



浮码头围船定位桩结构的设计与研究

刘 普, 万爱玉, 周 伟, 盛 灿

(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 选取武汉某浮码头围船定位桩结构为工程实例, 利用通用有限元软件Midas Civil, 分析了在4种荷载工况作用下桩径、桩距和斜撑对浮码头围船三桩定位桩结构内力和变形的影响, 提出围船定位桩结构较为合理的桩径和桩距大小, 以供浮码头围船定位桩结构设计者参考。

关键词: 浮码头围船; 定位桩; 有限元

中图分类号: U 656.1⁺17

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0101-08

Structural design and research on positioning pile of pontoon wharf

LIU Pu, WAN Ai-yu, ZHOU Wei, SHENG Can

(CCCC—Wuhan Harbour Engineering Design and Research Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: Taking a floating pontoon wharf in Wuhan as an example, we analyze the effect of pile diameter, pile spacing and raking shores on the internal force and deformation of positioning piles of pontoon wharfs under four different conditions by Midas Civil software, and give the more reasonable range of pile diameter and pile spacing, serving as a reference for the design of positioning pile of pontoon wharf.

Key words: floating pontoon wharf; positioning pile; finite element

浮码头围船系定方式主要有锚链系定、带链系定和定位桩(墩)系定等。其中定位桩(墩)系定方式有: 围船上下游侧各布置1根定位桩(墩)^[1-2]、围船上下游侧各布置2根定位桩^[3-4]等。笔者在浮码头工程设计中, 围船定位桩的结构设计采用了在围船上下游侧各布置3根定位桩的系定方式(图1), 3根定位桩呈等边三角形布置, 围船首、尾镶套在定位桩上, 随着水位升降, 围船沿着定位桩上下移动。与三桩定位桩结构相比, 浮码头采用1根定位桩(墩)时, 为了使结构稳定, 必须加大定位桩桩径或加大定位墩基础。采用2根定位桩时, 为了控制围船横向位移和纵向位移, 围船系留形式须与锚、链结构相结合。而采用图1所示的三桩定位桩结构, 不采用锚、链结构就能够有效地控制围船的纵向和横向

位移。若将2根定位桩也镶套在围船的首尾, 则在稳定性和结构受力可靠性方面不如三桩定位桩结构。但是三桩定位桩结构设置有水平撑或斜撑, 这样会增加水上施工作业量和施工费用。

综上所述, 浮码头三桩定位桩系定方式与1根定位桩(墩)和2根定位桩系定方式相比在稳定性和受力可靠性方面更有优势。然而三桩定位桩结构形式在工程实践中应用较少, 相关的研究文献也很少。笔者参与了4个类似的浮码头围船定位桩工程设计项目, 由于设计船型、设计水位和地质资料等方面的不同, 导致各工程项目围船定位桩结构在桩距、桩径上存在差异, 且其中中石化巴陵分公司某浮码头、武汉某浮码头等围船定位桩结构没有设计斜撑; 池州港牛头山港区某浮码头、鄂州三和管桩某浮码头等定位桩结构设计

收稿日期: 2012-08-20

作者简介: 刘普(1986—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事水运工程结构设计和研究。

有斜撑。

基于这些差异,本文选取武汉某浮码头为工程实例(图1),利用通用有限元软件Midas Civil进行空间有限元建模分析,探讨桩距、桩径和斜撑对浮码头围船三桩定位桩结构内力和变形的影响,为以后浮码头围船定位桩结构设计提供参考。

