

小间距大直径 PHC 管桩 在排桩式结构码头中的应用

母金祥，徐纪超

(中交第一航务工程局第一工程有限公司，天津 300456)

摘要：以潍坊渔港码头工程为实例，分析小间距、大直径桩基结构施工的难点，总结其在排桩式结构码头中的施工质量控制要点，阐述该类结构形式的防渗关键技术，为类似工程提供借鉴。

关键词：PHC 桩；小间距；大直径；高压旋喷桩；排桩式结构码头

中图分类号：U 655.54⁺4.1 **文献标志码：**B **文章编号：**1002-4972(2015)11-0166-04

Application of small-spacing & large-diameter PHC piles on piled wharf

MU Jin-xiang, XU Ji-chao

(First Engineering Company of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300456, China)

Abstract: Taking Weifang fishing wharf project as a study case, we analyze the difficult points of the small-spacing & large-diameter piling structure construction, summarize the control points of the construction quality on piled wharf, and expound the key technology for seepage control, to serve as reference for similar projects.

Keywords: PHC pile; small spacing; large diameter; high-pressure jet grouting pile; piled wharf

PHC 桩因其承载力高、耐久性好、抗弯刚度大、造价低、对环境的影响较小等特点，已得到广泛应用。与钢管桩和钢板桩相比，其优秀的耐久性和较低的后维护成本尤为突出。对于既要承受荷载、又要具备板桩防止水土流失功能的复合式结构的小间距大直径 PHC 桩码头，国内尚未见报道。而该类排桩式结构码头的施工难点和施工工艺综合了高桩和板桩结构的施工，不仅要克服海上沉桩的困难、控制好小间距挤桩问题，而且要处理好小间距防渗难题。因此，此类排桩式结构桩基的施工不同于一般工程。

1 工程概况

本工程位于潍坊滨海经济技术开发区北部海

域，码头全长 312 m，宽 35 m，码头前沿吃水 8 m，设计为 2 个 5 000 吨级散杂货渔业船舶。采用 $\phi 1\ 200\times 150\text{B}$ 型 PHC 管桩排桩式板桩结构，桩底高程为 -26.5 m 及 -28.5 m，桩顶高程为 2.2 m，管桩间隙采用预制混凝土挡块封堵，挡块与管桩之间采用直径 600 旋喷桩封堵，旋喷桩和挡块底高程为 -14.0 m，挡块顶高程为 1.4 m，旋喷桩顶高程为 1.3 m。距码头前沿 4.8 m 和 13.5 m 处分别打设 $\phi 600\times 130\text{B}$ 型 PHC 管桩，桩底高程为 -28.0 m，桩最大间距为 4.5 m。码头典型断面结构及地质情况如下图 1 所示，而标准结构段排桩式断面如图 2 所示。 $\phi 1\ 200\times 150\text{B}$ 型 PHC 管桩总计 208 根，均采用海上沉桩； $\phi 600\text{B}$ 型 PHC 管桩 155 根，采用陆上沉桩。

