

穿越流沙层人工挖孔桩施工工法

朱奎¹, 潘三豹², 陈中华², 陈林²

(1. 浙江大学软弱土与环境土工教育部重点实验室, 杭州 310027;

2. 温州中城建设集团公司, 温州 325000)

摘要:介绍了穿越流沙层人工挖孔桩施工工法特点、施工工艺、主要材料及机具、质量控制措施。该施工工法针对流沙情况下人工挖孔桩施工经常会出现塌孔情况,采取了预应力混凝土管护壁技术保证成孔,利用侧壁引流技术等降水措施减少动水压力,避免出现断桩、桩身混凝土离析等不良现象,使桩质量满足设计要求。工程实例表明该方法技术经济效益显著。

关键词:人工挖孔桩;流沙;降水

作者简介:朱奎,1975年生,男,浙江温州人,博士,高级工程师,主要从事复合地基和桩基研究。

0 前言

人工挖孔桩具有工程造价低、施工噪音小、对施工现场条件要求不高等特点,因此被广泛应用于工业民用建筑及公路桥梁等建(构)筑物。穿越流沙层人工挖孔桩施工往往比较困难,若技术措施不合理,对流沙处理不当,将直接影响人工挖孔桩质量,甚至对施工人员的安全产生严重威胁。另外,在挖孔过程中如流沙现象严重,会造成水土流失,从而使附近场地的地质情况发生变化,严重的可能引起地表大范围沉降。因此,在流沙层施工人工挖孔桩时,必须有可靠的施工技术和安全措施。传统施工工艺一般采用现浇混凝土护壁,待现浇混凝土达到一定龄期后再拆模板浇灌桩混凝土,但是如果流沙严重时现浇混凝土护壁便无法施工,从而不能保证成孔。本工法对传统人工挖孔桩施工工艺进行改进,采取了预制混凝土管护壁技术和降水等措施防止塌孔,避免了断桩、桩身混凝土离析等不良现象,使桩承载力达到了设计要求,确保质量,减少工程造价。

1 工法特点

1.1 工艺原理

流沙实质是地下水对土颗粒产生的动水压力大于土的浸水容重,土粒失去稳定变成流动状态,

被地下水带动的现象。流沙是在高动水压力的情况下由挖土扰动引起的,如果降低动水压力值,减少土体扰动,可将流沙土转变为稳定土。所以流沙层施工人工挖孔桩的关键在于采取合理的成孔和降水技术措施。本工法针对软土地区流沙特点,从保证成孔和减少动水压力两方面对传统施工工艺进行改进。一方面,通过预制混凝土管护壁技术来保证成孔质量;另一方面,通过侧壁引流方法及其他降水措施减少动水压力。

