

深基坑开挖与降水施工关键技术应用研究 ——以上海朗亿项目为例

吴传亮

上海林天建设集团有限公司，上海 201605

DOI:10.61369/ERA.2026070032

摘 要： 本文以上海朗亿项目深基坑工程为依托，系统研究复杂软土高水位条件下深基坑开挖与降水施工关键技术。针对基坑周边环境敏感、地下水位高及围护结构变形控制难度大等问题，重点分析了基坑分区分层分段开挖技术、钢管内支撑体系施工控制、深井井点降水系统布设与运行调控、防沉降控制措施及封井施工技术的关键工艺。研究表明，通过实施分阶段降水与同步支护控制，可有效降低基坑变形与周边沉降风险，提高复杂环境下深基坑施工的整体安全性与稳定性，为类似工程提供技术参考。

关 键 词： 深基坑工程；复合围护结构；钢管内支撑；降水施工

Research on the Application of Key Technologies for Deep Foundation Pit Excavation and Dewatering Construction: A Case Study of the Shanghai Langyi Project

Wu Chuanliang

Shanghai Lintian Construction Group Co., Ltd., Shanghai 201605

Abstract： This paper systematically investigates the key technologies for deep foundation pit excavation and dewatering construction under complex soft soil and high groundwater level conditions, based on the deep foundation pit project of the Shanghai Langyi Project. Addressing issues such as the sensitive surrounding environment of the foundation pit, high groundwater levels, and the difficulty in controlling deformation of the retaining structure, this study focuses on analyzing key processes including zoned, layered, and phased excavation techniques for the foundation pit, construction control of the steel pipe internal support system, layout and operational regulation of the deep well point dewatering system, anti-settlement control measures, and well sealing construction techniques. The research indicates that by implementing phased dewatering and synchronous support control, the risks of foundation pit deformation and surrounding settlement can be effectively reduced, enhancing the overall safety and stability of deep foundation pit construction in complex environments, and providing technical references for similar projects.

Keywords： deep foundation pit engineering; composite retaining structure; steel pipe internal support; dewatering construction

近年来，伴随城市化进程的加速与地下空间开发需求的持续增长，深基坑工程在工业厂房、市政交通、商业综合体等项目建设中应用日益广泛。深基坑施工不仅涉及土方开挖、支护结构、地下水控制等多项复杂工序，还需应对软土地基、高水位、周边荷载敏感性等不利地质环境带来的多重挑战。在软弱地基、高地下水位等复杂地质条件下，若施工不当，极易引发基坑失稳、土体滑移、基底隆起及周边管线破裂、建筑沉降等重大工程事故。

一、深基坑开挖与降水施工的重要性

随着城市工业用地集约化发展，地下空间开发已成为厂房建设的重要组成部分，深基坑工程作为地下结构施工的前提，其开挖与降水技术直接关系到工程质量。特别是在软弱地基、高地下水位、周边管线密布、紧邻已建建筑等环境敏感的区域，若缺乏

科学的基坑支护与降水措施，极易引发基坑失稳、土体滑移、基底隆起、管线破裂及邻近建筑沉降等工程事故，造成严重经济损失和人员伤亡^[1]。系统掌握深基坑开挖与降水施工关键技术，重点优化围护结构施工质量、降水井布设参数及抽排控制工艺，精确控制地下水位与土体应力变化，是保证基坑稳定与施工安全的关键技术前提。

