

水泥深层搅拌桩在软基加固处理中的设计与施工

张俊

(江西省地质工程(集团)公司,江西 南昌 330029)

摘要:通过具体工程实例,介绍了水泥深层搅拌桩在软基处理设计中如何有效地选用设计参数和利用岩土勘察资料进行设计;阐述了施工中主要施工工艺流程以及有效控制水泥深层搅拌桩成桩质量的措施。

关键词:水泥深层搅拌桩;软基加固;设计计算;施工工艺

中图分类号:TU473.1⁺4 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)09-0012-03

1 工程概况

1.1 工程简介

江西铜业集团在南昌市高新开发区拟建物流中心和建安厂房及其附属设施,包括维修车间、综合仓库、集装箱置地、停车棚、建安加工厂、排班室等。厂区大部分是用砂土填筑的水塘地,上部地层松散,不能直接用做工程基础地基,地基须加固处理,经过各种经济、技术方案及周边施工环境比较,选用深层水泥搅拌桩加固处理方案。

1.2 工程地质条件

依据江西铜业集团地勘工程有限公司提供的江铜物流中心及建安厂房岩土工程勘察报告,主要地层由上而下分布为:填砂土、淤泥土,以下加固范围为粉质粘土,具体情况如下。

维修车间:填砂土平均厚度约 3.2 m,局部淤泥土平均厚度约 0.6 m(淤泥土层最大埋深为 5.2 m),以下加固范围为粉质粘土。

综合仓库:填砂土平均厚度约 3.3 m,淤泥土平均厚度约 0.8 m(淤泥土层最大埋深为 4.8 m),以下加固范围为粉质粘土。

集装箱置地:填砂土平均厚度约 3.0 m,局部淤泥土平均厚度约 0.6 m(淤泥土层最大埋深为 3.9 m),以下加固范围为粉质粘土。

停车棚:填砂土平均厚度约 3.0 m,淤泥土平均厚度约 1.4 m(淤泥土层最大埋深为 6.5 m),以下加固范围为粉质粘土。

建安加工厂:填砂土平均厚度约 3.0 m,淤泥土平均厚度约 1.8 m(淤泥土层最大埋深为 4.9 m),以下加固范围为粉质粘土。

排班室:填土平均厚度约 2.0 m,淤泥土平均厚

度约 1.6 m(淤泥土层最大埋深为 4.1 m),以下加固范围为粉质粘土。

2 方案设计

根据上部荷载计算核定复合地基承载力标准值要求不小于 150 kPa。

2.1 持力层

拟采用深层搅拌软基处理水泥石复合地基基础,持力层选在粉质粘土,且桩进入持力层不少于 1.5 m。

2.2 布桩形式

采用单桩梅花形(即等边三角形)布设,桩间距为 1.3 m。

2.3 桩身参数

(1) 桩径:600 mm。

(2) 桩长:7.0 m 左右,施工时根据实际地层情况,可做适当调整。

(3) 桩身水泥掺量为 15%,土容重取 1800 kg/m³。

(4) 选用 32.5 级的普通硅酸盐水泥,水灰比取 0.5~0.8,可根据现场实际地层情况确定。

2.4 单桩竖向承载力标准值的设计计算

搅拌桩单桩竖向承载力标准值取决于桩身强度和地基土情况,一般应通过现场单桩荷载试验确定。无试验资料时,根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-91),单桩竖向承载力标准值可按下列两式计算,取其中较小值:

$$R_k^d = \eta f_{cu,k} A_p \quad (1)$$

$$R_k^d = q_s U_p l + \alpha A_p q_p \quad (2)$$

式中: R_k^d ——单桩竖向承载力标准值; η ——强度折减系数,取 $\eta=0.5$; q_s ——桩周土的平均摩擦力,根据该工程地质勘察资料及其它相关资料,填砂土取

收稿日期:2006-08-01

作者简介:张俊(1969-),男(汉族),甘肃陇西人,江西省地质工程(集团)公司建筑工程处经理、工程师,探矿工程专业,从事岩土工程技术研究工作,江西省南昌市解放西路 658 号,13970092630, zj625031@sina.com。

7 kPa, 淤泥土取 8 kPa, 粉质粘土取 14 kPa; A_p ——桩的截面积, 本工程采用直径为 600 mm 的桩, $A_p = 0.2826 \text{ m}^2$; U_p ——桩身周长, 本工程为 $0.6\pi = 1.884 \text{ m}$; l ——桩长, 见表 1; α ——桩端天然地基土的承载力折减系数, 取 $\alpha = 0.5$; q_p ——桩端天然地基土的承载力标准值, 根据其地质勘察资料, 持力层粉质粘土 $q_p = 190 \text{ kPa}$; $f_{cu,k}$ ——根据其相关实践试验资料, 取 $f_{cu,k} = 1.50 \text{ MPa}$ 。