1.2 关键技术

预制混凝土管护壁技术;实时监控技术;侧壁引流技术。

1.3 适用范围

该工法适用于软土地区地下水位埋藏较浅,地质条件复杂,施工过程中出现流沙的场地,设计桩长小于12m的人工挖孔桩。

2 施工工艺

2.1 工艺流程

见图1。

2.2 预制混凝土管护壁工艺

(1) 预制混凝土管制作

预制混凝土管厚度及配筋根据人工挖孔桩深度确定,混凝土管厚度通常采用120mm,混凝土管每节高为1000mm,混凝土强度等级为C25。

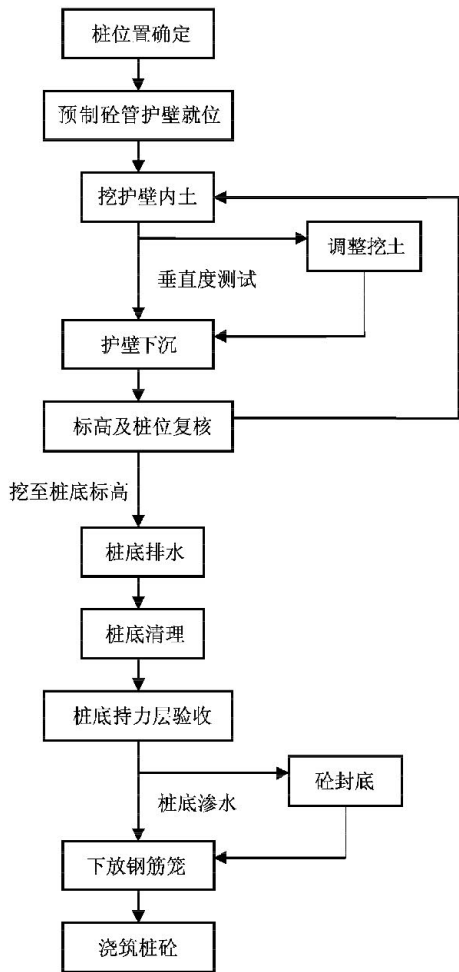


图1 穿越流沙层人工挖孔桩施工工艺流程

预制混凝土管下沉时会受到土侧向压力,计算模型可采取上端铰接、下端固结的模型,预制混凝土管最大弯矩 M_{max} 为

$$M_{max} = 1/15K\gamma H^3 \quad (1)$$

式中, K 为土侧向压力系数; γ 为土重度; H 为预制混凝土管下沉深度。

最大剪力 Q_{max} 为

$$Q_{max} = 2/5K\gamma H^2 \quad (2)$$

式中参数含义同式(1)。

根据最大弯矩和剪力对预制混凝土管进行配筋。

图2为第一节预制混凝土管节点详图。上端口采用企口型,使上下节护壁紧密搭接。第一节预制混凝土管采用刃脚,刃脚的作用是切土便于预制混凝土管下沉。刃脚部位应采用钢筋加强,刃脚节点详图如图3所示。预制混凝土管可在预制厂定制。

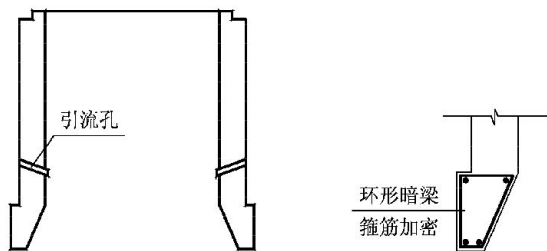


图2 第一节预制混凝土管节点详图 图3 刃脚节点详图

预制混凝土管制作时外壁保持光滑,以利于预制混凝土管下沉。内壁保持粗糙,使桩身混凝土与预制混凝土内管接触面具有较大的摩擦系数,提高桩侧摩擦力。

(2) 预制混凝土管下沉时所需的重力

预制混凝土管下沉时必须克服预制混凝土管外壁与土壁的摩擦力,下沉时预制混凝土管的重力和附加重物的重力应满足下列关系:

$$G - F \geq K\pi d \sum_1^n (f_i H_i) + K\pi d_1 h \quad (3)$$

式中, G 为预制混凝土管及附加重物的重力; F 为所受到的浮力; K 为安全系数; f_i 为每个土层预制混凝土管外壁与土的摩擦系数; d 为预制混凝土管外径; H_i 为预制混凝土管在每个土层的高度; h 为刃脚高度。

(3) 预制混凝土管下沉时开挖工艺

护壁就位后,从护壁中心向周边均匀开挖。对于黏土每次挖土深度控制在 300 mm 左右,对于砂土每次挖土深度控制在 200 mm 左右,以保证平稳下沉。第一次挖土形成锅底形,第二次挖土操作人员同时掏空护壁下的土方,使护壁同时下沉,预制混凝土管护壁下沉过程如图4所示。挖出的土应及时吊出预制混凝土管,卸在指定地点,卸土地点距桩施工位置保持一定距离,以免增加桩孔的侧向附加应力,导致预制混凝土管下沉时摩擦力增大,阻碍预制混凝土管不下沉。

人工挖孔桩开挖顺序应采用间隔挖孔方法,以减少水的渗透和防止土体滑移。

(4) 预制混凝土管下沉时进行实时控制

下沉施工时应控制预制混凝土管下沉不发生较大倾斜,为此在预制混凝土管顶部沿四周设置位移传感器,根据位移传感器位移和倾斜率关系来实时监控预制混凝土管下沉时倾斜率情况。图5为位移和倾斜率关系示意图。图中 H 为预制混凝土管下沉深度, l 为位移,由图中几何关系得出:

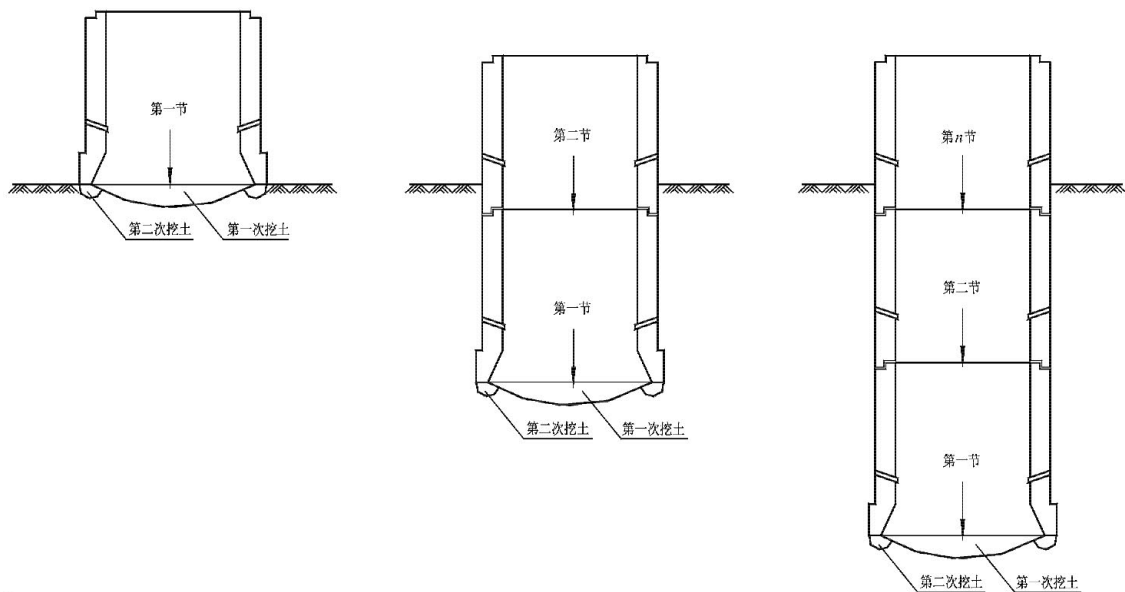


图 4 预制混凝土管护壁下沉过程

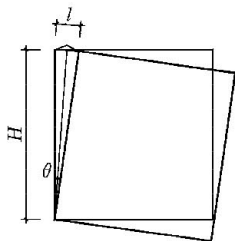


图 5 位移和倾斜率关系示意图

$$\theta = 2\arcsin\left(\frac{L}{2H}\right) \quad (4)$$

根据上式编制 excel 程序,把测试的数据输入 excel 程序,使报告数据达到信息化,实时记录预制混凝土管下沉时倾斜率。

另外,在护壁上口设十字交叉钢筋,十字交叉点悬挂线锤确定中心位置,每下沉一节预制混凝土管进行重新复核。

(5) 预制混凝土管倾斜的校正

导致预制混凝土管倾斜的原因主要有:土层分布不均匀;土开挖速度不同或深度不均匀和挖土不对称;预制混凝土管下沉时遇到障碍物。预制混凝土管倾斜的校正采用加载校正,即在下沉较慢一侧通过振动器促使预制混凝土管下沉。

(6) 预制混凝土管下沉时异常情况的处理

① 预制混凝土管下沉中产生裂缝。主要原因有:预制混凝土管混凝土标号低;预制混凝土管下沉技术不高,多次校正致使预制混凝土管受力不均匀;土中有障碍物等。针对这种情况,应采取措

