



# 潜孔锤引孔在水上厚抛石层 PHC 沉桩中的应用

林云, 莫金城, 张时宾, 许建武

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

**摘要:** 针对斜坡式抛石结构引堤上 PHC 管桩在沉桩过程中难以穿透厚抛石层的问题, 以某综合管架工程为例, 进行施工工艺实践研究。在对常规引孔工艺进行对比的基础上, 提出潜孔锤先引孔再施打预应力混凝土管桩的解决方案, 并简要介绍了潜孔锤引孔设备及技术参数、施工工艺流程、引孔过程中存在的问题及相应解决措施。应用结果表明, 采用潜孔锤引孔后的预应力混凝土管桩能高效贯穿抛石结构层, 沉桩后桩身结构完整性好, 单桩竖向承载力满足设计要求, 该工艺切实可行。研究成果可为类似地基沉桩施工提供参考。

**关键词:** 水上抛石层; PHC 管桩; 潜孔锤; 引孔

中图分类号: U656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0333-05

## Application of DTH hammer hole-leading in PHC pile sinking in thick ribbon layer on water

LIN Yun, MO Jincheng, ZHANG Shibin, XU Jianwu  
(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the PHC pipe pile on the inclined riprap embankment is difficult to penetrate the thick riprap layer during the pile sinking process, this paper takes a comprehensive pipe frame project as an example to conduct a practical research on the construction technology practice. On the basis of comparing the conventional hole-leading technology, the solution of the DTH hammer first leading hole and then applying the prestressed concrete pipe pile is proposed. Furthermore, the equipment and technical parameters, construction process, problems existing in the hole-leading process and corresponding solutions are briefly introduced. The application results show that the prestressed concrete pipe pile after the DTH hammer leading hole can efficiently penetrate the riprap structure layer, the structural integrity of the pile body after the pile sinking is good, and the vertical bearing capacity of the single pile meets the design requirements. The research results can provide reference for similar foundation pile sinking construction.

**Keywords:** riprap layer over water; PHC pipe pile; DTH hammer; hole-leading

在常规水工结构桩基设计中, 当存在地质条件复杂、岩面起伏较大或地下障碍物较多、打入桩难以下沉时, 通常采用适应性较强的灌注桩<sup>[1]</sup>, 但采用灌注桩存在成桩费用高、效率慢, 无法满足建设工期要求等问题。针对复杂地质条件, 目前许多项目采用先引孔后施打预制桩的工程案例<sup>[2]</sup>, 但该施工技术在水运行业应用甚少。本文通过对某综合管

架工程的案例研究, 探讨了潜孔锤引孔后在水上厚抛石结构层中施打预应力混凝土管桩的技术应用, 以期解决沉桩难题, 实现增效降本的效果。

### 1 工程概况

项目拟在已建抛石斜坡式结构引堤上布置综合管架, 采用桩承台基础结构, 原方案基桩为

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 林云 (1973—), 男, 高级工程师, 从事港口工程总承包管理工作。

