



引孔植桩工艺在深水裸岩码头 灌注桩施工中的应用^{*}

张校强, 李琦, 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: 针对深水裸岩码头灌注桩的施工, 无覆盖层导致水上施工平台的辅助钢管桩与灌注桩钢护筒着床困难, 以某高桩码头工程为例, 进行施工工艺实践研究, 提出采用引孔植桩的解决方案。研究结果表明: 1) 针对水上施工平台搭建难题, 可采用平台上冲孔引孔、水上船舶旋挖引孔等新工艺, 提前对辅助钢管桩桩位进行引孔施工再植桩, 并分析各自工艺的特点、适用性、功效及经济性。2) 针对钢护筒埋设问题, 可采用平台上旋挖引孔后植入的工艺。较好地解决了桩基入土深度问题, 确保了灌注桩质量, 可为类似工程提供参考。

关键词: 高桩码头; 深水裸岩; 灌注桩施工; 引孔; 植桩

中图分类号: U655

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)09-0211-05

Application of hole-drilling and pile-inserting technology in wharf cast in-situ pile under the environment of deep water and rock foundation

ZHANG Xiaoqiang, LI Qi, XU Jianwu

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: In view of the construction of cast in-situ piles under the environment of deep water and rock foundation, the lack of overburden soil leads to the difficulty in the placement of auxiliary steel pipe pile of overwater construction platform and steel casing of cast in-situ piles. Taking the construction of a high pile wharf as an example, this paper studies the construction technology practice and proposes the solution of hole-drilling and pile-inserting. The study results show that: 1) To solve the problem of building overwater construction platforms, new technologies can be used, such as punching holes on the platform and vortically drilling holes on the vessel, so as to drill holes before pile inserting for auxiliary steel pipe pile in advance and analyze the characteristics of each technology, applicability, effectiveness, and economy. 2) The embedding problem of steel casing is solved by the technology of vortically drilling holes on the platform before inserting. This technology well solves the problem regarding the embedded length of the pile and ensures the quality of the cast in-situ pile. It can serve as a reference for similar projects.

Keywords: high pile wharf; deep water and rock foundation; cast in-situ pile construction; hole drilling; pile inserting

在深水码头建设中, 存在一种典型的地质, 即拟施工处天然地表或经疏浚后地表为岩面的地质(简称“裸岩”地质)。传统上该地质条件适合的码头结构为重力式。但近年来随着海洋生态环保要求的加强, 特别是当工程周边大型重力式构件

预制出运条件不足时, 优先选用桩基结构作为透水构筑物, 其透水性好, 对环境友好, 而且可降低基床开挖或炸礁难度。以广西钦州某海港码头工程为例, 对重力式与高桩两种码头结构形式深入比选, 综合方案、造价、工期等因素, 推荐灌

收稿日期: 2022-11-24

*基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (52071060)

作者简介: 张校强 (1965—), 男, 高级工程师, 从事港口工程总承包管理工作。

注桩的高桩码头结构。然而由于地质情况的复杂性,灌注桩施工也面临诸多挑战^[1-2],特别是水上施工平台的辅助钢管桩^[3]与灌注桩钢护筒^[4]的施打。引孔植桩法^[5]通常采用钻机预先钻孔,再在预钻好的孔位上沉桩,使桩基达到设计要求的入土深度。贺家树^[6]研究了在覆盖层较浅的内河高桩码头采用冲孔成孔,再植入钢管桩的施工方法。本文介绍引孔植桩工艺包括平台上冲孔引孔、水上船舶旋挖引孔等新工艺,并在广西钦州某海港

码头灌注桩施工中成功应用,为类似工程提供参考。

1 工程概况

工程建设1个5万t的液化烃码头泊位,主要包括25万m²港池水域、300 m码头以及314 m引桥等。码头、引桥均为高桩梁板结构,其中引桥采用直径1200 mm的灌注桩,码头采用直径1300 mm的灌注桩,见图1。

