

双体船连桥外力计算方法分析

孔炳庆

曹沫

(船舶结构力学教研室) (理论力学教研室)

提 要

本文简略叙述作用于双体船连桥上的外力和各国学者提出的几种计算外力的近似公式。通过对几艘实船计算和理论分析,发现计算状态和波浪要素是各公式计算结果差别很大的原因。文内利用波高、长关系的系数 K 来调正扭矩计算值,得到较满意的结果。在此基础上,提出了连桥扭矩的近似计算公式。

双体船是一种特殊的水面型船舶。与单体船相比较,它具有甲板面积大,操纵性和稳性好等优点。它不仅可以作为货船、客船、渡轮,还可以应用于海洋开发,海洋钻探等。

双体船的研究、设计,除了性能方面的问题外,人们关心的是连桥结构的强度。因为连桥是双体船的薄弱环节,而确切地估计作用于连桥的波浪载荷,又是连桥结构强度计算的一项首要工作。与连桥强度有关的外力有两类。第一类,是直接作用于连桥的外力——波浪砰击。它作为连桥的局部强度考虑,本文不分析研究。第二类,是波浪分别作用于每个片体,由片体传递给连桥的外力。它是由于片体的相对移动而产生的,其主要包括:片体横摇产生的弯矩,片体纵摇产生的扭转力矩,以及片体总纵弯曲所引起的弯矩。六十年代以来,国外学者(Scott, Disenbacher, Фролов, Unzawa, H. 和 Shimizu, K. 等)分别提出一些计算波浪外荷(弯矩和扭矩)的近似公式,其所得计算结果相差较大,这就给连桥结构强度计算带来了一定的盲目性。

本文利用现有的外力近似计算方法,对国内几艘双体船进行计算,比较其计算结果,从理论上分析各种外力计算公式的合理程度,并提出改进设想。

一、几种外力计算方法

目前,一些主要国家,各自提出了关于双体船外荷的近似计算方法,其中有美国的 Scott^[1]方法, Disenbacher 方法^[1], 苏联的 Фролов 方法^[2], 日本的 Unzawa 和 Shimizu 方法^[2]。具体公式分别介绍如下。

1. Scott方法

在横浪时,假设在横摇瞬间,一片体处于波峰,另一片体处于波谷,处于波谷的体片浮

力减少为该片体浮力之半, 即所谓半脱水状态, 如图 1 所示。

弯矩计算公式

$$M_b = \text{片体间距} \times \frac{1}{2} \text{片体排水量}$$

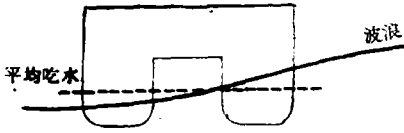


图 1 横浪状态

在斜浪时, 假设坦谷波的波峰通过一片体中前 1/4 处及另一片体中后 1/4 处, 波谷处于一片体的首部及另一片体的尾部, 在此状态下, 每个片体纵向浮心, 分别向波峰方向移动 4%L, 见图 2。

