

· 施 工 ·



码头改造工程截桩和避碰沉桩技术

李润贤

(中交三航局第二工程有限公司, 上海 200122)

摘要: 上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程施工过程中, 需要将老码头下方部分桩基沿设计高程截除, 并在水下残桩保留的基础上, 于残桩间隙中打设新的桩基础。针对施工过程中存在截桩安全风险高、水下碰桩风险高等问题, 进行多项工艺比选、研究及实践对比, 最终采用潜水员配合截桩器的方法拆除老旧桩基, 降低了潜水员长时间位于水下作业的安全风险, 并合理运用“激光雷达扫描+三维建模”等新技术, 进行桩位半可视化预测, 指导桩基施工全过程调整。同时, 结合振动沉桩施工技术, 合理有效地规避了新老桩基碰撞难题, 工程桩基施工总体偏差合格率达 95% 以上。研究成果可为同类型老旧码头升级改造提供参考。

关键词: 码头改造; 桩基拆除; 桩基碰撞; 振动沉桩

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0235-06

Pile cutting and collision avoidance pile sinking technology for wharf renovation projects

LI Runxian

(No. 2 Engineering Co., Ltd. of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Shanghai 200122, China)

Abstract: During the construction process of the automated phase I container terminal renovation project in Luoqing port area of Shanghai Port, it is necessary to cut off the pile foundation below the old dock along the design elevation, and on the basis of retaining the underwater residual piles, new pile foundations should be installed in the gaps between the residual piles. In response to the high safety risks of pile cutting and underwater collision during the construction process, multiple process comparisons, research, and practical comparisons are conducted. Finally, the method of divers cooperating with pile cutters is adopted to dismantle old pile foundations, reducing the safety risks of divers working underwater for a long time. New technologies such as “laser radar scanning+3D modeling” are also reasonably used to conduct semi visual prediction of pile positions and guide the adjustment of the entire pile foundation construction process. At the same time, combined with the vibration pile driving construction technology, the collision problem between new and old pile foundations is reasonably and effectively avoided, and the overall deviation qualification rate of the engineering pile foundation construction reaches over 95%. The research results can provide a reference for the upgrading and renovation of similar old docks.

Keywords: wharf renovation; pile foundation demolition; pile foundation collision; vibration pile sinking

随着社会资源结构转型以及港口通航能力提升, 过去的煤炭等码头面临扩建升级转型^[1-4]。沉桩工程作为码头结构的基石, 在施工中至关重要。桩基拆除是改造工程中的一部分, 目前常用的拆

除方法包括爆破切割法拆除^[5]、绳锯切割拆除^[6-7]等, 基于施工安全性, 上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程采用截桩器即人工配合切割的方法。秉持合理利用的原则, 保留了部分桩基, 沉

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 李润贤(1997—), 男, 工程师, 从事港口工程施工技术管理工作。

桩施工受既有结构影响,在原有桩基施工^[8-9]控制基础上,结合碰桩验算^[10],提出“激光雷达扫描+三维建模”方法来避免新桩与既有结构的碰撞。

1 工程概况

上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程坚

持“绿色、智慧”理念,盘活岸线资源,将原煤炭作业区转型升级成超大型集装箱集散区,以提升上海国际航运中心能级。改造工程将原长442 m、宽26 m的煤炭一期卸船码头上部结构全部拆除,预应力方桩在设计港池底及岸坡下2 m以上全部截除。老码头结构及桩基截断位置线见图1。

