

双体船稳性衡准中的横摇角公式

陈雪深 邵世明 陈国权 陈言中

(船舶及海洋工程系)

摘要 根据不同船型的6艘双体船在静水和规则波2浪中的模型横摇试验,得到了频率响应曲线、横摇阻尼及船舶自摇周期.讨论了片体间距、舵龙骨面积及排水量-宽度比等参数对双体船横摇角的影响,从而给出了计算双体船横摇角及其周期的公式.

关键词 双体船; 稳性; 横摇角; 横摇阻尼; 横摇周期

中图法分类号 U 661.22

我国使用双体船日益增多,特别是近年来发展更快,成为沿海和内河客运的有效交通工具.制定双体船的稳性衡准已迫在眉睫,而确定双体船在风浪中的共振横摇角是制定稳性衡准的关键.本文提出的双体船横摇角计算公式可供制定《海船法定检验技术规则》时采用.

1 横摇固有周期 T_φ 公式的导出

由摇摆理论^[1],一般单体船的横摇固有周期可按下式计算:

$$T_\varphi = 2\pi \sqrt{I_{xx} / \Delta \cdot GM_0} \quad (1)$$

式中, $I_{xx} = I_{xx} + \Delta I_{xx}$, I_{xx} 是船体本身的惯性矩,在稳性规范中应用杜埃拉公式确定,取 $I_{xx} = \Delta(B^2 + 4Z_g^2) / 12g$, ΔI_{xx} 是附连水的附加惯性矩,一般取 I_{xx} 的20%~30%.对双体船, ΔI_{xx} 较单体船要大得多,根据3艘双体船试验,所得的平均 ΔI_{xx} 约为 I_{xx} 的1.62倍.

利用杜埃拉假定,把双体船看作中间缺少一块的均质六面体,将推导后得到的 I_{xx} 代入式(1),再计入 $\Delta I_{xx} / I_{xx} = 1.62$,可得

$$T_\varphi = 0.94 \sqrt{\frac{B^2 + 4Z_g^2}{GM_0} - \frac{w^3 + 1.25wD^2}{2B \cdot GM_0}} \quad (2)$$

式中: D 为船舶型深; w 为两片体内侧的间距.

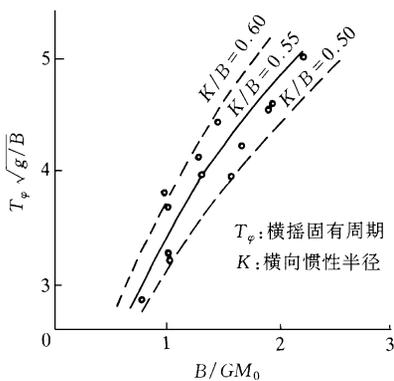


图1 双体船的横摇周期

图1是日本钢管公司已建造的双体船横摇试验的若干结果^[2],据此归纳得双体船横摇周期为

$$T_\varphi = 2\pi CB / \sqrt{g \cdot GM_0} \quad (3)$$

式中, $C = 0.50 \sim 0.60$.

表1给出了按式(2)和式(3)计算所得6艘双体船的横摇周期,其中式(3)中取 $C = 0.55$,该表中同时给出诸双体船由实际模型试验换算所得的实船横摇周期值.由表1可见,三者的值是相近的.为计算简便起见,最后建议采用下式:

$$T_\varphi = 1.05B / \sqrt{GM_0} \quad (4)$$

式(4)的系数取1.05,主要考虑到试验结果并参考其他两式确定的.表1中亦给出了按此式所得的数值.6艘双体船的主尺度要素如

表2所示.

2 双体船横摇角计算公式的确定

2.1 制定计算公式的原则

收稿日期: 1996-06-21

第一作者: 男, 1937年生, 教授, 上海, 200030.

