

高桩码头预制桩沉桩偏位防治技术

李诗元

浙江省围海建设集团舟山有限公司 浙江 舟山 316000

【摘要】：高桩码头由于结构适应性好、施工周期短、造价低等特点，在沿海和内河港口工程中得到了广泛的使用。预制桩沉桩是高桩码头施工的关键工序，桩位精度影响码头桩基承载力、结构稳定性和后续上部结构施工质量。水上施工环境复杂，水文、地质、施工设备、操作工艺等多重因素叠加，很容易造成沉桩偏位问题，从而产生桩基受力不均、承台安装困难、结构耐久性下降等质量隐患。本文根据港口工程现场施工经验，对预制桩沉桩偏位的主要原因进行梳理，在施工前期准备、沉桩过程控制、后期纠偏补强三个阶段提出成套的偏位防治技术，并总结出标准化施工控制要点，可以为同类高桩码头预制桩施工质量控制提供技术参考。

【关键词】：高桩码头；预制桩；沉桩偏位；质量控制；防治技术

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.034

引言

高桩码头属于港口水运工程的主要结构形式，预制混凝土桩是其主要承重构件，具有工厂预制质量好、现场施工快的优点，适用于各种水域地质条件^[1]。沉桩施工为桩基工程重要部分，桩体平面位置及垂直度控制准确，是保证码头总体结构安全及使用性能的前提^[2]。水上沉桩受风浪、潮流、水位变化的影响比陆地桩基施工大得多，地质土层分布不均匀、施工设备精度偏差、人员操作不规范等问题，都会造成桩体出现水平偏移、桩身倾斜等偏位缺陷^[3-4]。轻微偏位会增大上部承台、梁板安装的难度，大幅度改变施工工序；严重偏位会扰乱桩基受力体系，引起局部应力集中，降低桩基竖向、水平承载能力，长期运行时容易产生结构开裂、沉降变形等病害，影响码头的使用年限^[5]。因此对沉桩偏位成因进行分析，采取全过程的防治技术措施，是提高高桩码头桩基施工质量的关键所在。

1 沉桩偏位主要类型及工程危害

1.1 主要偏位类型

根据高桩码头施工验收标准和现场实测数据，预制桩沉桩偏位分为两种。平面位置偏移指的是桩体的实际桩位与设计坐标之间存在着水平方向的偏差，分为单向偏移和双向偏移，施工现场中出现的最为普遍的是单向偏移。二是桩身垂直度偏差，沉桩后桩体轴线与设计垂直轴线不垂直，斜桩施工时容易造成倾角偏差，造成桩顶、桩底双向偏移。两种问题常常同时出现，并且互相影响，从而加重桩基成型质量的缺陷。

1.2 工程主要危害

沉桩偏位会带来码头工程质量和施工进度的多方面不良影响，也会给运营安全造成不良影响。桩位偏移会破坏桩基的受力均衡性，单个桩受力超过设计允许值，减小了桩基的整体承载能力和抗倾覆能力，码头在营运期遭遇船舶撞击、货物荷载以及风浪荷载的时候，容易引发不均匀沉降。桩位偏差过大，会使得后续的承台、系梁、面层结构不能准确地对接在一起，

需要现场对结构尺寸进行调整、修改施工方案，加大工程成本和工期压力。最后长期受力不均会造成桩身开裂、结构连接处破损等病害，降低码头结构的耐久性，增大后期的维修保养费用。

表1 沉桩偏位类型及危害汇总

偏位分类	细分类型	主要特征	工程危害
平面位置偏移	单向偏移	仅单一水平方向偏离设计桩位	桩基受力失衡，整体承载、抗倾覆能力降低，易产生不均匀沉降
	双向偏移	横竖两个水平方向同时出现位移偏差	结构对接错位，需整改施工，增加造价与工期损耗
桩身垂直度偏差	竖直桩垂直度偏差	桩体轴线偏离设计竖直线	桩身应力集中，易出现开裂破损
	斜桩倾角偏差	斜桩倾斜角度不符合设计要求	加剧桩位双向偏移，结构耐久性大幅下降，后期维修费用增加

2 预制桩沉桩偏位成因分析

2.1 水文地质条件因素

水域施工环境的不确定性属于造成沉桩偏位的最主要自然原因。沿海港区土层分布复杂，表层多为淤泥、粉土等软弱土层，土层厚度、密实度不均，沉桩时桩尖受力不均，很容易向土层薄弱侧偏移。在一些地质条件比较复杂的地区，比如夹层、孤石、硬土层突变等，当桩体下沉遇到这些局部阻力突然

发生变化的时候,会立刻改变下沉的轨迹,造成桩身出现倾斜或者桩位发生偏移的情况。施工水域的潮流、风浪、水位的变化都会不断影响到桩体。沉桩时水流不断冲刷桩身,使悬空桩体产生水平位移,风浪扰动造成打桩船、施工平台小幅度晃动,破坏沉桩稳定性,高低水位交替变化会使桩体入水深度和受力状态发生变化,增大偏位风险。

