

文章编号: 1001-4888(2010)03-0246-05

水流中锚链阻力系数测量的实验设计^{*}

于洋

(浙江海洋学院 船舶与建筑工程学院, 浙江舟山 316000)

摘要: 为了在水池内测出船模拖曳时锚链在水流中的阻力系数, 设计了一套简单而有效的实验方案。考虑到锚链的柔软与笨重, 故采取了三项措施: (1) 将锚链相邻链环连接处点焊住, 使其成一根直杆; (2) 将该锚链水平悬挂于拖车之下, 用拖车运行速度模拟流速, 通过锚链悬挂绳与铅垂线的夹角来计算水流对锚链的作用力; (3) 为了消除锚链两个端部对阻力测试的影响, 用长、短锚链的阻力差值除以锚链长度差, 既得到了单位长度锚链的阻力, 又有效地解决了端部影响, 进而计算出锚链阻力系数。

关键词: 锚链; 水流; 法向阻力系数; 切向阻力系数; 试验设计; 拖曳水池

中图分类号: U675.922

文献标识码: A

0 引言

在船舶、浮筒等水面漂浮物上大多采用锚链作为定位的缆索。一些近海与海洋工程结构浮体也常常部分地采用锚链来定位。与风力、波浪力这样主要集中于海面处的海洋环境载荷相比, 水流则在整个水深范围内对锚索系统产生作用。因而应当谨慎处理水流对系泊锚索的作用问题。

目前, 国内涉及到锚索在水流作用下的相关研究很多。缪国平^[1]介绍了形如式(1)的计算公式:

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho C_N D V^2 \sin^2 \phi \\ G &= \frac{1}{2} \rho C_T \pi D V^2 \cos^2 \phi \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: F 、 G 分别为单位长度锚泊线在水流中的法向阻力和切向阻力; ρ 为水的密度; C_N 和 C_T 分别为法向阻力系数和切向阻力系数; D 为缆索断面特征尺度; V 为水流速度(水平方向); ϕ 为锚索线与水流速度的夹角。

缪国平^[1]指出, 阻力系数与雷诺数 Re 和缆索表面粗糙度等有关。在缆索为圆形截面时, 式(1)中的 D 为缆索断面直径, 在 $Re \leq 2 \times 10^5$ 范围内, 阻力系数有稳定值: $C_N = 1.2$, $C_T/C_N = 0.01 \sim 0.03$ 。

于定勇^[2]采用形如式(2)的公式来计算锚链阻力:

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho C_N D V^2 \sin^2 \phi \\ G &= \frac{1}{2} \rho C_T D V^2 \cos^2 \phi \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中: D 为锚链的等效直径, 其余符号同前。

于定勇^[2]计算时给出 $C_N = 2.18$, $C_T = 0.17$, 并直接给出等效直径值。由于锚链的特征尺度是锚

^{*} 收稿日期: 2009-05-18; 修订日期: 2010-01-07

基金项目: 浙江省科技计划重大项目资助(2008C03010)

通讯作者: 于洋(1963—), 男, 教授, 博士, 从事船舶与海洋工程流体力学研究。E-mail: ekship@yahoo.com.cn

链直径,如何换算至等效直径,文中未作说明。

郝春玲等^[3,4]采用式(1)计算锚链阻力,阻力系数取: $C_N=1.2$, $C_T/C_N=0.02$ 。但未对 D 的含义作出说明,计算时给出了锚链直径值,是否转换为等效直径也未作说明。滕斌等^[5]亦采用式(1)计算锚链阻力, D 为锚链直径,未说明阻力系数的取值大小。

从上述情况可见,锚链阻力系数在不同研究中采用的数据差别很大。此外,究竟采用锚链直径还是等效直径也有不同见解。

为了便于比较,建议采用统一的公式计算,即采用形如式(2)的计算公式来计算锚链阻力,但式中的 D 应为锚链直径,因为表示锚链粗细的特征尺度就是锚链直径。这样,式(2)中的锚链阻力系数就需要重新核定。基于这样的目的,本文设计了一套在船模拖曳水池中进行锚链阻力系数测试的试验方案。

