

# 高压水冲法沉桩 在江都通南高沙土区的应用

郭 炜<sup>1</sup>, 吴世新<sup>2</sup>

(1. 扬州市江都区水务局, 江苏 扬州 225200; 2. 江苏省水利建设工程有限公司, 江苏 扬州 225100)

**摘要:**江都区红旗河(波庄河~通江闸段)整治工程位于通南高沙土区,河道驳岸采用装配式桩板结构型式,为确保后续施工质量满足要求,通过试桩获取施工数据,经过对比高压水冲一次性沉桩至设计标高和高压水冲+最后1m振动沉桩两种施工工艺的施工观测与试验检测数据,确定采用高压水冲一次性沉桩至设计标高的沉桩工艺可满足设计要求,并在施工过程中根据地质条件、桩的尺寸等选择适宜的施工设备。

**关键词:**装配式桩板; 高压水冲法; 高沙土地区; 河道整治; 试桩

中图分类号:TV553

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)09-0045-0005

## Application of high pressure water flushing method for pile sinking in Tongnan high sandy soil area of Jiangdu

GUO Wei<sup>1</sup>, WU Shixin<sup>2</sup>

(1. Jiangdu District Water Conservancy Bureau of Yangzhou City, Yangzhou 225200, China;

2. Jiangsu Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Yangzhou 225100, China)

**Abstract:** The regulation project of Hongqi River (from Bozhuang River to Tongjiang Sluice Section) in Jiangdu District is located in Tongnan high sandy soil area. The riverway revetment adopts the prefabricated pile plate structure. In order to ensure that the subsequent construction quality meets the requirements, the construction data is obtained through pile testing. After comparing the construction observation and test data of the two construction processes of one-time pile sinking to the design elevation by high pressure water jet and the last 1m vibration pile sinking by high pressure water jet, the pile sinking process of using high pressure water flushing for one-time sinking to the design elevation can meet the design requirements, and suitable construction equipment should be selected based on geological conditions, pile size, and other factors during the formal construction process.

**Key words:** prefabricated pile plate; high pressure water flushing method; high sandy soil area; river regulation; test pile

### 1 工程概况

江都通南高沙土区位于江都区南部,地处苏中沿江地区、南水北调水源地,总面积约374 km<sup>2</sup>。通

南地区现状骨干河道有白塔河、红旗河、向阳河、灰粪港、老通扬运河等,初步形成引、排、通航功能较为齐全的水系<sup>[1]</sup>。其中红旗河北起新通扬运河,流经郭村、吴桥、大桥等镇,在大桥镇嘶马村入长江,

收稿日期:2023-06-29

作者简介:郭炜(1989-),男,工程师,本科,主要从事水利工程管理和规划工作。E-mail:tgggg1130@126.com

全长 19.8 km,是通南高沙土地区一条南北向引、排、通航综合利用的重要河道,本次整治包括河道疏浚 6.28 km,两岸新建挡墙护岸 12.59 km,拆建、新建、改造沿线配套建筑物 18 座,对现状 5 座跨河桥梁下河坡进行防护。

红旗河(波庄河~通江闸段)整治工程河道驳岸采用装配式桩板结构型式,桩顶平台高程 3.8 m,墙后平台宽 2.0 m,高程 3.8 m 以 1:3 坡至现状高程;桩前高程为 2.53 m,以 1:4.5 坡至河底。预制方桩规格为 30 cm×40 cm,桩身强度为 C30,桩长 8.8~12.1 m(砂土段平均桩长 9.1 m,淤泥段 12.1 m),桩间距 1.5 m,桩间插 148 cm×200 cm×13 cm(宽×高×厚)预制板挡土(高程▽3.3 m~▽1.3 m),板分缝位置贴 1 m 宽土工布一层,桩顶设 63 cm×50 cm 冠梁。冠缝每 15 m 分缝,分缝位于两桩中点位置,分缝处两侧板加宽,尺寸 223 cm×200 cm×13 cm(宽×高×厚)。

现状河道驳岸建设高程土层主要含土层 1-1(淤泥质壤土)、土层 2(重粉质壤土)和土层 3(轻粉质砂壤土夹粉砂),以土层 3 为主,土层 2 沿线普遍分布,土层 1-1 局部分布。

