

Application of Reinforced Cement Mixing Piles in Foundation Support of Silt Layer Excavation

Xuhua Jiao

China No.22 Metallurgical Group Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 064000, China

Abstract

This paper introduces the construction method of the foundation pit retaining system in the silt layer of the 2500m³ blast furnace drum foundation of Ningbo Iron and Steel Co., Ltd. In the foundation pit retaining system, the reinforced cement mixing piles arranged in a grid pattern are first constructed as the retaining wall and water-stop system. On the top of the retaining wall, steel arches and steel supports are constructed as the support system. Then, cement mixing piles are constructed at the bottom of the foundation pit to reinforce the soil and enhance the strength of the soil at the bottom of the pit, forming an integrated retaining system to prevent the soil at the bottom of the pit from bulging, thereby avoiding dangerous situations during the excavation of the foundation pit.

Keywords

Saturated soft soil; Foundation pit; Reinforced cement mixing piles; Support system

加劲水泥搅拌桩在淤泥层基坑支护中应用

焦续华

中国二十二冶集团有限公司, 中国·河北唐山 064000

摘要

介绍了在宁波钢铁有限公司2500m³高炉转鼓基础地基淤泥层中采用基坑围护系统施工的方法。在基坑支护系统中首先施工排式布置的加劲水泥搅拌桩作为挡墙和止水系统,在挡墙顶部施工钢围檩和钢支撑作为支撑系统,再在基坑底进行水泥搅拌桩施工加固土体,加强坑底土体强度,使支护系统形成一体,防止坑底土体隆起,从而保证避免开挖基坑时出现危险。

关键词

饱和性软土; 基坑; 加劲水泥搅拌桩; 支撑系统

1 工程概况

宁波钢铁有限公司 2500m³ 高炉工程, 位于宁波市北仑开发区区东北部, 属海陆交互沉积的滩涂平原, 场地地势平坦。根据地质勘察报告提供的内容, 高炉粒化渣系统转鼓基坑开挖深度范围内的土层参数见表 -1。

基坑开挖底面标高位于第②层粘土和第③层淤泥质粘土层上, 土层属饱和软土, 土层物理力学性能非常差, 呈软塑或流塑状态, 具有含水率高、高压缩性、承载力低的性质。

并且本工程南侧周边已经布满桩基, 另外距离桩基约 3m 左右还有一台 3000t.m 轨道式塔吊正常作业, 又因为转鼓基坑导致土方开挖过程中有可能出现侧向位移和坑底隆起, 因此基坑开挖工作存在很大的难度。

2 对比选择基坑开挖支护方案

根据工程所在区域的地质及水文地质条件判断, 开挖 6.2m 深的高炉粒化渣转鼓基础基坑, 可以考虑选择的支护方案主要有三种。

表 -1 土层分布及土工参数

土层层号	土层名称	层厚 (m)	含水量 (%)	重度 γ (kN/m ³)	黏聚力 C (kpa)	内摩擦角 Φ (°)
2	黏土	1.0—2.7	33.0	18.6	20	10
3	淤泥质黏土	15.0-22.0	47.7	17.1	12	4

【作者简介】焦续华 (1978-), 男, 中国山东德州人, 本科, 高级工程师, 从事建筑施工技术在建筑施工领域的工程应用与方案设计研究。

2.1 无任何遮挡的进行放坡大开挖方案

但在宁波钢铁有限公司厂区超软地软弱土层地基中，表层淤泥质土层的厚度达到 24m，含水量在 50% 左右，土体本身力学性能很差，是高压缩性的欠固结土，水位也比较高，在这种条件下不采取措施而直接开挖 6.2m 的深坑，施工的难度是非常大的。另外无支护措施的大开挖将会影响周围邻近构筑物桩基和在运行的 3000t.m 塔吊的安全。周围桩基会产生倾斜，塔吊基础会坍塌，因而此方案是不可取的，也是不能实现的。

2.2 钻孔灌注桩排桩挡墙，顶部设置压顶梁加内支撑的支护方案

此方案可以考虑，但是结合宁波钢铁有限公司厂区内原来为滩涂地，淤泥质土层较厚，淤泥质土层厚度在地表以下 24m 范围内，支护桩的长度要超过 24m 才能满足要求。从经济的方面考虑对于深度只有 6.2m 的基坑来看造价相对较高。因此此方案也不可取。

