

# 软土地区大面积贴边坑中坑支护形式的工程实践研究

魏仁杰

(中船勘察设计研究院有限公司,上海 200063)

**【摘要】** 以上海软土地区某基坑工程为实例,结合坑中坑的位置、开挖深度、周边环境和施工条件等特点,详细阐述了不同条件下贴边坑中坑的支护形式。通过对监测结果的分析,证明了该设计的安全性和合理性,工程取得的经验对于类似工程具有一定的实践和参考意义。

**【关键词】** 软土地区;坑中坑;监测

**【中图分类号】** TU 473

**【文献标识码】** A

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2019. 02. 010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Study on Retaining Structures of the Large Pit-in-pit Excavation in Soft-soil Area

Wei Renjie

(China Shipbuilding Industry Institute of Engineering Investigation & Design Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

**【Abstract】** Taking a foundation pit project in soft-soil area of Shanghai as an example, the retaining and protection of the pit-in-pit are expounded under different conditions in combination with the characteristics of the pit location, pit depth, surrounding environment and construction conditions. Through the analysis and research of the monitoring results, the safety and rationality of the design are proved. It would provide a good reference to other similar projects.

**【Key words】** soft-soil area; pit-in-pit excavation; monitoring result

### 0 引言

地下空间的开发是当今城市化发展的必然和趋势,这势必导致基坑工程的支护形式也随之进步。基坑工程虽是一项临时工程,但在整个建筑结构的施工中占据着重要地位。由于建筑功能和结构设计的需要,通常要在大基坑中进行二次开挖甚至多次开挖形成坑中坑,然而不少工程由于对坑中坑的忽视而导致一系列基坑事故<sup>[1-2]</sup>,龚晓南教授曾撰文呼吁设计人员对坑中坑要引起重视<sup>[3]</sup>。基坑工程是一项临时工程,若将坑中坑设计得过于保守,则会导致不必要的工程浪费<sup>[4-5]</sup>。基于以上考虑,本文以上海软土地区某基坑为例,该基坑存在多个坑中坑,且坑中坑面积均较大,在分析周边环境、基坑规模及施工条件的基础上,结合专家意见,提出了不同情况下坑中坑的支护形式,为类似的工程提供一定参考和借鉴。

### 1 工程概况及环境情况

该工程是一个集多栋商业、办公楼和酒店公寓为一体的大型建筑基坑,拟建的建筑物为框架剪力墙结构及框架结构,基础均采用桩筏基础。基坑总面积约 11000 m<sup>2</sup>,周长 440 m,典型开挖深度为 6.45 m,局部有设备用房区和机械车库区,分别开挖 7.25 m 和 8.65 m,集水坑落深 1.2~1.5 m。基坑南侧距离红线为 4 m,红线外为 18 m 宽的海阳路,路下有一电信和信息管线,距离基坑边分别为 7 m 和 9 m;东侧距离红线仅 3.5 m,红线外为城市绿地及上南路;北侧距离红线仅 2.9~3.7 m,红线外为 6.5 m 宽的恒大路,路下设有 300D 和 150D 的配水管,距离基坑边线最近约 12.6 m;西侧距离红线为 4.9~11.3 m,红线外 21 m 处为杨思港,该部分为空地,作为施工临设区域,其余侧围墙均沿着红线布置,该工程设有一个出入口,位于基坑西南角,

进入海阳路。基坑与周边环境,见图1。

2 工程地质情况

拟建场地地貌类型属上海地区四大地貌单元之一的滨海平原类型,基坑开挖范围内的土层分布依次为:①填土,层厚为1.2~2.7 m;②<sub>1-2</sub>粉质黏土,层厚1.2~2.2 m;③淤泥质粉质黏土,层厚0.6~4.6 m;③<sub>1</sub>砂质粉土夹淤泥质粉质黏土,层厚1.1~2.7 m;④淤泥质黏土,层厚7.2~9.4 m;⑤<sub>2-1</sub>砂质

