

自稳式基坑支护结构在软土深超大基坑工程的应用

王 勇

上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司, 上海

收稿日期: 2026年6月27日; 录用日期: 2026年7月19日; 发布日期: 2026年7月30日

摘 要

软土地区深基坑支护方法主要有灌注桩、SMW工法等, 目前灌注桩、SMW工法等需结合水平内支撑, 由于水平支撑需设置立柱桩, 支撑和立柱导致基坑挖土不便、延长施工工期, 以及工程造价较高等问题。为解决该问题, 本文基于网易上海国际文创科技园项目(南区)深超大基坑工程, 其支撑设计采用了自稳式基坑支护结构, 即用斜向支撑代替水平支撑, 通过现场静载荷试验, 验证了斜向支撑承载力, 实现了支护结构稳定、敞开式挖土, 达到了缩短工期、降低成本和绿色环保等目的, 为软土地区类似工程提供借鉴和参考。

关键词

基坑工程, 自稳式, 支护结构, 承载力

Application of Self-Stabilizing Foundation Pit Supporting Structure in Soft Soil Deep and Super Large Foundation Pit Engineering

Yong Wang

SGIDI Engineering Consulting (Group) Co., Ltd, Shanghai

Received: June 27, 2026; accepted: July 19, 2026; published: July 30, 2026

Abstract

The main supporting methods for deep foundation pits in soft soil areas include cast-in-place piles

文章引用: 王勇. 自稳式基坑支护结构在软土深超大基坑工程的应用[J]. 土木工程, 2026, 15(7): 137-147.
DOI: 10.12677/hjce.2026.157186

and SMW method. Currently, cast-in-place piles and SMW method require the combination of horizontal internal support. Since horizontal support requires the installation of column piles, the support and columns lead to inconveniences in excavating the foundation pit, prolonging the construction period, and increasing the project cost. In order to solve this problem, this paper is based on the deep and super-large foundation pit project of Netease Shanghai International Cultural and Creative Science Park (south area). The support design adopts the self-stable foundation pit support structure, that is, the inclined support is used to replace the horizontal support. Through the field static load test, the bearing capacity of the inclined support is verified, and the stability of the support structure and open excavation are realized, which achieves the purposes of shortening the construction period, reducing the cost and environmental protection, and provides a reference for similar projects in soft soil areas.

Keywords

Foundation Pit Engineering, Self-Stabilizing, Supporting Structure, Bearing Capacity

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

城市化发展进程,导致日益紧张的城市用地,使得城市地下空间开发项目越来越多[1]-[3],而其伴随建(构)筑的基坑支护尤为重要。特别是软土地区,土性较差,传统基坑支护方法主要有灌注桩、SMW工法等,目前灌注桩、SMW工法等需结合水平支撑[4]。而常规水平支撑体系主要有两种形式:一是钢筋混凝土支撑;二是钢支撑[5]。由于水平支撑体系,需设置立柱体系,会导致工程挖土不便,延长施工工期,且造价成本较高。

而自稳式基坑支护结构,比混凝土支撑施工快速,缩短地下室结构施工工期,节省工期约25~30天,造价节约25%[6]。在造价、工期和施工便捷性方面,较常规水平支撑方案具有明显优势[7]。

综上分析,本项目基坑支护设计采用自稳式基坑支护结构,用斜向支撑替代水平支撑,达到缩短工期、降低成本等目的。本项目的成功实施可为软土地区基坑工程推广应用提供重要的参考意义和借鉴。

2. 工程概况

2.1. 基坑工程概况

本文基于网易上海国际文创科技园项目(南区),该项目位于青浦区赵巷镇3街坊,场地东至规划佳凯路,北侧至规划佳采路,西侧至已建佳悦路,南侧至规划佳康路。本项目基坑面积5.07万平方米,周长1.03千米,一般区域基坑挖深约10.0m,基坑开挖土方约50万方,基坑规模巨大。

拟建场地周边环境条件相对复杂:① 基坑西侧为新建佳悦路,基坑开挖边线与该侧用地红线的最近距离约6.7m,佳悦路下分布有多条市政管线。② 基坑北侧为规划佳采路、崧泾河,基坑开挖边线与该侧用地红线的最近距离约13.3m,与崧泾河距离约46.0m。③ 基坑东侧为崧塘,河道护坡采用浆砌块石挡墙,基坑开挖边线与该侧用地红线的最近距离约4.2m。④ 基坑南侧规划佳康路,基坑开挖边线与该侧用地红线的最近距离约5.4m。周边环境见图1。