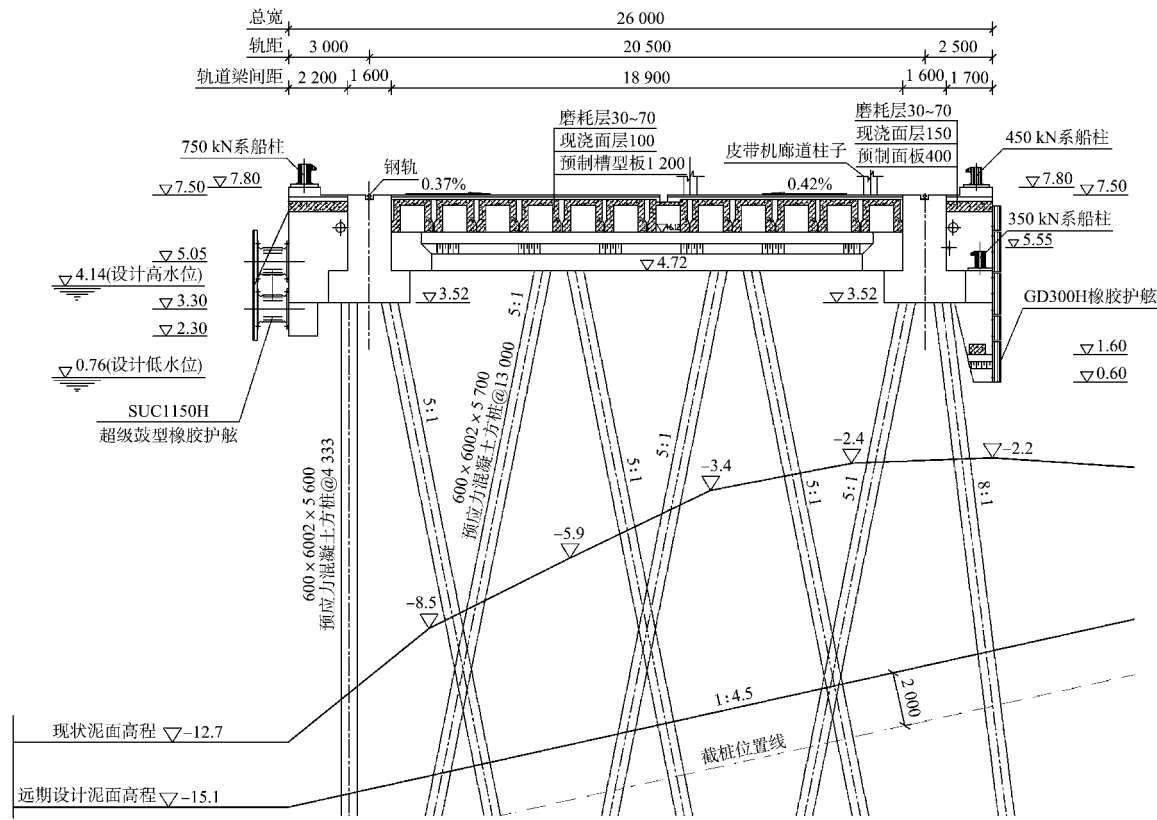


图1 原码头结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

Fig1 Cross-section of original wharf structure (elevation: m; dimension: mm)

拆除原码头结构后,新建长442 m、宽35 m的10万吨级集装箱码头,新建码头共8个结构段,每段长55.25 m。每个结构段排架间距6.5 m,每个排架下设置10根桩,前轨道梁下方打设

φ1 000 mm 钢管桩叉桩,后轨道梁下方打设φ1 000 mm PHC 桩叉桩,中间纵梁下方设置φ800 mm 钢管桩与φ800 mm PHC 桩叉桩。新建码头结构见图2。