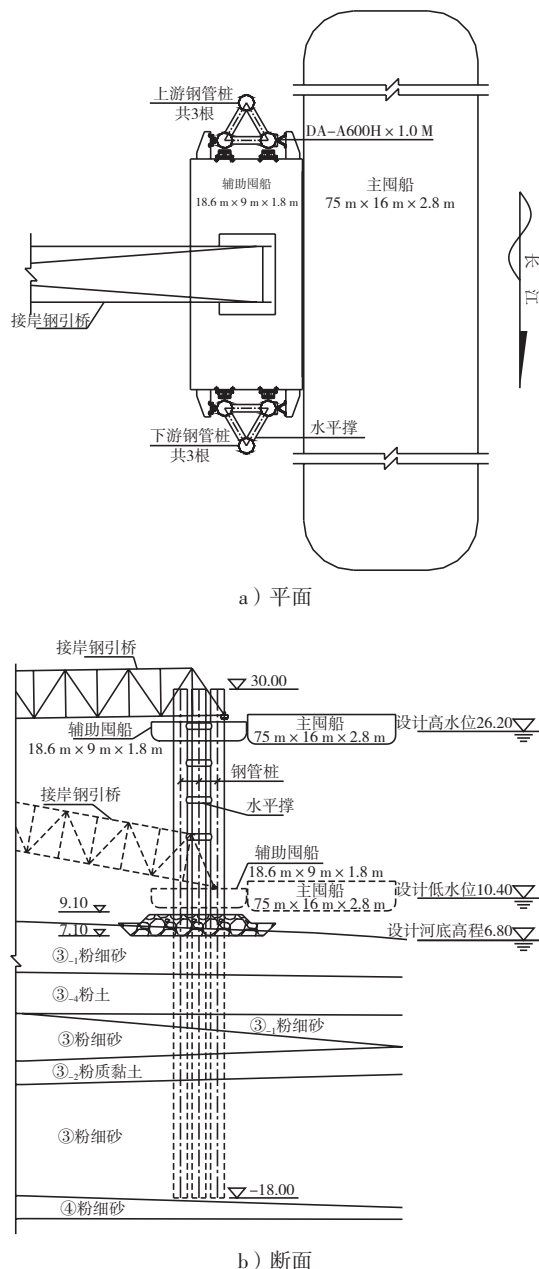


图1 武汉某浮码头定位桩结构

1 武汉某浮码头工程实例

1.1 设计船型

3 000吨级干散货船,型长×型宽×型深×满载吃水=86.8 m×16.2 m×4.7 m×3.5 m。

1.2 自然条件

1) 设计水位。设计高水位26.20 m,设计低水位10.40 m,设计河底高程6.80 m。

2) 最大水流速度2.0 m/s。

3) 基本风压 $W_0=0.25$ kPa。

4) 地质情况:工程所在地土层由上至下依次为粉细砂、粉土、粉细砂、粉质黏土和粉细砂。

1.3 定位桩结构

1) 钢管桩桩径:选定5种桩径(直径)来分析,分别为:1.0 m, 1.1 m, 1.2 m, 1.3 m, 1.4 m,壁厚均为18 mm,材料为Q345B。

2) 桩距:选定6种桩距(桩中心距,以下同)来分析,分别为:2.5倍桩径、3倍桩径、4倍桩径、5倍桩径、6倍桩径。

3) 水平撑: $\phi 600$ mm, $\delta=14$ mm,材料为Q345B。

4) 斜撑:300 mm×300 mm, $\delta=10$ mm,材料为Q345B。

1.4 荷载条件

由于下游定位桩结构受外部荷载作用更不利,因此本文中的定位桩结构荷载计算是在设计高水位情况下以下游定位桩结构为分析对象。

1) 结构自质量根据结构尺寸和材料密度计算。钢管桩、水平撑和斜撑的弹性模量 $E=2.06 \times 10^9$ kPa, $\rho_{\text{水上}}=7\ 850$ kg/m³ ($\rho_{\text{水下}}=6\ 850$ kg/m³), $\mu=0.3$ 。

2) 船舶靠泊撞击力:按3 000 DWT船舶,法向靠岸速度0.2 m/s,有效动能系数取 $0.77 \times 0.77=0.59$,参考《靠船桩船舶撞击力的计算》^[5]中的计算方法,计算结果见表1。

表1 船舶靠泊撞击力

桩径/m	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
船舶靠泊撞击力/kN	205.3	221.7	236.9	250.2	262.0

船舶水流力、风荷载和桩水流力计算参照《港口工程荷载规范》^[6]中相关规定。

3) 围船水流力设计值。

无船靠泊时111.7 kN,有船靠泊时305.6 kN。

4) 围船风荷载设计值。

风向与码头前沿平行, 无船靠泊时8.3 kN, 有船靠泊时51.5 kN; 风向与码头前沿垂直, 无船靠泊时50.6 kN, 有船靠泊时277.6 kN。

5) 钢管桩水流力。水面水流速度2.0 m/s, 水深17.10 m, 假定水流速度随水深变化而均匀变化, 至泥面处水流速度0 m/s, 则钢管桩所受水流力作用亦随水深变化而均匀变化。钢管桩水流力计算如表2所示。

表2 钢管桩水流力

桩径/m	水面处桩水流力/(kN·m ⁻¹)	泥面处桩水流力/(kN·m ⁻¹)
1.0	1.460	0
1.1	1.606	0
1.2	1.752	0
1.3	1.898	0
1.4	2.044	0

1.5 荷载组合

根据《水运工程钢结构设计规范》^[7]中对钢结构承载能力极限状态计算的规定, 采用《水运工程混凝土结构设计规范》^[8]中规定的作用分项系数, 围船定位桩结构所受荷载作用组合如下:

1) 船舶靠泊过程中。

工况1: 1.2自重+1.5撞击力+0.7(1.4围船风荷载+1.5围船水流力+1.5桩水流力), 风向垂直于水流方向。

工况2: 1.2自重+1.5撞击力+0.7(1.4围船风荷载+1.5围船水流力+1.5桩水流力), 风向平行于水流方向。

2) 船舶靠泊后。

工况3: 1.2自重+1.5(围船水流力+船舶水流力)+0.7(1.4围船风荷载+1.4船舶风荷载+1.5桩水流力), 风向平行于水流方向。

工况4: 1.2自重+1.5(围船水流力+船舶水流力)+0.7(1.4围船风荷载+1.4船舶风荷载+1.5桩水流力), 风向垂直于水流方向。

2 空间有限元模型分析

定位桩结构模型可简化为下端嵌固在地基中的弹性长桩, 嵌固点深度采用 m 法计算^[9]。

边界条件: 钢管桩下端在嵌固点处固接, 钢管桩与水平撑、水平撑与斜撑、钢管桩与斜撑均

为刚性连接。



图2 围船定位桩结构有限元模型

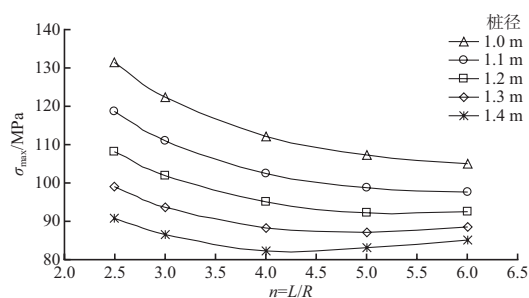
2.1 桩径、桩距改变对定位桩结构内力和位移的影响

采用Midas Civil有限元软件对没有设计斜撑的定位桩结构进行建模, 如图2所示。有限元分析时, 选用了5种桩径、6种桩距。图3~5分别为钢管桩应力、水平撑应力以及定位桩结构位移在4种工况(设计高水位)作用下随桩径、桩距改变而呈现的变化关系。图中横坐标轴 $n=L/R$, 其中 L 表示桩距, R 表示桩径, 用桩径的倍数 n 表示桩距。

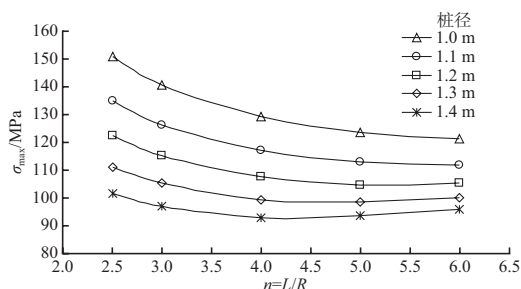
由《水运工程钢结构设计规范》第3.2.8条规定可知, 钢材牌号Q345, 厚度 $t \leq 16$ mm(水平撑、斜撑)和 $16 \text{ mm} < t \leq 35$ mm(钢管桩)对应的抗拉、抗压和抗弯容许应力值分别为310 MPa和295 MPa, 可见在本文中所做的有限元模型分析, 定位桩各组成部分的结构强度均能满足规范要求。

由图3a)可以看出, 对同一桩径的钢管桩, 随着桩距增大, 应力 σ 逐渐减小; 对同一倍数 n , 随着桩径增大, 应力 σ 逐渐减小, 且变化幅度随桩径增大而减小。 $n \in (2.5, 4)$, 钢管桩应力 σ 变化曲线斜率较大; $n \in (4, 6)$, 钢管桩应力 σ 变化曲线趋缓, 桩径为1.3 m, 1.4 m时, 应力 σ 趋于不变。图3b), c)和d)与a)具有一致性。

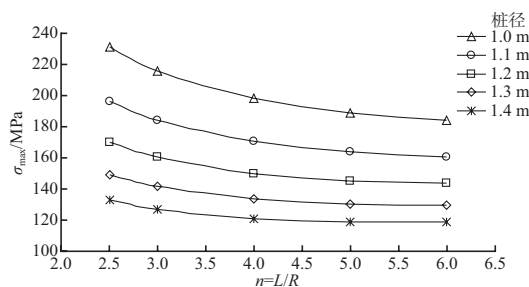
由图4a)可以看出, 对同一桩径下的水平撑, $n \in (2.5, 3)$, 桩径为1.0 m, 1.1 m和1.2 m时, 随着桩距增大, 水平撑应力 σ 呈微幅增大; $n \in (3, 6)$, 水平撑应力 σ 急剧减小。对同一倍数 n , 随着桩径增大, 水平撑应力 σ 减小。图4b), c)和d)与a)变化规律相似。