经统计 12.59 km 桩板式护岸中各种规格预制方桩累计 8 371 根。其中桩长 12.1 m,段长 0.32 km,共计 234 根方桩;桩长 9.4 m,段长 1.24 km,共计 867 根桩方桩;桩长 9.1 m,段长 9.79 km,共计 6 403 根方桩;桩长 8.8 m,段长 1.24 m,共计 867 根方桩;宽度 148 cm 混凝土插板 5 866 块,宽度 223 cm 混凝土插板 1 676 块,总计 7 542 块混凝土插板。经统计 12.59 km 桩板式护岸中,桩长 12.1 m,段长 0.32 km;桩长 9.4 m,段长 1.24 km;桩长 9.1 m,段长 9.79 m;桩长 8.8 m,段长 1.24 km。

施工要求桩身垂直度 $\leq 1\%$ ,桩位偏差 $\leq 20$  mm(垂直河道驳岸轴线方向与沿河道驳岸轴线方向),桩顶高程允许偏差 $\pm 50$  mm。

为确定既定沉桩方法、沉桩设备的施工质量是否满足施工图纸及规范要求,可通过试桩获取施工数据,为后续大范围施工提供指导。

## 2 试桩方案

### 2.1 试桩位置与地质情况

本次试桩选择桩长 12.1 m 的 2 根、桩长 9.1 m 的 4 根、桩长 9.4 m 的 1 根、桩长 8.8 m 的 1 根,试桩时根据现场情况进行了局部调整,具体位置及相应土质见表 1。

### 2.2 试桩工艺

本文对采用高压水冲一次性沉桩至设计标高和采用高压水冲+最后 1 m 振动沉桩两种工艺进行比较。

#### 2.2.1 高压水冲一次性沉桩至设计标高

##### (1) 高压水冲沉桩原理

高压水冲沉桩是利用高压水流喷射产生的力,作用在地基土体上,从而切割松动土基,土体随着水的回流被带到地面形成孔,同时预制桩在自重的作用下在形成的孔中自然下沉的施工方式。可见,这种施工方法中,冲孔和沉桩是在同一时间进行的,一边冲孔一边沉桩,由于高压水流形成的喷射力较大,能松动大部分土体,除较大的粗砂、砾石难以清除被留在孔底外,一般土壤颗粒都能被回水冲出孔内<sup>[2]</sup>。

##### (2) 高压水冲沉桩施工工艺流程

施工放线定位好后,吊装船就位,准备冲孔。

表 1 试桩位置及相应土质情况

| 试桩编号      | 桩长/m | 里程桩号                  | 涉及土质情况描述  |
|-----------|------|-----------------------|---|
| ZX01-12.1 | 12.1 | 河道东岸 K1+148.5(2 号桥北侧) | (1)1 层:人工填土,主要为砂壤土夹壤土,平均层厚 1.4 m;<br>(2)1-1 层:淤泥质壤土,[ $R$ ]=50 kPa 平均厚度 5.3 m;<br>(3)3 层:轻粉质砂壤土夹砂,[ $R$ ]=180 kPa。最大揭示深度 14.5 m |
| ZX02-12.1 | 12.1 | 河道东岸 K1+150(2 号桥北侧)   |   |
| ZX03-9.1  | 9.1  | 河道东岸 K1+750(2 号桥南侧)   |   |
| ZX04-9.1  | 9.1  | 河道东岸 K1+750(2 号桥南侧)   | (1)1 层:人工填土,主要为砂壤土夹壤土,平均层厚 1.4 m;<br>(2)2 层:重粉质壤土,[ $R$ ]=150 kPa 平均厚度 2.6 m;   |
| ZX05-9.1  | 9.1  | 河道西岸 K3+700(3 号桥南侧)   | (3)2-1 层:轻粉质砂壤土夹薄层壤土,[ $R$ ]=110 kPa 平均层厚 1.4 m;  |
| ZX06-9.1  | 9.1  | 河道东岸 K5+092(4 号桥南侧)   | (4)3 层:轻粉质砂壤土夹砂,[ $R$ ]=180 kPa。最大揭示深度 14.5 m   |
| ZX07-8.8  | 8.8  | 河道西岸 K5+400(4 号桥南侧)   |   |
| ZX08-9.4  | 9.4  | 河道东岸 K6+340(5 号桥北侧)   |   |

射水管与水泵之间用尼龙软管连接,以预制桩的边线向外延展5~10 cm为冲孔位置。冲孔人员站在船上,手握射水管,射水管先在桩位上试冲孔深60 cm左右后,进一步确定桩的位置,桩位无误后再向下放松射水管,如孔位有偏差需进行适当调整。当冲孔至桩尖设计高程100 cm左右时,根据现场土质实际情况适当调整射水的压力和速度,当孔中土体被高压水流冲出后,进一步校核桩的位置,如桩孔无误即可下桩,如存在偏位则需要进行一定的调整<sup>[3]</sup>。

