与回填等环节,需根据地质条件、周边环境及地下管线分布制定科学施工方案。质量安全控制需严格把控材料验收、支护结构变形监测、降水水位动态管理等关键节点,结合BIM技术模拟优化施工流程,落实应急预案与日常巡查机制,通过全过程信息化管理确保深基坑工程稳定性,有效降低对周边环境及地下设施的影响。

关键词: 市政工程;深基坑施工工艺;质量安全控制

引言:在城市高速发展的背景下,市政工程建设不断向地下空间拓展,深基坑工程数量与深度持续增加。其施工面临地质条件复杂、周边环境约束多、施工风险高等难题,支护结构失稳、降水失效、土方开挖不当等问题易引发严重安全事故,对周边建筑及地下管线安全构成威胁。因此,深入研究深基坑施工工艺,强化质量安全控制,是保障工程顺利推进、维护城市运行安全的重要课题。

1 市政工程深基坑施工工艺分析

1.1 施工准备阶段

(1) 地质勘察需采用钻探与原位测试相结合的方式,探明土层分布、承载力及地下水位埋深,同时对周边地下管线进行物探与人工探坑验证,标注给水管、燃气管等重要管线的埋深、管径及走向,对邻近建筑需检测基础类型、沉降历史数据,绘制周边环境风险分布图。

(2) 施工方案编制需结合地质条件明确支护结构选型,降水方案需计算涌水量确定井点数量,开挖方案需划分施工段与流水节拍,专家论证时重点审查支护结构内力计算、降水对周边建筑的影响评估、开挖过程中的应急措施,论证通过后需对施工人员进行方案交底并留存记录。(3) 机械设备需检查振拔锤的额定功率、振动频率是否满足钢板桩插打要求,真空泵需进行真空度测试确保吸力达标,PVC井点管需检查壁厚、垂直度及接口密封性,材料方面需准备优质膨润土用于泥浆护壁,水泥、砂石需送检确保满足喷射混凝土强度要求,各类物资需建立台账并分区存放。

1.2 核心施工工艺

1.2.1 支护结构施工

(1) 钢板桩支护前需测量放线安装导向架,确保其轴线偏差 $\leq 50\text{mm}$ 、顶面高程偏差 $\leq 20\text{mm}$,插打顺序采用从一角向另一角逐根插打的方式,遇到硬土层时采

用振动与静压结合的方法,合拢阶段需提前计算合拢口尺寸,预留 $100\text{--}200\text{mm}$ 调整量,防渗处理时在锁口处涂抹黄油与沥青混合物,对发现的缝隙采用钢板焊接补漏,确保渗漏量 $\leq 0.1\text{L}/(\text{m}\cdot\text{d})$ 。(2) 地下连续墙施工中成槽需采用液压抓斗,控制槽段垂直度偏差 $\leq 1/500$,泥浆护壁需控制泥浆比重 $1.05\text{--}1.15$ 、黏度 $18\text{--}22\text{s}$,钢筋笼吊装采用双机抬吊,避免钢筋笼变形,接头处理时使用刷壁器在槽段接头处往返刷壁20次以上,直至刷壁器带出的泥浆无杂质,浇筑混凝土时采用导管法,确保导管埋深 $2\text{--}6\text{m}$ 。(3) 土钉墙支护需按分层开挖厚度 $\leq 1.5\text{m}$ 进行,成孔采用螺旋钻机,孔径宜为 $70\text{--}120\text{mm}$,孔深偏差 $\leq 50\text{mm}$,注浆材料采用水泥浆,水灰比 $0.5\text{--}0.6$,注浆压力 $0.2\text{--}0.4\text{MPa}$,喷射混凝土采用干喷法,骨料最大粒径 $\leq 15\text{mm}$,混凝土强度 $\geq \text{C}15$,喷射厚度初喷 $30\text{--}50\text{mm}$ 、复喷至设计厚度^[1]。

1.2.2 降水与排水技术

(1) 井点降水时轻型井点管间距按 0.8m 布置,井点管理深需超过基坑底 $1\text{--}2\text{m}$,真空泵启动后需维持真空度 $\geq 60\text{kPa}$,抽水过程中需通过观测井监测地下水位,确保水位降至基坑底以下 $0.5\text{--}1\text{m}$,观测频率为每 2h 一次,记录水位变化数据并绘制水位降深曲线。(2) 明沟排水需在基坑周边及内部设置集水坑,集水坑尺寸宜为 $1\text{m}\times 1\text{m}\times 1.5\text{m}$,间距 $20\text{--}30\text{m}$,采用泥浆泵进行二次提灌,泵的扬程需满足排水高度要求,排水波纹管连接时采用承插式接口并缠绕防水胶带,排水需引至市政排水系统,避免回流污染基坑。

1.2.3 土方开挖与回填

(1) 分层分段开挖需严格控制每层开挖深度 $\leq 1.5\text{m}$,相邻土体高差 $\leq 1.5\text{m}$,开挖机械采用反铲挖掘机,配合人工进行边坡修整,边坡坡度按设计要求控制,偏差 $\leq 5\%$,开挖过程中需避免机械碰撞支护结构,

