



# 重力式码头升级改造板桩墙后土压力分布

彭志豪，陈海燕

(中交第四航务工程勘测设计院有限公司，广东 广州 510290)

**摘要：**针对重力式码头升级改造新建板桩墙方案板桩墙后土压力分布问题，开展新建板桩墙距已有重力式墙身不同距离的土压力分布规律研究。采用有限元数值模拟和理论公式计算对比分析，得出作用在前板桩墙上的土压力小于理论主动土压力，即存在贮仓效应的结论。建议重力式码头改造工程设置前板桩墙时，采用公式合理选取贮仓尺寸，或根据新建板桩墙距已有码头墙身的距离采用有限元计算作用在板桩墙上的土压力，避免保守或激进设计。

**关键词：**重力式码头；升级改造；新建板桩墙；贮仓压力；土压力分布

中图分类号：U656.1

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2024)04-0037-05

## Soil pressure distribution behind newly built sheet pile wall in upgrading and renovation of gravity wharf

PENG Zhihao, CHEN Haiyan

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

**Abstract:** In response to the problem of soil pressure distribution behind the newly built sheet pile wall in the upgrading and renovation of gravity walls, the paper studies the distribution law of soil pressure at different distances between the newly built sheet pile wall and the existing gravity wall. Finite element numerical simulation and theoretical formula calculation are used to compare and analyze the distribution of soil pressure. It is concluded that the soil pressure acting on the front sheet pile wall is less than the theoretical active soil pressure, indicating there is a silo effect. It is suggested that when the front sheet pile wall is installed in the gravity wharf reconstruction project, the size of the silo should be rationally selected by the formula, or the soil pressure exerted on the sheet pile wall should be calculated by the finite element method according to the distance between the newly built sheet pile wall and the existing wharf wall, to avoid conservative or radical design.

**Keywords:** gravity wharf; upgrading and renovation; newly built sheet pile wall; silo pressure; soil pressure distribution

目前港口的发展史已经很长，而港口码头的水工结构设计使用年限一般为 50 a，越来越多的港口码头水工结构将因为达到设计使用寿命而无法继续正常运行，或由于货运量多而长期处于超负荷工作而提前破坏，也有部分码头虽未达到使用寿命，但由于新工艺、新设备以及运输船舶的发展，现有码头已经不能满足当前的使用要求。

老码头无法正常运行时，通常因海岸资源有限而选择对老码头进行升级改造，以满足港口结构加固改造、大型化和现代化的需要。

重力式码头作为传统的主要码头结构形式，因其耐久性好，在国内外得到广泛应用。非洲的很多码头采用重力式结构，一般由欧美发达国家在 20 世纪早中期建设，目前大部分面临破损严重

收稿日期：2023-08-16

作者简介：彭志豪（1983—），男，硕士，正高级工程师，从事港口航道与海岸工程设计工作。

或者水深、工艺跟不上发展需要的问题，从而需要进行升级改造。JTS/T 172—2016《码头结构改造加固设计指南》<sup>[1]</sup>中规定，重力式码头结构的加固改造方式应根据既有码头平面布置和结构形式、改造后功能以及船型、船舶系靠泊要求等确定，可采用前置桩台、前置墩台、调整护舷、基床升浆、墙身注浆、胸墙扩大和墙后卸载处理等方式。

重力式码头升级改造时，通常在重力式墙前设置板桩墙<sup>[2-3]</sup>。在计算板桩墙后土压力时，对于已有码头重力式墙对新建前板桩墙土压力的影响，尚无相关规范和理论计算方法<sup>[4]</sup>，常规做法是按照经典土压力公式<sup>[5]</sup>或者贮仓压力公式<sup>[6]</sup>计算土压力。采用理论主动土压力公式时没有考虑已有重力式码头与新建板桩码头结构基本相同，从而导致保守设计；采用贮仓压力计算时，贮仓内缘长度取值的不同使得贮仓压力小于实际土压力导致激进设计。本文重点依托坦桑尼亚某改造项目，研究新建板桩墙距已有重力式墙身不同距离时作用在板桩墙上的土压力分布规律，提出重力式码头升级改造中作用在新建板桩墙上的土压力的有限元计算方法，避免保守或者激进设计。

