

钻孔喷灌微型桩施工技术

李小青 乌效鸣 (中国地质大学 勘查与建筑工程学院 武汉 430074)

提 要 介绍钻孔喷灌微型桩的施工工艺技术,阐述通过压浆增加强度的重要成桩机理,提供确定承载力的方法。以工程实例为据,说明该桩型的实用效果

关键词 钻孔喷灌微型桩 压力灌浆 承载力

第一作者简介 李小青,讲师,博士研究生。现主要从事钻探与基础工程方面的教学和科研工作,并有多从事实际工程施工的经验

钻孔喷灌微型桩又称就地灌注小直径钢筋混凝土桩(简称微型桩),它最早在30年代由意大利的Fondille公司首创,后传至欧洲及美国,较广泛地用于地基加固和托换工程中。我国80年代开始试验研究并应用于苏州虎丘塔古建筑地基加固及现代建筑物的地基加固工程中,获得成功。

微型桩直径较小,一般在100~300 mm之间,小于100 mm的微型桩常称为“锚杆”或“针状桩”。在特殊要求时桩径可超过300 mm。施工中根据具体情况,桩身可以是垂直的,也可以是倾斜的;可以是单根的,也可以是成束的;可以是端承桩,亦可以是摩擦桩。成束的微型桩也称“树根桩”。

微型桩属于成孔后压力注浆,浆液有一定的喷射力。其桩型、桩径、桩长及斜度等均灵活控制变化,作为一种地基处理方法,其用途越来越广。

1 微型桩施工工艺技术

1.1 成孔

微型桩是一种成孔后进行压力注浆形成强固的混凝土桩,其施工工艺流程为:钻机定位→成孔→初级清孔→下放钢筋笼和注浆管→二级清孔→投入石料→压力注浆→桩顶处理。

微型桩成孔,一般是采用工程地质钻机或岩心钻机。由于所钻的孔径均较小,多采

用正循环方法,有时为了提高桩的承载力,在钻到较硬土层时,换上水力扩孔钻头,以达到扩孔目的。

1.2 钢筋笼及注浆管

根据设计要求,钢筋笼可加工成圆形、方形或三角形,也可用型钢或单根钢条。当施工的空间较小时,可以把钢筋笼分段制作,在下孔时进行焊接或者绑扎,由于桩径较小,钢筋的混凝土保护层厚度为10~15 mm,特殊要求时另作处理。

注浆管要求外壁光滑,以便较容易地从浆液或混凝土中拔出,其底口及花管孔眼在下放时需用塑料胶布封住。注浆管放在钢筋笼内,一起放到孔内,如采用二次注浆方法,需放置2根注浆管。

1.3 注浆

压浆成桩是微型桩施工的关键,在钢筋笼和注浆管安放之后,立即投入粒径为5~25 mm的碎石料,可一次投入,也可分多次投入,根据桩长而定。然后接通注浆管,压入水泥浆液。在压浆过程中,注浆管随注随拔,但一定要埋在水泥浆中2~3 m,以保证桩体的连续性和质量。

水泥砂浆的配比有两种。一种是不填石料的微型桩,单用砂浆灌注,其水泥、细砂和水的配比是1:1:(0.4~0.5)。这种浆液在灌注后往往在顶部进行增压以保证桩体的密实性。另一种是投入石料后压浆的微型

桩,砂浆在一定压力下注入到石料间的间隙之中,形成混凝土桩体,其桩身质量较单用砂浆要好。施工中的微型桩多属此类,其砂浆配比通常为水:水泥:细砂 = (0.4~0.5):1:(0.5~0.6)。也有单纯用水泥浆灌注的,但水泥用量增大,成本较高,且桩体密实性较差,因此一次注浆时较少采用。二次注浆则主要是用纯水泥浆液,其配比根据施工具体情况而定。