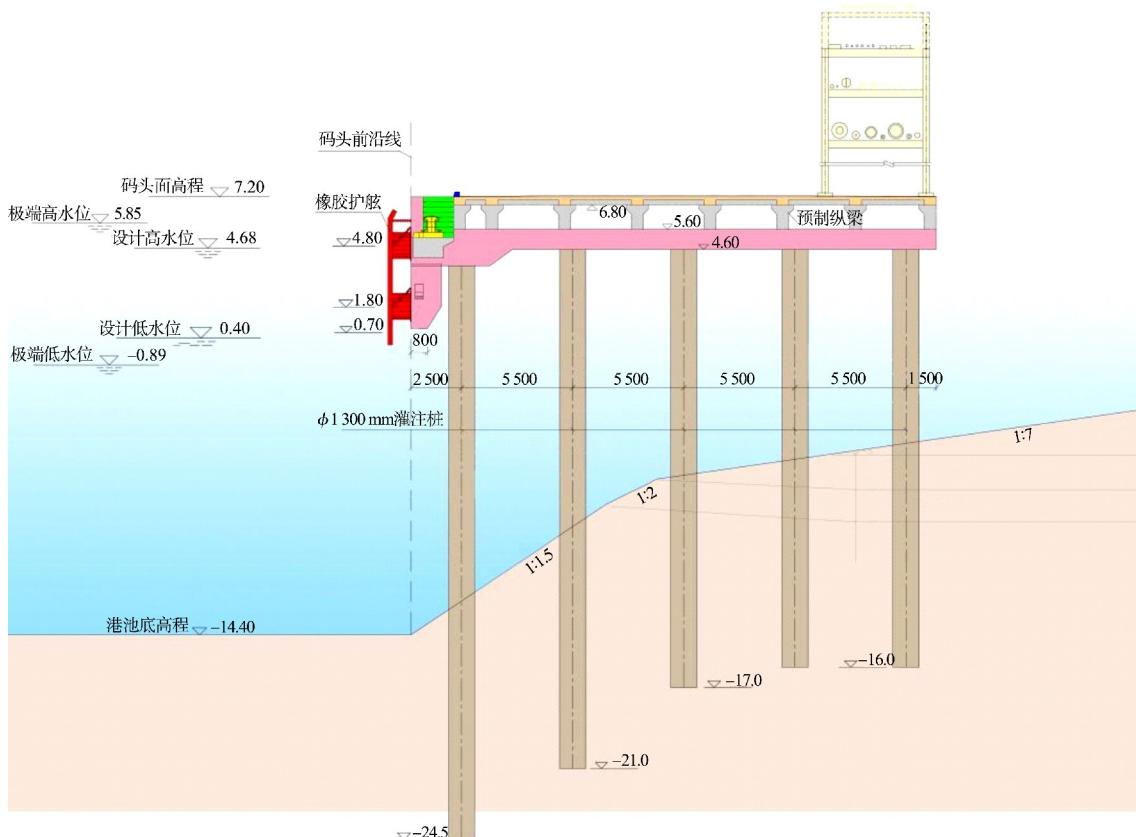


图1 码头典型断面(尺寸: mm; 高程: m)

按照要求,结合工程桩基为灌注桩的特点,采取搭设临时钢栈桥及灌注桩水上施工平台的工艺,将水上施工变为陆上施工,使材料供应、施工进度更为可控。临时钢栈桥紧靠引桥及码头后方,自引桥陆域端部起往南侧搭建至码头区域,覆盖所有桩基范围,见图2。钢栈桥的辅助钢管桩施打采用钓鱼法,用80 t履带吊由岸侧往海侧方向施打,利用振动锤的激振力施打,吊立后直接进行沉桩。引桥区域原地质有一定厚度的覆盖

土层,因此桩基沉桩均满足入土深度要求。而在码头区域,前沿停泊水域首先进行上覆土层疏浚;再炸礁清礁到设计高程-14.4 m后,码头岸坡表土为裸露中-强风化粉砂质泥岩,部分区域存在倾斜基岩面,其岩体完整性较好,单轴饱和抗压强度为3.0~16.5 MPa,给桩基施工造成了困难。同时工程区虽然海域掩护条件好,但施工水深为15~18 m,拟施工桩基自由端较长,存在稳桩问题。

