



高桩码头夹桩施工形式优化

刘梅梅¹, 程 博²

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230; 2. 中交四航局第二工程有限公司, 广东 广州 510300)

摘要: 夹桩在加强沉桩后桩基的稳定性、增加已沉钢管桩抵抗水流和风浪的能力方面具有显著作用。目前, 没有规范可为夹桩设计及施工提供指导。结合工程实例, 通过相关规范、结构力学和有限元方法对夹桩形式、型钢强度和夹桩层间距对夹桩结构强度和稳定性的影响进行较深入的研究, 为今后工程设计和施工提供理论依据。

关键词: 高桩码头; 夹桩; 嵌固点; 强度; 稳定性

中图分类号: U 656.1*13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0171-07

Optimization of clip pile construction for high-pile wharf

LIU Mei-mei¹, CHENG Bo²

(1. CCCC Four Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. The Second Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510300, China)

Abstract: Clip piles play a significant role in enhancing the stability of piles and increasing resistance to the action of water, wind and wave. Currently, there is no specification providing guidance for the design and construction of clip piles. This paper studies the influence of clip pile way, the strength of steel and fixture layer space on the structural strength and stability using relevant norms, structure mechanics and finite element method based on an engineering project. The results provide a theoretical basis for the future design and construction.

Keywords: high-pile wharf; clip pile; building-in point; strength; stability

提高桩基水平稳定性的措施有: 地基表面抛石、采用大直径桩基、处理浅层地基^[1]、采取夹桩措施。其中, 夹桩方案在桩基码头中应用最多, 目的是通过连接部件将桩基连接成整体, 从而增大抗风浪能力。夹桩部件除抵抗风浪荷载外, 还可作为后期平台底模。过去码头桩基以预制方桩为主, 夹桩时多采用夹桩木夹桩, 但木材强度较低, 在大风浪条件下很容易破坏, 现常采用钢材, 如槽钢、工字钢等。

夹桩连接方式有 4 种^[2]: 1) 吊筋方式。此方式在内河及长江码头上用的比较多, 以桩头作为受力点, 将吊筋挂在桩头上, 下面吊住围圈型钢。吊筋的转角处应做成圆弧形过渡。2) 牛腿方式。

对于钢管柱基础, 一般采用焊接钢牛腿来承受来自构筑物的荷载, 型钢放置在牛腿上, 焊接或通过螺栓连接。3) 钢板抱箍方式。分为两个半圆对扣方式和绞结对扣方式, 混凝土管桩中应用较多。4) 吊挂方式。吊挂采用两层承载梁, 上层为挂梁, 下层为支撑梁, 挂梁用型钢支撑在桩头上, 支撑梁通过拉杆挂在挂梁上。分为两种情况: ①上层挂梁仅为横梁, 下层支撑梁仅在桩位处用拉杆挂在挂梁上; ②上层挂梁采用纵梁, 且刚度大, 下层支撑梁规格较小, 采用多拉杆挂在挂梁上。

夹桩高程的选择是非常矛盾的。若选择过高, 低潮位时, 缆绳在夹桩之上会向下拉扯夹桩钢材,

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 刘梅梅 (1985—), 博士, 工程师, 从事港口、水运工程检测、评估与维修加固研究。

损坏夹桩槽钢，对已沉钢管桩造成危害。若选择过低时，夹桩无作业时间或者作业时间太少，难以完成夹桩。夹桩的形式也多样化，各有特点，不同水文地质条件下，所起的作用不同，没有明确的设计规范供夹桩设计计算参考，全凭经验进行施工，为了更好地指导工程施工，现将夹桩方案进行优化比选，提出适用于不利风浪条件下的夹桩方案。

1 工程概况

30 万吨级泊位 1 个，总长度 420 m，蝶形墩式布置。码头工作平台平面尺寸为 40 m × 32 m，由 30 根斜桩组成，桩间距分别为 7.0、7.2 m，桩基直径为 1.2 m，厚度为 20 mm。码头区泥面高程为 -21.89 m，土质从第 1 层开始分别是淤泥、淤泥混砂、砂混淤泥、中粗砂、粉细砂等等，持力层为强风化花岗岩。码头桩基平面布置见图 1。

