

# 复杂环境条件下的超深基坑施工技术研究

李伟平 朱玉良 孙波桃

上海柯衍建设发展有限公司 上海 200030

**【摘要】**：随着城市的不断发展，建设用地日益紧张，为了节约土地资源，地下空间的利用越来越来充分，深基坑、超深基坑不断涌现。上海城区建筑密集、河网密布、地下水丰富、地下管线众多、施工空间狭小，对超深基坑施工和环境保护提出了更高的要求。以上海某地下大型调蓄池超深基坑项目为实例，结合周边环境，提出了类似项目的重难点与技术方。通过基坑施工流程和三轴槽壁加固、地下连续墙、降水、支撑、土方开挖、底板及结构回筑等重要施工技术及现场监测等内容，进行了复杂条件下超深基坑施工技术的详细阐述与分析。研究表明，相关技术措施可有效保护复杂环境条件下的超深基坑及周边环境的安全。

**【关键词】**：超深基坑；复杂环境；地下连续墙；支撑降水；现场监测

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.064

## 引言

根据最新城市排水规划要求，控制初期雨水放江污染，对合流制排水系统初期雨水截留能力提升至 11mm。初雨调蓄项目结合城区布局，充分利用城市地下空间，建设全地下初雨调蓄设施。受城区可利用场地限制，初雨调蓄池设计为超深基坑工程，因周边环境复杂，保护等级高，如何在有限条件下顺利完成项目建设，并确保超深基坑及周边建筑、道路及重要地下管线的安全，成为施工单位必须攻克的难题。

为此，本文以上海市核心区复杂条件下某大型地下调蓄池为例，对其工程概况与重难点进行介绍，论述基坑施工流程、槽壁加固、地下连续墙、降水、支护与土方开挖及底板和结构回筑等技术要点，并通过周边环境、建筑及管线等变形监测数据对本文提出的施工方法的可行性进行验证，以期同类项目的施工提供参考。

## 1 工程概况

### 1.1 项目简介

本项目位于上海市徐汇区小闸镇东侧，占地面积 1993m<sup>2</sup>，为全地下建筑。基坑呈长方形，长 57.6m，宽 34.6m，开挖深度为 23.8m，支撑围护体系由 1000mm 厚地下连续墙+Φ850@600 三轴水泥土搅拌桩槽壁加固+6 道钢筋混凝土支撑+1 道钢支撑组成，顺作法施工。

### 1.2 周边环境

本项目东面和南面紧邻上海市果品配送有限公司，分别与其正在运行的冷库和办公楼相距 6m、4m，西面紧贴小闸镇街且与南林公寓高层住宅相距仅 24m，北面与蒲汇塘河道相距 10m（图 1），场地狭小，周边有水、电、燃气等重要管线，

环境极为复杂。

### 1.3 地质水文情况

地基土自上而下分别为①1 层杂填土、①2 层素填土、②2 层灰黄色粉质粘土、②3 层黄灰~灰色粘质粉土、③1 层灰色淤泥质粉质粘土、④1 层灰色淤泥质粘、⑤1 层灰色粉质粘土、⑤2 层灰色粉砂夹粉质粘土、⑤3-1 层灰色粉质粘土、⑤3-2 层灰色粉质粘土夹粉土、⑦1 层灰色粉砂、⑦1t 层灰色粉质粘土夹粉砂、⑦2 层灰色粉细砂、⑨1 层灰色粉细砂。基坑与地质水文关系详如图 2 所示。

地勘显示场地内有遗留老桥桩基和房屋基础，埋深 1~11m，影响桩基和围护施工。



图 1 周边环境

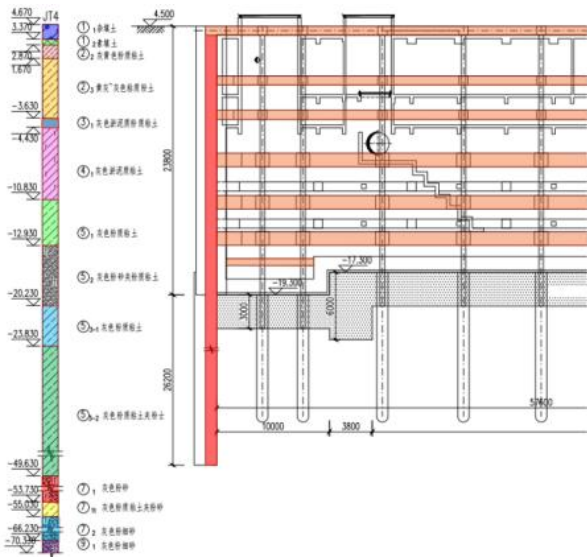


图2 基坑与地质剖面关系图

## 2 工程重难点与应对措施

### 2.1 场地狭小，施工组织难度大

特点及难点：场地周边紧邻河道、市政道路、房屋等，施工场地狭窄，基坑围护及深基坑施工阶段所用大宗材料、大型机械设备较多，特别是地下连续墙施工阶段，钢筋笼加工场地、大型履带吊、成槽机、土方车、砼运输车、集土箱、泥浆后台等均需占用较大场地，施工组织难度大。

