

浅析系船浮筒锚链的静力计算问题

杨长义,陈玺文

(中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 天津 300222)

摘要:采用静力计算方法对浮筒系泊系统的悬链进行研究,针对单锚链和多锚链系统进行受力分析,提出适用于单锚链和多锚链的简化计算公式,并根据实际工程案例进行简化计算公式的验证,可为类似工程的受力分析和计算提供参考。

关键词:浮筒系泊系统;悬链锚链;静力分析;简化计算公式

中图分类号:U653.2;O312.2

文献标志码:A

文章编号:1004-9592(2012)02-0018-03

Discussion on Static Calculation of Mooring Buoy Anchor Chain

Yang Changyi, Chen Xiwen

(CCCC First Harbor Consultants Co., Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: Static calculation method is used to research suspended chain of buoy mooring system. Stress analysis is conducted respectively for single anchor chain system and multiple anchor chains system. A simplified calculation formula is proposed, which satisfy the requirements of single and multiple anchor chain systems. Then the simplified formula is verified based on the project example, which shall provide the reference for stress analysis and calculation of the similar projects.

Key words: Buoy mooring system; suspended anchor chain; static analysis; simplified calculation formula

根据浮筒系泊系统中浮筒和锚链的不同布置形式,可分为单锚腿式(SALM)和悬链式(CALM)2大类,其中悬链式系泊系统结构简单、安装方便、应用广泛,且实际应用经验较为丰富。系船浮筒的锚固作用主要是基于单位长度锚链重力与浮筒漂移距离间的变化关系,当有系船力作用于浮筒时,浮筒会产生漂移,使沉于海底的锚链被拉起,当被拉起的锚链重力刚好可以与系船力平衡时,浮筒将不再移动,整个系泊系统达到新的平衡状态。现有工程实践中一般采用多条悬链的锚泊系统,以便有效地锚固系船浮筒,确定锚链数量时要综合考虑经济性和安全性的要求。为防止锚链因猛然拉紧而断链或产生过大的锚链位移,在计算系统的最大漂移量时,沉于海底的锚链长度宜 ≥ 27.5 m。锚链作为系泊系统的重要

组成部分,其受力分析是选定系船浮筒和锚链规格的重要依据,本研究采用静力计算方法分析单根和多锚链系统的受力情况。

1 单根悬链锚链的静力分析

1.1 单根悬链锚链的特征方程

单根悬链锚链的受力情况示意,见图1。

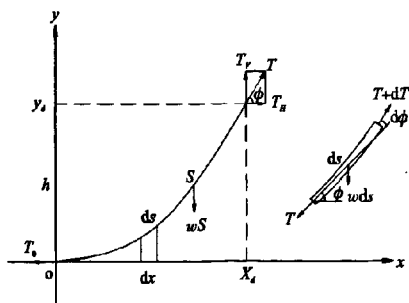


图1 单根悬链锚链的受力情况示意

如图1所示,水深为 h ,在悬链锚链的锚碇点处锚链的张力与水平方向 x 轴的夹角 $\phi=0$, T_0 为悬浮

收稿日期:2011-05-09

修回日期:2012-01-10

作者简介:杨长义(1977-),男,高级工程师,主要从事港口与航道工程总平面设计工作。

锚链原点($\phi=0$)处的锚链拉力 S , S 为锚链长度。作用于锚链上端点的力包括:船舶系缆力、浮筒的净浮力和水平力。在分析锚链系统的受力时,通常会把上述3种力的合力 T 分解为水平分力 T_H 和垂直分力 T_V 。在单位锚链长度 s 上 $w=G-FF$,其中的 G 为重力; FF 为浮力;作用在锚链下端点的锚链张力为 T_0 ,在 x 方向上 $T_H=T\cdot\cos\phi=T_0$,此时锚链各处张力的水平分量为常数;在 y 方向上 $T_V=T\cdot\sin\phi=w\cdot S$,锚链的合力 $T=\sqrt{T_0^2+(w\cdot S)^2}$ 。

锚链上端的坐标 $x_d=\int_0^l dx=\int_0^l ds\cdot\cos\phi=\int_0^l ds\cdot\frac{T_0}{T}\int_0^l \frac{1}{\sqrt{1+((w\cdot S)/T_0)^2}}$, $y_d=\frac{T_0}{w}[\cosh(\frac{w\cdot x}{T_0})-1]$;悬浮段锚链长度 $S=\frac{T_0}{w}\sinh(\frac{w\cdot x_d}{T_0})$,上述特征方程即为悬链线方程。

