



# 高水位差柔性防撞桩簇设计要点分析

万爱玉, 陈新, 周远方

(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430040)

**摘要:**以湖南某码头改造项目为例,介绍了高水位差柔性防撞桩簇的设计分析要点。基于NL计算方法,推求高水位差防撞桩簇的弹性系数变化规律,通过各桩作用点位移相协调和力的平衡来对桩簇水平力、能量分配进行分析;并计算了桩簇内力和变位,对防撞桩簇的设计进行验证。结果表明:高水位差防撞桩簇应分区段选用不同型号的护舷,以发挥护舷吸能的优势。

**关键词:** 柔性防撞桩簇; 高水位差; NL法; 护舷选型

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>14

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0058-04

## Design key points of flexible breasting clustered piles with large fluctuation

WAN Ai-yu, CHEN Xin, ZHOU Yuan-fang

(CCCC Wuhan Harbor Engineering Design and Research Co., Ltd., Wuhan 430040, China)

**Abstract:** Taking a wharf reconstruction project in Hunan province for example, we introduce key design points of the flexible breasting clustered piles with large fluctuation. Based on the NL method, we get the variation law of the pile's elastic factor, and analyze the horizontal force and energy distribution between piles and fender by considering the displacement compatibility and static balance. We also calculate the stress and deformation of the pile cluster, and verify the design of fender piles cluster. The results show that we should choose the fitted fender in different sections of the flexible anti-collision pile cluster, which gives play to energy-absorbing advantages of the fender.

**Keywords:** flexible breasting clustered piles; large fluctuation; NL method; fender selection

湖南城陵矶某1000吨级煤码头工程由6座系靠船墩和一艘趸船组成,螺旋卸船机布置于趸船上。该工程竣工于1991年初,原设计船型为1000t煤船。考虑长江到港船舶日益增大的趋势,提出对泊位进行改造,以便能停靠并卸载5000t的煤船,并尽量保留现有墩台。通过论证比较,设计改造方案为:新增趸船配置浮式起重机,布置于现有墩台前沿,通过防撞桩簇控制趸船的位移,保护现有墩台的安全,现有墩台作系缆墩利用。

### 1 防撞桩簇设计资料

趸船传递的撞击能量由防撞桩簇上的橡胶护舷的压缩和钢管桩的变位吸收<sup>[1]</sup>。趸船型深3.2m,吃水1.4m,但其边缘设计有250mm防撞钢护舷设施,因此仅考虑一个护舷起作用。

工程地处长江三江入汇口,高低水位差达16.8m。假定低水位撞击时,护舷充分发挥作用,建模试算后,防撞桩簇初步设计为:由边长3.0m三角形布置的钢管桩、橡胶护舷和抗扭件组成。

收稿日期: 2014-04-08

作者简介: 万爱玉(1970—),女,高级工程师,从事水运工程结构设计和研究。

3 根钢管桩直径不小于 1.0 m, 桩顶高程 35.5 m, 考虑冲刷的泥面高程 8.0 m, 入土深度 10 m 以上。抗扭件设置 4 层。因此防撞桩计算基本情况见图 1 和表 1。

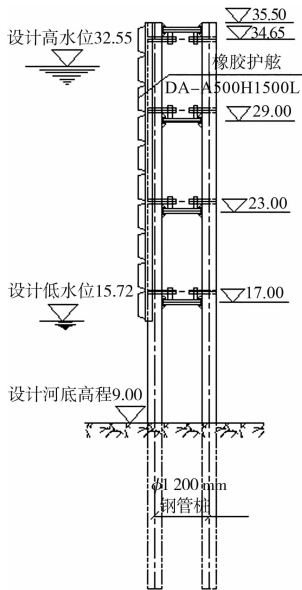


图 1 防撞桩断面

表 1 计算基本情况

水动力 <sup>[2]</sup> (y 方向)		撞击力 (x 方向)		说明
作用点至泥面距离/m	作用力/kN	作用点至泥面距离/m	总撞击力能量/kJ	
8.85	55.5	26.4	88.4	标准值
6.17	36.2	18.0		
3.35	15.0	9.6		

