

# 基于复杂地质条件下港口工程桩基施工技术研究

文 / 王春晔 中国铁建港航局集团有限公司第三工程分公司

**摘要：**港口工程作为我国交通运输领域中的关键部分，对于区域经济发展具有积极意义。港口地质条件具有复杂性特点，现有工程施工中存在放样点总误差过大、精度水平低等问题，严重影响工程建设质量。对此，本文基于复杂地质条件，针对港口工程桩基施工技术展开研究，结合项目实例，综合考量工程要求、建设标准，应用针对性桩基施工技术，提高工程的安全性、稳定性。在有效降低总误差的基础上，为工程社会效益、经济效益的协同提升助力。  
**关键词：**港口工程；复杂地质；护筒处理；桩基浇筑；沉桩作业

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.08.027

## 引言

桩基作为港口工程的关键、基础结构，其对整体工程建设质量具有一定影响，为良好解决施工期间的各项问题，相关人员需深入分析复杂地质特点，明确桩基类型。以实际项目为基础，应用针对性施工技术，本文主要介绍钢管锁扣桩施工技术的应用，从前期准备、护筒处理、桩孔处理、沉桩作业等多方面入手，减少项目建设额外的成本、时间，减少施工误差，为工程项目提供技术支持、指导，进而为相关领域工程建设施工提供参考。

### 一、港口工程桩基分类及复杂地质的特点

#### (一) 港口工程桩基分类

第一，灌注桩，作为桩基施工的常见类型，具体施工原理如图1所示。

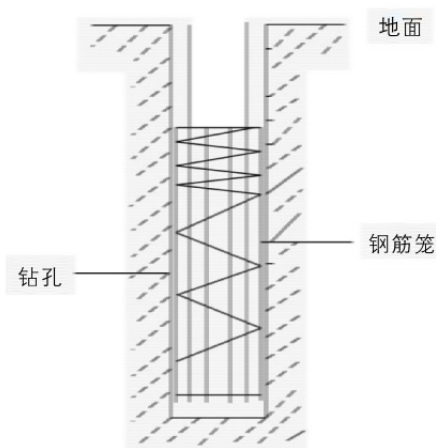


图1 钻孔灌注桩示意图

主要施工原理是以地面钻孔为核心，严格落实施工要求，使其形成深度标准的桩孔，在其内部置入钢筋笼之后即可进行灌注。该种施工技术对地基条件要求较为广泛，结合技术特点分析，对岸坡破坏性较小，具有一定优势<sup>[1]</sup>。

第二，PHC桩，其是以混凝土强度高C80、先进工艺为主，作为预应力高强混凝土桩，具有沉桩质量高、成本适中、承力效果好、耐久性强等优势。

第三，钢管桩，以合金钢、钢材为主要原材料，实际成本较高，但具有高强度优势，可良好应对港口工程

抗弯能力、抗冲击力等需求。

第四，钢管锁扣桩，该种技术属于特殊钢结构材料，主要结构包含T型、C型锁扣、钢管，实际使用具有一定便捷性、高强度性。在建设过程中，该技术可保证桩基稳定性，在以往桩基形式上进行大力创新，提供一定抗压能力、抗弯强度，充分抵御海水冲击力，具有较强的承重性、稳定性。

#### (二) 复杂地质特点分析

港口工程大多靠近海岸线，所处区域地质条件较为复杂，结合以往工程建设经验分析，工程地质大多为淤泥、软土，并且地层结构错综复杂，导致桩基施工难度较大。同时，部分港口岩土性质具有多变性，底层中夹杂灰岩、泥岩等岩性，局部区域还包含岩溶、溶洞等地质构造，面对如此复杂的地质环境，需选择针对性的桩基类型，使其良好满足经济性、适应性、安全性等多种要求。

在复杂地质条件下，港口桩基施工难度较大，主要表现为地基承载力不均、桩基稳定性不足等多种难题。首先，承载力不均，港口所处区域往往具有一定复杂性，例如，桩端持力层施工期间，存在承载力特征值相差过大的问题，即使在相邻桩位仍存在较大误差，极易引发局部应力集中问题，造成桩端沉降等质量问题。其次，桩基稳定不足，由于港口工程所处区域属于高地应力环境，部分构造活动较为频繁的区域会导致桩身产生过大的变形问题，影响桩基质量。再次，地下水施工风险，在复杂地质条件下，部分大流量、高水位的地下水会直接影响桩基施工，造成结构坍塌、水土流失等多种问题。地下水会直接改变土体饱和度，导致桩基竖向承载力确定极为困难。最后，软弱夹层与溶洞处理，该种问题直接影响桩土共同承载力，导致桩身力学性能难以保障。数据显示，岩溶发育指数能够达到20%以上，大幅折减地基承载力，影响地基施工质量<sup>[2]</sup>。

