

# 复杂水文条件下某客运码头结构设计

王捷

(上海市土地储备中心, 上海 200336)

**摘要:** 本文以某客运码头为例, 分析了复杂水文条件下, 有挡浪设施的透空高桩码头的不同消浪型式及其可行性, 通过计算不同密排桩消浪布置方案的结构内力, 对比分析了不同结构的优缺点, 为今后类似水深较大、波浪条件较恶劣且对泊稳要求较高的码头设计提供了参考。

**关键词:** 密排桩; 消浪; 深水

**中图分类号:** U656.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 12—0065—03

近年来, 我国经济进入了高速发展的良好局面, 人民生活水平得到普遍提高, 海洋海岛旅游产业蓬勃发展, 客运码头成为海岛对外交通的主要枢纽。随着游客数量逐年增长, 旅客出行的不均衡性, 尤其是旅游旺季和春运期间表现尤为明显, 导致很多地区的客运码头不能满足高峰期的出行需求。

目前, 宜居岛屿建港条件较好的港址已基本被前人开发, 受制于历史条件, 码头吞吐量已远不能满足现今的出行需求, 而剩余可供利用的自然岸线建港条件往往较差, 考虑到客运码头后方配套设施的特殊性, 新开辟客运码头港址代价高昂, 为充分发挥规模效益, 在原成熟客运码头外侧开阔水域新建客运码头也成为一种较合理的选择, 而这意味着需要面临复杂的水文条件, 如水深大、波高流急、流态复杂等。

客运码头对泊位掩护要求较高, 因此, 在复杂水文条件下, 如何消浪、改善泊稳条件至关重要。本文总结分析了有挡浪设施的透空高桩码头不同消浪型式及其效果, 并以某客运码头三期工程为例, 采用密排桩作为挡浪设施, 并以此为基础, 分析不同密排桩布置方式下码头水工结构方案的设计, 对今后复杂水文条件下透空式防波堤兼码头的建设有一定借鉴意义。

## 1 工程案例

本文所引工程为某客运码头三期工程, 位于一期、二期工程外侧。三期工程码头长 210m, 宽 20m~46.5m, 两侧靠船, 外档为 3000GT 客货滚装泊位, 内档为 1000GT 客轮泊位。码头通过一座引桥与后方陆域连接。码头前沿天然泥面 -20.0m。本工程设计条件如下。

### 1.1 风况

工程海区风向季节变化明显, 在 7~10 月受波浪及

大风影响, 作业天数相对较少, 而该段时间正好为旅游旺季, 因此采用消浪措施以满足高峰期客轮的泊稳要求十分必要。

### 1.2 波浪

工程海域附近以风浪为主, 大风大浪相伴而生。码头前沿设计波浪 50 年一遇  $H_{1\%}$  为 5.63m, 波长 203.1m, 波周期 12.8s。

### 1.3 水流

码头前沿设计流速 1m/s, 涨潮流向  $59^\circ \sim 85^\circ$ , 落潮流  $248^\circ \sim 271^\circ$ 。

### 1.4 地质

本工程场地上部为厚软土层, 其中淤泥质土层厚度约 20m, 粉质黏土层厚度约 35m, 中间夹杂的粉细砂层厚度约 10m。杂色粉质黏土层分布较稳定, 工程地质性质良好, 可作为拟建码头的桩基持力层。场地下部强风化层及中等风化层工程地质性质好, 上部土层不满足的条件下可考虑作为拟建码头的桩基持力层。

### 1.5 设计荷载

设计荷载主要包括结构自重、均布荷载、流动机械荷载、船舶荷载、波浪荷载等。根据计算结果可知, 波浪荷载为结构的控制荷载, 而由于客运码头对泊稳条件有较高要求, 因此如何采取措施达到较好的消浪效果并使得结构合理可行是本工程的重点难点。

## 2 技术路线的确定

本工程港址水深大, 天然泥面达到 -20m; 水域开阔, 北侧建有防波堤, 南侧及西侧属于完全开敞式水域, 2 年一遇  $H_{4\%}$  达到 2.49m, 泊稳条件相对于客船非常差, 同时 50 年一遇波浪属于长周期波, 对建筑物受力极为不利; 流速不大, 但流态复杂, 涨潮流流向夹角达到  $26^\circ$ , 落潮流流向夹角达到  $23^\circ$ , 最大横流达到 0.25m/s,

对客船靠泊不利。在如此复杂的水文条件下,结合本工程地质条件,综合考虑造价、水域资源、环保要求等各个因素,采用传统的实体式防波堤加码头的建设方案显然是不合理的,而采用兼具挡浪和码头使用功能的透空式结构则既能改善港区内客船的泊稳条件,又能满足客船的靠泊要求,工程投资大幅降低,这即是本工程建设方案重点攻关方向。

