



罗泾煤炭码头拆除后桩位探测技术研究

陈永豪¹, 严 凯²

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080)

摘要: 由于早期码头桩基施工技术不足导致沉桩精度差, 原桩位探测对于高桩码头的改扩建工程变得至关重要。以上海港罗泾港区煤炭码头为例, 深入分析原码头拆除桩和保留桩参数的探测技术。在实际探测中, 采用无人机搭载激光雷达和无人船搭载多波束系统对水下桩位进行探测, 利用全站仪对保留码头部分桩位进行测量, 结合建模、测量、计算等方法, 精确获取桩位信息。研究得出结论: 建设年代久远的码头改建工程应进行原桩位探测分析以支持新桩位布设; 大规模拆除后, 无人机和无人船探测速率快、精度高; 未拆除的码头面板及设备对水下探测干扰大; 保留桩基数据可用全站仪测量, 虽效率低但修正后精度高。这些结论为码头原位改扩建工程的新桩位设计提供了可靠的基础数据依据。

关键词: 高桩码头改建; 原桩位探测; 桩基拆除; 碰桩

中图分类号: U655.55

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0113-06

Pile positions detection technology after demolition of coal terminal in Luojing

CHEN Yonghao¹, YAN Kai²

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. Shanghai International Port(Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China)

Abstract: Given the insufficient construction technology of the early wharf pile foundation, which led to poor pile driving accuracy, the detection of original pile positions has become crucial for the reconstruction and expansion projects of high-pile wharfs. Taking the coal terminal in Luojing port area of Shanghai Port as an example, this paper conducts an in-depth analysis of the detection technology for the parameters of the dismantled and retained piles in the original wharf. In practical detection, unmanned aerial vehicle (UAV) equipped with a laser radar and unmanned ships equipped with multi-beam system are used to detect the underwater pile positions. Total stations are employed to measure the pile positions of the retained parts of the wharf. By combining modeling, measurement, and calculation methods, the pile position information is accurately obtained. The research concludes that the reconstruction projects of wharfs with a long construction history, the original pile position detection and analysis should be carried out to support the layout of new pile positions. After large-scale demolition, UAVs and unmanned ships offer fast detection rates and high precision. The undemolished wharf deck and equipment cause significant interference and low precision in underwater detection. Data on retained piles can be measured using a total station, which may have low efficiency but high precision after correction. These conclusions provide a reliable basis for the design of new pile positions in wharf reconstruction and expansion projects at their original sites.

Keywords: reconstruction of high-pile wharf; original pile position detection; pile foundation demolition; pile collision

随着我国港口行业的高质量发展, 对港口码头的运输能力要求越来越高, 八九十年代的码头已经无法满足现阶段运力需求, 码头类型

也亟需转换, 促进经济发展的同时, 还要提倡资源节约利用, 因此码头改建扩建工程是目前我国港口发展的主要方向。在改建过程中, 准

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 陈永豪(1989—), 男, 工程师, 从事水运工程设计工作。

确获取原码头桩位信息对于新桩位的布设至关重要,但目前对于老旧码头桩位探测的研究还相对较少。

目前,对于码头桩位探测的研究主要集中在传统测量方法的应用和改进上。例如,许立^[1]以舟山某项目为例,介绍了传统全站仪测量技术在高桩码头桩位测量中的应用。全站仪测量技术在码头桩位测量中应用广泛,但其效率较低,且受环境因素影响较大,水下桩体顶面距离水面还有一定深度的情况下,桩体在水下的形态完全被海水隔断,无法借助常规的光学测量方法对其状态进行监测。近年来,随着无人机和无人船技术的发展,其在水下地形探测中的应用逐渐受到关注。夏显文等^[2]介绍了多波束在水下桩体点云获取中的应用。无人机搭载激光雷达可以快速获取水上构筑物的三维信息,而无人船搭载多波束系统则能够精确测量水下地形。然而,这些技术在码头桩位探测中的应用还处于探索阶段,尤其是在复杂环境下(如部分拆除的码头结构)的探测精度和可靠性方面还需要进一步研究。