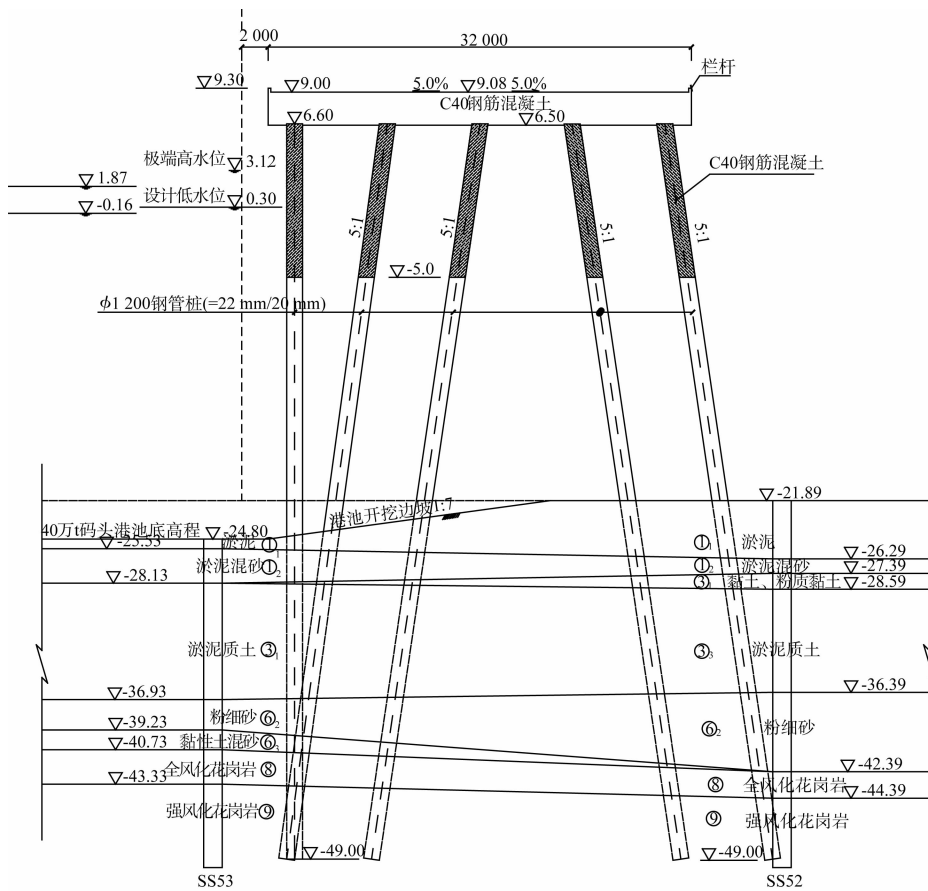


图 1 码头桩基平面布置（尺寸单位：mm，高程单位：m，下同）

2 夹桩现场布置情况

考虑钢管桩斜率和转角情况较复杂，夹桩结构采用“小牛腿 + 槽钢”井字形结构，先吊装主梁槽钢到钢管桩两侧的烧焊牛腿（或抱箍附带牛腿）上满焊，然后垂直方向的次梁槽钢靠紧钢管桩两侧，形成井字形整体受力。

钢抱箍先根据桩径、夹桩高程、扭角方向等参数进行加工，提前将夹桩所需的钢牛腿焊接在抱箍上。钢管桩沉桩完成后即可在桩上进行抱箍

安装，也可以在风浪好的情况下，利用浮排或者交通船经行抱箍安装。

其它斜率、扭角方向及偏差较大的钢管桩无法使用抱箍夹桩的，全部采用现场焊接牛腿方案（位置、高程可根据现场情况调整）。夹桩牛腿钢板可根据钢管桩的斜率提前下料，焊接时再根据实际夹桩高程对钢板进行局部修整。