2.3 加筋水泥搅拌桩围护加钢支撑体系方案。

在宁波钢铁有限公司厂区内地层土质情况、施工环境及基坑开挖深度为 6.2m 的条件下，采取此方案是比较合理的。这个方案的优点主要表现在技术方案的可操作性和经济合理性两个方面。本方案经反复验算，加劲水泥搅拌桩排桩挡墙支护系统方案，能够达到基坑支护系统的稳定性、强度及变形的各项技术指标要求，满足本基坑的设计要求，因此确定本支护方案为最终方案。

3 加劲水泥搅拌桩支护系统的的设计与计算。

进行严密的设计与计算是保障基坑支护系统安全的必要手段。此方案的加劲水泥搅拌桩的主要计算内容有：基坑支护的受力分析计算；挡墙的强度验算；支撑系统的强度验算。

3.1 计算参数

根据工程地质勘察报告可知各土层力学指标 见表 -2。

表 -2 各土层力学指标

序号	γ (KN/m)	c (kpa)	ϕ (°)	Ka	Kp	H(m)
1	18.5	12	10	0.7		1.3
2	17.1	5	4	0.87		20
加固后	18.5	20	15		1.7	

3.2 计算简图

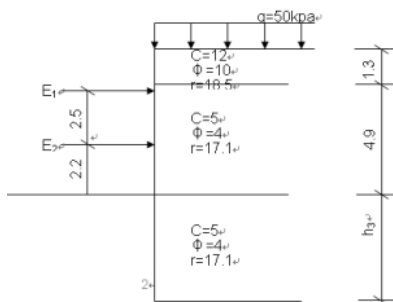


图 -1 土方开挖后土壁支护简图

3.3 内力计算

目前由于对水泥土和型钢的握裹强度的理论研究还不是很透彻，根据水泥土的粘结强度远远低于混凝土同钢材的粘结强度。在计算加劲水泥搅拌桩强度时，不考虑水泥搅拌体的强度，仅仅是作为加劲结构的强度储备计算。

计算分两步走：第一步，挖土深 4.5m，计算第一层内支撑压力及支护桩的最大弯距；第二步，挖土至坑底深度时计算第二层内支撑的压力和支护桩的最大弯距及桩长。

3.3.1 挖土深 4.5m 时，内力计算

(1) 土压力计算

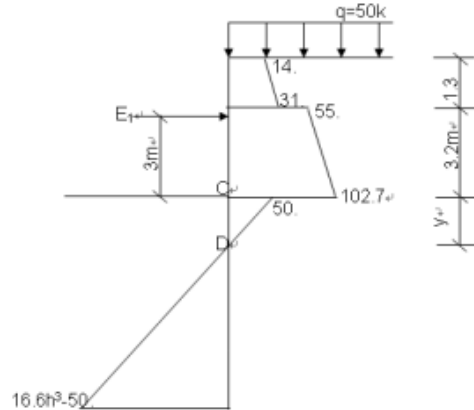


图 -2 第一层支撑土压力分布简图

$$e_{aik} = k_{ai} \cdot \left(\sum_{j=1}^i \gamma_j \cdot z_j + q \right) - 2c\sqrt{k_{ai}}$$

$$e_{pi k} = k_{pi} \cdot \left(\sum_{j=1}^i \gamma_j \cdot z_j + q \right) + 2c\sqrt{k_{pi}}$$

$$k_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$k_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$E_a = e_a A = (k_a \gamma \cdot z - 2c\sqrt{k_a}) \cdot z = \left(\tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \cdot \gamma \cdot z^2 - 2c \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right) \cdot z$$

$$E_p = e_p A = k_p \gamma \cdot z^2 + 2c\sqrt{k_p} \cdot z = \left(\tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \cdot \gamma \cdot z^2 + 2c \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right) \cdot z$$

$$e_{a3k}^{\downarrow} = k_{ai} \cdot \left(\sum_{j=1}^i \gamma_j \cdot z_j + q \right) - 2c\sqrt{k_{ai}} = 102.7 + 14.9h_3$$

$$e_{p3k}^{\downarrow} = k_{pi} \cdot \left(\sum_{j=1}^i \gamma_j \cdot z_j + q \right) + 2c\sqrt{k_{pi}} = 52 + 31.5h_3$$

$$(e_{p3k} - e_{a3k})^{\pm} = -50.7 \text{ (kN/m}^2\text{)}; (e_{p3k} - e_{a3k})^{\downarrow} = -50.7 + 16.6h_3 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$E_{a1k} = 1.3 \times (14.8 + 31.6) / 2 = 30.2 \text{ (kN/m)}$$