注浆压力随注浆工艺和桩长而变化。一次注浆时,注浆压力主要是保证浆液充填碎石间的间隙、土的孔隙或岩石的裂隙。其压力为回填灌浆压力,参考下列公式估算:

$$(1) \text{在地面段无附加压重时} \\ [P_e] = P_0 + mh \quad (1)$$

式中: $[P_e]$ ——容许灌注压力, kPa; P_0 ——地面段容许灌浆压力, kPa; m ——灌浆段每加深 1 m 容许增加的压力值, kPa/m; h ——灌浆段深度, m 其中 m 、 P_0 查阅有关资料图表选定

$$(2) \text{在灌浆段有附加压重时} \\ [P_L] = [P_e] + KVH \quad (2)$$

式中: $[P_L]$ ——有附加压重时容许灌浆压力, kPa; K ——系数,取 1~3; V ——压重层重度, kN/m³; H ——压重层厚度, m; $[P_e]$ ——无附加压重时容许灌浆压力, kPa

实际施工中,还应根据经验按桩长来确定注浆压力,如桩长为 20 m 时,压力通常为 0.4~0.5 MPa;桩长为 30 m 时,压力可达 0.6~0.7 MPa

二次注浆时,水泥浆液要冲破初凝混凝土及桩周土层,使混凝土结构和土体结构破坏,或使土层原有裂隙扩大,从而加大扩散距离,渗透到桩周土体中,形成水泥加固土,从而提高桩的承载力,因此灌浆压力较一次注浆大,通常在 1.5 MPa 以上。

注浆结束后一段时间(一般为 0.5 h)后,再向孔内补投石料并注浆,从而保证桩

顶部位混凝土强度满足工程要求。

1.3 特种工艺施工

在一些特殊条件下,微型桩可按设计要求进行特种工艺施工,如在软土层中,可采用偏心钻头结合水力喷射等方法,对微型桩桩底或任意段进行局部扩径,从而提高其承载能力。图 1 为几种扩径桩形式:抗拔桩可进行底部扩大(图 1-a);在已建承台下施工微型桩,为增加承台与桩的共同作用,可在承台底部进行局部扩径(图 1-b);在一些深基础加固工程中,可在局部扩径以承托原基础(图 1-c)。

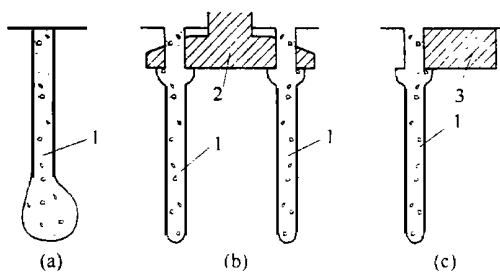


图 1 扩径桩形式

(a) 端部扩径桩; (b) 承台底部局部扩径桩;

(c) 基础底部局部扩径桩

1- 桩身; 2- 已有承台; 3- 已有基础

2 成桩机理及承载力的确定

2.1 微型桩成桩机理

微型桩是一种成孔后投入石料,再进行压力灌注水泥(砂)浆而形成的一种钢筋混凝土桩,它和一般大口径钻孔灌注桩不同,其桩身混凝土的密实度是靠压力来决定的。因而其混凝土的强度不仅与材料质量、浆液配比有关,而且还与压浆工艺有关。在软土层中,微型桩承载力主要是靠桩和桩周土间的摩阻力来提供,压力注浆使浆液渗透扩散到土层中形成水泥加固土,提高了土体的抗剪强度,从而提高桩的承载能力。从下式可以看出压力注浆,尤其是二次注浆对桩承载力的影响:

$$f = c_t g h + C \quad (3)$$

式中: f ——土体的抗剪强度, kN/m^2 ; σ ——桩体受到土体的法向应力, kN/m^2 ; h ——土体的内摩擦角, $(^\circ)$; C ——土的内聚力, kN/m^2 。