## 2 防撞桩簇的受力及吸能影响分析

### 2.1 防撞桩簇吸能及作用原理

由于钢簇桩和橡胶护舷彼此作用, 相互作用反力相等; 其次, 在柔性桩簇位移最大时, 船舶产生的有效撞击能量为钢簇桩和橡胶护舷分别吸收的能量之和, 即:

$$\begin{cases} H_p(Y) = H_R(X) \\ H_p(Y) = 0.5k_p Y \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} E_w = E_p(Y) + E_R(X) \\ E_p(Y) = 0.5k_p Y^2 \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $E_w$  为船舶有效撞击能量;  $Y$ 、 $X$  分别为钢簇

桩和橡胶护舷的形变量;  $k_p$  为钢簇桩弹性系数, 可采用  $NL$  法计算;  $E_R(X)$ 、 $H_R(X)$  分别为护舷吸能、反力与变形量间关系函数, 可从厂家提供的性能曲线上<sup>[3]</sup> 得到。

### 2.2 桩簇弹性系数分析

根据相似原理, 采用  $NL$  法, 利用标准桩的各项特征值, 推求单桩水平力与位移的散点图, 从而可推求单桩的弹性系数  $k_{pi}$ 。假设 3 根桩泥面处的位移相等, 根据前后排桩的位移协调关系和力的平衡条件可以得出钢簇桩的对应工况的弹性系数:

$$k_p = 2k_{p\text{后排}} + k_{p\text{前排}} \quad (3)$$

防撞钢桩簇呈三角形布置, 中心距为  $S = 3.0$  m, 因此需考虑群桩效率影响, 使群桩计算简化为水平地基系数折减后的单桩计算。工程处土层换算内摩擦角  $\psi = 32^\circ$ , 换算基床系数<sup>[4]</sup>  $k_h = 700$  N/mm<sup>2</sup>。土的水平地基抗力换算系数  $m = 15\ 000$  kN/m<sup>4</sup>; 参照有关水平承载桩计算中群桩地基系数折减法<sup>[5]</sup>, 后排 2 根桩的折减系数为

$$\eta_1 = \eta_2 = 1 \quad (4)$$

前排 1 根桩的折减系数为:

$$\eta_3 = 1 - q_1 - q_2 \quad (5)$$

$$\text{其中: } q_1 = \left( \frac{\tan\phi}{D} + \frac{1}{4} \right) / \left( \frac{\tan\phi}{D} + \frac{1}{2} \right)^2 \quad (6)$$

$$q_2 = \left( 1 - \frac{s/D}{2 \tan\phi/D + 1} \right)^2 \quad (7)$$

### 2.3 护舷、桩型对桩簇受力及吸能影响分析

护舷吸能和钢桩变位吸能相比具有吸能量大、经济、维修方便等优势。所以靠船结构中一般优先发挥护舷的吸能作用。结合国外经验, 护舷吸能比例在 20% ~ 60% 较为合理。本工程预选 3 种护舷分别与 2 种桩型进行水平力、吸能分配计算, 计算结果见表 2。