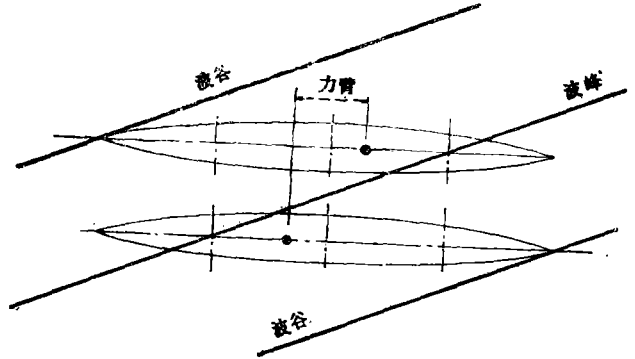


图 2 斜浪状态

扭矩计算公式

$$M_T = 0.04 L_s \Delta$$

式中 L_s —— 水线长;
 Δ —— 排水量。

2. Disenbacher 方法

假设片体为矩形的棱形体, 横浪时, 正浮于余弦波上, 余弦波为横向而波长等于从左片体宽度中点到右片体宽度中点距离的两倍, 见图 3。

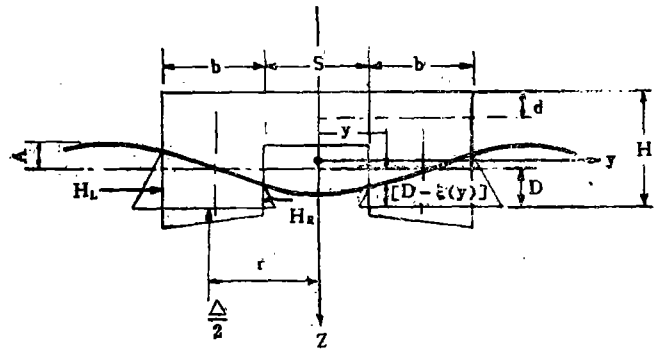


图 3 横浪状态

弯距计算公式

$$\begin{aligned} M_b(0) = & -\frac{W(s+b)A}{2\pi D_0} \left[\frac{2(s+b)}{\pi b} \sin \frac{\pi b}{2(s+b)} - \cos \frac{\pi b}{2(s+b)} \right] - \\ & - \rho g L_s A \sin \frac{\pi b}{2(s+b)} \left[2D_0(1 \pm 0.4)(H-d) - D_0^2(1 \pm 0.4)^2 - \right. \\ & \left. - \frac{1}{3} A^2 \sin^2 \frac{\pi b}{2(s+b)} \right] + (1 \pm 0.4) \frac{W_0(s+2b)}{8} \\ M_b(\pm \frac{s}{2}) = & M_b(0) - (1 \pm 0.4) \frac{W_0 s}{8} \end{aligned}$$

