



# 桩土作用下斜桩对高桩码头岸坡稳定性的影响

王玉生, 高华喜

(浙江海洋大学 海运与港航建筑工程学院, 浙江 舟山 316022)

**摘要:** 考虑船舶撞击力、堆货荷载等外荷载对码头岸坡与后方桩台的作用, 利用 ABAQUS 有限元软件对高桩码头布置斜桩的后方桩台与岸坡土体进行模拟, 并对其桩土相互作用和结构稳定性进行分析。对位移场、应力场等云图中的模拟结果进行分析, 结果表明: 斜桩承受水平荷载能力优于竖向荷载, 与直桩可以很好地形成遮帘作用, 保证岸坡土体和结构物稳定。

**关键词:** 斜桩; 岸坡稳定; 稳定性分析; 数值模拟; ABAQUS

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0046-04

## Influence on the stability of bank slope at high-pile wharf by the raking pile under the pile-soil interaction

WANG Yu-sheng, GAO Hua-xi

(Shipping and Port Construction Engineering College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

**Abstract:** Considering the impact on the wharf slop and rear pile platform by the external loads such as ship impact force and cargo load, the finite element software, ABAQUS, was utilized to simulate the rear pile platform and slope soil mass used for arranging raking piles at the high-pile wharf, and the interaction between soil and pipe and the stability of structure were also analyzed. Through analysis on the simulation results of the cloud pictures about the displacement field, stress field, etc., these results indicate that: the raking pile has better ability in bearing the horizontal load than bearing the vertical load, and it can well form a blind with vertical piles to guarantee the stability of slope soil mass and structures.

**Keywords:** raking pile; stability of bank slope; stability analysis; numerical simulation; ABAQUS

我国海岸线长达 1.8 万 km, 淤泥质海岸占多数, 高桩码头是我国港口建设中采用的最为常见的结构形式。在桩基布置形式上<sup>[1]</sup>, 其下部桩基布置间距较大, 使下部结构形成漏空式结构, 波浪反射影响较小, 将波浪对码头结构物的作用力进行有效削减; 在传递荷载方面<sup>[2]</sup>, 主要通过将作用于上部结构物的外荷载传递给桩基, 再由下层桩基传递到承载力较好的持力层上, 使得高桩码头大范围应用在软土地基等工程地质情况下, 保证码头结构稳定性。所以, 开展高桩码头岸坡

土体在桩土相互作用下的稳定性分析意义重大。

程曦等<sup>[3]</sup>考虑稳定渗流和波浪力作用, 对岸坡进行二维数值模拟分析, 并将结果与传统极限平衡法进行对比; 杨熙<sup>[4]</sup>对模拟高桩码头桩土作用在软件操作过程中注意的具体细节有一定的阐述和表达, 提出 ABAQUS 软件在模拟桩土作用时施加荷载的可行性; 许英<sup>[5]</sup>等分析施工期打桩过程对岸坡土体稳定性的影响; 王元战等<sup>[6]</sup>提倡对岸坡土体引入强度折减法分析其稳定性; 魏汝龙<sup>[7]</sup>研究如何合理利用和调节桩基布置以提高桩

收稿日期: 2016-03-23

作者简介: 王玉生 (1992—), 男, 硕士研究生, 从事港口与航道工程技术研究。

的抗滑作用和遮帘作用, 保持岸坡稳定性。

本文根据某码头扩建工程设计资料, 利用 ABAQUS 有限元分析软件对该工程后方桩台和岸坡土体进行二维数值模拟, 通过桩基与岸坡的位移场和应力场等云图, 分析岸坡在桩土相互作用下稳定性问题、水平荷载等外荷载对斜桩的影响、斜桩对桩基-岸坡相互作用的影响。

## 1 工程结构模型数据

为进一步发展, 舟山市某港口在原有老码头下游扩建一个 5 000 吨级件杂货泊位, 预计吞吐量达到 65 万 t/a, 码头总长 150 m、前沿宽 34.5 m、后方桩台宽 13.5 m。设计低水位 2.42 m、设计高水位 9.52 m(重现期 20 a)。考虑船舶撞击力过大, 故在后方桩台布置 3 根直桩与 1 根斜桩。桩基为 500 mm×500 mm 预应力混凝土方桩, 斜桩夹角 21°, 桩长 18~20 m, 直桩间距 5.5 m; 坡比 1:3, 坡高 10 m。后方桩台剖面见图 1。