本文以上海港罗泾港区原煤炭一期卸船码头拆除工程为背景,分析研究原码头桩位探测技术,综合应用无人机搭载激光雷达和无人船搭载多波束系统进行水下桩位探测,提高了探测速率和精度。针对未拆除码头面板对水下探测的干扰问题,提出了采用全站仪测量保留桩基数据的方法,并通过修正提高了测量精度。通过实际工程案例,验证探测技术的有效性和可行性,精确获取桩位信息,为新桩位的布设提供可靠的数据支持,为老旧码头改建工程提供技术方案。

1 工程概况

上海港罗泾港区原煤炭一期卸船码头为 2 个 3.5 万吨级泊位,工程于 1993 年开工,1997 年竣工验收,总长度为 442.00 m,宽度为 26.00 m,高桩梁板结构,排架间距为 13 m,桩基为 600 mm×600 mm 的预应力钢筋混凝土方桩,共计 672 根^[3]。原煤炭一期卸船码头下游为二期卸船码头,上游岸侧与直取码头通过连接桥相连,下游岸侧与变电所平台、皮带机栈桥、引桥相连,见图 1。

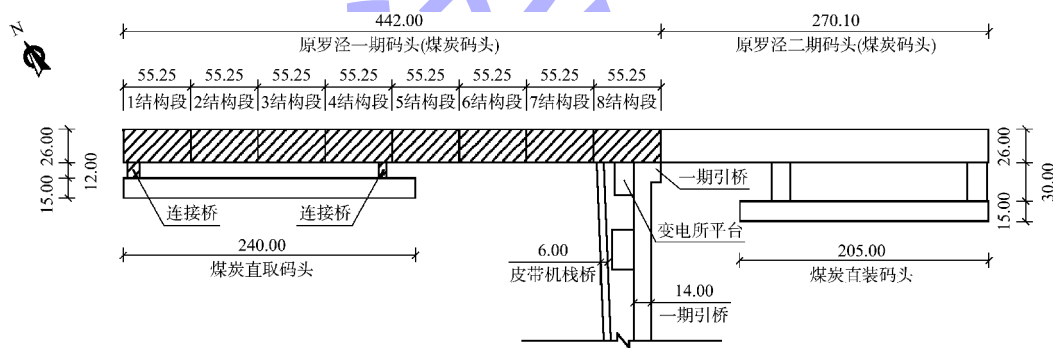


图 1 原煤炭一期卸船码头平面布置 (单位: m)

Fig. 1 Layout plan of original phase I coal unloading wharf (unit: m)

为推进集装箱码头建设,上港集团将原煤炭一期卸船码头原位改建成 10 万吨级集装箱码头,原煤炭一期卸船码头、皮带机栈桥、变电所平台等结构无法利用,需拆除后重新建设^[4]。新建码头同样为高桩码头,新建桩位须在原桩位的基础上进行布设,因此原方桩桩位参数必须十分精准。由于原码头时代比较久远,施工技术较为落后,现存竣工资料为手绘版图纸,较为陈旧,现有水下近 700 根方桩的真实面貌难以呈现,见图 2,需

对原有桩位进行重新测量,得到精确的桩位信息后,再进行桩基拆除。

近几年,原煤炭一期卸船码头岸侧后方新建了直取码头,采用连接桥结构联通 2 个码头,下游新建了煤炭二期码头。该次改建工程中,这些码头由于建成时间较短,予以保留。保留结构的部分斜桩也会对新建码头的桩位布设产生影响,因此这些保留桩也必须进行桩位测量。



图 2 原码头面板拆除后出露的原桩位
Fig. 2 Original pile position exposed after demolition of the original wharf panel

2 拆除桩探测技术

2.1 码头现状

2016 年，原煤炭一期卸船码头前沿下方为填深槽进行了抛石施工，现已被淤积土体覆盖。码头后方与直取码头之间有 2 座联系桥，面积分别为 192 和 180 m²，为高桩梁板结构，桩基为 600 mm×600 mm 的预应力钢筋混凝土方桩。码头前沿现状泥面高程为-12.7 m，拆除范围 26 m 宽码头与部分连接桥，见图 3。

