



# 穿透抛石层超长钢管桩施工技术

魏启名

(中核港航工程有限公司, 广东 广州 511466)

**摘要:** 近年来, 港口工程中超长大直径钢管桩的使用越来越普遍, 但该类桩基施工需配备大型打桩船, 所需施工作业水域也较大。结合码头补桩工程实例, 针对后方水域空间狭小、沉桩需穿透抛石层、钢管桩为超长桩等重难点, 提出了冲孔引孔穿透抛石层及分节吊打钢管桩的方法, 叙述了沉桩施工工艺的流程和主要施工技术、所采用的施工设备等。采用该方法, 工程施工效果良好、满足设计和规范要求。

**关键词:** 水域空间狭小; 抛石层; 超长桩; 引孔; 分节吊打

中图分类号: TU 474; U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)03-0183-05

## Construction technology for super-long steel pipe pile penetrating riprap layer

WEI Qiming

(China Nuclear Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 511466, China)

**Abstract:** In recent years, super-long and large-diameter steel pipe piles have enjoyed increasingly wide application in port projects. However, the construction of this kind of pile foundations requires a large-scale piling barge and a large water area for construction operations. Drawing on an example of an additional piling project of a wharf, this paper addresses the difficulties involving the narrow space in the rear water area, the penetration of the riprap layer by the cast-in-place pile as needed, and the super-long steel pipe pile. For this purpose, the paper puts forward the methods of impacting a guide hole to penetrate the riprap layer and lifting and driving a steel pipe pile in a piecewise manner and describes the technological process of pile driving construction, the main construction technology, and the construction equipment. Owing to the employment of the proposed methods, the project achieves a satisfactory construction effect and meets the requirements of the design and specifications.

**Keywords:** narrow water area space; riprap layer; super-long pile; guide hole; piecewise lifting and driving

## 1 工程概况

某核电大件码头工程位于取水东堤靠近堤头的位置, 码头顺着取水东堤布置, 走向平行于取水东堤堤身, 码头平台通过长 131.6 m、宽 15 m 的栈桥与取水东堤相连。

码头设置钢管桩 104 根, 桩径  $\phi 1600$  mm, 桩长 87~96 m, 斜桩斜度 4.5:1, 单桩质量约 87 t。桩底高程-88~ -80 m, 桩顶高程 1.60~5.34 m, 随上部结构高程变化。

沉桩区域地质由上到下依次为淤泥、淤泥质

黏土、粉砂、粉质黏土, 沉桩以高程为主, 贯入度校核, 采用桩架高度 100 m 的“中建桩 7”打桩船完成施工。

## 2 钢管桩偏移情况及设计处理方案

大件码头桩基施工完成后, 后方取水东堤推填施工对淤泥土质产生较大扰动, 产生了滑移。回填顶边线距码头钢管桩仅 30 m, 导致大件码头及引桥共 12 根桩发生位移。

根据检测数据, 偏移桩已无法满足原设计承

收稿日期: 2022-06-10

作者简介: 魏启名 (1989—), 男, 工程师, 从事港航工程施工技术管理工作。

载力要求, 吊机平台 P 排、O 排和引桥 53、54、55 轴需要在邻近位置补打钢管桩。补打桩位置见图 1, 补桩数量共计 12 根, 引桥处 3 根, 使用

$\phi 1200 \text{ mm}$  钢管桩, 桩长 86 m, 桩底高程-80 m; 码头处 9 根, 使用  $\phi 1400 \text{ mm}$  钢管桩, 桩长 94 m, 桩底高程-88 m。