应对措施：（1）场地内不设生活区，管理人员和工人食宿一律场外解决。

（2）分阶段做好施工现场平面布置，先施工南侧地下连续墙，地下连续钢筋笼加工场地布置在北侧，等南侧地下连续墙施工完成后，再将地下连续墙钢筋笼加工场地转至南侧（图3）。

（3）在第一道支撑上设置栈桥，方便土方开挖、混凝土浇筑和周转材料放置。

（4）根据现场实际情况科学合理安排施工工序，有序组织材料进场和机械设备进出场，做到现场不压货、不缺货。

（5）安排专人负责现场指挥疏导，确保生产正常运行。

### 2.2 超深基坑，对基坑的变形和坑外地下水位控制要求高

特点及难点：基坑开挖深度23.8m，6道钢筋混凝土支撑+1道钢支撑，施工周期长，基坑紧邻办公楼、冻库、高层住宅、市政道路及重要地下管线等，对基坑变形控制及坑外水位控制要求高。

应对措施：（1）为了提高坑内土体的被动抗压力，从而

减少围护体的变形，用高压旋喷桩对基坑进行加固，其中坑底以下5m范围为满堂加固，自地表以下4m至坑底范围为格栅加固。

（2）为了确保地下连续墙的施工质量，并防止地下连续墙渗水，地下连续墙采用十字钢板刚性接头，用三轴搅拌桩对地下连续墙两侧进行槽壁加固（槽壁加固前，用全回转清障机对影响施工的深层地下障碍物进行清理），同时用MJS对三轴槽壁加固底部以下范围的墙缝进行止水，MJS与三轴槽壁加固搭接1m。

