

# 深层搅拌桩的设计施工

王继果<sup>1</sup>, 韩选江<sup>1</sup>, 王国庆<sup>2</sup>

(1、南京工业大学土木工程学院, 江苏 南京 210009; 2、河南省镇平县城关镇人民政府水利站, 河南 镇平 474250)

**摘 要:** 主要对深层水泥搅拌桩的设计施工进行了探讨。

**关键词:** 深层搅拌桩; 水泥搅拌桩; 软土; 有效桩长; 承载力; 置换率

## 1 深层水泥搅拌桩的设计

### 1.1 深层水泥搅拌桩的适用范围

深层搅拌法适用于软弱土地基的加固, 如滨海相沉积、河川沉积、湖泊相沉积的软土, 对这类沉积厚度大、含水率高(一般在 35%~85%, 高者达 100%以上)、孔隙比大(大多>1.0)、抗剪强度低、压缩性高、渗透性差的软土地基, 可采用深层搅拌桩处理, 受机械条件影响, 处理最大深度为 25m。

### 1.2 影响水泥搅拌桩强度的因素

研究表明, 在加固材料配合比及养护条件相同的情况下, 影响加固土强度的因素主要有:

(1)不同成因的软土其加固后的水泥土的强度不同。砂性土和粘性土无侧限抗压强度关系对比试验资料表明砂性土固化后, 其无侧限抗压强度大于粘性土; 而含有砂粒的粉土固化后, 强度又大于粉质粘土和淤泥质粉粘土。

(2)有机质含量对加固土强度的影响。有机质含量高的土, 其桩体无侧限抗压强度要低许多。

(3)土中含水率的影响。在固化剂种类和掺入量相同的情况下, 浆液喷搅时, 土的天然含水率越低, 加固土的无侧限抗压强度就越高。

(4)土的渗透性影响。试验研究表明土的渗透性好, 其中的试样强度就高出许多。

### 1.3 深层水泥搅拌桩的桩长

深层水泥搅拌桩桩体抗压强度较低, 当桩的断面和土性一定时, 其单桩承载力随桩长的增加而提高, 但当单桩承载力增加到某一值时, 单桩承载力与桩体强度相等, 单桩承载力就达到极限值, 此时的桩长称为有效桩长。桩体的变形、轴力及侧摩阻力主要集中在这一有效桩长的深度范围内, 有效桩长以下的桩长主要起减少地基沉降的作用。

(1)桩长对承载力的影响: 研究表明, 当水泥渗入量  $a_w = 15\%$  时, 桩长在 7m 以内, 复合地基承载力随桩长的增加提高最快; 当桩长>12m 时, 承载力随桩长的提高不显著。

(2)桩长对变形的影响: 一般的桩越长对控制变形越有利, 对深层水泥搅拌桩来说, 桩长<12m 时, 这一规律较为明显。但桩长大于此值时, 这一控制作用会显著减小。因此, 深层水泥搅拌桩考虑其对变形控制的贡献大小, 桩长通常宜控制在 12m 以内。

### 1.4 设计中应注意的问题

(1)搅拌桩应尽可能打穿软土; 设计中有时经计算桩长可能

会满足地基承载力要求而未穿透软土层进入持力层, 此时设计应慎之, 因为经处理过的土体的压缩量会减少得很多, 但桩尖以下部分由于有淤泥层, 没有形成很好的排水通道, 因而固结很慢, 在停载很长时间内沉降速率一般都较大。预压期过后, 沉降不一定能稳定。所以在设计中深层搅拌桩一般应穿透软土层, 并不宜采用“长短不一”的间隔桩。

(2)确定合适的桩间距或置换率: 桩距不宜过大, 一般<1.5m; 若桩间距过大, 或置换率较低, 影响复合地基的承载力。

(3)设计强度(水泥土无侧限抗压强度 90d), 若达不到设计要求, 应考虑添加剂的措施。地基土的成份、含水率、有机质、可溶盐等对水泥土强度均有影响。不同土质的水泥土强度不同。

(4)深层搅拌桩的桩头应进行相应的处理, 一般停灰面在地面下 0.5m, 未喷灰的 50cm 可考虑掺加固剂的水泥进行处治, 或采用石灰、水泥土进行处理, 桩顶均应设置一定强度的垫层。