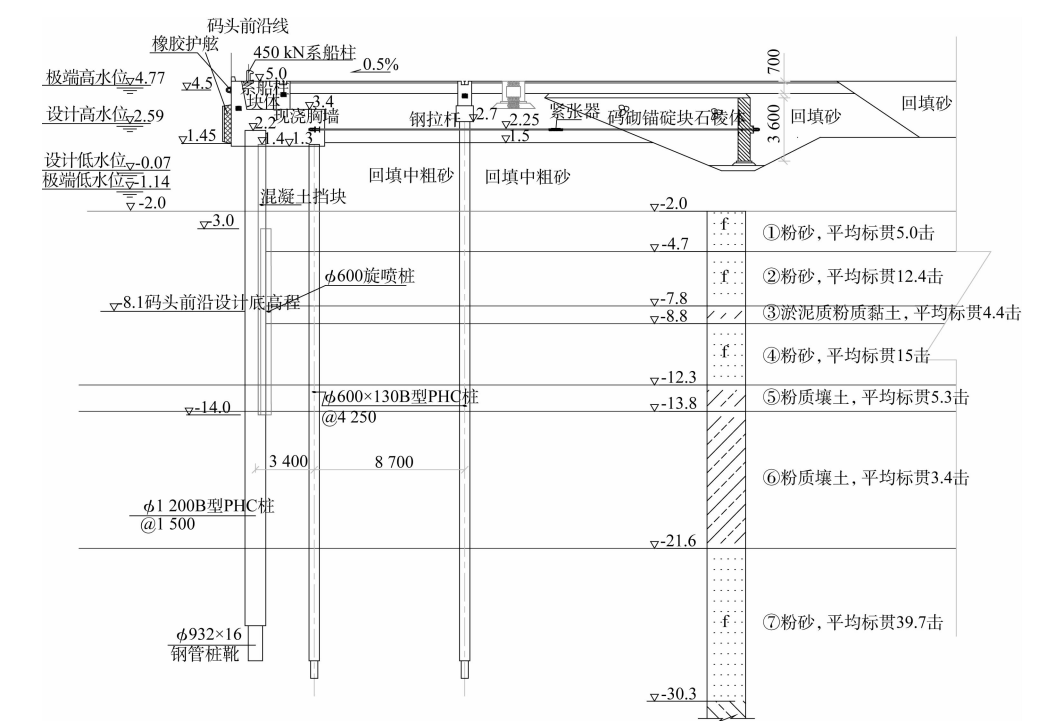


图 1 码头典型断面结构及地质情况（高程：m，尺寸：mm，下同）

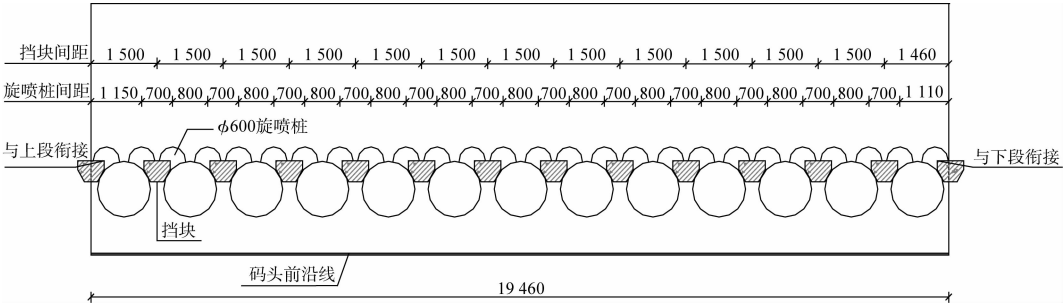


图 2 排桩式断面

2 PHC 桩沉桩

2.1 沉桩准备工作

沉桩作业前须根据桩型合理地选择打桩设备，包括打桩船的选定，打桩锤的性能比较，

以及替打、桩垫的设计。考虑工程部分桩较长，投入一艘专业的海上打桩船，根据地质资料和桩的设计承载力，选用打桩锤二档进行沉桩作业（表 1）。

表 1 D125-3 型柴油打桩锤性能

上活塞 质量/ kg	打击频率/ (击·min ⁻¹)	作用在桩顶 最大爆炸力/ kN	打击能量/(N·m)			
			四档(100%)	三档(89%)	二档(73%)	一档(60%)
12 500	36 ~ 45	3 600	417 000	371 130	304 410	250 200

根据桩径，本工程将替打设计为：采用高度 2 m 钢质替打，质量 7.4 t（图 3）。上端内交错放置直径为 20 ~ 30 mm 的钢丝绳作为衬垫，以使桩锤的冲击能量往下均匀传递。同时为了满足沉桩要求，替打外侧边肋厚度≤150 mm。该替打具有

足够的刚度和强度，几何中心线与桩、锤中心线吻合，确保锤击过程桩顶受力均匀，有效地缓冲了锤击力。同时，替打两侧对称设置 φ50 mm 透气孔确保桩身在锤击过程中不会压缩空气损坏桩身及替打本身。

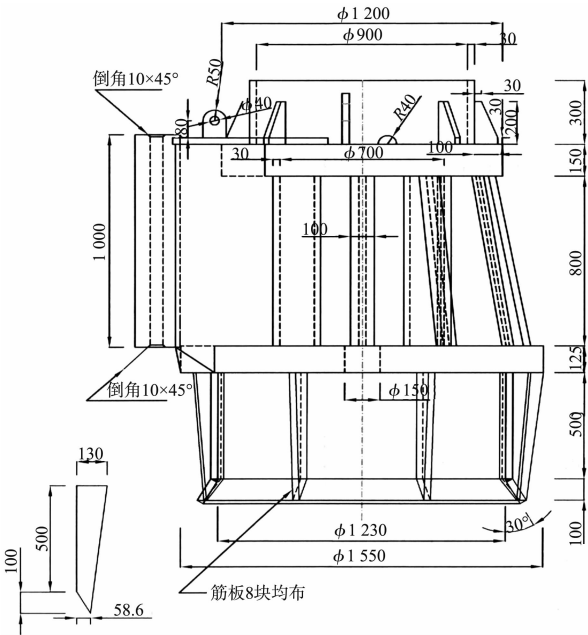


图 3 替打结构

对于桩垫的选择，根据以往海上沉桩经验，用 200 mm 纸垫，保证“一桩一垫”，沉桩结束后桩垫残渣厚度为 30 ~ 40 mm，每沉设 1 根桩均将替打内残渣清理干净方可继续沉桩作业。