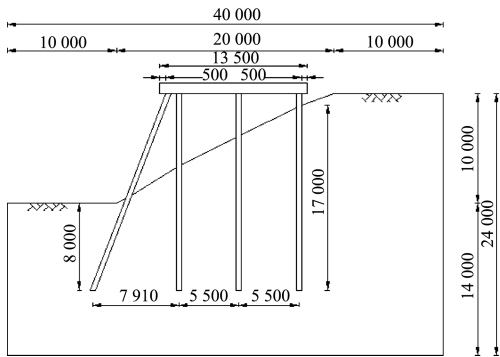


图 1 后方桩台尺寸 (单位: mm)

## 2 有限元模型建立

### 2.1 模型数据设置

在有限元软件 ABAQUS 中, 将桩简化为线弹性材料<sup>[8]</sup>, 岸坡土体简化为单一均质弹塑性材料, 后方桩台受到波浪影响较小, 没有考虑波浪力作用。桩体密度为 2 500 kg/m<sup>3</sup>, 弹性模量为 30 GPa, 泊松比为 0.25; 土体密度为 1 800 kg/m<sup>3</sup>, 弹性模量为 8 MPa, 泊松比为 0.35, 粘聚力为 60 kPa, 内摩擦角为 20°。

模型中, 桩采用 CPE4R 四边形四节点平面应变单元, 2 776 个单元, 3 475 个节点; 由于考虑

斜桩的存在, 土体采用 CPE4R 四边形四节点平面应变单元与 CPE3 四边形三节点平面应变单元, CPE4R 类型有 24 789 个单元, CPE3 类型有 408 个单元、25 579 个节点。对岸坡土体左侧与右侧限制水平位移, 对其底部限制水平与竖向位移。网格划分见图 2。

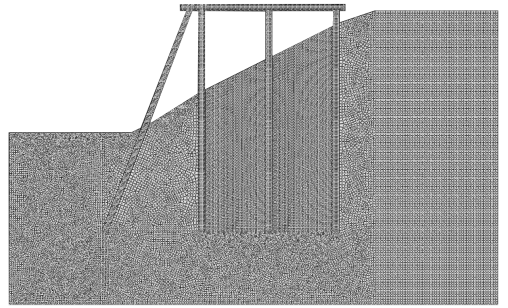


图 2 网格划分

模拟分为两个分析步骤<sup>[9]</sup>, 在 Step-1 中, 利用土体在自身重力作用下得出的有效应力, 使得岸坡土地应力平衡, 减少模型自身误差; Step-2 中, 分次施加桩重力、均布堆货荷载 30 kN/m、船舶撞击力 50 kN/m。

### 2.2 岸坡在堆货荷载与船舶撞击力共同作用分析

#### 2.2.1 应力云图

由图 3 可知, 当后方桩台承受竖向堆货荷载和水平船舶撞击力作用时, 最大应力区出现在直桩向土侧与码头面板交界处, 达到 1.944 MPa, 码头上部结构与桩体承受了大部分外荷载, 并通过桩基将外力传递到承载力较好的土层, 与土体形成“遮帘作用”, 保证岸坡稳定。斜桩在传递过程中, 更好地将荷载传递给后方直桩, 充分发挥桩基的“抗滑作用”。

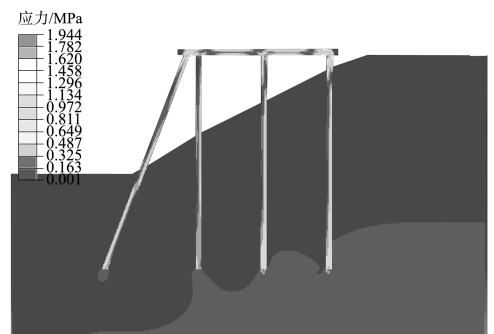


图 3 Mises 应力云图

由图4可知,在多个外荷载共同作用下,高桩码头的水平应力最大区出现在码头工作面上前后两个位置上,较大应力区出现在各桩跨中位置,斜桩比直桩更能承受水平荷载作用,并有效传递给桩端土体,斜桩与土体交界处、桩端都出现应力分布,直桩只在桩端出现少许应力分布。

