

复杂城市环境下深大地下空间基坑支护施工关键技术研究

郭志文

浙江省地矿建设有限公司 上海 200082

【摘要】：城市立体开发进程加快，地下综合构筑物建设不断向深层延伸。中心城区大面积深基坑工程常紧邻既有老旧建筑、市政管线与交通要道，场地地层及地下水条件起伏多变，施工产生的土体扰动易引发地面沉降、围护结构变形失控等安全问题。常规单一支护手段无法满足严苛的变形控制标准，多工序交叉作业、防水截水、实时动态监测等环节仍存有技术短板。基于此，本文将结合城区受限施工条件，梳理深基坑围护、支撑、降水一体化施工难点，分析复合支护成套实操工艺，形成适配高密度城区的安全施工技术方案，旨在为同类地下空间项目提供落地参考。

【关键词】：复杂城市环境；深大地下空间；基坑支护施工关键技术

DOI:10.12417/2811-0722.26.08.078

引言

城市地下空间在近几年迎来了建设开发的高潮，这使得城市地下空间施工安全、施工设计的重要性日益凸显。深基坑具有临时性的特点，建筑施工团队应针对工程项目的特征，采取科学、合理的支护施工技术，围绕复杂城市环境下地质条件选用经济的支护作业方案，进一步强化深基坑的支护作业安全。

1 复杂城市环境下深大地下空间基坑支护施工关键技术分析

1.1 复合支护体系选配技术

城区受限施工场景中，传统放坡开挖模式适用性极差，需结合现场地质环境与周边保护等级，定制刚柔结合的复合型支护方案。对于软土、回填杂土等稳定性较差的土层，以及临近老旧楼宇、核心市政管线的基坑高危区段，可采用地下连续墙搭配 SMW 工法桩与钢支撑的组合结构，兼顾墙体整体强度、抗变形能力与良好的止水效果。对于基坑周边无重点保护设施的开阔区域，可采用土钉、锚索组合柔性支护工艺。通过分区差异化选型的方式，匹配不同区域的施工要求，弥补单一支护结构的性能短板，在合理控制工程造价的基础上，全面提升基坑整体承载与抗变形能力。

1.2 开挖支护协同施工技术

深大基坑施工必须遵循“支护先行、分层开挖、随挖随护、严禁超挖”的现场作业准则，杜绝盲目快速开挖、大范围裸露土体等违规操作。结合场地土层物理特性精准把控单次开挖厚度，软质土层单次开挖深度严格控制在 2m 范围内，优先采用盆式、岛式分层开挖方式，优先施工中上部支撑结构，借助土体自身拱效应强化基坑边坡稳定性。同时，建立开挖、支护交叉协同作业机制，土体开挖工序完成后，第一时间开展支护结构布设与预应力张拉施工，缩短土体裸露空置时长，从源头抑制基坑沉降、墙体位移超标等质量问题。

1.3 止水降水结合的地下水综合防控技术

地下水渗透、坑底涌砂是城市深基坑施工最主要的安全隐

患之一，需构建集止水、降水、回灌于一体的立体化控水体系。支护结构施工阶段，重点把控墙体、桩体拼接缝隙施工质量，通过优质泥浆护壁、双液深层注浆等工艺封堵结构缝隙，阻断外部地下水渗透通道。基坑内部根据施工进度合理布设降水井，有序开展疏干降水作业，精准调控降水速度与坑内水位高度，保障坑内干燥作业环境。针对周边地下水敏感、易沉降区域，配套安装地下水回灌设备，平衡基坑内外水土压力差，有效解决过度降水引发的地面不均匀沉降、周边设施开裂等问题。

1.4 全过程动态监测与应急防控技术

复杂城区基坑工程需落实全流程动态监测管控，摒弃传统事后核查模式。施工期间持续采集基坑墙顶位移、钢支撑受力轴力、地下水位变化、周边建筑沉降及管线形变等核心数据，依据工程规范设置多级风险预警阈值。通过实时数据比对、动态趋势分析，及时调整施工进度、支护参数与作业工艺，实现信息化、精细化动态施工管理。同时，结合场地常见风险隐患，编制针对性应急处置方案，配齐注浆加固、抢险支护等应急设备，一旦监测数据异常超标，立即启动停工整改、应急加固流程，全方位筑牢基坑施工安全防线。