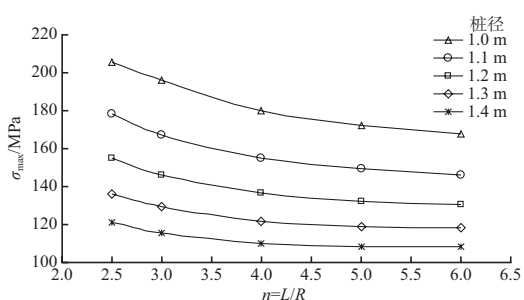
a) 工况1



b) 工况2

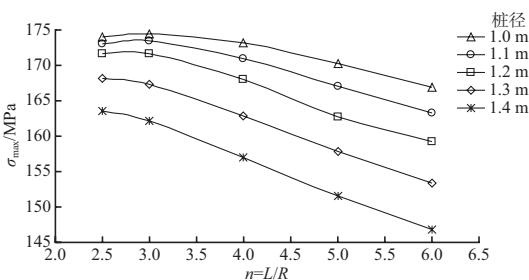


c) 工况3

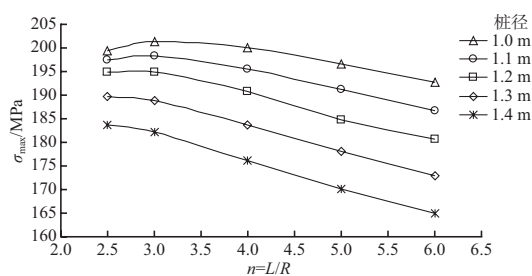


d) 工况4

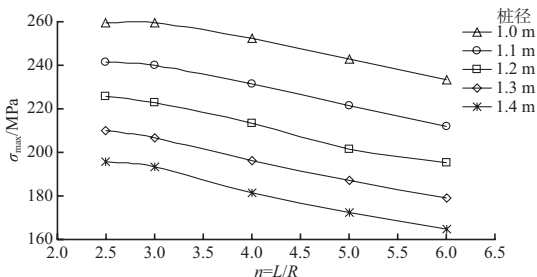
图3 不同工况下, 钢管桩应力与桩径、桩距变化关系



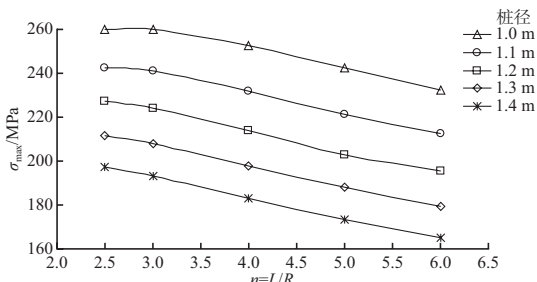
a) 工况1



b) 工况2



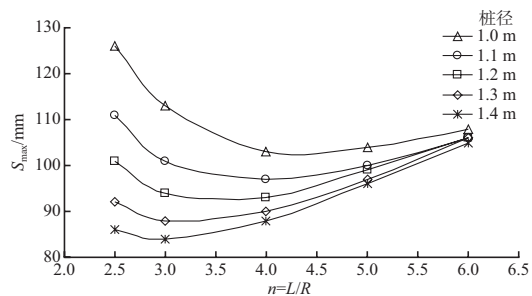
c) 工况3



d) 工况4

图4 不同工况下, 水平撑应力与桩径、桩距变化关系

图5为在不同工况下, 定位桩结构位移与桩径和桩距变化关系曲线, 图5a), b), c)和d)具有相似的变化规律。由图5a)可以看出, 在同一桩径下, 结构位移 S 与 n 的关系曲线呈抛物线形式, 且位移 S 的最小值对应的 n 值随桩径增大而减小。对同一倍数 n , 随着桩径增大, 位移 S 减小, 且变化幅度随桩径增大而减小。另外 $n \in (4, 6)$, 各桩径对应的位移 S 之间的差值随桩径增大而减小。在 $n=6$ 和工况1、工况2作用时, 各桩径对应的位移 S 几乎相等。



a) 工况1

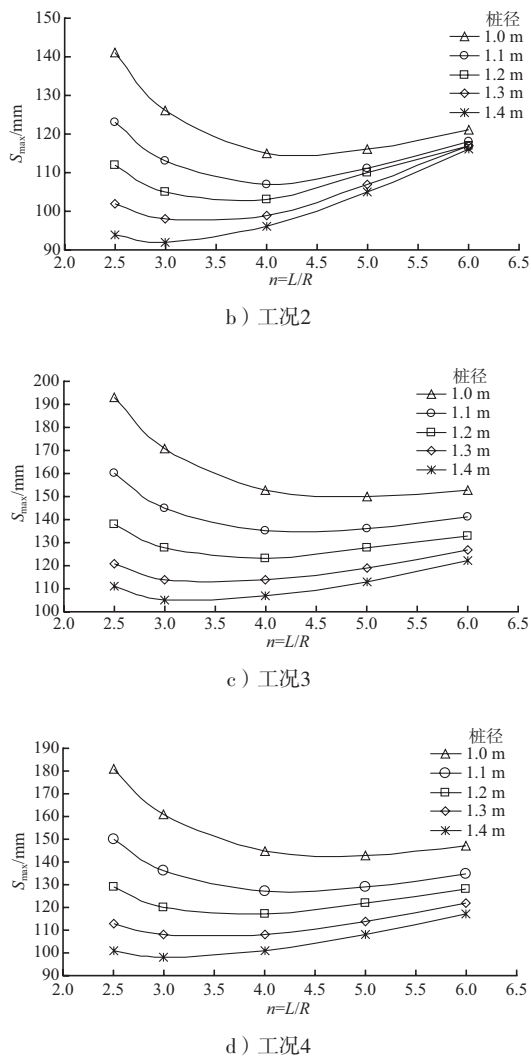


图5 不同工况下, 结构位移与桩径、桩距变化关系

从以上分析可知, 三桩定位桩结构设计时, 桩距不宜过大也不宜过小, 桩距过小, 则钢管桩应力、水平撑应力及结构位移均处于较高水平; 桩距过大, 则会导致辅助围船尺寸做大, 或者改变辅助围船上牛腿(图6)的安装方式, 前者增加成本, 后者对施工造成不便。因此桩距宜选择为3~4倍桩径, 且桩径越小, 桩距要相应选择大一些。