码头区工作平台为高墩台，桩顶部最低高程为 6.6 m、最高为 10.8 m，拟采用 2 层夹桩，上层

夹桩兼作墩台底模的施工平台。

第 1 层夹桩面高程为 3.0 m, 第 2 层夹桩面为墩台底高程以下 2.0~2.5 m 处。采用槽钢与钢管桩两侧的牛腿连接, 另一个方向槽钢靠紧钢管桩后与下层槽钢焊接成整体 (图 2)。

3 荷载组合

水面以上桩头高程较小, 受到的风荷载较波浪荷载小得多, 这里只考虑波浪作用。按 5 a 一遇 $H_{4\%}$ 的波浪要素进行计算, 其波浪要素及水文条件分别见表 1 和表 2。

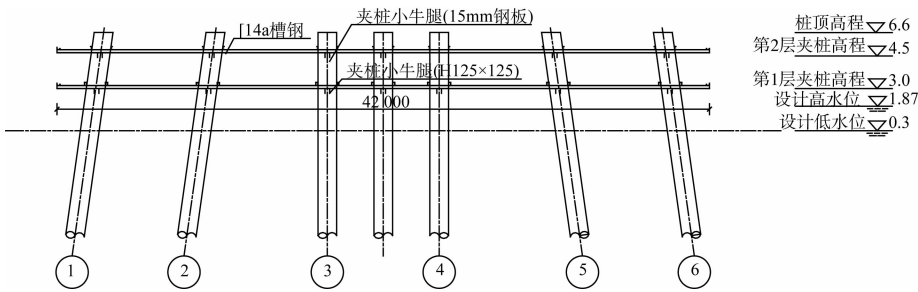


图 2 工作平台以及转角平台夹桩示意

表 1 5 a 一遇 $H_{4\%}$ 设计波浪要素							
主波向	重现期/a	$H_{1\%}/\text{m}$	$H_{4\%}/\text{m}$	$H_{5\%}/\text{m}$	$H_{13\%}/\text{m}$	T/s	L/m
SE	5	7.9	6.7	6.5	5.5	9.3	123.3

表 2 设计水文资料				m
50 a 一遇 极端高水位	设计 高水位	设计 底水位	50 a 一遇 极端底水位	
3.12	1.87	0.30	-0.16	

本工程桩距 $L>4d$, 故不考虑群桩系数。但是波浪力作用在桩上时, 存在一定的相位差, 故在波浪力方向不同距离的波浪力不同。但是由于本工程波浪波长超过 100 m, 远大于桩距, 桩在波浪力作用下受力大小差别不大, 故对于桩最不利受力状况按照桩全体受力来计算。根据规范 JTS 145-2—2013 《海港水文规范》^[3] 进行波浪力计算, 计算结果见表 3。

表 3 波浪荷载														
极端水深 d/m	钢管柱 直径 D/m	$\omega t = 0^\circ$			$\omega t = 270^\circ$			K_1	K_2	K_3	K_4	最大总波浪力 $P_{\max}/\text{kN}$	最大总弯矩力 $M_{\max}/(\text{kN}\cdot\text{m})$	作用点距 泥面以上/m
		Z_2/m	α	β	Z_2/m	γ_P	γ_M							
25.01	1.2	29.365	1.2	1.2	26.015	1	1	0.254	0.907	0.124	0.676	111.14	2 032.05	18.28

由于现有夹桩工作属于临时工作状态, 根据 GB 50158—2010 《港口工程结构可靠度设计统一标准》^[4] 的要求, 按照承载力极限状态中短暂组合进行设计叠加, 且假设受力和变形为线性关系, 则按照如下公式进行叠加:

$$S_d = \sum_{i \geq 1} \gamma_{G_i} S_{G_{ik}} + \gamma_P S_P + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q_j} S_{Q_{jk}} \quad (3)$$