粉土,层厚2.9~6.3 m。

本场地对基坑工程有影响的地下水主要是浅层潜水,勘察期间测得场地内静止地下水(潜水)埋深1.10~1.40 m,设计地下潜水位按上海市平均水位0.5 m考虑。

⑤<sub>2</sub>、⑦层中赋存有承压水,承压水水位呈周期性变化,一般埋深为3.0~11.0 m。经计算,基坑不存在突涌的可能性。基坑围护设计参数见表1。

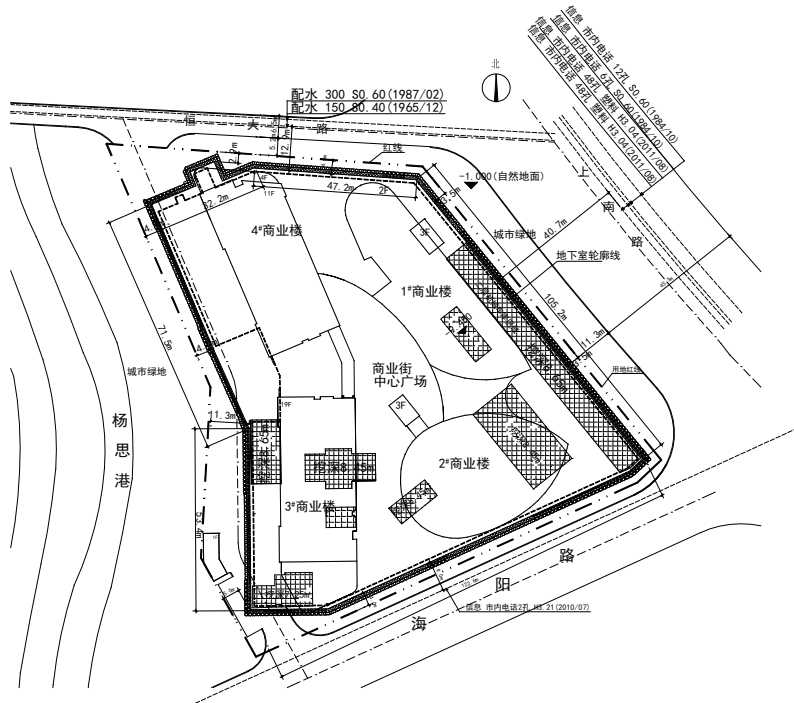


图1 周边环境图

表1 基坑围护设计参数表

土层编号	土层名称	重度/(kN·m <sup>-3</sup> )	内摩擦角 φ/(°)	黏聚力 c/kPa
①	填土			
② <sub>1-2</sub>	粉质黏土	18.8	19.0	17
③	淤泥质粉质黏土	17.2	15.5	12
③ <sub>1</sub>	砂质粉土夹淤泥质粉质黏土	18.2	28.0	6
④	淤泥质黏土	17.0	12.0	13
⑤ <sub>2-1</sub>	砂质粉土	18.5	33.0	4

注:土的c、φ值均采用勘察报告提供的固结快剪峰值指标

3 基坑围护设计思路

3.1 基坑特点及难点

基坑特点:(1)周边环境:基坑三侧临近市政道路,且道路下存在大量市政管线,有一定的环境保护要求;(2)基坑规模及形状:基坑总体面积较大,基坑形状较不规则。

基坑难点:(1)基坑二次开挖及多次开挖的坑中坑及贴边坑较多,且开挖的深度较深,面积较大,最大的贴边落深坑面积达600 m<sup>2</sup>;(2)基坑距离红线较近,除了西侧外,其余三侧距离围护墙仅3 m左右,局部净距小于3 m。基坑东侧贴边深坑落深2.2 m,长度达80 m,在保证落深区安全的基础上,如何实

现经济及施工可行是本工程的一个难点。

### 3.2 基坑围护分项设计

基坑总体采用钻孔灌注桩(受力挡土)+三轴搅拌桩(止水)+一道混凝土支撑的围护形式。其中贴边的二层机械车库区(图1中的①和②区)增设一道钢支撑。

#### 3.2.1 一般车库区

一般区域典型挖深 6.45 m,采用  $\phi 700@900$  的钻孔灌注桩,桩长 13 m,插入比为 1:1.3;止水帷幕采用  $\phi 650@900$  三轴水泥土搅拌桩,桩长 12.0 m,击穿高渗透土层③<sub>1</sub>砂质粉土层及中渗透土层③淤泥质粉质黏土层,桩底进入微渗透性④层不小于 1.0 m,同时插入坑底以下 5.55 m,形成封闭的止水帷幕,并能满足深井降水要求。具体支护形式见图 2。

