

施工与监理

## 灰土挤密法在大型给水厂地基处理中的应用

李彤, 尚琳, 宋晓阳

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

**摘要:** 建于自重湿陷性场地的大型给水厂需全部消除地基湿陷性, 选择适宜的处理方法是决定处理效果的关键。灰土挤密法作为一种常用的处理方法, 其成孔方式的选择直接影响灰土挤密桩的实施效果和消除湿陷性的处理效果, 同时设计中应将理论公式与实际土质参数、地方经验紧密结合。以某大型给水厂地基处理为例, 介绍了灰土挤密桩的设计及灰土挤密法的施工要点。该工程已投入运行, 结构安全可靠, 效果良好。

**关键词:** 自重湿陷性; 灰土挤密法; 锤击成孔

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)10-0136-03

## Application of Lime-soil Compaction Method in Foundation Construction in Large Water Supply Plant

LI Tong, SHANG Lin, SONG Xiao-yang

(North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

**Abstract:** The collapsibility of the foundation must be eliminated completely to ensure the firmness stability of large water supply plant in the self weight collapsible site. The appropriate treatment method is the key point leading to the good effect. As a common method, the pore-forming mode has a direct influence on the implementation of the lime soil compaction pile and the treatment effect of the collapsibility. The actual soil parameters and local experience should be combined tightly in the project design. The lime-soil piles method applied to treat the foundation in a large-scale water supply plant is taken as an example. The key points of design and construction process were introduced. It showed that the structure was safe and reliable, and the effect was good after the project were put into operation.

**Key words:** self weight collapsibility; lime-soil compaction; hammering hole

大型给水厂工程中的沉淀池、滤池占地面积大, 外部常设置大跨度厂房, 同时此类水厂都是当地的生命线工程, 在自重湿陷性场地建设上述给水处理设施, 必须严格按照规范要求对地基的湿陷性进行处理, 防止因水池的意外渗漏危害滤池本身及外部厂房的结构安全, 影响正常的生产运行。

### 1 工程概况

本工程为呼延水厂一期的深度处理工程, 其生物活性炭滤站规模与一期工程( $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )相同,

滤站包括两组钢筋混凝土结构生物活性炭滤池, 太原市冬季严寒, 为保证滤池冬季正常运行, 滤池外部建有网架屋面结构大跨度厂房, 滤站平面尺寸为  $100.5 \text{ m} \times 42.4 \text{ m}$ , 厂房高为  $15.100 \text{ m}$ 。根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004), 该水厂属于大型水厂, 生物活性炭滤站为甲类建筑。

### 2 地质条件

场地  $20 \text{ m}$  深度范围内地基土分述如下。

第①层为素填土( $Q_4^{2ml}$ ), 黄褐色, 主要由粉质粘

土、粉土、碎石土构成,混有白灰块,含云母、煤屑、砖屑、植物根系等。堆填时间超过 10 年。层厚为 3.3 ~ 6.7 m。第②层为湿陷性黄土与碎石( $Q_4^{lal+pl}$ ),可分为两个亚层:第②-1 层为湿陷性黄土( $Q_4^{lal+pl}$ ),褐黄色,以粉土、粉质粘土为主,局部夹有碎石、砾砂,稍湿,可塑状态,具中等~高压缩性,湿陷程度中等。层厚为 1.10 ~ 13.0 m,平均为 8.61 m。第②-2 层为碎石( $Q_4^{lal+pl}$ ),杂色,母岩成分以灰岩为主,充填物为粉质粘土、砂土,局部夹有漂石,中密,颗粒级配良好。第③层为碎石与粉质粘土( $Q_4^{lal+pl}$ ),可分为两个亚层:第③-1 层为碎石( $Q_4^{lal+pl}$ ),杂色,母岩成分以灰岩为主,充填物为粉质粘土、粉土、砂土,局部夹有漂石,中密,颗粒级配良好。第③-2 层为粉质粘土( $Q_4^{lal+pl}$ ),褐黄色,含云母、氧化物、菌丝及少量钙质结核,混有碎石;可塑状态,具中等压缩性。