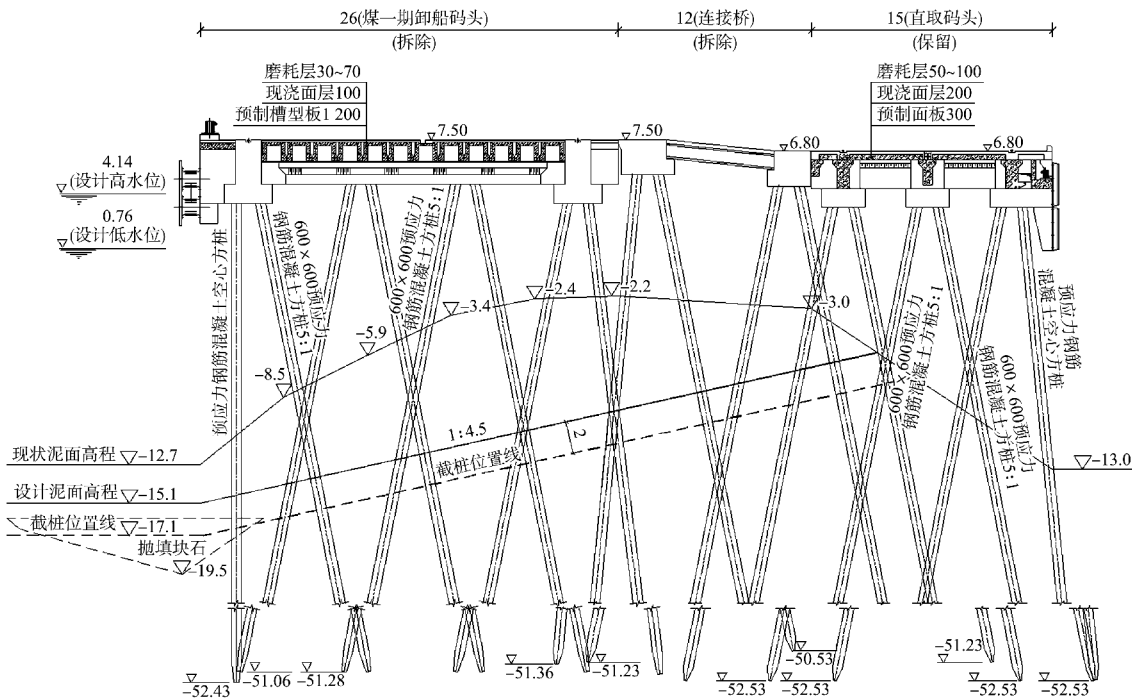


图 3 原煤炭一期卸船码头拆除断面（单位：m）
Fig. 3 Demolition cross-section of original phase I coal unloading wharf (unit: m)

2.2 桩位实测内容

在码头拆除前、后，对原煤炭一期卸船码头、连接桥、变电所平台、引桥和皮带机栈桥端部等水下桩位进行三维扫描测量。该次共测量卸船码

头一期 648 根、直取码头联桥 32 根、变电所平台 34 根、一期引桥 10 根、皮带机栈桥(二期引桥) 53 根，共计 777 根基桩。

2.3 桩位探测设备

表 1 探测设备
Tab. 1 Detection equipment

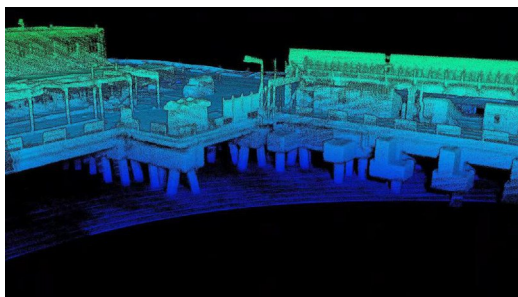
系统名称	设备名称	型号	主要技术指标	用途
多波束系统	多波束测量系统	NORBITWBMS	中心频率 400 kHz, 支持 200~700 kHz 可调; 垂向精度<10 mm;纵横摇精度 0.01°	水下地形探测
	多波束测量软件	Qincy	-	数据采集
	惯导系统	POS MV	40 mm/375 kHz;30 mm/610 kHz	导航定位
三维激光	三维激光扫描系统	Echoscope	相对精度<3 cm;绝对精度<5 cm	水上构筑物三维扫描
水上交通	无人船	华微 6 号	多波束测量	搭载多波束系统
无人机	无人机	大疆经纬 M300	-	搭载激光雷达