夜间施工需设置照明设备并采取降噪措施。(2) 回填土需选用素土或灰土, 分层夯实厚度200-300mm, 采用蛙式打夯机夯实, 每层夯实3-4遍, 密实度需达到设计要求, 采用灌砂法进行检测, 每100m³至少检测1点, 含水率控制在最优含水率±2%, 判断标准为手握成团、轻捏即散, 回填过程中需做好每层回填记录^[2]。

1.3 施工监测与信息化管理

(1) 监测内容中支护结构变形采用测斜仪, 在支护结构内预埋测斜管, 测量精度 ≤ 1mm, 周边地表沉降采用水准仪, 按二等水准测量精度控制, 每5-10m设置一个监测点, 地下水水位变化采用水位计, 测量误差 ≤ 2mm, 监测数据需及时整理分析。(2) 监测频率需根据开挖深度动态调整, 开挖阶段每天监测1次, 底板浇筑后每3天监测1次, 当监测数据接近预警值时, 加密监测频率至2次/d, 监测数据需绘制变化曲线, 若出现异常需立即停止施工并启动应急预案。(3) BIM技术应用需建立地质模型、支护结构模型与周边环境模型, 模拟施工工况时重点分析开挖过程中支护结构的应力变化, 优化支护结构的布置与开挖顺序, 减少施工风险, 施工过程中需将实际监测数据与BIM模型模拟数据对比, 及时调整施工参数。

2 市政工程深基坑质量安全风险识别与评估

2.1 质量风险识别

(1) 支护结构失效风险中, 钢板桩渗漏多因锁口焊接不严密、润滑油涂抹不均, 或插打时钢板桩变形导致缝隙, 雨季易加剧渗漏; 地下连续墙接缝开裂常源于刷壁次数不足(未达20次以上)、接头混凝土浇筑不密实, 受力后易出现纵向裂缝; 土钉墙抗拔力不足多因注浆水灰比超标(大于0.6)、注浆压力不足(低于0.2MPa), 或土钉锚固长度未达设计要求, 影响整体支护效果。(2) 降水失效风险里, 井点堵塞多由地下泥沙进入井点管、滤网破损所致, 导致抽水效率下降; 降水深度不足常因井点数量不足、真空泵真空度不够(低于60kPa), 使基坑内水位高于设计值, 易引发基坑底部土体隆起, 破坏地基承载力。(3) 土方开挖问题中, 超挖多因机械操作不当、未按分层开挖深度(≤ 1.5m)施工; 边坡失稳常源于开挖速度过快、未及时修整边坡或边坡坡度偏差超5%; 机械碰撞支护结构多发生在夜间施工, 因照明不足、机械操作视野受限, 易导致钢板桩倾斜、土钉墙破损。

2.2 安全风险识别

(1) 坍塌事故风险中, 支护结构嵌固深度不足会使支护体系抗倾覆能力下降, 在土体侧压力作用下易倾倒; 土体滑坡多因基坑周边堆载超标、地下水位骤升,

导致土体抗剪强度降低, 引发基坑边坡整体滑移, 危及施工人员安全。(2) 涌水涌砂风险多因降水方案不合理, 如井点布置间距过大(超过0.8m)、降水速度过快, 使基坑内外水头差过大, 引发管涌; 流砂常出现在细砂土层, 因降水不当导致土体颗粒失稳, 形成流砂现象, 掩埋施工设备。(3) 周边环境破坏风险中, 邻近建筑沉降超标多因降水导致周边地下水位下降, 使建筑地基土固结压缩; 地下管线断裂常因基坑开挖引起土体位移, 或机械开挖时碰撞管线, 尤其给水管、燃气管断裂易引发次生灾害^[1]。

2.3 风险评估方法

(1) 层次分析法(AHP)需先构建三级风险指标体系, 一级指标为质量风险、安全风险, 二级指标包括支护结构、降水、开挖等, 三级指标细化为地质条件(如土层类型)、支护形式(如钢板桩/土钉墙)、施工管理(如人员资质、设备维护), 通过两两比较确定指标权重, 计算综合风险值, 划分高、中、低风险等级。(2) 数值模拟需利用PLAXIS或MIDAS软件, 导入地质勘察数据(如土层承载力、地下水位)、支护结构参数, 模拟基坑开挖各阶段的土体位移、支护结构内力变化, 预测对周边建筑沉降(需控制在规范限值内)、地下管线变形的影响, 提前识别潜在安全隐患。