$$E_{a2k} = 3.2 \times (55.1 + 102.7) / 2 = 252.5 \text{ (kN/m)}$$

$$E_{p3k} = (h_3 - y) \times (-50.7 + 16.6h_3) / 2 \text{ (kN/m)}$$

(2) 设土压力为 0 点 D 距坑底的距离为 y

$$e_{p3k}^{\downarrow} = e_{a3k}^{\downarrow} \rightarrow \text{即 } 16.6y - 50.7 = 0, \text{ 解得: } y = 3.1\text{m}$$

D 点以上主动土压力对 D 点的力矩为：

$$M_D = 30.2 \times (1.3/2 + 3.2 + 3.1) + 252.5 \times (3.2/2 + 3.1) + 78.6 \times 3.1/3 = 1518.5 \text{ KN} \cdot \text{m/m}$$

故第一层支撑反力为： $E_1 = M_D / (3 + 3.1) = 248.9 \text{ KN/m}$

表 -3 第一层支撑各土层压应力计算表

层号	γ KN/m ³	Ckpa	Φ°	Ka	Kp	him	e_{aik}^{\pm} kN/m ²	e_{aik}^{\downarrow} kN/m ²	e_{pik}^{\pm} kN/m ²	e_{pik}^{\downarrow} kN/m ²
1	18.5	12	10	0.7	-	1.3	14.8	31.6	-	-
2	17.1	5	4	0.87	-	3.2	55.1	102.7	-	-
3	18.5	20	15	-	1.7	h3	102.7	e_{a3}^{\downarrow}	52	e_{p3}^{\downarrow}

(3) 确定弯距最大点, 并对弯距最大值 M_{max} 计算

弯距最大点即剪力为 0 点 $\sum q=0$

$248.9 < 30.2+252.5$ 故 $\sum q=0$ 点在开挖面以上, 设

$\sum q=0$ 点距地面为 y_0 , 即:

$$248.9=30.2+(y_0-1.3) \times [55.1+55.1+14.9 \times (y_0-1.3)]$$

解得: $y_0=4.2m$

该处的弯距为:

$$M_{max}=248.9 \times (4.2-1.5)-30.2 \times (4.2-0.65)-[(4.2-1.3) / 2]^2 \times [55.1+55.1+14.9 \times (4.2-1.3)]=242.3 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

3.3.2 挖土深 6.2m 时第二层内支撑压力和最大弯距以及桩长计算

(1) 土压力强度计算

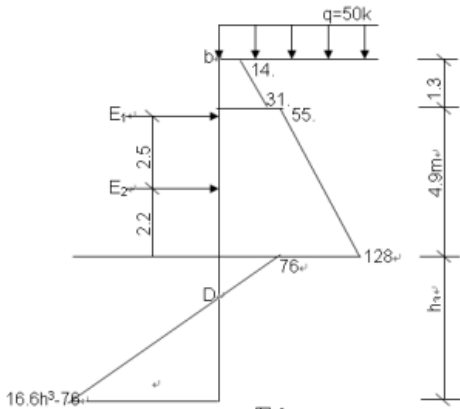


图 -3 第二层支撑土压力分布简图

$$e_{a3k}^{\downarrow}=k_{ai} \cdot \left(\sum_{j=1}^i \gamma_j \cdot z_j+q\right)-2c \sqrt{k_{ai}}=128+14.9 h_3$$

$$e_{p3k}^{\downarrow}=k_{pi} \cdot \left(\sum_{j=1}^i \gamma_j \cdot z_j+q\right)+2c \sqrt{k_{pi}}=52+31.5 h_3$$

$$\left(e_{p3k}-e_{a3k}\right)^{\pm}=-76\left(\text{kN} / \text{m}^2\right) ; \left(e_{p3k}-e_{a3k}\right)^{\downarrow}=-76+16.6 h_3\left(\text{kN} / \text{m}^2\right)$$