表1 6艘双体船横摇固有周期值的比较

船名	T_{φ}/s			
	按式(2)	按式(3) $C_1=0.55$	试验 换算值	按式(4)
瑞新	7.07	7.08	7.01	6.74
海峡	4.47	4.73	4.34	4.50
青浏	4.05	4.12	4.18	3.92
春风	3.76	3.95	3.50	3.76
高速	3.47	3.55	3.00	3.38
挪威	5.16	4.98	-	4.73

双体船的稳性衡准作为现行船舶稳性规范的补充,在体系上应与现行规范保持一致,即认为船舶处于零速、横风、横浪的情况,其横摇角仍按规则波上共振横摇角计及不规则波的影响来计算.与单体船相比,双体船横摇角的表达式在形式上与文献[1]相同:

$$Q = k_{\zeta} \frac{\pi \alpha_{\omega}}{2N} = k_{\zeta} \frac{57.3 \pi^2 k_{\varphi} \delta}{2N} \quad (5)$$

式中: α_{ω} 为有效波倾角; k_{ζ} 为不规则波浪影响系数; N 为横摇减幅系数; k_{φ} 为有效波倾角系数; δ 为波浪陡度. 将式(5)

各常数归并,则有

$$Q = 16.816 k_{\zeta} \delta k_{\varphi} / N \quad (6)$$

根据6艘双体船模型共34种状态的静水自由衰减和规则波上的横摇试验,确定式(6)中各参数的函数关系,从而归纳出供设计应用的双体船横摇角的计算公式.

表2 6艘双体船的主尺度要素

要素	船名					
	瑞新	海峡	青浏	春风	高速	挪威
航区、航线	上海-温州	海安-海口	青龙港-浏河	广州-蛇口		宁波-芦潮港
载客量/人	1 502(卧)	350(座)	524(座)	352(座)	50(座)	354(座)
稳性级别	海船类	海船类	长江A级	长江A级	海船类	海船类
总长 L_{OA}/m	98.0	49.0	46.0	43.6	26.0	~36.20
水线长 L_{WL}/m	89.1	47.0	41.0	41.0	24.4	32.26
垂线间长 L_{PP}/m	86.0	45.5	40.05	40.0		32.14
总宽 B/m	26.0	13.4	11.80	11.6	9.0	9.77
片体宽 b/m	8.0	3.6	4.0	4.0	3.0	2.7
型深 D/m	8.2	4.0	3.0	3.0	3.0	3.82
吃水 d/m	4.92	2.40	1.70	1.86	1.25	1.65
排水量 Δ/t	4 475.0	542.98	330.0	290.0	84.5	130.1
片体内侧间距与片体宽比 w/b	1.25	1.72	0.95	0.9	1.0	1.04

2.2 有效波倾角系数 k_{φ} 的确定

我国现行稳性规范中, $k_{\varphi} = 0.13 + 0.6 Z_g/d$, 考虑到双体船的总宽较大, 它与波长 λ 的比值要比单体船大得多, 为此, 对上式引入船宽修正系数 $k_B = 1 - (B/\lambda)^2$, 则 $k_{\varphi} = (0.13 + 0.6 Z_g/d) [1 - (B/\lambda)^2]$. 由共振时 $\lambda = 1.56 T_{\varphi}^2$, 所以

$$k_{\varphi} = (0.13 + 0.6 Z_g/d) [1 - 0.411(B/T_{\varphi}^2)^2] \quad (7)$$

从理论上讲, $k_{\varphi} \geq 1$, 当 $Z_g/d > 1.45$ 时, 取 $k_{\varphi} = 1.45$.