2.2 斜撑对定位桩结构内力和位移的影响

采用Midas Civil有限元软件对设置斜撑的定位桩结构进行建模。

2.2.1 斜撑的连接形式

如图6所示的下游定位桩结构平面图, 1[#]桩既承受船舶撞击力挤靠力, 又承受围船水流力等荷载; 2[#]桩主要承受围船水流力等荷载; 3[#]桩主要承受桩水流力等荷载。因此3根桩的受力状况可排序

为1[#]桩>2[#]桩>3[#]桩。

斜撑连接形式有两种: 1) 1[#]桩低一级水平撑和钢管桩的节点与2[#], 3[#]桩的高一级节点连接, 2[#]桩低一级水平撑和钢管桩的节点与3[#]桩的高一级节点连接, 模型见图7a)。2) 1[#]桩高一级水平撑和钢管桩的节点与2[#], 3[#]桩的低一级节点连接, 2[#]桩高一级水平撑和钢管桩的节点与3[#]桩的低一级节点连接, 模型如图7b)所示。

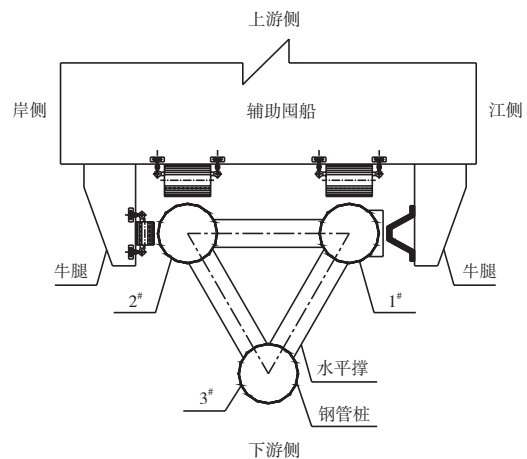


图6 下游定位桩结构

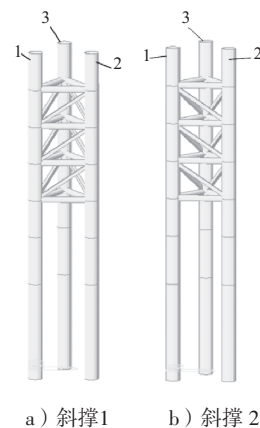


图7 设置斜撑的定位桩结构有限元模型

2.2.2 有限元分析

有限元分析时, 选定钢管桩桩径为1.3 m。图8~10分别为钢管桩应力、水平撑应力以及定位桩结构位移在4种工况(设计高水位)作用下分别在无斜撑和有斜撑时随桩距改变而呈现的变化关系。

在图8~10中, a), b), c)和d)具有相似的变化规律。斜撑1和斜撑2对钢管桩应力、水平撑应力以及定位桩结构位移与桩距的变化曲线几乎重叠, 可见斜撑1、斜撑2对定位桩结构的作用相同。设

置斜撑能有效地减小钢管桩应力、水平撑应力以及定位桩结构的位移,尤其是水平撑应力值减小为无斜撑时的一半。在图8a), b) 中, $n \in (5, 6)$, 设置斜撑后, 钢管桩应力值趋于不变; c), d) 中, $n \in (4, 6)$, 设置斜撑后, 钢管桩应力与 n 的关系曲线趋于平缓。从图9和10中可以看到, $n \in (4, 6)$, 设置斜撑后, 水平撑应力和定位桩结构位移大小趋于不变。