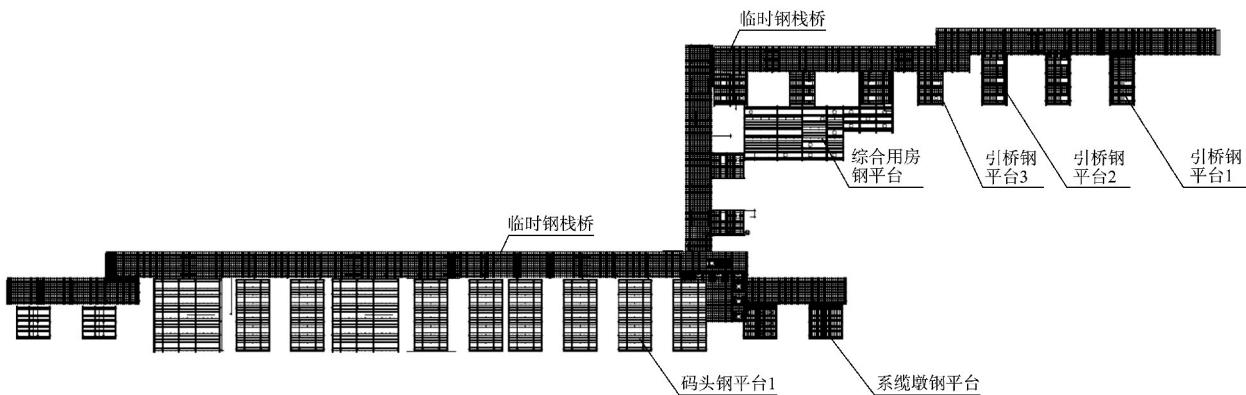


图2 水上施工平台平面

2 水上施工平台设计与施工

2.1 钢平台设计

码头共设计 10 个码头横梁工作平台和 4 个系缆墩工作平台, 考虑作为后期预制梁板吊装平台使用, 横梁钻孔平台尺寸为 $6\text{ m} \times 26\text{ m}$, 系缆墩工作平台为 $11\text{ m} \times 11\text{ m}$ 。为减小潮位对施工的影响, 结合码头面使用高程 7.20 m, 平台顶高程定为 7.06 m。辅助钢管桩材质为 Q345, 直径为 630 mm, 壁厚 10 mm, 其中裸岩区域钢管桩平均长度为 21 m。

针对钢平台设计, 通过数值模拟桩土接触, 以及贝雷架与上下结构的连接, 三维建模计算。荷载工况包括 75 t 履带吊、80 t 旋挖机、混凝土罐车、风荷载、波浪力、水流力等, 重点分析单

桩稳定性、桩基承载力、平台搭设的整体稳定性、构件内力等, 得出钢管桩入土深度需 3~4 m。

2.2 钢平台施工

综合工期及周边环境制约, 工程采取两种新工艺进行桩位引孔作业, 保证后续沉桩及稳桩要求。

根据主栈桥及钢平台搭设顺序, 引孔作业整体顺序从岸侧向海侧、从后沿向前沿推进。其中码头前沿第 3 排的辅助桩利用平台上冲孔桩机进行冲孔, 码头前沿第 1、2 排的辅助桩利用旋挖机上驳船进行钻孔, 两种作业方式均需在原桩位处提前引孔, 使桩基入土深度达到要求, 见图 3。

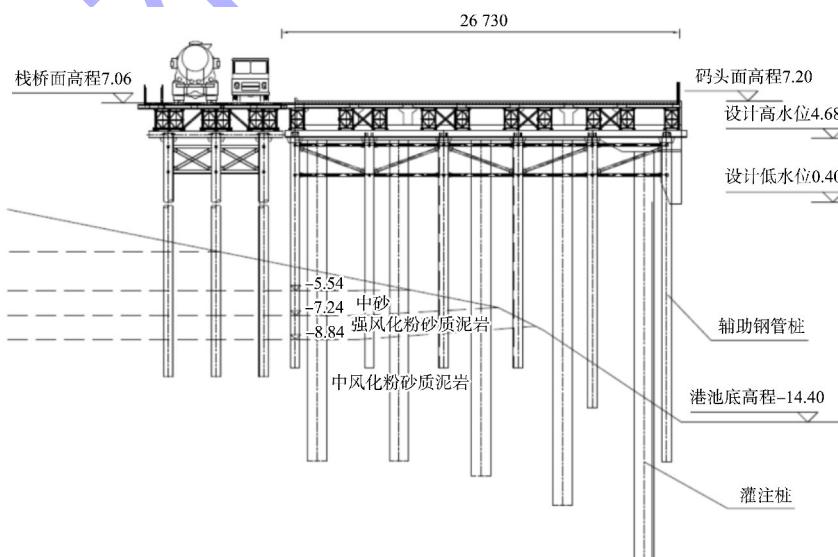


图3 码头钻孔平台需引孔区域断面 (尺寸: mm; 高程: m)

2.2.1 平台上冲孔引孔

钢管辅助桩排距为 5 m, 因此钢平台引孔时前端需悬挑 5 m, 将后沿已打入覆土层的辅助桩及上部平台搭设完成后, 主梁延伸至需引孔桩位, 上部布置贝雷片、分配梁及桥面结构。冲孔桩机引孔示意见图 4。

