

江汉平原复杂环境下深基坑支护体系优化与实践

雷亚玲

湖北建艺岩土工程勘察设计有限公司, 湖北 荆州 434000

[摘要] 江汉平原老旧小区改造地下空间开发中, 深基坑工程普遍面临地下障碍物隐蔽性强、施工空间局促及周边建筑群对变形控制要求严格等难题。且本地区具有的地下水位高、深厚软土层(具有高压缩性、低渗透性等特点)进一步加剧了支护结构失稳与周边环境扰动风险。文章以某项目为例, 结合本地区工程地质条件、水文地质条件等特点, 提出“分阶段动态施工策略”为核心的深基坑支护技术路径, 突破复杂约束条件限制, 实现工程安全、绿色效益与施工效率的多目标平衡。相关成果可为长江中下游类似地质条件老城区基坑工程提供参考。

[关键词] 江汉平原软土地区; 城市更新项目; 分阶段动态施工; 分层降水措施

DOI: 10.33142/ec.v9i4.19466

中图分类号: TU741

文献标识码: A

Optimization and Practice of Deep Excavation Support System in the Complex Environment of Jianghan Plain

LEI Yaling

Hubei Jianyi Geotechnical Engineering Survey and Design Co., Ltd., Jingzhou, Hubei, 434000, China

Abstract: In the development of underground space for the renovation of old cities in the Jianghan Plain, deep foundation pit engineering generally faces challenges such as strong concealment of underground obstacles, limited construction space, and strict deformation control requirements from surrounding buildings. Moreover, the high groundwater level and deep soft soil layer (characterized by high compressibility and low permeability) in this region further exacerbate the instability of support structures and the risk of environmental disturbance in the surrounding area. The article takes a certain project as an example and combines the characteristics of local engineering geological and hydrogeological conditions to propose a deep foundation pit support technology path with a "staged dynamic construction strategy" as the core, breaking through the limitations of complex constraints and achieving a multi-objective balance between engineering safety, green benefits, and construction efficiency. The relevant achievements can provide reference for foundation pit engineering in old urban areas with similar geological conditions in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Keywords: soft soil area in Jianghan Plain; urban renewal projects; staged dynamic construction; layered precipitation measures

引言

随着我国城市化进程由增量扩张向存量更新转型, 城市核心区既有建筑拆除重建项目日益增多。此类工程往往面临“新旧交织”的复杂挑战, 一方面, 场地地下空间多密集分布着既有桩基、老房基础等障碍物, 导致基坑开挖前的排障施工与后续支护体系设计相互制约; 另一方面, 老旧小区更新项目多位于建成区核心地段, 基坑紧邻市政道路、既有建筑或运营设施, 存在着施工空间局促与环境保护要求严苛的矛盾。尤其在江汉平原等冲积平原地带, 高水位软土地区深基坑工程还需应对流变性土层引发的支护结构位移风险及承压水突涌隐患, 进一步放大了技术

实施难度。

当前, 类似工程实践中普遍存在几重矛盾, 单一支护模式难以兼顾多阶段施工(如障碍物清除、主体开挖)的动态需求, 易导致资源浪费或风险叠加; 地下水控制与土体变形控制的失衡可能导致周边道路开裂、建筑倾斜等次生灾害, 对周边环境造成不利影响。如何通过支护体系优化与施工组织创新, 在安全、成本与环境三者间寻求最佳平衡点, 已成为岩土工程领域的共性难题。

本文以江汉平原某城市更新项目工程实例, 分析如何通过经济合理的支护手段优化设计, 在保障基坑安全的同时降低对周边环境的影响, 为类似地质条件与空间约束下

的深基坑工程提供可推广的实践参考。

1 工程概况

本项目为老建筑爆破拆除后在原址新建项目,场地位于江汉平原腹地的荆州市,为商业综合体项目。本次工程主体为1#楼,设计为地上25层地下1层建筑,框剪结构。平面尺寸约60×80m,基坑面积约4500m²,周长300m。基础形式为钻孔灌注桩+筏板基础。经勘察单位与甲方确认,老建筑为地上18~20层地下1层建筑,勘察期间场地存在既有老建筑基础,由于老建筑年代久远,资料缺失,其平面分布等信息不详,故应先对老基础拆除排障,二次回填后施工工程桩,然后再进行项目主体结构基坑施工。