（3）在基坑外设置⑤层微承压水观测井兼回灌井和⑦层承压水观测井，必要时对⑤层微承压水进行回灌。

（4）在深基坑施工阶段，加大人、材、机等投入，在确保安全质量的前提下，加快施工进度，限时形成支撑，并适当提高支撑混凝土强度，充分发挥时空效应。

## 3 施工流程与重要施工技术

### 3.1 施工流程

根据本项目基坑围护设计图纸并结合现场实际情况，编制科学合理的深基坑施工流程（图4）。

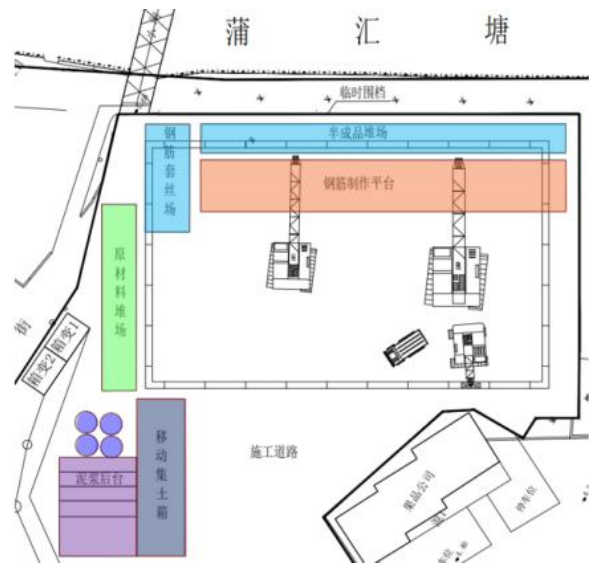


图3 地下连续墙施工平面布置图

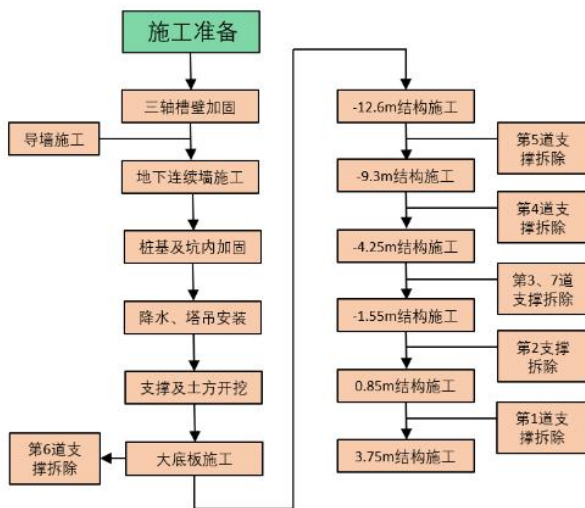


图4 深基坑施工流程图

### 3.2 三轴水泥土搅拌桩槽壁加固施工技术

外壁采用 $\Phi 850@600$ 三轴套接一孔搅拌桩槽壁加固，内壁采用 $\Phi 850@600$ 三轴搭接250mm搅拌桩槽壁加固，采用PO42.5级普硅酸盐水泥，水泥掺量20%，水灰比1.2~1.5。加固后土体无侧限抗压强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ ，基坑开挖前钻芯取样检测验证。

本工程结合现场实际情况，安排一台 $\Phi 850$ 三轴搅拌机进行施工，采用二喷二搅的施工工艺，采用跳打法施工(图5)。搅拌桩施工范围内场地平整，桩机所处场地应有足够承载力，以保证桩架的垂直度。三轴搅拌桩施工时应保持桩机底盘的水平 and 立柱导向架的垂直，成桩前使桩机正确就位，确保桩体垂直偏差控制在1/300以内，施工过程中严格控制垂直度和水泥用量。为了确保主体结构尺寸，防止地下连续墙侵入基坑内，槽壁每侧整体外放100mm。

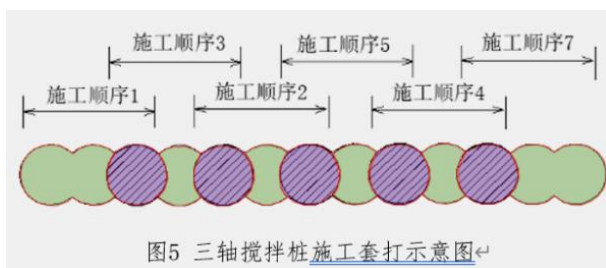


图5 三轴搅拌桩施工套打示意图

### 3.3 地下连续墙施工技术

本项目地下连续墙深度50m，单幅墙最大重量70吨，采用SG60成槽机，两台履带吊(1主吊400T、副吊250T)。

地下连续墙施工前，编制专项施工方案，并对危险性较大的履带吊安装拆除和地下连续墙钢筋笼吊装做好方案论证工

作，按重载道路标准做好场地硬化，并与导墙连接成整体，现场做好地墙分幅标记。地下连续墙施工流程如图6所示。

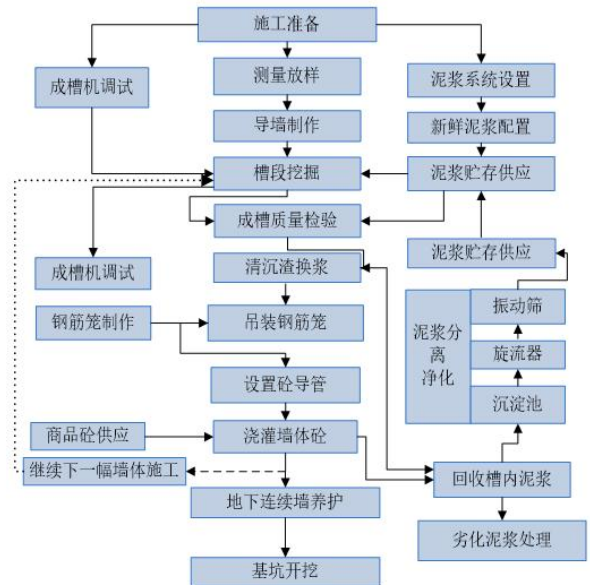


图6 地下连续墙施工流程图

地下连续墙成槽质量直接关系到地下连续墙的质量(图7)，施工前先进行成槽试验，确认各项参数，槽孔护壁泥浆采用膨润土制作，循环使用过程中做好除砂工作，并及时补充新鲜泥浆。成槽后，及时进行刷壁和清槽，并做好超声检测(图8)，其中槽孔深度、宽度及垂直度等是检测重点，检测合格后再下地下连续墙钢筋笼。