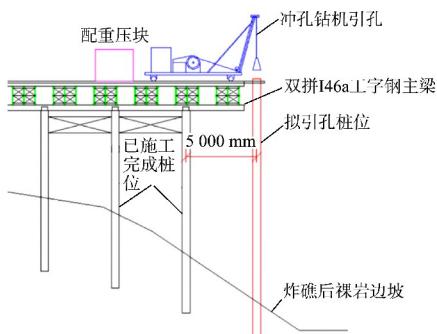


图 4 冲孔桩机引孔示意

桩机位置确认后在桩机后方压载不小于 2 倍桩机质量的配重, 以保证桩机冲孔作业安全。桩机主要受力点为前支腿处, 按所有荷载均作用在前支腿时进行计算, 上部结构在平台计算时已考虑, 对双拼主梁所受荷载进行计算。因后方压载质量大于冲孔桩机质量, 计算时将主梁受荷载情况简化为固定端悬臂梁进行, 见图 5。码头平台桩基排架间距为 5 m, 考虑预留冲孔位置, 冲孔桩机支腿按 4 m 悬臂计算。其中 F 为冲孔桩机+桩锤总重力, 按 100 kN 计算, 动载系数取 1.4。经计算满足使用要求。

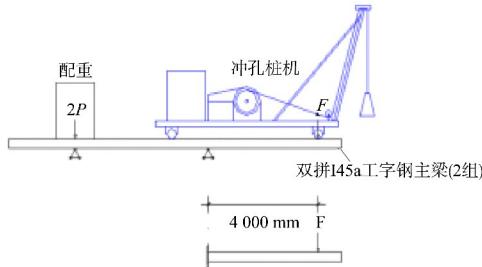


图 5 冲孔桩机引孔荷载计算示意

本次施工选用的桩机型号为 JK-6 型, 冲孔直径为 600 mm, 桩锤质量 2.5 t。先将辅助桩固定在导向架上, 低锤密击, 锤高 0.4~0.6 m, 并及时加黏土泥浆护壁, 使孔壁挤压密实, 直至孔深达

钢管下 2~3 m 后, 将锤提高至 1.5~2.0 m 以上, 转入正常连续冲击。对于变层处以及易发生偏斜的部位, 采用低锤轻击、间断冲击法穿过, 以保持孔形良好。至设计深度后停止冲进, 将辅助桩植入已引好的桩位中, 调整好垂直度后用振动锤施打, 过程与陆上施工相同, 完成后按前述工艺开展下一步工作。最后及时焊接与周边桩的平联及斜撑, 保证平台承载力与稳定性。

2.2.2 水上船舶引孔

水上引孔设备采用 1 500 t 自航平板驳上 205 型旋挖钻机和 75 t 履带吊的方式进行。重点考虑履带吊、旋挖机上驳及上驳后设备的固定、船舶稳定性验算等。

平板驳四角安装有卷扬机和船锚, 打桩船根据 GPS 行进至桩位附近抛锚定位。驳船先移至最内侧桩位处, 调整船体使其侧面平行于码头前沿线, 与桩位中心距离约 1 m, 引孔船舶布置及引孔顺序见图 6。船舶划分旋挖钻机、履带吊的停放位置及辅助桩存放区。其中辅助桩与旋挖钻分别靠船两侧布置, 保持船体平衡, 履带吊布置于驳船中间位置。设备在指定区域设置加固措施。

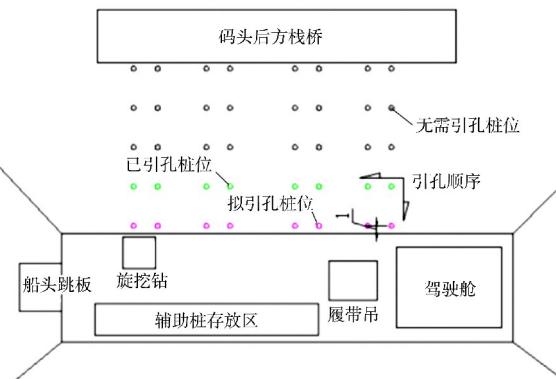


图 6 水上引孔船舶布置及引孔顺序

辅助桩直径为 $\phi 630$ mm, 分别采用 600、700、800 mm 钻头。经对比, 采用 800 mm 钻头则孔径太大, 辅助桩倾斜较多; 600 mm 钻头的孔位较窄, 不便于后续辅助桩沉放; 使用 700 mm 的钻头效果较好。首先用 GPS 定位桩基位置, 在船侧标注刻度线, 并标识出桩中心与船侧的距离。旋挖钻根据刻度指示, 调整好钻杆垂直度后进行引孔。