1.1 场地环境条件

场地南侧及西侧均为城市主干道,东侧为多层建筑,北侧为二期待建建筑。坑壁四周距用地红线约3.0m;坑壁距离道路边线约7.5~8.0m,既有道路分布有市政天然气管道、雨污管线及自来水管,其埋深约1.5~2.5m;坑壁距离多层建筑约4.5m,既有多层建筑为7~8层,桩基础。场地环境条件紧张,对变形极为敏感。

1.2 工程地质条件

项目场地属长江一级阶地地貌单元,地形平坦,本场区覆盖层主要为人工堆积层、第四系全新统冲积层及第四系上更新统冲洪积层。

(1) 人工堆积填土层分布在表部0~2.0m:主要为杂填土层,主要以碎石、碎砖等建筑垃圾为主,混少量粉砂及粉土,层厚约1.0m。该层属高压缩性,软硬不均,物理力学性质较差,属不均匀岩土。

(2) 第四系全新统冲积层(Q_{4al})分布在中部1.0~18.0m:从上至下由粉质粘土、淤泥质粉质粘土、粉土夹粉质粘土及粉砂及细砂组成。

1.0~3.0m为粉质黏土,灰褐色,湿,可塑,层厚约1.0m;该层属中压缩性,层内构造均匀性一般。

2.0~11.0m为淤泥质粉质粘土,灰褐色,湿,流塑,层厚约2.0~8.0m,从北至南分布厚度逐渐增大;该层属高压缩性,属不均匀岩土。

4.0~11.0m为粉土夹粉质粘土及粉砂,褐灰色,以粉土为主,饱和,中密,摇震反应中等,局部夹粉质粘土及粉砂,该层仅见于北侧区域,层厚约2.0~8.0m;该层属中压缩性,层内构造均匀性一般。

10.0~18.0m为细砂,灰色,饱水,稍密,摇震反应迅速,局部夹有薄层粉土,层厚约7.0m;该层属中压缩性,层内构造均匀性一般。

(3) 第四系上更新统冲洪积层(Q_{4al})分布在18.0m以下:主要为卵石层,孔隙间充填物为细砂,层间局部细砂含量较高。该层属低压缩性,层内构造均匀性一般。