二、项目工程概况与施工条件分析

（一）项目基本情况介绍

本工程位于城市工业发展重点区域，项目用地周边环境复杂，建设任务重、施工组织难度高。项目总占地面积约13333.3m²，总建筑面积达33142.47m²，其中地下建筑面积5846.48m²，地下空间具有一定开发深度，且周边环境敏感，对基坑变形控制和降水施工提出了较高要求。且三面紧邻已建厂区，基坑距已建建筑最近只有18m；另一面邻近市政公共绿地，其中埋设有水、电、燃气、通信等多条管线，距离基坑最近仅8m左右。对基坑工程提出了更高要求。主要建设内容涵盖1栋七层智造车间、2栋三层智造车间、门卫、垃圾房及地下车库，功能以工业厂房为主，结构形式多样，施工内容涵盖土建、机电与安装等多个专业。工程设计使用年限为50年，抗震设防烈度为7度，地下结构防水等级为一级，体现出较高的结构与防护标准。项目施工过程中涉及多项超大与超危大工程内容，如深基坑开挖、模板支撑、起重机械安装与高支模脚手架搭设等，施工技术控制尤为关键^[2]。面对高水位软土层、结构复杂度高挑战，必须通过有效的技术手段推进施工，为区域产业发展提供坚实保障。整体工程概况如表1所示：

表1 整体工程概况

序号	单体	结构形式	层数
1	1# 智造车间	装配整体式混凝土框架结构	7F/1D
2	2# 智造车间	装配整体式混凝土框架结构	3F/1D
3	3# 智造车间	装配整体式混凝土框架结构	3F/1D
4	4# 门卫	框架结构	1F
5	5# 垃圾房	框架结构	1F
6	地下室	框架结构	1D

（二）基坑围护与支护体系布置

本工程地下室围护结构为确保基坑施工过程中的结构稳定性及周边环境安全，地下室围护结构采用两排双轴水泥土搅拌桩内插H型钢复合围护结构。水泥土搅拌桩通过连续成墙形成稳定的挡土结构，同时兼具一定的止水性能，可作为基坑止水帷幕使用，因此工程中未单独设置止水帷幕^[3]。为保证基坑开挖过程中围护结构的整体稳定性，在基坑内部设置一道钢管内支撑体系。支撑体系由Φ609×16mm钢管支撑与钢筋混凝土围檩组成，围檩沿基坑周边连续布置，用于均匀传递围护结构所受侧向土压力，并通过钢管支撑形成稳定的空间受力体系，从而有效控制基坑变形并保障施工安全。支护结构参数在设计阶段主要通过工程经验与数值模拟计算进行确定，在施工过程中通过基坑监测数据对支护体系受力与变形情况进行动态分析，并根据监测结果适时调整施工措施。

（三）深基坑施工特点与技术难点

该项目深基坑施工组织与技术管理复杂度高。基坑采用“分区、分层、分段”的施工方式，确保土体受扰动程度降低，提升资源配置效率。基于松江地区地下水位较高，降水难度大，需同步布设深井降水系统，控制基底隆起、渗流及坑底管涌等不良地质现象，保障基坑稳定。围护结构施工质量对后续支撑系统的可靠性、防渗性能及基坑整体稳定性起到重要作用，必须实施全过

程质量跟踪与监测。项目中涉及多处施工总荷载大于15kN/ m²或集中线荷载超过20kN/m的高支模区域，属超危大模板支撑工程，叠加高空作业、塔吊安装等危大工程因素。

三、深基坑开挖关键技术应用

（一）基坑分区分层分段开挖技术

本项目深基坑采用分区分层分段开挖技术应对围护结构变形风险。通过网络计划技术进行任务分解与系统优化，设立阶段性里程碑节点，结合“分区分段、同步支护”施工工艺，将基坑划分为4个独立开挖单元，每个单元按照“分层开挖、先撑后挖”原则实施。针对软土地层变形敏感的特点，本工程在基坑采用分区分层分段开挖，并结合支撑同步安装控制基坑变形的施工方法。在每个开挖单元中，开挖至支撑底标高后立即完成钢管支撑安装及预应力施加，实现支护结构与土体的快速受力同步。通过控制开挖空间与施工时间（即“时空效应”），有效降低土体扰动和基坑变形。