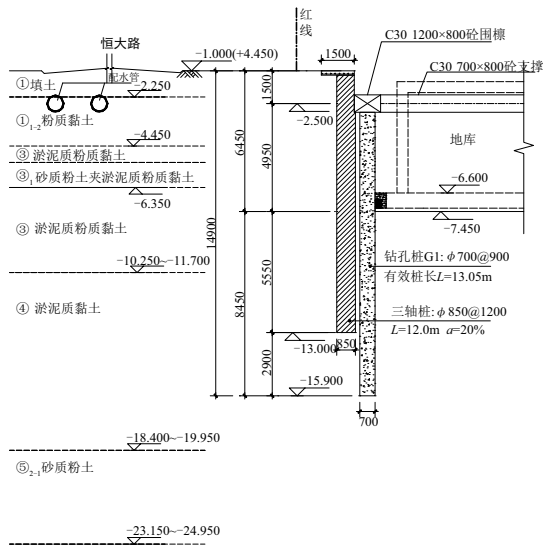


图2 典型剖面图

#### 3.2.2 设备用房区

该区(图1中的③)开挖深度为 7.25 m,平面尺寸为 10 m×17.5 m,采用  $\phi 800@1000$  的钻孔灌注桩,桩长 15 m,插入比为 1:1.3,止水帷幕同一般区域。该区域存在一 2.6 m×2.15 m 的贴边集水坑,落深 1.55 m,挖深达到 8.8 m,该部分桩长增加到 17 m,并要求集水坑开挖后三天内浇筑集水坑底板。

#### 3.2.3 东侧机械车库区

基坑东侧机械车库区规模为 7.0 m×80.0 m×2.2 m,总的挖深为 8.65 m。“先浅后深”和“先深后浅”的开挖方案,直接决定围护方案的不同。“先浅后深”的方案,即要求大底板完成后在开挖落深坑,这是深浅式基坑常采用的方法,也是较安

全的一种做法。由于基坑南、东、北三侧开挖线距离围墙较近,若该侧采用此方法,则后期挖土无法实现,因此该侧只能采用“先深后浅”的开挖方案。由于落深区面积较大,为保证基坑安全,该侧增设一道钢支撑,浅部大底板未完成,在保证施工可行及经济的基础上,如何设置支撑的撑点,是该部分考虑的难点。

经多次计算及比较,该侧采用如下支护方式:采用  $\phi 800$  的钻孔灌注桩,有效桩长 18.05 m,机械车库区与一般车库区高低差采用 2.7 m 宽、6 m 长的双轴水泥土搅拌桩坝体,内套  $\phi 700@4000$ ,8.5 m 长的钻孔灌注桩,桩顶设置 1000×700 的 C40 圈梁,第二道支撑撑在该圈梁上。具体支护形式见图 3。

该侧施工流程:架设好第二道钢支撑后,开挖二层机械车库区;施工机械车库区底板,待强度达到后拆除第二道钢支撑;施工大底板,采用 400×400 型钢进行换撑,拆除第一道支撑。

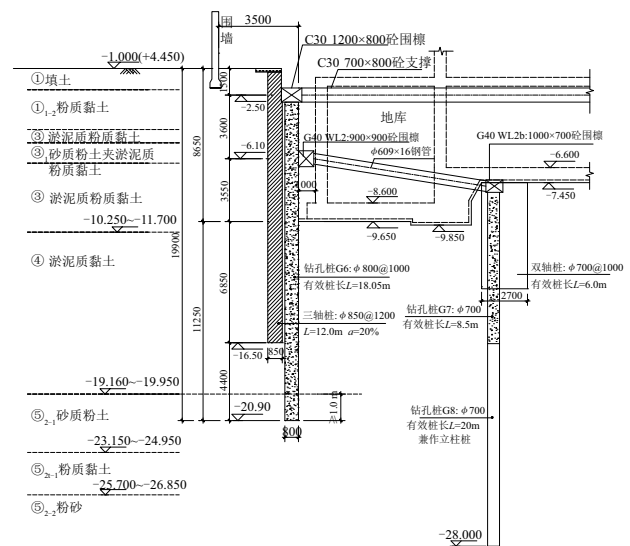


图3 典型剖面图

#### 3.2.4 西侧机械车库区

机械车库区与东侧机械车库区开挖深度相同,平面尺寸为 8.6 m×19 m,面积约 160 m<sup>2</sup>,该侧基坑外为施工场地区,且与南侧出入口联通,尽管两个机械车库区开挖深度相同,但由于两侧施工条件及周边环境不同,因此,从经济及施工便捷等方面综合考虑,该侧采用常规做法,即先施工浅部基坑的大底板,待大底板完成后,将第二道支撑撑在底板上。由于该侧落深区面积较小,且该侧环境较宽松,当二层底板完成后可同时拆除支撑。该侧具体支护形式见图 4。