2.5 水泥土搅拌桩复合地基承载力标准值设计计算

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-91), 搅拌桩的承载力按下式计算:

$$f_{sp,k} = mR_k^d / A_p + \beta(1-m)f_{s,k} \quad (3)$$

式中: $f_{sp,k}$ ——复合地基承载力设计标准值; m ——面积置换率, 通过桩的间距和布设情况, 计算取值约为 20%; β ——桩间土承载力折减系数, 取 $\beta = 0.7$; $f_{s,k}$ ——桩间天然地基土平均承载力标准值, 根据该工程工程勘察地质资料及其它相关资料, 填砂土取 70 kPa, 淤泥取 50 kPa, 粉质粘土取 190 kPa。计算结果见表 1。

表 1 桩基参数及承载力计算值

项目名称	设计桩	桩周土 q_s	计算 R_k^d	计算 $f_{s,k}$	计算 $f_{sp,k}$
	长/m	均值/kPa	小值/kPa	均值/kPa	值/kPa
维修车间	7.0	10.29	135.70	123.14	166.00
综合仓库	7.0	10.01	132.01	117.43	159.19
集装箱置地	6.7	10.33	130.39	123.73	161.57
停车棚	7.0	9.80	129.24	110.57	153.68
建安加工厂	7.2	9.88	134.02	105.00	153.65
排班室	6.5	10.37	126.99	118.62	156.30

根据计算核校 $f_{sp,k} \geq 150.0 \text{ kPa}$, 各项设计参数满足要求。

3 施工技术

3.1 施工工艺流程

(1) 施工准备。深层搅拌桩施工的场地应事先平整, 清除桩位处地上、地下一切障碍物(包括大块石、墙基、树根杂草和生活垃圾等); 按设计要求, 进行现场测量放样; 其它设备、技术和现场准备按要求完成。

(2) 钻机就位。启动钻机步履系统, 将钻机移至设计桩位并利用水平尺及铅垂线将钻机调平调直, 使钻头与设计桩位重合。设置浆量记录仪, 按设计要求校核设定各项技术标准参数。

(3) 制备水泥浆。搅拌前, 根据设计要求按规定的配合比放置材料, 在搅拌桶内搅拌均匀并过滤后泵入桩孔内。

(4) 喷浆搅拌钻进。就位后, 用一档操作, 以避免主机摇晃, 先使喷浆嘴有浆液喷出后再开始钻进。钻进过程中根据钻进的难易程度适当调整注浆流量, 并在钻进过程中监测是否注浆。

(5) 喷浆搅拌提升。钻头钻进至设计深度后, 在桩底原地喷浆搅拌 30 s 后再提升直到地面。提升时记录仪自动叠加上下两次的分段浆量, 可保证总段浆量不小于设计值, 当前桩完成时可保证总浆量达到设计值, 完成后打印桩深、段浆量、总浆量和桩深-段浆量的对应曲线。

(6) 复搅。对桩身重新喷浆上下进行复搅。

(7) 移位。单桩成桩后, 将钻机移至下一施工桩孔, 进行施工。

3.2 主要施工设备

设备选用 PH-5B 型深层搅拌桩机, 该机由深层搅拌钻机、灰浆拌制机、浆泵、输浆过滤管路及记录监测仪 5 部分组成。主机有 2 个液压底盘和 4 个液压支腿, 可进行 360° 旋转施工, 并随时通过铅垂线和水平尺检查调整 4 个液压支腿来保证搅拌桩机的垂直度。

PH-5B 型深搅机采用链条扣齿, 一扣一扣提升和加压(为主动)力钻进, 进尺比较均匀, 机械技术参数如下:

提升速度: 0.288、0.386、0.679、1.081、1.665 m/min;

给进速度: 0.268、0.455、0.800、1.273、1.960 m/min;

转速: (正) 15、25、44、70、108 r/min, (反) 17、29、52、82、126 r/min;

成桩直径: 标准 $\varnothing 500 \text{ mm}$, 最大 $\varnothing 600 \text{ mm}$;

生产能力: 每班完成加固体 40 ~ 50 m^3 , 最大加固深度 18 m。

3.3 注浆材料及配比

(1) 根据工程地质勘探资料、现场试验及设计要求, 选择最佳配合比, 确定搅拌工艺参数(包括水泥掺入量、水灰比等)。

(2) 深层搅拌压浆用的浆液主要材料为水泥, 选用 32.5 普通硅酸盐水泥, 水泥使用前要有出厂合格证, 并按监理要求进行抽样检验, 检验合格后方可使用, 不合格产品坚决杜绝使用。

(3) 深层搅拌水泥平均掺入比 15% 左右(质量比), 根据浆桶大小和配合比, 先进行试桩标定用浆量, 然后参照标定的浆量进行工程桩施工。

(4) 施工所用水泥浆水灰比控制在 0.5 ~ 8.0

范围,根据地层情况进行试配调整。

3.4 质量保证措施

(1) 严格按设计要求测量放样,用小木桩做标记,作为施工轴线及孔位的控制点,施工中木桩间利用钢尺量测孔位,确保相邻桩位对中总偏差 ≥ 50 mm。

(2) 水泥分批进场,新鲜无结块,并按批号分批存放,不合格的水泥坚决不允许进场。

(3) 水灰比配制严格按照试桩配比进行,配制时先加入一定量的水,边搅拌边加入水泥,搅拌均匀后测量水泥浆的密度,确保水泥浆液达到要求。施工时上下双喷浆进行施工,严格按照段浆量控制注浆泵的供浆流量,控制检查浆液的段浆量和总浆量。