### 二、复杂地质条件下港口工程桩基施工技术的应用

#### (一) 项目案例

以东南沿海地区某港口工程为例，其作为重要交通枢纽，区域经济发展较好，为良好满足日益增长的货运需求，港口面临扩建。结合具体需求分析，需要在原有港口的基础上继续向海域延伸，作为内陆、海洋的连接

载体，在扩建期间面临一定桩基施工难题。工程所处海域地质条件复杂，整体结构包含抛石层、软土层、淤泥层，对桩基施工提出一定挑战。结合沉桩作业难度，在综合考量经济性、安全性等要求的基础上，本工程应用钢管锁扣桩施工技术，使其可以承载较大荷载，保证建设质量，增强桩基稳定性，具体施工流程如图2所示。

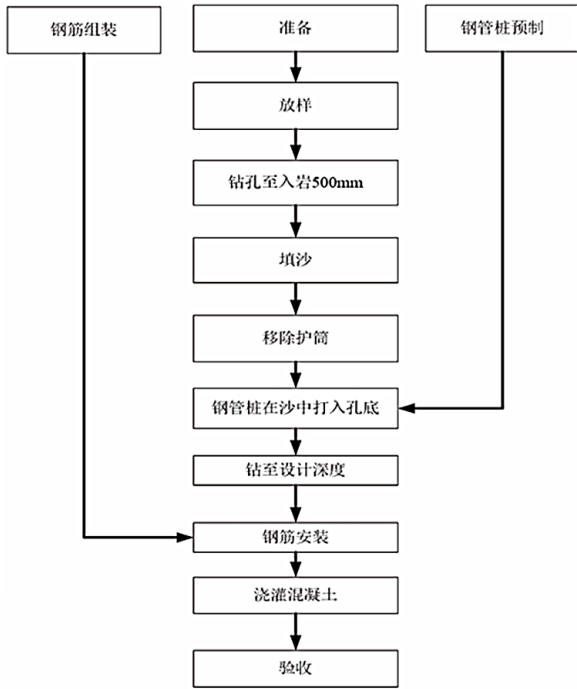


图2 钢管锁扣桩施工流程图

(二) 技术要点

1. 前期准备

在施工之前，结合复杂地质条件特点、建设难题，需做好前期准备工作，以案例项目为核心，加强地质条件勘察，充分掌握地基结构、土层等基本信息。以网络平台为载体，全面搜集相关地质资料，为后续施工方案设计、优化提供依据。在复杂地质条件下，需注重对施工现场进行平整、清理，对所需扩建区域实施处理，保证施工现场无杂物、无障碍物。基于施工需求，全面检查施工设备运行状况，降低设备故障几率，避免对施工活动造成误差、延误情况。以钢管锁扣桩技术为核心，准备质量达标的锁扣、钢管、桩基设备，以锁扣为例，需以耐腐蚀性、耐磨性为指标，严格把控采购环节，保证其符合设计和规范要求<sup>[3]</sup>。

技术交底作为必不可少的环节，需以钢管锁扣桩技术为核心，组织工作人员进行交流，使其可以掌握技术要点，提高技术应用的规范化水平。在此基础上，加强安全培训，深入分析桩基施工中的风险，提出施工注意事项、要点，降低安全事故风险、几率。

2. 护筒处理

结合案例工程项目地质条件分析，其所处区域土质具有不稳定的特点，为增强桩基稳定性、牢固性，需做好护筒处理工作，借助钢护筒有效增强桩基强度。在这

期间，相关人员综合考量项目实际需求，准备十根钢护筒，将五根进行喷涂处理，另外五根用于试桩，保证施工质量。钢护筒壁厚、长度需控制在8mm、20m，在后续埋设期间，为避免产生误差，需引入定位架，将钢护筒竖放到定位架内。在护筒处理期间，需注重内击外夯，应用电动装置进行锤打的同时，注重对外围土层夯实，避免钢护筒产生歪斜情况。另外，本文案例工程地质环境较为特殊，在护筒埋设期间，需将桩基与其他结构物进行隔离，保证钢护筒垂直度，避免其在外力作用下产生晃动。