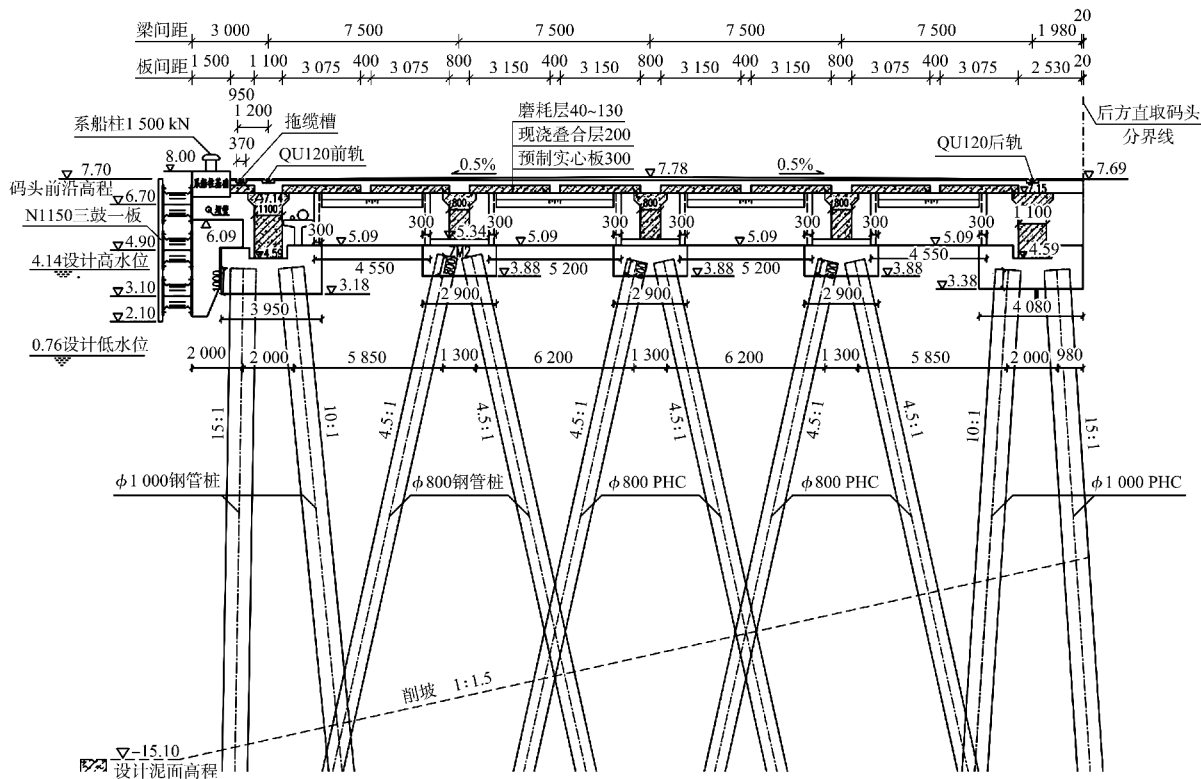


图 2 新建上游 10 万吨级码头结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)
Fig. 2 Structural section of newly built upstream 100,000-ton class wharf (elevation: m; dimension: mm)

2 桩基拆除

工程总体施工流向采用从码头前沿向后方进行拆除的方式,辅助施工流向采取上游往下游方式进行,拆除顺序为先码头、后引桥。

拆除码头上部结构后,拟采用 100 t 固定臂架式起重船、长臂挖机、潜水组及水下截除机械进行作业,进行码头截桩拆除施工。

起重船按照由码头上游向下游的顺序进行拆除。方桩的拆除方式主要有两种,一是用起重船将截桩器套入方桩中并松放到设定高程,由截桩器将方桩截断,再由潜水员潜入水下,将桩的钢筋割断;二是由船舶用钢丝绳固定后拖断,随后由潜水员携带装备下水切割钢筋,再由起重船将截断的方桩吊放至驳船上,利用汽车吊吊放至码头破碎区,最后采用镐头机进行破碎处理。

截桩器由抱桩、排泥、截桩 3 个单元构成。首先从桩基顶部开始抱桩,入水后采用高压喷头将覆盖于桩基周围的泥沙吹起,与水混为悬浮状,用泵抽出,截桩器不断下降直至截桩高程。切割