## 1 码头现状

坦桑尼亚某码头修建于 20 世纪 40~50 年代，其中 1#~3#泊位岸线长 619 m，码头面高程 5.49 m，港池底高程-10.00 m，墙身为混凝土重力式方块、混凝土实体胸墙及预制混凝土方条石。低潮时混凝土方块部分露出水面，混凝土方块为斜安装，方块临水面外表面平整，布满灰黑色附着物，相邻方块间存在缝隙和空洞，见图 1。经水运工程检测与评估技术<sup>[7-8]</sup>评估，重力式方块仍能继续使用。项目为适应港口船舶大型化发展，要求改造后港池底高程由现有的-10.00 m 浚深至-14.90 m，且新泊位前沿线在现有泊位线基础上向海侧移动 11.54 m，满足 7 万吨级多用途船舶停靠，改造后设计使用年限不低于 60 a，采用 100 t 系船柱，码头面荷载 35 kPa。



图 1 现有泊位临水面岸壁结构

## 2 设计方案

由于现有重力式方块码头地质条件良好，且改造后的码头前沿线向海侧移动距离有限，采用在现有重力式码头前施工板桩墙的解决方案，借鉴王广贤等<sup>[9]</sup>在广东虎门港某重力式码头升级改造的经验，通过在码头前沿基础设置一排钢管桩，并采用高压灌浆工艺加固基床，以满足基床前沿浚深需要，确保码头结构安全，如图 2 所示。坦桑尼亚某项目在重力式码头前施工板桩墙<sup>[10]</sup>，使得原重力式方块被包在码头后方回填土中，对老码头的方块结构现状要求低，升级后耐久性可满足 60 a 使用年限，设计方案及土层参数如图 3 所示，前板桩墙采用钢管板桩组合结构，钢管桩直径 1 422 mm，壁厚 24 mm，相邻钢管桩之间通过一对 AZ18-700 钢板桩连接；现浇混凝土胸墙与后方重力式方块码头的已有胸墙连接，无需设置拉杆和锚碇结构，后方土压力由现有重力式方块承受，系缆力由板桩墙和重力式方块通过现浇胸墙共同承受，现有重力式墙身和钢管板桩之间回填中粗砂；船舶撞击力通过现浇胸墙传给后方重力式方块结构，从而使得船舶撞击荷载不起控制作用。

改造方案与新建板桩码头的主要区别为后方已有重力式方块码头与板桩墙距离较小，已有重力方块通过自身的稳定性能够承担墙后土压力，而重力式墙前和新建板桩墙后填土的主动土压力不能充分发挥，可考虑重力式墙对作用在前板桩墙土压力的减小作用，因此本文重点研究板桩与重力式方块码头之间的距离对板桩墙内力和位移的影响。

