

深基坑支护与土方开挖配套施工技术实践分析

丁 吉

上海市浦东新区建设（集团）有限公司 上海 200120

摘 要：复杂环境下深基坑施工过程中，支护体系、施工降水及土方开挖是控制基坑变形及确保周边建构筑物安全运行的核心环节。本文依托川沙新镇六团社区应急物资配送中心工程深基坑项目，围绕支护、降水及开挖三大关键环节展开对深基坑实施过程深度剖析。基于地下连续墙、钢筋混凝土及钢支撑组合形式以及软土、承压水并存的场地条件，以理论为依据深度分析复杂环境下深基坑工程围护支撑、施工降水及土方开挖三大关键技术应用及协同作业的内在逻辑关系，结合施工监测体系实现对复杂环境下深基坑工程稳定性和变形控制。本文采用的技术方法可为同类型城市深基坑项目提供可落地的技术参考。

关键词：深基坑支护；施工降水；土方开挖；稳定和变形控制

引言：城市片区地下空间开发不断推进，大埋深、狭长型深基坑项目占比持续提升，基坑施工过程中围护结构、支撑体系的运行状态，会随着土体开挖产生持续性变化。本工程基坑分为标准段与东西端头井，围护墙体厚度、支撑规格存在差异化设计，场地内分布多层软弱土层，深部承压水具备突涌风险，对施工变形控制标准提出严苛要求。项目推进阶段分析基坑空间构造与土体受力状态，通过渗流数学模型确定降水减压要求，再依托长期现场监测完成技术有效性核验。全文立足于项目完整作业流程，解析建模运算、现场工序配合、动态优化的实施路径，探究复杂工况下深基坑支护与土方开挖协同推进的技术要点。

1 基坑工况条件

1.1 项目规模

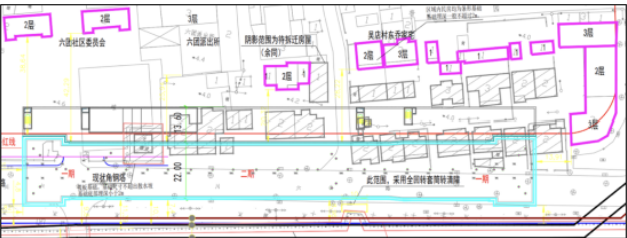


图 1 项目平面图

川沙新镇六团社区应急物资配送中心工程为 200.6 × 19.6m 的呈狭长布置的建筑物（图 1），基坑深度标准段 16.88 米，东西端头井埋深 18.84 米。

1.2 水文地质条件

在埋深 75.00m 深度内地基土层自上而下可分为 8 个

主要层次组成（图 2）。其中场地地表由于人工活动影响分布有第 ①层杂填土；浅部填土以下除局部区域外均沉积有第 ②层褐黄色～灰黄色粉质黏土。本工程坑底位于第 ④层淤泥质黏土层，标准段围护墙底位于第 ②-1 粉砂层中，端头井段围护墙底位于第 ②-1 粉砂层中^[1]。

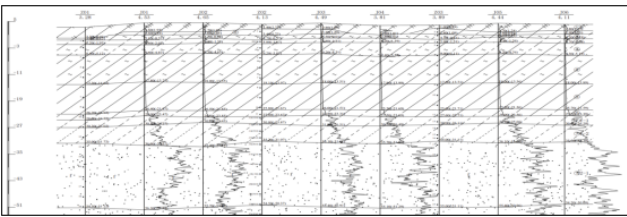


图 2 工程地质情况

本工程静止地下水水位一般埋深为 0.3 ~ 1.50m。对本工程有影响的承压水均分布于第 ⑦层含水层中，承压水位的埋深为 3.00 ~ 12.00m。

2 施工降水

2.1 降水设计

潜水对本工程深基坑土方开挖有着诸多不良影响。在潜水的的作用下，本工程第 ③、④层灰色淤泥质粘土含水量较高，此二层土具有明显的低强度、高压缩性、高灵敏度等不利工况特点。因此，此二层土方开挖过程中，必须采取措施降低土层含水量，以达到提高土壤强度、改善土壤力学性能的目的，确保开挖过程中不发生管涌和流沙现象，避免由于地层存在软弱结构面而导致滑坡的生产事故，消除由于潜水的存在而导致土方边坡失稳的安全隐患。

