

靠船簇桩在临时码头加固工程中的应用

张丽萍

温州市海港规划设计有限公司 浙江 杭州 310052

[摘要] 柔性靠船簇桩在海港码头设计中越来越广泛, 本文以某个临时码头为例, 介绍靠船簇桩在临时码头加固设计中的应用, 提出合理可行的加固方案及结构计算方法。

[关键词] 柔性靠船桩; 加固; 计算

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2020.03.182

某5000吨级临时码头, 主要出口人工碎石, 码头平台长156m, 宽20m, 共设置2个分段, 码头与陆域通过1座长125m、宽8m的栈桥连接。码头采用高桩钢结构梁板形式, 下部原有桩基为钢管桩, 上部梁板均为钢结构。

该码头近期被大船撞击, 被船撞击的分段, 产生较大位移, 码头两个分段之间产生较大错位, 经检测评估, 上游分段向后方位移约25cm的距离, 影响码头安全使用, 为保证码头靠泊安全, 需立即采取加固措施。

常规加固措施一般为在现有码头每榀排架下加桩或在码头前沿增加柔性靠船桩。后经检测, 撞击后的码头分段下方部分钢管桩已产生倾斜, 斜度不满足规范要求。若采取在原结构上加桩方式, 原结构分段桩基可使用性有待斟酌, 结构稳定计算必须考虑一定折减, 但折减多少无法定性。该方案可靠性不高。

经综合考虑, 从投资性价比、结构可靠性、技术可行性各方面比选, 推荐采用增加柔性靠船簇桩以抵抗靠船力的方案。靠船簇桩目前较为普遍的做法是设置在码头前沿作为靠船结构承受撞击力和挤靠力, 船舶仍系缆在码头上。本工程码头主要为上游分段变形需加固, 若采用前沿设置靠船簇桩方案, 至少需要在码头前沿设置4组靠船簇桩(每个分段各2组), 考虑到本工程为临时码头工程, 为尽量节省加固费用, 充分发挥现有码头的结构功能, 推出在码头受撞击分段后方增加靠船簇桩的方案, 两个方案进行比选。

方案一: 在平台后方布置两组加强簇桩, 簇桩布置在上游有位移平台后方。两组加强簇桩之间中心间距42m, 上下游簇桩中心均与码头排架对应。

每组簇桩采用9根 $\Phi 630$ 桩基(设计壁厚10mm), 桩基打入全风化岩不小于2m, 每组采用前沿3根直桩, 后侧6根叉桩(斜度6:1), 直桩设计桩长43m, 斜桩设计桩长44m。桩间距纵横向均为3m, 桩与桩之间通过纵横向及斜向 $\Phi 245$ 钢管连接以增加整体稳定性, 外侧(靠码头侧)钢管桩竖向焊接32a槽钢, 槽钢与槽钢之间横向钢板(厚度10mm)连接, 上下两块钢板与码头后沿工字钢可靠焊接。

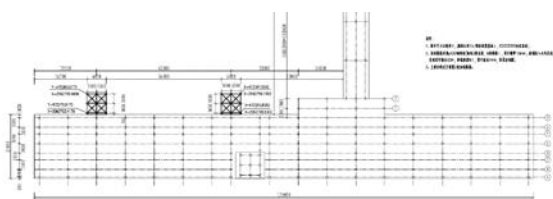


图1 靠船簇桩布置图(方案一)

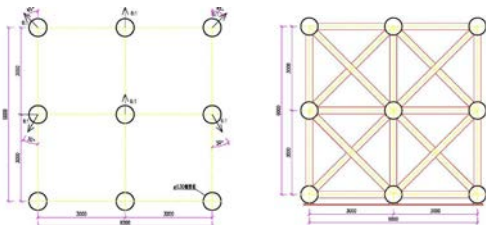


图2 靠船簇桩结构图(方案一)

方案二: 在码头前沿增加四组加强簇桩, 每组加强簇桩采用4根 $\Phi 1000$ 直桩(设计壁厚15mm), 桩基打入全风化岩不小于2m, 设计桩长43m。桩间距纵横向均为3m, 桩与桩之间通过纵横向及斜向 $\Phi 245$ 钢管连接以增加整体稳定性, 外侧桩基设置橡胶护舷。

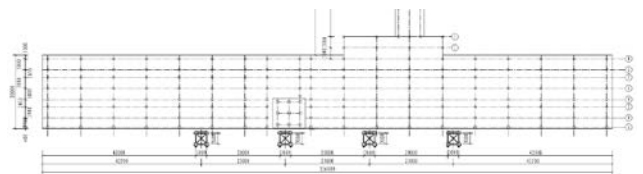


图3 靠船簇桩布置图(方案二)