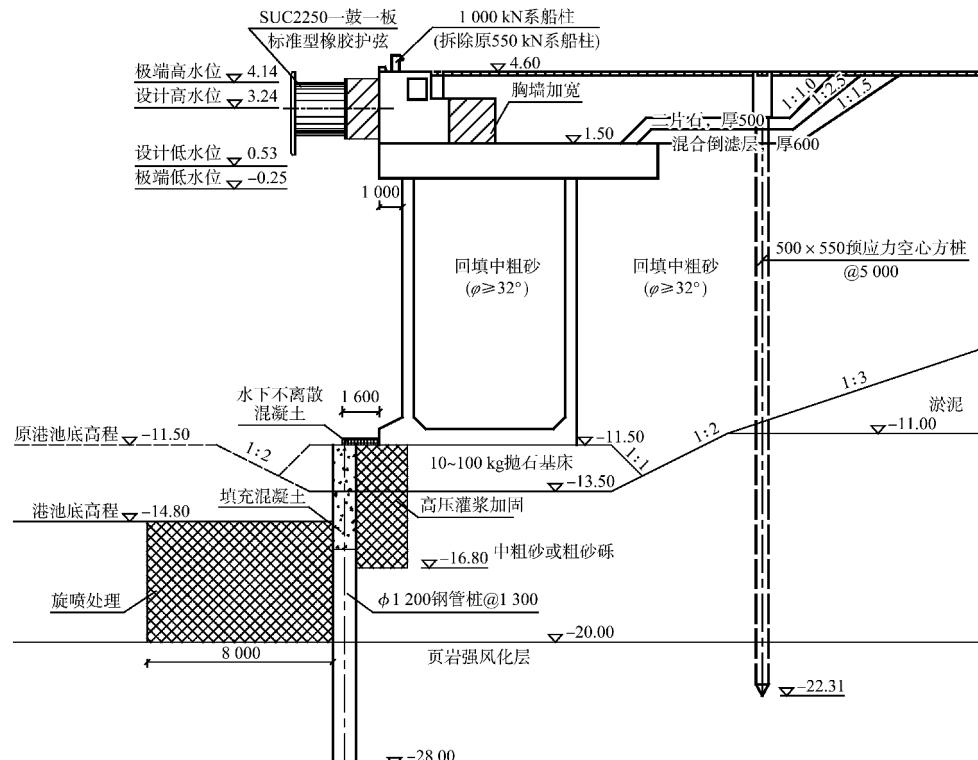


图2 虎门某项目重力式码头墙前钢管桩+灌浆改造方案 (高程: m; 尺寸: mm)

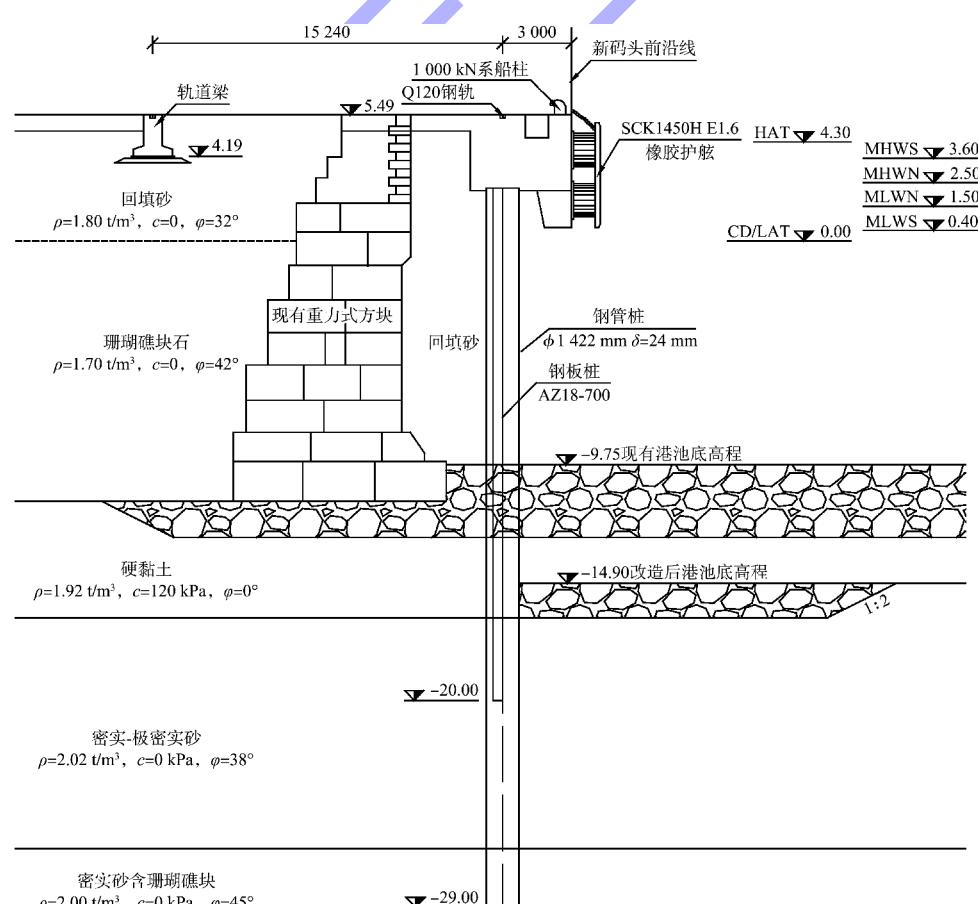


图3 坦桑尼亚某重力式码头墙前增加板桩的改造方案 (高程: m; 尺寸: mm)

### 3 结果分析

采用 Plaxis 国际通用有限元软件, 土体本构模型采用摩尔库仑。模拟步骤为: 1) 前板桩墙施工; 2) 板桩墙后方回填中粗砂; 3) 帽梁施工, 与已有重力式方块码头胸墙连接; 4) 港池底浚深至-14.9 m; 5) 施加码头面荷载和系缆力。