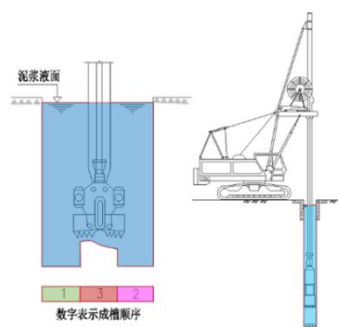


图7 成槽示意图

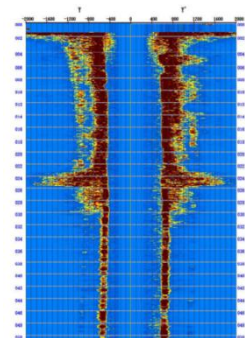


图8 槽孔超声检测图

地下连续墙钢筋笼制作过程中，应对钢筋、预埋接驳器及埋件等进行仔细检查，其中桁架筋和吊点焊接质量应全数检查。吊装时应由专职起重信号工统一指挥，双机协同，先进行试吊，试吊离地0.5m，确认安全牢固后方可继续起吊(图9)。起吊、翻身然后再平稳移至槽孔位置，再缓慢下放入槽。



图9 钢筋吊装图 ←

地下连续墙钢筋笼入槽后，迅速安装接头箱和导管，并对槽内泥浆进行二次清理和检测，最后快速浇灌水下混凝土。混凝土浇灌完毕后，在其初凝前，逐步拔出接头箱，再准备下幅墙施工。

地下连续墙施工完成后，做好墙缝止水 and 墙趾注浆。

### 3.5 降水施工技术

根据本项目的地质水文资料及基坑开挖深度计算，影响本项目的主要有⑤2层微承压水和第⑦层承压水，经计算第⑦层承压水在安全范围内（表1）。⑤2层位于-12.93~-20.23m标高范围，对应基坑第六道支撑与坑底加固之间，被地下连续墙隔断，因此坑内按250平方米标准准备共设置8口疏干井兼⑤2层泄压井，坑外每隔30米设置1口⑤2层水位观测兼回灌井，坑外设置1口⑦1层水位观测井。坑内降水井避开格栅加固区域设置。

表1 承压水参数

名称	承压含水层及层面埋深(m)	基坑开挖深度(m)	承压水水位埋深(m)	计算参考孔号	Pcz/PwY	是否突涌
调蓄池	第⑤2层(17.6)	23.8	3.0(上海市高水位埋深)	C77	-	已揭穿⑤2层顶板
	第⑤2层(17.6)	23.8	3.49(利用临近场地实测水头)	C77	-	已揭穿⑤2层顶板
	第⑦1层(53.6)	23.8	3.0(上海市高水位埋深)	JT5	1.06	否
	第⑦1层(53.6)	23.8	6.73(勘察期间实测水头埋深)	JT5	1.14	否

降水井施工完成后，经现场抽水试验，坑内降水，坑外水位无明显变化，证明坑内与坑外无水力联系、地下连续墙防水效果良好。

### 3.6 支撑及土方开挖施工技术

调蓄池基坑面积为1992.96 m<sup>2</sup>，基坑总延长约184.4m，开挖深度21.8m，局部深坑落深23.8m，总土方量约为4.43万方。支撑为钢筋混凝土，由围檩、对撑、角撑组成，传力体系简单（图10）。

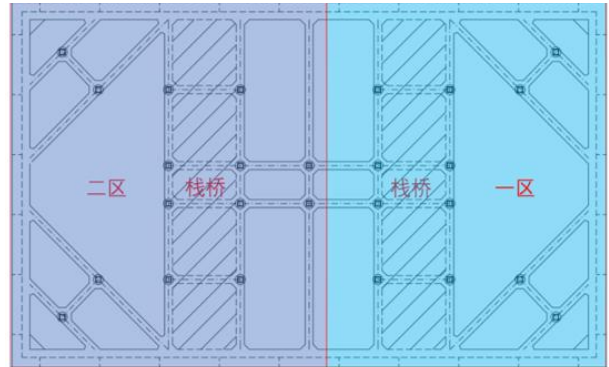


图10 支撑及分块施工平面图 ←

根据基坑形式，分东西两块组织施工，施工时严格遵循先撑后挖、限时支撑原则，土方开挖完成后，48小时内形成支撑，减少基坑变形。基坑施工阶段，安装梯笼作人员上下通道。

土方开挖时从东向西侧施工，第二~四层土方采用长臂挖机挖土，第五~七层采用抓斗机+挖机施工。每道支撑需达到设计强度后方可开挖下一层土，开挖按照1:1.5放坡，2级放坡每级不超过2m。土方开挖过程中安排专人看管、指挥，防止超挖，防止损坏格构柱、降水井等，支撑及栈桥底部模板、渣块等须随挖随清，防止坠落伤人。