1 试验设施与设备

试验在船模拖曳水池中进行,以拖车运行速度模拟水流速度。试验用锚链为符合国标要求的电焊锚链,取三种以上直径规格。每根锚链长度依据拖车长度和水池宽度而定。另准备数根细钢丝绳及夹紧索具,用于悬挂锚链。每根钢丝绳还配备一个刻度板,用于试验时测试悬挂钢丝绳的倾斜角。刻度板形式可依拖车具体情况而定。

所选钢丝绳的直径尽可能小些,但需保证足够的强度,可按照锚链重量与挂绳根数,并考虑安全系数来取值。每米锚链的质量由下式估算^[6]:

$$m = 0.0219 D^2 \quad \text{kg/m} \quad (3)$$

式中: D 为锚链直径,单位 mm。

2 试验方案设计

由于锚链质量大,不能利用拖车上常规的仪器来测试阻力,故设计了一套简单而有效的试验方案。该方案主要有三个特点:

(1) 将锚链挂在拖车上,利用悬挂钢丝绳与铅垂线的夹角来计算锚链阻力。

试验前,用数根钢丝绳将锚链悬挂在拖车上,每根钢丝绳均保持垂直向下且长度相等,并与刻度板的零点重合。在测试锚链切向阻力时,锚链沿拖车运行方向水平悬挂;在测试法向阻力时,沿垂直于拖车运行方向水平悬挂。锚链入水深度尽可能小,以减小钢丝绳的阻力,但以未产生自由面兴波为原则。如图1所示。

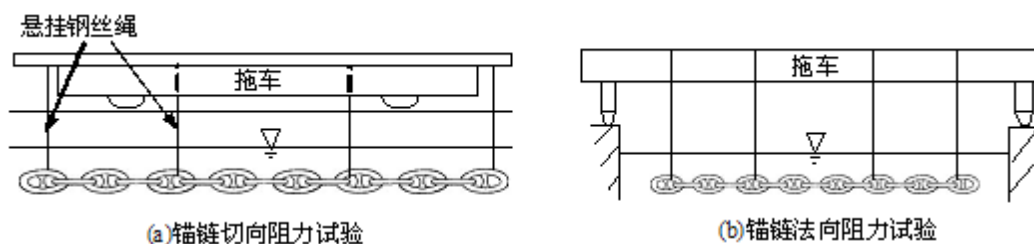


图1 水池拖车及锚链悬挂示意图

Fig. 1 Sketch of carriage and hung anchor chain

试验时,待拖车运行至匀速段,并且锚链也处于稳定的匀速运动时,读取每个刻度板上的读数,以其平均值来计算钢丝绳与铅垂线的夹角和锚链阻力。计算时,锚链重量可集中于一点,如图2所示。

由图2(a)和(b)分别得:

$$\tan \theta = \frac{\delta}{l} \quad (4)$$

$$E = W \cdot \tan \theta \quad (5)$$

式(5)中, E 为锚链阻力(对于锚链悬挂不同方向,分别代表法向力 F' 和切向力 G'), W 为锚链在水中

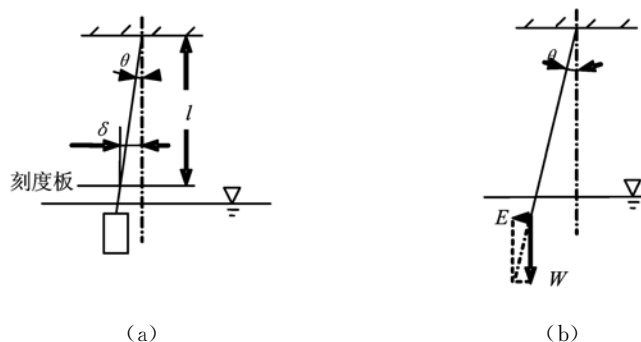


图 2 锚链阻力测试与计算示意图

Fig. 2 Determination of anchor chain resistance

的重量,即锚链在空气中的重量减去水的浮力,可由下式计算:

$$W = mLg \left[1 - \frac{\rho}{\rho_1} \right] \quad (6)$$

式中: L 为试验锚链的长度; ρ_1 为钢的密度; g 为重力加速度,其余符号含义同前。

(2) 试验锚链的处理:用电焊做点焊,使锚链呈一直杆

由于锚链笨重而具有柔性,如果不加处理,悬挂时总是在悬挂点之间产生下垂,拖车运行时,悬挂钢丝绳的倾角也不一致,这样就无法测试了。为解决这个问题,在锚链各个链环之间的连接处,用电焊做点焊,使整个锚链呈一直杆,如图 3 所示。点焊时注意将锚链拉紧,不要对整个锚链长度造成影响,还有必要对焊点进行打磨,尽可能减小其对流动的影响。经过这样处理后,试验时每根悬挂钢丝绳的偏离角度才是相同的,整根锚链质量也可简化为集中质量。

