

# 游艇码头定位桩受力增大系数计算和分析

邓轩<sup>1</sup>, 杨佳男<sup>2</sup>, 丁建军<sup>1</sup>, 周野<sup>1</sup>

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510000; 2. 中交华东投资有限公司, 上海 200125)

**摘要:** 游艇码头定位桩单桩受力增大系数由于影响因素复杂, 很难从理论上确定其影响程度。运用小挠度理论, 选取定位桩直径和自由长度为变量参数, 提供了钢管桩和PHC桩2种桩型单桩受力增大系数的计算方法, 同时也列出了各种参数组合下的增大系数, 并研究其规律, 为游艇码头定位桩设计时单桩受力增大系数的计算和合理选取提供参考。研究表明: 受力增大系数随桩直径的增大而增大, 随桩自由长度的增大而减小, 且均较为离散。

**关键词:** 游艇码头; 定位桩; 受力增大系数

中图分类号: U652.74

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2018)05-0025-03

doi: 10.7640/zggwjs201805006

## Calculation and analysis of loading augmentation coefficient for positioning pile of marina

DENG Xuan<sup>1</sup>, YANG Jia-nan<sup>2</sup>, DING Jian-jun<sup>1</sup>, ZHOU Ye<sup>1</sup>

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000, China;

2. CCCC East China Investment Co., Ltd., Shanghai 200125, China)

**Abstract:** It is difficult to determine the degree of influence theoretically because of the complex factors affecting the loading augmentation coefficient of single positioning pile in marina. We used the small deflection theory, selected the diameter and free length of pile as the variable parameters, provided calculation methods of single pile loading augmentation coefficient of two types of steel pipe pile and PHC pile, also listed the coefficient under various combinations of parameters, and studied the rules, which provides a reference for calculation and reasonable selection of the loading augmentation coefficient of single pile in the design of the marina positioning pile. The results show that the loading augmentation coefficient increases with the increase of the diameter of pile, decreases with the increase of the free length of the pile, and both of them are discrete.

**Key words:** marina; positioning pile; loading augmentation coefficient

随着我国经济的快速发展和人民生活水平的逐渐提高, 人们对游艇码头的需求也日益增强<sup>[1]</sup>。目前国内游艇码头尚以小规模居多, 且大多采用浮式结构<sup>[2]</sup>, 定位桩是应用较多的一种锚固形式<sup>[3]</sup>。

浮桥作用下游艇定位桩内力的计算, 可采用空间有限元分析<sup>[4]</sup>, 但是定位桩单桩受力增大系数由于影响因素复杂, 很难从理论上确定其影响程度, 对于其计算方法规范中也尚未明确, 规范条文说明中仅给出了管径为0.5 m的钢管桩, 单桩受力增大系数介于1.05~1.30之间供参考<sup>[4]</sup>。

### 1 定位桩内力计算

某浮桥结构段平面布置见图1。

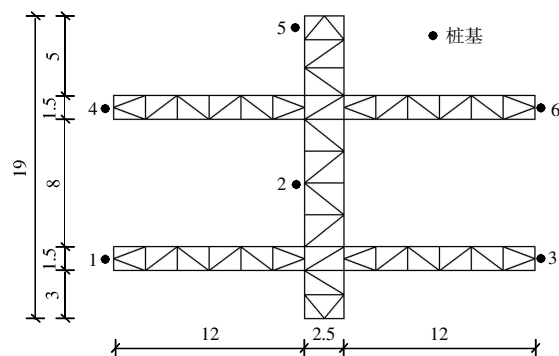


图1 浮桥结构段模型

Fig. 1 Structure section model of floating bridge

收稿日期: 2018-03-02 修回日期: 2018-03-31

作者简介: 邓轩 (1972—), 男, 湖南人, 副总经济师, 港口航道与海岸工程专业。E-mail: deng-xuan@qq.com

定位桩所受内力主要来自浮桥上作用的水平力,水平力由风、浪、流产生的船舶荷载及作用在浮箱和定位桩上的水平向波浪荷载组成。

假定浮桥与定位桩之间采用铰接且不存在间隙,针对工程实例,可采用空间有限元模型对浮桥标准结构段定位桩支座反力进行测算。桩基与上部结构间采用无间隙铰接约束,桩底采用固结约束(嵌固点法)。