(2) 第二层支撑的计算

设土压力 0 点在坑底下深度 y 处,

$$e_{p3k}^{\downarrow}=e_{a3k}^{\downarrow} \rightarrow 16.6 y-76=0, \text{ 解得: } y=4.6 m$$

$$E_{a1}=1.3 \times (14.8+31.6) / 2=30.2(\text{kN} / \text{m})$$

$$E_{a2}=4.9 \times (55.1+128) / 2=448.6(\text{kN} / \text{m})$$

$$E_{p3}=\left(h_3-4.6\right) \times\left(-76+16.6 h_3\right) / 2(\text{kN} / \text{m})$$

$$M_D=30.2 \times\left(1.3 / 2+4.9+4.6\right)+448.6 \times\left(4.9 / 2+4.6\right)+174.8 \times 4.6 / 3=3871.2\left(\text{kN}\cdot\text{m} / \text{m}\right)$$

第一层支撑到 D 点的距离 $a_1=6.2+4.6-1.5=9.3 m$, 其反力取第二阶段挖土时的 $E_1=248.9 \text{ KN}$

第二层支撑到 D 点的距离 $a_2=6.2+4.6-4=6.8 m$, 其反作用力为:

$$E_2=\left(M_D-E_1 a_1\right) / a_2=228.9\left(\text{kN} / \text{m}\right)$$

(3) 计算水泥搅拌桩的桩长

作用在支护桩在 D 点以上处的合力:

$$E_a=30.2+448.6+174.8=653.6\left(\text{kN} / \text{m}\right)$$

设 bD 为一简支梁, 则在支点 D 的反力为:

$$E_D=653.6-248.9-228.9=175.8\left(\text{kN} / \text{m}\right)$$

设支护桩深入 D 点以下 x 处, 根据 D 点以下土压力对桩底的力矩平衡条件

$$175.8 x=\left[16.6 \times\left(x+4.6\right)-76\right] \times x^2 / 4 \text{ 解得: } x=6.5 m$$

支护桩应有长度为 $L=6.2+4.6+6.5 \times 1.2=18.6 m$ 取 $L=26 m$

(4) 计算支护桩的最大弯距

由于 $E_1+E_2 < E_{a1}+E_{a2}$

所以支护桩简力为 0 点的位置在开挖面以上, 设 $\sum q=0$ 点在 b 点以下 x_m 处

$$\text{则: } 248.9+228.98=30.2+55.1 \times\left(x_m-1.3\right)+72.9 / 4.9 \times\left(x_m-1.3\right)^2 / 2$$

解得: $x_m=6.19 m$

$$\text{则 } M_{max}=248.9 \times 4.69+228.9 \times 2.19-30.2 \times\left(6.19-0.65\right)-447.6 \times\left(6.19-1.3\right) / 2=406.9 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

支护桩选用三排水泥深层搅拌桩, 内插 $500 \text{ mm} \times 300 \text{ mmH}$ 型钢 ($500 \times 300 \times 11 \times 18$), 采取型钢密插方式。型钢的内插位置详细见图 -4。

表 -4 第二层支撑各土层压应力计算表

层号	γ KN/m ³	Ckpa	Φ°	Ka	Kp	him	e_{aik}^{\pm} kN/m ²	e_{aik}^{\downarrow} kN/m ²	e_{pik}^{\pm} kN/m ²	e_{pik}^{\downarrow} kN/m ²
1	18.5	12	10	0.7	-	1.3	14.8	31.6	-	-
2	17.1	5	4	0.87	-	4.9	55.1	128	-	-
3	18.5	20	15	-	1.7	h3	128	e_{a3}^{\downarrow}	52	e_{p3}^{\downarrow}

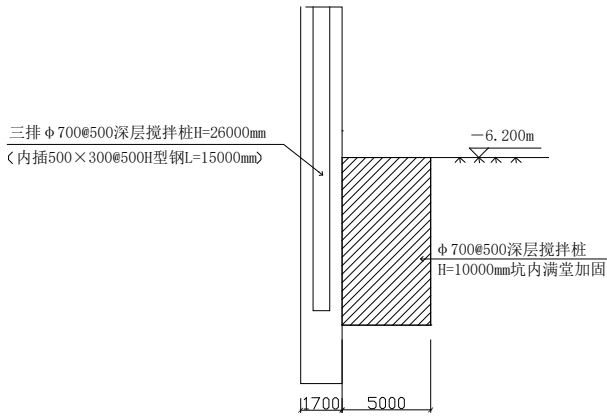


图 -4 型钢的内插位置

混凝土挡墙自重 $W=18.5 \times 1.7 \times 26=817.8 \text{ KN/m}$

主动土压力对抗底处的力矩 (取坑底部位)

$$M_a=30.2 \times 5.55+448.6 \times 2.45=1267 \text{ KN.m}$$

边缘应力:

$$\sigma=W/B \pm 6M_a/B^2=786.3/1.7 \pm 1267/1.7^2=901 \text{ kpa} < 1.2 \text{ Mpa}$$

$$=24 < 150 \text{ kpa}$$

支护桩满足安全。

3.4 结构验算

(1) 墙体抗弯验算

简化为型钢承担所有弯矩, 则型钢正应力需满足:

$$\frac{1.25\gamma_c M_k}{W} \leq f$$

式中:

γ_c ——结构重要性系数, 取值标准参见《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-99

M_k ——加劲水泥土搅拌墙的弯矩标准值 (N.mm)

W ——型钢截面抵抗矩 (mm^3)

f ——型钢允许拉应力 (N/mm^2)

$$1.25 \times 1.1 \times 406.9 \times 10^6 / (2.930 \times 106) = 191 \text{ N}/\text{mm}^2 < 215 \text{ N}/\text{mm}^2$$

满足抗弯要求。

(2) 墙体抗剪验算

考虑型钢承担所有剪力, 型钢需要满足如下条件:

① 型钢抗剪应力 τ 需符合如下条件:

$$\frac{1.25\gamma_c Q_k S}{I \cdot t_w} \leq f_v$$

式中:

f_v ——型钢允许剪应力 (N/mm^2)

Q ——计算剪力 (N)

S ——型钢面积矩 (mm^3)

I ——型钢惯性矩 (mm^4)

t_w ——所验算点的型钢腹板的厚度 (mm)

$$(1.25 \times 1.1 \times 6.536 \times 10^5 \times 1597432) / (79138965.3 \times 11) = 164.9 \text{ N}/\text{mm}^2 < 215 \text{ N}/\text{mm}^2$$

满足强度要求。

(3) 支护桩抗滑的稳定性验算

水泥搅拌桩自重 $W=18.5 \times 1.7 \times 26=817.8 \text{ KN/m}$

滑动力 $F=30.2+448.6+174.8=653.6$

抗滑动力 $F'=248.9+228.9+704.2=1182$

抗滑安全系数: $K_1=F'/F=1.8 > 1.3$ 安全

(4) 抗倾覆验算

水泥搅拌桩自重

倾覆力矩 $M_1=30.2 \times 25.35+448.6 \times 22.25+174.8 \times 17.5=13806$

抗倾覆力矩 $M_2=0.5 \times 817.8 \times 1.35+1920.5 \times 15.2/3+248.9 \times 24.5+228.9 \times 22=21416.4$

抗倾覆安全系数 $K_s=(E_{pk} \times b_k + T \times a) / (E_{pk} \times a_k) = 21416.4/13806 = 1.55 > 1.5$, 满足要求