2.2.3 对比分析

如表1所示, 两种施工工艺在材料与人员配置上基本一致。相对冲孔桩机的租赁费用, 水上船舶引孔需租赁平板驳及旋挖机大型设备, 一次性投入增加, 同时施工前期准备工作较多。而在施工过程中, 旋挖机引孔定位效率及引孔效率分别为冲孔桩机的3倍和4倍, 因此辅助桩引孔可达5根/d, 相比于冲孔引孔的1根/d, 极大地提升了施工效率。

表1 引孔植桩单桩功效对比

| 工艺 | 工序功效/h | | | | |
|---------|--------|------|------|-------|------|
| | 施工准备 | 设备就位 | 引孔施工 | 辅助桩植桩 | 焊接平联 |
| 平台上冲孔引孔 | 24 | 3 | 12 | 0.5 | 2 |
| 水上船舶引孔 | 48 | 1 | 3 | 0.5 | 2 |

3 灌注桩施工

3.1 钢护筒埋设

钢护筒材质为Q235B, 直径为1 400 mm, 壁厚10 mm, 需打至中风化或强风化岩层。裸岩地质的大直径钢护筒在沉桩时可能存在桩底口卷边、变形等, 特别是疏浚炸礁后的基岩面通常为斜面, 底部易发生悬空、滑动、偏孔等现象, 不利于成孔作业。因此先对钢护筒底口和顶口各0.2 m高度范围内焊加强环加固, 环壁厚10 mm; 其次采取引孔增加钢护筒入土深度, 提高桩基稳定性。当桩位处基岩面平整时, 用旋挖钻头引孔一定深度, 沉放钢护筒后用旋挖钻头在护筒内成孔至设计高程, 有效减少地层阻力过大导致钢护筒损坏的现象。当基岩面倾斜, 则先用筒式钻头剥离斜面, 后续其它步骤相同。若基岩面为坡度较大, 可增加钻头一侧配重, 避免引孔时侧滑和钻头重心偏移, 待钻头垂直稳定后正常钻进, 以确保钻孔垂直度偏差≤1.5%, 必要时可对钻杆进行监测。

护筒埋设后, 应监测筒内液面, 以防浇筑过程中的漏浆。通常观测1个潮位周期水位是否变动, 确定护筒与海水有无连通。个别区域, 为防止斜面区域的钢护筒侧面漏浆, 可在护筒周边抛填约2 m高沙袋形成封堵。

3.2 成孔浇筑作业

工程采用三一SR280D型旋挖机, 质量80 t, 最大钻孔深度64 m, 最大钻孔直径2.5 m。钻进开孔取土阶段, 钻杆上、下提升, 钻进成孔。在进入风化岩后, 为减少摩擦, 除更换小直径钻头外, 还可在钻具外壁焊保护钢条, 减少岩体与钻具的接触面积, 减少钻头磨损。起钻、移钻机的过程中注意同时保持孔内水头, 防止塌孔。项目采用捞渣筒清渣, 清水孔施工, 终孔后采用气举反循环法清孔工艺。成孔后可进行钢筋笼安放及混凝土浇筑, 浇筑过程应连续, 保证成桩质量。

4 应用效果

在水上施工平台使用间应限载限速, 加强日常巡检, 主要检查辅助桩倾斜、各类钢构件变形、焊接点脱焊、螺栓松动等问题。每个平台上设置2个沉降位移观测点, 观测频率为每1次/3 d, 待桥面沉降基本稳定后可调整为每1次/7 d。工程实测沉降与位移量均为4~10 mm, 与设计理论值基本接近, 解决了裸岩地质下平台搭建的难题。

工程采用引孔植桩工艺施工灌注桩102根, 超声波检测一类桩为100根, 占比98%; 二类桩2根, 占比2%。抽芯法检测灌注桩4根, 均为1类桩, 灌注桩施工合格率100%。

5 结语

1) 平台上冲孔引孔工艺适用于项目成本管控压力大、施工工期及工序搭接合理有序、对桩位控制要求高的施工环境, 具备以下优点: ①无需大型船舶等设备配合施工, 极大减小了施工成本压力; ②施工整体稳定性更好, 植桩桩位的控制更加精准; ③不受海上风浪环境影响, 可持续开展施工。

2) 水上船舶旋挖引孔工艺适用于项目工期紧、施工工序穿插较多、海上风浪环境良好的施工环境, 具备以下优点: ①引孔效率高, 且处于海上独立施工环境, 不受其他施工工序影响; ②对地基扰动小, 对周边桩基影响也较小; ③降低施工噪声。