(3) 锚链两个端部影响的解决办法:差值法处理

试验要测出的是无限长锚链中单位长度锚链的阻力。上述试验中,由于锚链两端形状的差别和断面的影响,实际测出的阻力并不能代表无限长锚链中一部分锚链的阻力。特别是在测试锚链切向阻力时,由于该阻力值较小,端部影响很大。下面的方法可以巧妙地解决这个问题。

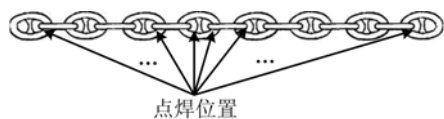


图 3 通过点焊将锚链固定为直杆

Fig. 3 A straight bar of chains by spot-welding

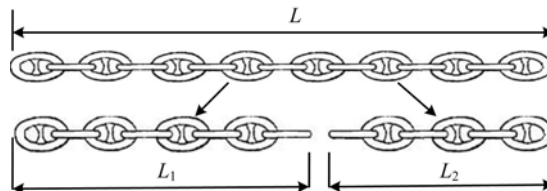


图 4 锚链拆解为两段

Fig. 4 Two segments of the detached chains

在整根锚链(长度为 L)测试完毕时,将该锚链拆解为长度不等的两段,假设其长度分别为 L_1 和 L_2 ,如图 4 所示。然后将这两段锚链分别挂在拖车上测试阻力。最后利用阻力差值计算出无限长锚链中的单位长度锚链阻力:

$$F = \frac{F'_1 - F'_2}{L - L_1} \quad (7)$$

$$G = \frac{G'_1 - G'_2}{L - L_1} \quad (8)$$

式中: F'_1 为 L_1 段锚链测试出的法向阻力; G'_1 为切向阻力,其余符号含义同前。

式(7)和(8)中的 F'_1 和 G'_1 可分别换成 L_2 段锚链的法向阻力和切向阻力 F'_2 和 G'_2 ,并将 L_1 换成 L_2 ,即可计算出另一组 F 与 G ,然后与先前计算的值进行对比。从理论上讲,两次计算的结果是相同的,但实际上会有小的偏差,通过对比可以相互验证。

采用上述差值法是基于这样的假定:长、短两段锚链的阻力当中,由于端部影响而产生的阻力值是

相同的。

事实上,即使是拆解后的短锚链,其长度也比其宽度大很多,相当于细长体。所以,上述假定是成立的。这样相减之后就把端部影响值去掉了。

锚链阻力系数由下式计算:

$$\left. \begin{aligned} C_N &= \frac{2F}{\rho DU^2} \\ C_T &= \frac{2G}{\rho DU^2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad (10)$$

上式中, ν 为水的运动粘性系数; D 为锚链直径; U 为拖车匀速运行速度(流速),分别代表法向阻力试验和切向阻力试验时的拖车速度。其余符号含义同前。

根据不同直径、不同速度能够求出许多阻力系数值,并可建立起阻力系数与雷诺数的关系。

3 测试结果举例

在浙江海洋学院船舶与渔具水动力实验室进行了锚链水阻力试验。水池主尺度为 $130\text{m} \times 6.0\text{m} \times 3.5\text{m}$ 。拖车运行速度范围为 $0 \sim 6.5\text{m/s}$ 。以直径 $D=30\text{mm}$ 的锚链试验为例,水池温度 14.5°C ,水黏度为 $1.162 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$,试验速度范围为 $0.5\text{m/s} \sim 2.1\text{m/s}$ 。根据本试验方案测得的锚链切向阻力系数 C_T 、法向阻力系数 C_N 与雷诺数 Re 的关系见表1。