2.2 测量定位精度因素

测量定位是沉桩施工的前置工序,测量误差是桩位偏位的人为基础诱因。施工前期控制点布设不合理、坐标及水准基点复核不到位,会造成原始定位数据有系统性偏差。水上测量作业视线、通视条件受限制,GPS定位设备没有及时校准、参数设置不合理或者没有做多点位比对校核,都会造成桩位放样精度不够。另外部分施工现场没有实行测量双检制,单人一次完成放样工作,存在漏检、错检现象。沉桩过程中没有实时观测桩位变化,不能及时发现细微的偏移,最终造成桩位偏差越来越大,超过了规范所允许的范围。

2.3 施工设备状态因素

打桩船、桩架、锤击设备的工作状态对沉桩精度有影响。桩架长期使用会存在结构变形、轨道磨损、垂直度调节机构卡滞等状况,造成桩架自身倾斜,不能保证桩体垂直下沉。打桩船锚泊系统固定不牢,在风浪、水流的作用下,船体微小的移动就会使桩体整体偏移。桩垫、锤垫磨损不均,锤击时冲击力不均,会使桩身受力不均而倾斜。吊桩设备选型不恰当,吊点布置不合理,起吊时桩身弯曲变形过大,摆动幅度过大,立桩入龙口时初始位置偏差超限,给后续沉桩偏位埋下隐患。

2.4 施工工艺操作因素

施工工艺不合理、操作人员技术水平低,都是造成沉桩偏位的主要人为因素。吊桩立桩阶段,没有按照桩长设置吊点,短桩不采用两点吊、长桩不规范设置多点吊,吊索夹角过小,桩身稳定性差,立桩时桩尖不准确对准定位基点,初始偏差没有及时纠正。沉桩时锤击工艺不合理,初始锤击力大、锤击频率高,桩尖不能慢慢贯入土层,受土层阻力突变影响很快偏移。遇到溜桩、贯入度突然变化等情况下,操作人员没有立即停止工作并改变施工参数,继续锤击加重了桩位的偏移。斜桩施工时,没有准确控制桩体倾角,桩架角度调节误差造成斜桩偏位现象经常发生。

3 沉桩偏位综合防治技术措施

3.1 优化前期勘察与施工准备

准确做好前期准备工作是防止沉桩偏位的基础。施工前应开展水域地质勘察工作,加密勘察点位,准确查明施工区域土层分布、厚度、密实度、孤石、夹层等不良地质情况,根据地质数据优化沉桩顺序、锤击参数和桩位预留偏差量,对软弱土层、不均匀土层制定专项施工方案。加强水文环境监测,实时

获取施工水域的潮流、风速、水位等信息,在风浪较平稳、水流流速小的时候进行沉桩作业,避开大风、涨落潮高峰期。提前加固打桩船锚泊系统,加设定位锚和稳定缆绳,减小船体晃动和位移,保证施工平台的稳定。严格做好测量控制工作,复核施工现场坐标、水准控制点,设置永久性防护标志,防止控制点被破坏。采用GPS动态定位和全站仪复核相结合的方式进行施工,施工前对设备进行校准以及多点位比对,严格控制定位参数误差。全面落实测量双检制,放样、复核、验收分层控制,保证桩位放样数据准确无误。

3.2 规范现场施工工艺管控

严格规范吊桩、立桩、沉桩全过程工艺,从操作源头控制偏位问题。根据桩长合理设置吊点,桩长小于二十八米用两点吊装,二十八米到三十五米区间用三点吊装,吊索与桩身夹角不小于六十度,起吊时用缆绳稳定桩身,控制桩身摆动幅度,防止桩体变形、偏移。立桩时精确对位,桩尖定位误差不超过规范允许的范围之内,保证桩身稳固之后再进入龙口。优化沉桩锤击工艺,按轻锤慢击、循序渐进的要求进行操作,初始阶段使用小锤击力、低频率的工作方式,使桩尖慢慢贯入土层,保证桩体下沉的轨迹稳定。待桩身入土深度达到一定值、稳定后,再逐渐加大锤击力和锤击频率。沉桩过程中及时对桩位、垂直度的变化进行检测,每隔一定锤击次数对桩体的参数进行检测,发现微小的偏差就立即改变锤击的方向和施工参数,及时纠正偏差。

针对斜桩施工偏位高的问题,在施工前准确测量出桩架的倾角,根据设计斜度选择相应的斜度,施工时对桩架倾斜情况加以控制,保证桩架不会出现偏移造成桩体偏位。遇有溜桩、土层阻力突变等情况时,立即停止锤击工作,对现场工况进行分析并修改施工方案,待桩身稳定后再继续施工。合理安排沉桩顺序,按由远及近、由深到浅的原则进行施工,减小已成桩体对后面施工的挤压扰动。

