

# 水泥搅拌桩在污水池软弱地基加固中的应用

陈金德

(宁波市环境保护科学研究设计院, 浙江 宁波 315010)

**摘要:**结合某污水处理工程软弱地基处理中使用水泥搅拌桩的工程实例,介绍水泥搅拌桩处理淤泥质粘土复合地基的设计计算方法、施工工艺、质量保证措施、质量检验方法和需要注意的问题。提出对孔顶土体坍塌部分,采用填加粘性土,重新喷粉,重新搅拌的事故处理方法。工程实践表明,水泥搅拌桩在软弱地基加固处理中,取得了较好的工程效果及经济效益。

**关键词:**软弱地基;水泥搅拌桩;复合地基;污水池

中图分类号:TU473.1\*2

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)03-0049-02

## 1 工程概况

宁波嘉乐染整有限公司位于鄞县集仕港董家桥,由于公司的生产规模扩大,为确保全厂的漂染废水能达标排放,故在原污水站的北边新建处理规模3000 m<sup>3</sup>/d的污水站。其中组合池是整个污水处理工程的关键性单位工程,污水池容量为3000 t,平面尺寸为36 m×17 m,净高5.5 m。

场地土层从地表往下依次为:①耕植土,水稻田表层,层厚0.3 m;②粘土,软塑,高压缩性,层厚0.2 m,  $f_j = 9$  kPa,  $f_k = 62$  kPa;③淤泥夹泥炭,流塑,特高压缩性,层厚2.7 m,  $f_j = 10.5$  kPa,  $f_k = 42$  kPa;④粘土,软塑—可塑,高压缩性,层厚1.5 m,  $f_j = 21.3$  kPa,  $f_k = 82.5$  kPa;⑤淤泥,软塑,高压缩性,层厚5.2 m,  $f_j = 10$  kPa,  $f_k = 58$  kPa;⑥淤质土,可塑,高压缩性,层厚6 m,  $f_j = 11$  kPa,  $f_k = 76$  kPa;⑦淤质土,可塑,高压缩性,层厚7 m,  $f_j = 12.4$  kPa,  $f_k = 92$  kPa;⑧淤质土,可塑,高压缩性,层厚7.7 m,  $f_j = 15.4$  kPa,  $f_k = 128$  kPa。

根据地质报告,本工程建设场址为水稻田,各土层均为含水量高,高压缩性,固结差,容许承载力低的软弱土层,无法满足设计荷载要求,必须进行地基加固处理。本着安全可靠、经济可行的原则,经多种方案比较,决定采用粉喷水泥搅拌桩复合地基处理方法。

## 2 水泥搅拌桩设计

### 2.1 单桩承载力设计

采用桩径 $\phi 600$ 的粉喷水泥搅拌桩(考虑地基土含水率高),有效桩长 $l$ 为8.0 m,有效桩长范围内

桩周土的加权平均摩阻力标准值 $q_s$ 为8.3 kPa,桩横截面面积 $A_p$ 为0.283 m<sup>2</sup>,周长 $u_p$ 为1.88 m,取桩端土承载力折减系数 $\alpha = 0$ ,按式(1)<sup>[1]</sup>可计算出单桩竖向承载力标准值 $R_k^d$ 为125 kN。

$$R_k^d = q_s u_p l + \alpha A_p q_p \quad (1)$$

由式(2)<sup>[1]</sup>可计算出桩身水泥土强度 $f_{cu,k}$ 为1262 kPa。

$$f_{cu,k} = R_k^d / (\eta A_p) \quad (2)$$

式中 $\eta$ 为水泥土强度折减系数,取0.35~0.5。根据当地实践经验,在相近条件下,当水泥掺入量为12%时(采用425号普通硅酸盐水泥), $f_{cu,k} = 1100$  kPa。实际施工时取水泥掺入量为15%。

### 2.2 置换率和桩数设计

水泥搅拌桩置换率:

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

式中: $m$ 为搅拌桩的面积置换率; $f_{sp,k}$ 为复合地基承载力标准值,kPa; $\beta$ 为桩间土承载力折减系数,当桩端为软土时,取 $\beta = 0.5 \sim 1$ ,当桩端为砂或硬塑土时,取 $\beta = 0.1 \sim 0.4$ ,当不考虑桩间土的作用时,取 $\beta = 0$ ; $f_{s,k}$ 为桩间土承载力标准值,kPa。

考虑到污水池构筑物池底地基应力的实际分布情况,复合地基承载力标准值为120 kPa,取桩间土承载力折减系数 $\beta = 0.5$ ,则由式(3)可计算出水泥搅拌桩置换率为24.6%。

实际施工时,池外壁下取桩距为1.0 m,置换率为28.3%,桩长8.5 m,桩数为240根;池中部下取桩

距为 1.5 m, 置换率 12.6%, 桩长 4.5 m, 桩数为 140 根。整个污水池粉喷水泥搅拌桩为 2670 延长米。

### 2.3 复合地基承载力验算

池外壁下复合地基承载力:

$$f_{sp,k} = mR_k/A_p + \beta(1-m)f_{s,k} = 140 \text{ kPa} > 120 \text{ kPa}$$

由式(1)计算出池中部分单桩竖向承载力标准值为 79 kN。

由式(3)可得池中部分复合地基承载力为 54 kPa, 约等于池中部分地基应力(55 kPa)。

### 2.4 群桩基础承载力验算

当摩擦型桩面积置换率较大(>20%)且不是单行排列时, 尚应按群桩设计要求, 将搅拌桩群体与桩间土视为一假想实体, 用式(4)验算下卧层地基强度:

$$\frac{f_{sp,k}A + G - A_s q_s - f_{s,k}(A - A_1)}{bA_1} < f_s \quad (4)$$

式中:  $G$  为假想实体基础自重, kN, 水泥土容重, 对一般淤泥质土可取  $18 \text{ kN/m}^3$ , 地下水位取有效容重;  $A$  为上部结构基础(承台)底面积,  $\text{m}^2$ ;  $A_s$  为假想实体基础表面积,  $\text{m}^2$ ;  $A_1$  为假想实体基础底面积,  $\text{m}^2$ ;  $b$  取 1.1~1.15。