2.4 桩位探测方法与原理

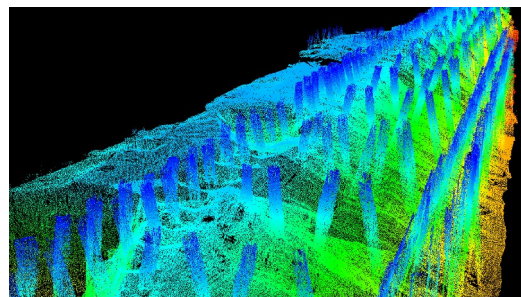
基本方法：根据 JTS 131—2012《水运工程测量规范》^[5]、JT/T 790—2010《多波束测深系统测量技术要求》^[6]相关要求，在低潮位时用无人机搭载激光雷达对水面以上桩位进行探测；在高潮位时用无人船搭载多波束系统对水下桩位进行探测。此方法在工程中已有较多实例可以参考^[7]。

工作原理：1) 无人机激光雷达系统^[8]主要由无人机、GNSS(全球卫星导航系统, global navigation satellite system)导航系统、惯导系统、飞行控制系统、激光雷达、测绘相机和地面控制系统组成, 使用小型无人机作为飞行平台。无人机激光雷达技术是一种主动式测绘地表空间信息的技术手段, 通过主动发射激光脉冲, 获取探测目标反射回来的信号并处理得到地表目标的空间信息。其能够实时生成真彩点云, 通常单架次飞行可快速获取 2 km² 的点云数据。和传统人工测量技术手段相比, 大幅减少了工作量, 缩短测量时间, 降低观测难度, 提高工作效率。

2) 多波束测深系统^[9]的工作原理是利用发射换能器阵列向海底发射宽扇形覆盖的声波, 利用接收换能器阵列对声波进行窄波束接收, 通过发射、接收扇形声波, 形成对海底地形的照射“脚印”, 对这些“脚印”进行处理, 一次探测就能测出垂直于航向垂面内上百个甚至更多的海底被测点的水深值, 从而能够精确、快速地测出沿航线一定宽度内水下目标的大小、形状和高低变化, 可靠地描绘出海底地形的三维特征, 见图 4。



a) 水上雷达探测点云效果图



b) 水下多波束探测点云效果图

图 4 探测效果图

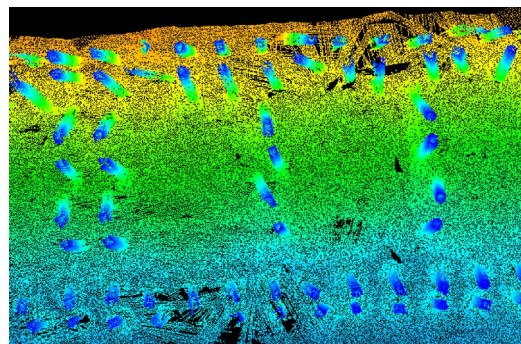
Fig. 4 Bathymetric survey visualization diagram

2.5 拆除工程对桩位探测的影响

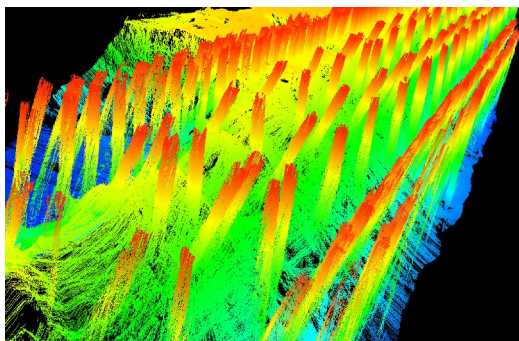
桩位探测时码头面板拆除工作刚开始进行, 面板拆除范围长度约 92 m, 宽度约 26 m。未拆除的码头面板对无人船接收信号产生影响, 无人船的定位系统受到严重干扰, 无人船在穿越码头下方时定位基本靠惯导, 但是穿越距离过长导致惯导精度下降严重、探测精度不足。同时码头上堆放大量拆除钢筋, 对船体惯导精度也会产生严重影响, 导致部分探测数据精度不足。