浮桥与定位桩之间采用铰接且不存在间隙的假定条件下,定位桩支座反力即定位桩的水平受力,据此可计算悬臂桩在嵌固点处的最大弯矩。但事实上,定位桩与游艇码头上部结构间存在空隙,必然导致定位桩受力不同步。例如极端情况下,桩1首先接触抱桩器,受水平力作用产生 $\Delta L$ 变位后,桩2才接触抱桩器,与桩1共同承受水平力,则单桩在此时承受的水平力与理想状态下根据静力分析计算出的水平力之比即为受力增大系数。

## 2 单桩受力增大系数

抱桩器与桩存在间隙宜取为0.01~0.03 m,本计算中间隙取值为0.03 m,则可利用小挠度理论,针对不同的桩型来推导该桩发生相对变位时的单桩受力增大系数。以下选取了钢管桩和PHC桩2种常用桩型来推导验算。见图2。

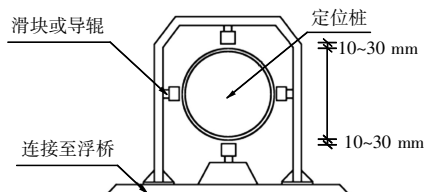


图2 定位桩与抱桩器示意图

Fig. 2 Schematic diagram of positioning pile and pile holding device

### 2.1 钢管桩单桩受力增大系数

#### 2.1.1 计算方法

根据JTS-152—2012《水运工程钢结构设计规范》<sup>[5]</sup>,不考虑轴力作用,则有:

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_x} \leq f \quad (1)$$

$$M_x = Pl \quad (2)$$

$$P \leq \frac{f \gamma_x W_x}{l} \quad (3)$$

根据材料力学公式,有:

$$V_{\max} = \frac{Pl^3}{3EI} \quad (4)$$

$$V_{\max} = \frac{f \gamma_x W_x}{l} \frac{l^3}{3EI} = \frac{f \gamma_x W_x l^2}{3EI} = \frac{2f \gamma_x l^2}{3ED} \quad (5)$$

$$\zeta = \frac{V_{\max}}{V_{\max} - 0.03} = \frac{1}{1 - \frac{0.03}{V_{\max}}} \quad (6)$$

式中: $M_x$ 为截面最大弯矩设计值, $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;  $\gamma_x$ 为截面塑性发展系数,空心圆管取1.15;  $f$ 为钢材的抗弯强度设计值,取310 MPa;  $W_x$ 为截面模量;  $L$ 为钢管桩的嵌固点以上至受力点的距离;  $P$ 为钢管桩受力;  $E$ 为钢材的弹性模量,取 $2.06 \times 10^5$  MPa;  $I$ 为截面的惯性矩;  $D$ 为钢管桩外径, m;  $V_{\max}$ 为桩的最大位移, m;  $\Delta L$ 为抱桩器与定位桩间隙,此处取0.03 m;  $\zeta$ 为定位桩受力增大系数。

#### 2.1.2 计算结果及分析

本文中,钢管桩的外径和嵌固点以上至受力点的距离(即自由长度)2个参数选取了常见的典型数值,进行组合计算,其计算结果见表1。

表1 定位桩单桩受力增大系数计算结果汇总表(钢管桩)

Table 1 Calculation results of loading augmentation coefficient of single positioning pile (steel pipe pile)

