

市政工程中深基坑支护技术及其施工安全探讨

张婉莹

江苏捷达交通工程集团有限公司 江苏淮安 223000

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18449

[摘要] 本文系统梳理了市政工程中深基坑支护技术的分类与适用场景,包括排桩支护、钢板桩支护、地下连续墙支护及组合式支护技术,分析了各类支护结构的力学特性与工程应用条件。在此基础上,重点探讨了深基坑施工过程中的安全风险防控要点,包括地质与水文条件动态评估、支护结构稳定性监测、施工机械与作业安全管控以及应急预案的制定与实施。结合实际工程案例——淮安市经开区防汛排涝建设工程,详细阐述了钢板桩支护技术的施工流程、常见问题处理措施及智能支护系统的应用效果,为类似市政工程提供技术参考与管理借鉴。

[关键词] 市政工程; 深基坑支护技术; 施工安全

在市政工程中深基坑施工属于城市地下空间开发关键部分,其支护技术和工程安全、环境稳定以及施工效率密切相关,如今随着城市化推进深基坑工程面临地质复杂、周边环境敏感和施工空间受限等难题,对支护技术创新和安全管理要求变得越来越严苛,本文会围绕深基坑支护技术分类来剖析其适用场景,梳理施工要点以明确具体操作规范,探讨安全风险防控策略从而降低事故发生概率,并且结合实际案例分析为市政工程深基坑施工提供切实可行技术参考。

1 深基坑支护技术分类及适用性分析

1.1 排桩支护技术

排桩支护技术是把钢筋混凝土灌注桩或者挖孔桩按一定间距排列来形成挡土结构,桩的后面经常结合高压旋喷桩等形成止水帷幕,并且通过桩顶冠梁以及锚杆(索)或者内支撑体系形成空间协同受力结构,其核心设计指标是桩体的抗弯刚度 EI (这里 E 是桩身混凝土弹性模量, I 是桩截面惯性矩) 和桩间距 s , 这二者的比值 EI/s 直接决定支护体系的等效抗弯刚度,对于开挖深度 H 在 6 到 15 米的基坑,它的最大水平位移 δ_{\max} 通常能够通过弹性地基梁理论估算,比如采用 m 法的时候,位移与桩身挠曲微分方程

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} + mb_0 zy = q(z)$$

其中 m 代表的是地基土水平抗力系数, b_0 指的是桩身计算宽度, $q(z)$ 表示的是侧向土压力分布,该技术由于施工振动比较小且成桩质量能够得到控制,所以特别适合应用在对变形敏感的城市密集区基坑,它的变形控制能力很突出,通过合理配筋来提高截面惯性矩 I , 并且配合预应力锚杆提供额外约束反力 F , 能够把变形严格控制在规范允许值以内(例如 $0.002H$ 或者 30mm)。

需要注意的是,在饱和软黏土这类地层当中,坑内降水

所引发的固结沉降有可能会增大桩后土压力,要通过计算来验证桩身强度是否能够满足要求

$$M_{\max} \leq [M] = f_y A_s (h_0 - a'_y)$$

f_y 代表的是钢筋屈服强度, A_s 代表的是受拉钢筋面积,并且常常在桩间增设旋喷桩或者网喷混凝土来防止土体流失。

1.2 钢板桩支护技术

钢板桩支护具有施工速度快、可重复利用等优点,适用于适用于 5 米以上深度的基坑。施工流程包括定位放线、引孔、打桩、围檩与支撑施工、拔桩及转角处理等环节。常见问题包括钢板桩倾斜、带桩下沉、长度偏差、穿透力不足、锁扣脱开等,需采取相应预防与纠正措施(详见表 1)。

1.3 地下连续墙支护技术

地下连续墙支护技术是借助成槽机械在地下挖出有一定宽度和深度的槽段,接着在槽内放置钢筋笼并且浇筑混凝土从而构建起钢筋混凝土墙,这一刚性结构具备挡土承重以及截水等多种功能,能够有效抵御土体侧向压力防止地下水渗漏,该技术特别适用于开挖深度超过 15m 且周边环境敏感的超深基坑,例如高层建筑地下室和地下综合体等相关工程,其优势十分显著,刚度大可以承受较大土压力,抗渗性强能够适应复杂地质条件,施工精度高可以严格把控周边变形保障周边建筑物及地下管线安全,不过它也存在一些局限,造价相对较高施工周期比较长,并且需要专业的成槽设备和混凝土浇筑设备等支持,对施工团队的技术水平和设备配置要求比较高^[1]。