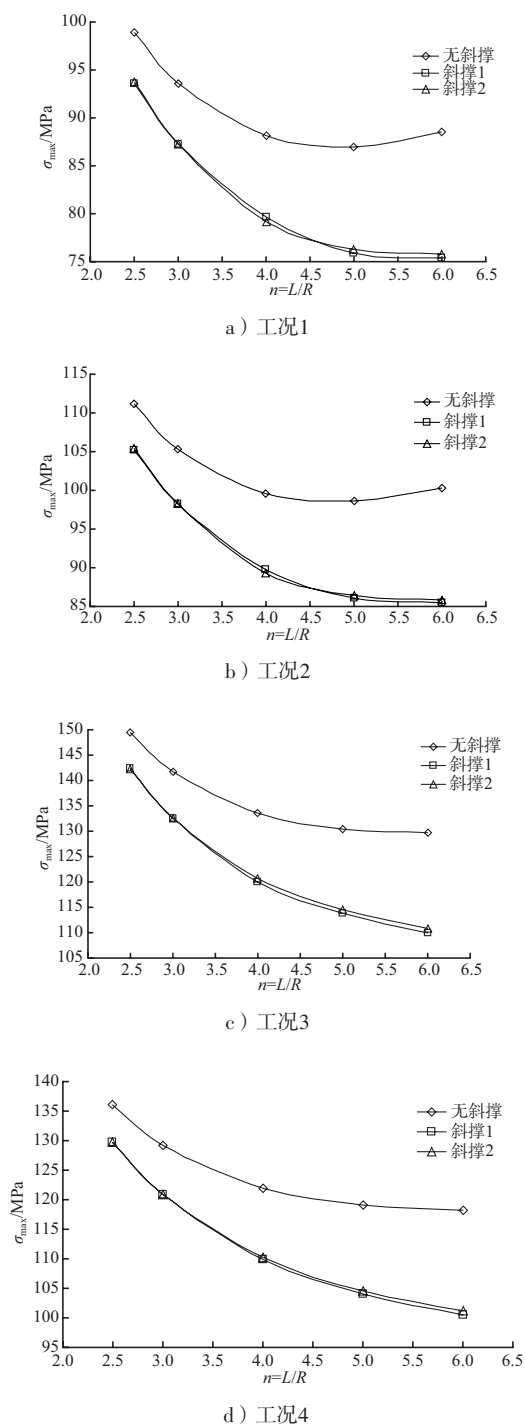


图8 不同工况下, 斜撑对钢管桩应力的影响

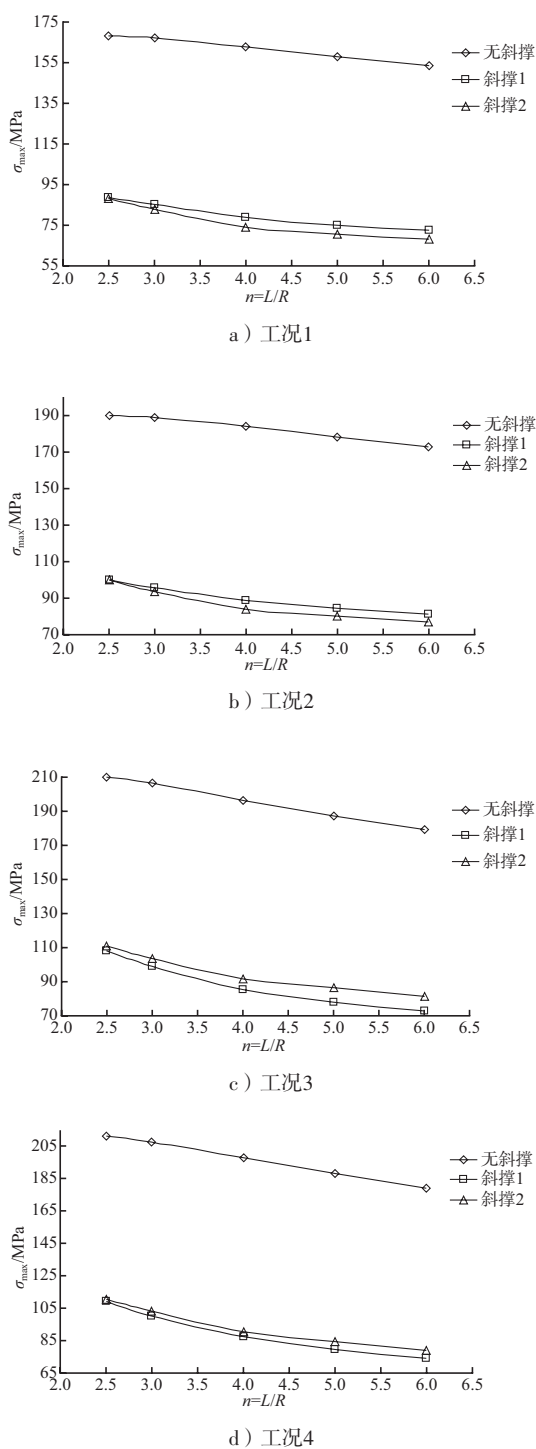
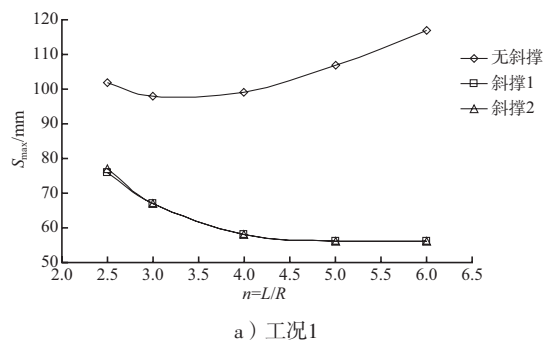