## 1.5 深层搅拌桩设计过程

### 1.5.1 桩长和桩间距

水泥深层搅拌桩处理地基的目的是为了减少路基沉降, 增加地基强度。就减少地基沉降而言, 桩越长效果越好, 但存在一个技术经济较为合理的桩长, 如果增加桩长, 按桩长平均后每米减小的沉降量不再增加, 这说明该桩长是一个技术经济效果较为合理的值, 一般情况下水泥搅拌桩的经济长度应 $\leq 15.0m$ 。桩的间距过小, 水泥桩的数量急剧增加, 因此, 从技术经济角度看, 也存在一个合理值。水泥搅拌桩设计就是首先根据以上原则考虑不同的地质特性、路堤荷载大小等情况拟定一个初步的桩长和桩间距, 计算复合地基的承载力和路基的工后沉降, 若满足要求则停止计算。若不满足要求则改变桩长和间距重新计算。

### 1.5.2 单桩承载力

单桩竖向承载力标准(kN)按以下两式计算, 取其中较小值, 也可通过现场荷载试验确定:

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

$$R_k^d = \bar{q}_s U_p l + \alpha A_p q_p \quad (2)$$

式中符号物理意义详见规范。

### 1.5.3 置换率 $\eta$

$$\eta = \frac{[R]_{\text{复}} - \beta [R]_{\text{土}}}{\frac{R_k^d}{A_p} - \beta [R]_{\text{土}}} \quad (3)$$

式中:  $[R]_{\text{复}}$ ——复合地基承载力;

$[R]_{\pm}$ ——桩间天然地基土承载力;

$\beta$ ——桩间土承载力折减系数。

#### 1.5.4 复合地基的承载力

$$[R]_{\text{复}} = \eta \times [R]_{\text{桩}} + \beta(1+m)[R]_{\pm} \quad (4)$$

式中:  $[R]_{\text{桩}}$ ——水泥搅拌桩的承载力。

#### 1.5.5 复合地基桩、土应力

一般桩土应力比为 2.0~4.0, 这里取  $n=3$ , 则应力集中系数

$$u_p = \frac{n}{1+m \times (n-1)} = 2.4 \quad u_s = \frac{n}{1+m \times (n-1)} = 0.34 \quad (5)$$

桩体承担的压应力:

$$R_p = u_p \times R_0 \quad (6)$$

桩间土承担的压应力:

$$R_s = u_s \times R_0 \quad (7)$$

式中:  $R_0$ ——路基表面所受外加荷载应力。

#### 1.5.6 总沉降量

$$S = S_1 + S_2$$

式中:  $S_1$ ——被加固土体的局部沉降, cm;

$S_2$ ——被加固土体以下未加固土体的沉降量, cm。

$$S_1 = \frac{R_0 \times L}{m \times E_c + (1-m)E_s}$$

式中:  $E_c$ ——水泥土桩的弹性模量, kPa;

$E_s$ ——桩间土的侧限变形模量, kPa。

计算  $S_2$  时, 搅拌桩下部未加固土上的附加应力

$$\Delta P = \frac{R_0 \times B \times H}{(B+L)(H+L)}$$

式中:  $B$ ——加固区宽度;

$H$ ——加固区长度。

## 2 深层搅拌桩的施工

### 2.1 室内配合比试验和工艺试验

深层搅拌桩施工前, 根据相关规范要求, 应进行室内配合比试验, 以验证水泥土强度能否达到设计要求。深层搅拌桩每 1 个段落的水泥掺入量应由工艺性试桩后, 根据强度检测结果与设计强度要求作比较后选择。

### 2.2 工艺性试验的流程及需确定的参数

#### 2.2.1 施工工艺与桩体强度的关系

水泥加固土的无侧限抗压强度在其它条件相同时, 采用复搅的办法可明显提高加固土的无侧限抗压强度; 在含水率很小的松散填土中, 搅拌时块状土不能破碎, 易造成桩体松散, 采用注水后上下多次预搅的办法即可保证加固土的强度。在粘性很大的土中, 可能会在搅拌头上形成土团, 随搅拌头转动, 使搅拌不均匀, 复搅亦不能奏效, 只有改变搅拌头的形式才是有效途径。