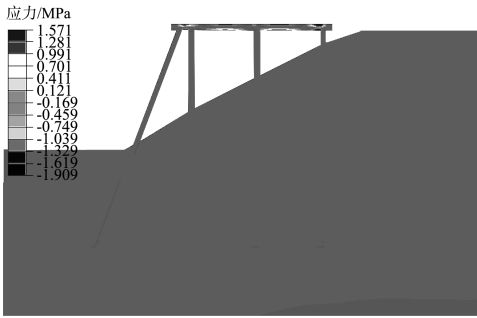


图4 水平应力云图

由图5可知,高桩码头在外荷载作用下,竖向应力最大区出现在直桩向土侧与面板结合处,达到1.621 MPa,较大区出现在斜桩向水侧与面板结合处,埋置在土体中的桩身在承受荷载作用的同时,更好地将荷载传递给桩端下部土体,斜桩在此过程中,桩身受力均匀,直桩只有向土侧桩身承受荷载并进行传递,桩体承载效率发挥不高。

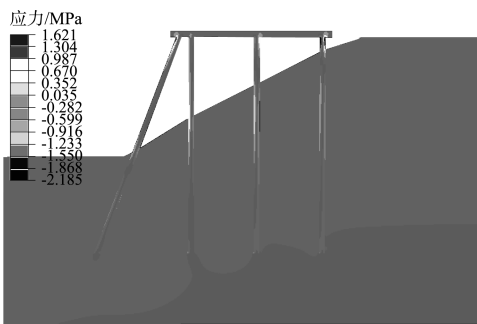


图5 竖向应力云图

### 2.2.2 位移云图

由图6可知,桩基最大位移区出现在中间直桩,最大位移达到9.32 mm,较大位移区出现在其余直桩和码头面板上,斜桩上并没有产生较大位移;对于岸坡土体,最大位移区出现在坡面下方土体,在向水侧1、2两根直桩之间,位移大部分出现在与桩基接触的土体中,但远离桩基的岸坡左侧与底部土体并没有产生位移。在外荷载作

用下,桩基与土体相互作用,桩基承受大部分荷载,并传递一部分荷载到桩端土体中;与此同时,土体又会对桩基作用一定的土压力。

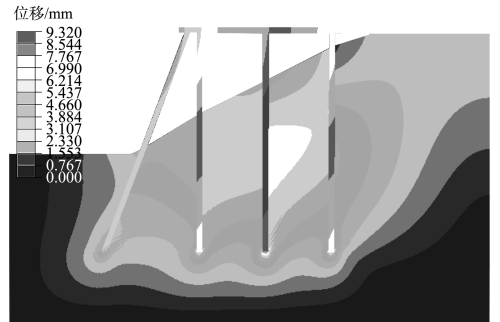


图6 位移云图

由图7可知,桩基与岸坡在外荷载作用下,桩基最大位移区出现在斜桩与向水侧第1根直桩上层面板,呈现出向下扩散,逐渐减小;岸坡边缘区域出现最大位移,达到0.1025 mm。在桩基与岸坡土体交界面处出现了最小位移区,达到-5.417 mm,并呈现出以此为中心向外位移不断加大的趋势。当后方桩台承受船舶撞击力与堆货荷载作用时,由于桩基与土体相互作用,可以有效减小岸坡位移的扩大,保证岸坡的稳定性,斜桩在此过程中,水平位移较小,有效地削减了水平荷载对岸坡土体产生的滑移。

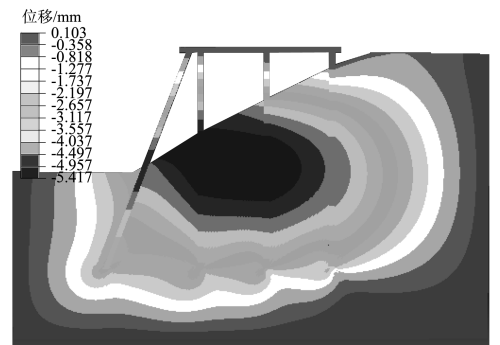


图7 水平位移云图

由图8可知,当外荷载作用在结构上时,面板和向土侧直桩能很好地限制竖向位移的发生,位移最小区出现在直桩和面板上,最小位移为-7.879 mm,而斜桩由于承受船舶撞击力,导致其限制竖向位移能力的降低;岸坡土体从坡尖到坡脚处呈现位移逐渐扩大,但在桩基附近土体位

