



大直径 PHC 管桩 在印尼密实厚砂层场区沉桩实践

洪宏兴¹, 夏国光², 盛 健², 朱 全²

(1. 中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027; 2. 中交一航局第五工程有限公司, 河北 秦皇岛 066002)

摘要: 印尼万丹丰益工业园港项目工程首次采用 D-160 柴油锤进行 PHC 桩沉桩施工前, 选取 9 根 PHC 桩在砂层分布的典型位置进行试沉桩。结果发现: 桩靴长度对 PHC 管桩穿过砂层有明显影响, 桩靴越长, 穿过砂层所需的锤击数越少, 总锤击数也会明显减少; 当桩靴进入砂层时, 贯入度会急剧减小, 影响贯入度的主要因素是较大的端阻力, 该过程一直持续到桩靴穿过砂层。

关键词: 大直径 PHC 管桩; 密实厚砂层; D-160 柴油锤; 沉桩

中图分类号: TU 473; U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)01-0229-04

Pile sinking practice of large-diameter PHC pipe piles under dense thick sand field in Indonesia

HONG Hong-xing¹, XIA Guo-guang², SHENG Jian², ZHU Quan²

(1.China Harbor Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China;

2.No.5 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qinhuangdao 066002, China)

Abstract: The D-160 diesel hammer is used for PHC pile sinking the first time in the Indonesian Banten Fengyi Industrial Park Port Project, and 9 PHC piles are selected for test pile sinking at typical positions in the sand layer. It was found that the length of the pile shoe has a significant effect on the PHC pipe pile passing through the sand layer. The longer the pile shoe, the less the number of hammer strokes required to penetrate the sand layer, and the total number of hammer strokes will also be significantly reduced. When the pile shoe enters the sand layer, the penetration degree will decrease sharply. The main factor affecting the penetration degree is the larger end resistance. This process continues until the pile shoe penetrates the sand layer.

Keywords: large diameter PHC pipe pile; dense thick sand; D-160 diesel hammer; pile sinking

印尼地区地质条件较为复杂, 砂层密实度很高, 码头桩基普遍采用钢管桩^[1-3]。近年来, 由于大直径 PHC 管桩在降低成本和防腐等方面具有明显优势, 越来越多的项目开始使用 PHC 桩作为其码头结构的基础桩型^[4-5]。但另一方面, PHC 桩的混凝土强度高导致脆性偏大, 在复杂的地质条件下, 特别是在厚砂层、高标贯地质条件下, 对于 PHC 桩的选择较为谨慎。因此, 为验证 PHC 管桩

在印尼地区的适应性, 有必要开展密实砂层场区 PHC 管桩沉桩施工技术研究。常规 PHC 桩一般采用 D-138 及以下的柴油锤进行沉桩, 本文依托印尼万丹丰益工业园港项目工程, 首次采用 D-160 柴油锤, 以“重锤轻击”的方式进行大直径 PHC 桩沉桩, 沉桩过程中无异常情况发生, 相关经验可作为印尼地区大直径 PHC 桩沉桩施工的参考依据。

1 工程概况

印尼地区离岸式高桩码头地处爪哇海南岸，靠近巽他海峡，所使用的 PHC 管桩管径为 1 200 mm，壁厚 150 mm，混凝土强度等级为 C80，管节长度为 50 m，单根最大长度达到 60 m。大直径管桩具有强度高、刚度大、耐锤击能力强、抗渗性能好等特点，而且性价比远优于钢管桩。前期经过地质勘探，发现本工程所处位置上层覆盖 0.5~12 m 的密实砂层，标贯击数大于 50 击，直接沉桩存在较大的桩头爆裂的风险，对沉桩安全及质量有较大影响。前期经过大量的考察后，选取 9 根 PHC 桩在砂层的典型位置采用 D-160 柴油锤，以“重锤轻打”的锤击方式进行沉桩。

2 密实厚砂层分布

勘察成果所揭露的土层性质依次表现出上部极软-很软，中部和下部硬塑-很硬或中密-密实状的趋势。对沉桩影响较大的砂层特性：中密-密

实，局部极密，浅灰色、黄褐色，混多量黏粒，局部呈胶结状，局部含有有机质，土质不均匀，细砂和胶结细砂及很硬状胶结黏土会对沉桩造成不利影响。该层分布不连续，揭示层厚 0.5~12 m 不等，揭示层底高程在 -30.66~-22.59 m 之间。平均标贯击数 N 为 33.9 击，部分标贯击数大于 50 击。

3 大直径 PHC 桩沉桩措施

3.1 桩靴设计

考虑到所处地区砂层的厚度不同以及对施工成本的控制，还有桩靴长度对穿透砂层能力的影响，在试桩阶段设计桩靴的长度分别为 1、2、3、5、8 m。桩靴设计如图 1 所示，在传统桩靴的基础上进行加工，桩靴底部设置 1 道 30 cm 宽的加强筋，并在 PHC 桩与桩靴连接处焊接一圈直径 29 mm 的螺纹钢（图 2），对穿透密实砂层与减缓砂层恢复速度有较好效果。