锚链点不在悬链线原点的单根锚链受力情况示意,见图2。

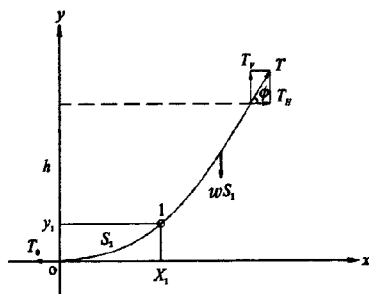


图2 锚链点不在悬链线原点的单根锚链受力情况示意

如图2所示,水深为 h ;点1为锚链的实际锚链点。由于 $\phi_1\neq 0$,所以点1并不是悬链线的原点,此时可由锚链上端点和假定的悬链线原点推算出锚链下端点的坐标,其中悬链线长度 $S=S_1+S_2$,其中 S_1 为锚链的实际长度, S_2 为虚拟锚链的长度,即锚链点到虚拟悬链线原点的长度。可推得 $x_1=\frac{T_0}{w}$ 。

$\operatorname{ar} \cosh[\frac{y_1}{(T_0/w)}+1]; y_1=S_1\sqrt{\frac{1}{4}+\frac{(T_0/w)^2}{S_1^2-h^2}}-\frac{h}{2}$,由此并可求得锚链各点处的张力。

1.2 单根锚链上端的水平位移刚度

锚链上端位移刚度的计算示意,见图3所示。

如图3所示,水深 h 处某受力平衡状态的系船浮筒系统,锚链总长 $S_d=S_1$ (悬浮段)+ OB (平卧段),其中悬浮段锚链(悬链线 BC)的原点为 B 点,作用于锚链上端的水平拉力为 T_H 。当对锚链上端的水平拉力由 T_H 增至 T_H+dT_H 时,锚链上端产生相应的水平位移 dx ,可将 dT_H/dx 视为是该状态下锚链上端水

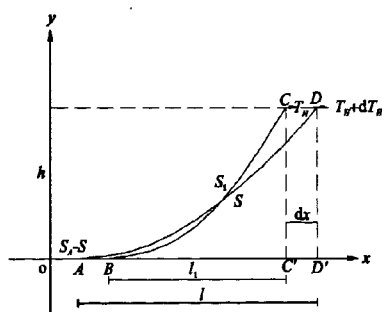


图3 锚链上端位移刚度的计算示意

平位移的刚度;由于 T_H 与 l 之间存在双曲函数关系,当锚链上端产生水平位移 dx 时,悬浮段锚链(悬链线 AD)的原点也要相应后移至 A 点,锚链总长 $S_d=S_1$ (悬浮段)+ OA (平卧段),由此可见,锚链上端水平位移的刚度与 T_H 之间具有很强的非线性关系。锚链上端水平位移的刚度可根据图3所示的几何关系进行推导,具体推导步骤为 $x=S_d-S_1+l=S_d+\frac{T_A}{w}$ 。

$\operatorname{ar} \cosh(\frac{wh}{T_A}+1)-\frac{T_A}{w}\sinh[\operatorname{ar} \cosh(\frac{wh}{T_A}+1)];$
 $\frac{dx}{d(T_H/w)}=\frac{l\cdot S-2(T_A/w)h}{(T_A/w)\cdot S}; k_x=\frac{dT_H}{dx}=w\frac{d(T_A/w)}{dx}=\frac{w(T_A/w)\cdot S}{l\cdot S-2(T_A/w)h}; dx=\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{k_x}(l-l_1)-(S-S_1)$ 。其中 S_d 为锚定点为 O 点的锚链总长度; S_1 和 S 分别为 BC 段和 AD 段悬浮锚链的长度; l_1 和 l 分别为 BC 段和 AD 段悬浮锚链在 x 轴上的投影长度; T_A 为 AD 段悬浮锚链在 A 点处的水平张力。

由以上分析可知,预张力 T_H 越大,锚链上端水平位移的刚度就越大,在相同外力作用时锚链上端的位移越小;但随着锚链上端水平位移刚度的提高,锚链的抗力储备也会相应降低,因此,在确定系泊系统的预张力时,要综合考虑系船浮筒位移对周边环境的影响程度和提高系统锚泊能力的代价。

2 多锚链系泊系统的受力分析

2.1 多锚链系泊系统的计算方法

在系有多根锚链的浮筒系泊系统中,每根锚链对系船浮筒的作用效果均类似于连接在系船浮筒与锚链连接点处的非线性弹簧,整个系船浮筒锚泊体系的计算模型可视为由若干个按一定方向布置的非线性弹簧所支持的刚体平面运动体系。由于系船浮筒的尺度相对较小,在构建计算模型时可将固定坐标系的原点选在系船浮筒下表面的中心位置,假定各条锚链均与该原点连接,同时将系船浮筒上的各已知作用力对该点进行合成。