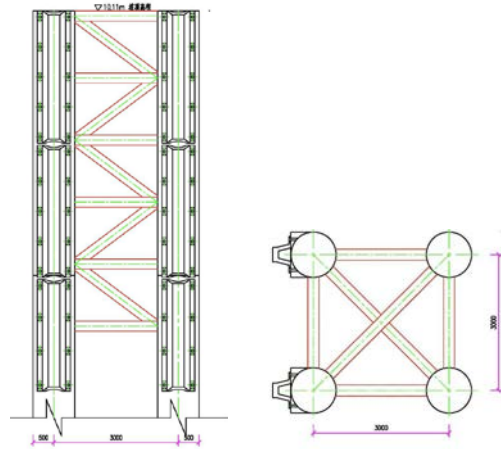


图4 靠船簇桩结构图(方案二)

(1) 计算荷载

根据本工程实际使用情况, 依据《港口工程荷载规范》(JTS 144-1-2010), 采用如下荷载条件进行核算:

设计船舶荷载: 5000吨级散货船

5000吨级散货船法向靠船速度: 0.12m/s

设计最大水流流速: 1.22m/s

本工程加强簇桩主要承受码头前沿船舶靠船力。根据《港口工程荷载规范》(JTS 144-1-2010) 分别计算船舶撞击力及横浪作用下系泊船舶的撞击能量: 经计算船舶靠岸的有效撞击能为41kJ, 散货船在横浪作用下分配在每组护舷上的有效撞击能量为35.3kJ, 小于船舶撞击能量41kJ。本工程码头前沿护舷选用DA300标准反力型橡胶护舷(L=2m), 根据橡胶护舷性能曲线, 设计反力 $R=410\text{kN}$ 。

(2) 结构主要核算内容和结果

靠船簇桩的计算主要是计算桩在水平力下的内力和变形, 可采用NL法、P-Y曲线法、m法或假想嵌固点法, 本次采用m法计算, 即假设土的水平地基抗力系数随深度呈线性增加。计算方法参照《码头结构设计规范》(JTS167-2018)。

1) 桩的换算宽度 b_0

$d < 1.0\text{m}$ 时, $b_0 = k k_f (1.5d + 0.5)$

$d \geq 1.0\text{m}$ 时, $b_0 = kk_f(d+1)$

式中: kk_f ——桩形状换算系数, 圆桩或管桩取0.9;
 d ——桩径-或垂直于水平外力作用方向桩的宽度 (m)。
 计算得方案一: $b_0=1.3\text{m}$; 方案二: $b_0=1.8\text{m}$

2) 桩的相对刚度特征值T

$$T = 5 \sqrt{\frac{E_p I_p}{mb_0}}$$

式中: E_p ——桩材料的弹性模量 (kN/m²);
 I_p ——桩截面的惯性矩 (m⁴);
 m ——桩侧地基土的水平抗力系数随深度增长的比例系数 (kN/m⁴);

经计算, 方案一T=1.96m; 方案二T=2.52m。本工程钢管桩长43.0m, 入土深度 $l_t \geq 4T$ 。钢管桩入土深度满足弹性长桩条件, 按弹性长桩计算。

3) 桩身变形和弯矩

$$Y = \frac{H_0 T^3}{E_p I_p} A_y + \frac{M_0 T^2}{E_p I_p} B_y$$

$$M = H_0 T A_m + M_0 B_m$$

$$Z_m = \bar{h} T$$

$$M_{\max} = M_0 C_2 \text{ 或 } M_{\max} = H_0 T D_2$$

式中: Y——桩身在泥面或泥面以下的变形 (m);
 H_0 ——作用在泥面处的水平荷载 (kN);
 M_0 ——作用在泥面处的弯矩 (kN·m);
 Z_m ——桩身最大弯矩距泥面深度 (m);
 M_{\max} ——桩身最大弯矩 (kN·m);

C_2 、 D_2 ——无量纲系数, 根据 \bar{h} 查表得。

本工程船舶撞击力取410kN, 作用力分项系数取1.5。

经过计算, 方案一: 桩身最大弯矩 $M_{\max} = 463.66\text{kN}\cdot\text{m}$, 最大弯矩距泥面深度 $Z_m = 2.15\text{m}$, 桩身在泥面处变形为 $Y = 16.4\text{mm}$ 。

方案二: 桩身最大弯矩 $M_{\max} = 1660.5\text{kN}\cdot\text{m}$, 最大弯矩距泥面深度 $Z_m = 2.1\text{m}$, 桩身在泥面处变形为 $Y = 14.4\text{mm}$ 。