2.6 面板拆除后全面探测

当码头面板全部拆除后, 对所有桩位进行二次探测, 同时采用 GPS PPK 技术(载波相位事后差分定位技术), 架设基站, 在 PPK 模式下基准站和移动站之间不需要实时链路, 不会受到链路干扰或者直接中断的影响, 在 PPK 模式加持下无人船探测数据更稳定、可靠。第 2 次探测数据稳定, 后处理时噪点少, 桩位形状清晰, 数据提取精度高, 见图 5。



a) 效果图1



b) 效果图2

图 5 二次探测点云效果图

Fig. 5 Visualization diagram of secondary detection point cloud

2.7 探测桩基结果

探测范围内原设计方桩总数为 777 根, 两次探测结果均为 766 根, 共缺失 11 根桩。缺失桩即泥面以上未探测到桩位信息的桩, 按照原设计图纸, 缺失的桩全部位于原煤炭一期卸煤码头取水房区域内, 其余 766 根桩均取得实际的转角、斜度信息。

3 保留桩探测技术

当码头面板保留时, 会对设备的信号产生严重干扰, 水下探测的数据精度不足, 因此对于保留码头的部分桩位信息无法采用多波束的探测方式, 只能采用全站仪进行逐根测量。

测量原理^[10]是根据原桩的上下截面测量的坐标、高程来计算桩的斜度以及扭角。测量方法利用全站仪采集原桩顶部截面位置的三维坐标及高程, 在低水位时, 采集底部截面的三维坐标及高程, 测量露出水面的桩长越长误差越小。将数据导出到 CAD 软件中确定两个截面的中心位置, 计算出两截面高差及平面距离, 即可求出桩基斜度。再根据竣工图中各原桩桩长以及实测的顶面坐标和斜度, 可以确定桩底的实际位置, 导出至 CAD 软件形成实测桩位。最后代入码头控制点坐标系中, 测量出原桩实际转角。

对码头保留结构下桩位探测, 采用全站仪进行桩位实测是一种可行的技术方案, 测量精度尚可, 通过全站仪多方位测量, 对实测数据进行修正后, 测量精度可达到 5 cm 以内。但该方法实际

操作过程中难度较大, 需要测量人员逐根测量; 想要测量到精准数据, 尽量趁低水位测量, 并增设较多控制点; 部分斜度较大原桩可能位于保留码头中间位置, 实际测量时没有合适的测量方位。因此部分实测桩位数据精度较差。

针对测量难度大导致测量精度不足的保留桩位, 可利用无人船搭载多波束系统, 对此桩位数据进行补充修正, 从而得出较高精度的桩位实测数据。

4 新桩位布设与沉桩结果

为了最大程度降低老码头结构对新建项目的影响, 老码头上部结构被全部拆除, 共计 766 根桩基拆除至设计泥面高程, 泥面以下的桩身因施工难度等原因无法拆除, 仍保留在地基中。在新建码头工程中, 共布设桩基 721 根, 相较于常规高桩码头, 其桩位布设面临更多挑战, 不仅要充分考虑设计需求、打桩可行性以及碰桩的影响, 还需兼顾地基中残余的 766 根老桩以及未拆除的保留桩的影响。

得益于桩位探测技术提供的精确测量数据, 通过建立精准的模型, 准确布置了 721 根新桩的位置。在实际沉桩施工过程中, 仅有 5 根桩基受到残余老桩的影响, 出现打桩偏位超过规范允许值的情况, 占比仅为 0.7%, 经过现场高应变检测显示, 桩基承载能力及完整性满足设计要求, 后续通过针对性的调整桩帽尺寸, 彻底消除了偏位对码头结构的整体影响。经过 100 d 的紧张施工, 504 根 PHC 桩和 217 根钢管桩, 共计 721 根桩顺利完成沉桩, 且沉桩工期比既定日期提前 20 d, 显著提升了施工效率, 为后续工程的顺利开展奠定了坚实基础。沉桩现场见图 6。