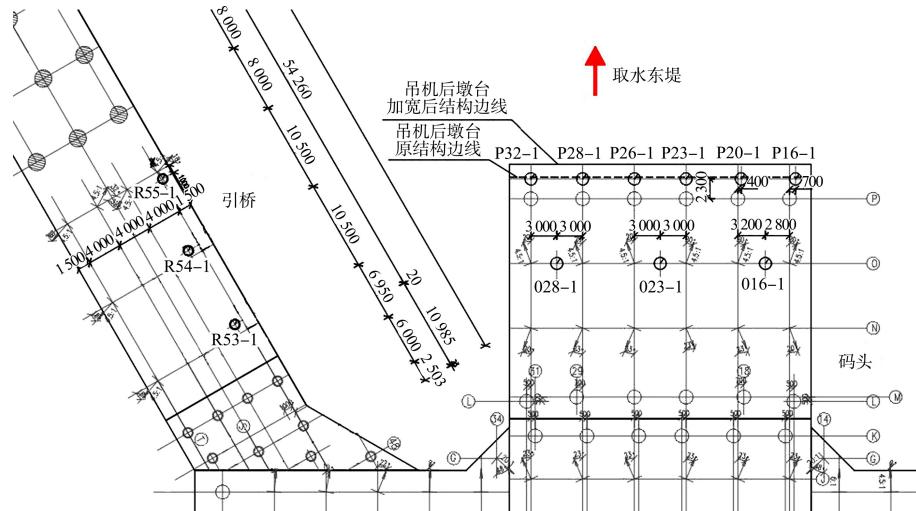


图 1 补桩位置 (单位: mm)

### 3 处理方案

#### 3.1 重难点分析

1) 由于码头桩基已全部施工完成, 补桩区域均位于后排, 后排桩至取水东堤距离仅 30 m, 且水深有限, 原打桩船“中建桩 7”无法进入该区域施工。

2) 由于桩长较长, 中小型沉桩设备无法满足单根通长的沉桩要求, 需要分节制作和接桩。

3) 由于存在护底块石及爆破挤淤的抛石层, 根据取水东堤爆破挤淤钻孔检测结果, 结合补桩区域初步探摸情况, 码头后吊机墩台补桩位置表层及泥面以下抛石层最厚处可达 10 m 左右, 钢管桩需穿透抛石层, 施工难度大。

#### 3.2 方案设计

1) 针对施工区域狭小问题, 比选了陆上履带吊和小型起重船吊打<sup>[1]</sup>沉桩的方案。履带吊在取水东堤站位, 吊机中心至补桩位置距离超过 45 m, 起吊力需要达到 540 kN。满足上述要求需要起吊力 6 500 kN 以上履带吊, 一是进场安装需要耗费一定时间; 二是履带吊整体规格较大, 占位后基本占用了取水东堤堤顶空间, 补桩时取水东堤堤头位置正在进行护面施工, 若使用 6 500 kN 履带

吊必然将影响堤头施工。最终选择满足施工水域要求的小型起重船吊打沉桩, 一是距离补桩位置更近; 二是能够省去履带吊进场组装的施工准备时间, 提高工效, 节省施工成本。

2) 根据设计要求结合沉桩设备情况, 计划第 1 节桩长度为设计桩长减 40 m, 第 2 节桩长 40 m。接桩采用焊接, 因为接桩时起重船一直悬吊着上节钢管桩, 存在安全隐患, 需尽快完成焊接工作, 且对接桩质量要求较高。综合考虑, 决定采用  $\text{CO}_2$  气体保护焊<sup>[2]</sup>完成接桩施工。

3) 针对穿透抛石层问题, 比选了清挖法、桩尖加强法及冲击钻引孔法 3 种处理方案。①清挖法采用挖掘机直接清理桩位处抛石, 但由于码头桩基已成型, 开挖范围很难把握, 为确保其他桩基的稳定, 只在远离桩基的区域使用此方案进行表层块石的清除以满足起重船吃水要求; ②桩尖加强法拟在桩尖增加十字型内撑, 并设加强肋, 但经过前期实践, 单纯采用加强方案无法有效穿透抛石层; ③冲击钻引孔法能够较为有效地处理硬度较高的抛石层或岩层下沉桩困难的问题, 也是桩基工程中普遍运用的处理工艺。