φ1 200 mm 冲孔灌注桩，现场试桩结果表明，冲击桩机冲孔进尺缓慢，2 根试验桩单桩成桩工期均超过 25 d，试桩过程中频繁出现漏浆及卡钻，极

大影响成桩效率，无法满足施工进度要求。经设计变更，拟在承台下设双排双向 4 根 φ500 mm PHC 直桩，桩长 44 m，管架结构断面见图 1。

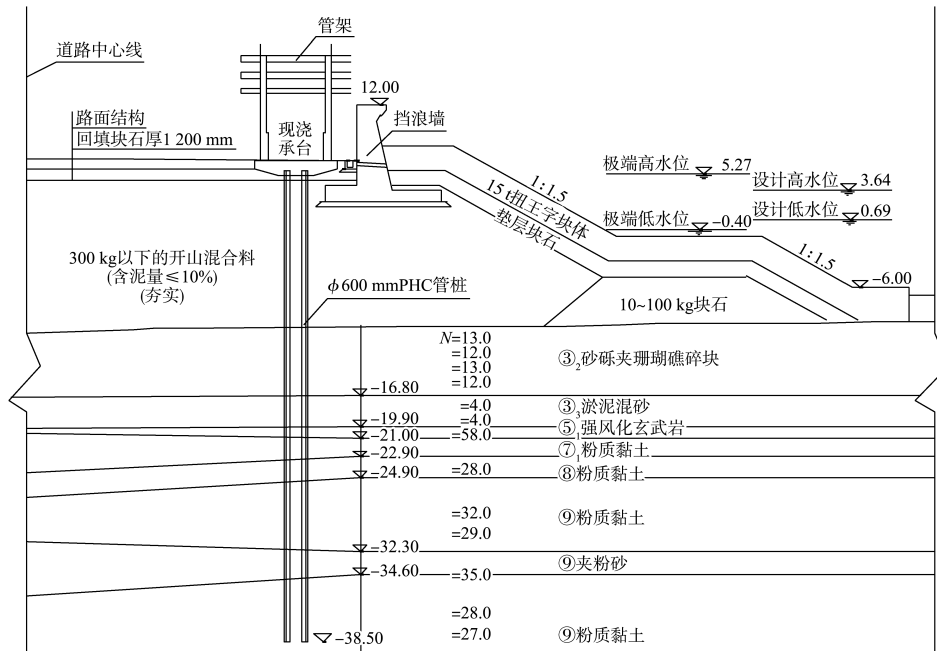


图 1 引堤管架基础断面 (高程: m)

项目施工难点在于管桩需穿透 17 m 经夯实的 300 kg 以下开山混合料抛石层，后沉桩至桩端设计高程(-38.5 m)，以满足有效桩长及承载力要求；同时，管桩距已建挡浪墙最近仅 1.5 m，施工中应避免对挡浪墙结构稳定产生影响。

抛石层时，处理方法通常为先引孔后沉桩<sup>[3]</sup>。目前应用较为广泛的引孔方式包括旋挖钻机全套管钻进护壁引孔、冲击桩机冲击引孔、潜孔锤钻机引孔以及锤击桩机锤冲引孔，前两者适用于直径较大的灌注桩，后两者对预制桩较为适用<sup>[4]</sup>，潜孔锤钻机引孔和锤击桩机锤冲引孔的工艺对比见表 1。

## 2 引孔工艺

当桩端需进入坚硬岩层、砾石层或穿透较厚

表 1 潜孔锤钻机引孔与锤击桩机锤冲引孔工艺对比

施工工艺	设备组成	适用岩层	工艺流程
潜孔锤引孔	潜孔锤钻机 1 台、锤击桩机 1 台、潜孔锤及空压机 1 套	砂砾层、卵石层、块石层、软岩、中硬岩及硬岩	无需下套管,引孔后潜孔锤钻机移位,锤击桩机就位后将预制桩打入
锤冲引孔	锤击桩机 1 台、锤冲器 1 套	砂砾层、卵石层、块石层,对块石粒径有要求	无需下套管,引孔后拆除锤冲器,由锤击桩机直接将预制桩打入

工作原理: 1) 潜孔锤引孔利用长螺旋桩机做桩架并由桩机动力头提供旋转动力, 钻杆下悬挂风动式潜孔锤, 在潜孔锤冲击破碎岩石的同时桩机动力头带动钻杆及潜孔锤下压研磨刻碎岩石, 岩渣可通过空压机鼓入潜孔锤的压缩空气吹出或

由钻杆上的螺旋叶片带出孔外。2) 锤冲引孔由锤击桩机提锤击打锤冲器向下钻进。在锤冲器的冲击和挤压下, 将锤头位置上的块石破碎, 并将碎石挤向桩孔外围, 挤孔穿透碎石层。待引孔器穿过碎石层后使用震动拔管机起拔锤冲器。

引堤采用开山混合料抛填形成,抛填料规格变化较大,根据锤冲引孔工作原理可知,当锤冲器下方存在较大孤石时,可能发生无法钻进或钻孔偏移等问题,且锤冲引孔为非取土方式,其引孔的挤压效应可能会对临近挡浪墙结构稳定造成影响。潜孔锤引孔方式使用广泛、技术较为成熟,在钻进效率、成孔质量上更有优势,最终采用潜孔锤钻机进行引孔。为加强管桩穿透能力,避免沉桩过程中桩头开裂及穿透困难等问题,对桩头箍筋进行加密的同时设置钢桩帽,以增强对桩头混凝土的侧向约束,桩尖则设置1.5 m开口型钢桩靴。