其中重力和波浪力分项系数分别按 1.1 和 1.4 计算。

4 数值模型的建立

本文采用大型通用有限元软件 ABAQUS^[5] 分析群桩夹桩的受力情况 (图 3)。

1) 材料属性。桩基采用 Q345 钢材, 型钢采用 Q235, 材料参数见表 4。

表 4 材料参数						
材料	弹性模量 E/GPa	泊松比 μ	屈服强度 f_s/MPa	抗拉强度设计值 f_u/MPa	抗压强度设计值 f_y/MPa	抗弯强度设计值 f/MPa
Q345	200	0.3	345	470	345	315
Q235	200	0.3	235	375	225	205

2) 边界条件。桩基埋入地基部分通过嵌固点法进行模拟, 桩的自由长度为 35.48 m, 桩端采用

全约束, 型钢与钢管桩间采用固结处理, 模拟实际中的焊接。

- 3) 单元类型。钢管桩采用线性减缩积分单元 C3D8R，型钢采用欧拉-伯努利(三次)梁单元 B23。
- 4) 荷载施加。将波浪集中荷载转化为单位宽度面荷载施加在桩上，作用点位置同表 4 中的计算结果。

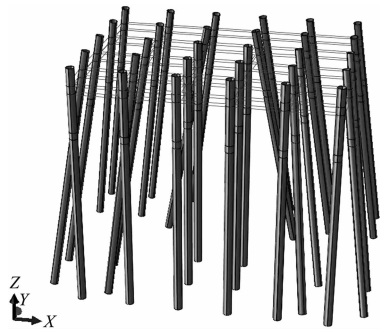


图 3 夹桩模型

5 结果分析

图 4 为工作平台钢管桩和槽钢 Mises 应力及夹桩位移，其中钢管桩最大应力为 170.8 MPa，最大值主要位于嵌固点附近，即底部约束部位；槽钢最大应力为 129.9 MPa；夹桩结构的桩顶最大水平位移为 483 mm，根据 GB 50017《钢结构设计规范》^[6] 规定：483 mm > h/150 (= 237 m, h 取嵌固点到桩顶距离)，位移不满足要求。钢管桩和槽钢应力均处于弹性阶段，主要由于桩基水平大位移导致整体结构不稳定。

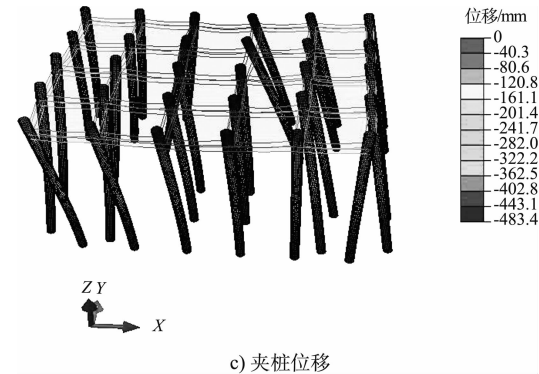
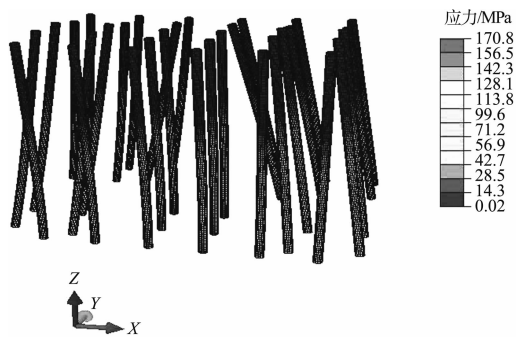