1.4 组合式支护技术

组合式支护技术会把多种支护形式进行有机结合,比如将排桩和锚杆、钢板桩与内支撑等搭配起来,从而构建起复合的支护体系,在应对地质条件复杂且开挖深度大的基坑工

程时, 这项技术的优势就会充分展现出来, 像软土跟岩层交界地带这种施工难题频繁出现的区域极为适用, 不同的支护形式能够优势互补, 排桩可以有效阻挡土体出现的侧向位移, 锚杆或者内支撑则能够提供强大的拉力或者支撑力, 显著提升整体的稳定性, 大幅降低单一支护形式因地质变化或者施工扰动而失效的风险, 以某市政管网工程作为例子, 采用“排桩+预应力锚杆”组合支护之后, 精准控制基坑变形在 10mm 以内, 成功保障邻近 3 米内高压管线的安全, 充分验证组合式支护技术在复杂地质深基坑工程中的可靠性与有效性^[2]。

2 深基坑施工安全风险防控要点

2.1 地质与水文条件动态评估

地质与水文条件动态评估是保障深基坑施工安全的关键前置环节, 施工之前要开展详细地质勘测工作, 精准掌握土层分布、地下水位、岩石强度等核心参数, 凭借这些识别软土流变、砂层液化等潜在风险情况, 软土流变有可能引发支护结构出现过大变形问题, 砂层液化在地震或者振动作用下会丧失承载能力, 基于勘测结果需要针对性地优化支护设计方案, 比如针对深厚软土增加桩长、加密桩间距来增强支护刚度, 对于高水位砂层采用降水井降低地下水位或设置止水帷幕阻断水流, 某地铁站基坑因前期未充分考量砂层透水性, 施工时发生突涌情况, 后续通过增设降水井与止水帷幕有效控制险情保障施工安全^[3]。

2.2 支护结构稳定性监测

支护结构稳定性监测对深基坑施工安全起到重要保障作用, 监测内容涉及多个不同方面, 要密切留意支护结构位移倾斜以及裂缝发展情况, 这些指标能直观体现支护结构受力状态与完整性, 周边地表沉降监测可判断基坑开挖对周边环境的影响程度, 地下水位变化监测关乎支护结构抗浮和土体稳定性状况, 当开挖深度超过 10m 时风险有所增大, 此时需要进行 24 小时实时监测工作, 一旦监测数据出现异常情况要立即停工整改, 以此防止事故影响范围进一步扩大, 在技术手段方面采用自动化监测系统, 比如传感器和激光测距仪等设备, 可实现数据的连续且精准的采集工作, 同时结合人工巡查方式来弥补自动化监测存在的盲区, 全方位保证监测数据的准确性和可靠性, 为基坑施工安全提供坚实保障^[4]。

2.3 施工机械与作业安全管控

施工机械和作业安全管控是保障基坑工程安全核心环节, 通过严格标准化管理实现对“人、机、环”风险系统控制, 其核心在于对施工动、静荷载进行空间与时间双重管控, 空间上严格执行机械安全作业距离以规避设备荷载对支护结

构稳定性不利影响, 时间上贯彻“分层、分段、及时支护”开挖原则严格控制每层土方开挖深度长度及无支撑暴露时间遵循时空效应原理防止围护结构因应力释放过快产生过量变形, 人员安全通过实体防护、个体防护与规范通道三位一体得到保障^[5]。

2.4 应急预案与事故处置

深基坑施工当中科学完备应急预案与高效有序事故处置十分重要, 预案制定要做到全面并且具有针对性, 针对坍塌渗水管线破坏等常见风险详细规划专项应急预案, 清晰明确规划好疏散路线确保人员能迅速撤离危险区域, 合理配置抢险设备像备用支护材料排水设备等用以应对突发状况, 同时明确各环节责任人以此保证应急工作能够有序开展, 除此之外定期组织应急演练也是必不可少的, 通过模拟真实事故场景让施工人员熟悉应急流程提升应急响应能力, 比如某工程开展基坑坍塌模拟演练施工人员经多次训练把应急响应时间大幅缩短至 5 分钟内, 有效降低事故可能造成的损失保障了施工安全^[6]。

3 案例分析

3.1 工程背景

主要在淮安经开区多个小区及市政道路雨污水管道改造, 项目周边情况复杂, 毗邻密集居民区, 基坑开挖可能引发土体移位、施工震动和噪音等问题, 会威胁居民住宅结构安全并干扰居民正常生活, 城区地下地质状况通常不太好, 常常含有软土或回填土等不良地层, 这进一步加大施工难度和潜在风险, 对支护方案选取和施工管控提出极高标准。