计算 6 种不同工况下前板桩墙最大位移和最大弯矩计算结果, 见表 1。工况 1~6 中, 板桩墙距已有码头分别为 3、5、10、15、20、25 m。

表 1 不同工况下前板桩墙最大位移和最大弯矩

工况	最大位移/cm	最大正弯矩 (向海)/ (kN·m·m <sup>-1</sup> )	最大负弯矩 (向陆)/ (kN·m·m <sup>-1</sup> )
1	7.778	977	1 030
2	8.815	1 182	1 172
3	8.790	1 279	1 350
4	9.472	1 397	1 479
5	9.982	1 533	1 643
6	9.976	1 587	1 630

6 种工况下前板桩墙的最大位移、弯矩结果见图 4, 可直观地看出位移和弯矩随前板桩墙距老码头前沿线距离的变化趋势。

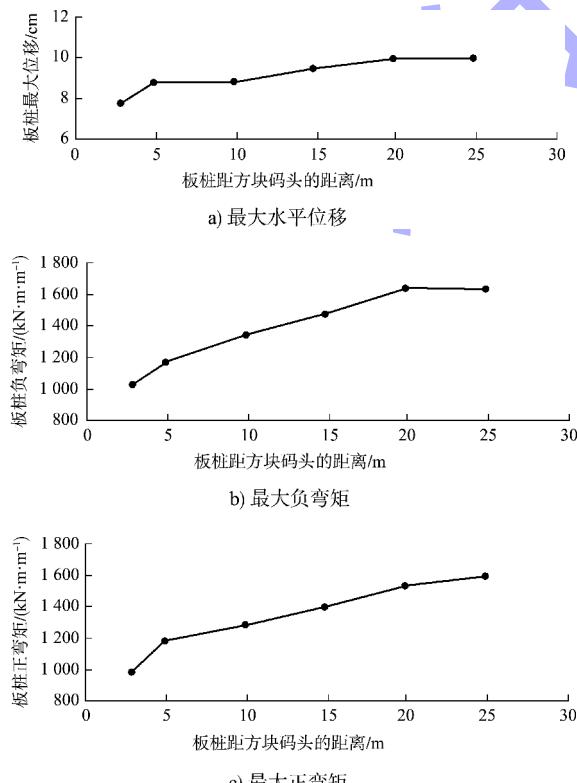


图 4 板桩墙距老码头不同距离时位移与弯矩变化趋势

从图 4 可以看出, 板桩墙水平位移、弯矩均随改造码头新建板桩墙距老码头前沿线距离的增加而增大, 工况 1~5 条件下, 位移和弯矩均呈上升趋势, 但当达到一定值后, 基本趋于稳定, 工况 5、6 的板桩墙位移和弯矩基本一致。

6 种工况下回填土作用在板桩墙上的土压力见图 5。由图可知, 土压力随距离的加大逐渐加大, 工况 1 前板桩墙距重力式方块距离最小(3 m), 作用在板桩墙上的土压力也最小; 随后土压力逐渐加大, 工况 5、6 的土压力分布基本接近, 说明当达到 20 m 时基本趋于稳定, 即达到一定距离后作用在板桩墙上的土压力和理论主动土压力基本一致。

通过以上分析可知, 作用在前板桩墙的土压力分布规律和前板桩墙的位移、弯矩规律一致, 二者结论吻合, 即新建板桩墙距离已有方块码头越远, 作用在前板桩墙上的土压力越大, 前板桩墙的位移和弯矩也越大, 当达到一定值后三者均趋于稳定。

根据 JTS 167—2018《码头结构设计规范》贮仓压力方法计算作用在新板桩墙的土压力, 发现仓内缘长度  $L$  难以取值, 不同值对贮仓压力计算结果影响较大。分别计算前板桩墙距重力式方块不同距离  $B$  和内缘长度  $L$  的贮仓压力, 4 种工况分别为  $B=3$  m,  $L=1$  m,  $B=3$  m,  $L=3$  m,  $B=5$  m,  $L=5$  m,  $B=10$  m,  $L=10$  m。4 种工况下作用在前板桩墙的土压力分布见图 5。内缘长度取单宽时贮仓压力明显小于理论主动土压力和 6 个工况软件计算的土压力, 但当内缘长度  $L=B$  时, 贮仓压力公式计算结果和有限元模拟结果较为接近。因此对于重力式码头改造项目, 重力式墙前回填土对新建板桩墙的水平土压力分布存在贮仓压力效应, 不能简单按照理论主动土压力施加载荷, 造成前墙位移和内力增大, 当前板桩墙与已有重力式方块距离和回填土深度之比满足规范的深仓贮仓条件(填料高度与仓横截面内缘最大边长之比  $\geq 1.5$ )时, 可采用贮仓压力公式计算土压力, 但  $L$  取值宜与  $B$  相等, 避免激进或保守的设计, 给工程带