### 3 引孔设备及工作参数

引孔设备采用1台JZB90型步履式长螺旋凿岩机配2台1 800 m<sup>3</sup>/h空压机<sup>[5]</sup>。凿岩机钻杆由上、中、下3部分组成,其中杆身上部为8 m长螺旋杆身,中部为10 m长圆柱形杆身,而下部则为550 mm直径的潜孔锤钻头。该机型可360度回转、起拔力大、机架高、无需拆换钻具即可一次性满足深孔作业,且调遣方便、行走转移灵活,见图2。潜孔锤型号为SWTD凿岩潜孔锤,锤头底部表面分布有坚固耐用的球齿,不仅适用于钻凿坚硬和极坚硬岩石,也适用于平直度要求不高的中硬岩石和软岩。

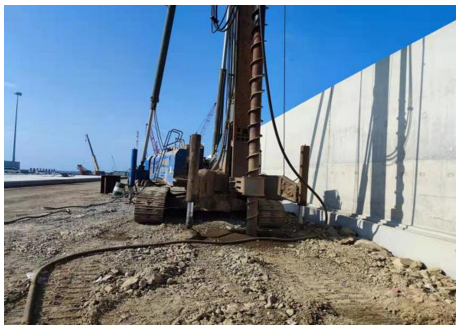


图2 步履式长螺旋凿岩机

潜孔锤的主要参数有转速、风压和风量,不同水文地质条件以及孔深、孔径等对参数的要求不同。采用潜孔锤钻进时,合理地选择转速对钻头寿命和钻进效率至关重要,空压机风量、压力、输风管直径也是影响施工效率的主要因素。

1) 转速需根据地质、进透率、钻头种类及质

量等因素确定。如转速过快,钻齿未能有效压入岩体,仅在岩石表面快速滑动,钻齿磨损快,碎岩效果差;如转速太慢,钻齿后续冲击落点易与前序冲击凹坑重合,产生重复破碎,导致钻速下降<sup>[6]</sup>。转速可按式(1)计算:

$$R = 1.6T \quad (1)$$

式中:  $R$  为转速, r/min;  $T$  为进透率, m/h, 取理想进透率 13.3 m/h。

经计算,在理想进透率下钻头转速为 21.33 r/min。本工程潜孔锤钻进转速为 20 r/min, 对应进透率为 12.5 m/h, 可满足项目进度要求。

2) 为保证孔底岩屑的排出,通常要求其孔内风量上返速度  $\geq 15$  m/s, 此时气流速度大于岩屑悬浮速度。根据钻孔直径、钻杆外径、排渣通道的上返风速等条件,风量可按式(2)计算<sup>[7]</sup>:

$$Q = 47.1 \times 3600 K_1 K_2 v (D^2 - d^2) \quad (2)$$

式中:  $Q$  为送风量, m<sup>3</sup>/min;  $K_1$  为孔深修正系数,  $K_1 = 1.0 \sim 1.1$ ,  $K_1$  取 1;  $K_2$  为孔内涌水系数,  $K_2 = 1.0 \sim 1.5$ ,  $K_2$  取 1.5;  $D$  为引孔直径, 取 0.55 m;  $d$  为钻杆外径, 钻杆带杆衣, 取 0.50 m;  $v$  为上返风速, 取 15 m/s。经计算,送风量为 55.6 m<sup>3</sup>/min。

空压机提供的风压除满足潜孔锤冲击器的工作压力外,尚需克服随着钻孔深度增加带来的沿程压降(0.001 5 MPa/m),以及水位以下的水柱压力和排除孔内岩屑的压差等要求。潜孔锤冲击器的工作风压越大,其冲击能力越强,碎岩效率就越高,但不同工作压力条件下,潜孔锤和空压机的选型以及空压机的耗油量差别较大,且风压的选择对施工成本也有较大影响。本工程配备2台1 800 m<sup>3</sup>/h空压机,输风管管径 180 mm,潜孔锤工作风压为 0.7 MPa,属低压,孔内岩渣主要由螺旋叶片带出,对空压机提供的气流量要求不高。