经过推算可获得系船浮筒合成中心位置的静力等效值 $\{F_H\}=\begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \end{Bmatrix}$,其位移分量 $\{D_H\}=\begin{Bmatrix} D_x \\ D_y \end{Bmatrix}$ 。第 i 根锚链的上端位移 $\{D_i\}=[\lambda_i] \cdot \{D_H\}$,其中 $[\lambda_i]=\begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta \end{bmatrix}$;第 i 根锚链上端的水平作用力 $\{F_i\}=(k_x)_i \{D_i\}$; $\{F_i^H\}=\begin{Bmatrix} F_x^H \\ F_y^H \end{Bmatrix}=[\lambda_i]^T \cdot \{F_i\}=[\lambda_i]^T \cdot (k_x)_i [\lambda_i] \{D_H\}$ 。

整个多锚链系泊浮筒系统的静力平衡方程为

$\{F_c\}=[K_c]\{D_H\}=\sum_{i=1}^n \{F_i^H\}$,其中 $[K_c]$ 可由各锚链的初始情况计算而得,可先通过逐次迭代逼近的方法求出满足精度要求的 $\{D_H\}$ 值,再根据受水平力作用后各锚链的新位置 $\{D_i\}$ 逐一求得各锚链的状态参数。

2.2 多锚链系泊系统的算例

在水深 $h=20$ m处,某个由4根锚链组成的系船浮筒系泊系统,锚链在水中的浮重度为0.5 kN/m,锚链预张力为125 kN,当沿 x 轴正向承受1 665 kN的系缆力时,先计算浮筒的水平位移和锚链与泥面相切处的锚链张力;再计算当锚链预张力为50 kN时,系船浮筒达到如上水平位移所需要的系缆力。多锚链系船浮筒的布置示意,见图4。

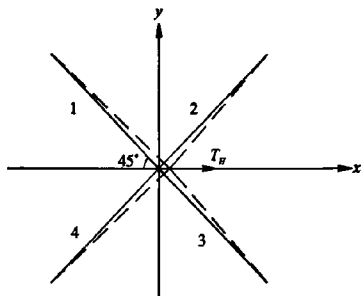


图4 多锚链系船浮筒的布置示意

采用上述多锚链的受力分析方法经迭代计算得到,当锚链预张力为125 kN、 x 轴正向系缆力为1 665 kN时,系船浮筒的水平位移为2.5 m,位移方

向与系缆力方向相同,1*和4*锚链与泥面相切处的张力为1 220 kN,2*和3*锚链与泥面相切处的张力为43 kN;当锚链预张力为50 kN时,系船浮筒水平位移达到2.5 m时,1*和4*锚链与泥面相切处的张力为165 kN,2*和3*锚链与泥面相切处的张力为23 kN,所需的系缆力仅为200 kN。本算例说明锚链的预张力对系泊浮筒系统水平位移的影响比较明显。

3 结 语

本研究的方法可广泛应用于悬链浮筒系泊系统,通过对单根锚链的受力分析,给出单锚链的静力平衡方程和单锚链上链端水平刚度的计算公式,分析了刚度变化对锚泊系统系泊能力的影响;以单锚链系船浮筒系统的作用分析为基础,将整个多锚链系船浮筒锚泊体系视为由一系列非线性弹簧支持的刚体平面运动体系,构建相应的计算模型,推得整个多锚链系船浮筒锚泊系统的位移和作用力的计算公式,并结合具体算例验证了锚链预张力对系泊浮筒水平位移的影响比较明显的结论。

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(中)[M].北京:人民交通出版社,1994.
- [2] 聂武,刘玉秋.海洋工程结构动力分析[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2002.
- [3] 徐兴平,方华灿.锚链弹性系数研究[J].石油学报,1994,15(3):134-138.
- [4] 杨玉祥,赵智帮.介绍悬链计算新方法及其港口单锚泊稳定分析[J].水运工程,2005(1):33-37.
- [5] Vazquez H A O, Ellwanger G B, Sagrilo L V S. Reliability-based Comparative Study for Mooring Lines Design Criteria [J].Applied Ocean Research, 2006,28(6):398-406.
- [6] Iturrizaga R M, Zavoni E H, Gonza F S, et al. On The Estimation of Mooring Line Characteristic Resistance for Reliability Analysis [J].Applied Ocean Research, 2007,29(4):239-241.

91 阅读网——中国领先的数字化、电子阅读网

91 阅读网(www.91yuedu.com)是中国领先的期刊杂志、报纸、图书在线数字阅读、专业阅读网站,在线阅读的内容涵盖整个教育领域,为教师和学生的教育、教学、管理、教科研提供专业阅读服务。目前,该网站专业期刊签约数已达1 500余种,原上传期刊已达1 200余种,已发展成为颇具专业特色的电子阅读网,其“书香”阅读技术与全真阅读感受有效地克服了电子与网络阅读中常见的“美感缺失”问题,受到教育系统广大教师和学生的青睐,凸显出专业阅读融合网络服务的优势。