式中 W ——船重； W_0 ——连桥重量；
 A 的符号是波谷在片体之间为正，波峰为负。

在斜浪时，船正浮于斜浪上，波谷通过一片体中前 $L/4$ 处及另一片体中后 $L/4$ 处，波峰通过

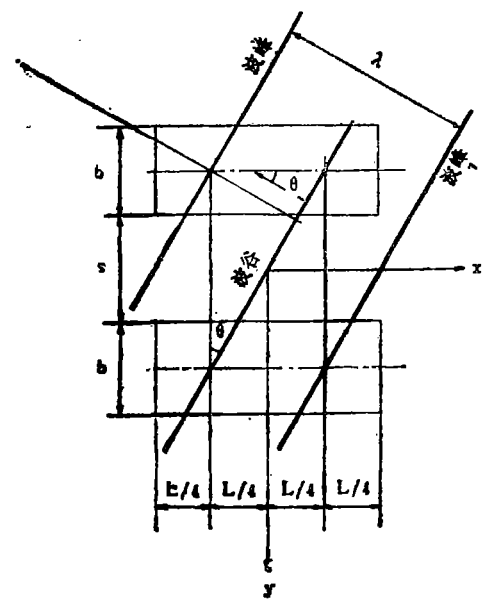


图4 斜浪状态

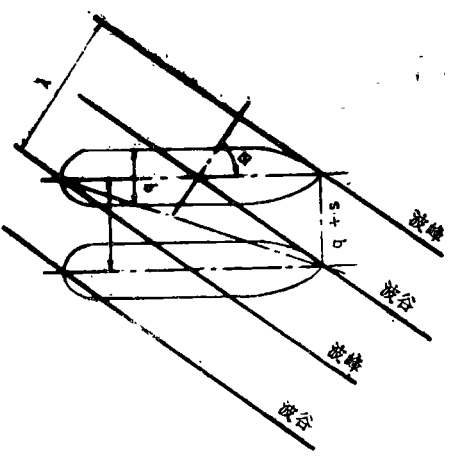


图5 斜浪状态1

一片体中后 $L/4$ 处及另一片体的中前 $L/4$ 处，如图4所示。

扭矩计算公式

$$M_T = |\rho c_b g d A L_s^2 / 2\pi| + |0.14 M_Q \cdot t / s|$$

式中 t ——从连接桥扭转中心至船舶重心间的水平距离（向前为正），

ρ ——水的密度；

$$M_Q = M_b(o) - (1 \pm 0.4) W_0 (s + 2b) / 8。$$

3. Фролов方法

在斜浪状态1时，假设一片体中部处于波峰，首尾两端处于波谷，另一片体中部处于波谷，首尾处于波峰，如图5所示。

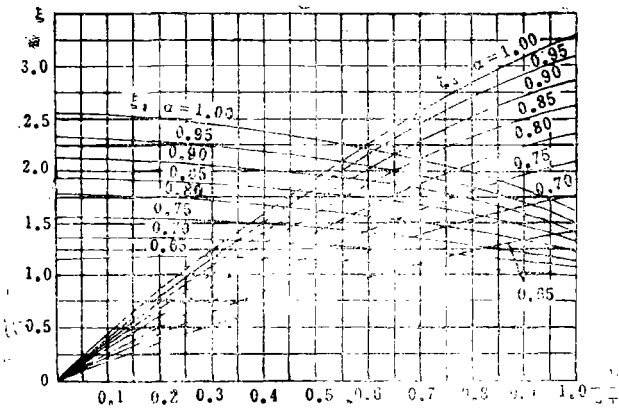


图6 ξ_3 和 ξ_4 系数

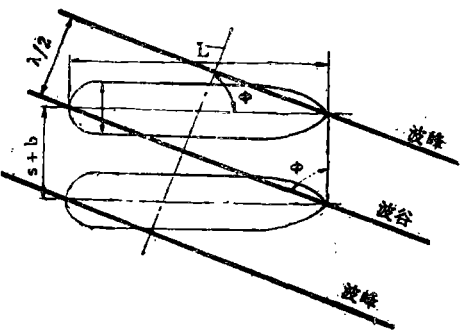


图7 斜浪状态2

弯矩计算公式

M_b = \xi_3 2Ab(L_s/10)^2

式中 \xi_3 \longrightarrow 据 b/(s+b) 及 水线面系数 \alpha 查图 6 曲线。

在斜浪状态 2 时，假设一片体，首处于波峰；尾处于波谷；另一片体，首处于波谷，尾处于波峰，波为余弦波，如图 7 所示。

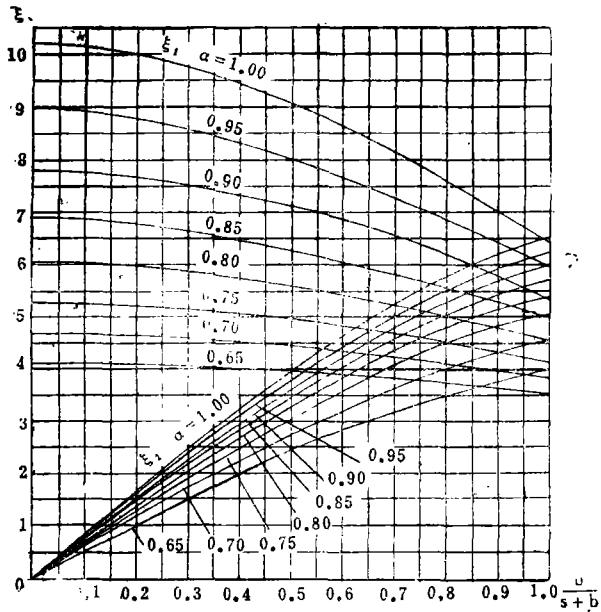


图 8 \xi_1 和 \xi_2 系数

表 1

	1500客位 双体客轮	500客位 双体客轮	小池口— 九江渡轮
总长L(m)	50.835	46.00	26.90
水线长L_s(m)	45.00	41.00	24.00
片体长b(m)	5.20	4.00	3.20
总宽B(m)	17.20	11.80	10.40
吃水D_0(m)	2.80	1.85	1.80
型深H(m)	4.10	3.00	2.80
方型系数C_b	0.543	0.596	0.576
水线面系数\alpha	0.729	0.770	0.754
排水量\Delta(t)	712.00	368.00	159.20