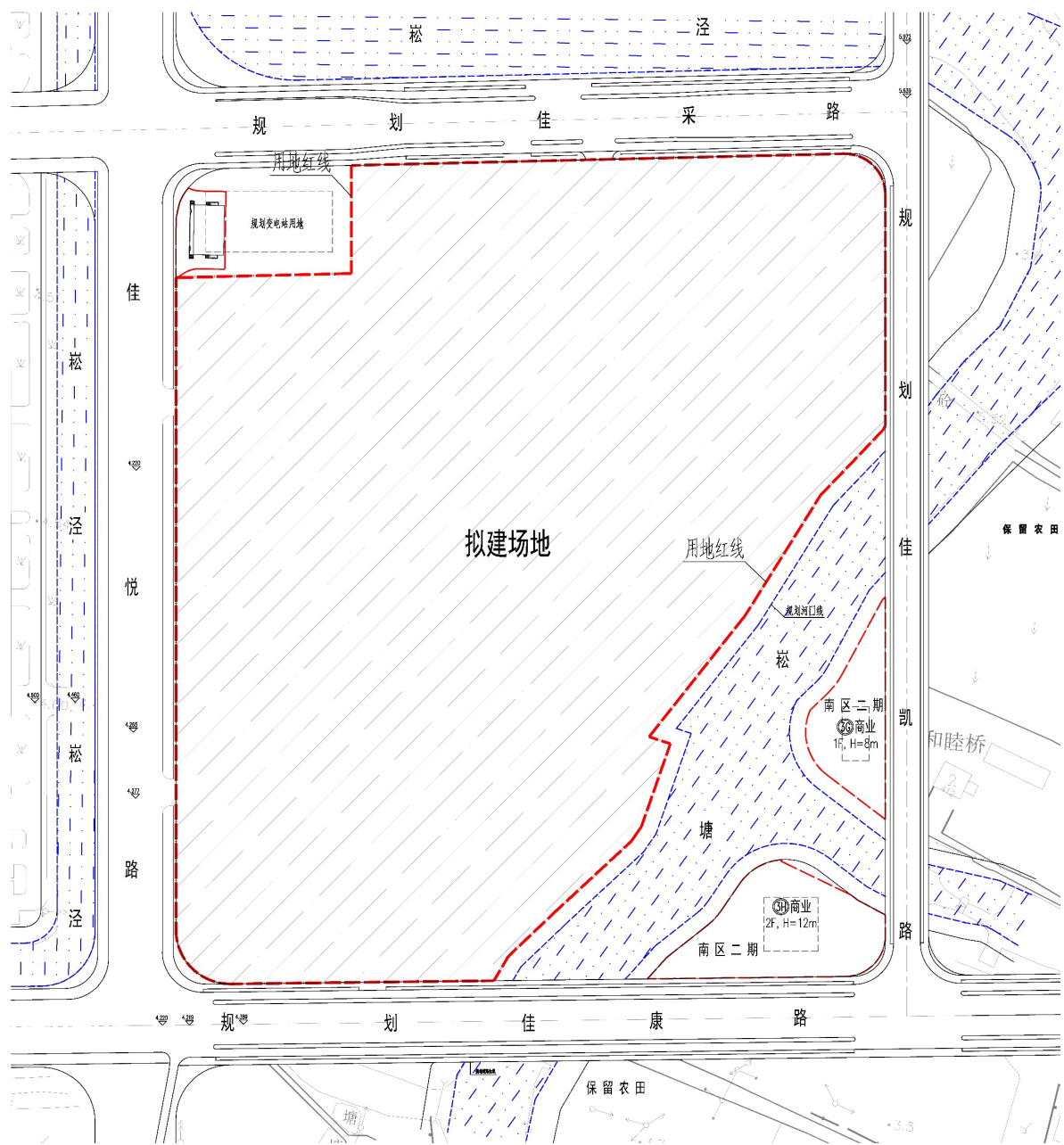


Figure 1. Schematic diagram of surrounding environment of foundation pit
图 1. 基坑周边环境示意图