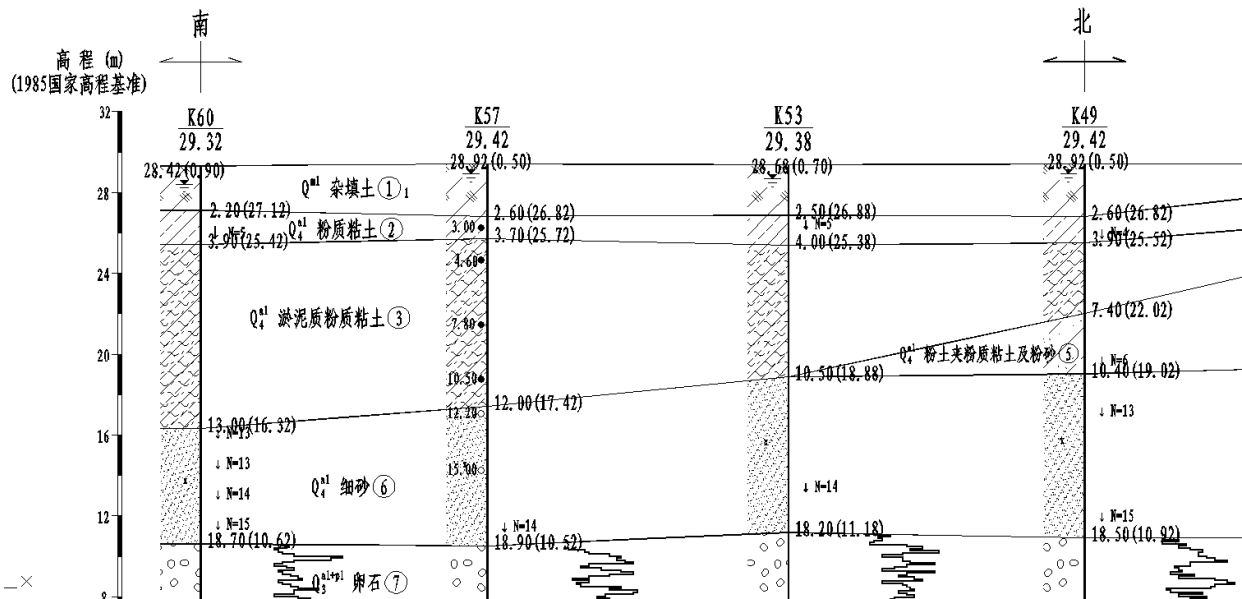


图1 东侧工程地质剖面展开图

1.3 水文地质条件

场地地下水类型主要为上层滞水和承压水。上层滞水赋存于场区内填土层中,属季节性含水层及生活污水,受气候的影响水幅变化较大,但其总体水量不大。承压水主

要赋存于深部卵石层中,该承压水主要接受临区含水层及长江侧向补给,层间侧向径流排泄,勘察时测得承压水水位高程为26.5m。近三年中,该承压水于本场地所在区域其年水位变幅为1.00~2.00m。

荆州市 1998 年 8 月 17 日长江最高洪水位黄海高程为 43.01m，为历史最高水位。依据《建筑地基基础技术规范》(DB42/242-2014) 条文说明第 11.5 节，距长江不同距离的承压水位与长江水位的关系式： $Y=Ae^{-\alpha x}$ ，计算得场地承压水历史最高水位约为 29.3m。

基底虽坐落于黏性土隔水层中，根据《基坑工程技术规程》(DB42/T 159—2012) 中的 6.2.15 式对承压水进行抗突涌稳定性验算，验算结果不满足规范要求，本工程基坑在施工至基底设计标高后会产生突涌，基坑开挖中须采取有效降低承压水头措施，以保基坑安全、正常施工。

2 基坑支护方案

2.1 基坑特点分析

本工程基坑支护设计面临多重制约，场地分布有深厚淤泥质粉质黏土，该层具有高灵敏度、低承载力的特征，易引发支护结构侧向变形，且下伏承压水与长江水文联系密切，地下水位动态变化显著，经验算基坑在施工至基底设计标高后会产生突涌。基坑紧邻用地红线与市政道路，东侧多层建筑群基础埋深较浅，对土体位移沉降较为敏感，进一步压缩了支护结构选型空间。既有老基础分布不明且埋藏杂乱，常规支护工艺易受地下障碍物干扰，需兼顾排障期与主体施工期的工况转换。

基坑工程采用分阶段动态施工策略：第一阶段为既有老基础拆除排障期，开挖深度 5.0m；第二阶段为主体结构施工期，基坑最终开挖深度达 7.1m。考虑到本项目基坑开挖范围较小，为兼顾两个阶段施工，基坑支护范围为主体结构地下室边界。本次基坑支护方案选型有以下难点：

(1) 全周期成本管控

考虑到基坑工程采用分阶段施工，需要考虑到两阶段支护体系衔接，即老基础拆除排障期至主体结构施工期的深度转换，避免重复拆建造成的造价攀升

(2) 隐蔽障碍物

既有老基础位置及埋深信息缺失，基坑支护桩施工前需探明基坑四周既有地下障碍物并精准探测与清除，否则易导致桩位偏移、成桩质量缺陷。

(3) 动态施工风险

机械排障作业与支护结构施工存在空间交叉，既要预留充足作业面保障障碍物破除效率，又需严格控制机械振动、挤土效应对支护桩及周边既有建筑及道路的不利影响。

2.2 支护设计

针对上述几重难点，本次基坑支护设计的核心在于如何衔接两个阶段支护体系，以确保结构连续性与变形可控性，同时兼顾经济效益与施工效率。第一阶段支护方案需

同步满足机械排障作业空间需求、第二阶段支护体系衔接要求及环境影响最小化目标。施工方结合江汉平原同类工程经验，通过对多维度的方案比选，最终形成适配动态施工需求的组合式支护。第一阶段既有老基础拆除排障期采用钻孔灌注桩悬臂桩 ($\Phi 1000@1400\text{mm}$) + 三轴搅拌桩止水帷幕 ($\Phi 850@600\text{mm}$) + 桩前留土反压的支护形式，第二阶段主体结构基础施工期采用钻孔灌注桩 ($\Phi 1000@1400\text{mm}$) + 三轴搅拌桩止水帷幕 ($\Phi 850@600\text{mm}$) + 砼内支撑的支护形式。