(5) 抗隆起验算

为了防止基坑内出现隆起破坏, 在基坑内支护桩 5m 范围内采用 $\phi 700@500$ 的水泥搅拌桩满堂加固。加固范围见详图 -5、图 -6。

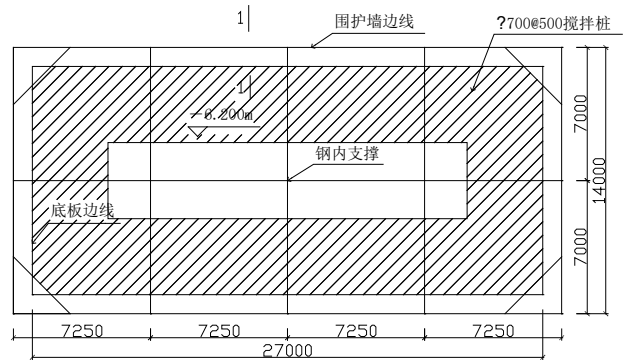


图 -5 基坑内加固搅拌桩布置图

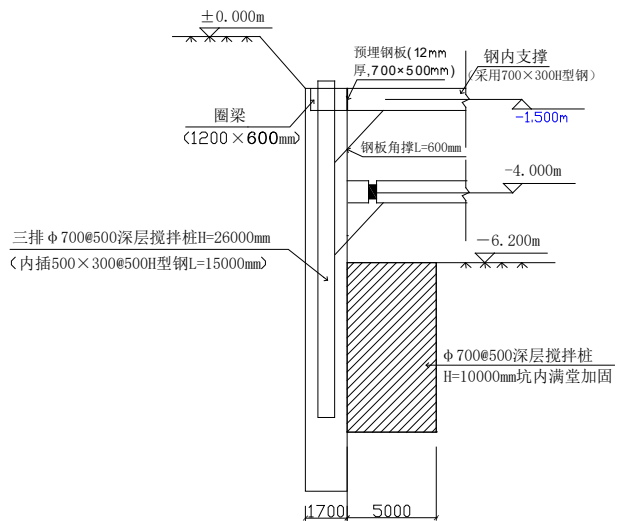


图 -6 基坑内加固搅拌桩 1-1 剖面图

3.5 围檩计算

围檩按连续梁计算，最大弯矩为：

$$M_{\max} = 0.105E_2S^2/8 = 0.105 \times 228.9 \times 1.2 \times 7.3^2/8 = 192 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

围檩选用 2[32b 槽钢，截面模量为 $W = 2 \times 509000 = 1018000 \text{ mm}^3$

围檩的最大应力为 $\sigma = 192000000/1018000 = 188.6 < [\sigma] = 215 \text{ N/mm}^2$

围檩满足强度要求。

3.6 钢支撑内力计算

第一层内支撑内力最大，进行验算。支撑间距取 7.3m。

钢支撑选用尺寸为 700mm × 300mm 的 H 型钢作支撑。钢支撑的计算长度取 $L_0 = 7.3\text{m}$ 。700mm × 300mm 的 H 型钢的截面性能：

截面面积 $A = 23550 \text{ mm}^2$ ，惯性距 $I = 201000 \times 10^4 \text{ mm}^4$ ，截面模数 $w = 5.76 \times 10^6 \text{ mm}^3$ ，惯性半径 $i = 293 \text{ mm}$ ， $\lambda = L/i = 25$ 。

支撑轴力 $N = 1.4 \times 248.9 \times 7.3 = 2545 \text{ KN}$ 。

作用弯矩：

(1) 自重及何载 M_1

$$M_1 = 1/10 \times 5.8 \times 7.3^2 = 30.9 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

(2) 安装偏心产生的 M_2

$$M_2 = 2545 \times 0.0073 = 18.6 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

则 $M = M_1 + M_2 = 49.5 \text{ KN}\cdot\text{m}$

(3) 强度验算

$$f = N / (\phi A) + M / W$$

$$= 2545000 / (23550 \times 0.981) + 49500000 / (5.76 \times 10^6)$$

$$= 119 < [f] = 215 \text{ N/mm}^2$$

故设计满足强度要求。

3.7 墙体截面的选择

基坑开挖深度 H 和工程地质情况是确定搅拌桩插入基坑底深度 D 的依据。参照宁波沿海地区的经验数据，一般要求 $D/H \geq 1.1 \sim 1.2$ ，且宜穿透不透水层，以达到防止产生流沙和阻止地下水的渗入。本工程采用了 8 排密排双头钻机施工，施工过程中要求桩体相互咬合对基坑底部进行加固，坑底搅拌桩墙体厚度达到 6.7m。由此我们得到的墙体剖面图见图-7、图-8。