一般情况下,射水钢管管嘴应放置在距离桩尖设计高程40 cm左右的地方,施工过程中控制好射水力度和时间,避免设计桩尖处的原状土遭到破坏。

当冲孔成型后,就可以起吊桩进孔。吊桩时,首先把吊钩挂在桩顶的吊环内,使桩吊立成垂直状态进孔,当桩尖离设计高程100 cm时,校准桩中心,松开吊装缆绳,使桩冲击入孔就位,通过桩前的钢丝绳及桩与桩之间的定位木撑调整桩头位置,静置不少于2 min,待桩不再下沉后,解除吊缆,移至下一桩位继续施工。见图1。

## 2.2.2 高压水冲+最后1 m振动沉桩

高压水冲沉桩施工工艺流程同上文一致,其中最后1 m采用振动沉桩,振动沉桩工艺:①打桩船按

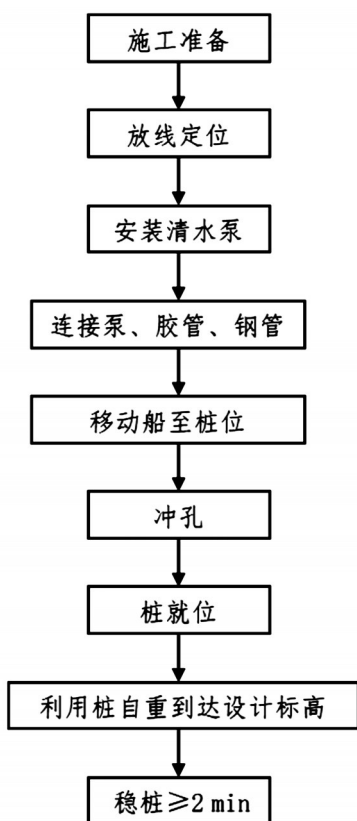


图1 高压水冲沉桩施工流程

预定顺序进入待施工区域,调整船位,下定位桩,以固定船只。振动机械手将振动锤夹紧桩头,调整打桩机垂直度。②启动机械手上的振动锤,利用其振击力和机械手大臂压力将桩打入土中,直至设计标高<sup>[4]</sup>。沉桩流程见图2。

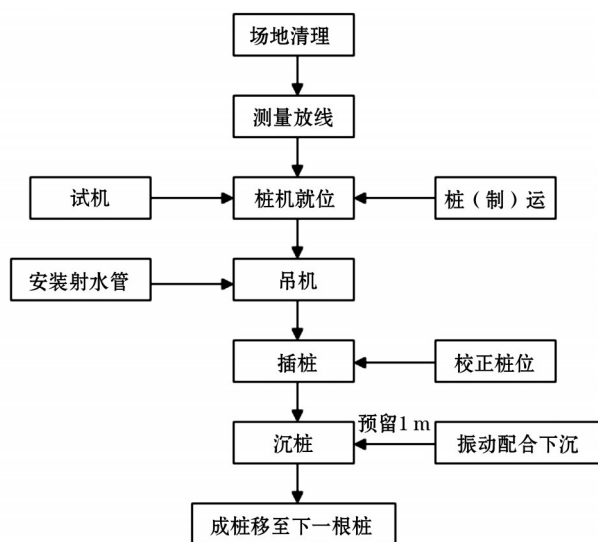


图2 高压水冲+最后1 m振动沉桩流程

## 2.2.3 试桩检测要求

- (1)沉桩前逐桩目测记录检测桩身完成性。
- (2)采用线锤或侧斜仪逐桩检测垂直度,要求偏差不得超过1%。
- (3)采用全站仪逐桩检测桩位偏差,要求垂直河道驳岸轴线方向偏差不得超过20 mm,沿河道驳岸轴线方向偏差不得超过20 mm。
- (4)采用水准仪逐桩检测桩顶高程,要求偏差±50 mm。
- (5)其他检测要求等满足《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106—2014)等要求。