### 4 施工工艺

施工工艺分为引孔和沉桩2部分。引孔为部分引孔,以穿透抛石结构层为主,引孔深度不小于 17 m;引孔完成后采用锤击法施打预应力混凝土管桩。施工工艺流程见图3。

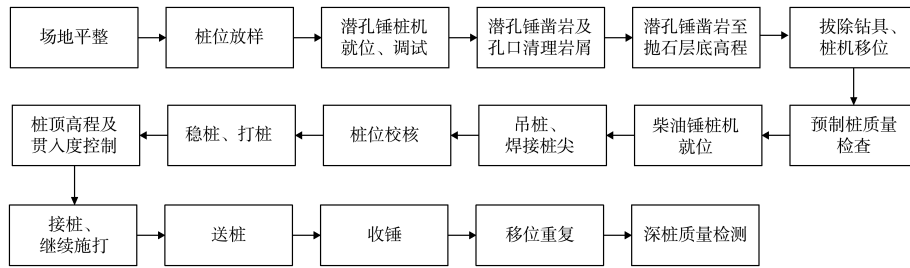


图3 沉桩工艺流程

引孔施工要点：1) 潜孔锤就位后，首先将潜孔锤钻头对准桩位并调好垂直度。2) 下放潜孔锤，启动空压机进行潜孔锤跟管钻进。初钻时应低速钻进，并时常复核钻杆的垂直度，及时调整。3) 凿岩过程中，控制潜孔锤下沉速度，观察是否异常或挤偏，特别是校核钻具垂直度。孔内带出的岩屑呈颗粒状，堆积在孔口，及时清理，按平面布置要求集中堆放或外运。4) 根据机械响声、进尺速度、孔口岩屑等判定岩面高度和入岩深度。当确定终孔时，将潜孔锤钻头上提 5 cm，再启动空压机 3 min，将孔底岩屑清理干净。5) 拔出钻具时，空压机正常工作，边锤击、边旋转、边上拔，使孔内岩屑顺利排出，同时防止钻具上拔时卡钻。6) 引孔完成，移机后进入锤击桩施工程序。

### 5 施工中存在的问题及应对措施

1) 工程所在海域平均高潮位 1.74 m，平均低潮位 -0.23 m，平均潮差 1.97 m。引孔高程为 -11.5~6.5 m，由于引堤为透水建筑物，潮水涨落引起的水位差导致孔身扩大，甚至坍塌。引孔施工安排平潮或低潮位时进行，减少潮差影响，引孔后 3 h 内完成沉桩；孔径偏大或塌孔的采用 5~25 mm 碎石回填，二次引孔或沉桩时利用桩尖和管桩自身透孔；复杂地质条件施工时采用带护套筒的特制潜孔锤<sup>[8]</sup>。

2) 潜孔锤提钻过程中由于孔壁坍塌或孔身垂直度偏差过大，导致埋钻、卡钻。严格控制引孔质量，桩孔定位后，调整桩机使潜孔锤起吊滑轮、锤底中心与桩孔中心在同一垂线上，并稳定好引孔机；钻时应低速钻进，先慢后快，以减少钻杆摇晃，凿岩过程中检查钻孔偏差及钻具垂直度，发现

钻杆摇晃异常或进尺困难时，降低转速，否则容易导致桩孔偏位甚至钻具损坏；终孔及拔出钻具时，潜孔锤应正常工作，应边旋转、边上拔，避免粘锤。

3) 连续引孔及沉桩施工期间挡浪墙沉降缝处出现错牙<sup>[9]</sup>。调整施工顺序，采用跳格法沉桩，即 1 个桩承台基础一次只引 1 个孔或沉 1 根桩，并同步对挡浪墙进行沉降位移观测，设定警戒值，发现异常及时停止施工。

### 6 应用效果

工程桩基共计 188 根，在 1 台引孔钻机、2 台空压机以及 1 台打桩机的基本配置下，引孔与锤击沉桩形成流水施工后，日均可完成 8 根管桩施工。潜孔锤引孔成孔率高，约 88% 的孔位引孔正常，工效为 50~70 min/孔；另外 12% 的孔位因塌孔需回填后二次引孔，工效约在 130~160 min/孔。经引孔后，管桩总体沉桩顺利，在对管桩原 1.5 m 开口型钢桩靴设计进行优化后（变更为构造更短、成本更低的十字形桩尖），沉桩效率未受影响。

项目沉桩施工过程中完成高应变检测 10 根，单桩竖承载力最小值为 1 837 kN，均大于设计值 1 500 kN；采用低应变法完成桩身质量检测 38 根，其中一类桩 37 根，二类桩 1 根。

### 7 结语

1) 在斜坡堤等厚抛石结构层中，采用潜孔锤引孔后施打 PHC 管桩的工艺可行，该工艺具有单桩沉桩效率高、成桩质量好、综合成本低等优点。

2) 引孔设备可采用气动潜孔锤与步履式长螺旋钻孔机的机具组合，该组合转移速度快、调遣方便，可根据不同地质条件更换凿岩锤型号，调



整技术参数提高钻进效率。

3) 临近已建混凝土结构物施工时, 应采用跳打法, 避免集中引孔与沉桩。

参考文献:

[1] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 码头结构设计规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.