## 2.1 一期工程和二期工程的建设情况

### 2.1.1 一期工程—高桩码头+挡浪板

已建一期码头采用两侧设置挡浪板的型式,挡浪板与上部结构相连并深入水中。该设施主要依据波能集中分布在水体表层的特性<sup>[1]</sup>,通过在适当的位置设置挡浪设施达到消浪的效果。

根据《防波堤与护岸设计规范》(JTS154-2018,以下简称“规范”)<sup>[2]</sup>6.3.3条,挡浪板入水深度与水深之比宜取0.3~0.5。一期码头前沿设计泥面为-5.0m,设计高水位时挡浪板入水深度与水深之比为0.32,极端高水位时挡浪板入水深度与水深之比为0.39,根据规范式(6.3.2-1)和(6.3.2-2),设计高水位和极端高水位时透浪系数 $K_t$ (透射波高与入射波高的比值)分别为0.66和0.59。当水位位于设计低水位及以下时,挡浪板入水深度为0,透浪系数 $K_t$ 为0.95。由此可见,挡浪板在高水位时具有一定消浪效果,但随着水位降低,消浪效果逐渐变差,在低水位情况下,尤其水位低于挡浪板底高程时,波浪透射情况明显,船舶泊稳条件不佳。与一期码头的实际使用情况相符。

### 2.1.2 二期工程—高桩挡浪码头+密排桩

已建二期工程在一期码头的设计经验及使用情况的基础上进行改进,以密排桩和高桩平台相结合的方式来挡浪,平台设置挡浪板,兼做码头使用,密排桩设置于码头下方。

密排桩的布置分为两种型式。一种型式为密排桩位于码头中部或后部,桩顶与码头上部结构相连(整体式),另一种型式为桩顶与码头上部结构脱开(分离式)。从受力角度分析可知,整体式结构的波浪力通过密排桩部分传至码头结构,另一部分水平力由土体承受,因此主体结构受波浪力较大,尤其对拉桩要求较高,而分离式结构的密排桩与上部高桩结构分离,密排桩和上部结构主体分别承受波浪力,受力清晰,有效增加主体结构的安全度。

经过比选,二期码头采用分离式密排桩结合消浪板的结构型式。高水位时利用消浪板和密排桩联合消浪,低水位时主要利用密排桩进行消浪。该种分离式结构会导致波浪从密排桩顶部越浪传入港内,在一定水位和波浪条件下,消浪效果较差。由于挡浪板的设置,波浪会在挡浪板与密排桩之间形成反射且水体扩散被阻挡,从而在码头下方形成复杂而紊乱的波态,使得上部结构承受较大的浮托力,桩基、挡浪板受到较大的波浪水平力。

## 2.2 本工程技术路线

一期工程采用挡浪板结构,高水位时消浪效果明显;低水位时,挡浪板进入水面以下高度较小,挡浪作用较小,波浪透射明显,针对这个问题,二期工程建设时,初步采取适当降低挡浪板底高程的方案,物模试验表明码头前沿挡浪板降低至泥面时波浪条件可大幅改善。

二期工程最终设计考虑到挡浪板底高程太低,码头结构安全和施工存在较多的问题而没有采用,而是另辟蹊径,在码头下方布置密排桩,与码头结构分离,高水位时,挡浪板作用明显,可有效降低港内波高,而低水位时,密排桩和挡浪板共同发挥作用,有效降低港内波高。

本三期工程码头前沿天然泥面高程-20.0m,后沿天然泥面-16.50m,若采用挡浪板进行消浪,参照一期工程的建设经验,显然无法实现消浪目标;若采用二期工程的方案,在码头下方布置密排桩,则桩基泥面以上自由长度太长,在波浪力作用下,桩基直径达到4m以上才能满足使用要求,该方案显然是不合理的。

总结一期工程和二期工程建设经验,一个明显的特点就是,挡浪设施透空率越小,则消浪效果越好,在挡浪板结构往下延伸受限的情况下,考虑将密排桩结构和上部结构结合为整体则成为本工程技术路线的必然选择。

## 3 设计方案及结构计算分析

本三期工程由于码头前沿水深较大,且水工结构拟采用密排桩方案,因此码头承受的波浪水平力和上托力均较大,导致桩身拉应力较大,在满足码头使用功能和结构安全的前提下,本工程选用抗拉抗弯能力较强的钢管桩。对于密排桩,可适当加大桩径以提高抗弯能力。根据密排桩布置的不同,考虑两种结构方案。

方案一密排桩位于码头中部。码头宽度25m,排架

间距7.6m。自前沿向后7m宽以及后沿向前7m宽范围内，上部结构采用现浇横梁、叠合面板，通过现浇面层连成整体。中间11m宽范围内上部结构采用墩台形式。每榀排架下共2根Φ1500mm钢管桩（1根直桩，1根斜桩），墩台下采用Φ1800mm钢管桩（斜桩，间距1900mm，密排桩），每两榀排架中间设置4根Φ1500mm钢管桩（斜桩，间距3800mm）。方案一详见图1。