冲淤、清泥至设计高程、切割桩基,然后吊装至方驳,运回码头。截桩器结构见图 3。

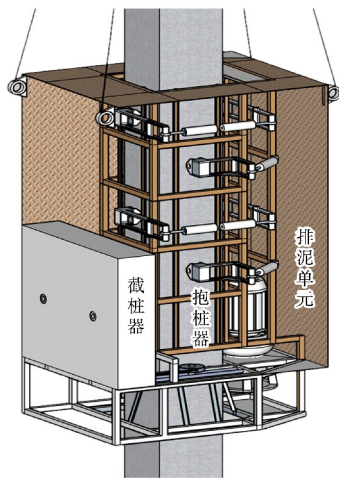


图 3 截桩器
Fig. 3 Pile cutter

3 新老桩碰桩分析

3.1 老桩数据采集

工前采用无人机雷达扫测、无人船多波束扫测技术,对老结构桩基参数进行采集。数据采集过程见图 4、5。在水上沉桩施工前,将最新三维

扫测与原竣工桩位图桩基参数、设计新桩桩基参数绘制在同一张平面图中,由于 2 组数据存在差异,在平面图中会产生一个相交的碰桩风险较高的伞形区域。先逐桩检查设计的新桩位是否在伞形区域内,对区域内桩的参数进行修改,通过调整新桩的斜率、扭角及采取仰、俯打方式来有效降低碰桩风险,并尽可能避开伞形区域。

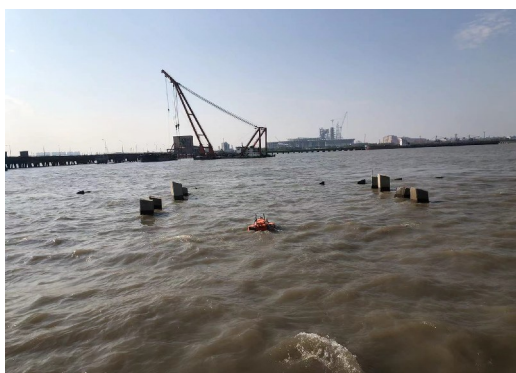


图 4 多波束水下扫测

Fig. 4 Multibeam underwater scanning and measurement

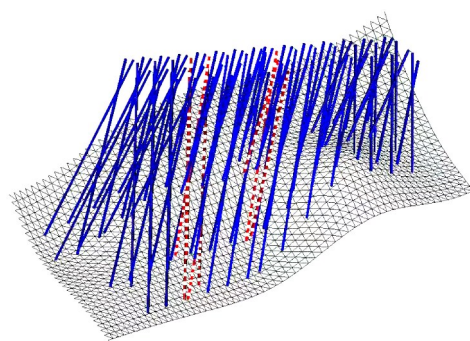


图 5 激光雷达扫测

Fig. 5 Lidar scanning and measurement

3.2 三维软件模拟计算碰桩

由于老桩错综复杂,新调整后的桩基离周围老桩间距较小,直接跨越或下穿多根老桩的情况多有发生,利用三维扫测数据建立三维模型进行复核,有效降低平面图中的误判风险。运用三维软件技术,输入桩基参数(扭角、斜率、桩长)及桩型。进行新桩与老桩的碰撞分析,发生碰撞的桩基,及时调整其平面坐标及桩基扭角、斜率,实现桩基碰撞的工前干预。新桩三维模型见图 6。



注:“---”代表此桩有碰撞风险。

图 6 新桩三维建模

Fig. 6 Three-dimensional modeling of new piles

4 沉桩施工

4.1 沉桩顺序

因项目老桩较多,新桩位布置受限,往往只能有唯一桩位布置方式,此情况下常规打桩船无法施工。为此,现场采用全回转海力 801 打桩船,综合考虑施工工况以及船机设备性能,801 打桩船的施工顺序依次为:直取码头接长段部分桩基→上游 10 万吨级码头背面 1 万吨级码头靠近引桥端部部分桩基→上游 10 万吨码头靠近引桥端部部分桩基→下游 10 万吨级直装码头与引桥相接段部分桩基→上游 10 万吨码头剩余全部桩基→下游 10 万吨码头前沿加强段桩基。标号顺序依次为:801-1→801-2→801-3→801-4→801-5→801-6→801-7→801-8,见图 7。

通过合理的打桩顺序排布,规划船机布置,能够有效避免沉桩过程中船机设备与现有结构、已完成桩基之间的相互影响,有效避免碰撞。

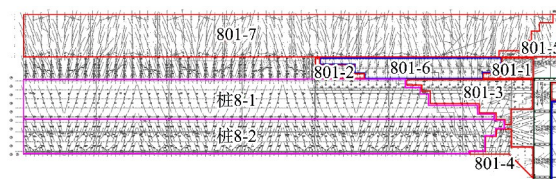


图 7 上游码头施工区域沉桩流水作业平面

Fig. 7 Pile sinking flow operation layout in upstream wharf construction area

4.2 空间受限区域沉桩

全回转打桩船进场后,结合现场实际情况以及碰撞结构分析,对下游 10 万吨级码头加宽段及

原直装码头接长段部分钢管桩进行了调整。在海力 801 可施工且不会影响后续沉桩的情况下,对该区域 30 根钢管桩进行了优化,调整为 PHC 管桩,降低了项目投资。