图 4 应力及位移

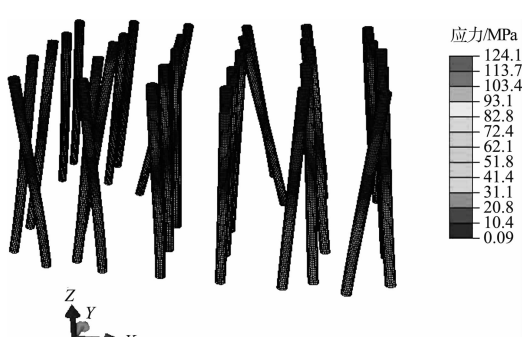
改进方案主要有增加夹桩层数、增大夹桩层间距、提高夹桩刚度、夹桩间增加斜支撑等方法。对于本工程，水面以上桩端较短，若增加夹桩层数或增大层间距，型钢会处于水下，影响施工，因此只能改变夹桩形式或提高槽钢刚度，以提高整体稳定性。

1) 加斜支撑。

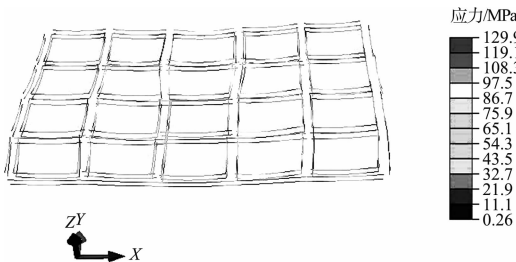
图 5 为在上下两层夹桩间加 2 根斜支撑的改进方案，同样采用【14a 型号的槽钢。钢管最大应力为 124.1 MPa，槽钢达到屈服应力 235 MPa，屈服部分主要是斜支撑槽钢与钢管连接部位，这是由于斜支撑抵抗很大的桩间位移，导致压屈。夹桩顶部最大水平位移为 268 mm，与原方案 483 mm 相比有明显减小。



