

混凝土芯水泥土搅拌桩在基坑支护中的应用

朱家祥 吴继敏

(河海大学土木工程学院,江苏南京 210098)

摘要 介绍了一种新型的桩形——混凝土芯水泥土搅拌桩支护基坑的方法.以南京大学港龙园高层公寓为例,根据其基坑支护影响范围内土层情况,采用门型混凝土芯水泥土搅拌桩进行深基坑支护,给出了门型混凝土芯水泥土搅拌桩的主动土压力、被动土压力、支撑轴力、弯矩以及支护桩长的计算方法,为以后的基坑支护应用提供设计方法.

关键词 混凝土芯水泥土搅拌桩 基坑 主动土压力 被动土压力

中图分类号 TU473 **文献标识码** A **文章编号** 1000-198X(2006)02-0185-04

高层建筑物传递到地基上的单位荷载比多层建筑物大,一般1座30层楼其地基荷载为500 Pa左右,因此高层建筑物的基础必须建于具有足够承载力的地基土层上.根据“补偿基础”的概念,即从天然地面到建筑物基础埋置深度之间土体的重量可以补偿一部分建筑物的荷载,也就是基础埋置深度每向下加深1 m,即可增加18 Pa的地耐力^[1],而地下室的利用又相当于增加了建筑物的层数,因此,高层建筑物几乎都将基础埋置在一定的深度.然而,基础埋置深度的加大却给施工带来了困难,尤其是在建筑物密集的市区,地下管线多,周围环境复杂,必须要在人工支护的条件下进行基坑开挖.近几年来,工程界结合工程实际,研究如何使支护结构建立在科学合理的基础上,既确保支护结构稳定和周围环境的安全,又方便施工、节约造价^[2-4],各种支护方法应运而生,如采用钢板桩、地下室连续墙、钢筋混凝土板桩、混凝土钻孔灌注桩、深层水泥土搅拌桩等加压顶梁,结合拉锚或内支撑的方法形成支护结构体系等.这些工程支护系统造价很高,一般围护造价达2万~3万元/m,而支护不当会造成相当大的损失.因此研究基坑支护系统具有很重要的意义.

基坑支护分为结构支护和非结构支护.结构支护又可分为悬臂式结构、支撑式结构和封闭式结构^[1].

a. 悬臂式结构:上端无支点,下端锚入基坑底土层中某一深度.常见的有钢板桩和灌注桩.该结构刚度较差,坑顶位移较大,一般适用于较浅的基坑.

b. 支撑式结构:在悬臂式支护结构上部加支撑.常用的支撑有土层锚杆和坑内支撑.土层锚杆锚入坑壁土中作拉杆,或施加预应力,在悬臂结构上端形成一个或多个支撑点.坑内支撑是在护坡桩与工程桩之间加斜撑,或在基坑中相对的两排护坡桩之间用受压梁连接.支撑式结构刚度较大,承载力大幅度提高,可用于较深的基坑.

c. 封闭式结构:有地下连续墙和拱圈2种.拱圈构造与人工挖孔桩的护壁相似.因基坑必须围在其中,所以拱圈大小随基坑平面形状和尺寸而变.

混凝土芯水泥土搅拌桩是以预制钢筋混凝土小方桩作为受力核心插入水泥土搅拌桩中形成的复合材料桩^[5-7],是在外部的水泥土搅拌桩施工完毕1~2 h内,在水泥土搅拌桩中心插入一根小直径的钢筋混凝土预制桩.整个施工过程用一台稍加改造的水泥土搅拌机即可完成,施工便利.

用混凝土芯水泥土搅拌桩支护基坑是结合围护挡土结构和防渗止水帷幕2种功能的支护结构形式.水泥土搅拌桩搭接形成的水泥土墙起到了隔水幕墙和重力式挡土墙的作用,而混凝土芯主要承受水-土压力及其他荷载对挡土墙的弯矩和剪力^[8].

本文主要介绍混凝土芯水泥土搅拌桩在南京大学港龙园高层公寓基坑支护中的应用.