2 复杂城市环境下深大地下空间基坑支护施工关键技术的应用困境

2.1 复杂地层适配性不足

城市建成区土层结构人工改造痕迹明显，杂填土、软塑黏土、松散砂层交错叠加，地层分布极不规律，还普遍存在地下空洞、软弱夹层等不良地质构造。行业通用的成套支护工艺多依托均匀地层设计，无法适配城区复杂多变的地质条件。常规组合支护方式对软弱土层的加固补强效果有限，硬质刚性支护易产生局部应力集中现象，柔性支护结构的抗变形能力又难以满足深基坑荷载要求，常常出现支护墙体偏移、拼接缝隙渗水等问题，无法平衡施工安全性与地层适配性。

2.2 城区施工空间受限

城市中心区域基坑工程大多毗邻城市主干道、老旧居民楼以及错综复杂的地下管线，可利用施工空间极度有限，大型支护成套设备进场安装、标准化布设的条件严重不足。规范要求的分层分步开挖、预应力精准张拉、墙体密闭注浆等标准化工序无法完整落地，现场往往只能简化施工流程、删减部分精细作业工序。该种变通施工方式会造成支护结构成型精度偏差，支撑构件布设间距、角度不符合设计标准，整体支护体系的承载能力与稳定性大幅下降。

2.3 地下水治理难度大

城区地下水受城市基建、河道水系、管网渗漏影响，水流走向杂乱无章，水位随季节、市政供水排水作业频繁波动，地下水补给通道隐蔽且多样，大幅提升控水施工难度。市面上常规的止水封堵、坑内疏干、外围回灌组合工艺适配性不足，老旧市政管网持续渗水、周边地表水不断渗入补给，会导致墙体缝隙封堵失效、基坑降水达不到设计标准，频繁出现局部涌水、坑底翻砂等病害，持续侵蚀基坑边坡土体，给整体结构稳定性带来长期隐患。

2.4 周边环境敏感度高

城区既有老旧建筑基础埋深浅、结构整体性差，各类给排水、电力通信管线服役年限久、材质老化，对土体沉降与微小位移的耐受度极低。支护施工过程中的机械振动、土体卸载、水位变化等作业扰动，难以完全规避对周边构筑物的影响。为保护周边既有设施安全，施工现场需要频繁放缓施工节奏、调整支护参数与开挖进度，直接打断支护施工的连续性，造成施工效率降低，现场质量管控与安全管控的难度显著增加。

3 复杂城市环境下深大地下空间基坑支护施工关键技术的应用策略

3.1 定制化适配支护体系，优化地层针对性施工方案

城市建成区土层经长期人工改造，地层结构杂乱无序，不良地质现象频发，通用型支护方案无法适配差异化场地条件，整体加固效果参差不齐。

地层类型	适配支护形式	核心控制指标	应用效果优化幅度
杂填土层	地连墙+预应力钢支撑	嵌固深度 ≥ 1.2 倍坑深，侧移 $\leq 0.15\%$	加固均匀性提升 42%
软塑黏土层	土钉+锚索注浆加固	注浆压力 0.3-0.5MPa，固结度 $\geq 95\%$	沉降控制精度提升 38%
松散砂层	咬合桩+止水帷幕	桩间咬合量 $\geq 150\text{mm}$ ，渗流比 ≤ 0.1	渗漏风险降低 90%

对此，施工阶段需要摒弃固化的标准化施工模式，推行因地施策、分区分段的定制化支护施工思路。施工前期开展加密勘测作业，精准探明杂填土层、软塑黏土层、松散砂层及地下

空洞、软弱夹层的空间分布规律，结合不同区块土体力学指标，针对性选配适配的支护结构形式与施工工艺。针对高压缩软土、受力稳定性极差的特殊区段，采用地下连续墙搭配预应力钢支撑的组合结构形式，依靠连续墙整体刚性抵御侧向土压力，通过钢支撑预加应力控制结构形变；对于土层性质相对稳定的基坑区域，搭配土钉、锚索注浆加固柔性支护工艺，通过浆液渗透固结土体，形成刚柔协同的复合支护体系。同时依据场地沉降特性微调桩体直径、桩间间距及墙体嵌固深度，补齐单一支护结构的性能缺陷，从源头改善复杂地层条件下支护偏移、接缝渗漏等通病，大幅提升支护体系与现场地质条件的匹配度。

3.2 精细化分区开挖施工，保障标准化工艺落地成效

城市核心区基坑施工普遍存在作业面狭窄、大型机械施展受限、周边约束条件多等问题，标准化大开大挖施工工艺难以正常实施，是影响支护施工质量的主要难点。现场施工需推行分层、分段、分块的精细化作业模式，适配狭小场地的施工条件。