桩在进场时，桩身混凝土强度必须达到设计强度 80 MPa，其抗弯性能试验结果等资料均须满足设计与规范要求。桩在运输和吊运过程中，均需根据受力特点设置好支承点和吊点，并在沉桩前划好印记，严格按照吊点进行捆桩和起吊作业，并做到轻起轻放，避免振动、碰撞、滚落。

2.2 施打 PHC 桩

由于 φ1 200PHC 桩间距仅为 30 cm，沉桩地区的土质多以粉砂为主（图 1），其中部分土层的最大标贯数值超过 40，沉桩挤土现象严重，且全部桩基均位于同一直线。当按顺序连续施工 6 根时，其横向累计垂直偏差就较大，因此为了有效缓解这种单向应力而产生的挤土现象，同时保证每个结构段伸缩缝位置的准确性，采取分区跳打及分阶段多次往复沉桩相结合的施工工艺进行沉桩，每个结构段长 19.46 m，共 13 根桩，经过典型施工，最终确定结构段施打顺序见图 4。



图 4 每个结构段 PHC 桩施打顺序

打桩船采用海上 GPS 打桩定位系统进行沉桩定位，并用陆地施工控制点进行常规仪器校核。沉桩前，在替打下部焊接 [10 槽钢，用钢尺量出中心，将全站仪棱镜固定到替打中心上，利用全站仪在陆上与船上仪器同一时间测量中心坐标进行比对，直桩、仰桩、俯桩测量数据至少 3 组。比对误差控制在 50 mm 以内，就可进行沉桩，如超出范围需要对船型参数、转换参数等进行校对、修改。打桩船吊桩定位后，使用全站仪进行校核，时时观测下沉中的动态，以便掌握下桩提前量；并在现场设立水尺，观测潮汐变动，以利于计算沉桩高程。

2.3 停锤标准

采用以高程控制为主、贯入度控制为辅^[1]的停锤标准（表 2）。若出现异常情况而不能达到设计要求，则及时同设计、监理等有关部门联系，共同讨论解决方案。

表 2 沉桩停锤标准

桩顶实际高程 与设计高程 差值 Δh/m	最后 20 cm 平均贯入 度/mm	具体操作
达到设计高程	≤8	正常停锤
	>8	应暂停沉桩，进行高应变动力检测，承载力满足要求进行后续施工；不满足要求，复打 30 ~ 40 cm 停锤重新进行高应变动力检测并分析检测结果
0 < Δh ≤ 0.5	≤5	停锤
Δh > 0.5	≤5	在桩头与桩身质量不出现问题的前提下尽量减 Δh，同时上报工程师和设计，暂停后续沉桩

3 PHC 桩缝防渗

3.1 混凝土挡块施工

在已完成的 φ1 200PHC 管桩后进行充填袋施工，形成陆域施工条件。利用前沿管桩及其后沿第 1 排 φ600PHC 管桩作为基础，使用钢拍子搭设成作业平台，步履式打桩机沿码头纵向行走于其上逐根进行挡块的沉设施工。采用 80 t 履带吊喂桩，施打时严格控制挡块与桩之间空隙，使挡块与前沿 PHC 桩紧密接触，保证挡块的封堵效果。

3.2 旋喷桩施工

挡块与大管桩之间采用 φ600 mm 的旋喷桩封堵^[2]，共计 414 根。采用二管法^[3]，施工时采用三

序孔跳孔施工。二重管旋喷注浆见图 5。旋喷桩施工中, 首先要保证钻机平稳, 钻杆垂直, 钻头与孔位中心吻合, 孔位随挡块及桩位置调整; 其次射水压力要合适, 水灰比按 1:1 进行控制, 水泥不应有结块现象, 浆液需过 2 mm 筛孔, 防止堵塞现象产生; 注浆要均匀, 合理控制高程和注浆半径。其基本工艺流程见图 6。