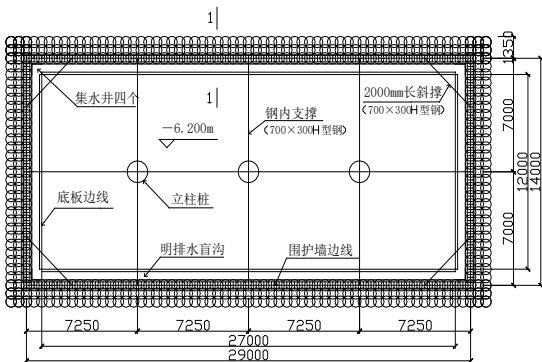


图-7 基坑围护平面布置图

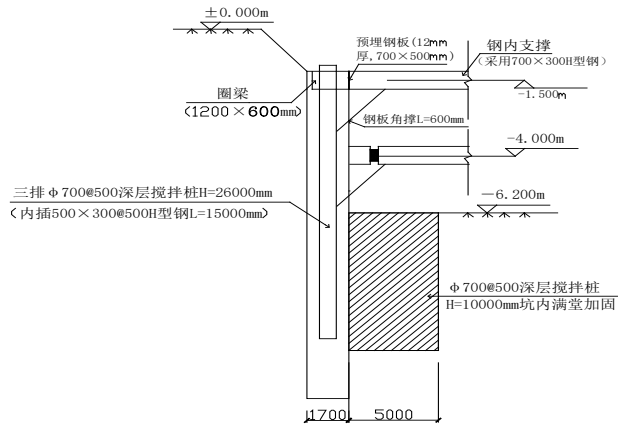


图-8 基坑围护 1-1 剖面图

3.8 技术难点及施工难点

(1) 技术难点：基坑开挖所涉及的土层，物理力学性质较差，呈饱和软土，土质为软塑—流塑状态，而且渗透系数小，同时在基坑附近约 3m 左右还有一台 3000t 轨道式塔吊需要正常工作，所以对基坑的支护要求非常高，在基坑土方开挖前必须将基坑四周的支护桩及基础底部水泥搅拌桩施工完毕，经过养护，等搅拌桩强度满足土方开挖强度条件后方可进行基坑开挖；

(2) 施工难点：打设 H 型钢的时候须控制好其垂直度，拔 H 型钢前，需要先将型钢用千斤顶顶活动，然后用振动桩机进行打拔，由于水泥搅拌桩的强度已形成，拔 H 型钢具有一定难度；同时由于基坑内安装两层内支撑，所以给基坑的机械开挖造成困难，增加人工挖土的工作量。

4 主要施工方法

4.1 施工顺序

清除塘渣层→测量放线定位→基坑支护→养护→第一层土方开挖→内支撑安装→第二层土方开挖→铺设碎石垫层

(1) 由于现场预先铺设了大量塘渣，塘渣层中块石含量为 80% 多，故需首先清除表层塘渣层，以方便水泥搅拌桩的施工，塘渣层的开挖利用挖机来完成。清除塘渣之前作好标高测量工作；待清除完之后再进行施工现场测量工作，做好基础实地放线工作。

(2) 水泥搅拌桩的施工工序：场地清理平整，地下障碍物清除→测量放线→桩机到位→孔位复核→钻孔搅拌→水泥浆制备→钻进搅拌喷浆、上提搅拌喷浆→重复钻进搅拌→重复上提喷浆搅拌，达到设计要求→施工完毕→移动桩机到下一桩位施工。

(3) H 型钢的插入：在一根水泥深层搅拌桩施工完毕后，立即进行 H 型钢的插入施工。H 型钢的插入采用打桩机进行施工，锤击采用冷打法（只活塞落下，不使爆发），打桩机首先轻轻锤击数下，再正常施打。在施打的过程中利用

经纬仪进行控制垂直度，并且及时的进行校正 H 型钢的垂直度。H 型钢的垂直度偏差不得超过 50mm，垂直度小于 1%。

(4) 浇筑圈梁：在围护桩施工完毕后进行圈梁的浇筑。混凝土强度为 C30。首先将围护桩桩顶凿至圈梁设计的底面，用水清理干净，然后支模下钢筋笼，进行混凝土浇筑。混凝土强度达到 C25 方可开挖下道工序施工。

(5) 养护：劲性水泥土挡墙必须待强度达到 70% 以上之后，方可进行下道工序。否则在土方开挖时将出现桩体断裂，造成基坑塌方事故。养护期 $\geq 10d$ 。

(6) 第一层土方开挖：第一层土方开挖由 $0.4m^3$ 挖机进行施工，挖机行走路面铺设 3 块箱板，开挖至第二层支撑的底面 (-4.5 m)，层厚约 3m。此层的开挖再分两层进行，即：首先挖机挖深约 1.5m，长度为 3-5m，然后进行下面的 1.5m 厚土方开挖。挖机由基坑一侧向另一侧退行施工。具体如图-9 所示。

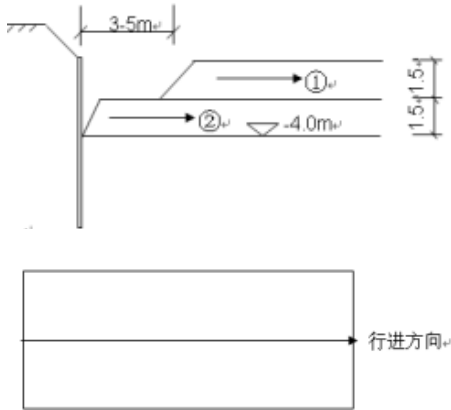


图-9 土方开挖机械运行示意图

(7) 安装钢内支撑：在进行第一层土方开挖的同时，基坑具备安装钢支撑所需要的工作面后，进行内支撑的安装工作。边开挖第一层土方边进行钢支撑的安装。

(8) 第二层土方开挖：第二层土方由人工进行开挖，挖至设计的基坑底标高，人工挖方部分堆向挖土机施工的一侧，然后用挖土机将土方运至坑外。所挖出土方及时装自卸汽车运至业主指定卸土地点，保持施工场地清洁。

