



# 趸船锚链拉力水平分力的计算方法

黄旺祥

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 锚链系统的受力分析是浮码头设计关键点,《码头结构设计规范》中根据悬链理论给出了锚链长度、锚链拉力计算公式,但对于公式中的锚链拉力的水平分力,规范并未提供相应的计算方法。通过设定不同的假定条件,分析趸船锚链系统受力状态,根据静力平衡分析,给出 2 种简化方法及推荐方法,并通过案例将各方法计算结果进行对比。结果表明,简化方法考虑单方向力平衡,仅适用于锚链夹角相同的特殊条件;推荐方法考虑平面 2 个方向力平衡,适用于锚链不同夹角的一般情况。

**关键词:** 浮码头; 趸船; 锚链拉力; 静力平衡

中图分类号: U674. 24+9

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)12-0052-03

## Calculation method for horizontal tensile force of anchor chain in wharf boat

HUNAG Wangxiang

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** The force analysis of the anchor chain system is a key point in the design of pontoon. According to the suspension chain theory, the calculation formulas for the anchor chain length and anchor chain tension are provided in *Design Code for Wharf Structures*. For the horizontal tensile force of the anchor chain in the formula, the code does not provide a corresponding calculation method. This paper analyzes the force state of the pontoon anchor chain system by setting different assumptions, proposes two simplified methods and the recommended methods based on static equilibrium analysis, and compares the calculation results of three methods through the case. The results show that the simplified calculation method considers the unidirectional force balance, which is only suitable for special conditions where the anchor chain angle is the same. The recommended method considers the force balance of the two directions of the plane, which is suitable for the general situation of different angles of the anchor chain.

**Keywords:** pontoon; wharf boat; tensile force of anchor chain; static equilibrium

浮码头能随水位上下浮动,便于人员上下船,广泛用于内河及潮差较大的沿海地区,是一种常见的客运和公务船码头结构形式<sup>[1]</sup>。浮码头采用趸船作为靠船平台,水位差较大时,一般采用锚链系统系留趸船<sup>[2]</sup>,因此锚链系统的计算分析是趸船设计关键点之一。基于悬链理论<sup>[3]</sup>,JTS 167—2018《码头结构设计规范》<sup>[4]</sup>附录 U 给出了锚链长度、锚链拉力以及锚质量的计算公式,但没有给出锚链拉力的水平分力计算方法。通过查阅相关资料,通常做法是提出较多假定条件进行简化处理,且只考虑单个方向静力平衡,在特殊的条件下,计算

结果基本满足工程设计要求;但在常规的条件,简化计算有较大误差,工程设计偏保守或者不安全。本文拟运用静力平衡的方法,对趸船及锚链系统受力进行计算和分析,得到锚链拉力水平分力的计算方法。

## 1 趸船锚链系统布置方案

为简化论证过程,本文拟定趸船采用内八字锚链系统固定,根据 JTS 144-1—2010《港口工程荷载规范》<sup>[5]</sup>计算出趸船外荷载,其中包括横向水平力  $F_x$ 、纵向水平力  $F_y$ 。假定布置的 4 条锚链分别

收稿日期: 2023-04-06

作者简介: 黄旺祥 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计。

为锚链 1~4, 各锚链拉力水平分力分别为  $T_1 \sim T_4$ , 锚链与码头前沿线夹角分别为  $\alpha_1 \sim \alpha_4$ , 船舶锚链系统受力如图 1 所示。