3 市政工程深基坑质量安全控制策略

3.1 施工工艺控制措施

(1) 支护结构施工前, 需对进场材料进行严格检验, 钢板桩需检查弯曲度(≤ 30mm)、锁口平整度, 采用游标卡尺测量壁厚偏差(≤ 1mm), 不合格材料严禁入场; 施工过程推行“6步验收法”, 即测量放线验收、导向架安装验收、桩体插打定位验收、接头防渗处理验收、支护结构垂直度验收(偏差 ≤ 1/500)、抗拔力检测验收, 每步验收需留存影像资料与签字记录, 实现质量全程追溯。地下连续墙施工中, 钢筋笼焊接需按规范进行探伤检测, 混凝土浇筑前需检查导管密封性, 确保浇筑过程无断桩、漏浆问题。(2) 降水系统需配置2台及以上备用发电机(功率不低于主泵总功率的1.2倍), 避免停电导致降水中断; 降水井需每周清理滤网, 采用高压水枪冲洗井内泥沙, 保证出水量稳定; 水位监控需布设自动化监测设备, 每30分钟采集一次数据, 当水位回升超500mm时自动触发预警, 及时调整抽水参数, 确保水位始终控制在基坑底以下0.5-1m, 防止基坑隆起^[4]。(3) 土方开挖严格遵循“时空效应”原则, 按“分层、分段、对称、限时”要求施工, 每步开挖长度控制在10-15m, 开挖深度 ≤ 1.5m, 且每步开挖后8h内

完成支撑安装,减少土体暴露时间;机械开挖时需预留200-300mm人工修坡层,避免超挖破坏原状土;开挖过程中安排专人监测边坡位移,当位移速率超2mm/d时,立即停止开挖并采取回填反压措施。

3.2 质量安全管理措施

(1)人员管理方面,特种作业人员需持有效证件上岗,振拔锤操作手、电焊工等需通过专项考核,考核不合格者严禁上岗;施工前需开展安全技术交底,针对支护结构施工、降水操作、开挖作业等关键环节,明确质量标准与安全风险点,交底需覆盖所有作业人员,且每人签字确认;定期组织技能培训,提升作业人员对突发情况的应急处置能力。(2)现场管理需在基坑周边2m范围内设置硬质围挡,危险区域(如基坑边缘、降水井周边)悬挂警示标志(含夜间警示灯),并设置1.2m高防护栏杆;施工机械作业半径内严禁站人,挖掘机、起重机等设备需安装限位装置,防止碰撞支护结构;每日开展安全巡查,重点检查支护结构完整性、降水系统运行状态、机械安全防护措施,发现问题立即整改,整改合格后方可继续施工。

(3)应急管理需编制专项应急预案,明确坍塌、透水、管线破裂等事故的处理流程,如坍塌事故发生时,先撤离人员并设置警戒区,再采用沙袋回填、注浆加固等方式控制险情;现场需配备足量应急物资,砂袋储备量不少于500袋,注浆设备(含水泥、水玻璃)需随时待命,且每季度组织1次应急演练,检验预案可行性与人员协同能力,确保事故发生时能快速响应^[5]。

3.3 技术创新应用

(1)智能化监测需在支护结构、周边建筑、地下管线布设物联网传感器,支护结构变形采用测斜传感器(精度 $\leq 0.1\text{mm}$),地下水位采用液位传感器,数据通过5G网络实时传输至监控平台,当监测值接近预警值时,平台自动向管理人员发送短信、APP报警,实现

风险提前预判;同时利用大数据分析技术,对比历史监测数据,预测风险发展趋势,为施工调整提供依据。

(2)绿色施工方面,泥浆处理采用分离回收系统,将地下连续墙施工产生的废弃泥浆分离为水、砂、泥饼,水可循环用于泥浆制备,砂可用于回填,泥饼经固化处理后外运,减少固废排放;选用低噪音振动锤(噪音 $\leq 70\text{dB}$)、电动挖掘机等设备,降低施工噪音污染;扬尘控制需在基坑周边安装雾炮机(覆盖半径 $\geq 30\text{m}$),配合洒水车定时洒水,使施工现场扬尘浓度 $\leq 0.5\text{mg}/\text{m}^3$,符合环保要求。

结束语

市政工程深基坑施工工艺的精细化管理及质量安全控制,是保障工程安全、提升建设品质的核心环节。通过科学的地质勘察、规范的支护结构施工、动态的降水排水调控以及严格的土方开挖与回填管控,可有效降低施工风险。同时,结合信息化监测手段与应急管理机制,能实时预警隐患、快速响应处置。未来需持续优化工艺创新,强化全生命周期安全管理,为城市地下空间开发提供更可靠的技术支撑与安全保障。

参考文献

- [1]李珊珊.市政工程深基坑施工技术探究[J].城市建筑空间,2022,29(S2):502-503.
- [2]江满意.市政工程深基坑支护的难点与解决措施[J].中国建筑金属结构,2022,(11):43-45.
- [3]张亮,徐欢欢,张坤杰,琚波,徐豪乐.市政工程深基坑施工工艺及质控措施[J].建筑与预算,2022,(07):71-73.
- [4]黄丹静.市政工程施工中的深基坑施工技术分析[J].住宅与房地产,2022,(13):209-211.
- [5]周强.市政道路深基坑施工技术探讨[J].智能城市,2021,7(17):157-158.