

基于进度目标的深基坑围护设计与施工技术研究

王 圳

上海建工二建集团, 上海 200080

[摘要] 以临港新片区 105 社区金融西九项目 (08-01 地块) 深基坑施工为工程背景, 介绍了该项目因外部环境约束影响致使基坑施工无法按照常规施工工况继续进行。经技术研究分析, 在确保项目进度目标的前提下, 通过围护设计与施工技术相结合等措施, 实现了深基坑在首道支撑未全部封闭的前提下, 提前进入后续工序。同时利用项目狭长型基坑的特点, 在两道支撑及基础底板未封闭的前提条件下, 提前进行了支撑拆除及结构回筑, 实现了上下同步施工的关键技术, 为确保项目整体进度目标奠定了一定基础, 相关技术成果也可为后续类似项目提供经验借鉴。

[关键词] 深大基坑; 基坑围护; 施工技术; 同步施工

DOI: 10.33142/ucp.v2i2.16273

中图分类号: TU74

文献标识码: A

Research on the Design and Construction Technology of Deep Foundation Pit Enclosure Based on Schedule Goals

WANG Zhen

Shanghai Construction Second Construction Group, Shanghai, 200080, China

Abstract: Taking the construction of the deep foundation pit of the 105 Community Finance West 9 Project (8-01 plot) in Lingang New Area as the engineering background, this article introduces that the construction of the foundation pit cannot continue according to the conventional construction conditions due to external environmental constraints. Through technical research and analysis, while ensuring the project schedule goals, measures such as combining enclosure design with construction technology have been taken to achieve early entry of deep foundation pits into subsequent processes without fully enclosing the first support. At the same time, taking advantage of the narrow and elongated foundation pit characteristics of the project, with the premise that the two supports and the foundation bottom plate are not closed, the support demolition and structural reconstruction were carried out in advance, achieving the key technology of synchronous construction from top to bottom. This laid a certain foundation for ensuring the overall progress goal of the project, and the relevant technical achievements can also provide experience and reference for similar projects in the future.

Keywords: deep and large foundation pit; excavation enclosure; construction technology; synchronous construction

引言

随着我国城市化进程的加快和地下空间开发的不断推进, 深基坑工程在现代建筑和基础设施建设中扮演着越来越重要的角色。深基坑工程不仅涉及高层建筑、地下商场、地下停车场等大型项目, 还直接关系到工程的安全性、经济性和环境影响。然而, 深基坑施工过程中面临的地质条件复杂、地下水控制难度大、周边环境不确定因素等问题, 使得其设计和施工具有极高的技术挑战性。

近年来, 国内外学者在深基坑支护结构设计、变形控制、地下水处理等方面进行了大量研究, 取得了显著进展。然而, 随着工程规模的扩大和施工环境的复杂化, 深基坑工程仍存在诸多亟待解决的问题, 如支护结构的优化设计、施工过程中的方案优化、施工过程动态监测与反馈, 以及环境保护与可持续发展等。

本文旨在通过对深基坑工程的关键技术问题进行分析, 结合工程实例, 探讨深基坑设计与施工中遇到的问题进行技术、方案等相关优化。实现了基坑水平支撑与基础底板在未整体封闭的情况下, 提前进行了土方开挖、

支撑拆除、地下结构回筑施工工况, 形成了基坑上下同步施工关键技术, 推动了项目整体进度开展, 以期类似工程提供参考和借鉴。

1 工程概况

本工程位于浦东新区临港新片区, 环湖北二路以南, 青祥港以东。项目用途主要为办公、住宅以及地下车库。西九项目主要由 9 个地块组成, 本项目为其中 08-01 地块。08-01 地块基①层填土积约 21600m², 长约 290m, 宽约 74m。基坑普遍区域开挖深度 9.9m~11.2m, 局部深坑落深 2.2m~3.7m。本工程包含一个地下 2 层的钢筋混凝土结构地下室, 地上包括 4 幢单体建筑, 其中 T1#、T2#塔楼为钢框架结构, 地上 10 层; P1#、P2#裙楼为框架结构, 地上 3 层。