3.3 强化施工设备运维管控

建立施工设备常态化检修校准制度,保证设备运行精度。施工前对桩架结构进行全方位的检查,校正桩架垂直度,修整磨损的轨道和卡顿的调节机构,防止由于桩架变形造成施工误差。定期对锤击设备、桩垫、锤垫进行检查,更换磨损、变形的配件,保证锤击力均匀传递,防止桩身受力不均出现偏移。打桩船作业前做好精准定位锚泊,根据水域水流、风浪情况调节锚绳张力,固定船体位置,施工时对船体位移进行实时监测,发现微位移及时调整校正。定期对GPS定位、全站仪等测量仪器进行校准,防止由于仪器精度降低导致系统性桩位误差,保证施工全过程设备的正常运转。

3.4 偏位后纠偏与补强技术

根据施工过程中出现的沉桩偏位情况,结合沉桩偏位数

值、桩身完整性及地质状况，分等级进行纠偏、补强，保证桩基达到设计及规范要求。

轻微偏位且在规范允许范围内桩体，不需要进行大幅度的整改，通过微调上部承台、系梁结构尺寸来优化桩顶连接节点构造，适应桩位偏差，保证上部结构准确对接，并做好桩位数据记录备案。

中等偏位桩体，桩身完整，无裂缝、破损，用千斤顶顶推纠偏。在桩体上反向设限位支撑，用千斤顶慢慢顶推桩身，逐步校正桩位和垂直度，纠偏时全过程监测桩身应力和变形，防止强行纠偏造成桩身开裂。纠偏完成后静置养护，复核桩位精度，达标后方可进行后续施工。

严重偏位桩体，桩位偏差超限、桩身有损伤或者承载力不够的，应采取补强加固或者补桩的方式进行处理。在偏位桩周围增设辅助桩基，用注浆加固桩周土体来提高桩基整体承载力和稳定性。如果偏位缺陷不能进行修复，就要废弃原桩重新沉桩，严禁不合格的桩基进入工程使用。所有的纠偏补强工作结束后，必须做桩基承载力检测，保证桩基受力性能符合设计要求。

3.5 完善现场施工管理制度

创建起全过程质量管控体系，并且明确各个岗位的施工质量责任。施工前进行专项技术交底，明确不同的地质、桩型、水文条件下施工参数、操作标准和偏位控制要点，提高操作人员的专业能力。落实班组自检、项目部复检、监理验收三级质检制度，沉桩前、沉桩中、沉桩后分层检查桩位精度，做到问题早发现、早整改。改善施工排班制度，避开不良水文气象状

况下的施工，削减自然环境对沉桩精确度造成的干扰。建立施工数据台账，对每根桩的施工参数、桩位偏差、整改情况加以记载，从而达成施工过程可追溯的目的。在传统施工工艺的基础上加入信息化施工技术，用三维建模模拟沉桩施工过程，预测桩位偏移情况，及时调整施工方案，提高偏位控制的效果。



图1 全过程质量管控体系

4 结论

高桩码头预制桩沉桩偏位是由水文地质、测量定位、施工设备、工艺操作、现场管理等各方面因素共同造成的一种质量缺陷，影响到码头桩基质量以及结构安全。水上沉桩施工要摒弃事后整改的被动管控模式，创建起前期预防、过程严格控制、事后纠正的全过程防控体系。经过细化地质和水文勘察、精准测量定位、规范施工工艺、加强设备运维、分级纠偏补强、完善管理制度等综合技术手段的使用，可以很好地解决预制桩沉桩偏位问题，大幅度提高桩位施工精度，保证桩基受力性能及结构稳定。本文总结出的防治技术符合现场施工实际情况，流程清楚、操作性强，可以提高高桩码头桩基施工质量，减少工程质量隐患和运维风险，可以给类似水运工程施工质量控制提供可靠的参考。

参考文献：

- [1] 吴宇.基于 ABAQUS 的高桩码头装配式节点结构受力特性研究[D].安徽理工大学,2025.
- [2] 王威.交通水运工程高桩码头预制桩沉桩质量的监理把控[C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024 新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集（五）.江苏中源工程管理股份有限公司镇江分公司,;2024:133-134.
- [3] 朱春来.高桩码头大直径 PHC 预制管桩水上沉桩施工质量控制方法研究[J].散装水泥,2023,(01):29-31.
- [4] 阮寅锴.浅析港口工程预制桩沉桩工艺及溜桩的质量控制[J].福建交通科技,2019,(04):111-113+135.
- [5] 陈立,舟山群岛恶劣海况条件下高桩码头快速施工技术研究.广东省,中国铁建港航局集团有限公司,2019-04-23.