## 2.3 现场施工记录与沉降观测记录

### 2.3.1 试桩过程中原始记录

对选择的8根桩进行原始记录,见表2。

由表2可知,编号ZX05、ZX06采用高压水冲+最后1 m振动下沉的沉桩工艺,桩始终达不到设计标高。

### 2.3.2 沉降观测记录

经过连续对6根高压水冲沉桩试桩的沉降量进行观测(未振动沉至设计高程的未进行观测),累计沉降量见表3。

### 2.3.3 水平承载力检测

本工程预制桩桩径为300 mm×400 mm,按照

表2 试桩原始记录

| 试桩编号      | 桩长/m | 射水成孔/<br>min | 吊装进孔/<br>min | 稳桩/<br>min | 液压振动沉桩/<br>min | 桩顶高程/m              |
|-----------|------|--------------|--------------|------------|----------------|---------------------|
| ZX01-12.1 | 12.1 | 6            | 4            | 2          |                | 3.594               |
| ZX02-12.1 | 12.1 | 7            | 3            | 2          |                | 3.590               |
| ZX03-9.1  | 9.1  | 6            | 3            | 1          |                | 3.617               |
| ZX04-9.1  | 9.1  | 5            | 5            | 2          |                | 3.611               |
| ZX05-9.1  | 9.1  | 6            | 3            |            | 5              | 仅振动下沉 26 cm,未沉至设计标高 |
| ZX06-9.1  | 9.1  | 5            | 2            |            | 5              | 仅振动下沉 14 cm,未沉至设计标高 |
| ZX07-8.8  | 8.8  | 5            | 2            | 1          |                | 3.595               |
| ZX08-9.4  | 9.4  | 7            | 3            | 2          |                | 3.628               |

表3 试桩沉降观测成果

| 试桩编号      | 初始高程/m | 累计沉降量/mm |
|-----------|--------|----------|
| XZ01-12.1 | 3.594  | 4        |
| XZ02-12.1 | 3.590  | 6        |
| XZ03-9.1  | 3.617  | 2        |
| XZ04-9.1  | 3.611  | 1        |
| XZ07-8.8  | 3.595  | -1       |
| XZ08-9.4  | 3.628  | 2        |

《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106—2014),采用多循环加载法,通过对试桩水平承载力进行检测,得到一般砂性土中桩顶水平荷载 10 kN 时水平位移为 1.02~1.39 mm,桩顶水平位移 10 mm 时水平承载力为 26~30 kN;淤泥质土中桩顶水平荷载 12 kN 时水平位移为 1.6 m,桩顶水平位移 10 mm 时水平承载力为 32 kN,检测结果满足设计要求。

2.4 试桩结果

试桩结果表明,按设计要求采用高压水冲+最后 1 m 振动下沉的沉桩工艺,该工艺沉桩非常困难,桩头破损严重且桩身倾斜,始终达不到设计标高,工艺试验不成功;而采用高压水冲一次性沉至设计标高的沉桩工艺,沉桩比较顺利,桩顶高程及线形控制较好,经过约 25 d,对试桩进行检测,检测结果满足设计要求,工艺试验成功。

3 预制桩施工

本工程预制方桩沉桩采取高压水冲一次沉至设计高程的施工工艺可行,选择单套沉桩设备包括

浮吊船 1 艘、射水嘴 6 个、射水管 2 根、连接软管 30 m、15 kW 高压水泵 1 台。

射水喷嘴包括圆形、扁形、梅花形等形式,它通过缩小过水面积的方式,将射水管输送的高压水流再次增速增压,加大作用在土体上的作用力,起到强力冲刷的作用。射水嘴尖端直径为 20~25 mm,最大的 38 mm,侧孔(φ10 mm)与管壁成 30°~45°角。圆形射水嘴的大小约为射水管面积的 1/4,射水管内径 38~63 mm,每节长 4.5~6.0 m,用法兰连接。进行桩外射水时,为了使彼此对称,可在桩两侧或四侧各安装 1 个射水管<sup>[5]</sup>。

射水管与上部高压耐压(2.0 MPa 以上)水泵的连接可采用橡皮软管,用滑车组将射水管吊起,可实现自由升降,能在任何高度上冲刷土体。高压水泵采用电动离心式,水压 0.5~2.0 MPa,出水量 0.2~2.0 m<sup>3</sup>/min;水冲法所需用射水管的直径、水压及消耗水量等数值,一般根据桩的尺寸、土的性质及入土深度等参数确定。

(1)射水配合下沉预制桩时,射水管布置在桩的外侧,射水所需的水压、水量和射水管的数目与直径见表 4。

(2)水泵的要求工作压力,是综合考虑了射水喷嘴处的要求水压、水在中上升所需的水压以及管路中的水力损失,根据射水沉桩所需的水压和每根桩的消耗水量选择高压水泵。

(3)管路包括输水管和射水管。输水管及其配件尺寸一般与水泵出口管径相同,固定的管段用无缝钢管,活动的管段用胶管。与射水管连接的一段胶管,可使用内径比固定管路小,但不应比射水管小的胶管,使用起来更为方便。