移削减的现象, 最大位移区出现在坡脚和斜桩与土体交界处, 达到 0.784 9 mm。

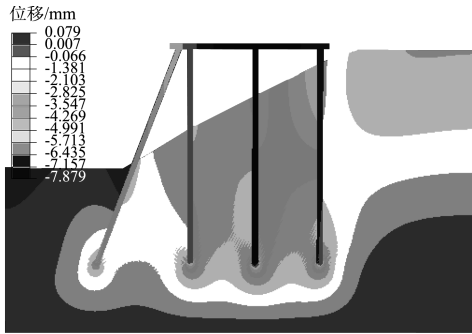


图 8 竖向位移云图

### 3 结语

1) 斜桩对于外荷载产生的应力可以很好发挥其自身承载效率, 并将其有效地传递给后方直桩和岸坡土体, 桩基与岸坡形成整体共同承受外荷载。

2) 桩基对于外荷载作用产生的位移, 由于位移方向的不同, 不同桩基效果不同。斜桩能有效限制水平位移, 直桩能很好地限制竖向位移。将斜桩与直桩一同布置能很好限制结构物与岸坡在外荷载作用下产生的位移。

3) 对带有斜桩的后方桩台与岸坡进行数值模拟, 通过各类云图直观地对岸坡-桩基之间的相互作用结果进行分析, 对于来自水平方向的船舶撞击力作用, 斜桩可以维护码头建筑物的结构稳定, 减少冲击力对岸坡土体稳定性的影响。

4) 布置的斜桩可以将作用于码头上的水平荷载进行有效传递, 提高码头结构物的整体稳定性和岸坡的稳定性。但高桩码头在施工期和使用期会有不同的荷载影响, 只模仿船舶撞击力和后方堆货荷载是远远不够的, 若将波浪力引入到模型中, 模拟在多个外荷载作用下, 码头结构物、桩基与岸坡土体的整体稳定性, 模拟结果将更加精确。后期将继续从事这方面的研究。

### 参考文献:

- [1] 王元战.港口与海岸水工建筑物[M].北京:人民交通出版社,2013.
- [2] 韩理安.港口水工建筑物[M].2版.北京:人民交通出版社,2008.
- [3] 程曦,王元战,马殿光,等.基于 ABAQUS 的内河航道岸坡稳定性分析[J].水道港口,2012,33(2):152-158.
- [4] 杨熙.基于 ABAQUS 软件建立高桩码头桩土相互作用有限元模型的方法[J].中国水运:下半月,2012,12(4):74-74.
- [5] 许英,李同春,莫建兵.打桩作用下高桩码头岸坡稳定可靠度分析[J].港工技术,2009,46(3):19-22.
- [6] 王元战,祝振宇,张宝华.高桩码头岸坡稳定有限元分析[J].海洋工程,2006,24(4):27-31.
- [7] 魏汝龙.高桩码头与岸坡变形的相互关系[J].港工技术,1993(4):40-50.
- [8] 王妍,蒋建平.高桩码头中桩土相互作用数值模拟研究[J].科技资讯,2013(28):34-35.
- [9] 史旦达,邓益兵,蒋建平.ABAQUS 软件的工程应用实例集[M].北京:人民交通出版社,2015.

(本文编辑 武亚庆)

## · 消 息 ·

### 印尼苏拉威西散货船专用码头工程开工建设

近日,由中交第三航务工程局有限公司承建的印尼苏拉威西 9.25 万 t 散货船专用码头工程正式开工。工程将新建长 280 m、宽 28 m 码头平台 1 座和长 42.47 m、宽 9 m 引桥 1 座,分别采用高桩梁板式结构和高桩墩台式结构。总投资 1.32 亿元,主体结构工期 10 个月。

工程完工后将有效缓解印尼苏拉威西岛的煤炭运输压力,进一步完善当地能源布局。

[http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/jcxw/jx/201608/t20160802\\_50276.html](http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/jcxw/jx/201608/t20160802_50276.html) (2016-08-02)