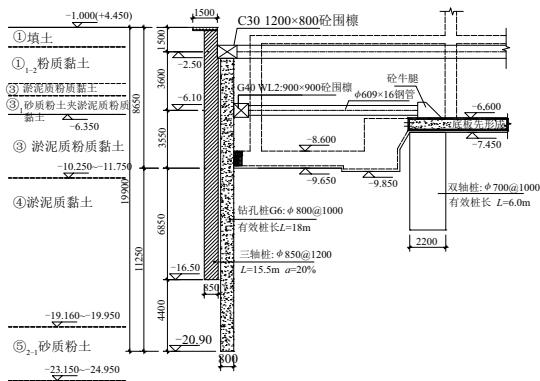


图4 典型剖面图

### 3.3 基坑支撑及换拆撑设计

支撑:基坑主要采用一道 C30 混凝土支撑,为保证基坑总体受力平衡,其平面布置采用“集中对撑+角撑+边桁架”的形式(见图5)。两层机械车库区域增设一道  $\phi 609$  钢管撑(现场施工见图6)。

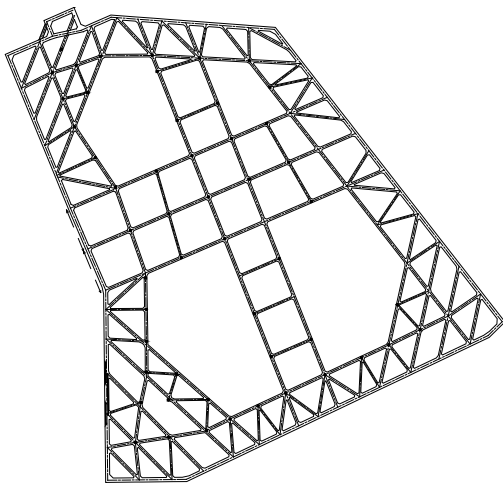


图5 支撑平面布置图



图6 现场施工图

换拆撑:基坑总体上待大底板强度达到 80 % 后方可拆除混凝土支撑,拆撑时应进行多点应力释放,对称拆除,以减小支护结构瞬间位移值。对于东侧机械车库区,应先进行换撑后方可拆除支撑。

### 4 监测结果及分析

在基坑施工过程中,对围护体系及周边环境均进行了实时监测。本工程共布置了 11 个测斜孔,围护墙顶水平、垂直位移监测点 21 个,坑外地下水位观测孔 9 个,地表沉降观测点有 11 个断面,每个断面为 5 个点,支撑轴力监测为 7 组,立柱沉降观测点 10 个,以及周边管线监测点若干。本工程选取二层机械车库区、设备用房区及一般区域开挖断面处的监测点进行分析。

#### 4.1 围护体深层水平位移

图7是选取了三个典型断面(二层机械车库区、设备用房区及一般区域)处的围护结构坑外土体在开挖至坑底工况下水平位移情况(同济启明星软件获得的计算值)。由图中可知,不论是计算值还是监测值,其水平位移均随着深度的增加先增大后减小,在土体开挖面附近达到最大。一般区域实际监测的最大位移基本在 20 mm 左右,和计算值相差无几;设备用房区监测值最大位移为 40.54 mm,比计算值 22.8 mm 偏大,偏大的原因是支撑距离开挖面较大,其次测斜孔附近正好有一贴边集水坑,局部开挖深度达到 8.8 m,造成该处测出来的位移偏大,但在报警值范围内;二层机械车库区增设一道支撑后,变形明显得到控制,监测值为 32.73 mm,比计算值 21.1 mm 偏大一点,主要是施工单位未完全按照设计要求的流程进行施工。

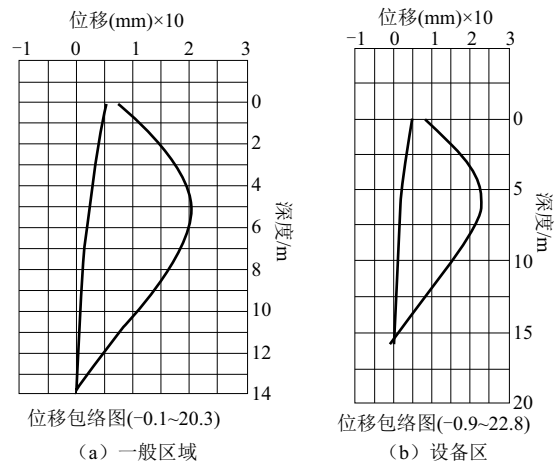


图7 深层水平位移计算值与监测值

(下转第 120 页)