1 支护方案

拟建的南京大学港龙园高层公寓,位于龙园北路与龙园东路交叉口西南角,有 2 栋 28 层住宅楼、1 栋 9 层住宅楼和 1 所 2 层地下车库组成。28 层住宅楼设 1 层地下室,设计拟采用剪力墙结构,桩基础。9 层住宅楼拟采用短肢剪力墙结构,桩基础。该项目由南京大学投资建造,南京大学建筑规划设计研究院设计,南京市民用建筑设计研究院对岩土状况进行详细勘察。

基坑北侧靠龙园北路,基坑东侧紧靠龙园东路,基坑南、西侧有几栋 6 层住宅楼。因此,基坑开挖必须采取有效措施以确保基坑工程及周边建筑物、道路的安全。

根据南京地区地貌单元的划分,该场地属长江漫滩地貌单元。场地地形较平坦,地面标高 6.02~7.21 m,相对高差 1.19 m。基坑支护影响范围内土层分布如下。

1—1 杂填土,色杂,主要由软塑粉质黏土、碎石、碎砖、建筑垃圾等组成,松散-稍密,硬质含量 20%~30%,填龄大于 10 a。层厚 0.50~1.90 m,层底标高 4.27~6.61 m,层底埋深 0.50~1.90 m。

1—2 淤泥质素填土,灰-灰黑色,淤泥质粉质黏土为主,软塑-流塑,含淡水螺壳、腐植物及少量碎砖屑,埋龄大于 10 a。该层主要分布在场内东部,厚度及状态变化较大。层厚 0.00~2.00 m,层底标高 3.37~4.81 m,层底埋深 1.90~2.80 m。

1—3 素填土,黄褐色-灰色,主要由粉质黏土组成,可塑-软塑,含碎砖屑、淡水螺壳、腐植物、蚌壳及植物根系,填龄大于 10 a。该层在场内均有分布。层厚 0.30~1.60 m,层底标高 3.45~5.19 m,埋深 1.50~2.60 m。

2—1 淤泥质粉质黏土,上部灰黄色,向下渐变为褐灰色,流塑,稍有光泽,无摇震反应,韧性中等,干强度中等,具水平层理。该层顶部局部地段含淡水螺壳,层厚 2.60~5.20 m,层底标高 -0.75~1.61 m,底埋深 5.10~6.90 m。

2—2 粉质黏土夹粉土,褐灰色,流塑,局部夹淤泥质粉质黏土,稍有光泽,摇震反应中等,韧性中等偏低,干强度中等偏低,具有水平层理。粉土为灰色,稍密,很湿,无光泽,摇震反应中等—迅速,韧性、干强度低,层厚 3.90~5.30 m,层底标高 -4.85~-3.39 m,埋深 10.20~10.90 m。

2—3 淤泥质粉质黏土-粉质黏土,灰褐-褐灰色,流塑-软塑,稍有光泽,无摇震反应,韧性中等,干强度中等,夹薄层粉土。层厚 12.20~16.40 m,层底标高 -20.75~-15.59 m,埋深 22.80~30.80 m。

综合考虑水文地质、周围建筑环境和基坑开挖深度等诸多因素,根据建设单位对基坑支护工程的具体要求,本着“安全可靠、经济合理、技术可行、施工简便”的原则,经过细致分析、计算和方案比较,对基坑采用如下的支护方案:采用混凝土芯水泥土搅拌桩支护基坑,前后两排为双轴深搅桩,其中前排和后排深搅桩内插入 300 mm×300 mm 的预制方桩,方桩每隔 2.5 m 用拉梁连接,形成门型结构,宽度为 3.7 m(图 1)。对于坑中坑部分,高差为 0.8 m 的部位采用 2 层深搅桩支护,高差为 2.0 m 的基坑采用 3 层深搅桩支护,桩顶标高与深度小的基坑相等。混凝土等级为 C30,坑内采用明沟加集水坑降水。

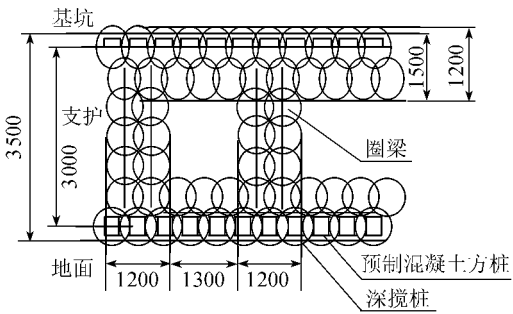


图 1 门型支护结构(单位 mm)

Fig.1 Sketch of gate-shaped support structure

2 支护结构的设计计算

本文以±0.00为室内地坪标高,相当于绝对标高+7.25 m。基坑外围场地标高为+6.65 m,开挖深度是指从自然地面计算到基坑的深度。

以 JGJ 120—99《建筑基坑支护技术规程》土压力计算方法作为土层侧向压力设计的计算依据。主动土压力系数为

$$k_{a_i} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2}\right)$$

被动土压力系数为

$$k_{p_i} = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi_i}{2}\right)$$

计算时 ,不考虑支护桩体与土体的摩擦作用 ,且不调整主、被动土压力系数 ,支护抗体与土体的摩擦作用仅作为安全储备处理. 采用水土合算方法计算土层侧向压力 ,土层设计参数见表 1.