本工程活性炭滤站场地为自重湿陷性场地,地基湿陷等级为Ⅱ级。

### 3 处理方案的选择

湿陷性黄土地基常用的处理方法有换填垫层法、强夯法、挤密法及预浸水法。其中换填垫层法、强夯法、挤密法是工程中使用最多的三种方法。

呼延水厂为大型水厂,关系供水安全,是城市生命线工程。滤池为大型储水池,周边管线密集,地基受水浸湿可能性大,厂房为大跨度结构,需全部消除地基湿陷性。场地为自重湿陷性场地,地基充分浸水时,基底下的全部湿陷性黄土层均会产生湿陷,处理基底面以下部分湿陷性黄土层只能减小地基的湿陷量,若消除全部湿陷量,必须处理基底下的全部湿陷性土层。

由勘察报告可知,本次需处理的湿陷性土层厚度达 14 m,换填垫层法受施工方法限制,仅适宜处理基底 3 m 以内的湿陷性土层。湿陷性黄土的干密度小,含水量较低,属于欠压密的非饱和土,其可夯实和可挤密的效果好,强夯法和挤密法通过夯击、挤密作用改善土的物理力学性质,使处理土层的干密度增大、渗透性减小、压缩性降低、承载力提高、湿陷性消除,适于处理湿陷性黄土。本工程为深度处理扩建工程,场地北侧距已建成的滤站不足 30 m、南侧距一期清水池 20 m,此范围内还分布有厂区道路和大量管道,强夯法施工产生的巨大震动会严重影响邻近建筑、管线的安全,应优先考虑挤密法。

挤密法主要有普通灰土挤密桩法、孔内深层强

夯法。灰土挤密桩法的成孔方式根据土质及环境可选择振动沉管、锤击沉管、冲击成孔、钻孔和洛阳铲掏孔。孔内深层强夯法的成孔方式根据土层不同可以采用钻孔、冲孔、挖孔和掏孔。不同于一般湿陷性黄土,本场地湿陷性黄土层的中下部存在 1.5 ~ 3 m 厚的碎石夹层,对灰土挤密桩的成孔产生不利影响。普通的振动沉管、钻孔、洛阳铲掏孔均无法穿越较厚的碎石层,旋挖机成孔能够穿越本工程碎石夹层,其成孔最小直径为 600 mm,由于是非挤土成孔且孔径较大,需采用夯击能量较高的孔内深层强夯法才能达到理想的挤密效果。

旋挖成孔方式及孔内深层强夯法的成孔费用、孔内填充料用量和夯实施工成本均高于普通灰土挤密桩。除旋挖成孔外,锤击成孔冲击能量大,可以穿越厚度不大的较松散的碎石层,同时具有施工速度快、综合成本低的优点。通过分析第②-2 层碎石的物理参数,决定在施工前先对柴油锤锤击沉管成孔进行成孔试验。成孔试验取得较为理想的效果,仅个别位置在拔管时存在底部塌孔现象,通过二次复打亦可以顺利成孔,满足设计要求。

综合考虑土层性质、周边环境、处理要求和工程成本,最终采用锤击成孔灰土挤密桩法,以完全消除地基湿陷性。

### 4 灰土挤密桩的设计

设计中先根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)的公式进行估算,并在正式施工前分别对不同桩间距进行试桩,以达到最优的技术经济效益。桩孔直径为 400 mm,桩孔采用等边三角形布置,桩间距按如下公式确定:

$$s = 0.95d \sqrt{\frac{\eta_c \rho_{dmax}}{\eta_c \rho_{dmax} - \rho_d}} \quad (1)$$

$$\eta_c = \rho_{dl} / \rho_{dmax} \quad (2)$$

式中  $s$ ——桩孔中心距, m

$d$ ——成孔直径, m

$\rho_{dmax}$ ——桩间土的最大干密度,  $t/m^3$

$\rho_d$ ——地基处理前土的平均干密度,  $t/m^3$

$\rho_{dl}$ ——成孔挤密深度内,桩间土的平均干密度,  $t/m^3$

$\eta_c$ ——桩间土经成孔挤密后的平均挤密系数

式(1)、(2)反映了灰土挤密桩的作用机理,即

通过成孔并在孔内填充填料压(夯)实,使孔径扩大挤密桩间土体,干密度增大,压缩性降低,最终达到消除湿陷性的目的。《湿陷性黄土地区建筑规范》中的计算公式还包括预钻孔(或其他方式成孔)的直径 $d$ 及填孔挤密(或夯扩)后的直径 $D$ ,更直观地体现了扩孔挤密的作用。在实际工程中,填孔挤密后的直径 $D$ 与桩间土的密实程度、夯填压实的能量和桩间距等有很大关系,设计及施工并不能精确控制、检测,而《建筑地基处理技术规范》中根据桩间土的平均挤密系数确定桩间距更加可行。