图9 不同工况下, 斜撑对水平撑应力的影响



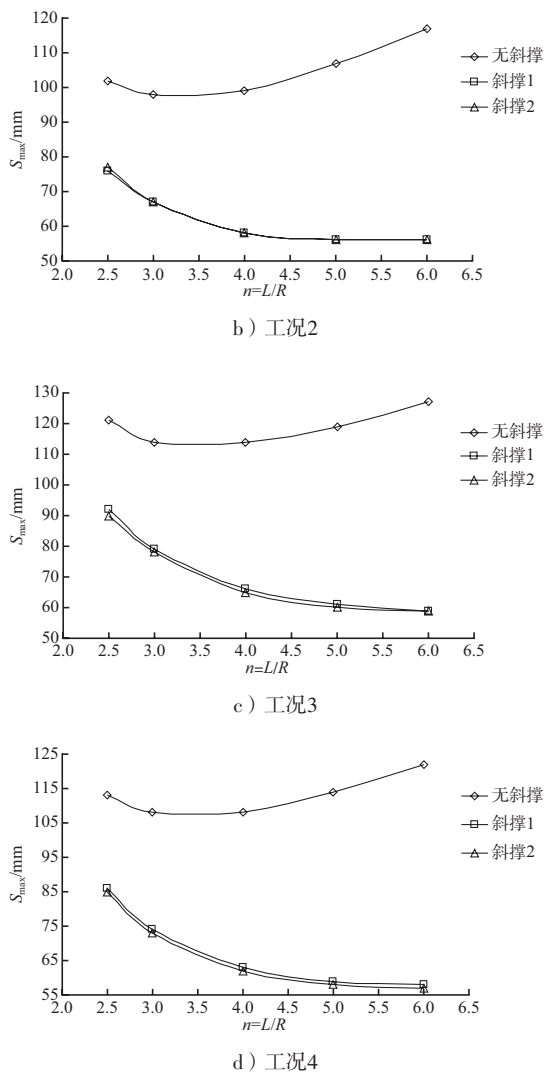


图10 不同工况下,斜撑对定位桩结构位移的影响

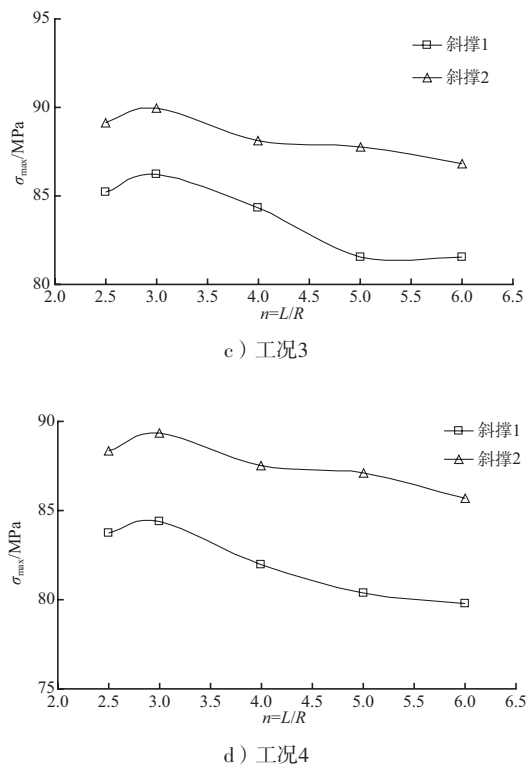
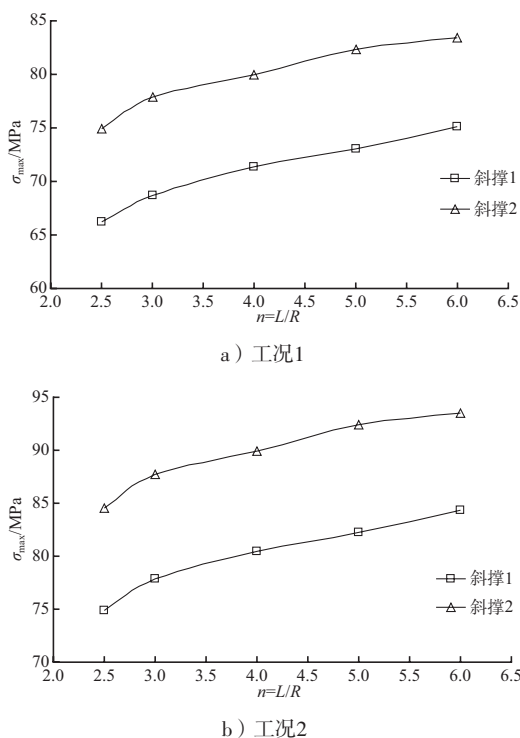


图11 不同工况下,斜撑应力与桩距变化关系

由图11可知,桩距从2.5倍桩径增大到6倍桩径,斜撑应力变化的最大值约为10 MPa,可见桩距改变对斜撑的影响甚微。另外在4种工况作用下,斜撑1的斜撑应力比斜撑2的斜撑应力小,但差值仅约为5 MPa,可以认为桩距变化对斜撑1与斜撑2的斜撑应力影响相同。

从以上分析可知,三桩定位桩结构中,斜撑1、斜撑2对钢管桩应力、水平撑应力以及定位桩结构位移的作用相同,可见斜撑设置形式的差异对定位桩结构的影响很小。桩距大于4倍桩径后,钢管桩应力、水平撑应力以及定位桩结构的位移随桩距增大而变化很小,因此,定位桩结构设置斜撑时,桩距不宜大于4倍桩径。