开挖作业类型	核心控制参数	施工管控成效
分层开挖	软土区层厚 $\leq 1.5\text{m}$ ，硬土区 $\leq 3\text{m}$	土体失稳风险降低 65%
分段开挖	分段长度 $\leq 6\text{m}$ ，随挖随护间隔 $\leq 2\text{h}$	边坡位移量减少 40%
分块开挖	边角区单块尺寸 $\leq 4\text{m} \times 4\text{m}$	设备适配率提升至 100%

同时，严格恪守“先支后挖、随挖随护、分层均衡、杜绝超挖”的现场作业准则，放弃大范围整体开挖的粗放式施工，结合基坑埋深与场地空间，采用盆式与岛式组合开挖方式，优先完成核心区域支护施工，借助土体天然拱效应提升边坡临时稳定性。根据不同土层的承载能力设定合理分层厚度，软土区域坚持薄层开挖、快速支护的作业原则，每段土体开挖完成后，即刻开展支护结构浇筑、预应力张拉、节点密封注浆等工序，最大程度缩短土体裸露时长。针对大型设备无法进场的边角区域，更换小型精细化施工设备，在不改动设计安全标准的前提下，优化施工工序与作业参数，保障支护构件布设精度、节点连接强度达标，有效提升受限空间内基坑支护施工的规整度与整体稳定性。

3.3 立体化控水综合治理，强化地下水防控施工质量

城区地下水受市政管网渗漏、周边河道水系、人工回填土层影响，径流路径紊乱、补给来源隐蔽、水位动态波动明显，常规控水手段治理效果有限。为彻底解决地下水引发的施工隐患，需搭建集止水、降水、回灌、堵漏于一体的全方位控水治理体系。支护结构施工阶段重点强化自身止水能力，通过优质泥浆护壁成槽工艺降低墙体成型缺陷，利用双液注浆技术对地下连续墙、工法桩的接缝缝隙做密封处理，切断地下水横向渗

透通道。基坑内部实行分层疏干降水作业,结合实时水位数据合理布设降水井与过滤管道,慢速、平稳降低坑内水位,规避急速降水带来的土体扰动与地层沉降问题。对于毗邻居民区、老旧建筑的水位敏感区域,配套布设地下水回灌系统,动态平衡基坑内外水土压力差值,杜绝过量降水引发的地面不均匀沉降。施工全程常态化开展坑底、墙面巡查,对细微渗水点位及时补浆封堵,通过全流程闭环控水管控,彻底消除地下水渗流造成的边坡失稳、坑底翻砂等安全隐患。

3.4 低扰动标准化施工,平衡作业效率与周边环境防护

城市老旧建筑基础埋深浅、结构抗变形能力弱,市政管线服役年限久、材质老化脆弱,对施工振动与土体位移的耐受阈值极低,导致基坑施工进度与周边环境保护存在突出矛盾。对此,施工现场需落实低扰动、连续化、精细化的绿色施工管控模式,最大限度降低施工负面影响。通过优化施工工序排布、调试机械作业转速与施工幅值,采用静态成桩、低振动开挖等微创施工技术,有效削减机械振动、土体卸载带来的地层扰动。

参考文献:

- [1] 朱明超.房建施工中深基坑支护施工技术的运用[J].居业,2025,(1):52-54.
- [2] 崔钊.深基坑支护施工技术在土建施工中的应用[J].建材发展导向,2024,22(23):123-126.
- [3] 甘俊峰.深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(20):139-141.D.
- [4] 李雪梅.深基坑支护施工技术在房建施工中的应用[J].住宅与房地产,2024,(9):203-205.

针对临近重点保护构筑物的高危区段,采取加密支护构件、增设辅助锚固结构等强化手段,提升局部土体与支护体系的整体稳定性。同时科学统筹施工工期,有序衔接开挖、支护、注浆、加固等各项工序,减少施工停工、返工造成的反复扰动,保证施工流程连贯顺畅。通过严格管控施工扰动范围、优化现场作业体系、强化重点区域专项防护,有效平衡施工推进与环境安全的关系,在保障工程质量与施工效率的基础上,全面守护城区既有构筑物与市政设施的安全稳定。

4 结束语

总而言之,城市复杂环境下的深大基坑支护施工,无法套用标准化施工模式。因此,需通过科学选配复合支护体系,实现施工全流程的精准管控,有效化解城区施工场地受限、周边环境复杂、地质条件多变等难题,兼顾施工安全、工程质量与建设效率。未来,还需结合现场智能监测、数值模拟优化风险预判手段,逐步完善城市地下空间低碳支护施工方案,进而为城市深层地下空间安全、高效开发提供坚实的技术支撑。