考虑地层、桩长等情况, 最终采取冲击引

孔<sup>[3]</sup>沉桩配合桩尖加强的施工方案, 确保桩基能够有效穿透抛石层。桩尖加强见图2。

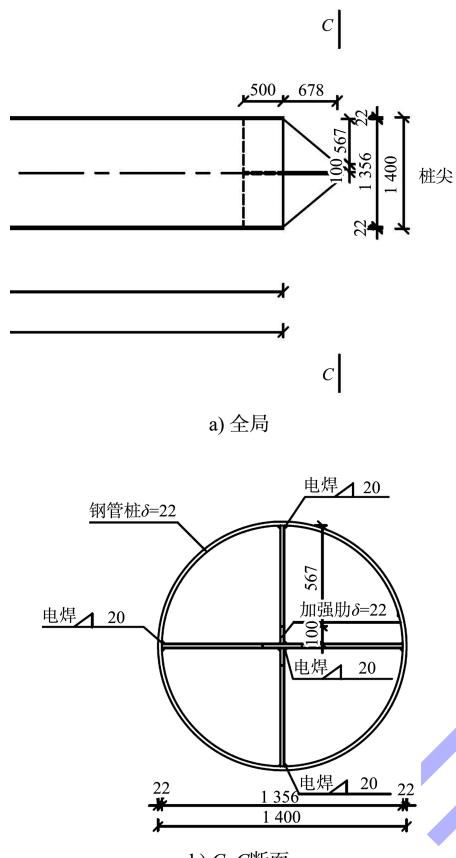


图2 钢管桩桩尖加强 (单位: mm)

#### 4 施工船机设备

##### 4.1 打桩船舶

根据现场水域和水深, 采用3 000 kN 起重船“苏连海机”, 船长60 m、船宽22.8 m、吃水2.2 m, 码头后方区域泥面高程在-6.0 m 以下的区域宽度平均为27 m, 满足船舶沉桩施工的要求。

##### 4.2 打桩锤

结合已完成的码头桩基施工情况, 根据工程地质资料, 穿过抛石层后上部软土层较厚。考虑到第1节桩入软土层后贯入度会较大, 直接采用筒式柴油打桩锤吊打风险系数很大, 故拟定沉桩方案为: 先用振动锤进行第1节钢管桩沉桩, 振动锤沉桩至高程适合接桩时停锤, 接桩后再采用柴油锤吊打完成整个沉桩施工<sup>[4]</sup>。

分析地质条件可知, 将单桩沉至设计高程需选择大能量(500 kJ左右)的柴油锤, 结合码头桩

基施工情况分析, 打桩设备选取DZP120振动锤打设引孔钢护筒及第1节钢管桩, D-160柴油锤完成整个钢管桩沉桩。D-160柴油锤锤击能量为517 kJ, 可以满足沉桩要求。

## 5 主要施工技术

### 5.1 总体施工工艺流程

水下地形测量及探摸→局部清理块石→施工平台搭设→钻机就位→冲击成孔→分节吊打钢管桩→夹桩→拆除施工平台。

### 5.2 施工平台搭设

采用56#和28#工字钢搭设, 搭设高程4.5 m。利用已打设完成的钢管桩, 施工人员通过爬梯和起重船将工字钢(I28a)借助手拉葫芦悬挂在钢管桩上作为主梁的垫座, 将主梁铺于工字钢(I28a)上, 施工人员站在I28a工字钢上, 先用4根吊筋( $\phi 32$  mm)连接I28a工字钢与钢管桩, 再在上方搭设补桩用施工平台。施工平台搭设过程中, 在作业平台外侧设置硬质护栏。

### 5.3 抛石层引孔处理

#### 5.3.1 施工准备

钢管桩沉桩前对桩位进行钻孔检测, 探摸表层覆盖的块石厚度。对抛石层厚度超过5 m的桩位采用引孔处理, 冲击钻整体采用起重船吊, 将冲击钻底座以焊接的方式固定在平台次梁上, 四周拼好方木和木模板并用围栏进行防护, 形成工作平台。