4) 桩身抗弯强度

$$\frac{M}{\gamma W} \leq f$$

式中: M——弯矩设计值 (N·mm);
 γ ——截面塑形发展系数, 取1.15;
W——截面抵抗矩;
f——钢材的抗弯强度设计值 (N/mm²)。

经计算, 在最大弯矩 M_{\max} 作用下, 在最大弯矩 M_{\max} 作用下, 方案一桩身抗弯强度 $= 135.66\text{N}/\text{mm}^2 < 215\text{N}/\text{mm}^2$ (Q235), 满足规范要求。

方案二 $158.8\text{N}/\text{mm}^2 < 215\text{N}/\text{mm}^2$ (Q235), 均满足规范要求。

加强簇桩计算结果表

方案	验算项目	最大效应值	设计值	结果
方案一	桩应力	135.66MPa	215MPa	满足
	桩身最大弯矩	463.66kN·m	732.8kN·m	满足
	桩身泥面处变形	16.4mm		
方案二	桩应力	158.8MPa	215MPa	满足
	桩身最大弯矩	1660.5kN·m	2248.1kN·m	满足
	桩身泥面处变形	14.4mm		

从受力角度及码头安全稳定性考虑, 方案二结构受力稳定性较好, 靠船桩与码头平台分离, 船舶靠泊不会影响后方码头, 从投资角度考虑, 方案二钢结构用量较多, 方案一用量少, 投资较省。综合考虑, 该临时码头预估使用5年即将拆除, 且原码头下游分段未受撞击结构仍完好, 因此推荐方案一。方案一主要问题在于码头分段后方水域条件是否满足打桩船施工条件, 本工程码头离岸较远, 但水深较浅, 后经与施工单位协商, 在码头后方进行少量的疏浚处理, 可以满足施工条件。

(3) 工程施工

靠船簇桩的施工顺序如下:

施工准备→打桩船打桩→联系钢管焊接→前沿管桩外侧槽钢、钢板焊接→码头后方工字钢与钢板焊接→检测→交工验收。

1) 钢管桩水上沉桩应根据地形、水深、风向、水流和船舶性能等具体情况, 充分利用有利条件, 使钢管桩沉桩工作能正常进行。

2) 根据本工程设计条件, 锤型可选用D-62型柴油锤, 锤芯重6.2t, 锤总重13.7t, 最终10击的平均贯入度为3~5mm/击。

3) 钢管桩沉桩应以设计高程和贯入度共同控制, 当沉桩贯入度已达到控制贯入度, 而桩端未达到设计高程时, 应继续锤击贯入100mm或锤击30~50击, 其平均贯入度不应大于控制贯入度, 且桩端距设计高程不宜超过1~3m。

4) 沉桩时桩顶有损坏或局部屈服, 应予割除, 并接长至设计高程。

5) 沉桩后应及时测定并记录处于自由状态的桩顶偏位。

6) 桩的纵轴线倾斜度偏差不宜大于1%; 桩的纵轴线倾斜度偏差超过1%但不大于2%的直桩数量不应超过10%。

(4) 有关靠船钢簇桩的几个问题

1) 采用m法计算桩基水平荷载时, 地基土水平抗力系数的比例系数m值反映了承受水平力荷载的桩身发生水平变位和桩身内力的特征参数, 不仅受地基土性质的影响, 也受桩身刚度的影响。有条件的情况下, m值宜通过单桩水平静载实验确定, 无试桩资料时, 可参考规范中经验值。一般来说, 某一类土的m值并不是固定值, 而是随着桩基水平位移大小而变化。规范中给出了预制桩、钢桩在水平位移为10mm时以及灌注桩在6mm水平位移下的m值参考值。当桩基的水平位移大于规范中数值时, m值应适当降低, 小于规范中数值时, m值应适当提高, 由于m值对桩基水平力计算影响显著, 因此取值时应谨慎斟酌。

2) 靠船簇桩一般以承受船舶撞击力及系缆力为主, 设置在码头前沿, 装卸平台不承受船舶撞击力。对于已建码头需要停靠更大船型时, 或者码头受损抗水平力有问题时, 若是采用固定刚性靠船墩结构, 常常很难处理且投资较大, 而采用增加靠船簇桩的方案相对来说较为方便且很好处理, 因此在港口工程中, 靠船簇桩应用较为广泛。同时海港码头设计中应注意钢管桩的防腐蚀问题。

3) 钢管桩施工时, 对施工期间可能存在的涌潮、快水等不利条件应充分考虑, 做好施工中的危机预案, 并加强观测。对于已经沉桩到位的钢管桩必须采取及时可靠的夹桩措施, 以抵御涌潮和快水的不利影响。

参考文献

[1]唐耿星, 国内港口工程中柔性靠(系)船簇桩的应用及展望, 水利水电科技进展, 第16卷第1期, 1996年2月: 23~24。