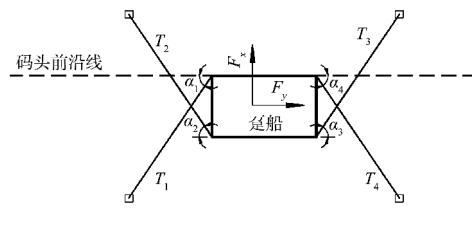


图 1 船舶锚链系统受力

## 2 锚链拉力水平分力计算

锚链拉力随着船舶位移、水位、风、浪、流等因素变化, 难以完全分析其实际受力状态, 因此需要进行一定的假定, 然后根据静力平衡条件分析计算。

### 2.1 简化方法 1

简化方法 1 提出以下假定: 1) 分别单独考虑横向、纵向静力平衡, 船舶横向水平力由锚链 1、4 (或锚链 2、3, 本文仅分析锚链 1、4 过程, 另外方向计算过程相同) 承担, 纵向分力由锚链 1、2 承担; 2) 各工况下锚链受力相同, 即横向荷载时  $T_1 = T_4$ , 纵向荷载时  $T_1 = T_2$ ; 3) 锚链与码头前沿线夹角相同, 即  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha$ ; 4) 锚链 1 不考虑横纵向荷载同时出现的受力情况。

当船舶受纵向荷载时, 有:

$$F_y = 2T' \cos \alpha \quad (1)$$

由此得:

$$T' = \frac{F_y}{2 \cos \alpha} \quad (2)$$

当船舶受横向荷载时:

$$F_x = 2T'' \sin \alpha \quad (3)$$

由此得:

$$T'' = \frac{F_x}{2 \sin \alpha} \quad (4)$$

式中:  $T'$  为纵向荷载平衡时锚链拉力水平分力值, N;  $T''$  为横向荷载平衡时锚链拉力水平分力值, N。

锚链拉力水平分力取式(2)、(4)中的大值。锚链拉力水平分力为:

$$T = \max(T', T'') \quad (5)$$

式中:  $T$  为锚链拉力水平分力取值, N。

### 2.2 简化方法 2

简化方法 2 提出以下假定: 1) 锚链 1 考虑横、纵向荷载同时出现的受力情况, 其水平拉力为横向和纵向荷载受力之和; 2) 其他假定同简化方法 1 的第 1~3 条假定。

锚链拉力水平分力为横向和纵向荷载受力之和。根据式(1)~(4), 锚链拉力水平分力为:

$$T = T' + T'' = \frac{F_y}{2 \cos \alpha} + \frac{F_x}{2 \sin \alpha} \quad (6)$$

### 2.3 本文推荐方法

简化方法 1 仅满足单向静力平衡, 与实际受力状态不相符; 简化方法 2 分别满足纵横向静力平衡, 锚链拉力采用两个静力平衡受力简单叠加, 且两个静力平衡时分别假定受力的锚链拉力相等, 不符合实际情况。

根据简化方法存在的缺陷, 本文推荐方法同时满足纵、横向静力平衡条件, 并提出以下假定: 1) 当受纵风作用时(工况 1), 主要外荷载为纵向水平力, 船舶外荷载由锚链 1、2 承担, 锚链 3、4 不受力; 2) 当受横风或撞击力作用时(工况 2), 主要外荷载为横向水平力, 船舶外荷载由锚链 1、4 承担, 锚链 2、3 不受力。3) 锚链拉力取上述 2 种工况下的大值。

#### 2.3.1 纵向荷载作用(工况 1)

船舶纵向静力平衡, 有:

$$F_y = T'_1 \cos \alpha_1 + T'_2 \cos \alpha_2 \quad (7)$$

船舶横向静力平衡, 有:

$$F_x = T'_1 \sin \alpha_1 - T'_2 \sin \alpha_2 \quad (8)$$

式中:  $T'_1$  为工况 1 锚链 1 拉力水平分力, N;  $T'_2$  为工况 1 锚链 2 拉力水平分力, N。

由式(7)、(8)得:

$$T'_1 = \frac{F_x \cos \alpha_2 + F_y \sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (9)$$

$$T'_2 = \frac{F_y \sin \alpha_1 - F_x \cos \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (10)$$

#### 2.3.2 横向荷载作用(工况 2)

船舶纵向静力平衡, 有:

$$F_y = T''_1 \cos \alpha_1 - T''_4 \cos \alpha_4 \quad (11)$$

船舶横向静力平衡, 有:

$$F_x = T''_1 \sin \alpha_1 + T''_4 \sin \alpha_4 \quad (12)$$

式中:  $T''_1$  为工况 2 锚链 1 拉力水平分力, N;  $T''_4$  为工况 2 锚链 4 拉力水平分力, N。

由式(11)、(12)得:

$$T''_1 = \frac{F_x \cos \alpha_4 + F_y \sin \alpha_4}{\sin(\alpha_1 + \alpha_4)} \quad (13)$$

$$T''_4 = \frac{F_x \cos \alpha_1 - F_y \sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_4)} \quad (14)$$