2.2. 工程地质条件

根据勘察资料，本场地地貌类型属湖沼平原I-1区。拟建场地地势总体较为平坦，局部地段分布有明塘，基坑开挖有影响的地基土分布自上而下详述如下，各土层参数见表1。

1) 第①₁₋₁层填土，主要由粘性土夹碎石、砖块等组成，含植物根茎、有机质，组成成分复杂、性质各异，结构松散，均匀性差。第①₁₋₂层填土，系原浜塘回填形成，以粘性土、淤泥为主，含有机质、腐殖质，夹碎石子，局部含生活垃圾等，成分较杂，土质结构松散、规律性、均匀性差，土质软弱。第①₂层浜底淤泥，富含有机质、腐植物等，土质松软，分布于明浜、塘范围内。

- 2) 第②层灰黄~青灰色粉质粘土,可塑状,中等压缩性,埋藏浅,厚填土地段缺失或仅有少量残留。
- 3) 第③层根据土性差异分为③₁、③₃两个亚层。第③₁层淤泥质粉质粘土,流塑状,高等压缩性。第③₃层淤泥质粉质粘土,流塑状,高等压缩性,土质不均匀。其间粉性土富集段,单独划分为③₃夹层灰色砂质粉土。第③₃夹层灰色砂质粉土,松散状,中等压缩性,具交错层理,土质不均匀。
- 第③₁、③₃层属高压缩性、低强度地基土,是上海地区典型的软弱地基土及天然地基主要压缩层,具有触变、流变等特性,对基坑开挖施工不利。③₃夹层粘聚力低,在水头压力下有产生流砂等可能性,对基坑开挖施工不利。
- 4) 第⑤层灰色粉质粘土,可塑~软塑状、中等压缩性,土质较均匀。场地内局部地段分布,分布不稳定,层底起伏较大,层厚变化较大。
- 5) 第⑥层根据土性差异分为⑥₂、⑥₃两个亚层,⑥₃层又可分为⑥₃₋₁、⑥₃₋₂、⑥₃₋₃、⑥₃₋₄四层。第⑥₂层灰色砂质粉土,稍密~中密状、中等压缩性,土质不均匀。场地内局部地段缺失。第⑥₃₋₁层灰色粉质粘土与砂质粉土互层,粉性土、粘性土层厚比约 1:1,粘性土可塑状,粉性土松散~稍密状,中等压缩性,土质不均匀,粉性土局部富集。第⑥₃₋₂层灰色粉质粘土,可塑状,局部夹薄层粉性土,中等压缩性。场地内局部地段分布,层厚变化较大。第⑥₃₋₃层灰色砂质粉土,稍密状、中等压缩性,夹粘性土,土质不均匀。第⑥₃₋₄层灰色粉质粘土,可塑状,局部夹薄层粉性土,中等压缩性。

Table 1. Table of foundation pit support parameters
表 1. 基坑围护参数表

层序	土名	重度 γ (kN/m ³)	固结快剪峰值		渗透系数 K (cm/s)
			C (kPa)	φ (°)	
②	粉质粘土	18.7	21.0	18.0	5.0E-06
③ ₁	淤泥质粉质粘土	17.9	12.0	17.0	4.0E-06
③ ₃	淤泥质粘质粉土	17.8	12.0	16.5	5.0E-06
③ ₃ 夹	砂质粉土	18.7	5.0	31.5	4.0E-04
⑤	粉质粘土	18.0	19.0	18.0	5.0E-06
⑥ ₂	砂质粉土	18.8	5.0	30.5	5.0E-04

2.3. 不良工程地质条件

拟建场地范围内有明浜,明浜水深在 1.2~1.4 m,底部第①₂层淤泥厚度在 0.8~1.1 m,浜底淤泥富含有机质、腐植物等,土质差。

场地局部地段有暗浜分布,系原浜塘回填形成,浜填土揭露厚度在 0.5~2.8 m,以粘性土、淤泥为主,含有机质、腐殖质,夹碎石子,局部含生活垃圾等,成分较杂,土质结构松散、规律性、均匀性差,土质软弱。

基坑周边部分地段存在厚填土,其最大厚度约 4.4 m,主要由粘性土组成,夹碎石、砖块及生活垃圾等,此层成分较杂、性质各异,土质结构松散,含有机质、腐植物,均匀性差。

3. 基坑围护设计方案

本基坑工程开挖深度较深,基坑开挖面积巨大,若采用常规两道水平钢筋混凝土支撑方案,由于支撑体量较大,且基坑需要分坑开挖,具体平面布置见图 2。常规支撑方案,施工和养护时间较长,且基坑内存在两道水平支撑和众多竖向立柱,导致不便于土方开挖及抢主楼施工,整体开发周期无法满足项目