承压水造成的突涌对本工程基坑开挖而言是最大的风险。突涌会破坏基坑底部的土体结构导致其丧失承载力,严重的还会由于坑底被动土压力的丧失而导致整个基坑围护支撑体系的失效。在基坑土方开挖过程中,随着承压水层上的覆土压力逐渐变小,当承压水顶托力大于上覆土压力时,极易发生突涌事故,因此必须第①层中的承压水进行减压处理。由于本工程地下连续墙部分深入至①层中,若承压水压力太小会直接影响其对地下连续墙的支撑力,这样对地下连续墙稳定性不利,同时减压降水属于部分敞开式降水,对周边环境的影响较大。综合以上两个方面,本工程对承压水进行“按需减压”。

本工程降水总体原则:采用“浅井密布、按需减压”的降水原则。针对本工程浅层土层的风险特点,为方便土方开挖及开挖面的正常施工,必须降低土层中的含水量。本工程在基坑开挖前20天在坑内布置若干疏干管井并进行预抽水作业。针对承压水突涌风险,坑内在第①层承压水层布置减压井,分层按需降水^[2]。

2.2 疏干井设计

本工程坑内降水井数量计算公式:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} & (x, y, z) \in \Omega \\ h(x, y, z, t)|_{t=0} = h_0(x, y, z) & (x, y, z) \in \Omega \\ h(x, y, z, t)|_{\Gamma_1} = h_1(x, y, z, t) & (x, y, z) \in \Gamma_1 \end{cases}$$

式中: k_{xx}, k_{yy}, k_{zz} 分别为各向异性主方向渗透系数 (m/d);

h 为点 (x, y, z) 在 t 时刻的水头值 (m);

W 为源汇项 (1/d); h_0 为计算域初始水头值 (m);

h_0 为初始水头值 (m);

h_1 为第一类边界的水头值 (m);

S_s 为储水率 (1/m);

t 为时间 (m);

Ω 为计算域;

Γ_1 为第一类边界。

在对整体渗流区域实施网格剖分的基础上,运用有限差分理论将前述控制方程转化为离散形式,进而构建出相应的数值仿真模型。通过编写计算机算法程序进行求解,以实现抽水工况下地下水水位动态演变及其时空分布规律的模拟与预测。

$$n = A/a$$

式中: n —基坑内降水井数量 (口);

基坑面积 (m^2);

a —单井有效降水面积 (m^2);

布井时参考单井有效抽水面积 $200m^2$, 基坑主体面积约 $4308m^2$, 共布置 24 口疏干井 ($S1 \sim S24$); 布设 3 口疏干水位观测井 ($G1 \sim G3$); 坑外布设 6 口疏干水位观测井 ($WG1 \sim WG6$)。

2.3 减压井设计

端头井和标准段需考虑降低①层承压水位。针对本基坑工程,搭建专门的水文地质物理场与数值模拟平台。在此基础上,深入开展了基坑降水渗流的动态分析与设计计算,重点针对井群数量及深度的配置方案进行校核,以确保降水深度满足安全开挖要求。此外,该模型还被用于追踪和预测降水漏斗对基坑周边环境造成的影响^[3]。

根据水文地质条件,建立与本工程地下水三维非稳定渗流数学模型:

宏观上,由固、液、气三相交织构成的土体与地下水系统,本质上是一个复杂的空间三维结构。在数值模拟中,通常将土体骨架抽象为多孔介质,从而将复杂的地下水动力学问题,转化为地下流体在多孔骨架中的运移规律。这一物理过程,可以通过三维非稳态渗流连续性方程结合特定的初始与边界条件(即定解条件)来进行精确的数学建模^[4]。