3. 桩孔处理

在桩基施工期间，为保证桩孔质量，需应用针对性桩孔处理技术，实现优质开孔。施工人员需从细节之处入手，加强开孔垂直度的把控，保证桩孔孔形、孔径、孔位能够达到施工标准。在桩孔处理过程中，需加大检查力度，如果产生倾斜现象，则需及时纠正，避免影响施工进度、效率。在本文案例工程施工期间，为降低对经济活动的影响，工程项目施工周期较为紧张，需综合考量桩基桩位之间的关系，基于现场实际情况，搭建钻孔平台。

对于钻孔平台结构而言，主要是在轴线上设置钢护筒，并根据实际需求，在辅助桩上搭建横撑，有效增强支撑力，强化钻孔平台应用成效。同时，对于钢护筒而言，为提高钻孔平台承载力，需对其焊接牛腿，结合施工范围，依次安装主梁、分配梁型钢，强化施工安全性、稳定性(如图3所示)<sup>[4]</sup>。

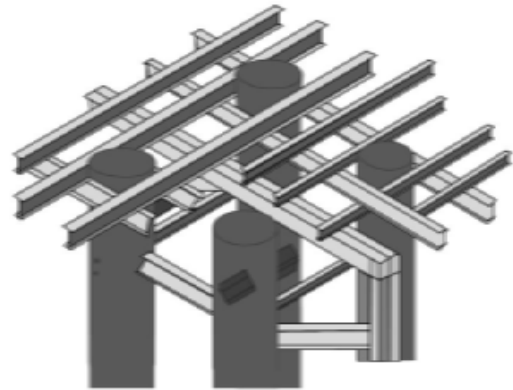


图3 桩基施工钻孔平台

为有效缩短钻孔时间，需借助先进设备，例如，回旋型反循环钻机，凭借设备优势，增强力量驱动，使其可以边钻孔边清理，快速完成钻孔任务。需要注意的是，在成孔之后，需对施工情况进行验收，保证孔垂直度、桩孔直径达到项目相关标准要求。

4. 沉桩作业

在做好桩孔处理工作之后，需应用沉桩作业技术，严格落实施工步骤，保证作业质量。

一是桩身刻度标记，在该环节需采用刻度标记的方式进行沉桩记录，结合实际需求，适当蘸取墨汁，直观呈现刻度标记情况。在沉桩作业结束之后，可明确最终桩顶标高。

二是吊桩施工，需做好前期准备工作，仔细查看钢管桩实际情况，如果涉及部分腐土层区域，则需结合实

际需求,采用桩身保护式起吊方案,保证起吊工作的安全性。基于吊桩标准分析,需避免产生大幅波动现象,采用四点起吊法进行施工,避免桩身产生碰撞,保证桩基施工安全性。

三是下桩,在该环节需严格遵守自下而上的顺序,根据桩身位置情况不断调整,增强桩身位置的精确性。通常情况下,在桩尖下沉至2.5m时,需停止下沉,根据实际情况,适当校正桩身,保证其平直性方可持续下沉。在这一过程中如果存在阻力,则需将设备上拔100cm,重复下沉操作。在持续下沉过程中,受压力影响,锁扣极易损坏。为保证沉桩精度水平,相关人员需及时更换新锁扣,保证桩基下沉的正位率。

四是夹桩,在沉桩后,为减少碰撞、倾斜问题,保证桩基的稳定性,需优化夹桩方案,增强抵御力。在本文案例工程建设中,其所处区域涌潮水压较大,并且流速较快,需增设抱箍,合理调整垂直度,保证夹桩工作顺利落实。

### 5. 桩基浇筑

在桩基浇筑环节,需合理设置混凝土配比,综合考虑混凝土出厂厂家、设计标号等信息,保证混凝土整体性能达到施工要求、标准。在本文案例工程中,桩身混凝土设计标号为C45,在施工期间,需科学控制材料配比,强化混凝土应用效果。结合施工结果分析,最终混凝土初凝时间、坍落度分别为5.2h、200mm,二者标准要求为4h、170mm-230mm,能够基本达到桩基浇筑要求,提升混凝土和易性。在后续混凝土灌注期间,需空延5s,充分消除导管内部空气,于第6s进行正式灌注。另外,注重对混凝土灌注的桩顶进行把控,在有新鲜混凝土流出之后,需根据实际情况,加强混凝土振捣,借助振动棒进行处理,充分排净内部空气。在此基础上,适当增加标高,与设计标高相比,需高出28cm以上,保证浇筑质量。