表 1 基坑支护设计参数

Table 1 Design parameters of foundation pit supporting

土 层	层厚/m	$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$	k_{ai}	$\sqrt{k_{ai}}$	k_{pi}	$\sqrt{k_{pi}}$	计算模式
1-1 杂填土	1	1939	10	15	0.589	0.767	1.698	1.303	水土合算
1-2 淤泥质素填土	1	1816	10	10.8	0.684	0.827	1.461	1.209	水土合算
2-1 淤泥质粉质黏土	4	1806	10	12.6	0.642	0.801	1.558	1.248	水土合算
2-2 粉质黏土夹粉土	4	1837	13	18	0.528	0.727	1.894	1.376	水土合算
2-3 淤泥质粉质黏土-粉质黏土	12	1837	14	15.9	0.570	0.755	1.755	1.325	水土合算

计算 V 区(地下车库部分)支护结构时 , ± 0.00 相当于绝对标高 7.25 m ,自然地面绝对标高为 6.65 m(相对标高为 - 0.60 m) ,基坑开挖面相对标高为 - 8.15 m ,基坑挖深 7.55 m. 稳定地下水位 1.0 m ,地面均布超载按 20 kPa 考虑. 基坑安全等级为“ 二级 ” ,重要性系数 $\gamma_0 = 1.00$.

2.1 土压力计算

按照 JGJ 120—99《建筑基坑支护技术规程》计算土压力 ,具体如图 2 所示.

2.2 支撑轴力计算

取桩顶圈梁标高为 - 1.6 m ,支撑轴线标高 - 1.95 m ,支撑轴线位于地面下 1.35 m.

2.2.1 净土压力零点位置

设净土压力零点位于点 4 下 x m ,则由 $e_a = e_p$ (主动土压力与被动土压力相等处) 得 $x = 0.81$ m.

2.2.2 支撑轴力 T

由

$$\sum E_{a_i} a_i = 957.2 \text{ kN} \cdot \text{m} \qquad \sum E_{p_i} b_i = 14.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

得

$$T = 133 \text{ kN}$$

式中 : E_{a_i} ——第 i 层主动土压力 ; a_i ——主动土压力点到弯距固定点的位置 ; E_{p_i} ——被动土压力 ; b_i ——被动土压力点到弯距固定点的位置.

2.3 桩长计算

由等值梁法求桩入土深度.

设桩端进入点 4 下 x m ,则嵌固深度设计值 h_d 可按下式确定 :

$$h_p \sum E_{p_j} + T_c (h_T + h_d) - 1.2 \gamma_0 h_a \sum E_{a_i} \geq 0$$

式中 : h_p ——合力 $\sum E_{p_j}$ 作用点到桩底的距离 ; h_a ——合力 $\sum E_{a_i}$ 作用点到桩底的距离 ; h_T ——支点到基坑底的距离 ; T_c ——支点作用力 ; $\sum E_{p_j}$ —— 基坑内侧多土层水平坑里标准值的合力之和 ; E_{a_i} ——基坑外侧多土层水平坑里标准值的合力之和.

由于基坑侧壁安全等级为二级 ,所以重要性系数 γ_0 取 1.00 ,解得 $x = 5.92$ m.

嵌固深度 $h_d = 8.37$ m ,实取 9.45 m ,则桩长 $L = 16.0$ m.