经统计,实际沉桩中共有 14 根钢管桩在下沉过程中遇到障碍物后移位或沉桩过程中贯入度异常,经测量,到位后的钢管桩相对原桩位偏移量最大达到 77 cm。沉桩异常情况除集中出现在前期预估的净间距小于 400 mm 及无补桩空间的区域,个别理论空间较多的区域也有发生。

经分析,由于原结构未拆除,测量仪器的数据信号受较大影响,虽然采用较为先进的三维扫测技术进行桩位测量,也难免产生一定的测量误差。测量无人机由于需要横穿老码头下方进行扫测,造成老桩桩身在水面以上扫测的高度只有 1.5~2.0 m,后期根据测量数据推算桩身时,也会造成一定误差。通过原因分析,确定是由于对老桩的三维扫测存在误差,造成新沉 PHC 管桩与泥面下残留老桩碰擦,从而发生碰桩情况。

4.3 净距较近桩基沉桩优化

上游 10 万吨级码头为在原煤炭一期卸船码头原位拆除后新建,下部地质条件十分复杂,新建码头的许多桩位与老桩的理论间距不足 400 mm,且较多桩位存在唯一性,一旦出现碰桩或断桩情况,将无法补桩。老桩位扫测数据因各种因素可能存在一定的误差,基于该数据建立的三维模型没有得到验证。鉴于上述原因及现场复杂的地质条件,为确保该区域沉桩顺利实施,选取上游 10 万吨级码头第 8 结构段(该区域情况最为复杂,除了原有卸船一期码头、皮带机栈桥老桩外,还与保留的引桥、卸船二期桩基交错布置),为最大限度减小钢管桩的更改数量,根据残留老桩三维模型,将 25 根桩基(理论净间距不足 400 mm 及没有二次补桩桩位的情况)调整为钢管桩进行验证性施工,验证结果可以为后续大面积沉桩施工提供

参考。

通过对上游 10 万吨级码头已沉 25 根钢管桩及 178 根 PHC 管桩进行研究,发现该区域地质条件异常复杂,即使在三维模型表明桩位有较大富余空间的情况下,也有一定概率会出现泥面以下较深部位碰到不明障碍物的情况,该情况的发生无规律可循,无法提前预判。为了确保项目安全推进,建议在变更钢管桩的基础上,额外备 5 根 $\phi 800$ mm、2 根 $\phi 1\,000$ mm 共计 7 根钢管桩,在遇到异常地质的时候应急使用。

5 结论

1) 根据前期扫测老桩位及已沉桩位进行三维建模分析,可以指导现场施工,但因扫测测量偏差等因素,仍存在较大的碰桩可能,尤其是理论间距小于 400 mm 的情况。通过扩大避让范围调整桩位(避开原竣工图桩位及扫测桩位之间的扇形区域),在后续 PHC 沉桩过程中起到了较好的效果。

2) 根据理论模型与沉桩记录可知,每根桩都会在偶然因素下发生碰桩,只不过由于净距大小不同,碰桩概率不同,净距 400 mm 以下的概率较大,其余则较小,因此下一阶段应根据此次经验进行分析,提高变更钢管桩的有效利用率,进一步降低碰桩风险并控制费用的增加。

3) 结合海力 801 打桩船沉桩现场情况来看,斜桩定位及沉桩过程中本身会有一定偏差,而且沉桩就位还会回受水流、风浪等因素的影响,因此模型内净距小于 400 mm 的桩位,碰桩风险大大增加。通过上一阶段沉桩记录也可发现,问题桩位同样集中在净距小于 400 mm 的桩位中,故下一阶段应对此种桩位进行分析处理。