其技术策略体现为以下三方面：

(1) 支护体系连续性设计

第二阶段沿用第一阶段的钻孔灌注桩与三轴搅拌桩止水帷幕，实现支护结构全周期复用。通过统一桩径、桩距与帷幕搭接工艺，避免因刚度突变引发应力集中；在基坑四周支护桩后设置三轴搅拌桩竖向加固体形成止水帷幕，使坑壁土层得到固化，与支护桩联合作用，既挡土又止水。

(2) 空间协同与荷载传递优化

排障期桩前预留 $\lt 4.0\text{m}$ 宽反压土区，其平台顶面标高设置于冠梁下 1.0m，既为破碎机械提供侧向操作空间（避免桩体碰撞），又为主体阶段内支撑安装预留作业面，反压土清除后可直接进行支撑架设。同时，反压土体通过被动区土拱效应，将排障期土压力转化为支护桩抗弯储备，使主体阶段内支撑预加轴力降低，实现分阶段荷载的渐进式传递。

(3) 经济性与环境效益协同

反压土利用原位土体替代传统锚索或钢支撑，节省临时结构成本；其作为天然缓冲层，可抑制坑外土体位移，减小对邻近建筑及道路的不利影响。此外，反压区与机械作业带的空间隔离设计，反压土清除后直接用于支撑区肥槽回填，减少土方转运量，降低扬尘与噪声污染。

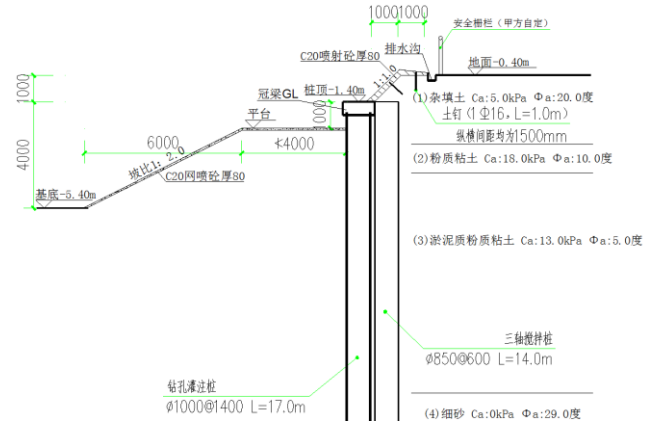


图 2 既有老基础拆除排障期 支护剖面图

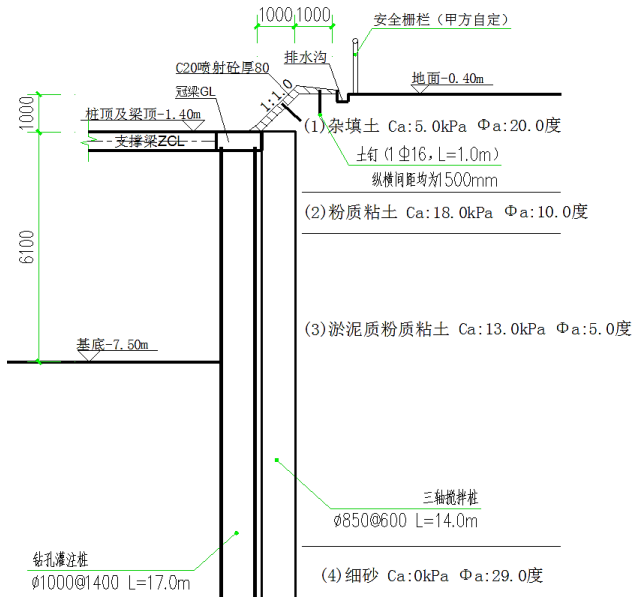


图3 主体结构基础施工期 支护剖面图

3 地下水控制

本工程基坑开挖至基底时揭露土层为淤泥质粉质黏土层，该层具有高压缩性，低渗透性的特征。场地地下水水位浅且水量丰富，呈现出“滞水难排、渗透缓慢”的典型软土水文特征。常规集中明排措施难以及时疏干开挖土层间的孔隙水的地下水，基底极易形成“弹簧土”现象，导致土体抗剪强度持续衰减，威胁坑底稳定性。