抱桩器与定位桩间隙 $\Delta L=0.03$ m	外径 $D/\text{m}$	嵌固点以上至受力点的距离 $L/\text{m}$							
		6	7	8	9	10	12	14	16
	0.4	1.41	1.27	1.19	1.15	1.12	1.08	1.06	1.04
	0.5	1.57	1.36	1.25	1.19	1.15	1.10	1.07	1.05
	0.6	1.76	1.47	1.32	1.24	1.18	1.12	1.09	1.06
	0.7	2.02	1.59	1.40	1.29	1.22	1.14	1.10	1.08
	0.8	2.37	1.74	1.48	1.35	1.26	1.17	1.12	1.09

从计算结果可知,定位钢管桩单桩受力增大系数与抱桩器至定位桩间隙、桩的直径、嵌固点以上至受力点的距离等都有关系。由表1可知,桩直径0.4 m,桩自由长度16 m时,单桩受力增大系数为最小值1.04;桩直径0.8 m,桩自由长度6 m时,单桩受力增大系数为最大值2.37。单桩受力增大系数的取值区间为1.04~2.37。

游艇码头设计规范条文说明中给出了管径为0.5 m的钢管桩,单桩受力增大系数介于1.05~1.60,供参考。本文中0.5 m的钢管桩单桩受力增大系数计算结果为1.05~1.57,基本吻合。

从表1数据的整体趋势看,受力增大系数随桩直径的增大而增大,且这种变化呈近似线性的关系;受力增大系数随桩自由长度的增大而减小,但较为离散。

### 2.2 PHC桩单桩受力增大系数计算

#### 2.2.1 计算方法

由:

$$M_{\max} = P_{\max} L \quad (7)$$

$$V_{\max} = \frac{P_{\max} l^3}{3EI} \quad (8)$$

可推导出:

$$V_{\max} = M_{\max} \frac{l^2}{3EI} \quad (9)$$

$$\zeta = \frac{V_{\max}}{V_{\max} - 0.03} = \frac{1}{1 - \frac{0.03}{V_{\max}}} \quad (10)$$

式中:  $M_{\max}$  为截面最大弯矩设计值,  $\text{kN}\cdot\text{m}$ ;  $L$  为钢管桩的嵌固点以上至受力点的距离;  $P_{\max}$  为桩的最大受力;  $E$  为弹性模量;  $I$  为截面的惯性矩;  $V_{\max}$  为桩的最大位移,  $\text{m}$ ;  $\Delta L$  为抱桩器与定位桩间隙, 此处取  $0.03 \text{ m}$ ;  $\zeta$  为定位桩受力增大系数。

### 2.2.2 计算结果

根据图集《10G409: 预应力混凝土管桩》<sup>[6]</sup>, 可以查桩身受弯承载力设计值。PHC 桩选取了 A 型、AB 型、B 型和 C 型等 4 种桩型分别计算, 计算结果见表 2。

表 2 定位桩单桩受力增大系数计算结果汇总表 (PHC 桩)

Table 2 Calculation results of loading augmentation coefficient of single positioning pile (PHC pile)

外径 $D/\text{m}$	壁厚 $t/\text{m}$	型号	弯矩设计值 $M/(\text{kN}\cdot\text{m})$	嵌固点以上至受力点的距离 $L/\text{m}$				
				12	14	16	18	20
0.4	0.095	A	64	1.76	1.46	1.32	1.24	1.18
		AB	88	1.46	1.30	1.21	1.16	1.13
		B	119	1.30	1.21	1.15	1.11	1.09
		C	145	1.23	1.16	1.12	1.09	1.07
0.5	0.100	A	132	1.92	1.55	1.37	1.27	1.21
		AB	178	1.55	1.35	1.25	1.19	1.15
		B	233	1.37	1.25	1.18	1.14	1.11
		C	264	1.32	1.21	1.16	1.12	1.09
0.6	0.110	A	206	2.60	1.83	1.53	1.38	1.28
		AB	281	1.82	1.50	1.34	1.25	1.19
		B	369	1.52	1.34	1.24	1.18	1.14
		C	428	1.42	1.28	1.20	1.15	1.12
0.7	0.110	A	299	3.69	2.15	1.70	1.48	1.36
		AB	410	2.14	1.64	1.43	1.31	1.24
		B	543	1.67	1.42	1.29	1.22	1.17
		C	689	1.46	1.30	1.22	1.16	1.13
0.8	0.110	A	434	4.91	2.41	1.81	1.55	1.40
		AB	582	2.46	1.77	1.50	1.36	1.27
		B	782	1.79	1.48	1.33	1.24	1.19
		C	983	1.54	1.35	1.25	1.19	1.14