的开发进度。

综上考虑，支撑方案采用上海勘察设计院(集团)有限公司专利技术“可回收直立式门架自稳围护体系”[8]，即采用自稳式基坑支护结构，用斜向支撑替代水平钢筋混凝土支撑，具体平面布置见图3，典型剖面见图5。

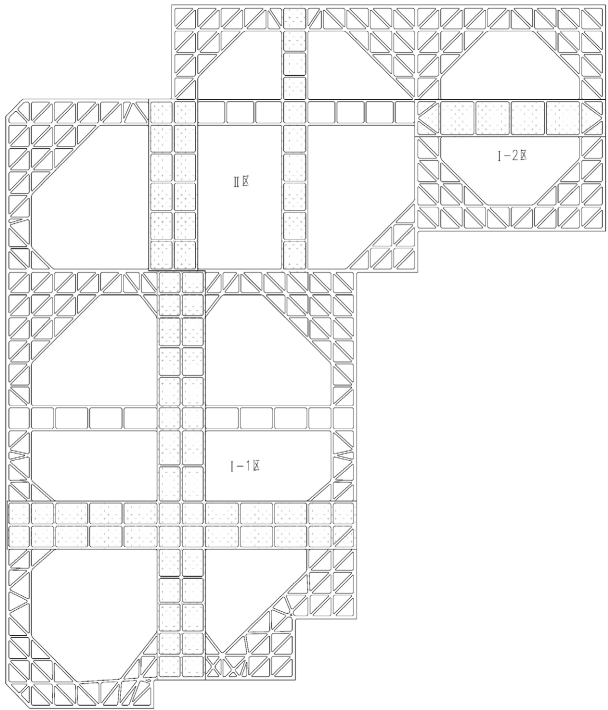


Figure 2. Conventional horizontal reinforced concrete support scheme
图 2. 常规水平钢筋混凝土支撑方案

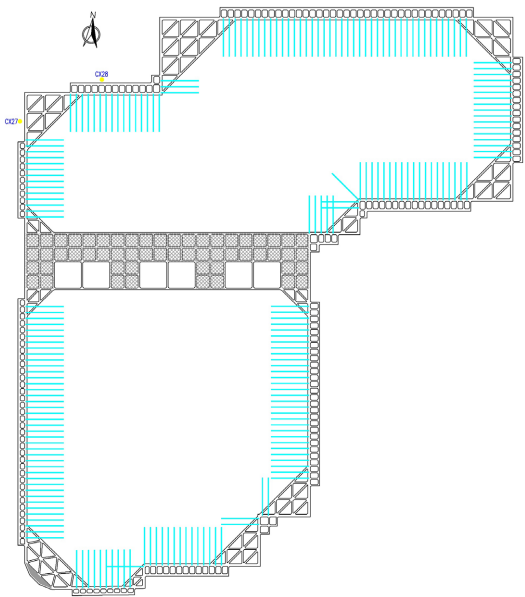


Figure 3. Support scheme of self-stabilizing foundation pit support structure
图 3. 自稳式基坑支护结构支撑方案

3.1. 围护体系

依据基坑周边环境、土层分布、基坑挖深等条件，基坑围护设计方案如下：

- ① 基坑角部区域：止水帷幕采用1排三轴3Ø850 @1200搅拌桩，围护桩采用1排灌注桩 Ø950 @1150，桩长 22.0 m，围护剖面见图 4。
- ② 基坑中部区域：止水帷幕采用1排三轴3Ø850 @1200 搅拌桩，围护桩采用双排灌注桩门架，前排桩采用 Ø950 @1150 灌注桩，桩长 22.0 m；后排桩采用 Ø950 @3450 灌注桩，桩长 22.0 m，双排桩间距 5.0 m，围护剖面见图 5。