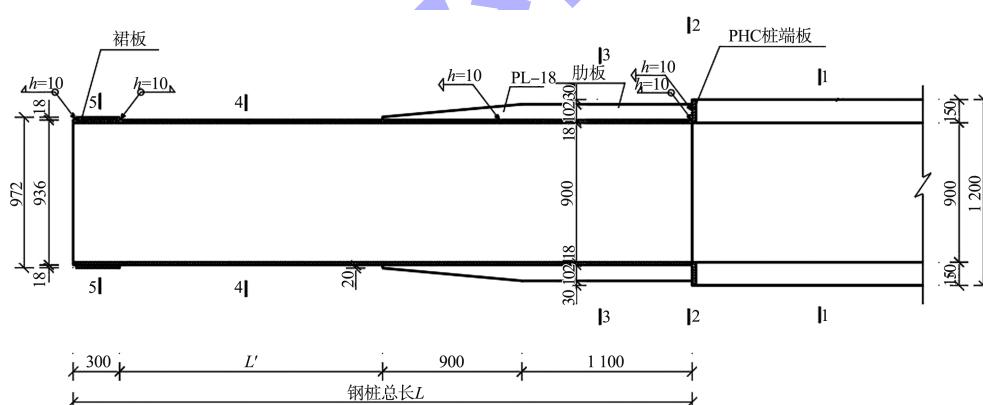


图 1 桩靴设计图（单位：mm）



图 2 螺纹钢焊接

3.2 柴油锤的选型

根据“重锤轻打”的原则，经过选锤计算，首选 D-160 柴油锤二档能量沉桩，D-160 柴油锤主要参数见表 1。若采用其他桩锤沉桩，替代锤的有效能量不得小于 D-160 柴油锤二档能量，因此选用 D-125 柴油锤（最大锤击能量为 417 kN·m）作为备用锤。

表 1 D160 型柴油锤参数

第一档打击能量/(kN·m)	第二档打击能量/(kN·m)	第三档打击能量/(kN·m)	第四档打击能量/(kN·m)	打击频次/(次·min ⁻¹)	作用于桩上的最大爆炸力/kN	起落架导向滑轮钢丝绳最大直径/mm	柴油锤质量/t	柴油锤高/mm	外径/mm
331.8	391.7	484.2	544.0	37~45	4 485	38	32.8	7 115	1 060

3.3 桩垫及打桩船

桩垫采用多层纸垫, 厚 20 cm(图 3)。它较传统麻绳缠绕的形式更为方便快捷, 且对桩头有较强的保护性。用打桩船进行施工, 打桩船桩架高度为 65 m(水位线上), 主钩最大吊重为 100 t, 沉桩最大长度为(53+z)m, z 为水深。



图 3 桩垫

3.4 水冲法沉桩

根据地质勘察报告, 选取 3 个典型砂层厚度的位置进行沉桩, 厚度分别为 11.0、8.5 和 1.8 m。沉桩顺序依砂层厚度决定, 由砂层薄处向厚处施工。若砂层厚度在 1.8 m 处顺利沉桩则进行后续砂层厚度 8.5 m 处沉桩, 若无法顺利沉桩则移船至砂层薄处施工, 砂层厚处考虑水冲法沉桩备选方案。

水冲法的基本原理为在预制 PHC 管桩内设置水气组合管, 用高压水和压缩空气破坏桩尖处土壤, 消除桩尖阻力, 使桩在自重力及其他力(如打桩锤击力)的联合作用下逐步下沉。水冲沉桩分为内冲和外冲两类, 结合工程实际情况, 选择采用内冲内排、边打边冲、打打停停的施工方法进行沉桩以保证沉桩位置的准确性。

4 大直径 PHC 桩沉桩施工

4.1 停锤标准

大直径 PHC 桩沉桩施工流程与传统打桩船沉桩一样。本项目的沉桩停锤标准为: 当沉桩贯入度达到控制贯入度(最终 10 击、平均 8 mm/击)、桩端距设计高程小于 2 m 时停止锤击; 桩端距设计高程

大于 2 m 时, 应继续锤击, 直至贯入度达到 5 mm/击。

4.2 测量控制

采用 WGS-84 坐标系、通用横轴墨卡托(UTM)投影、CD(海图基准面)高程系统, 主要使用船载 GPS 控制桩位。第 1 根桩打设完成后, 在陆上架设全站仪进行复测, 1 台架设在控制点 K1, 距离第 1 根桩 295 m; 1 台架设在控制点 K2, 距离第 1 根桩 1 524 m。