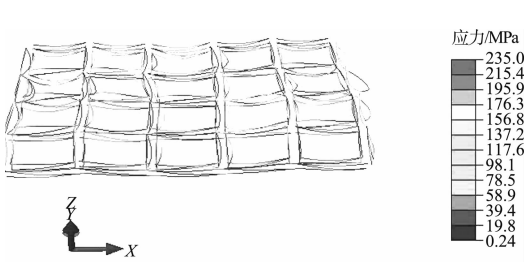
a) 钢管桩Mises应力



a) 钢管桩Mises应力



b) 槽钢Mises应力



b) 槽钢Mises应力

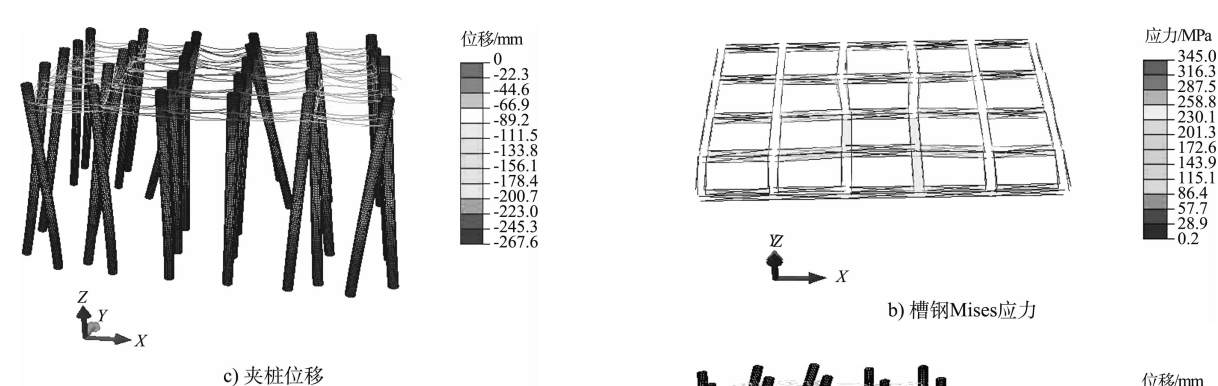


图 5 加 2 根斜支撑后的应力及位移

图 6 为上下两层夹桩间加 4 根斜支撑的改进方案, 依然采用【14a 型号的槽钢, 斜支撑采用 Q345 型号的钢材。钢管最大应力为 124.1 MPa, 槽钢达到屈服应力 345 MPa, 屈服部分主要是斜支撑槽钢与钢管连接部位, 这是由于斜支撑抵抗很大的桩间位移, 导致压屈。夹桩结构桩顶最大水平位移为 224 mm, 比加 2 根斜支撑的方案位移减小较少, 但根据 GB 50017 《钢结构设计规范》^[6] 规定: $224\text{ mm} < h/150$ ($=237\text{ mm}$, h 取嵌固点到桩顶距离), 位移满足规范要求。说明加斜支撑的方法可大大减小水平位移, 但由于斜支撑受到桩间压力很大, 容易导致压曲破坏。

2) 增大槽钢刚度。

图 7 为增大槽钢刚度的改进方案, 将【14a 型号的槽钢改为【18a。钢管最大应力为 165.8 MPa, 槽钢最大应力为 111.1 MPa, 钢管桩和槽钢应力均有所减小, 夹桩结构桩顶最大水平位移为 466 mm, 比原方案位移减小 3.5%, 整体改善效果不明显。

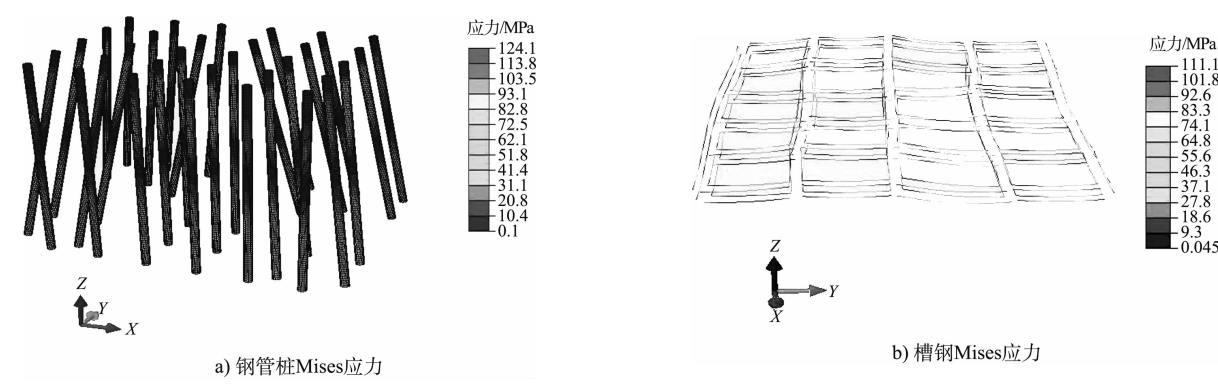


图 6 加 4 根斜支撑后的应力及位移

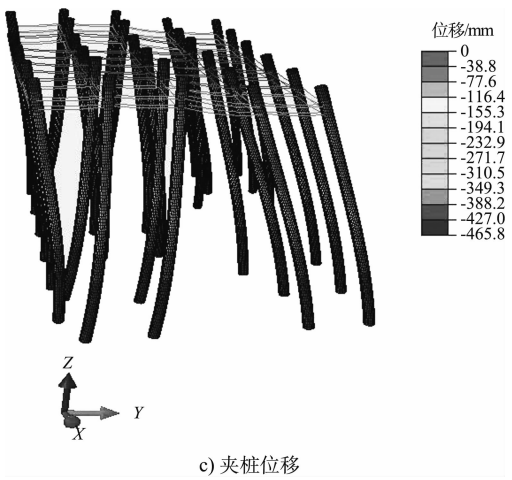


图 7 增大槽钢刚度后的应力及位移

3) 增大夹桩层间距。

图 8 为增大夹桩层间距的改进方案，将原来 1、2 层的间距由 1.5 m 变为 2.5 m，即将第 1 层夹桩向下移 1 m (此方案未考虑对施工影响)。钢管桩最大应力为 170.2 MPa，槽钢最大应力为 132.8 MPa，钢管桩和槽钢应力均有所减小，夹桩结构桩顶最大水平位移为 482 mm，与原方案相差不大，对结构整体强度和稳定性几乎没有影响。