本次建模范围约为 $2000m \times 2000m$, 根据上述水文地质数值模拟计算结果,基坑不同部位减压降水情况如图 3 所示。

主体端头段布设 4 口 39m 减压井,标准段布设 15 口 36m 减压井 ($J1 \sim J19$), 将端头井降深 10~11m, 标准段降深 7.6~8.0m, 满足设计水位降深要求。

本项目降水井布置情况如表 1 所示,降水井布置位置如图 4 所示。

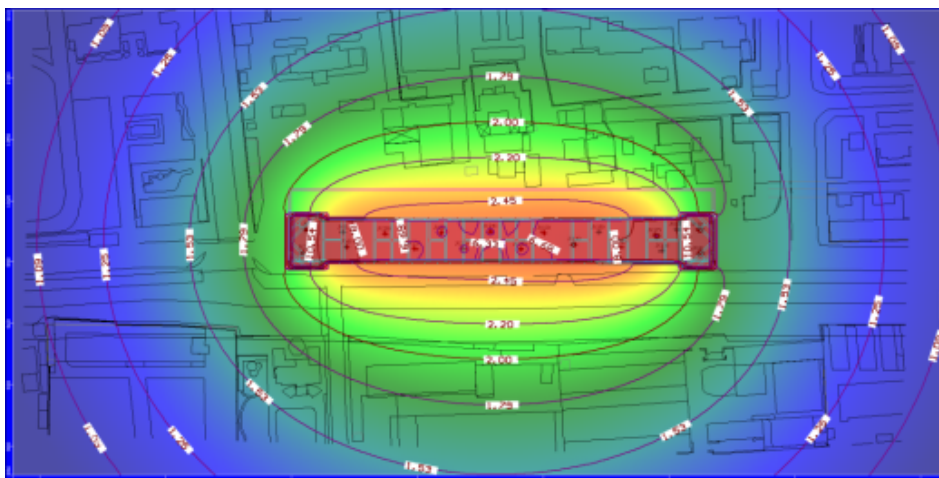


图3 第⑦层模型计算降水运行后预测承压水水位降深等值线图(单位:m)

表 1 降水井设计

工程部位	项目名称	编号	数量（口）	深度（m）	水位降深（m）
主体基坑	疏干井	S1 ~ S2、S23 ~ S24	4	25	
	疏干井	S3 ~ S22	20	23	
	坑内潜水观测井	G1~G3	3	23	
	坑外潜水观测井	WG1~WG6	6	23	
	㊶ 层减压井	J1~J2、J18~J19	4	39	9 ~ 10
	㊶ 层减压井	J3~J17	15	36	7.6 ~ 8.0
	㊶ 层观测兼备用井	GB1~GB5	5	36	
	㊶ 层回灌井	HG1~HG32	32	38	

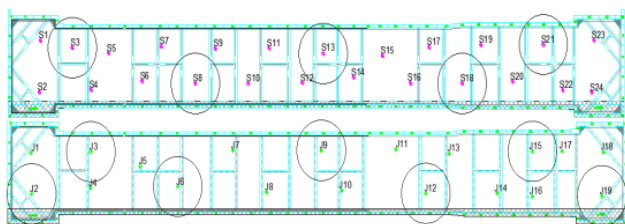


图 4 降水井布置图

3 基坑支护

对于软土深基坑而言，为确保土方开挖过程中周围土体稳定性，确保周边建筑物及管线安全，采用刚度最大的地下连续墙作为维护结构。标准段基坑深度约 17m，围护结构选用 800mm 厚地下连续墙。东西西端头井基坑为盾构工作井，深度约 18.59m，围护结构选用 1000mm 厚地下连续墙。

如图 5 所示, 本基坑工程的沿深度方向设置五道内支撑。其中, 首道选用刚度较大的钢筋混凝土结构 (截面尺寸 $900 \times 1100 \text{ mm}$) ; 第二道则采用规格为 $\varnothing 609$ (壁

厚 $t = 16\text{mm}$) 的钢管支撑;至于深处的第三至第五道,为了应对更大的侧向压力,均统一配置了规格为 $\varnothing 800$ 、壁厚 $t = 20\text{mm}$ 的高强度钢管支撑。