水上打桩完毕后的偏差应符合 JTS 215—2018《码头结构施工规范》及 JTS 257—2008《水运工程质量检验标准》中的规定。根据本工程实际情况, 沉桩区域距岸大于 500 m, 桩顶偏位允许偏差: 直桩≤250 mm, 斜桩≤300 mm; 桩的纵轴线倾斜偏差≤1%。

4.3 动力检测

高应变动力检测数量取总桩数的 5%。对任何出现打桩异常的桩, 若桩尖高程变化大或终锤前贯入度偏大, 则须进行高应变动力检测试验。检测结果按规范要求给出桩基的轴向承载力数值和桩身的完整性情况。

桩基检测完毕后对桩基进行评定:

1) 高应变动力检测合格桩的轴向极限承载力应满足设计要求且桩身完整或基本完整。

2) 动力检测结果具有以下情况者应判断为不合格桩:

- ①轴向极限承载力不满足设计要求;
- ②明显缺陷桩;
- ③严重缺陷桩或断桩。

5 沉桩结果

根据密实砂层厚度将试桩分为 3 组, 每组 3 根桩。同组试桩中, 各桩的差别在于桩靴长度不同。本次 9 根试桩均顺利完成沉桩施工。砂层厚度为 11 m 时试沉桩结果为:

1) 2 m 桩靴穿过砂层的平均贯入度为 5.3~14.1 mm/击, 总锤击数为 2 502 击, 其中穿过高程 -25.77~-14.77 m 处厚砂层总锤击数为 1 065 击;

2) 5 m 桩靴穿过砂层平均贯入度为 7.8~16.7 mm/击, 总锤击数为 1 640 击, 其中穿过高程 -25.77~-14.77 m 处厚砂层总锤击数为 739 击;

3) 8 m 桩靴穿过砂层平均贯入度为 8.1~18.5 mm/击, 总锤击数为 1 459 击, 其中穿过高程 -25.77~-14.77 m 处厚砂层总锤击数为 479 击。

砂层厚度为 11.0 和 8.5 m 时, 沉桩结果见

表 2。

砂层厚度为 1.8 m 时试沉桩结果为: 由于砂层厚度较薄且高程较高, PHC 桩自沉就已经穿过砂层, 1、2、3 m 桩靴沉桩结束后的锤击总数分别为 1 104、925、855 击。

本次试桩进行高应变检测 9 次, 低应变检测 3 次, 单轴竖向承载力均满足设计及规范要求, 且桩身完整。对比各组试桩的总锤击数和穿过砂层总锤击数可知, 随桩靴长度的增加, 沉桩总锤击数和穿过砂层总锤击数均明显减少。

表 2 沉桩结果

砂层厚度/m	砂层高程/m	桩靴长度/m	平均贯入度/(mm·击 ⁻¹)	总锤击数/击	穿过砂层总锤击数/击
11.0	-25.77~-14.77	2	5.3~14.1	2 502	1 065
		5	7.8~16.7	1 640	739
		8	8.1~18.5	1 459	479
8.5	-24.16~-15.66	2	8.6~18.2	1 817	444
		5	9.4~23.5	1 674	399
		8	11.4~38.5	986	156

6 结论

1) 桩靴长度对 PHC 管桩穿过砂层有明显影响, 桩靴越长, 穿过砂层所需的锤击数越少, 总锤击数也会明显减少;

2) 当桩靴进入砂层时, 贯入度会急剧减小, 影响贯入度的主要因素是较大的端阻力, 这个过程一直持续到桩靴穿过砂层;

3) 当桩靴穿过标贯击数较大的砂层后, 端阻减小, 贯入度增大, 但随着沉桩深度的增加, 影响贯入度的主要因素是较大的侧摩阻力。

参考文献:

- [1] 邓振洲, 黄胜. 关于海港码头钢管桩桩顶与上部结构连接方式[J]. 港工技术, 2020, 57(6): 45~47.
- [2] PAOLO R, ESTHER F V M, GIUSEPPE S. Upgrading of quay walls at the Ravenna port, Italy: evaluation of the steel piles degradation after a long working life[J]. Structure and Infrastructure Engineering, 2021, 17(2): 249~259.
- [3] 杨磊, 樊海辉, 梁昆, 等. 悬吊底模法在印尼某高桩码头现浇下横梁中的应用[J]. 水运工程, 2019(S1): 21~25.
- [4] 冯光华, 焦绪学, 张青松. 东非珊瑚砾砂岩地区 PHC 桩工程性状分析[J]. 水运工程, 2021(1): 215~220.
- [5] 余洋. 预应力管桩设计理论及其工程应用研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2018.

(本文编辑 郭雪珍)

征订通知

2022 年《水运工程》杂志征订工作已经开始, 请登录《水运工程》杂志社官方网站 www.sygc.com.cn 首页下载中心下载“2022 年《水运工程》征订通知单”, 有关要求和反馈信息一应俱全。