#### 5.3.2 抛石区漏浆处理方案比选

由于抛石区块石间空隙较大, 钻孔时无法保持孔内泥浆高程稳定, 需要优先考虑封堵抛石层中的空隙。常用的方法有: 1) 随时跟进钢护筒; 2) 在钻孔之前灌注水下混凝土, 使混凝土流入抛石层将空隙封堵; 3) 在冲孔的同时回填软-可塑状淤泥或黏性土。本工程在外海作业, 不适合直接灌注水下混凝土, 而回填黏性土适用于抛石层厚度不大的区域。

综合比选, 钢护筒跟进具有较好的适用性, 但施工过程中必须保证护筒的跟进质量。

### 5.3.3 钢护筒施工

引孔实施时,护筒采用壁厚 16 mm 的钢护筒,护筒直径比桩径大 300 mm。采用振动锤将钢护筒施打入覆盖层,冲击过程中需保持钢护筒分节持续跟进,以防石块堵塞孔道。在每节钢护筒跟进完成后,往孔内投入充足的片石和黏土的混合物,然后进行冲孔,利用钻头的冲击力将黏土挤压到抛石中填充抛石的空隙,以提高块石间的黏结力。

### 5.3.4 引孔施工

开始冲孔时,采用小冲程冲击,冲程为 0.4~0.6 m。待锤头至抛石面层加快速度、加大冲程,将锤提高至 2.0 m 以上转为正常连续冲击。考虑引孔过程中下卧软土层在冲击作用下会下沉,可能导致上层的孔位出现塌孔现象,为此孔底需留 2 m 厚抛石层不冲击成孔,直接打设钢管桩穿透抛石层。在造孔时,采用捞渣桶及时将孔内残渣排出,避免因孔内残渣过多出现埋钻现象。

### 5.4 钢管桩起吊、定位

沉桩采用导向架辅助,导向架是确保沉桩正位和垂直度满足设计要求的关键<sup>[5]</sup>。导向架为钢桁架结构,用起重船吊装移位,采用顶丝、焊接支撑槽钢等措施固定在施工平台上,在导向架前端设导向装置,导向装置内设置有供钢管桩定位、施沉过程中纠偏和调整的液压千斤顶及锁定装置。

运桩驳船就位完毕,起重船移船取第 1 节桩,吊桩放入导向架里,慢慢下落,桩入覆盖层 1 m 后千斤顶固定带紧。

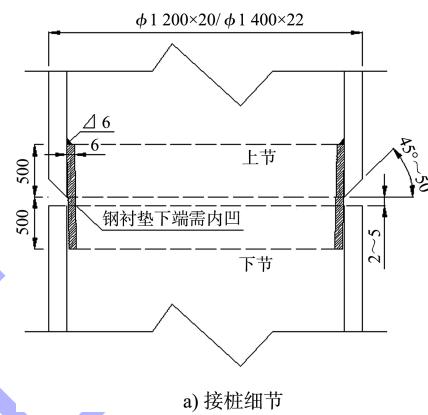
### 5.5 振动锤沉桩

由振动锤夹桩后,测量人员校核桩位及垂直度,满足要求后,放松千斤顶,桩利用自重落入覆盖层,停止下沉后开动振动锤沉桩。打桩开始阶段采用较小的激振力,校核桩身、导向架、振动锤等中心轴线处于同一位置后,进入正常沉桩阶段,以避免偏心振动。振动沉桩过程中,起先宜采用稍小的激振力,桩穿透淤泥层后,增大激振力<sup>[6]</sup>。

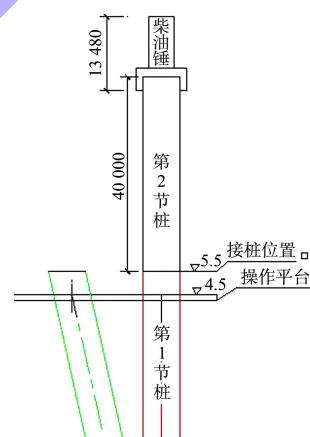
### 5.6 焊接接桩

为便于后续焊接施工,第 1 节钢管桩沉桩顶高程控制在 5.0~5.5 m,沉桩底高程在 -49.0~-48.5 m。当第 1 节钢管桩桩顶沉至指定高程时,停止锤击,进行接桩施工。