因此，本次采用“浅层疏导+深层减压”的分层降水措施。沿基坑外围环状布设轻型井点降水系统，通过真空负压加速淤泥质黏土层间孔隙水排出，有效提升土体自立性；针对下伏砂卵石层中的承压水头压力，按“按需减压”原则布置管井降水群，将承压水头降至基底以下 1.0m。轻型井点与降水井形成立体降水网络，通过分层降水精准控制各土层的孔隙水压力，将坑外最大地面沉降量控制在 15mm 以内，以减小对周边环境的影响。

4 结论

本工程通过分阶段支护体系设计与动态施工策略，成功解决了江汉平原老旧小区改造深基坑项目中遇到的地质条件较差、地下障碍物埋藏复杂、周边环境关系紧张、承压水突涌等问题。工程中显示出精细化施工组织与风险预判的重要性——尤其在资料缺失的高风险环境中，需以“动态设计、实时反馈”思维破解不确定性难题。

展望未来，随着人工智能技术的快速发展，建议进一步探索 AI 驱动的深基坑智能决策系统——通过机器学习算法实时解析监测数据，预测土体变形趋势并自动优化支

护方案；借助计算机视觉技术精准识别地下障碍物分布，实现施工路径自主规划。此类智能化手段的引入，将大幅提升复杂基坑工程的精细化管控水平，推动岩土工程向“自适应、低干预、可持续”方向革新，为高密度城区的绿色化更新提供更具前瞻性的技术支撑。

[参考文献]

[1]刘建库,游晓寒,张平军,华春雷,张铮太.狭窄场地深基坑项目地下障碍物清除施工技术[J].智能城市,2023,9(12):11-12.
[2]徐杰.城市中心紧凑场地的深基坑工程清障技术研究[J].建筑施工,2021,43(7):11-13.
[3]刘怡.复杂环境条件下基坑围护施工中的地下障碍物处理[J].建筑施工,2018,40(9):3-4.
[4]宋迅华.复杂环境条件下的深基坑施工[J].建筑施工,2019,41(4):22-23.
[5]吴燕泉.深厚软土深基坑支护设计与实例分析[J].厦门理工学院学报,2018,26(3):7-8.
[6]刘羽,王科,胡威,方华建,胡琦,徐晓兵.深厚软土地区深大基坑分坑开挖设计与分析[J].建筑结构,2023,53(2):22-23.
[7]杨昌亚.城市中心区软土深基坑支护结构设计及施工--以佛山南堤湾国瑞城二期项目为例[J].西部资源,2023,11(3):11-12.
[8]翁龙龙.浅谈老旧小区改造项目深基坑安全监理控制措施[J].建设监理,2023,12(5):24-25.
[9]郭晨.中心城区高密度地块深基坑工程实施研究[J].四川水泥,2020,12(6):14-15.
[10]郭卫松,仲伟秋,常爱荣,后腾辉.老旧小区狭窄空间深基坑支护优化设计与实践[J].科技通报,2023,39(8):21-21.
[11]顾浩磊.深基坑开挖,对邻近老旧房屋的影响分析[J].低温建筑技术,2023,45(7):31-32.
[12]覃柳艳.某深基坑施工引发临近建筑变形开裂事故分析及处理[J].企业科技与发展,2024,10(2):23-24.
[13]阮林龙,杜雄文,张海鹏.深基坑地下水综合控制方法[J].土工基础,2013,27(6):20-21.
[14]李雷明,蒋昊楠,轻型井点降水在粉质土基坑中的运用[J].人民黄河,2023,45(1):17-18.
[15]林金发.综合降水施工技术 in 高层建筑深基坑工程中的应用探讨[J].河南建材,2019,22(6):14-15.
作者简介:雷亚玲,毕业于中国地质大学工程管理专业,工程师,现就职于湖北建艺岩土工程勘察设计有限公司。