基坑开挖过程中，应在基坑外侧设置由集水井和排水沟组成的地表排水系统，避免坑外地表水流入基坑内；排水沟宜布置在围护桩外边缘1.5m以外；排水沟中宜回填级配砾石作为滤水层，防止由于围护体位移引起排水沟开裂损坏，导致地表水渗入坑周土中；沿排水沟设置集水井，其位置应根据现场确定，每25～30m一个，水经沉淀后排入市政管网。基坑开挖前应进行基坑开挖影响范围内的疏干降水，预抽水时间根据基坑面积、开挖深度决定，不宜少于15天；对于分层、分块开挖的基坑，开挖前坑内水位应降至开挖面以下1.0m。

（二）钢管内支撑体系施工关键技术

基于本基坑开挖深度5.30～5.95m，基坑总周长约320m，基坑开挖面积约6248m²，本工程基坑支撑体系采用钢管内支撑与钢筋混凝土围檩组合形式。围檩沿基坑周边连续设置，与围护结构形成稳定连接，用于均匀传递围护结构所受侧向土压力。钢管支撑通过预埋钢板与围檩连接，形成稳定的受力体系，从而共同承担基坑开挖过程中产生的侧向土压力，有效控制围护结构变形。钢支撑的支撑长度方向的拼接宜采用高强螺栓连接或焊接，拼接点的强度不低于构件的截面强度。在支撑的节点或转角位置，型钢构件的翼缘和腹板均应加焊加劲板，加劲板的厚度不应小于10mm，焊接高度不应小于6mm。钢支撑与混凝土围檩应确保连接可靠；支撑两端分别与预埋件焊接，焊接尽可能满焊，焊缝高度为10mm。钢管主撑与围檩焊接前必须加设预应力，预应力应达到800kN；预应力施加过程中应检查支撑连接节点，必要时应进行加固，预应力施加完毕在额定压力稳定后予以锁定。能够有效保障钢管内支撑体系在深基坑施工中的安全性与适应性。

（三）基坑开挖监测与应急处置

基坑施工全过程实施动态监测，主要项目涵盖围护结构位移、支撑轴力、地下水位等自动化监测数据实时采集并上传；围护墙顶水平位移、周边地表沉降等人工复测数据按监测频率及时整理上传，并与自动化数据进行比对分析。关键监测项目、控制

标准及施工期间实测最大值详见表2。

表2 基坑开挖阶段关键监测数据统计表				
测项目	仪器 / 方法	设计预警值	施工期间最大值	实测 / 预警比值
围护墙顶部水平位移	全站仪	35 mm	22.8 mm	65%
深层土体水平位移	测斜管	40 mm	15.2 mm	38%
钢管支撑轴力	轴力计	1500 kN	920 kN	61%
坑外地下水位降深	水位计	1.0 m	0.62 m	62%
周边地表沉降	水准仪	30 mm	19.0 mm	63%

监测数据分析表明,各项指标均处于设计允许范围内且留有一定安全余量。应急处置方面,依据《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497—2019及本工程专项监测方案,结合基坑开挖深度、围护结构形式、降水影响范围及周边环境敏感程度,建立监测数据分级响应机制。对围护墙顶部水平位移、深层土体水平位移、支撑轴力、坑外地下水位及周边地表沉降等指标,采用累计变化量与变化速率双控方式进行判断。当监测值达到预警值的80%左右或变化速率出现异常增大趋势时,作为关注状态处理,加密监测频率并复核测点数据;当监测值达到设计预警值或变化速率超过控制要求时,暂停相邻区域开挖,复核支撑轴力、围护位移及降水井运行状态;当出现位移突增、坑底隆起、流砂、管涌、周边地面裂缝或管线异常等情况时,按危险报警处理,及时采取回填反压、局部补强、调整降水强度等技术措施。在施工过程当中,局部开挖和降水同步推进的阶段曾出现监测数据波动加快状况,主要体现为支撑轴力和地下水位变化速率呈现阶段性增大,经过采取暂停局部开挖、调整降水井运行组数、复核钢支撑轴力以及局部补强等相关措施之后,相关监测指标逐步趋向于稳定,没有出现围护结构变形超限、周边地表沉降超限以及坑底突涌等异常情况。