[2] 张亚雄, 徐彬, 王燕, 等. 潜孔锤预钻孔后锤击沉桩法在开山石厚填土地中的应用[J]. 施工技术(中英文), 2022, 51(1): 89-94.

[3] 林章凯. 静压 PHC 管桩穿越卵石层引孔施工技术探讨[J]. 福建建筑, 2013(3): 81-83.

[4] 黄邦杰. 全花岗岩碎石回填地层桩基引孔工艺研究[J]. 中国煤炭地质, 2023, 35(3): 31-34.

[5] 马宝顺, 吴晓玮, 孔清华, 等. 劈山填海造地超高填方地基桩基施工技术[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S2): 395-397.

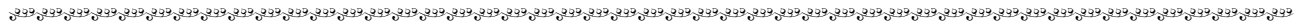
[6] 沈保汉. 桩基础施工新技术专题讲座(二十三): 气动潜孔锤与长螺旋钻孔机组合技术(下)[J]. 工程机械与维修, 2012(8): 168-171.

[7] 赵伟, 吴旭君, 郑平, 等. 大直径风动潜孔锤引孔技术在含漂石砾砂层预制桩施工中的应用与研究[J]. 广州建筑, 2009, 37(5): 70-72.

[8] 唐光暹, 黄梅, 谢鸿卫. 在岩溶性地区采用风动潜孔锤凿岩引孔施工技术[J]. 建筑施工, 2015, 37(8): 913-915.

[9] 余晶星, 黄乐源, 陈巍. 码头交界处厚抛石层范围沉桩技术难点解决[J]. 中国水运(上半月), 2022(6): 109-111.

(本文编辑 王传瑜)



(上接第 332 页)

[3] 张闯. 重力式码头沉箱破损修复方案介绍: 厦门港东渡港区 14#泊位水工修复工程[J]. 福建建材, 2016(8): 62-63, 84.

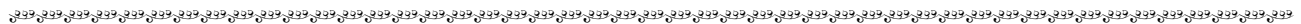
[4] 刘春彦, 俞吉繁, 路伟男. 沉箱重力式码头结构裂缝修复施工技术[J]. 港口技术, 2023, 60(1): 80-82, 104.

[5] 李华强, 蔡苏荣, 陈照乾. 妈湾电厂重力式码头升级改造技术与应用[J]. 水运工程, 2014(2): 121-125.

[6] 天津港湾工程研究所. 港口工程混凝土粘接修补技术规范: JTJ/T 271—1999[S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.

[7] 中交四航工程研究院有限公司. 港口水工建筑物修补加固技术规范: JTS 311—2023[S]. 北京: 人民交通出版社有限公司, 2023.

(本文编辑 赵娟)



· 消 息 ·

中交集团 2 人入选 2024 年大国工匠培育对象名单

近日, 全国总工会印发《关于公布 2024 年大国工匠培育对象并开展大国工匠培育工作的通知》, 公布入选 2024 年大国工匠培育对象名单。其中, 中交集团所属一公局集团徐文礼、振华重工魏钧 2 名劳模工匠入选。根据《大国工匠人才培养工程实施办法(试行)》和 2024 年推选通知要求, 经推荐、形审、网审、会评、审定、公示等程序, 共有 220 人被确定为 2024 年大国工匠培育对象。他们将于近期开始参加全国总工会组织的理论知识、实操技能等系列培训项目。本次大国工匠培育工作以大国工匠需要具备的引领力、实践力、创新力、攻关力、传承力“工匠五力”标准为目标, 创新人才培养模式, 通过培训学习、提供资金和项目支持等方式, 着力培养造就一批堪当中华民族大厦“基石、栋梁”和“顶梁柱”的大国工匠, 作为国家创新人才链中的高技能领军人才, 为加快建设科技强国, 推动实现强国建设、民族复兴伟业提供重要战略人才支撑。

[https://www.ccccltd.cn/news/gsyw/202407/t20240717\\_215296.html](https://www.ccccltd.cn/news/gsyw/202407/t20240717_215296.html)(2024-07-17)