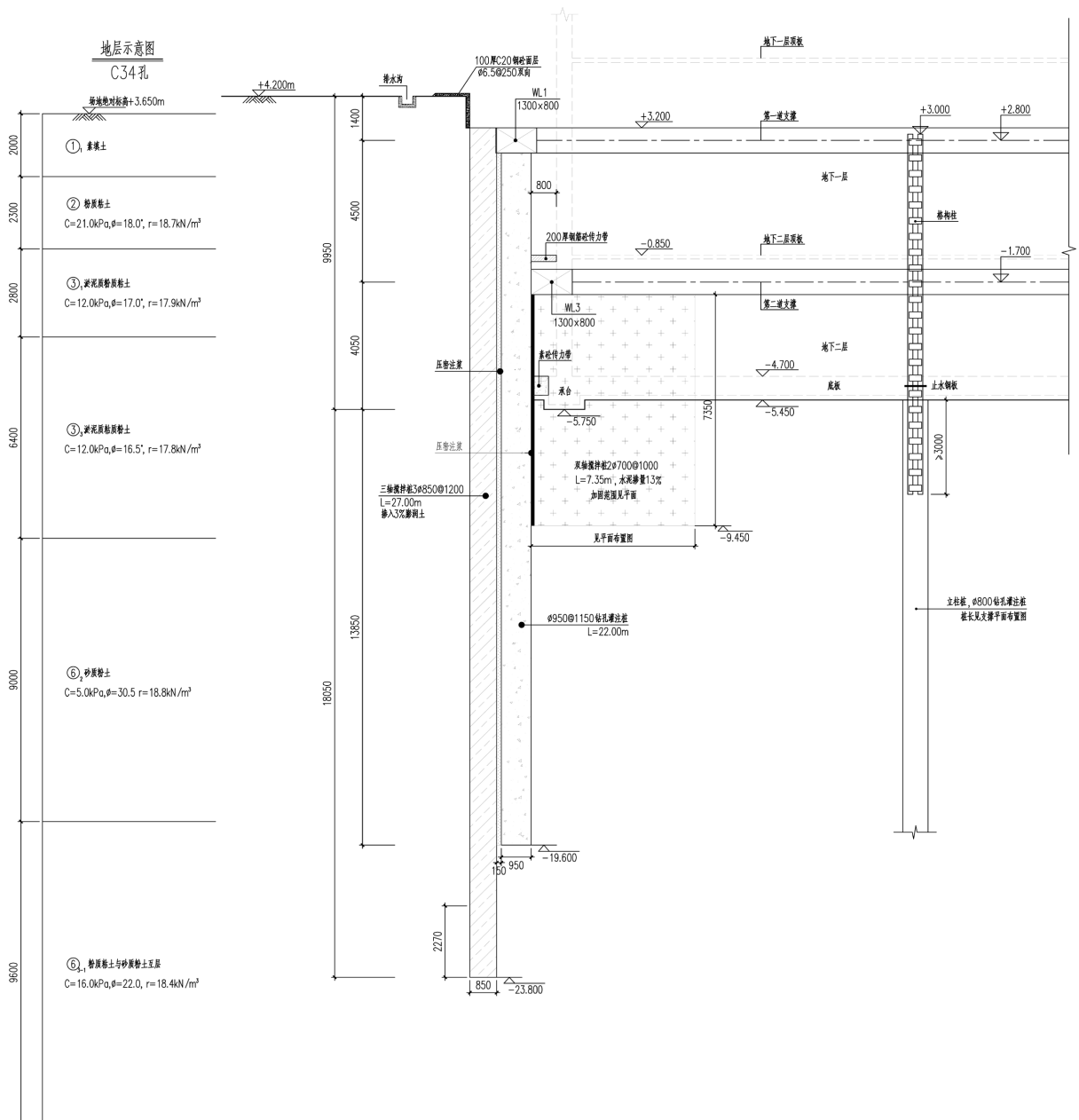


Figure 4. Sectional view of corner enclosure of foundation pit
图 4. 基坑角部围护剖面图

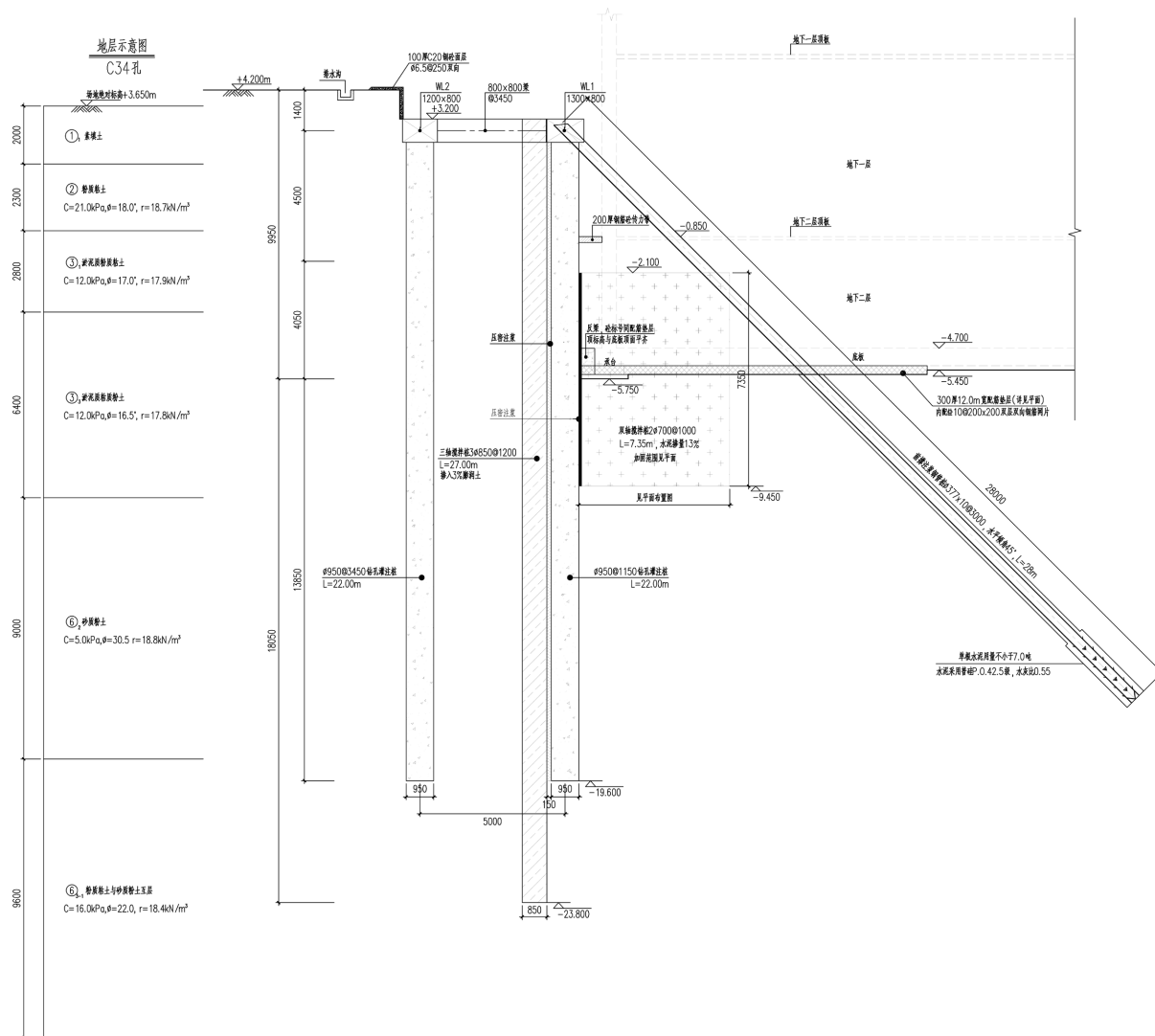


Figure 5. Sectional view of retaining wall in the middle of foundation pit
图 5. 基坑中部围护剖面图

3.2. 支撑体系

支撑布置型式主要分为两种：一是基坑角部采用水平砼角撑；二是基坑中部采用自稳式基坑支护结构支撑，支撑平面见图3。

基坑中部区域：考虑基坑挖土便利和节约造价，设计采用 $\text{Ø}377 \times 10 \text{ mm} @ 3.0 \text{ m}$ 钢管斜支撑，钢管长度 28.0 m ，与水平面夹角 45° ，单根水泥用量不小于 7.0 吨。

3.3. 围护造价及工期

本项目设计方案主要在于内支撑的选取，本文分别从工程造价和施工工期角度分析对比如下：

① 混凝土支撑：施工工作量大，且由于水平支撑覆盖导致基坑挖土不便，使得基坑整体造价和施工工期均较高；

② 自稳式基坑支护结构：代替了原有复杂的水平支撑体系，混凝土支撑工作量大，绿色环保，环境及社会效益明显，整体造价相对常规方案节约 15%；其次该工艺施工速度较快，可实现土方的敞开式开

挖,施工工期节约 5 个月以上。此外,钢筋、混凝土等材料用量远少于常规方案,避免了拆撑时对环境
的二次噪音、粉尘污染,实现绿色低碳。

4. 自稳式支护结构承载力及基坑变形

为满足自稳式基坑支护结构承载力设计要求,本项目通过对试桩采用单桩静载抗压试验进行验证。

4.1. 试验仪器

试验采用一台 1500 kN 油压千斤顶施加于试桩桩顶,采用 RS-JYB 桩基静载荷测试分析仪(仪器编号
DJ-05)测读荷载和试桩沉降量,配套 4 只大量程位移传感器,及其他辅助设备。