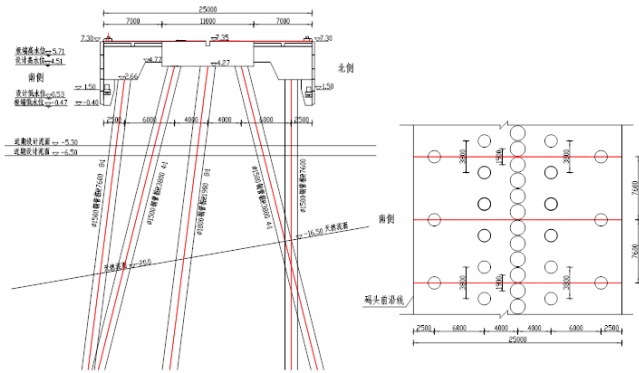


图1 方案一断面图及桩位示意图

方案二密排桩位于码头前部。码头宽度25m，排架间距7.6m。自前沿向后14m宽范围内上部结构采用墩台形式，自后沿向前8m范围内上部结构采用现浇横梁、叠合面板，通过现浇面层连成整体，上部墩台和排架间采用简支板连接。每榀排架下共2根Φ1200mm钢管桩（斜桩），墩台下采用Φ1800mm钢管桩（斜桩，间距1900mm，密排桩）、Φ1800mm钢管桩（斜桩，间距3800mm）和Φ1200mm钢管桩（斜桩，间距5700mm）。方案二详见图2。

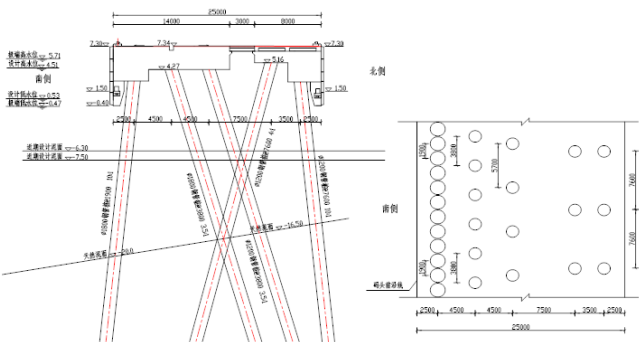


图2 方案二断面图及桩位示意图

本工程计算中将结构简化为平面刚架，采用杆系有限单元法进行求解，桩顶与横梁形心采用刚性连接。主要构件内力计算成果见表1。

表1 码头断面主要构件内力计算成果

承载力极限状态持久组合设计值		方案一	方案二
桩基	最大桩力 (kN)	10692 (2058)	11418 (2780)
	最小桩力 (kN)	-3084 (-1974)	-1062 (-2193)
	最大应力 (MPa)	233	257
横梁	最大正弯矩 (kN·m)	14611	1798
	最小负弯矩 (kN·m)	-23281	-2814
	剪力 (kN)	5175	1912
正常使用极限状态永久组合设计值		方案一	方案二
横梁	最大正弯矩 (kN·m)	818	719
	最小负弯矩 (kN·m)	-2604	-1184
码头最大水平位移 (mm)		10.36	24.81

注：括号内数字为密排桩计算结果。

根据计算可知，波浪力为主导荷载。方案一与方案二相比，迎浪面积较小，所受波浪水平力较小，但上部结构位于密排桩以外的部分受到较大的波浪浮托力，故桩基所受拉力较大且上部排架结构所受弯矩较大。方案一由于墩台和排架结构固接，整体性较好，故码头的水平位移较小。

方案二由于密排桩位于码头前部，可较好地掩护后方桩基及上部结构，且通过简支板将墩台和排架结构相连，可避免排架结构与墩台共同承受波浪力，结构受力更加合理，可有效减少桩基数量、减小上部结构的尺寸和配筋，优化结构且节省投资。

值得一提的是，若密排桩采用直桩，周期较大、波长较长的波浪作用会导致拉桩的最大拉力非常大，而采用密排斜桩可有效改善这一问题。

#### 4 结束语

(1) 针对水深较大、波浪条件较恶劣且对泊稳要求较高的码头，透空式防波堤兼码头可利用码头结构本身的消浪功能来改善泊位前水域的水文条件，兼有码头和消浪双重功能。

(2) 本文所引工程采用密排桩与上部结构相连的型式，根据密排桩位置不同分为密排桩前置和密排桩中置两种布置方式，根据计算结果可知密排桩前置且上部结构墩台与排架脱开的方案结构内力较小，受力更加合理，造价更低，是较优的方案。

(3) 本文所述的基于密排桩与高桩码头相结合的透空防浪结构，较传统的利用防波堤加码头的结构形式具有经济性及节约海洋资源的显著优点，对后续海岛客运码头工程的选址和建设具有一定的指导意义。

#### 参考文献：

- [1] 王文鼎. 有挡浪设施的桩基透空码头水动力特性研究[D]. 大连理工大学, 2007.
- [2] JTS 154-2018, 防波堤与护岸设计规范[S].