假想实体基础埋深  $d$  为 8.5 m,  $A = 510.1 \text{ m}^2$ ,  $A_s = 851.2 \text{ m}^2$ ,  $A_1 = 612.5 \text{ m}^2$ ,  $G = 43183.8 \text{ kN}$ , 假想实体基础底面地基土承载力  $f_k$  为 58 kPa, 基础埋深的承载力修正系数  $\eta_d = 1.0$ , 基底以上土的加权平均容重  $\gamma_p = 8.8 \text{ kN/m}^3$ , 则假想实体基础底面修正后的地基土承载力设计值为

$$f_s = f_k + \eta_d \gamma_p (d - 0.5) = 128 \text{ kPa} \quad (5)$$

由式(4)可得假想实体基础底面压力为 123 kPa <  $f_s = 128 \text{ kPa}$ , 满足要求。

## 3 施工工艺及质量保证措施

### 3.1 施工工艺<sup>[2]</sup>

粉喷搅拌桩机就位, 待钻机转速正常后, 边旋转边放气, 削碎土体, 钻机下钻至设计桩底标高后搅拌提升, 关气喷粉, 再下钻至设计标高后, 进行全桩段复拌。钻机下钻速度  $v \leq 1 \text{ m/min}$ , 提升速度  $v \leq 0.8 \text{ m/min}$ , 搅拌速度  $R = 30 \sim 50 \text{ rad/min}$ , 气体流量  $Q = 20 \text{ L/s}$ , 空气压力  $P = 0.4 \sim 0.6 \text{ MPa}$ 。喷粉范围超过设计桩顶标高 500 mm 以上, 下钻深度不能高于设计桩底标高, 桩位偏差不得大于 50 mm, 桩径不得偏小, 工程桩垂直度偏差不得超过桩长的 1%。

### 3.2 质量控制

施工过程中重点控制水泥用量、钻机提喷速度、钻机下钻深度、钻杆垂直度等。施工时严格控制喷粉时间和停粉时间, 每根桩开钻后应连续作业, 不得中断喷粉, 以确保喷粉的连续性。严禁在尚未喷粉的情

况下进行钻杆提升作业, 储粉罐内的储灰量应不少于一根桩的用粉量。

### 3.3 注意事项

a. 在打桩过程中, 如遇停电或机械故障等原因, 喷粉中断时, 应及时记录中断深度, 在 12 h 内采取补喷处理措施, 并将补喷情况填报于施工日记内, 超过 12h 应采取补桩措施。

b. 本工程在施工过程中, 由于场地土质孔隙比大, 含水率高, 高压缩性, 经搅拌后, 有超过 1/3 桩数出现孔顶土体坍塌现象, 深度达 1.5 m 左右, 如不采取有效的补救措施, 势必对污水池造成不均匀沉降。考虑到工程进度、造价等因素, 本工程采取以下措施: 对孔顶土体坍塌部分, 采用填加粘性土, 重新喷粉, 重新搅拌处理, 同时控制钻机提升、下钻速度, 成桩后用桩机头顶压, 使桩头成型完整。

c. 由于水泥搅拌桩复合地基沉降主要为桩身上部、垫层和下卧层沉降, 施工时开挖基坑到设计标高后, 应凿去桩顶 500 mm 疏松部分, 同时采用 100 mm 碎石找平, 100 mm C10 素混凝土垫层。

## 4 质量检验

水泥搅拌桩成桩后, 至少须养护 1 个月, 方可进行基坑开挖。基坑开挖后, 应检验桩位、桩数及桩顶质量, 如不符合规范要求, 则应采取有效的补救措施。水泥搅拌桩复合地基质量检验方法有水泥土无侧限抗压强度试验、轻型触探试验、水泥土取芯抗压强度试验、小应变动测及复合地基载荷试验。

本工程的水泥搅拌桩复合地基质量检验方法采用复合地基载荷试验, 对 4 根桩进行复合地基静载试验。池外壁下可取其平均值 120 kPa 作为该复合地基承载力标准值; 池中部分可取其平均值 70 kPa 作为该复合地基承载力标准值, 均达到了设计要求。

## 5 结 语

a. 对孔顶土体坍塌部分, 采用填加粘性土, 重新喷粉, 重新搅拌处理后, 达到了理想的效果, 可用于同类工程事故的处理。

b. 施工完成至今已有 1 年, 污水池经过闭水试验, 各观测点沉降比较均匀, 总沉降量 5~8 mm, 没有出现任何因基础沉降问题而引起污水池出现裂缝的现象。实践说明, 水泥搅拌桩对污水池软弱地基加固安全经济、切实可行。

### 参考文献:

- [1] YBJ225-91, 软土地基深层搅拌加固法技术规程[S].
- [2] 叶书麟, 韩杰, 叶观宝. 地基处理与托换技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994. 399~405.

(收稿日期: 2001-02-21 编辑: 张志琴)