4.2. 试验方案

设计最大加载量 1200 kN,依据上海市标准《建筑地基与基桩检测技术规程》(DG/TJ 08-218-2017) [9],
本次检测抗压静荷载采用加载方式为快速维持荷载法。

每级荷载值为最大加载量的 1/10,第一级取 2 倍级差加载量进行加载,逐级等量加载,直至达到设
计要求的最大加载量,每级卸载量为分级加载量的 2 倍,共分 5 级卸载。

① 加载:每次加载后测读时间为:5 min、15 min、30 min、45 min、60 min,之后每隔 30 min 测读
一次,最后 2 级 60 min。

② 卸载:每级卸载后测读 15 min,按 5 min、15 min 进行测读,即可卸下一级荷载。荷载卸至零时
的测读时间为:5 min、15 min、30 min、60 min、90 min、120 min。

③ 试桩沉降相对稳定标准:每一小时内桩顶沉降量不超过 0.1 mm,并连续出现两次。

依据规范[9]终止试验条件,确定单桩抗压极限承载力。现场静载试验现场照片见图 6。



Figure 6. On-site static load test photos
图 6. 现场静载试验照片

4.3. 试验结果与分析

图 7 为钢管斜支撑静载试验 Q-S 关系曲线,从图中曲线规律可知,钢管桩的单桩竖向抗压极限承载力
力不小于 1200 kN,满足设计承载力要求。

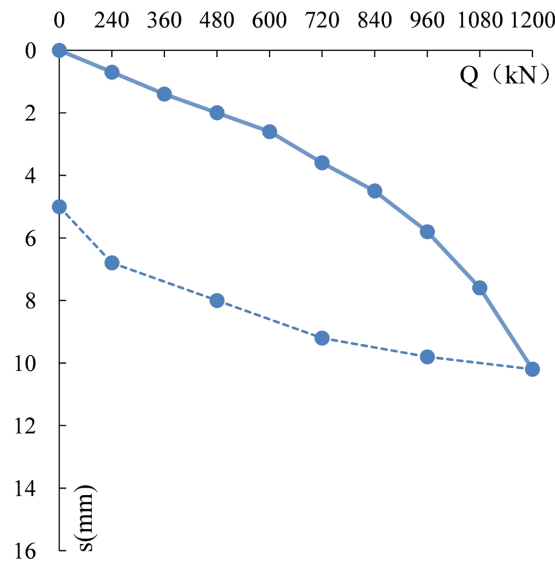
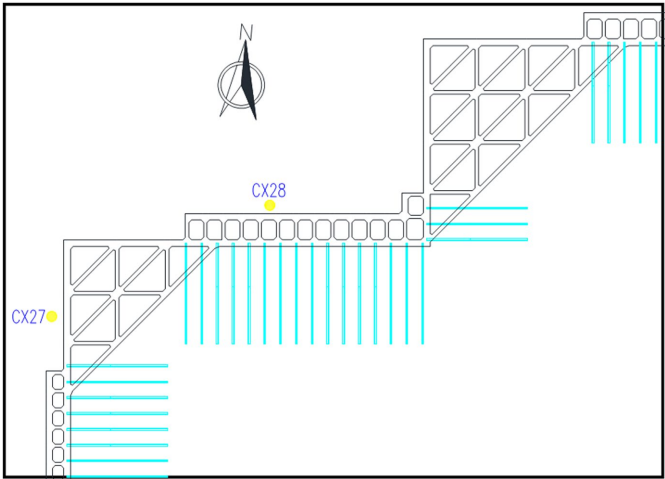


Figure 7. Q-S relation curve of static load test of steel tube inclined support
图 7. 钢管斜支撑静载试验 Q-S 关系曲线

4.4. 基坑变形

基坑施工过程中，本工程对基坑周边环境、支护体系进行了全过程监测，其中重点监测基坑施工过程中，围护墙侧向变形，监测点位置见图 8。



注：CX27 表示水平角撑区域围护结构测斜点位；CX28 表示自稳式基坑支护结构区域围护结构测斜点位。

Figure 8. Plan of monitoring points at northeast corner of foundation pit
图 8. 基坑东北角监测点平面图