一次注浆,浆液充填碎石间隙,形成密实的、具有较高强度的混凝土桩体。二次注浆,一部分浆液继续充填桩体混凝土的微小缝隙,提高桩体强度,同时大部分浆液在压力作用下渗透至土体之中,随着压力的增大,扩散、渗透距离增大,水泥加固土范围增大,从而提高土体的法向应力(见图2),形成 $\sigma_2 > \sigma_1$ 的结果,同时桩周围土体受到挤压,孔隙比减小,亦提高 h 值。而 C 值因为水泥的渗入也相应地提高。由于 σ 、 h 和 C 值的提高,土体的抗剪强度 f 显著提高,二次注浆可使桩的承载力提高 20% 以上。

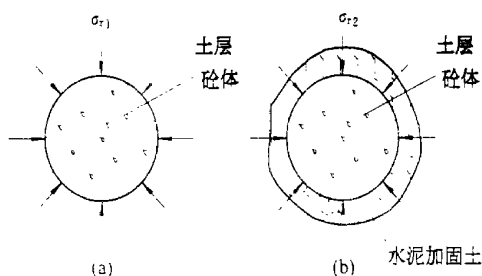


图2 二次注浆提高法向应力示意图

(a)一次注浆体; (b)二次注浆体

大量的工程实践表明,水泥浆液的灌注量一般为容积方量的 2 倍以上,大大超过空隙容量。这证实了大量浆液在压力作用下渗透至桩体周围的土层中,形成不规则的水泥浆土包裹层,使桩的承载力大大提高。

2.2 单桩承载力的确定

目前人们大多还是根据各土层的摩阻力值,采用钻孔灌注桩单桩承载力的计算方法来设计计算微型桩的单桩承载力,即:

$$P = q_p A + \pi D \sum h_i q_{si} \quad (4)$$

事实上,由于压力注浆的影响,土体的抗剪强度提高,利用公式(4)计算过于保守,摩阻力取值偏小,应根据土体抗剪强度来计算单桩承载力。工程实践证实,桩体在受压

达到屈服极限之前,往往是土体先发生剪切破坏。

由于桩体的变形模量远大于土体的变形模量,桩在受压时,桩土之间是一种不协调的变形。对于土体,上部变形大,下部变形小,这就不易计算土体抗剪强度,而常用平均抗剪强度来计算微型桩单桩承载力:

$$P = \pi D \sum h_i \bar{f} \quad (5)$$

式中: P ——单桩容许承载力, kN ; D ——设计桩径, m ; $\bar{f}$ ——第 i 层土体的平均抗剪强度, kN/m^2 , $\bar{f} = K_i h V_{tg} b + C_i$; K_i ——第 i 层土的侧压力系数, $K_i = 1 - \sin b$; b ——第 i 层土的内摩擦角, $(^\circ)$; C_i ——第 i 层土的内聚力, kN/m^2 ; V ——埋层土的加权平均重度, kN/m^3 , $V = \sum h_i V_i / \sum h_i$; V_i ——第 i 层土的重度, kN/m^3 ; h_i ——第 i 层土的厚度, m ; h ——埋层厚的计算深度, m , $h = h_i / 2 + \sum h_{i-1}$ 。

由于微型桩桩径小,端承力很小,公式(5)中并未予以考虑,只是把它当作安全储备,如需精确计算,可列入公式(5)中。对于扩底微型桩,其端承力超过单桩承载力的 15% 时,应进行计算。

公式(5)可作为设计计算的参考公式。当桩数较多时,应根据单桩承载力试验来确定桩的承载力。实际使用过程中,根据经验按桩径来确定承载力:桩径 $D = 15 \text{ cm}$ 时,每米桩长允许荷载 $P_L = 10 \text{ kN/m}$; $D = 25 \text{ cm}$ 时, $P_L = 15 \text{ kN/m}$; 当 $D = 30 \text{ cm}$ 时, P_L 可取 $18 \sim 20 \text{ kN/m}$ 。