表1 锚链切向、法向水阻力系数($D=30\text{mm}$)

Tab.1 Tangent and normal frictional coefficients ($D=30\text{mm}$)

$U (\text{m/s})$	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	2.1
$Re(\times 10^4)$	1.29	2.07	2.84	3.36	4.13	4.65	5.42
C_T	0.089	0.087	0.098	0.099	0.106	0.107	0.104
C_N	2.18	2.34	3.21	3.08	2.58	2.09	2.33

从表1中可以看出,本试验测得的锚链法向水阻力系数大约是式(1)介绍的数值的1.7~2.7倍,平均2.1倍;而切向水阻力系数大约是式(1)数值(按0.02计)的1.4~1.7倍,平均为1.56倍。如果与式(2)进行对比,本试验测得的锚链法向阻力系数与之基本一致,而切向阻力系数较之偏小。此外,二者还有采用锚链直径与等效直径为锚链特征尺度之别。

4 结语

本文设计的在船模拖曳水池中测试锚链阻力的方案,是一套简单而有效的测试方法。文中提出的三个措施,是保证该试验能顺利进行的重要条件。尤其是利用差值法处理锚链端部影响,是本试验方案的关键所在。按照该方案进行的初步试验,测试结果与有关文献采用的数据对比,确实存在差异,故还需要深入、系统地研究。

参考文献:

- [1] 缪国平. 挠性部件力学导论[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1996:4-6 (MIAO Guoping. Introduction to the Mechanics of Flexible Body[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 1996:4-6(in Chinese))
- [2] 于定勇. 水下锚泊系统计算——一种单链动力分析的数值方法[J]. 青岛海洋大学学报, 1995, 专辑:100-105 (YU Dingyong. A Numerical Method for Dynamic Analysis of a Single Underwater Chain Line[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1995, Sp. Issue: 100-105(in Chinese))
- [3] 郝春玲, 滕斌. 不均匀可拉伸单链系统的静力分析[J]. 中国海洋平台, 2003, 18(4): 18-21 (HAO Chunling,

- TENG Bin. Static Analysis for a Non-uniform Flexible Mooring Cable System[J]. China Offshore Platform, 2003, 18(4): 18—21 (in Chinese))
- [4] 郝春玲, 张亦飞, 滕斌, 等. 流速分布及锚链自身刚度对弹性单锚链系统变形和受力的影响[J]. 海洋学研究, 2006, 24(3): 90—95 (HAO Chunling, ZHANG Yifei, TENG Bin, et al. Analysis of elastic single mooring cable system with different elasticity and velocity distribution[J]. Journal of Marine Sciences, 2006, 24(3): 90—95 (in Chinese))
- [5] 滕斌, 郝春玲, 韩凌. Chebyshev 多项式在锚链分析中的应用[J]. 中国工程科学, 2005, 7(1): 21—26 (TENG Bin, HAO Chunling, HAN Ling. Numerical Simulation of Static Behavior of the Single Anchor Cable[J]. Engineering Science, 2005, 7(1): 21—26 (in Chinese))
- [6] 夏国忠. 船舶结构与设备[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1998 (XIA Guozhong. Ship Structure and Equipments[M]. Dalian: Dalian Maritime University Press, 1998 (in Chinese))

Experimental Design for the Determination of Anchor Chain Drag Coefficients in Current

YU Yang

(School of Naval Architecture and Civil Engineering, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China)

Abstract: A simple and effective experimental design is presented in this paper to determine anchor chain drag coefficient in a towing tank. Due to the weight and flexibility of chain cable, three measures were taken as follows: (1) making the tested anchor chain into a straight bar by spot-welding the joints of two adjacent links; (2) hanging the tested bar horizontally below a moving carriage to simulate water current, then calculating the resistance based on the measurement of angle between suspending line and perpendicular; (3) in order to eliminate the influence of bar ends, drag force is obtained by dividing the force difference derived from a long bar and a short bar respectively, by the length difference of two bars. Consequently, anchor chain unit drag coefficient induced by water current was easily derived.

Keywords: Anchor chain; water current; normal frictional coefficient; tangent frictional coefficient; experiment design; towing tank