

# 第8章 砂桩法

## 8.1 概述

砂桩法是指利用振动或冲击方式，在软弱地基中成孔后，填入砂并将其挤压入土中，形成较大直径的密实砂桩的地基处理方法。主要包括砂桩置换法、挤密砂桩法等。

砂桩于 19 世纪 30 年代起源于欧洲，用于在海湾沉积软土上建造兵工厂的地基工程中。当时的设计桩长为 2m，桩径为 0.2m，每根桩承担的荷载为 10kN。此后，在长时间内由于没有实用的设计计算方法，缺少先进的施工工艺和施工设备而影响了它的发展。二次世界大战以后，砂桩法在原苏联得到广泛应用并取得了较大成就。初期，砂桩采用冲孔捣实施工法，以后又采用水冲振动施工法，其缺点都是质量不佳和处理深度较浅。20 世纪 50 年代后期，随着振动打桩机的出现，又采用振动式打拔管施工法。以后日本又研究出振动式重复压拔管施工法和控制施工质量的方法，这些方法的应用使砂桩地基处理技术发展到一个新的水平，使其施工质量和施工效率均有显著提高，处理深度可达 30m 左右。

砂桩最初是用于处理松散砂土和人工填土地基的，而在软弱粘性土地基上的应用不太成功。因为软弱粘性土的渗透性小，灵敏度大，成桩过程中产生的超孔隙水压力不能迅速消散，挤密效果较差，而且因扰动而破坏了土的天然结构，降低了土的抗剪强度。现在在这方面也取得了一定的经验，根据国外的经验，在软弱粘性土中形成砂桩复合地基后，再对其进行加载预压，以提高地基强度和整体稳定性，并减少工后沉降。国内的实践也表明，如不进行预压，砂桩施工后的地基在荷载作用下仍有较大的沉降变形，对沉降要求较严的建筑物难以满足要求。因此，使用砂桩构成砂桩复合地基，对它再进行堆载预压，可显著提高地基强度，改善地基的整体稳定性，并减小地基沉降量。

我国在 1959 年首次在上海重型机器厂采用锤击沉管挤密砂桩法处理地基，1978 年又在宝山钢铁厂采用振动重复压拔管砂桩施工法处理原料堆场地基。这两项工程为我国在饱和软弱粘性土中采用砂桩特别是砂桩地基处理方法取得了丰富的经验。近十多年来，砂桩法在我国工业与民用建筑、交通、水利等工程建设中得到了广泛应用。工程实践表明，砂桩法用于处理松散砂土和塑性指数不高的非饱和粘性土地基，其挤密(或振密)效果好，不仅可以提高地基的承载力、减少地基的固结沉降，而且可以防止砂土由于振动或地震所产生的液化。砂桩处理饱和软弱粘性土地基时，主要是置换作用，可以提高地基承载力和减少沉降，同时，还起排水通道作用，能够加速地基的固结。

## 8.2 加固原理

地基土的土质不同，对砂桩的作用原理也不尽相同。

### 8.2.1 在松散砂土中的作用

#### (一) 挤密作用

砂土和粉土属于单粒结构,其组成单元为松散粒状体,渗透系数大,一般大于 $10^{-4}$  cm/s。单粒结构总处于松散至紧密状态。在松散状态时,颗粒的排列位置是极不稳定的,在动力和静力作用下会重新进行排列,趋于较稳定的状态。即使颗粒的排列接近较稳定的密实状态,在动力和静力作用下也将发生位移,改变其原来的排列位置。松散砂土在振动力作用下,其体积缩小可达 20%。

采用冲击法或振动法往砂土中下沉桩管和一次拔管成桩时,由于桩管下沉对周围砂土产生很大的横向挤压力,桩管将地基中同体积的砂挤向周围的砂层,使其孔隙比减小,密度增大,这就是挤密作用。有效挤密范围可达 3~4 倍桩直径。这就是通常所谓的“挤密砂桩”。

#### (二)振密作用

采用振动法往砂土中下沉桩管和逐步拔出桩管成桩时,下沉桩管对周围砂层产生挤密作用,拔起桩管对周围砂层产生振密作用,有效振密范围可达 6 倍桩直径左右。振密作用比挤密作用更显著,其主要特点是砂桩周围一定距离内地面发生较大的下沉。采用这种成桩方法的砂桩称为“振密砂桩”。