基坑北侧为环湖北二路, 道路宽约 50m。东侧为现状香柏路, 道路宽约 32m, 香柏路东侧为 12-01 地块, 待本地块完成后开发。南侧为现状云鹃路, 道路宽度约 30m, 云鹃路南侧为 09-01 地块。西侧近紫檀路及 05-05 地块, 紫檀路下方设有市政管线, 因本工程需要与西侧 05-05

地块地下空间接通，本工程围护施工前，道路下方管线提前迁改完成，待本工程地下室施工完成后，再恢复道路。紫檀路西侧为 05-05 地块，目前围护体已施工，正在进行第一道支撑施工，其地下结构在本地块施工前完成。

场地地貌类型属于潮坪地貌类型，整个场地基坑开挖影响范围内分布①填土、②3-1 灰色砂质粉土、②3-2 灰色粉砂、③淤泥质粉质黏土、④淤泥质黏土、⑤1-1 灰色黏土、⑤1-2 灰色粉质粘土、⑥暗绿色粉质粘土、⑦1 草黄-灰色砂质粉土。⑦1 层为承压含水层，该层承压水对本工程普遍区基坑开挖没有影响。

基坑安全等级为二级，环境保护等级普遍为二级，东侧内部分隔区域环境保护等级为三级。基坑北侧、南侧采用 Φ850mm 钻孔灌注桩排桩，东侧采用 Φ750mm 钻孔灌注桩排桩，西侧拟利用 05-05 地块钻孔灌注桩排桩，坑内沿竖向设两道钢筋混凝土支撑。排桩外围采用 Φ850@600 三轴搅拌桩隔水帷幕。

2 工程实施难点及对策

目前现场已完成桩基、围护结构以及大部分第一道支撑及栈桥的施工，拟进行第二层土方开挖。由于本地块场地内存在一条 10kv 高压电缆线，埋深约 0.5m~1m，为市政道路路灯使用，因业主未及时将其迁移，导致本工程现场施工整体进度受到影响。原基坑设计方案中开挖工况为首层土方开挖及支撑施工整体完成达到设计强度后进行下层土方开挖及支撑施工，待第二道支撑整体形成并达到设计要求后施工第三层土方及基础底板。此电缆线沿南北方向横跨整个地块，导致首道支撑最西侧无法整体形成，严重影响项目后续整体施工进度。

因基坑西侧电缆线影响，为确保项目进度正常开展，项目部组织技术人员进行系统分析研究，经多轮讨论分析，拟决定做出如下技术路线调整。首先对原开挖工况进行调整，即在第一道支撑未完全封闭的情况下，部分区域进行第二层土方开挖，在第二道支撑未完全封闭的情况下，部分区域进行第三层土方开挖。其次为满足基坑提前开挖，对原围护设计进行进一步优化，即对东侧二道支撑区域部分桩基设置抗剪锚筋，西侧电缆线影响区域进行被动土二级放坡。最后分阶段分区域进行支撑拆除和结构回筑施工。

通过上述一系列技术方案调整及围护设计优化，确保了本工程基坑施工阶段可达到上下同步施工关键技术，同时推动项目整体进度开展，挽回前期因外部影响因素所受到的工期延误。

3 基坑开挖工况调整

原基坑设计方案中开挖工况为首层土方开挖及支撑施工整体完成达到设计强度要求进行二层土方开挖及支撑施工，待二层支撑整体形成并达到设计要求后施工三层土方及基础底板。由于此电缆线沿南北方向横跨整个地块，导致首道支撑最西侧无法整体形成，为确保工程整体节点要求，经设计、施工双方技术分析讨论，最终达成一

致决定，对原开挖工况进行调整，即在第一道支撑未完全封闭的情况下，部分区域进行第二批土方开挖，在第二道支撑未完全封闭的情况下，部分区域进行第三批土方开挖。

土方开挖流程调整如下：(1) 首道支撑 1-4 区施工完成后随即进行 5 区、6 区土方（电缆线处不挖）及支撑施工，与此同时进行二层土方开挖，开挖顺序由东向西逐步退挖（即 1-5 区），待支撑工作面形成后立即采取支撑施工并及时浇筑支撑混凝土。(2) 二层土方开挖至 5 区后预留土方不挖，随即放坡进行三层土方开挖及基础底板施工，施工方向均由东向西逐步进行，三层土方开挖至 4 区后停止开挖，各区基础底板随即施工并浇筑完成，西侧放坡留土。(3) 移除电缆线后，二层土方施工方向均由东向西逐步进行，待第二道支撑强度达到设计要求后按序进行三层土方 5、6 区土方开挖，各区基础底板随即施工并浇筑完成。典型工况剖面如下所示：