的二分之一，如图10所示。

扭矩计算公式

M_T = 0.125L_s \Delta

扭矩计算公式

M_T = \xi_1 2Ab(L_s/10)^2

式中 \xi_1 \longrightarrow 据 b/(s+b) 及 水线面系数 \alpha 查图 8 曲线。

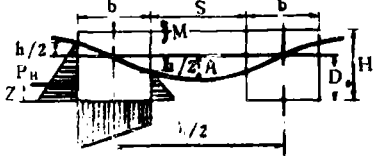


图 9 横浪状态

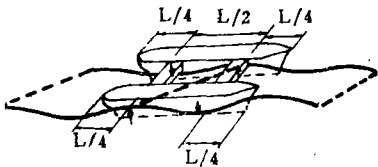


图10 斜浪状态

4. Unzawa 和 Shimizu方法

假设片体为矩形的棱形体，横浪时正浮于余弦波上，余弦波为横向而波长等于从左片体宽度中点到右片体宽度中点距离的两倍，如图 9 所示。

弯矩计算公式

M_b = P_H(H - Z) - \rho h b^2 L_s / 12

式中 P_H = \rho h D_0

Z = D_0 / 2 + \frac{(h/2)^2}{6D_0}

h = 2A \sin \frac{\pi b}{2(s+b)}

在斜浪时，船已搁浅，且每个片体各自在距首尾 L/4 处失去片体浮力

二、实船计算

我们对航行于长江中下游的三艘实船按表 1 的公式进行了计算, 它们分别是1500客位双体客轮, 500 客 位的双体客轮和小池口一九江双体渡轮, 其主尺度见表 1。

计算结果见表 2。

表 2

方 法	1500客位双体客轮		500客位双体客轮		小池口一九江渡轮	
	弯 矩	扭 矩	弯 矩	扭 矩	弯 矩	扭 矩
	$M_B \text{ t} \cdot \text{m}$	$M_T \text{ t} \cdot \text{m}$	$M_B \text{ t} \cdot \text{m}$	$M_T \text{ t} \cdot \text{m}$	$M_B \text{ t} \cdot \text{m}$	$M_T \text{ t} \cdot \text{m}$
Scott	1673.20	1281.60	533.60	603.52	222.88	152.83
Disenbacher	2634.86	2470.46	1040.57	1500.70	292.40	347.74
Unzawa和Shimizu	811.50	4005.00	300.60	1886.00	139.60	477.60
Фролов	349.90	1172.60	187.20	658.95	38.29	135.36

三、比较和分析

从以上计算结果可见, 用各种方法所得的弯矩和扭矩值相差悬殊, 其主要原因是各种方法所考虑的因素不一致造成, 现一一分析如下:

1. Scott方法

最突出的优点是简单。只需要知道片体排水量和船的主要尺度, 就可以直接由两个简单的公式计算出弯矩和扭矩。但主要缺点:

(1) 半脱水状态与实际航行状况不符, 没有考虑船的横摇和升沉运动。所得的外载荷也没有体现波浪要素的影响, 而同一条船在不同航区, 由于其波高长关系不一样, 所受载荷不同。

(2) 在斜浪上, 每片体浮心分别向波峰方向移动 4 %L的假设是针对一条长 300呎 (91.44m) 的双体船置于波长170呎 (51.82m)、波高10呎 (3.048m)的一种海况分析得出的结论, 亦即是一种特定的波长高关系 ($h/\lambda = 0.059$)。然而浮心移动的距离不仅与波长有关系有关, 而且也与船体本身的线型密切相关。

由此可见, Scott方法忽略因素较多, 适用范围小。

2. Фролов方法

计算公式也比较简单。由于假设波浪为余弦波, 利用积分方法建立了弯矩和扭矩与波浪高度的关系。这一点要比Scott方法优越, 可以反映不同航区的波高要求, 从而使其适用范围比Scott方法广泛。在计算公式中考虑水线面系数值的因素, 也是一特点。不足之处是没有考虑升沉运动的影响。

3. Disenbacher方法

考虑的因素较多, 计算要复杂些。优点是考虑了波高和升沉运动对弯矩和扭矩值的影响,

此外,对于船体为方盒的假设,Disenbacher采用了对水密度进行修正的措施,以保证相同排水量条件下,具有相同的吃水,比较合理,有一定的实用价值。然而,由于该方法是以ASR双体船模型,在模拟的特定海况进行试验所得的结果为基础,因此有一定的局限性,其表现为:

(1) Disenbacher设波高与波长的关系为 $A = K\sqrt{\lambda}$,式中 A 为半波高, λ 为波长, K 为待定系数,是根据船模在模拟40kn风速时,北大西洋恶劣海况下水池实验得出的:横浪时,取 $K = 1.0$;斜浪时, $K = 0.6$ 。实际上 K 值在各种海区是不同的,对于风浪较小的海区和内河航区 K 的数值显然偏大。这就限制了它的使用范围。

(2) 取升沉加速度为 $\pm 0.4g$ 来确定棱形体的瞬时平均吃水,也不能代表各海区的实际情况,至少内河航区是达不到 $0.4g$ 的。

除了以上二点使Disenbacher方法应用范围受到限制的因素外,由于片体的方盒的假设,因而忽略了水线面系数的影响。

4. Unzawa和Shimizu方法

假设的计算状态和Disenbacher的计算状态基本相同,由于它忽略了很多因素,因此得到的计算公式比较简单,然而其计算结果的可靠性差,与试验值差距大。主要特点是:

(1) 在横浪时,浪高和波长的关系为 $A = \frac{1}{20}\lambda$ 。

(2) 在斜浪时,它和Scott方法一样,没有建立弯矩、扭矩与波高关系。

(3) 没有考虑水密度修正。

(4) 没有考虑水线面系数影响。

(5) 没有考虑升沉运动影响。

(6) 忽略了连桥重量。如考虑连桥重量,并且设连桥重量等于船体重量的15%时,对Unzawa正Shimizu的弯矩公式修正如下

$$M^b = P_H(H - Z) - \frac{\rho h b^2 L}{12} - 0.15 \times \frac{1}{2} \rho b^2 L D_0$$

式中第三项为修正项。

四、结论和建议

Disenbacher方法比其它几种方法考虑的因素多,比较完善,计算工作量并不大,如稍加修正,有应用于双体船连桥强度计算的可能性。下面就扭矩计算提出一点初步意见。

1. 关于计算状态的选取

计算状态选取是否合适,直接关系到扭矩值的大小,因为对应于不同的计算状态有不同的计算波长。上述四种计算状态所对应的计算波长分别为

$$\text{Scott 方法} \quad \lambda = \frac{3(s+b)L_s}{2\sqrt{(s+b)^2 + (L_s/2)^2}}$$

$$\text{Фролов方法} \quad \lambda = \frac{2(s+b)L_s}{\sqrt{(s+b)^2 + L_s^2}}$$

$$\text{Disenbacher方法} \quad \lambda = \frac{(s+b)L_s}{\sqrt{(s+b)^2 + (L_s/2)^2}}$$

$$\text{Unzawa和Shimizu方法} \quad \lambda = \frac{(s+b)L_s}{\sqrt{(s+b)^2 + (L_s/2)^2}}$$

可见,四种计算方法对应于三种计算状态,那么究竟哪一种计算状态更危险呢?为便于比较起见,我们以Disenbacher假设方法为基础,分别对三种状态进行积分计算,得到的扭矩计算公式分别为

$$\text{Scott状态} \quad M_{Ts} = \rho c_b g b \frac{L_s^2}{2\pi} A_s \left[\frac{-0.421}{\pi} + 0.65 \right]$$

$$\text{Фролов状态} \quad M_{T\phi} = \rho c_b g b \frac{L_s^2}{2\pi} A_\phi \frac{4}{\pi}$$

$$\text{Disenbacher状态} \quad M_{TD} = \rho c_b g b \frac{L_s^2}{2\pi} A_D$$

式中 A_s 、 A_ϕ 、 A_D 为半波高。

若按 $A = K\sqrt{\lambda}$ 取波高,且取同样的 K 值,则Scott状态和Фролов状态下的扭矩与Disenbacher状态下的扭矩之比分别为

$$M_{Ts}/M_{TD} = \frac{3}{2} \left[\frac{-0.421}{\pi} + 0.65 \right] \quad M_{T\phi}/M_{TD} = \frac{\sqrt{(s+b)^2 + L_s^2}}{\sqrt{(s+b)^2 + L_s^2}} \frac{4}{\pi}$$