### 8.2.2 在软粘土中的作用

#### (一)置换作用

密实的砂桩在软弱粘性土中取代了同体积的软弱粘性土(置换作用),形成复合地基,使承载力有所提高,地基沉降也变小。荷载试验和工程实践证明,砂桩复合地基承受外荷载时,发生压力向砂桩集中的现象,使桩周围土层承受的压力减小,沉降也相应减小。砂桩复合地基与天然的软弱粘性土地基相比,地基承载力增大率和沉降减小率都与置换率成正比关系。根据我国在淤泥亚粘土和淤泥质粘土中形成的砂桩复合地基的荷载试验,在同等荷载作用下,其沉降可比天然地基减小 20%~30%。

#### (二)排水作用

在软弱粘性土地基中,砂桩可以象砂井一样起排水作用,从而加快地基的固结沉降速率。砂桩复合地基与天然地基荷载试验的对比表明,在荷载相同条件下,前者的沉降稳定时间比后者短得多。以上海宝山钢铁总厂的对比试验为例,在荷载板面积影响范围内为饱和的亚粘土和淤泥质亚粘土,在荷载约为 160kPa 时,砂桩复合地基沉降稳定时间为 69~70 小时,而天然地基为 190 小时,说明砂桩对促进地基固结沉降有十分显著的作用。

### 8.2.3 砂桩用途

(一)在松散砂土中,可用于增大相对密度,防止振动液化。

(二)在软粘土中,可用于提高地基承载力,加速固结沉降,改善地基的整体稳定性。

## 8.3 设计计算

### 一、加固范围

应根据建筑物的重要性和场地条件及基础形式而定。对一般基础,在基础外应扩大 1~3 排;对可液化地基,在基础外缘扩大宽度不应小于可液化土层厚度的 1/2,并不应小于 5m;

对高等级公路，一般应处理至边缘外 1~3m。

## 二、桩位布置

对大面积满堂处理，桩位宜用等边三角形布置，对独立或条形基础，桩位宜用正方形或矩形布置。

## 三、加固深度

加固深度应根据软弱土层的性能、厚度或工程要求按下列原则确定：

1、当软土层不厚时，应穿透软土层；

2、当软土层较厚时，对按变形控制的工程，加固深度应满足砂桩复合地基变形不超过地基容许变形值的要求，可通过沉降计算确定；

3、对按稳定性控制的工程，加固深度应不小于最危险滑动面的深度；

4、在可液化地基中，加固深度应按要求的抗震处理深度确定；

5、桩长不宜小于 4m。

## 四、桩径

根据置换率要求、成桩方法、施工机械能力等因素综合考虑确定砂桩直径。在软弱粘性土中尽可能采用较大的直径。目前国内采用的桩径一般为 0.3~0.7m，国外最大达 2m。

## 五、材料

宜使用中粗混合砂，含泥量不大于 5%。在对砂桩成型没有足够约束力的软弱粘性土中，可以使用砂和角砾混合料。桩孔填料量应通过现场试验确定，估算时可按设计桩孔体积乘以充盈系数 1.2~1.4 确定。

## 六、垫层

砂桩施工完毕后，地面应铺设 30~50cm 厚的砂垫层或砂石垫层。垫层要分层铺设，用平板振动器振实。

在地面很软不能保证施工机械正常行驶和操作时，可以在砂桩施工前铺设垫层。

## 七、桩距计算

(1) 砂土和粉土地基

可根据挤密后要求达到的孔隙比  $e_1$  来确定。

$$\text{等边三角形布置} \quad s = 0.95 \xi d \sqrt{\frac{1+e_0}{e_0-e_1}} \quad (8-1)$$

$$\text{正方形布置} \quad s = 0.89 \xi d \sqrt{\frac{1+e_0}{e_0-e_1}} \quad (8-2)$$

$$e_1 = e_{\max} - D_{r1}(e_{\max} - e_{\min}) \quad (8-3)$$

式中  $s$  ——砂桩间距(m)；  
 $d$  ——砂桩直径(m)；

$\xi$ ——修正系数，当考虑振动下沉密实作用时，可取 1.1~1.2；不考虑振动下沉密实作用时，可取 1.0；

$e_0$ ——地基处理前砂土的孔隙比，可按原状土样试验确定，也可根据动力或静力触探等对比试验确定；

$e_1$ ——地基挤密后要求达到的孔隙比；

$e_{\max}$ 、 $e_{\min}$ ——砂土的最大最小孔隙比，可按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的有关规定确定；

$D_{r1}$ ——地基挤密后要求达到的相对密实度，可取 0.70~0.85。

(2) 粘性土地基

等边三角形布置

$$s = 1.08\sqrt{A_e} \quad (8-4)$$

正方形布置