表2 钢桩簇、护舷作用力和吸能标准值分配

桩型	作用点距泥面距离/m	DA500 护舷 L1.0 m			DA500 护舷 L1.5 m			DA500 护舷 L2.0 m		
		作用力/kN	最大弯矩标准值/(kN·m)	护舷吸能比例/%	作用力/kN	最大弯矩标准值/(kN·m)	护舷吸能比例/%	作用力/kN	最大弯矩标准值/(kN·m)	护舷吸能比例/%
钢桩 φ1.2 m δ18 mm	26.4	292.7	3 375.8	20.8	300.0	3 460.6	16.5	302.0	3 483.9	15.3
	21.5	306.9	2 847.7	23.4	317.9	3 010.5	17.9	320.6	3 036.4	16.4
	18.0	308.2	2 417.5	66.7	436.5	3 502.5	30.8	451.1	3 621.2	26.1
	13.0	319.1	1 880.3	74.0	481.4	2 859.0	40.7	514.5	3 060.0	32.2
	9.6	400.9	1 799.7	85.5	463.9	2 091.1	80.4	657.6	2 994.5	60.7
钢桩 φ1.0 m δ18 mm	26.4	231.6	2 666.7	13.6	233.9	2 693.4	11.9	234.6	2 701.5	11.3
	21.5	296.2	2 802.5	21.4	304.7	2 883.9	16.9	306.9	2 905.0	15.6
	18.0	329.8	2 636.6	31.2	353.5	2 828.6	20.9	358.0	2 856.0	18.9
	13.0	332.1	1 945.6	73.1	476.0	2 826.1	39.0	505.3	3 003.4	31.3
	9.6	354.1	1 584.6	80.3	493.6	2 228.5	61.8	598.3	2 715.8	43.9

根据钢桩簇、护舷吸能与作用力标准值分配计算可知：同一桩型，同一护舷，撞击上端时，桩簇吸能分配量大，护舷吸能量小；撞击下端时，桩簇吸能分配量小，护舷吸收能量大。同一桩型，同一作用点，护舷型号越小，则护舷吸能越大，且对钢桩簇的作用力越小；同一护舷，同一作用点，钢桩簇的抗弯刚度越小，其护舷吸收的能量越小，桩簇和护舷间作用力越小。高水位差柔性防撞桩撞击力作用点离泥面距离的变化幅度较大，如选用同一规格型号橡胶护舷，其高水位时橡胶护舷吸能较小，无法充分发挥橡胶护舷的性能，所以高水位差柔性防撞桩应分区段选用不同规格型号的护舷，且上部宜选用较小规格护舷。

### 3 防撞桩簇设计计算

为了使撞击面为平顺的平面，且满足护舷吸能范围和桩应力要求，经计算设计选用钢桩 φ1.2 m 和 DA-A500H（标准反力型）不同长度规格的护舷。

#### 3.1 防撞桩簇弹性系数计算

采用 NL 法计算，单桩与桩簇的弹性系数拟合

曲线见图 2。

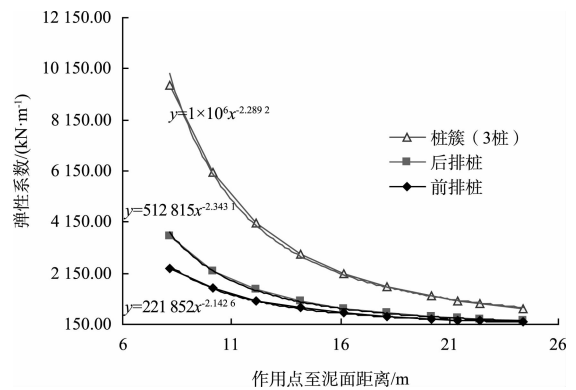


图2 后排桩、前排桩及桩簇弹性系数拟合曲线

#### 3.2 钢桩簇受力、变形标准值计算

为了优先发挥橡胶护舷的吸能优势，本工程护舷选型分为 3 个区段：桩簇上部选用 DA-A500H × 1.0 m 护舷，中部选用 DA-A500H × 1.5 m 护舷，下部选用 DA-A500H × 2.0 m 护舷。在此种选型组合下，钢桩簇（3 桩）与单桩水平力分配和单桩内力计算结果见表 3。