## 参 考 文 献

- [1] 李平,金奕潼,赖建英,等. 负压条件下土体渗流固结特性研究综述[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2016, 44(2): 115-119.
- [2] 秦皎. 真空预压法在珠江流域某冲填土地地的应用[J]. 岩土工程技术, 2014, 28(1): 45-47.
- [3] YAN S W, CHU J. Soil improvement for a storage yard using the combined vacuum and fill preloading method[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2005, 42(4): 1094-1104.
- [4] 尹湃,黄作俊,袁小林. 真空堆载预压法控制高速公路软土地基沉降的现场监测试验分析[J]. 岩土工程技术, 2013, 27(1): 9-12.
- [5] 王建华,刘志,丁小东,等. 新型真空预压法在堆场深厚软土地基处理中的应用[J]. 水运工程, 2017(2): 160-165.
- [6] 朱超,张季超,刘晨,等. 真空预压处理广州南沙区软基的加固深度探讨[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(2): 422-425.
- [7] 娄炎. 真空排水预压法加固软土技术[M]. 北京:人民交通出版社, 2013.
- [8] JTS 147—2—2009 真空预压加固软土地基技术规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2009.
- [9] 闫澎旺,侯晋芳,程栋栋. 真空预压有效加固深度的探讨[J]. 水利学报, 2007(7): 774-778.
- [10] 齐永正. 真空预压法加固软基几个问题的探讨[C]//江苏省公路学会优秀论文集(2006—2008). 北京:人民交通出版社, 2009.
- [11] 颜立明,刘晓勇,刘宝石. 真空预压法加固软土地基的现场试验机数值模拟[J]. 岩土工程技术, 2015, 29(4): 173-178.
- [12] 吴春勇. 真空预压加固深度分析与探讨[J]. 东北水利水电, 2010(12): 1-3.

收稿日期:2018-09-15

(上接第 104 页)

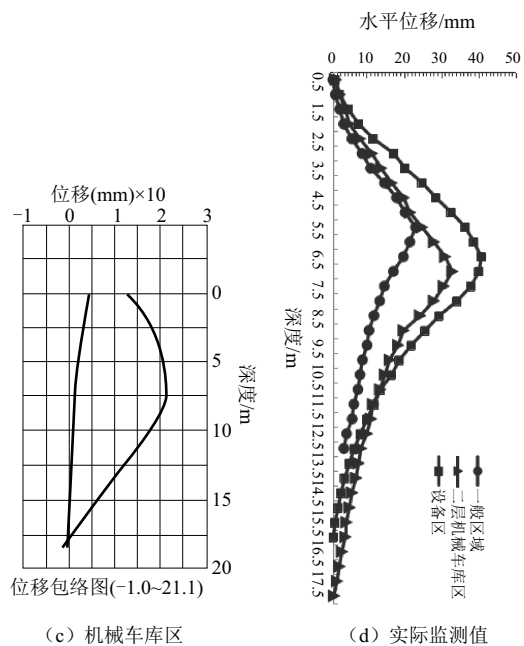


图 7 深层水平位移计算值与监测值(续)

## 4.2 其他监测结果

根据最终监测结果显示:墙顶水平、垂直位移最大分别为 14 mm、16.94 mm,电信管线 DX 点处最大沉降累计 24.78 mm,超出报警值 20 mm,经查明,由于开挖前在围护体外靠近围墙处开挖一条临时下水道,造成该点处开挖前沉降量已达 14.98 mm,后期开挖到底板完成过程中沉降量均在可控范围内,其余

的管线监测点均未超过为 15 mm,立柱最大沉降 10.58 mm,支撑最大轴力 5113.3 kN,均在报警值范围内。

## 5 结语

该工程已于 2016 年结构封顶。从基坑的各项监测值来看,该工程贴边坑中坑的支护设计及施工均是成功的,为类似工程可提供一定的参考和借鉴。

## 参 考 文 献

- [1] 刘国斌,王卫东. 基坑工程手册(第二版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009.
- [2] 吴铭炳,林大丰,戴一鸣,等. 坑中坑基坑支护设计与监测[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(zl): 1569-1572.
- [3] 龚晓南. 关于基坑工程的几点思考[J]. 土木工程学报, 2005, 38(9): 99-102.
- [4] 丰士根,熊中华,余波. 坑中坑开挖对悬臂式支护结构侧移的影响分析[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(11): 2053-2059.
- [5] 朱进军,邵勇,何永福. 大尺度坑中坑对基坑稳定性的影响分析[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(7): 100-103.

收稿日期:2018-11-21