本工程场地内湿陷性黄土的最大干密度为 $1.77 \sim 1.78 \text{ t/m}^3$ ,处理前的平均干密度为 $1.37 \sim 1.57 \text{ t/m}^3$ ,要求桩间土平均挤密系数达到0.93,代入上述公式,桩间距 $s$ 计算值约为 $1.0 \sim 1.1 \text{ m}$ 。桩身填料采用2:8灰土,桩体的平均压实系数不小于0.97。

设计复合地基承载力特征值为 $180 \text{ kPa}$ 。处理后的灰土挤密桩复合地基的承载力特征值不宜大于处理前天然地基承载力特征值的2.0倍,且不宜大于 $250 \text{ kPa}$ ,因为承载力过高对消除湿陷不利。

考虑到灰土桩土层参数及施工的不确定性,在正式施工前,分别按照桩间距 $0.8$ 、 $1.0$ 、 $1.2 \text{ m}$ 进行试桩,以确定处理效果及最优桩间距。试桩检测报告显示,桩间距为 $1.0 \text{ m}$ 时即满足设计要求,进一步验证了初步计算公式。

要求灰土桩穿越湿陷性黄土层,桩端为碎石层、粉质粘土层,有效桩长为 $13 \sim 14.5 \text{ m}$ 。活性炭滤站基础包括水池的底板和厂房框架柱条形基础,两类基础距离近,对基底采取整片处理,处理范围宽出基础边缘0.5倍处理土层深度,受邻近建构筑物影响,实际宽出距离为 $6 \text{ m}$ 。

桩顶设置 $500 \text{ mm}$ 厚的2:8灰土褥垫层,保证应力扩散、调整桩土应力比、减小桩身应力集中。褥垫层的压实系数不小于0.95。

## 5 施工要点

桩身灰土填料消石灰与土的体积比为2:8,土料选用开槽挖出的黄土及外购的粉质粘土,其有机质含量不得超过5%,灰土应过筛并拌和均匀,选用新鲜的消石灰,有效 $\text{CaO} + \text{MgO}$ 含量不低于60%,或采用Ⅲ级以上的新鲜块灰并在使用前充分消解及过筛。夯填土和石灰应提前送实验室做原材试验及击实试验,求得最大干密度和最优含水量,石灰和土料要按体积比进行均匀拌和。达到设计要求后,并

使含水量控制在最优含水量的 $\pm 2\%$ ,实地可用“手握成团、落地开花”的标准来鉴定含水量,备好的石灰存放应满足防雨和防雪要求,并用塑料布遮盖。

成孔施工采用柴油锤打桩机,锤重为 $3.2 \text{ t}$ ;孔内夯实挤密采用梭型锤,锤重为 $1.8 \text{ t}$ 。本工程为成片处理,桩数多、处理面积大,应合理安排挤密桩施工顺序。施工过程中按照由内向外的顺序,并采取隔桩不隔排跳打的施工方式,施工过程中未出现成孔困难及严重塌孔等问题。

## 6 地基处理效果

灰土挤密桩施工完成后,按照规范要求进行了消除地基湿陷性、复合地基承载力检测。检测结果表明,地基湿陷性已完全被消除,复合地基承载力特征值满足设计要求。

## 7 结语

呼延水厂一期深度处理工程已投入使用,结构安全可靠,取得了良好效果。在湿陷性黄土地区,特别是自重湿陷性场地,灰土挤密法具有经济快速、处理效果好、环境影响小的特点,具有广泛的适用性,根据土质条件合理选择适宜的成孔方式则是这类工程的重点,直接决定方案可行性和最终处理效果。

## 参考文献:

- [1] 《给水排水工程结构设计手册》编委会. 给水排水工程结构设计手册(第2版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.



作者简介:李彤(1977—),男,天津人,大学本科,高级工程师,结构室主任,主要从事给排水市政结构设计工作。

E-mail:li\_tong@126.com

收稿日期:2017-02-10