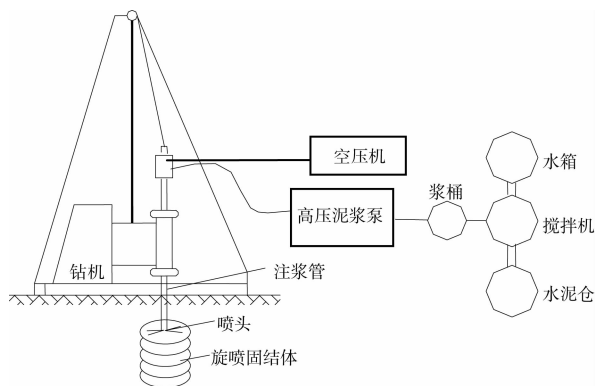


图 5 二重管旋喷注浆

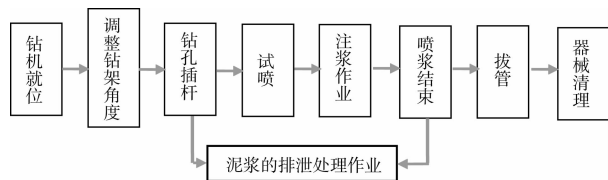


图 6 旋喷桩工艺流程

4 施工成效

在该小间距大直径 PHC 管桩排桩式结构码头施工中, 必须控制好小间距带来的不利影响, 通过图 4 的打桩顺序, 有效地保证了每个结构段的长度。整体前沿桩施工质量受控。对施打的 $\phi 1\ 200 \times 150\text{B}$ 型 PHC 管桩进行高应变检测, 共检测 14 根, 包括 11 根初打和 3 根复打, 11 根初打检测得到的承载力为 2 527 ~ 3 875 kN, 3 根复打检测得到的承载力为 5 904 ~ 6 011 kN, 检测结果均满足设计要求, 桩身完整性 100%。另按不小于 10% 的比例对桩身进行低应变检测, 共检测 32 根, 均为 I 类桩^[4]。

而在 PHC 管桩之间的 30 cm 缝隙施工中, 强化了挡块的沉桩作业, 1 根挡块严格控制与 2 根管桩密切相贴, 将缝隙减小到最小。旋喷桩注浆结束 28 d 后对旋喷桩进行了抽心强度检验、固结体有效直径量测、标准贯入度的检测; 按比例随机

抽样开挖检测 9 根桩, 质量均能满足设计及规范要求。且在后方胸墙施工时, 整体开挖至高程 1.30, 开挖后观察发现旋喷桩顶部有效直径均已超过设计 600 mm, 且从开挖面观测止水止浆效果良好。

5 结语

1) 小间距大直径 PHC 排桩式结构形式的码头这种类似板桩结构形式的码头施工简便, 投入的设备、人员较少, 待挡块和旋喷桩全部施工完成后能形成稳定的后方, 为后序施工创造了良好的条件, 极大地缩短了工期。

2) 桩基施工前, 须做好一切准备工作, 并通过典型施工及时调整沉桩作业顺序, 不仅减小了桩基叠加挤土效应, 还将每个结构段的宽度控制在许可范围内。

3) 该类结构形式的码头运用了 PHC 管桩的经济性和桩本身的高耐久性、施工方便、工程造价和后期维护成本低等特点, 保值增效, 值得在该类地质条件下推广和运用。

4) 挡块施工需密贴 PHC 桩, 再辅以旋喷桩共同作用, 形成防护结构, 阻挡码头内侧水土流失, 但这种长期受海水环境和涨落潮汐压力差的作用下, 难免增加后方水土流失产生的风险。因此在今后类似工程设计中, 可将旋喷桩单桩封堵结构形式优化为多桩且形成网状的结构形式, 可极大地减少后方水土流失的风险。

小间距大直径 PHC 管桩码头作为一种复合新型码头结构形式, 应用前景十分广阔。通过本工程的实践, 不仅推动了该类 PHC 管桩在沿海港口工程中的广泛应用, 还为后续类似结构形式码头施工提供了可借鉴的经验。

参考文献:

- [1] 周炽华, 傅恒遵. PHC 桩超深送桩施工工艺介绍[J]. 华南港工, 2008(4): 30-36.
- [2] 龚晓南. 地基处理新技术[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997.
- [3] 徐至钧, 全科政. 高压喷射注浆法处理地基[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [4] JTJ 249—2001 港口工程桩基动力检测规程[S].