(4) 钻机就位前进行施工放线,确保施工轴线偏差 < 2 cm,钻机就位时确保钻头与轴线的偏差 < 3 cm。实时控制桩深,确保桩底高程达到设计深度,其误差 < 10 cm。依据水平尺及钻塔铅垂线通过调节 4 个液压支腿保证钻机水平,控制钻机垂直度 $< 1\%$ 。

(5) 深搅钻头采用十字双叶片,施工时定时测量钻头的直径,磨损超过 2 cm 时要及时进行加补。

(6) 钻进及搅拌速度控制。钻进速度主要依靠桩机自身的恒速功能,挡位一定时,转速保持相对恒定,司机同时监视电流表和功率表的表值大小,避免土层过硬时过载开关跳闸,并及时与供浆工沟通,调节供浆量,钻杆提升速度控制在 $0.2 \sim 1.0$ m/min。

(7) 施工前校核自动记录仪,施工中在钻头上叶片处于设计桩顶标高时,让自动记录仪归零开始记录施工深度、段浆量、总浆量、施工时间。在搅拌过程中,及时准确填写施工记录,施工完毕后让现场监理核定签证。

4 质量检验

(1) 水泥搅拌桩成桩 7 天后可采用轻便触探器钻取桩身加固土样,观察搅拌均匀程度,同时根据轻便触探击数用对比法判断桩身强度。现有的轻便触探击数 (N_{10}) 与水泥土强度对比关系来看,7 天龄期的击数 $N_{10} > 30$ 击时,桩身强度能达到设计要求。本工程未进行触探试验。

(2) 水泥搅拌桩成桩 28 天后,用钻孔取心的方法检查其完整性、桩土搅拌均匀程度及桩的施工长度。每根桩取出的心样由监理工程师现场指定相对均匀部位,送实验室做(3 个一组)28 天龄期的无侧限抗压强度试验,留一组试件做 3 个月龄期的无侧限抗压实验,以测定桩身强度。本工程钻孔取心情

况及试验结果见表 2。

表 2 钻孔取心情况及试验结果表

取心 孔桩号	桩孔深 度/m	施工日期	取样日期	平均抗压强度 (28d)/MPa	平均抗压强度 (90d)/MPa
79	7.10	05.10.10	05.11.09	1.60	1.95
286	6.97	05.10.12	05.11.12	1.70	2.10
536	7.12	05.10.16	05.11.15	1.85	2.21
780	7.05	05.10.19	05.11.18	1.58	1.91
932	7.10	05.10.24	05.11.23	1.67	2.00
1205	6.90	05.11.02	05.12.02	1.70	2.10
1367	6.75	05.11.04	05.12.03	1.95	2.35
1521	7.15	05.11.07	05.12.06	1.56	1.89
1836	6.70	05.11.09	05.12.08	1.76	2.17

(3) 进行复合地基承载力静载荷试验,检验其承载力,载荷试验应在 28 天龄期后进行,由监理工程师随机指定抽检单桩或复合地基承载力,随机抽查的桩数不宜少于桩数的 0.2%,且不得少于 3 根。试验用最大载荷量为单桩或复合地基设计荷载的 2 倍。本工程静载荷单桩承载力试验情况见表 3。

表 3 静载荷单桩承载力试验情况表

静载检 验桩号	施工日期	检测日期	单桩设计 承载力/kN	单桩检测极限 承载力/kN
56	05.10.08	05.11.07	190	398
310	05.10.13	05.11.11	190	416
579	05.10.17	05.11.15	190	420
843	05.10.21	05.11.19	190	395
1275	05.11.03	05.12.01	190	390
1764	05.11.08	05.12.06	190	412

(4) 开挖检验。可选取一定数量的桩体进行开挖,检查加固体的外观质量。看桩体圆匀程度,有无缩颈和凹陷现象。本工程开挖检验 6 根桩,所验桩桩体外观平整,轮廓明显,水泥石搅拌均匀,桩径为 604 ~ 612 mm。

5 结语

水泥深层搅拌桩加固处理软基效果显著,经处理后复合地基固结了软土,增大了粘聚力,复合地基的强度得到了提高,可以取得较好的经济效益。软基处理后可很快投入使用,在建筑工程施工中确保工程质量的前提下能够降低施工成本、缩短基础处理施工工期,已得到了广泛的应用。

参考文献:

- [1] 叶观宝. 地基加固新技术[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 叶书麟,叶观宝. 地基处理与托换技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [3] 彭振斌. 地基处理工程设计计算与施工[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996.