2.4 桩体内最大弯矩计算

2.4.1 桩体上半段(开挖面上)最大弯矩计算

已知支撑轴力 $T = 133 \text{ kN/m}$,设剪力 $Q = 0$ 点位于点 2 下 x m ,由 $T_1 = \sum E_{a_i}$ 得

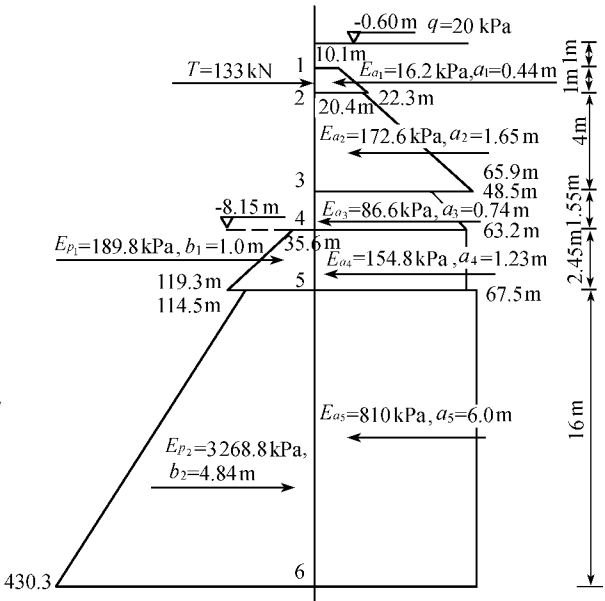


图 2 土压力计算示意图
Fig.2 Sketch of earth pressure

$$x = 3.10\text{ m} \qquad M_{\max 1} = 291.7\text{ kN/m}$$

2.4.2 桩体下半段(开挖面下)最大弯矩计算

已知支撑轴力 $T = 133\text{ kN/m}$,设剪力 $Q = 0$ 点位于 4 下 $x\text{ m}$.

由 $T_1 + \sum E_{p_i} = \sum E_{a_i}$ 得 $x = 1.50\text{ m}$, $M_{\max 2} = 313.1\text{ kN/m}$.

2.5 桩体配筋计算

桩身最大作用弯矩 $M_{\max} = 516.6\text{ kN/m}$,选择支护桩桩径 $\varnothing 800\text{ mm}$,桩中心距 $1\,000\text{ mm}$,混凝土为 C25 ,主筋为 12 $\varnothing 25$ (HRB335) ,则容许弯距

$$[M] = 664.8\text{ kN/m} > 645.8\text{ kN/m}$$

满足要求 !

3 结 论

混凝土芯水泥土搅拌桩是一种结合复合地基和桩基础优点的地基处理方法 ,既利用大直径廉价水泥土桩的黏聚力和大表面积来提供摩阻力 ,又利用预制混凝土桩芯的低压缩性、高强度特点来承担荷载 ,其内外芯的分工尽可能地发挥桩身材料的强度 ,能达到一定级别的设计荷载、且经济实用 .用混凝土芯水泥土搅拌桩支护基坑是结合围护挡土结构和防渗止水帷幕 2 种功能的支护结构形式 .采用门型结构的混凝土芯水泥土搅拌桩支护基坑经济可行 .

参考文献 :

[1] 黄强 ,惠永宁 .深基坑支护工程实例 [M] .北京 :中国建筑工业出版社 ,1999 :1-56 .
[2] 芦森 ,温锁林 ,方永生 .某深基坑工程设计施工与监测 [J] .低温建筑技术 ,2005 (1) :83-85 .
[3] 郭加苜 .建筑深基坑工程围护施工 [J] .山西建筑 ,2005 31 (2) :68-69 .
[4] 能肖文 ,邵国建 .深基坑及其支护工程的常用设计、施工方法的综述及展望 [J] .江苏建筑 ,2004 (B12) :42-46 .
[5] DONG P , QIN R , CHEN Z Z . Bearing capacity and settlement of concrete-cored DCM pile in soft ground [J] . Geotechnical and Geological Engineering , 2004 , 22 : 105-119 .
[6] 董平 ,秦然 ,陈征宙 .混凝土芯水泥土搅拌桩的有限元研究 [J] .岩土力学 ,2003 24 (2) :215-219 .
[7] 董平 ,秦然 ,陈征宙 .混凝土芯水泥土搅拌桩在软土地基中的应用 [J] .岩土工程学报 ,2002 24 (2) :204-207 .
[8] 朱家祥 ,陈征宙 .基坑支护的混凝土芯搅拌桩有限元分析 [J] .岩土力学 ,2004 25 (增刊) :333-337 .

Application of concrete-cored deep cement mixing piles
to foundation pit supporting

ZHU Jia-xiang , WU Ji-min

(College of Civil Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract :A new support system , named concrete-cored deep cement mixing (DCM) pile , for deep foundation pit supporting was introduced . The gate-shaped pile was applied to deep foundation pit supporting in a high-rise building project of Nanjing University . The active earth pressure , passive earth pressure , axial forces , and bending moments of piles were analyzed , and the calculation method for determination of pile length was given . The study provides a design method for deep foundation pit supporting .

Key words :concrete-cored DCM pile ; foundation pit ; active earth pressure ; passive earth pressure