表3 单桩桩身内力与变形计算结果

作用点距泥面距离/m	桩簇		单钢桩				
	作用力/kN	护舷吸能比例/%	作用力/kN	作用点处位移/m	弯矩零点泥面深度/m	泥面位移/m	最大弯矩标准值/(kN·m)
26.4	292.7	21.0	124.8	0.51	7.91	0.017	3 375.8
21.5	306.9	23.4	130.9	0.32	7.71	0.014	2 905.0
18.0	436.5	30.8	186.1	0.30	8.18	0.019	3 502.5
13.0	481.4	40.7	205.3	0.15	8.01	0.015	2 859.0
9.6	657.6	60.7	280.4	0.11	8.24	0.017	2 994.5

注：21.5~13.0 m 区段为 L1.5 m 护舷区，以上为 L1.0 m 护舷区，以下为 L2.0 m 护舷区。

从表 3 中可以看出, 分区段选用不同规格护舷后, 不仅降低了高水位钢桩承受的作用力, 且不同作用点时钢桩最大弯矩值相差 18% 以内; 同时橡胶护舷吸收了 21% ~ 61% 的船舶撞击能量, 满足经验范围要求, 充分发挥了橡胶的吸能优势。所以采用这种方法, 高水位差靠船桩簇的结构设计更加经济合理。

### 3.3 结构设计验算

#### 3.3.1 钢桩强度设计验算

撞击力作用参与组合分项系数  $\gamma_0 = 1.5$ ; 最不利工况高水位下水流力产生的弯矩  $M_y = 222 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。经计算, 钢管桩强度应力  $\sigma = 241 \text{ MPa} < f$  (295 MPa), 其折算应力:  $\sigma_1 = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 242 \text{ MPa} < \beta_1 f$  (324.5 MPa), 满足要求。

#### 3.3.2 桩身入土深度验算

最不利低水位工况撞击力作用时,  $NL$  法计算弯矩零点为 8.24 m, 规范要求入土深度不应小于 1.5 倍弯矩零点深度, 即不应小于 12.36 m, 设计取入土深度 12.5 m。

## 4 结语

1) 本设计中防撞桩簇内力和变位计算时忽略

(本文编辑 武亚庆)

了受力偏心的影响。其中后排按单桩, 前排考虑群桩的折减计算方式, 较将此防撞桩簇简化为单桩的计算方式偏于保守。

2) 护舷选用既要保证防撞桩簇撞击面竖直, 又要下端护舷满足吸能性能, 尽可能让护舷吸能比例在 20% ~ 60%。由于本设计中防撞桩作用点变化范围达 16.8 m, 仅采用一种规格型号的橡胶护舷较难满足吸能要求。

3) 高水位差柔性防撞桩簇可分区域选用不同长度的同型号护舷, 以利于护舷发挥吸能优势、合理分配能量, 但要根据计算选取合理的长度分区位置。

### 参考文献:

- [1] JTJ 279—2005 港口工程桩式柔性靠船设施设计与施工技术规程[S].
- [2] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].
- [3] 江苏省高邮市华润橡胶厂. 橡胶护舷设计选型手册[R]. 江苏: 江苏省高邮市华润橡胶厂, 2003.
- [4] JTS 167-4—2012 港口工程桩基规范[S].
- [5] 韩理安. 水平承载桩的计算[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2004.

## · 消 息 ·

### 西江经济带上升为国家战略

《国务院关于珠江—西江经济带发展规划的批复》日前发布, 珠江—西江经济带上升为国家战略。《批复》指出, 《规划》实施要以推进协同发展为主线, 以保护生态环境为前提, 以全面深化改革开放为动力, 坚持基础设施先行, 着力打造综合交通大通道; 坚持绿色发展, 着力建设珠江—西江生态廊道; 坚持优化升级, 着力构建现代产业体系; 坚持统筹协调, 着力推进新型城镇化发展; 坚持民生优先, 着力提高公共服务水平; 坚持开放引领, 着力构筑开放合作新高地, 努力把珠江—西江经济带打造成为我国西南、中南地区开放发展新的增长极, 为区域协调发展和流域生态文明建设提供示范。

(摘编自《中国交通新闻网》)