3.2 技术选择

工程是在狭窄城区道路下面进行开挖, 采用拉森钢板桩支护体系, 进桩时把桩卸到打拔机附近 6 米范围之内), 打拔机把桩夹起同时吊到打桩灰线上空, 两辅助工利用工具辅助打拔机对好方向。再沿灰线对好前一根桩的止口插入土体, 为了防止钢板桩的自然跟进, 第一根桩应高出地面 1 米左右, 后续钢板桩打之前应将前一根桩与前面的桩用钢筋临时焊接。配合型钢围檩与内支撑, 形成封闭式支护结构。施工中采用智能支护系统进行实时监测与数据反馈。

3.3 实施流程

严格执行定位放线、引孔、打桩、围檩与支撑施工、拔桩等工序。针对钢桩倾斜、锁扣脱开等问题, 采取纠偏措施、调整打桩工艺、加强锁扣防护等处理方法。表 1 为钢板桩施工中常见问题的系统性总结, 涵盖问题类型、主要原因及具体应对措施。

表 1 钢板桩施工常见问题及处理措施汇总表

问题类型	主要原因	处理措施
钢桩倾斜	1. 锤击力与咬合摩擦力位置不同，产生扭转力 2. 桩身存在扭转与底部曲折倾向 3. 土压力分布不均，桩身变形	- 轻度倾斜： a) 使用绞车反向牵引纠偏 b) 改用屏风式打入法 - 倾斜超过一桩宽： a) 采用楔形钢桩纠偏 b) 校核楔形桩结构强度 c) 避免连续使用楔形桩 d) 提前备料，避免中断
带桩下沉	1. 软土中桩身倾斜或弯曲 2. 在打桩咬合摩擦力大于相邻桩承载力	- 先进行倾斜纠正 - 在软土中预留打桩高度，视情况补打至设计标高 - 采用现场锁扣焊接或螺栓连接临时固定
钢桩墙长度偏差	1. 锁扣设计留有 2~3mm 空隙 2. 打桩时桩墙处于受压或受拉状态	- 长度增加（受拉状态）：调整为受压状态打桩 - 长度减小（受压状态）：调整为受拉状态打桩 - 每 20~30 根桩检查一次倾斜度 - 桩墙扭转时，在钢桩与导梁间加设卡板 - 仍无效时： a) 长度增加 → 打入较小宽度特制桩 b) 长度减小 → 打入较大宽度特制桩或多打一根正常桩
穿透力不足	土层阻力大，打桩设备功率不足	- 更换更大功率打桩机 - 采用高压喷水或钻土机辅助降低土层阻力
锁扣脱开	1. 砂土挤入锁扣空隙形成“楔现象” 2. 土壤脱水硬化，锁扣摩擦力增大	- 在锁扣下部加装栓帽或小螺栓 - 配合喷水防止土壤硬化 - 改用屏风式打入法，控制每次入土深度≤2~3m
钢桩接长质量不符	对接不平、焊缝质量不达标、接头位置不当	- 端头平齐，缝隙≤3mm，错位≤2mm，锁口对齐 - 采用坡口等强焊接，焊缝等级不低于二级 - 单根桩接头≤2 个，避开开挖面等受力大处，距坑底≥2m - 相邻桩焊缝错开≥1m - 拔桩后及时注浆

4 结论

市政工程当中深基坑支护技术合理选用特别重要，需要紧密结合地质条件周边环境特点和工程实际需求综合考量，实践过程中积极引入技术创新成果如智能支护系统等先进技术，能够有效优化深基坑支护的实际效果，与此同时实施精细化安全管理必不可少，借助动态监测及时掌握基坑状态并制定完备应急预案应对突发状况，可大幅提升施工安全性和整体效率。

[参考文献]

[1]高鹏, 高合川. 市政工程中深基坑支护施工技术提升探讨[J]. 新城建科技, 2025, 34 (01): 162-164.
 [2]严达兵. 市政工程深基坑支护施工技术研究[J]. 砖

瓦, 2024, (02): 150-152.

[3]张辉灶. 市政工程深基坑支护施工关键技术研究[J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (26): 199-201.
 [4]王喆. 市政工程中深基坑支护技术及其施工安全管理探讨[J]. 中国住宅设施, 2023, (05): 166-168.
 [5]仕坦. 市政工程深基坑支护施工关键技术研究[J]. 建筑与预算, 2023, (03): 55-57.
 [6]黄志刚. 市政工程深基坑支护施工关键技术[J]. 中国高科技, 2022, (17): 81-82.
 作者简介: 张婉莹, 1990.02.06, 汉族, 女, 陕西渭南, 本科, 工程师, 研究方向为道路工程、桥梁与隧道工程相关工作。