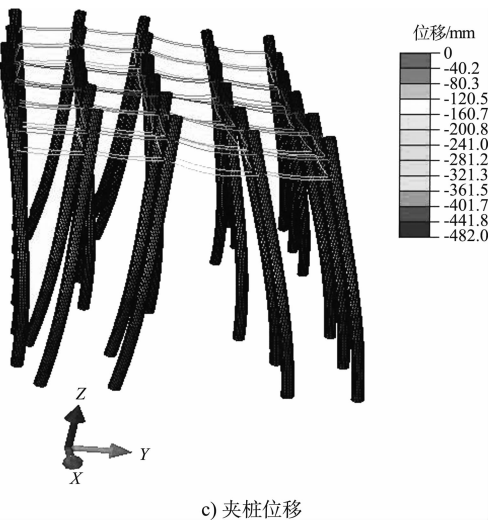
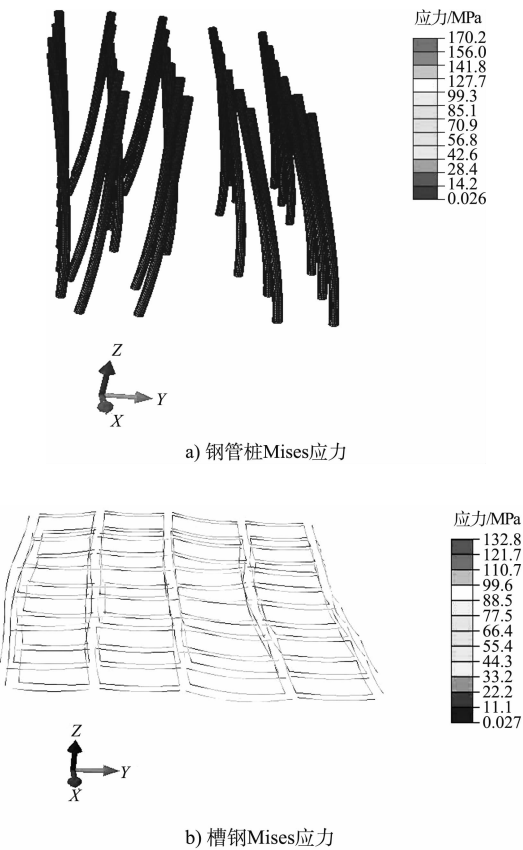
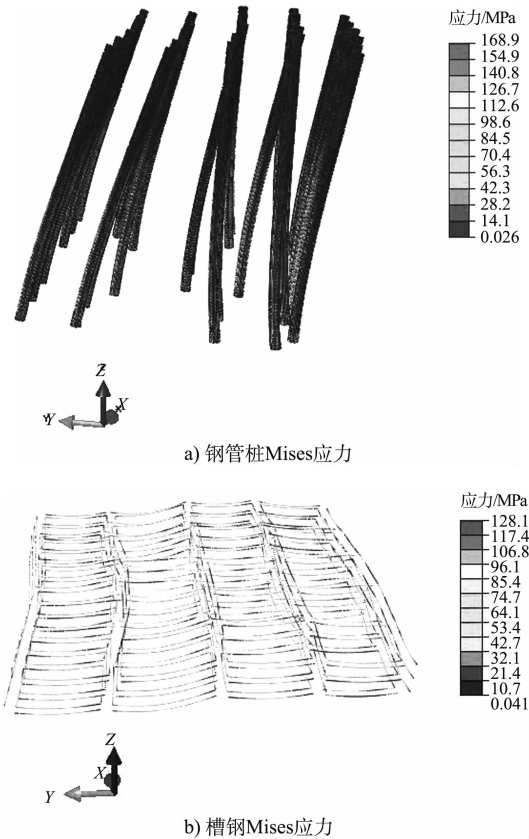