图 6 沉桩现场

Fig. 6 Pile foundation installation at the site

5 结语

1) 原桩位探测的重要性: 对于建设年代久远、竣工资料匮乏且施工技术落后的码头改建工程, 必须对原码头的桩位进行探测分析, 以支持新桩位的布设。这为新码头的设计提供了必要的基础数据。

2) 无人机和无人船探测技术的有效性: 在大规模的码头面板拆除后, 可以采用无人机搭载激光雷达和无人船搭载多波束系统对水下桩位进行探测。这些技术具有探测速率快和精度高的特点, 为码头改建提供了高效的技术手段。

3) 未拆除结构的干扰影响: 未拆除的码头面板以及码头面上方的钢筋堆料和设备对水下多波束探测设备干扰较大, 导致测量精度不足。

4) 全站仪测量在保留桩探测中的应用: 对于保留码头下方的桩基数据, 可以采用全站仪逐根测量, 虽然该方法效率较低, 但经过修正后的数据精度可以达到 5 cm 以内, 为新桩位的布设提供了可靠的参考。

5) 技术方案的可行性和创新性: 研究为码头改扩建工程中的桩位探测提供了创新性的技术方案, 有效解决了老旧码头桩位探测的难题。研究成果对我国类似港口码头的改、扩建工程具有重要的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 许立. 高桩码头桩位测量工艺探讨[J]. 珠江水运, 2024(15): 132-134.
XU L. Discussion on pile position measurement technology for high-pile wharves [J]. Pearl River water transport, 2024(15): 132-134.
- [2] 夏显文, 戴光耀, 金程晔. 多波束在水下桩体点云获取中的应用[J]. 水运工程, 2024(10): 212-217.
XIA X W, DAI G Y, JIN C X. Application of multi-beam in underwater pile point cloud acquisition [J]. Port & waterway engineering, 2024(10): 212-217.
- [3] 陈洪钧. 上海港罗泾煤码头水工结构设计[J]. 水运工程, 1999(1): 12-14.
CHEN H J. Hydraulic structural design of Luojing coal wharf at Shanghai Port [J]. Port & waterway engineering, 1999(1): 12-14.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司. 上海港罗泾港区集装箱码头改造二期工程初步设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Preliminary design of phase II reconstruction of the container terminal in Luojing port area of Shanghai Port [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [5] 水运工程测量规范: JTS 131—2012[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
Specifications for port and waterway engineering survey: JTS 131-2012[S]. Beijing: China Communications Press, 2012.
- [6] 多波束测深系统测量技术要求: JT/T 790—2010[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
Technical requirements for multibeam sounding system surveying: JT/T 790-2010[S]. Beijing: China Communications Press, 2010.
- [7] 马艳冰, 姚瑞. 水上水下一体化三维扫描数字建模技术在河湖管理中的应用分析[J]. 治淮, 2024(10): 33-35.
MA Y B, YAO R. Application and analysis of 3D scanning digital modeling technology of water and underwater integration in river and lake management [J]. Harnessing the Huaihe River, 2024(10): 33-35.
- [8] 段伟, 陈田, 骆正坤, 等. 无人机在桩位偏差检测中的应用研究[J]. 中华建设, 2021(1): 111-114.
DUAN W, CHEN T, LUO Z K, et al. Application of unmanned aerial vehicles in pile position deviation detection [J]. China construction, 2021(1): 111-114.
- [9] 周睿哲, 张帝, 陈家炜. 基于多波束扫描及 BIM 技术的高桩码头碰桩验算及调整优化[J]. 城市建设理论研究, 2025(6): 151-154.
ZHOU R Z, ZHANG D, CHEN J W. Checking calculation and adjustment optimization of pile collision of high-pile wharf based on multi-beam scanning and BIM technology [J]. Theoretical research in urban construction, 2025(6): 151-154.
- [10] 张瑞欢. 高桩码头钢管桩桩位的测量技术[J]. 工程建设与设计, 2021(3): 31-33.
ZHANG R H. Measurement technology of steel pipe pile position in high pile wharf [J]. Construction & design for project, 2021(3): 31-33.

(本文编辑 赵娟)