来安全风险或增加项目成本。

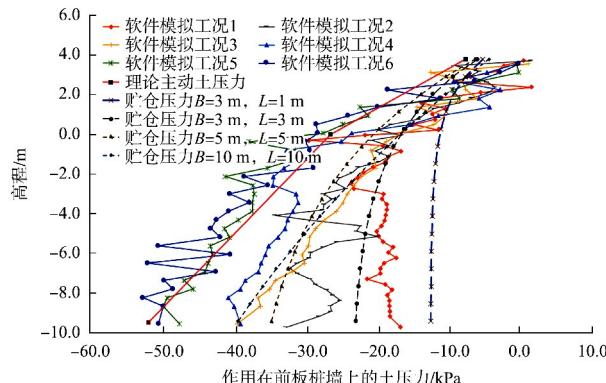


图5 不同工况下作用在板桩墙上的土压力分布

#### 4 结论

1) 通过分析新建前板桩墙距已有重力式墙身不同距离板桩墙后土压力的分布规律, 得出重力式码头改造项目板桩墙后土压力有限元软件计算结果小于理论主动土压力公式计算值, 不能按照主动土压力公式计算结果设计前板桩墙, 避免保守设计, 增加项目造价。

2) 按照《码头结构设计规范》的贮仓压力公式计算板桩墙后土压力时, 贮仓内缘长度取单宽1 m计算将导致贮仓压力明显小于实际土压力; 当前板桩墙与已有重力式方块距离和回填土深度之比满足规范深仓库条件、贮仓内缘长度取值与内缘宽度接近时与有限元数值模拟结果接近。

3) 重力式码头升级改造工程采用设置前板桩墙方案时, 可采用深仓库压力公式计算, 或根据新建板桩墙距已有码头墙身的距离采用有限元

计算作用在板桩墙上的土压力, 避免保守或激进设计, 从而达到安全合理、节省工程造价的目的。

#### 参考文献:

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 码头结构加固改造技术指南: JTS/T 172—2016[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.
- [2] 李华强, 蔡苏荣, 陈照乾. 妈湾电厂重力式码头升级改造技术与应用[J]. 水运工程, 2014(2): 121-125.
- [3] 边树涛, 忒宝勇. 重力式码头结构加固改造设计探讨[J]. 中国港湾建设, 2014(8): 23-26.
- [4] 闫笑铭, 张斌. 带卸荷板的方块码头墙身位移对墙后土压力的影响[J]. 水运工程, 2018(6): 125-129.
- [5] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 板桩码头设计与施工规范: JTS/T 167-3—2009[S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [6] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 码头结构设计与规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [7] 交通运输部天津水运工程科学研究院. 水运工程水工建筑物检测与评估技术规范: JTS 304—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.
- [8] 交通部第一航务工程局. 港口工程质量检验评定标准: JTJ 221—1998 [S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [9] 王广贤, 卢生军, 杨晓婷. 新型重力式码头改造技术[J]. 水运工程, 2016(2): 87-91.
- [10] GIJT J G, BROEKEN M L. Quay walls [M]. 2nd ed. Leiden: CRC Press, 2013: 81-82.

(本文编辑 王传瑜)

#### 编辑部声明

近期不断发现有人冒用《水运工程》编辑部名义进行非法活动, 他们建立伪网站, 利用代理投稿、审稿等手段进行诈骗活动。《水运工程》编辑部郑重声明, 从未委托第三方为本编辑部约稿、投稿、审稿。《水运工程》编辑部唯一投稿网址: [www.sygc.com.cn](http://www.sygc.com.cn), 敬请广大读者和作者周知并相互转告。

《水运工程》编辑部