#### 2.2.2 桩周土体对深层水泥搅拌桩承载力的影响

深层水泥搅拌桩必须有周围土体供侧向约束才能承受荷载, 深层水泥搅拌桩在任一受荷阶段都处于桩体中应力和桩周土体对它的约束之间的一种平衡状态, 一旦这种平衡达到极限, 深层水泥搅拌桩也就达到了极限状态。很明显, 桩体强度一定时, 桩周土体的强度越高, 深层水泥搅拌桩所能承担的荷载也就越大。

#### 2.2.3 拌合时间的影响

搅拌桩拌合是水泥土桩的关键工序。影响拌合程度的因素主要有固化剂的供给方式、搅拌叶片的形状、数量和布置、搅拌时

间的长短等, 一般可以定性地分析拌合时间与加固土强度的影响, 在拌合的开始阶段, 水泥土强度增加很快, 到了某一限度时, 强度上升速度逐渐减缓。

#### 2.2.4 试验段落的选择

试验段落宜选取软土层相对较厚的、桩长相对较长的段落作为试验段落, 以获得有代表性的施工工艺参数。

#### 2.2.5 施工工艺流程

①设备安装就位→制备水泥浆液→钻进到设计深度→提升喷浆→钻进复搅→提升复搅→成桩→移机。

②设备安装就位→制备水泥浆液→钻进到设计深度→提升喷浆→钻进复搅到设计深度→提升喷浆→钻进复搅→成桩→移位。

一般情况下, 在同样的水泥掺入量情况下, 后一种工艺成桩效果比前一种工艺要好, 强度比前一种工艺高 1.2 倍左右。再根据不同水泥掺入量和两种工艺流程成桩后的强度指标进行工程成本经济分析。在满足设计强度前提下, 选择合理的水泥掺入量和施工工艺。

#### 2.2.6 工艺试验需确定的有关技术参数

- ①通过工艺试验应选择合适的工艺流程;
- ②验证现场施工深层搅拌桩强度能否达到设计值;
- ③确定合适的水灰比, 并通过试验得出水泥浆比重, 作为施工的控制指标;
- ④确定机械钻进、提升速度。

## 3 结束语

在深层搅拌桩施工中, 常常会出现如强度不足, 垂直度不能满足规范要求的现象, 出现这些问题的原因有施工组织方面的因素, 也有固化土的因素, 当然也可能存在设计的不足。为避免深层搅拌桩施工出现这样和那样的问题, 建议在进行施工设计、施工前做好以下几个方面的工作:

- (1) 认真做好地勘工作, 除做好常规的地质勘探要求外, 应特别查明土中有机质的含量及地下水的酸碱度为设计提供参考。
- (2) 精心组织好工艺试桩及检验, 在大面积施工前进行不同掺灰比和不同操作工艺的试桩, 根据检验试桩后得出强度为设计部门提供修改完善设计的实践资料。
- (3) 对进场的施工机械进行检验并进行机械性能验证, 严格按工艺试配的参数控制好提升、钻进速度及施工水灰比。
- (4) 深层水泥搅拌桩成桩质量控制可采用钻孔取芯与标准贯入试验相结合的方法进行, 同时辅以静载荷试验, 这样既能检测出搅拌桩的成桩质量, 又可以判断搅拌桩复合地基的承载力能否达到设计要求, 验证设计参数。

## 参考文献:

- [1] 江国勤. 深层搅拌桩的设计施工与质量控制[J]. 水运工程, 2003, 4.
- [2] 傅强, 解军, 徐显利. 软基处理水泥深层搅拌桩施工控制[J]. 华东公路, 2003, 2.
- [3] 彭建忠, 李海辉. 水泥搅拌桩加固软土地基的设计和效果[J]. 河海大学学报, 2001, 12.
- [4] 何开胜. 水泥搅拌桩承载力计算方法探讨[J]. 建筑结构, 2003, 3.
- [5] 建筑地基处理技术规范(JGJ79—91)[S].
- [6] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社.