### (三) 施工质量控制

港口工程对桩基技术有效性、实用性要求较高,为保证技术应用效果,需加强施工质量控制。结合施工需求,合理调整施工工序,缩短施工时间,强化工程整体施工质量。通常情况下,港口工程桩基施工较为复杂,工序的调整能够保证各工序之间紧密衔接,有序推进桩基施工活动。同时,加强桩基施工技术控制,从技术人员角度来看,需以设计要求为核心,保证技术与实践预期相符合,精细化落实各项技术,实现标准化、规范化施工。以混凝土施工为例,在其达到设计要求之后,需依次落实桩身结静置处理、蒸汽养护等环节,增强施工技术效果<sup>[5]</sup>。

在实际施工中,从细节之处入手可在一定程度上减少返工频次,保证桩基施工的连续性。以钢管桩施工为例,在港口工程施工期间,可应用单桩预制技术,根据打桩需求,对其适当除油、除锈,基于实际情况,进行电弧焊处理,发挥技术优势,使其可以充分抵御海水,为后续打桩做足准备。另外,需掌握质控方法,结合钢管锁扣桩技术,从施工前期、施工过程入手,在前期阶段,需借助全站仪进行监测,保证桩身水平度、垂直度达到实际需求。在施

工期间,如果预制桩无法达到预期入土深度,则需根据实际标准要求,采用补沉法进行施工,严重情况下,可采用补静压桩的方式,充分增强桩体承载力,提高桩基施工质量。由于外部环境较为复杂,需制定防腐蚀方案,采用表面预处理、清洁除锈相结合的方式,提高涂层防腐性能、附着力。结合复杂地质条件特点,在施工完毕之后需加强质量检测,配备高精度测量仪,采用多次测量取平均值的方式,保证检测结果的可靠性,以便缩小误差,为桩基施工技术改进提供明确方向。

### 三、港口工程桩基施工技术检验

在本文案例工程桩基施工期间,施工团队严格落实钢管锁扣桩施工技术,并根据实际情况,加大质控力度,在施工完毕之后,相关人员采用放样点测量的方式检验技术应用效果。在这期间,综合考量工程要求、施工图纸,在工程关键要点位置设置放样点,配置全站仪,发挥设备优势,使其明确放样点桩基位置移动情况。其中,总误差计算公式为:

$$M = \pm \sqrt{m_s^2 + \left( \frac{m_\beta \cdot S}{\rho} \right)^2 + 2m_v^2 + m_i^2}$$

其中,  $m_s$  代表横向误差,  $m_v$  代表纵向误差,  $m_\beta$  代表比例误差,  $m_i$  代表放样距离。

基于上述公式,相关人员可对各放样点误差情况进行计算,明确其与标准误差的差距。放样点总误差标准要求需  $\leq \pm 20$ mm,以此保证桩基施工质量。

### 结语

综上所述,桩基施工质量能够直接影响港口工程应用情况,为提高港口工程质量、安全性,相关人员需结合桩基施工中的难题,应用针对性解决技术,有效弱化复杂地质条件的影响,促使港口工程可以发挥自身经济功能。在这期间,结合复杂地质条件特点,改进施工工艺,根据实际施工问题,制定相应施工质量控制方案,实现风险防范目标。立足于工程实际,从源头破解复杂地质制约瓶颈的基础上,保证港口工程桩基质量,为相关经济活动顺利进行提供保障。

### 参考文献

- [1] 陈润东. 复杂地势环境下地质工程桩基施工技术研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(3):5-8.
- [2] 周佐健. 复杂地质条件下旋挖钻孔抗滑桩施工技术及其工程应用研究[J]. 四川水利, 2024, 45(S01):17-21.
- [3] 韩玉成. 复杂地质条件下桥梁钻孔灌注桩设计及施工关键技术研究[J]. 工程建设与设计, 2024(9):227-229.
- [4] 陈子铜, 甄玉辉. 咬合桩技术在复杂地质条件下建筑施工中的应用研究[J]. 安家, 2024(5):67-69.
- [5] 苟泽东, 简正, 杜海明, 等. 复杂岩溶地质条件下零沉渣桩基施工关键技术研究[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(13):60-64.

作者简介:王春晔,1991年06月,男,山东淄博人,汉族,本科,工程师,研究方向:施工技术质量管理。