支撑施工时，严格控制截面尺寸、钢筋绑扎质量和砼浇筑质量，做好格构柱与支撑梁及围檩与地下连续墙之间的连接。支撑采用绳切割拆除，提前在围檩内预埋好穿绳孔，支撑拆除前按重量作好分块，支撑上装好安全绳，支撑下垫好马凳，绳锯周边做好安全防护措施。

### 3.7 底板及结构回筑施工技术

调蓄池底板厚1.2m，设纵横各一道加强带。强度为C35，抗渗等级为P10，总方量约2400方，安排3台泵车，一次浇筑（图11）。混凝土振捣期间每根泵管配备4台振动棒振捣，分层浇筑，振动机移动间距为500mm，振动棒快插慢拔，以表面泛浆、不冒气泡、不沉陷为振实标准。



图11 底板浇筑

砼浇筑前预埋测温点,浇筑完成后及时覆盖一层塑料薄膜和两层保温土工布,并安排专人负责测量(图12),将砼表里温差控制在20度以内。混凝土养护两周。



图12 底板混凝土测温

本项目结构采用两墙合一,结构外墙紧贴于地下连续墙内侧施工(简称内衬墙),通过地墙内预留接驳器连接,施工前先把地墙上泥皮松散砼等清理干净并凿毛,直到露出坚实砼。结构内衬墙采用单面支模法施工。墙体砼分层浇筑,每层砼厚度控制在0.5米以内。结构砼强度达到设计要求后再拆上道支撑。

### 参考文献:

- [1] 许霆,周祥,张治锋,陈卓,皮志权.邻近建筑群深基坑开挖支护方案设计与效果检测.建筑技术,2022,53(2):167-169
- [2] 王焯晟,张文君,郭剑锋,赵煊,李忠诚.典型软土深基坑工程分层开挖变形规律研究.施工技术,2020,49(06):8-13.
- [3] 管图林.紧邻地铁的深基坑施工变形控制技术.建筑施工技术,2022,44(10):2309-2311.
- [4] 凌涛,李书信,钮峰,殷帅杰,姜舟,张勇.邻近浅埋地铁及市政共同沟的深45m地下连续墙施工技术[J].建筑施工,2017,39(06):752-755.

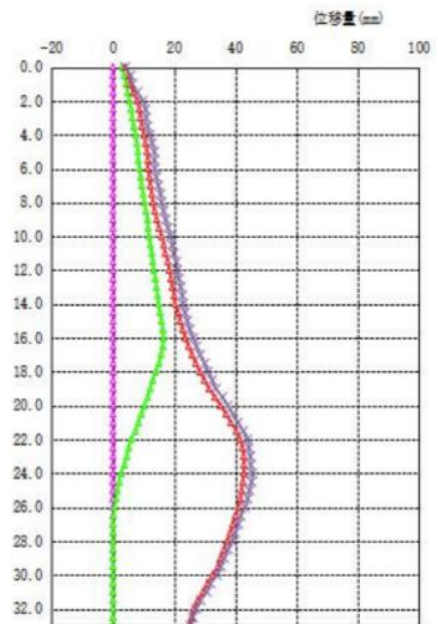


图13 深层土体测斜曲线图

## 4 现场监测与分析

项目委托第三方专业单位对基坑围护本体、周边环境和房屋进行监测,施工前做好初始布点和房屋检测,施工过程中监测数据及时共享,实行信息化施工。基坑自2023年8月开挖,2023年12月封底,2024年6月回筑完成,整个基坑施工过程中,监测数据未报警,基坑及周边房屋、道路未出现异常现象,底板浇筑完成后,变形和沉降都稳定下来(表2)。

表2 监测最终数据表

监测内容	围护墙顶位移	支撑轴力	地下水水位	深层土体位移	钢管线沉降	柔性管线沉降	地表沉降	房屋沉降
报警值	±25	14000	±1000	±50	±10	±20	±20	±20
累计值	-22.66	11933	-620	42.23	-9.43	-18.62	-19.21	-13.62

## 5 结语

本文对上海城市核心区复杂条件下的地下大型调蓄池项目进行了案例分析,工程实践表明,该项目的基坑围护设计和施工方法效果良好,对周边房屋、道路、管线等重要构筑物和设施的影响均控制在允许范围内,也可保证工程的经济合理性。本工程实施经验可为其他同类工程提供借鉴。