图 8 增大夹桩层间距后的应力及位移

4) 增加夹桩层数。

图 9 为增加夹桩层数的改进方案，在原来 1、2 层的基础上加第 3 层夹桩，间距均为 1.5 m。钢管桩最大应力为 168.9 MPa，槽钢最大应力为 128.1 MPa，夹桩结构桩顶最大水平位移为 477 mm，与原方案相比，钢管桩、槽钢应力及群桩位移均有所降低，但降低很小，对结构整体强度和稳定性影响不大。



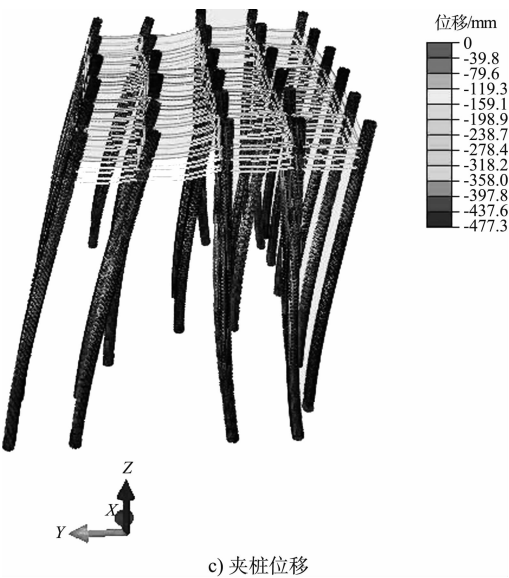


图 9 增加夹桩层数后的应力及位移

6 结论

1) 夹桩型钢与钢管桩连接良好的前提下, 夹桩措施可很好地抵御风、浪作用, 夹桩将群桩连成整体, 克服了大荷载作用下单桩薄弱的问题。

2) 夹桩层数、层间距、型钢刚度、强度以及夹桩形式对结构强度和稳定性有一定影响, 其中夹桩形式对其影响最大, 井字形夹桩在减小桩基位移方面贡献较小, 加斜支撑可大大减小水平位移, 但对斜支撑的强度要求很高。

3) 实际工程中, 根据水文条件合理选择夹桩形式, 大风浪条件下应选择合适的夹桩形式。同时根据实际情况, 适当增加夹桩层数, 加大层间距, 斜支撑采用截面刚度和强度较高的型钢, 可有效提高结构的稳定性。

参考文献:

[1] 无巨贵. 提高桥梁桩基础抗水平推力的地基处理方法[J]. 江苏建筑, 2011(2): 84-100.

[2] 刘忠友. 夹桩模式分析[J]. 交通工程建设, 2010(3): 8-11.

[3] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].

[4] GB 50158—2010 港口工程结构可靠度设计统一标准[S].

[5] 石亦平. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

[6] GB 50017—2003 钢结构设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 152 页)

参考文献:

[1] 刘振平, 顿军华. 锈蚀作用对钢板桩码头影响研究[J]. 低温建筑技术, 2013(3): 123-125.

[2] 方卫东, 朱锡昶, 葛燕, 等. 阴极保护 30 a 码头钢板桩腐蚀状况[J]. 水运工程, 2010(2): 75-78.

[3] 李淑娴, 陈国栋, 王煦, 等. 预应力钢拉杆施工全过程分析及检测[J]. 施工技术, 2014(8): 52-54.

[4] 陈锋, 杨炼. 板桩码头拉杆初始张拉力的控制[J]. 水运工程, 2001(9): 62-64.

[5] 王荣辉, 郑楷柱, 刘长海. 基于频率法的短索索力实用计算公式[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(11): 2 988-2 991.

[6] 魏建东. 索力测定常用公式精度分析[J]. 公路交通科技, 2004, 21(2): 53-56.

[7] 方志, 张智勇. 斜拉桥的索力测试[J]. 中国公路学报, 1997(1): 51-58.

(本文编辑 武亚庆)