4) 目前两处断桩桩位的水下空间稍大,尚有补桩空间;如若遇到原桩位无空间补桩情况,则需在周围空间寻找桩位,可能偏移数米,需要加大桩帽尺寸,也可设置成 3 根桩的结构形式,投

资将相应增加。

5) 截桩器的有效运用可大大降低施工过程中水下作业带来的安全风险,尤其是在流速较快及水位受潮汐影响较大的作业区域时,不仅可以保障作业人员人身安全,还能够提高现场作业整体工效,保障项目进度及效益。

6) 实践证明,在复杂地域环境下用钢管桩替代 PHC 管桩,可以有效避免因沉桩异常而导致周边无桩位可补的情况,为后续施工提供了保障,是比较理想的选项。采用三维建模技术较大程度减少了项目沉桩的碰撞风险,对于距离过近桩基,灵活调整为钢管桩进行沉桩,即便发生碰撞也可以利用振动沉桩工艺实现桩基“倒拔”实现桩基参数动态调整,大幅提高了桩基沉桩合格率。

参考文献:

- [1] 郭喜柱,叶跃平,佟冠中.高桩码头改建沉桩施工工艺[J].水运工程,2015(8):74-77.
GUO X Z, YE Y P, TONG G Z. Pile construction technology for reconstruction of high-pile wharf[J]. Port & waterway engineering, 2015(8): 74-77.
- [2] 高琦,罗建春.高桩码头改建沉桩施工技术[J].珠江水运,2021(9):19-20.
GAO Q, LUO J C. Construction technology for pile sinking in the reconstruction of high-pile wharf[J]. Pearl River water transport, 2021(9): 19-20.
- [3] 郝伟力.高桩码头改扩建工程沉桩施工工艺[J].绿色环保建材,2018(6):140-141.
HAO W L. Pile sinking construction technology of reconstruction and expansion project of high-pile wharf[J]. Green environmental protection building materials, 2018(6): 140-141.
- [4] 许宁.潮州港扩建货运码头工程(复工)旧码头改造及施工控制[J].福建交通科技,2021(6):99-103.
XU N. Reconstruction and construction control of the old wharf of cargo terminal extension project (resumption of work) in Chaozhou Port [J]. Fujian traffic science and technology, 2021(6): 99-103.
- [5] 汤星旗.水下捆绑爆破切割法拆除码头桩基工艺[J].中国港湾建设,2009(2):60-62,82.
TANG X Q. Technology for cutting of piles for a wharf by underwater strap-on blasting [J]. Chinaharbour engineering, 2009(2): 60-62, 82.
- [6] 王海波,张岚,孟庆鑫,等.海洋废弃平台桩基拆除绳锯机方案分析与研究[J].机床与液压,2015,43(7):39-42.
WANG H B, ZHANG L, MENG Q X, et al. Programme analysis and research of offshore discarded platform piles removal wire saw [J]. Machine tool & hydraulics, 2015, 43(7): 39-42.
- [7] 刘蒂.高桩码头改造施工工艺[J].门窗,2019(13):71-73.
LIU D. Construction technology for high-pile wharf renovation [J]. Doors & windows, 2019(13): 71-73.
- [8] 薛媛.高桩码头 PHC 桩水上沉桩施工的质量控制[J].工程建设与设计,2021(10):98-100,120.
XUE Y. Quality control of PHC pile sinking on water in high-piled wharf [J]. Construction & design for engineering, 2021(10): 98-100, 120.
- [9] 周长友.沿海港口工程高桩码头 PHC 桩沉桩施工技术应用[J].珠江水运,2024(10):138-141.
ZHOU C Y. Application of PHC pile sinking construction technology for high-pile wharf in coastal port engineering [J]. Pearl River water transport, 2024(10): 138-141.
- [10] 魏忠华.高桩码头沉桩碰桩验算及调整优化[J].珠江水运,2014(5):66-68.
WEI Z H. Calculation and adjustment optimization of pile sinking and pile collision in high-pile wharf [J]. Pearl River water transport, 2014(5): 66-68.

(本文编辑 王传瑜)