表4 射水所需的水压、水量和射水管的数目与直径

| 桩穿过的土层                      | 沉入土中深度/m | 射水嘴处的水压/MPa | 射水管数目/根 | 直径/mm | 每桩用水量/L     |
|-----------------------------|----------|-------------|---------|-------|-------------|
| 淤泥、软黏土、松砂、饱和砂(含水)           | < 8      | 0.4~0.6     | 2       | 37    | 900~1 000   |
|                             |          |             | 2       | 50    | 1 000~1 200 |
|                             |          |             | 2       | 50    | 900~1 400   |
|                             | 8~16     | 0.6~1.0     | 3       | 37    | 1 000~1 500 |
|                             |          |             | 4       | 50    | 1 600~2 800 |
|                             |          |             | 3       | 50    | 1 600~2 000 |
|                             | 16~24    | 0.8~1.5     | 3       | 63    | 1 600~2 500 |
|                             |          |             | 4       | 50    | 2 100~3 300 |
|                             |          |             | 4       | 50    | 2 100~3 300 |
| 坚实的砂层、混杂卵石及砾石的砂、砂黏土、中等密实的黏土 | < 8      | 0.8~1.5     | 2       | 50    | 1 000~1 700 |
|                             |          |             | 3       | 37    | 1 200~1 900 |
|                             |          |             | 2       | 63    | 1 800~2 500 |
|                             | 8~20     | 1.2~2.0     | 3       | 50    | 2 100~3 000 |
|                             |          |             | 4       | 50    | 2 800~4 000 |

射水管内径一般小于输水管,但材质更为坚固,更有利于起吊和拼装,一般射水管内径不大于76 mm,宜采用无缝钢管,避免工作过程中在桩内断裂,难以处理。

射水管一般采用法兰盘焊接连接,法兰盘接头的结构应能承受水压,盘平面垂直与管轴线,盘平面不得有辐射方向的沟槽,其螺栓孔的位置与直径应标准化。

(4)射水嘴的大小一般依据水压及水量选定,对土摩擦力较大的深桩,采用侧壁有6个或8个斜孔的射水嘴;一般沉桩采用侧壁有3~4个平孔或斜孔的射水嘴;当冲刷桩尖处有坚硬的土层时,一般采用侧壁无孔的射水嘴;此外还有在桩外侧对称布置的扁形嘴,其长边与桩长方向平行,在桩偏倚时可帮助矫正桩身。本工程采用侧壁有3~4个平孔或斜孔的射水嘴即可,如遇特殊情况作相应调整。

(5)设备布置和安装。输水管路应尽量减少弯曲,力求顺直。当下沉预制桩时,采用两根射水管对称安装在桩的两侧,使其能沿桩身上下移动,可以在任何高度冲土。

4 结 语

本文以江都通南高沙土区红旗河(波庄河一通江闸段)整治工程为例,研究高压水冲法沉桩的应

用。该河道驳岸采用装配式桩板结构型式,选取8根钢筋混凝土预制桩。本研究对试桩的施工方法、施工观测与试验检测数据及选定的施工参数进行分析,得到结论如下:

(1)采用高压水冲+最后1 m振动下沉的沉桩工艺的两根桩达不到设计标高。

(2)采用高压水冲一次性沉桩工艺的6根桩可顺利达到设计标高,且累计沉降量和水平承载力均满足要求。

(3)根据桩的断面、土的种类及入土深度等选择合适的沉桩设备,以保证预制桩施工质量满足相关要求。

参考文献:

[1] 姜国华,单媛媛. 通南高沙土区低压管道灌区控制面积优化研究[J]. 江苏水利,2021(3):51-54.

[2] 王业山,高富申. 射水沉桩施工在软土地基处理中的应用[J]. 山东交通科技,2003(4):48,83.

[3] 戴广军. 射水沉桩施工法浅谈[J]. 城市建设理论研究(电子版),2014(17):998-999.

[4] 罗朝晖,陈菁,陈丹,等. 通南高沙土区河道岸坡生态治理模式研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2012,34(5):28-33.

[5] 唐良禾,李益兵. 农桥水冲沉桩的应用[J]. 科协论坛(下半月),2011(4):43-43.