2.3 复合地基承载力

对于用微型桩处理的地基,是按复合地基理论还是按刚性桩基础理论来计算地基承载力,没有太明显的区别。显然,对于桩端进入较好持力层,且细长比大的桩来讲,荷载主要由桩来承担,此时可按桩基础理论进行设计计算;而对桩长较短的桩,荷载一部分由桩来承担,另一部分则由土体分担,此时应按复合地基来考虑;

$$P_A = P_S + nP \quad (6)$$

式中: P_A —— 承台承载力, kN; P_S —— 承台下土体分担的荷载, kN; n —— 承台下桩数; P —— 单桩承载力, kN

3 工程应用

由于微型桩桩径小、施工简便、场地、空间不受限制,能在各种土层中成桩,并且在贴近建筑物施工时不改变其静力平衡状态,还可以与上部结构(包括基础)、地基连接起来,所以它广泛应用于托换工程和地基加固工程,尤其是施工难度大、施工条件复杂的工程。如厂房内深基坑开挖,可在厂房屋柱基附近施工微型桩用以加固柱基,同时在坑周边施工微型桩作为支护挡土墙。另外象建筑物加层或上部增加荷载,而原地基承载力不足时,可用微型桩来进行施工处理。

微型桩使用灵活多变,既可以单独使用,也可以作为大型工程的辅助工程,且施工速度快、用料少、成本低,在应用中具有较强竞争力,在城市改造地基处理工程中越来越发挥其作用。

武汉市大火路小学,在校区内新建 3 栋 4 层连体教学楼及 1 栋 2 层办公楼。由于邻近周边为陈旧民房,加上交通不便,大型设备无法进场,故基础采用钻孔喷灌微型桩。该工程由武汉市建筑设计院设计,桩径为 300 400 mm,有效桩长分别为 17 27 m,单桩容许承载力分别为 300 400 kN。

场区处于汉江一级阶地上,地层自上而下依次为:杂填土,厚 3. 10~ 7. 30 m;淤泥,

厚 0. 40~ 2. 80 m;亚粘土,厚 8. 50~ 11. 00 m;亚粘土及细砂,厚 2. 00~ 5. 90 m;粉砂。

施工时采用工程地质钻机成孔,用挤压式灰浆泵灌浆,注浆管为 $\varnothing 33$ mm 镀锌水管,钢筋笼配筋为: $\varnothing 400$ mm 桩 $5\varnothing 16$ mm $\times 6. 5$ m; $\varnothing 300$ mm 桩为 $4\varnothing 16$ mm $\times 6. 5$ m。施工前施工了 2 根 $\varnothing 300$ mm 试桩,通过动测和静压试验,单桩容许承载力分别为 330 390 kN,相应的沉降量为 2. 16 1. 92 mm,均优于设计及规范要求。

中南电子公司拟建一栋 6 层住宅楼,住宅楼与一栋已建办公楼相连接,其基础采用 $\varnothing 250$ mm 微型桩,桩长为 17~ 18 m,单桩承载力为 180 kN,钢筋笼配筋为 $3\varnothing 16$ mm $\times 6. 5$ m。施工中,通过对 2 组试桩作静压试验,同时抽检 4 根桩作动测试验,均满足设计要求。2 组试桩单桩承载力分别为 400 360 kN。

此外,象上海东湖滨湖楼房加层(由 3 层加至 5 层)工程、大众汽车厂厂房内基坑开挖工程、龙华污水处理厂基坑抗浮工程、新丰饲料厂大直径桩的故障处理,均采用了微型桩,取得了良好效果。

4 参考文献

- [1] 第二届全国岩土工程实录交流会. 岩土工程实录集, 1990.
- [2] Joseph E. Bowles (USA). Foundation Analysis and Design (Third Edition). Mc Graw-Hill Book Company, 1982.
- [3] 林宗元主编. 岩土工程治理手册. 辽宁科学技术出版社, 1993.

The Construction Technology of Grout-injected mini-piles

Li Xiaoqing Wu Xiaoming

(China University of Geosciences Wuhan 430074)

Abstract The construction technology of grout-injected mini-piles by injection grouting is introduced. The mechanism of increasing the strength of the pile through grouting is elaborated and the way to determine the bearing capacity of the pile is presented. According to the practical project, the functional effects are verified.

Key words grout-injected mini-piles, pressure grouting, bearing capacity