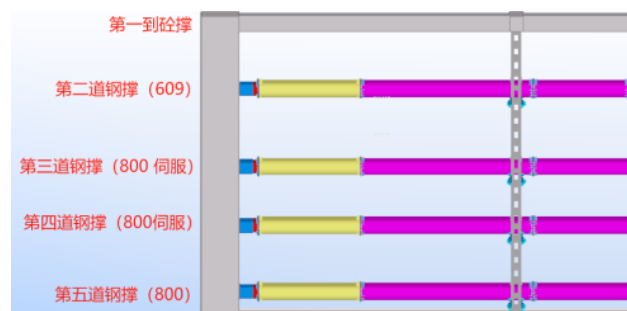


图 5 支撑体系

本工程为一级基坑，对于变形控制要求尤其严格。针对第三道和第四道支撑，采用伺服智能控制系统（如图 6）对支撑轴力进行实时补偿进而主动控制基坑变形。本伺服系统可根据设定的钢支撑的轴力值及上、下限值

进行相应的轴力动态调整。除此之外,系统具备自动补偿功能、轴力实时监控和报警等功能。

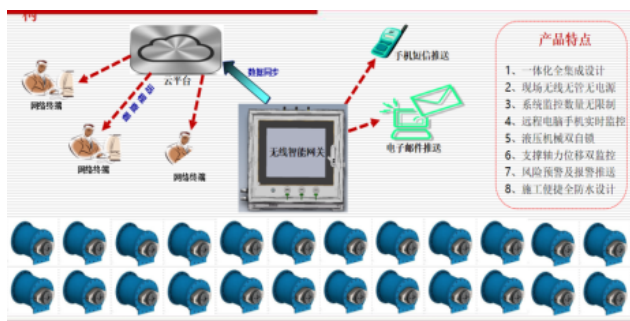


图6 伺服智能控制系统

4 土方开挖

4.1 降水作业

根据施工降水方案,降水井及减压井施工完成验收合格,在地下连续墙围护及首道钢筋混凝土支撑完成、土方正式开挖前,正式进行降水作业。

降水作业遵循“浅井密布、按需减压”的降水原则,对承压水采取降压+加水位观测井控制工况设计、降水监测相结合,在基坑内布置19口减压井,5口观测井,按照方案要求将承压水位降低9~10米,从而降低承压水头。为降低土体含水率,本工程土方开挖前20天,在基坑内布设24口疏干井进行预降水。

4.2 分层分段土方作业体系构建

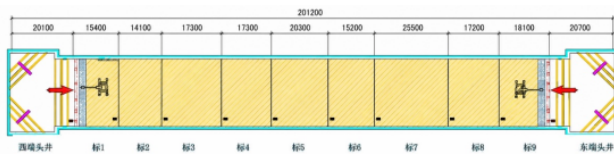


图7 基坑分段示意图

如图7所示,项目主体基坑总长201.2m,根据设计图纸中施工缝、诱导缝及地下连续墙分幅位置将车站主体分为11小段(东、西端头井以及1~9标准段),其中优先完成施工东、西端头井,由两端向中间标准段施工^[5]。

如图8所示为基坑土方开挖作业顺序图(编号为开挖先后顺序)。依据时空效应理论,本基坑土方开挖严格遵循“纵向分段分区、竖向分块分层、均衡对称、按规放坡、留土护壁、杜绝超挖”的原则,并执行“开槽先撑、先撑后挖、限定时效”的施工方针,以压缩基坑的无支撑暴露期^[6]。为精细化控制围护结构侧向变形、表层土体沉降及水平位移,现场将以两根支撑(跨度约6米)作为独立的开挖单元。同时设定严格的时效约束:

一、二层土方开挖后的无支撑暴露期不得超过16小时,三至五层则必须控制在8小时以内,从而实现快速开挖与支撑,尽量减少基坑暴露时间。

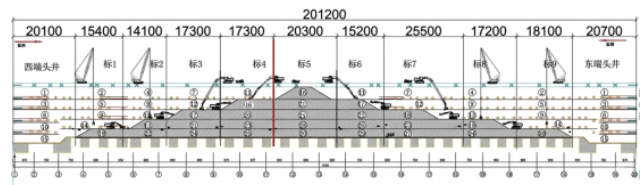


图8 土方开挖顺序图

本工程基坑竖向分层厚度与支撑竖向间距一致,基坑开挖纵向坡度1:3,坡顶设截水沟,坡底设集水井,并在坡腰位置设宽度3m左右的台阶,坡面在下雨时采取遮盖防雨措施。在开挖过程中若出现无支撑施工时间过长,本工程采取抽槽开挖措施,先抽槽挖除支撑位置土方并完成支撑施工后再开挖该段其他部分土体。

基坑首层土采用长臂挖机在每道混凝土支撑之间由东向西开挖;第二层土选用加长臂液压挖机位于基坑南北侧垂直挖土,坑内设一台小型挖机将加长臂液压挖机工作半径以外的土方倒挖至工作半径以内;第三层、第四层及第五层土方采用50吨履带吊配抓斗位于基坑南侧垂直挖土,坑内设一台小型挖机将北侧履带吊工作半径以外的土方倒挖至南侧履带吊工作半径以内。

4.3 支护与土方开挖协同施工

狭长基坑的纵向分段模式能够有效缩减土体大面积裸露的范围,每一个作业单元完成土方清理之后,立刻转入支护施工环节,最大限度压缩基坑无支护的暴露时长。土方作业节奏完全和支护施工进度协同,根据支撑安装、预应力施加的动态调整土方开挖体量,利用时空效应控制地下连续墙的侧向位移,保障围护结构始终处于稳定状态。

5 全域现场监测体系运行

基坑施工全周期布设立体化监测点位,监测范围包括地下连续墙、周边建构筑物以及各类市政管线,监测项目包含地下连续墙测斜、钢支撑轴力、坑内外水位、地表沉降、建筑物倾斜等多项内容。监测点位按照基坑纵向、横向均匀排布,重点在端头井、临近民房与管线的加密布设测点,提升高危区域的监测精度。监测频次根据施工阶段动态调整,土方开挖、支撑安装、预应力施加、承压水降压等关键工序阶段进行加密监测。每日对监测数据进行整理汇总,形成完整监测台账,将现场实测数值和前期建模模拟、力学演算的理论数值进行对比,分析实际工况和理论工况的偏差幅度与变化规律。长期积累的监测数据可以直观反映整套配套技术的运行

状态,也能为后续工序调整、技术优化提供真实的数据支撑。

结语

深基坑支护与土方开挖的配套作业是一项现场实施、动态管控、迭代优化于一体的综合性工程内容。本项目借助数字化建模还原基坑与地层的真实状态,依靠专业力学计算划定全流程作业的安全阈值,通过标准化工序落实开挖、拼装、预应力施加等核心内容,依托全天候监测与闭环整改机制化解各类施工隐患。整套技术方案成功应对了软土、承压水、密集周边构筑物等多重不利条件,基坑形变、结构受力、周边环境等各项指标均稳定在可控范围之内。城市地下基坑项目的施工管控,需要坚持前置演算、过程管控、动态优化的思路,结合场地独有工况调整技术细节。本次实践积累的管控方法与技术经验,能够为后续类似深基坑工程提供切实的参考方向,推动同类项目施工管控水平持续提升。

参考文献

- [1] 李金刚. 深基坑工程土方开挖与支护结构协同施工技术分析 [J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(6):149-152.
- [2] 刘金龙. 建筑工程深基坑支护与土方开挖施工技术 [J]. 全面腐蚀控制,2026,40(1):208-211.
- [3] 官铁锁. 深基坑土方开挖中支护技术的应用分析 [J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(3):021-024.
- [4] 韦宏斌,黎海滨. 高层建筑深基坑支护与土方开挖协同施工技术研究 [J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(4):145-148.
- [5] 吴英超. 深基坑工程中土方开挖与支护技术的施工与管控研究 [J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(2):005-009.
- [6] 王威. 浅谈基坑开挖施工方法及注意事项 [J]. 《科技创新与应用》,2012(8):203.