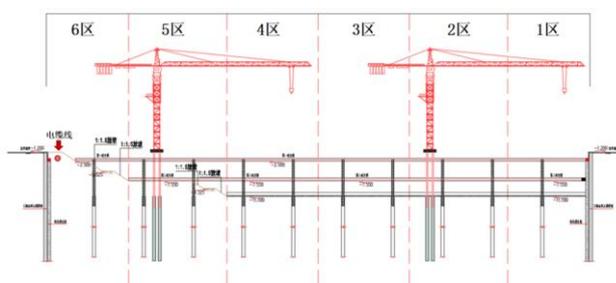


图 1 移除电缆线前三层土方最终开挖工况剖面示意图

4 围护方案优化

为配合基坑土方开挖工况调整，基坑围护设计对目前拟开挖工况进行计算复核。主要涉及以下内容：①第二道支撑未封闭情况下支撑受力进行复核及围护设计措施；②坑内临时放坡稳定性验算及围护设计要求。

4.1 支撑复核计算（开口支撑）

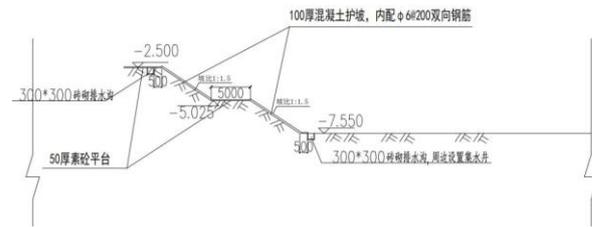
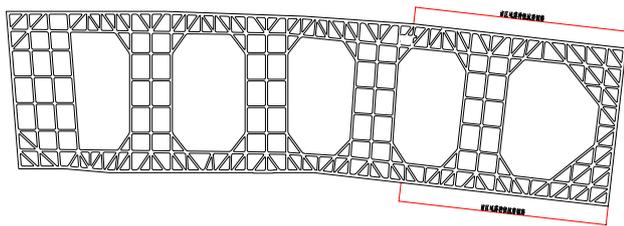
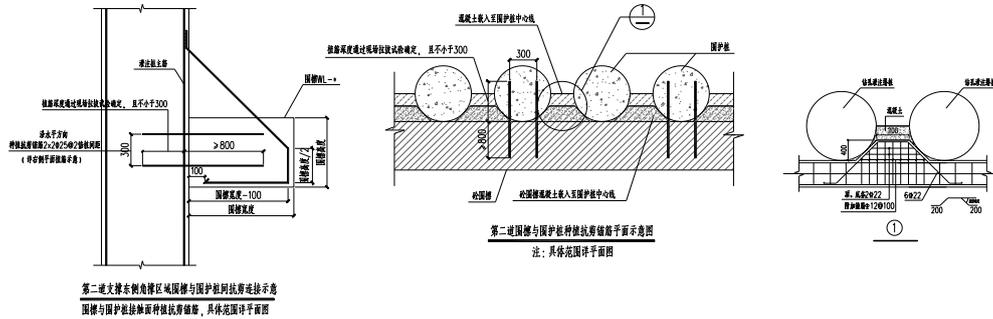
因目前支撑未完全封闭，支撑体系会存在开口支撑这一工况。由于第一道支撑除交界位置外基本上已全部封闭，且灌注桩嵌入第一道支撑内，可满足支撑平面受力要求。对第二道支撑按照开口支撑进行计算复核，根据 BSC 支撑平面计算可知，开口支撑支座反力最大约 15000kN。不考虑围檩与灌注桩间的抗剪作用，全部考虑采用植筋进行抗剪，单侧围檩总植筋数量约 184 根。