图 9 为基坑东北角区域围护体测斜累计最大值与土层深度关系曲线，从测斜数据可知，测斜数据表现为典型的“鼓肚子”形态，坑底附近为测斜位移最大值。CX27 (水平角撑区域)累计最大值约为 36.9 mm，CX28 (自稳式基坑支护结构区域)累计最大值约为 38.5 mm，基坑变形在允许范围内，基坑开挖对周边环境的影响安全可控。

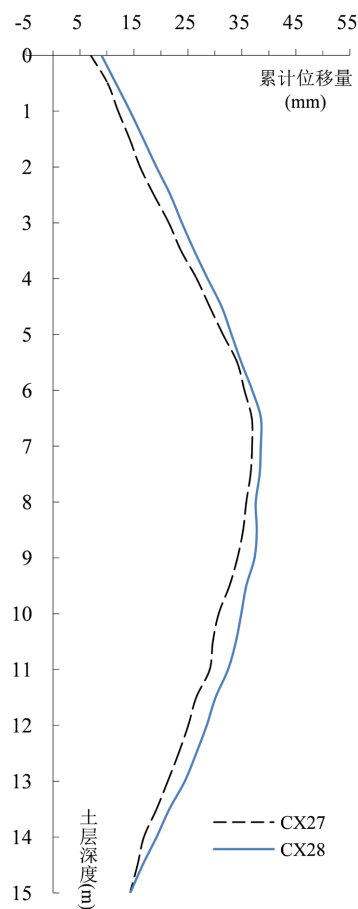


Figure 9. Inclinometer data of retaining pile in northeast corner of foundation pit
图 9. 基坑东北角围护桩测斜数据

对比 CX27 和 CX28 测斜累计位移数据可知, 在本基坑工程实施条件下, 自稳式基坑支护结构区域基坑变形控制接近水平角撑区域, 在一定程度上反映出自稳式基坑支护结构承载力可靠, 可以良好地控制基坑变形, 基坑开挖现场照片见图 10。



Figure 10. Photos of foundation pit excavation site
图 10. 基坑开挖现场照片

5. 结论与建议

综合本项目周边环境、基坑挖深和土层条件,本基坑工程采用排桩 + 支撑围护型式。由于结合项目工期及经济性要求,基坑中部支撑采用自稳式基坑支护结构,极大减少常规混凝土支撑布置范围,既满足安全要求,同时节省工期和造价,依据本项目实施情况,结论与建议如下:

1) 通过静载荷试验,自稳式基坑支护结构单桩竖向抗压极限承载力均不小于 120 kN,满足设计承载力要求。

2) 通过围护体测斜数据对比,在本基坑工程实施条件下,自稳式基坑支护结构区域基坑变形接近水平钢筋混凝土支撑,可以良好地控制基坑变形,满足基坑变形要求。

3) 在本工程条件下,自稳式基坑支护结构代替常规水平钢筋混凝土支撑,实现了支护结构稳定、敞开式挖土,达到缩短工期、降低成本和绿色环保目的。

参考文献

- [1] 王瑞军. 岩土工程深基坑支护的设计与施工分析[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(9): 161-162.
- [2] 刘亚宇. 常规深基坑支护技术综述[J]. 建筑技术开发, 2012, 39(10): 70-75.
- [3] 甄精莲, 段仲源, 贾瑞晨. 深基坑支护技术综述[J]. 工业建筑, 2006(S1): 691-694+713.
- [4] 周法献, 崔鹏飞, 温禾. 基坑支护施工技术创新[J]. 山西建筑, 2020, 46(2): 61-63.
- [5] 石敏俊. 软土区基坑内支撑体系优化设计与应用[J]. 土工基础, 2021, 35(3): 287-289.
- [6] 惠彬永. 前撑式式注浆钢管支撑在基坑围护中的应用与研究[J]. 建筑施工, 2018, 40(11): 1868-1870.
- [7] 郑朱元, 张志. 前撑式式注浆钢管斜撑体系在基坑工程中的应用分析[J]. 技术园地, 2019, 37(1): 69-72.
- [8] 顾国荣, 杨石飞, 许杰, 等. 一种可回收直立式门架自稳围护结构及其应用方法[P]. 中国专利, CN107268636A. 2017-10-20.
- [9] 上海市建筑科学研究院(集团)有限公司. DG/TJ 08-218-2017 建筑地基与基桩检测技术规程[S]. 上海: 上海市住房和城乡建设管理委员会, 2018.