为保证焊接质量,在钢管桩制作厂对第 2 节钢管桩打坡口,坡口角度 40°~45°,采用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊接,见图 3。



a) 接桩细节



a) 接桩施工断面

图 3 钢管桩接桩 (尺寸: mm; 高程: m)

### 5.7 柴油锤沉桩

1) 第 2 节钢管桩焊接后,即可吊锤笼进行套桩。由于锤笼及柴油锤质量达 54 t,在套桩过程中操作需缓慢进行,避免碰撞桩顶而使钢管桩发生倾斜或者偏位。

2) 打桩初时,起锤轻压或轻击数锤,落距较小,观察桩身、桩架、桩锤等中心轴线一致后,方可转入正常施打,以避免偏心锤击。

3) 采用重锤轻击,以确保桩的承载力在设计

要求的停锤贯入度下达到设计承载力，无额外原因锤击要保持连续，以免土壤恢复而增加其对沉桩的阻力。

4) 沉桩根据贯入度和桩尖高程进行双控<sup>[7]</sup>, 停锤标准为贯入度小于 3 mm/击, 桩尖高程达设计高程。

5) 如发现施工区域有可能遇到溜桩土层时,在正常开始施打之前先用空锤自由落体状态击打几锤,待到沉桩稳定或无异常变动情况下,方可用低档开锤,锤击一段时间后方可按正常档位锤击,或达到该土层时开一档锤击,减小锤击能量。

6) 为防止钢管桩在风浪、水流或其他外界因素影响下发生倾斜、偏位或其他损伤，在完成沉桩后及时进行夹桩施工。

## 6 实施效果检验

本工程总工期 48 d, 除去施工平台搭设 18 d, 平均每根桩的沉桩时间约为 2 d, 整个沉桩过程中无异常现象, 经过引孔处理后能够顺利地穿透抛石层。施工期间, 对周围桩基及取水东堤堤身按要求进行监测, 未发现异常情况。焊接接桩后, 对焊缝进行超声波检测, 焊缝等级均为 I 级, 满足要求。

沉桩结束后，对桩基进行了高应变检测及桩顶位移测量，结果如下：1) 对 12 根补桩的钢管桩全部进行高应变检测，承载力检测值为 11.670 ~ 18.252 MN，均为 I 类桩。2) 经测量复核桩顶偏移量最大为 100 mm，满足设计及规范要求。上部

结构施工后，经验收和使用，达到设计要求。

## 7 结论

- 1) 采用冲击引孔技术成功解决了抛石区桩基施工的难题，施工过程中未发生质量问题。
  - 2) 小型起重船分节吊打工艺有效保证了复杂工况条件约束下的沉桩质量，大大提高了施工效率。
  - 3) 本工程码头补桩施工顺利实施，总结出了一套在受限水域空间内需穿透抛石层沉设超长钢管桩的施工效率高、质量可靠的施工技术，以期为类似施工提供参考借鉴。

## 参考文献

- [1] 蔡基农, 刘炜, 陆妙龙, 等. 大直径钢管桩吊打工艺沉桩技术运用[J]. 港口科技, 2007(11): 13-17.
  - [2] 李奉林, 裴守意. 境外钢管桩现场拼接技术总结[J]. 绿色环保建材, 2017(1): 93-94.
  - [3] 蒋巍. 桩基引孔技术的原理及其工程应用[J]. 河南建材, 2010(6): 25-26.
  - [4] 刘志奇, 曹斌, 张磊. 钢管桩吊打沉桩工艺简析[J]. 珠江水运, 2016(10): 50-51.
  - [5] 胡金雄. 滩涂区桩基搁浅吊打施工技术[J]. 水运工程, 2010(1): 113-116.
  - [6] 柯亨松. 浅谈吊打沉桩工艺在松散浅覆盖层条件下的应用及施工质量控制要点[J]. 中国水运(下半月), 2020, 20(7): 157-158.
  - [7] 中交第一航务工程局有限公司. 港口工程施工手册[M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社, 2015.

(本文编辑 武亚庆)

## 著作权授权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

《水运工程》编辑部