四、深基坑降水关键技术应用

(一) 降水系统分区布设

这个项目的基坑处于上海松江地区典型软土地层,地下水位比较高而且渗透性强,要是降水方案不合理,特别容易引发坑底突涌、土体流失、基底隆起等工程安全隐患^[4],为了有效控制地下水位并保障基坑作业的安全性,项目采用“分区分级”的降水设计策略,结合基坑“分区分段”开挖工艺,科学地布设深井井点降水系统,并且辅以明排系统协同运行,降水井均匀布设在基坑范围之内。井深根据地下水埋深与基底标高进行精确设计,要确保施工期间水位控制在基底以下0.5–1.0m的范围^[5],为避免降水过度引发区域沉降,采取“逐段降水、同步支护”的施工控制方式,确保降水与开挖、支护施工能够动态协调,本工程围护结构采用两排双轴水泥土搅拌桩内插H型钢形式,水泥土搅拌桩在形成挡土结构的同时具备一定的止水性能,可兼作止水帷幕来使用,所以基坑工程中没有单独设置止水帷幕,而是通过围护结构与深井降水系统协同作用,实现对地下水渗流的有效控制。降水井施工的关键技术参数方面,井管采用直径为 $\varnothing$ 273mm的钢管

且壁厚要 ≥ 4 mm,成孔直径需 $\geq \varnothing$ 700mm,通过真空泵抽气集水也就是井管内真空度要 ≥ 65 kPa并配合深井泵来排水,滤水管采用桥式包网结构且孔隙率要 $\geq 15\%$,外包40–60目的金属网片,填充中粗砂滤料,止水段使用优质黏土进行封堵。施工过程中要严格控制井身垂直度偏差 $\leq 1/100$,井管安装长度偏差控制在 $\pm 2\%$,过滤管上下偏差 ≤ 300 mm,单井出水口要设置单向阀,开挖暴露的井管及滤料层需采取封闭措施,并且在真空泵连接位置安装高灵敏度真空压力表来实时监测。

(二) 防沉降措施

本工程位于上海松江地区典型软土地层,土体含水量高、压缩性强,且基坑周边分布有已建厂房及市政管线,环境敏感性较高,因此在降水施工过程中必须严格控制水位降深与抽水强度,减少因渗流扰动引起的地层变形。在实际施工中,坑内水位始终控制在开挖面以下约0.5~1.0m范围内,并结合分层开挖工况逐步调整降水深度,避免一次性大幅降水造成孔隙水压力快速释放,从而诱发软土快速固结沉降。通过控制坑内外水头差,使地下水渗流过程保持相对平缓,降低土体附加应力增量,有效减缓地表沉降发展速率。结合本工程基坑分区开挖特点,降水井采用分组运行方式,根据不同开挖单元逐步开启与调整运行数量,避免全场同步强降水导致水位形成集中漏斗效应。同时对单井抽水量进行控制,一般维持在设计出水能力的70%~90%范围内,使降水过程更加均匀稳定,从而减少因局部水位下降过快而引起的不均匀沉降。由于本工程基坑周边距离既有厂房最近仅约18m,且存在多条市政管线,降水过程中重点控制影响范围,避免水位下降向外围过度扩展。在围护结构水泥土搅拌桩止水体系的基础上,通过控制井点布置间距及抽水强度,使地下水位降落曲线趋于平缓,削弱侧向渗流补给对周边土体的扰动,从源头降低沉降诱发条件。同时,在软土地区施工中,沉降发展与固结速率密切相关,因此本工程在降水过程中强调“缓降水、慢固结”的控制思路,通过逐步降低水位的方式,使土体孔隙水压力分阶段释放,避免瞬时应力重分布造成较大瞬时沉降。对于局部水位下降较快区域,通过调整井点运行组合方式进行水位均衡,使坑内水位分布更加稳定。