锚链锚链拉力水平分力取两个工况中的大值。根据式(9)、(13), 锚链拉力水平分力为:

$$T_i = \max(T''_i, T_i) \quad (15)$$

式中:  $T_i$  为锚链  $i$  拉力水平分力取值, N。

根据式(6)、(9)、(13)、(15), 可以看出, 当  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_4$  时, 本文推荐方法锚链拉力与简化方法 2 相同, 简化方法 2 为本文计算方法的特殊情况。

### 3 算例

某内河救助基地码头采用钢趸船浮码头结构, 根据计算, 控制工况下趸船受到的外荷载为: 纵风作用时(工况 1), 纵向水平力  $F_y = 84.2$  kN, 横向水平力  $F_x = 10.7$  kN; 横风作用时(工况 2), 纵向水平力  $F_y = 12.6$  kN, 横向水平力  $F_x = 214.8$  kN。

根据简化方法适用条件, 设定锚链夹角均取  $\alpha$ , 针对不同的锚链夹角  $\alpha$ , 3 种方法锚链最大拉力水平分力计算结果见表 1。

表 1 锚链最大拉力水平分力 kN

$\alpha/(^\circ)$	简化方法 1	简化方法 2	推荐方法
20	314.1	320.8	320.8
30	214.8	222.1	222.1
40	167.1	175.3	175.3
50	140.2	150.0	150.0
60	124.0	136.6	136.6
70	114.3	132.7	132.7

根据计算结果, 可以看出当 4 条锚链角度相同时, 3 种方法结果相差不大, 其中简化方法 1 结果偏小, 另外 2 种方法计算结果相同。

当锚链夹角不同时, 简化方法 1、2 已不适用。为了方便对比分析, 采用本文推荐方法计算时设定锚链 1、2 夹角相同为  $\alpha_1$ , 锚链 3、4 夹角相同为  $\alpha_4$ , 并且锚链 1、2 角度固定  $20^\circ$ (即  $\alpha_1 = 20^\circ$ ), 改变锚链 3、4 角度, 计算不同情况下的锚链最大

拉力水平分力  $T$ , 计算结果见表 2。

表 2 推荐方法计算结果

$\alpha_1/(^\circ)$	$\alpha_4/(^\circ)$	$T/kN$
20	20	320.8
20	30	257.9
20	40	228.1
20	50	210.3
20	60	200.6
20	70	197.6

可以看出, 本工程横风为控制工况, 随着锚链夹角增加, 锚链最大拉力会减小。

### 4 结论

- 1) 简化方法适用于锚链夹角相同的情况。
- 2) 本文推荐方法同时满足纵向和横向两个方向静力平衡条件, 适用于锚链不同角度的情况; 简化方法为本文推荐方法的特殊情况。
- 3) 当采用趸船八字锚时, 本文推荐方法假定各工况下 2 条锚链受力, 与趸船受力状况相似, 可用于工程设计。
- 4) 当荷载作用工况下锚链受力数量超过 2 条, 本文推荐方法公式不再适用, 需要根据其他条件增加平衡方程。

### 参考文献:

- [1] 交通部第一航务工程勘察设计院. 海港工程设计手册 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] 周世良, 李泳龙, 李怡, 等. 基于弹性悬链线理论的斜坡式码头趸船系留设施受力计算方法 [J]. 水运工程, 2014(1): 70-75.
- [3] 张怀慧. 趸船锚链长度的计算 [J]. 港口工程, 1993(6): 27-30.
- [4] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 中交第四航务工程局有限公司. 码头结构设计规范: JTS 167—2018 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [5] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 中交第二航务工程勘察设计院有限公司. 港口工程荷载规范: JTS 144-1—2010 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

(本文编辑 王璁)