3 结论

1) 本文中所做的有限元模型分析,定位桩各组成部分的结构强度均能满足规范要求。

2) 围船三桩定位桩结构设计时,桩距不宜过大也不宜过小。桩距过小,则钢管桩应力、水平撑应力及结构位移处于较高值;桩距过大,则会导致辅助围船尺寸做大,或者改变辅助围船上牛腿的安装方式,前者增加成本,后者对施工造成

不便。因此桩距宜选择为3倍桩径~4倍桩径。在桩距为相同倍数 n 下, 桩径增大, 钢管桩应力、水平撑应力及结构位移减小, 且变化的幅度随桩径增大而减小。

3) 斜撑设置形式的差异对定位桩结构的影响很小。定位桩结构设置斜撑时, 桩距不宜大于4倍桩径。

参考文献:

[1] 祖福兴, 李洪英. 钢导桩定位浮趸自动升降的大水位差浮码头研究[J]. 水运工程, 2010(5): 108-110, 125.

[2] 刘世海. 混凝土定位墩在浮码头上的应用[J]. 工程与建

筑 (上接第66页)

[5] 刘海源, 张慈珩. 三亚南山港波浪数模与物模试验对比研究[J]. 水道港口, 2006, 27(4): 231-235.

[6] 杨会利, 刘海源, 郑宝友. 青岛造船基地防波堤工程防浪效果研究[J]. 水道港口, 2008, 29 (1): 36-38.

[7] 刘欣明, 刘海成, 迟杰. 复杂水域波浪物理模型与数学模型对比研究[J]. 水道港口, 2010, 31 (3): 170-174.

[8] 栾英妮, 刘海源, 张华庆. 青岛港董家口港区防波堤工程防浪效果研究[J]. 水道港口, 2010, 31(4): 266-269.

[9] Lee H S, Wang K H, Williams A N. A three dimensional modeling of multidirectional random wave diffraction by rectangular submarine pits[J]. Ocean Engineering, 2007,

34:665-675.

(上接第85页)

从实践过程来看, 根据每种海洋物探方法技术的特点组合使用, 对于解决各种水下结构物探测问题具有良好的应用效果, 随着我国经济和技术水平的快速发展, 近海工程逐渐增多, 海洋物探技术必将发挥更大的作用, 创造良好的社会和经济效益。

参考文献:

[1] 曹根祥, 丁捍东. 长江口深水航道治理工程护底软体排施工成套工艺及设备的开发[J]. 水运工程, 2006 (12): 68-73.

[2] 梁碧. 护心滩建筑物稳定性研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2009.

[3] 刘晓菲, 王平义, 杨成渝. X型系混凝土块软体排模拟技术[J]. 水运工程. 2011(2): 102-107.

[4] 马爱兴, 曹民雄, 王秀红, 等. 长江中下游航道整治护滩带损毁机理分析及应对措施[J]. 水利水运工程学报,

2008, 22(3):348-349.

[3] 张先武. 浮码头围船固定新方法[J]. 水运工程, 1994(7): 15-17.

[4] 屠红珍, 冯建国. 码头工程中双桩浮式消能设施设计[J]. 水运工程, 2006(6): 41-44.

[5] 杨世殊, 范焱斌. 靠船桩船舶撞击力的计算[J]. 湖南交通科技, 2003, 29(2): 90, 101.

[6] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].

[7] JTS 152—2012 水运工程钢结构设计规范[S].

[8] JTS 151—2011水运工程混凝土结构设计规范[S].

[9] JTJ 254—1998 港口工程桩基规范[S].

(本文编辑 武亚庆)

[10] Li Y S, Liu S X, Wai O W H, et al. Wave concentration by a navigation channel[J]. Applied Ocean Research, 2000, 22:199-213.

[11] 陈国平, 严士常. 揭阳港惠来沿海港区靖海作业区通用码头工程波浪整体物理模型试验报告[R]. 南京: 河海大学港口, 海岸与近海工程学院, 2011.

[12] Zwamborn J A, Greve G. Wave attenuation and concentration associated with harbor approach channels[J]. Int Conf of Coast Eng, 1974, 120: 2 068 -2 085.

(本文编辑 郭雪珍)

2011(2): 32-38.

[5] 罗深荣. 侧扫声呐和多波束测深系统在海洋调查中的综合应用[J]. 海洋测绘, 2003, 23(1): 22-25.

[6] 刘保华, 丁继胜, 裴彦亮, 等. 海洋地球物理探测技术及其在近海工程中的应用[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(3): 374-384.

[7] 肖都. 海洋物探方法技术在工程勘察领域的应用[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29: 280-284.

[8] 洪四雄, 刘庆东, 陈一超, 等. 港珠澳大桥水下结构物的多手段探测[J]. 海洋测绘, 2009, 29(5): 71-73.

[9] 陈军, 刘建军. 物探技术在水下管线探测中的应用[J]. 城市勘测, 2011(1):156-163.

[10] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 长江口深水航道南北港分汉口河段新浏河沙护滩及南沙头通道潜堤工程滩头堤段外侧余排边缘位置勘察技术报告[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2010.

(本文编辑 郭雪珍)