(三) 封井施工技术

本工程降水井在完成主体结构施工及抗浮验算满足要求后,按程序实施封井处理,以消除长期渗流通道并保证地下结构防水与抗浮安全。封井施工前,结合地下室底板及结构抗浮设计工况,确认降水停止时机,确保结构自重及配重已能满足抗浮稳定要求后方可进行封井作业。封井施工时,首先清理井内残留水体与淤积砂层,确保井孔内部通畅。随后采用分层回填方式向井内填充黏性土或微膨胀混凝土材料,并逐层夯实密实,控制回填密实度,避免形成空隙通道,防止后期形成渗流集中路径。在井口部位,采用钢板进行焊接封闭处理,钢板厚度20mm,并与预埋钢管可靠焊接固定,形成整体封闭体系,以保证井口部位不产生二次渗漏通道。对于局部埋深较大或存在多含水层贯通的降水井,可在回填完成后增加水泥浆二次注浆封堵,通过浆液填充残余孔隙,提高整体密实性与抗渗性能。封井完成后,应对封堵区

域进行渗水情况检查，重点观察地下室底板及周边区域是否存在渗漏或潮湿现象，确保封井处理不影响结构防水体系的整体性。通过上述封井工艺措施，可有效切断地下水竖向渗流通道，消除降水井长期存在的潜在渗漏风险，同时提高地下结构长期服役阶段的防水可靠性。

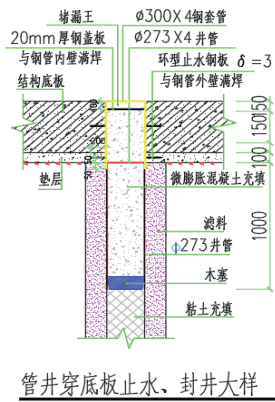


图1 预留管井封井图示

五、经验总结

本工程在深基坑施工全过程中形成的核心经验主要体现在

“分区控制、动态调控、协同施工与信息反馈”四个方面：首先，通过将基坑划分为多个独立作业单元并实施分区分层分段开挖，有效降低了大面积开挖对围护结构的集中扰动。其次在降水控制上采用深井分组运行和分阶段降水策略，避免传统一次性强降水造成水位剧烈波动与地层附加沉降，提高地下水控制稳定性与可控性。再次通过钢管内支撑与围檩体系同步施工及预应力施加，实现支护结构与土体应力快速平衡以有效控制基坑侧向变形，最后依托全过程监测系统对围护结构位移、支撑轴力和地下水位实时反馈，结合预警机制及时调整施工参数让施工过程处于动态可控状态。

六、结语

深基坑工程在城市地下空间开发里起到重要基础作用，施工过程涉及土体开挖、支护体系等多重复杂因素。依托上海朗亿项目实践，本文验证分区分段分层开挖等关键技术有效性，通过全过程监测与信息化反馈机制，实现对基坑变形及地下水位变化动态控制，这显著提升复杂软土地层条件下基坑施工安全性与可控性，实践表明深基坑施工应强化“设计，施工，监测”一体化控制理念，结合智能化监测与精细化施工管理手段提升工程整体风险防控能力与施工质量水平。

参考文献

[1] 李健. 浅析建筑工程基坑施工开挖技术 [J]. 建筑工人, 2026, 47 (01): 38-39.
[2] 吕泽振, 汪道成, 袁玉龙. 深基坑三轴水泥土搅拌桩与灌注支护桩施工关键技术 [J]. 四川水泥, 2026, (01): 133-134+137.
[3] 陈朝文. 城市更新区域深基坑施工对邻近建筑物影响控制的研究 [J]. 价值工程, 2026, 45 (02): 142-145.
[4] 王申龙. CO 锁口桩在深基坑施工中的应用与分析 [J]. 上海公路, 2025, (04): 67-71+222.
[5] 马建峰. 富水软土地层轨道交通车站深基坑工程施工影响分析 [J]. 隧道与轨道交通, 2025, (04): 11-15+73.