施防止裂缝扩大,用水泥砂浆、环氧树脂补强加固。

② 预制混凝土管下沉产生困难。主要原因有:预制混凝土管外壁与土壁间的摩擦力过大。针对这种情况,采用振动器促使预制混凝土管下沉。

③ 预制混凝土管下沉过快。主要原因有:预制混凝土管外壁与土壁间的摩擦力过小;挖土速度过快。针对这种情况,减缓挖土速度,减少每层开挖厚度。

④ 预制混凝土管下沉时遇障碍物。局部遇孤石、大卵石,可将四周土掏空后取出;较大孤石时可用风镐破碎取出。

⑤ 预制混凝土管下沉时局部遇硬质土层。可用钢钎打入土中撬动取出,困难时可用风镐破碎取出。

2.3 降水措施

(1) 侧壁引流

通过侧壁引流方法降低孔外水头,减小动水压力。当成孔施工至地下水位以下,可在混凝土护壁施工时埋置一定数量的引流管,管材可采用 $\phi 50$ mm 硬塑料管,近土端管口用网眼 2 mm 的塑料网布绑扎滤水,另一端管口伸出护壁 20~30 m。引流管埋设位置在距本节护壁底部的 300~500 mm 处,间距为 400~600 mm。浇灌混凝土前用高强水泥浆将引流管封闭。

(2) 合理设置集水坑和选用潜水泵

预制混凝土管下沉时引流管会把孔外水引入井内,另外,孔内由于水头差也会出现涌水,因此要设置集水坑抽水,集水坑和潜水泵选用要根据涌水量情况确定。总涌水量计算如下:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

式中, Q 为总涌水量; Q_1 为引流管引水量; Q_2 为孔内涌水量。

引流管引水量为

$$Q_1 = \sum_{i=1}^m \frac{\pi}{4} k_i d_0^2$$

式中, k_i 为引流管所在土层的渗透系数; d_0 为引流管直径; m 为引流管数量。

孔内涌水量为

$$Q_2 = 1.366k \frac{(2L-S)S}{\lg\left(\frac{R}{r}\right)}$$

式中, k 为土渗透系数加权平均值; L 为潜水含水层厚度; S 为孔内水位降低值; r 为人工挖孔桩直径; R 为抽水影响半径, $R = 1.95S\sqrt{Lk}$ 。

(3) 合理确定施工时间

选择无雨时期施工,在地下水位较低的情况下进行施工。

(4) 注意施工顺序

地下水丰富时,可将地质条件较好区域内桩孔提前开挖,将附近的地下水汇集至孔底集水坑,用潜水泵将水抽出,起到深井降水作用。成孔施工时周边部位桩孔掘进深度宜同步,利用相邻井孔协助降水达到降低孔外水头、减小孔外水压力的目的。

(5) 桩端承压水处理

桩端遇到承压水时,需对桩端进行高压注浆。先在孔内打入3~5根1寸钢管,钢管上钻 $\phi 5$ mm小孔,间距150 mm,呈梅花排列,管口应高出桩顶标高,并封好管口,以防堵管。

(6) 注意毗邻桩施工

对于孔壁涌水,当相距10 m以内的邻桩正在浇灌混凝土或桩孔积水很深时,考虑到其对成孔的影响,一般应暂停施工。

2.4 混凝土施工工艺

(1) 无地下水情况下施工

当孔内无地下水,可直接用串筒浇灌,每浇400~500 mm振捣一次,以保证桩身混凝土质量。

(2) 地下水情况下施工

① 当孔底渗水但水量不大时,可以抽干积水,清除孔底杂物及淤泥,迅速浇灌封底混凝土,将孔底渗水压住后进行正常浇捣。

② 有地下水且水量较大,影响正常操作的情况下,应采取水下混凝土施工措施,采用套筒或导管。水下浇筑混凝土坍落度应控制在170~200 mm之间,第一斗混凝土可稍多。混凝土浇筑前,先搅拌少量高强度砂浆,润滑套筒或导管,使混凝土流动性更好。随着套筒或导管逐步提升,水下混凝土会将水位慢慢抬高直到桩顶。在这一过程中,应随时用测尺测量水位线和水下混凝土的高度,以保证套筒或导管底口进入混凝土面高度不小于500 mm。严禁用干料吸水,以保证桩身混凝土质量。