(9) 铺设碎石垫层：碎石垫层采用人工铺设，厚度为 300 厚，并且碎石垫层分两层进行夯实，每层厚 150mm。

4.2 基坑围护的具体施工方法及说明：

(1) 水泥深层搅拌桩支护：本工程的搅拌桩的施工工艺采取三喷六搅，相邻的搅拌桩施工间隔时间必须在 10 小时之内，在喷浆搅拌作业过程中钻头的提升速度不能超过 $0.5m/min$ ，在 H 型钢施打过程中，要保证 H 型钢的垂直度，垂直度不大于 1%，并切桩位偏差必须小于 50mm。水泥浆液制备要求：水泥：32.5 级普通硅酸盐水泥；水泥的掺入量为 18%，浆液水灰比 0.6。在基础完成并基坑回填后可拔出 H 型钢；在搅拌桩顶部作封口圈梁。水泥搅拌桩为

$\phi 700@500mm, H=26000mm$ 。

(1) 封闭圈梁的施工：封闭圈梁的混凝土强度为 C30；圈梁的断面尺寸为 $1.20m \times 0.60m$ 圈梁内设置 $10\phi 18$ ，圈梁与钢支撑连接处 2 米长范围内箍筋加密为 $\phi 8@100$ ，其余部分箍筋为 $\phi 8@200$ ；钢筋保护层为 30mm；主筋的钢筋搭接采用单面焊 10d。圈梁与内支撑连接的位置设置预埋钢板，钢板为 12mm 厚、 $500mm \times 700mm$ ，预埋钢板上焊 300mm 长钢筋 $4\phi 8$ ，作锚固用；圈梁中心标高为 -1.50m。

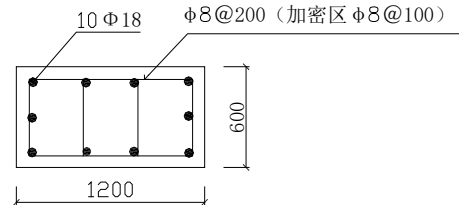


图-5 圈梁节点图

(3) 支撑系统：共设置两层内支撑。当土方开挖挖出支撑系统的位置时，即立即安装内支撑，并使内支撑处于同一设计的水面上。第一层内支撑支撑在圈梁上：在圈梁上预埋钢板；第二层内支撑支撑在围护桩上：首先在设置水平钢围檩的位置将搅拌桩外皮剥开，露出内插的 H 型钢，将钢围檩焊接在 H 型钢上，内支撑再支撑在钢围檩上。钢支撑以及钢立柱、斜撑的材料均采用 $700mm \times 300mm$ H 型钢，钢围檩采用 $2 \times 32b$ 槽钢。斜撑长度为 2m；在每层支撑的下面设置钢板角撑：角撑与围护桩体中的型钢焊接，并与支撑型钢焊接。支撑系统与围护桩之间的连接，为防止焊接发生应力脆裂，加做高强螺栓连接。钢板角撑厚 12mm，为等边直角三角形，斜边长 600mm。

① 支撑系统中心标高为 -1.50m 和 -4.00m。

② 格构立柱与立柱桩保证焊接可靠，放置时要求支撑轴线垂直于立柱轴线，要求有明显标志地面以标明钢立柱的位置，严禁挖机损坏钢立柱顶部。

5 结语

本方案在实施过程中缩短了施工工期，并有效的节约成本。由此看加劲水泥搅拌桩围护系统在施工现场环境较小，地质条件较差环境下，挖土基坑相对不是很深的基坑是一个比较好的选择。目前这种支护体系在上海等沿海地区得到了推广应用，在实际工程中检验了其技术上的可行性和实际应用的有效性。

参考文献

[1] 宁波市建筑桩基设计与施工细则，(2001甬DBJ02-12)。
 [2] 赵志缙、应惠清编，简明深基坑工程设计施工手册.北京：中国建筑工业出版社，2000。
 [3] 建筑基坑支护技术规程，.北京：中国建筑工业出版社，2000—JGJ120-99。