考虑V全=15000							
fc	fy	d	av	V	ar	AS	根数
19.1	360	25	0.460676	15000	1	90446.83	184

图 2 支撑开口复核计算

根据下图所示植筋节点，围护桩单根植筋 4 根直径 25 钢筋。植筋区域沿围护桩方向跳桩间隔布置。单侧需植筋长度： $L = \text{植筋根数} / \text{单根桩植筋根数} * \text{桩间距} = 184 / 4 * 2 * 1.05 = 97\text{m}$

对基坑东侧区域围护桩与第二道支撑围檩之间进行植筋，单侧植筋长度约 100m，可满足围檩抗剪要求。



在支撑计算中，将支撑杆件与围檩作为整体，按平面杆系进行内力、变形分析。采用同济启明星软件进行计算，计算时在围檩上施加的水平荷载取围护剖面计算得到的支撑荷载。支撑体系的变形计算时，支撑围檩上施加的水平荷载为标准值，支撑体系的内力计算时，支撑围檩上施加的水平荷载为设计值。其中，荷载分项系数为 1.25。取剖面计算 460kN/m 为第二道支撑围压标准值。

通过计算分析第二道混凝土支撑调整为开口支撑后，支撑变形、轴力、剪力、弯矩及配筋均可满足要求。

4.2 临时放坡技术要求及复核

由于电缆线未迁改，对坑内临时放坡提出以下技术要求：

- (1) 单级放坡坡高不大于 3.5m，坡比不大于 1 : 1.5；
- (2) 超过 3.5m 的临时边坡应进行多级放坡，平台宽度不小于 5m；二道支撑以上边坡坡脚与二道支撑以下边坡坡顶距离控制在不小于 10m。
- (3) 坡面需施做护坡面层，面层厚度 100 厚，混凝土等级为 C20，坡面采用 $\phi 6@200$ 双向配筋。
- (4) 临时放坡位置应增加坡顶变形、裂缝等监测，支撑未封闭前，应加强对东侧围护桩的监测。

典型留土坡面如下图所示，对上述边坡进行稳定性验算，土坡稳定性及墙底抗隆起均满足规范要求。

5 狭长型基坑上下同步施工关键技术

由于本地块西侧受高压电缆线影响，导致本项目两道支撑体系及基础底板无法整体形成，对项目后续的施工开展及节点要求已受到严重影响。

为确保后续项目开展顺利，推进项目总体实施，经过分析研究，决定在基础底板及首道支撑、二道支撑未整体封闭前提前进行支撑拆除工作，注意事项如下：

- (1) 支撑拆除及结构回筑期间应加强监测频率，通过信息化、数据化对基坑进行分析，确保施工过程中基坑处于安全稳定状态。
- (2) 拆撑应严格按照分区进行，拆撑完成后应及时跟进相应区域的结构施工。
- (3) 西侧电缆线移除后立即开展剩余部分首道支撑及二道支撑的施工，尽快完成剩余部分基础底板施工，确保基坑安全稳定。

支撑拆撑及结构回筑流程：

工况 1：底板 1~3 区浇筑完成并达到设计强度 80%，可拆除 A2、B2 区范围第二道支撑杆件，以保证底板和第二道支撑有一榀对撑体系的搭接。T2#塔楼东北角与 A1 区相邻处二道支撑局部拆除。拆除区域随即跟进地下二层结构施工。

工况 2: 底板 A4、B4 区浇筑完成并达到设计强度 80%，可拆除 A1、B1 区第二道支撑杆件，待 A1、B1 区拆除完成后，随即拆除 A3、B3 区第二道支撑杆件。拆除区域跟进地下二层结构施工。

工况 3: 底板 A5、B5 区浇筑完成并达到设计强度 80%，可拆除 A4、B4 区第二道支撑杆件，随即跟进相应区域地下二层结构施工。

工况 4: 1~3 区地下二层施工完成，且 1~3 区达到 80% 设计强度，方可拆除 A1、B1、A2、B2 区首道支撑。T2# 塔楼东北角与 A1 区相邻处首道支撑局部拆除，两边拐角处保留两道斜支撑。拆除区域随即跟进地下一层结构施工。