以1500客位双体客轮为例,则 $M_{Ts}/M_{TD} = 0.774$, $M_{T\phi}/M_{TD} = 1.39$,由此可见,Фролов的计算状态最危险,其次是Disenbacher计算状态,最后为Scott计算状态。

2. 关于波高和波长关系的选取

在Disenbacher和Фролов的公式中,扭矩是随波高而线性上升,因此,波高的选取也是直接关系到扭矩值大小的问题。若取波高和波长关系为

$$A = K\sqrt{\lambda}$$

则波高的选取变成如何合理选取系数 K 。从前面的分析得知

对于Disenbacher方法, $K = 0.6$; 对于Scott方法, $K = 0.212$;

对于Фролов方法,没有提出波高和波长之间关系。

表2算例结果是按“长规”建议的波高和波长数值来计算的。对于A级航区,波高为2.5m,波长为30m,则可得 $K = 0.228$;对于B级航区,波高为1.5m,波长为15m,则可得 $K = 0.194$ 。至于Unzawa和Shimizu方法,由于其计算结果与试验值相差很大,所以准备加以讨论。

从以上二点分析可知,计算状态和 K 值选取直接影响到扭矩的计算值。如果将表3算例的扭矩数值按“长规”A级航区和B级航区的 K 值进行折算,则其结果是相当接近的,具体数值见表3。表列数值表明,除Scott方法不是很协调外(这是因为Scott采用坦各波,而浮心移动4%也是一种假定),Фролов方法和Disenbacher方法得到的数值是非常满意的,如考虑计算状态和水线面系数修正,则可得到比较一致的数值。表列数值还表明,波高的选取对扭矩值计算是很敏感的。

表 3

	Scott方法 $M_T \quad t \cdot m$	Фролов方法 $M_T \quad t \cdot m$	Disenbacher方法 $M_T \quad t \cdot m$
1500客位双体客轮	1381.56	1172.6	938.77
500客位双体客轮	950.30	658.95	570.27
小池口—九江渡轮	140.30	135.36	112.44

通过以上分析,我们认为Фролов方法和Disenbacher方法是比较完善的,同时也建议利用Фролов的计算状态,Disenbacher的假设来计算扭矩,即利用下述公式来计算

$$M_T = 2\rho c_b g b A L_s^2 / \pi^2 = 2\rho c_b g b K \sqrt{\lambda} L_s^2 / \pi^2$$

式中 K ——由航区决定的系数。

对内河船舶,由于没有波谱资料,因此建议 K 值根据“长规”要求来选取,对A级航区, $K = 0.25$;对B级航区, $K = 0.2$ 。

以上公式仅是通过理论分析而得,其精确程度有待于实验验证,但在初步设计阶段,对于连桥强度的计算有一定的实用性和可靠性。

参 考 文 献

- [1] 长江船舶设计院编:《内河船舶设计手册》(船体分册),人民交通出版社1977
- [2] Unzawa, M., Shimizu, K: 双体船的连接桥强度,《国外舰船技术》(船舶类),1980, 3
- [3] Фролов, А.М.: К определению волновых нагрузок на соединительный мост катарана, Судостроение 1966, с.7—9
- [4] Disenbacher, A.L.: A Method for Estimating Loads on Catamaran Cross—Structure, Marine Technology, Vol.7, No.4, 1970
- [5] Mandel, .P.: A Camparative Evaluation of Navel Ship Types, SNAME, Vol.70, 1962

(1985年3月7日收到 责任编辑:翁长俭)

Analysis of Calculation Method of External Force on Catamaran Cross Structure

Kong Bingqing Cao Mo

Abstract

This paper gives a brief account of the external forces acting on the catamaran cross structure and the approximate formulas put forward by scholars abroad for calculating the external force.

After the calculation of several ships and theoretical analysis, the authors of this paper find that the different factors considered by these formulas accounts for the difference in the calculation results. In this paper coefficient K of wave height-length relationship is used to modify the calculation value of torsion and the result is satisfactory. On this basis, the authors of this paper bring forth a new approximate calculation formula for the torsion of the cross structure.