从计算结果可知, 定位 PHC 桩单桩受力增大系数同样与抱桩器与定位桩间隙、桩的直径、嵌固点以上至受力点的距离等都有关系。由表 2 可知, C 型 PHC 桩直径  $0.4 \text{ m}$ , 桩自由长度  $20 \text{ m}$

时, 单桩受力增大系数为最小值  $1.07$ ; A 型 PHC 桩直径  $0.8 \text{ m}$ , 桩自由长度  $12 \text{ m}$  时, 单桩受力增大系数为最大值  $4.91$ 。单桩受力增大系数的取值区间为  $1.07\sim 4.91$ 。

由表 2 的整体趋势看, 受力增大系数随 PHC 桩直径的增大而增大, 受力增大系数随桩自由长度的增大而减小, 且均较为离散。

### 3 结语

1) 由于定位桩与抱桩器一般存在  $0.01\sim 0.03 \text{ m}$  的缝隙, 使得定位桩的受力不能同步, 引起个别定位桩内力增大, 在验算定位桩基强度时, 必须将空间有限元计算得到的内力值乘以增大系数作为最终定位桩基验算的内力值。计算结果表明, 极端情况下单桩受力增大系数可达到  $4.91$ , 因此是不可忽略的。

2) 受力增大系数与桩的直径、嵌固点以上至受力点的距离等都有关系, 且较为离散。本文基于小挠度理论, 提供了钢管桩和 PHC 桩 2 种桩型单桩受力增大系数的计算方法, 同时也列出了各种参数组合下的单桩受力增大系数, 并生成拟合曲线, 在工程计算时可根据具体情况计算或选取合理的增大系数。

### 参考文献:

- [1] 胡金芝, 卢生军, 朱兰燕. 某游艇码头定位桩内力数值分析[J]. 中国水运. 2015, 15(1): 245-247.  
HU Jin-zhi, LU Sheng-jun, ZHU Lan-yan, et al. Numerical analysis of internal force of a certain yacht location stake[J]. China water transport, 2015, 15(1): 245-247.
- [2] 陈建勇. 游艇码头波浪防护标准及防波堤设计[J]. 中国港湾建设, 2015, 35(3): 41-44.  
CHEN Jian-yong. Wave protection standard and breakwater design on marina[J]. China harbour Engineering, 2015, 35(3): 41-44.
- [3] 沈印. 定位桩式游艇码头在波浪及靠泊作用下的动力响应[J]. 水运工程. 2015(9): 84-89.  
SHEN Yin. Dynamic response of guiding pile wharf under action of wave and berthing[J]. Port & Waterway Engineering, 2015(9): 84-89.
- [4] JTS-165-7—2014, 游艇码头设计规范[S].  
JTS-165-7—2014, Code for design of marinas[S].
- [5] JTS-152—2012, 水运工程钢结构设计规范[S].  
JTS-152—2012, Code for design of steel structure in port and waterway engineering[S].
- [6] 中国建筑标准设计研究院. 国家建筑标准设计图集 10G409: 预应力混凝土管桩[M]. 北京: 中国计划出版社, 2010.  
China Institute of Building Standard Design & Research. National Architectural Standard Design Atlas 10G409: prestressed concrete pipe pile[M]. Beijing: China Planning Press, 2010.