工况 5: 中板 A4、B4 区浇筑完成并达到设计强度 80%，可拆除 A3、B3 区首道支撑杆件。拆除区域跟进地下一层结构施工。

工况 6: 底板 A6、B6 浇筑完成并达到设计强度 80%，可拆除 A5、B5 区第二道支撑杆件，随即跟进相应区域地下二层结构施工。

工况 7: 底板 A7、B7 浇筑完成并达到设计强度 80%，可拆除剩余 A6、B6、A7、B7 区第二道支撑杆件，随即跟进相应区域地下二层结构施工。

工况 8: 中板 A5、B5 区浇筑完成并达到设计强度 80%，可拆除 A4、B4 区首道支撑杆件，随即跟进相应区域地下一层结构施工。

工况 9: 中板 A6、B6 区浇筑完成并达到设计强度 80%，可拆除 A5、B5 区首道支撑杆件，随即跟进相应区域地下一层结构施工。

工况 10: 中板 A7、B7 区浇筑完成并达到设计强度 80%，可拆除剩余首道支撑杆件。

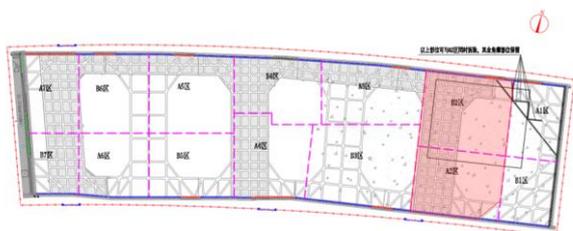


图 8 拆撑分区图



图 9 基坑东西同步施工现场照片

6 基坑动态监测

监测是对工程施工过程中所引起的周围环境与地下管线的变化、基坑围护结构本身的安全及稳定性的变化进行的系统和系列的现场观测工作，是工程信息化施工的重要组成部分，是判断基坑安全和环境安全的重要依据。

根据本工程基坑工况的重大调整，项目部技术人员对施工主要阶段进行了监测数据统计及分析，统计内容具体如下：

表 1 施工主要阶段监测数据统计

主要施工阶段	开始时间	结束时间	围护土体、测斜位移监测（累计最大）	警戒值
坑内留土放坡施工	2021. 12. 23	2022. 1. 20	CX13: 22. 76	累计土 30mm
二道支撑拆除施工	2022. 6. 14	2022. 9. 22	TX2: 28. 58	
首道支撑拆除施工	2022. 8. 27	2022. 10. 26	CX10: 29. 04	

综上所述可以看出，本基坑实施阶段围护土体、测斜位移监测均未达到报警值，基坑施工阶段整体属于受控状态。

7 结语

临港新片区是经党中央、国务院批准的对标国际的自由贸易园区，是上海市建设热点区域，承接本工程对我司有着里程碑意义及政治使命。本工程前期由于南北贯穿高压电线影响，导致现场施工进度受到一定影响，项目技术人员通过土方开挖工况优化，利用坑中被动土及围护体增设抗剪钢筋等措施，同时经围护体计算复核等手段，最终制定了后续基坑实施方案，并经专家论证符合要求，实现了民用建筑深基坑首道支撑在未全部封闭的前提条件下，提前进入二层土方及支撑施工、三层土方及基础底板施工，减少了因前期电缆线影响导致的工程整体进度滞后的情况。同时项目因地制宜利用狭长型基坑的特点，在两道支撑及基础底板未封闭的前提条件下，提前进行了支撑拆除和结构回筑施工，实现了上下同步施工的关键技术。以上所带来的经济效益是无法估量的，潜在方面创造了更多的社会效益，也为后续类似项目实施奠定了技术基础经验。

【参考文献】

- [1] 郭勇惠. 建筑施工中深基坑支护的施工技术探究[J]. 建材发展导向, 2022, 20(4): 160-162.
 - [2] 张文军. 上海临港地区特殊土质条件下的基坑围护方案选择[J]. 建筑施工, 2019, 41(6): 998-1000.
 - [3] 侯静. 软土深基坑支护方案优化及施工风险防范研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2020.
- 作者简介: 王圳(1990. 11—), 男, 汉族, 上海人, 本科, 上海大学, 研究方向: 施工技术与管理。