2.5 主要材料及施工机具

(1) 主要材料。

砂、石子、水泥、钢筋、预制混凝土管。

(2) 施工机具

潜水泵、塑料网布、卷扬机、挖掘工具、风镐、电动葫芦、吊笼、钢模、测尺、套筒、线锤、位移传感器。

3 质量控制

(1) 加强对预制混凝土管制作质量控制

预制混凝土管制作应保证外壁平滑,预制混凝土管的尺寸应符合要求。预制混凝土管的允许偏差如表1所示。

表1 预制混凝土管的允许偏差

项 目	允许偏差
预制混凝土管内径及外径	$\pm 0.5\%$,且不得大于2 mm
预制混凝土管厚度	± 1 mm

(2) 加强对预制混凝土管护壁施工的质量控制

要确保预制混凝土管垂直下沉,及时进行垂直度检测,根据反馈信息调整挖土和下沉施工。预制混凝土管下沉完毕,其偏差应发挥以下规定:

① 水平位移偏差不得超过下沉总深度的0.1%,最大且不得超过5 mm。

② 倾斜偏差不得超过0.5%,最大且不得超过10 mm。

(3) 加强对钢筋笼的质量控制

由于人工挖孔桩的钢筋笼通常为大直径笼体,钢筋笼在地面制作时,需在箍圈上焊十字钢筋做内支撑固定,以防钢筋笼变形。

(4) 加强对扩底桩孔的质量控制

① 当孔底扩头可能会引起孔壁失稳时,必须采取相应的措施,经企业技术负责人审批签字后方可施工。

② 已扩底的桩孔,要及时浇灌桩身混凝土或封底,不能尽快浇灌混凝土的桩应暂时不扩底,以防扩大头塌方。

(5) 加强对桩施工时间的控制

尽量将施工选择在枯水季节,秋冬季节干旱少雨,地下水位较低;而春天特别是春夏之交多雨水,地下水位很高。

4 应用实例

嘉鸿花园 5[#] 楼为 7 层框架结构,采用人工挖孔桩作为基础,桩的持力层选择在中风化岩,桩长 15 m 左右,桩径为 1.2 m,共计 57 个桩,桩承载力特征值为 1 100 kN。在初期挖孔施工时遇到较大的地下水,在 5~6 m 时出现流沙现象,桩施工无法继续进行。后来,根据设计单位、施工单位、监理单位等各方责任主体协商,采用了上述工法,顺利地完成了人工挖孔桩的施工。桩施工后,经低应变检测,波形规则,波列清晰,有桩底反射,无桩间反射波,桩身混凝土波速为 3 517 m/s,桩底反射与入射波反相,桩完整性较好。静荷载试验表明桩极限承载力达到 2 200 kN,桩卸载后回弹率为 73%,说明桩塑性变形较少。

上述工程基础造价比较表如表 2 所示。表中采用温州地区综合单价,人工挖孔桩(ϕ 1 200)综合单价为 710 元/m³,钻孔灌注桩(ϕ 600)综合单价为 910 元/m³;基础混凝土强度为 C25,承台综合单价为 404 元/m³。从表中可以看出人工挖孔桩比预应力管桩节约 18.7%。

表 2 基础造价比较表

桩基类型	桩直径	长度	数量	桩造价 (元)	承台混凝土 数量(m ³)	承台 造价	总造价 (元)
人工挖孔桩	1 200	15	36	433 615	180.1	72 760	506 375
钻孔灌注桩	600	15	124	486 353	253.2	114 952	601 305

5 结 论

(1) 该工法采用了预制混凝土管护壁技术,确保流沙部位不塌孔。通过侧壁引流方法及其他降水措施降低孔外水头,减小动水压力。与传统工艺相比,可靠性和安全性强。另外该工艺不涉及现浇混凝土龄期问题,故施工进度相对较快。

(2) 该工法在预制混凝土管护壁施工时,采取了合理的开挖工艺使预制混凝土管平稳下沉,并在预制混凝土管下沉时采取了实时控制工艺,确保预制混凝土管下沉不发生较大倾斜。提出了预制混凝土管倾斜的校正方法以及预制混凝土管下沉时异常情况处理措施。

(3) 人工挖孔桩单桩承载力较高,一般建筑物多可采用单桩单柱或两桩单柱,承台混凝土用量少,因此人工挖孔桩具有明显的经济效益。工程实例表明该工法技术经济效益较高,可以在工程实践中推广应用。

参 考 文 献

- [1] GB 50202—2002 建筑地基基础工程施工质量验收规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] JGJ94—94 建筑桩基技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 1995.
- [3] J220—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] GB50007—2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002.