2.3 波陡 δ

波陡 $\delta = h/\lambda$ 与航区有关, 在海船稳性规范中, 以 $C_1 = \sqrt{\delta}$ 的形式表示. 其数值由横摇固有周期 T_{φ} 定, 取海船稳性规范相同的值, 但 T_{φ} 应按式(4)计算. 海规中的航区划分为 、 、 (即无限、近海、沿海) 三类. 经调查, 我国目前绝大多数双体船航行在沿岸或岛屿之间的遮蔽水域, 该区域的浪要比 类航区小, 如仍按 类标准要求, 显然偏严. 所以 C_1 的选取对双体船增加了遮蔽航区的值. 因目前尚缺少这方面的资料, 拟在 类的 C_1 基础上打一折扣. 其值系考虑了下列因素后确定的:

(1) “春风”和“东山湖”两艘双体客船, 实际横摇角约为9°和10°左右, 而按本文公式 类航区计算的值为13.12°和12.22°; 两者相比为0.69和0.82倍.

(2) 遮蔽水域有义波高约为 $h = 2$ m, 对充分发展的波, 波浪周期 $T = 3.81 \sqrt{h} = 5.4$ s; 由 $\lambda =$

1. $56T^2 = 45.5 \text{ m}$, $C_1 = \overline{\delta} = \overline{h/\lambda} = 0.21$. 再根据 $T = 5.4 \text{ s}$, 查海船稳性规范^[3]的 C_1-T 曲线得 类航区的 $C_1 = 0.26$, 两者比值为0.807.

(3) 我国海洋局提出的波谱:

$$S(\omega) = \frac{0.74}{\omega^5} \exp\left\{-\frac{g^2}{U^2 \omega^2}\right\}$$

其中 $U = 6.29 \overline{h}$, 取波高 h 为2 m和4 m, 分别计算航行在 类和 A 级航区的5艘双体船的横摇角 Q_2 、 Q_4 , 结果列于表3. 两者的比值, 就认为是遮蔽航区与 类航区的比值. 表中的“海峡”、“挪威”及“高速”双体船为沿海双体船; “青浏”、“春风”为内河双体船. 5艘船的平均值为0.807. 综上, 两者之间的比值在0.8左右, 现取0.8.

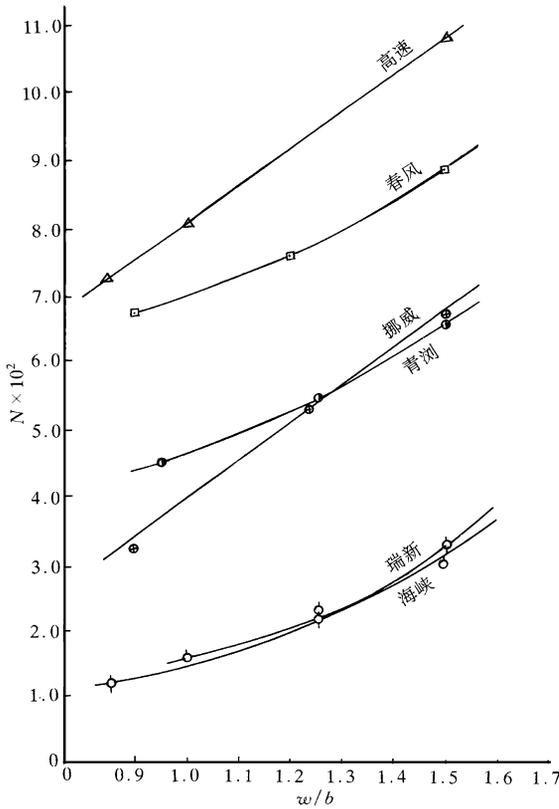


图2 诸双体船的横摇阻尼随 w/b 的变化

的. 因为 $\nabla/b^3 = C_B L d/b^2$, 综合地反映了船体水下部分的形状. 经过整理, 以 $w/b = 0.9$, $\sqrt[3]{\nabla/b} = 2.0$, 无舦龙骨状态作为计算基础, 此时的 $N = 0.024$, 则双体船的 N 表达式为

$$N = 0.024 k_b \cdot f_3(\sqrt[3]{\nabla/b}) \cdot f_4(w/b) \tag{8}$$

表3 不同航区下的横摇角

	船 名				
	海 峡	青 浏	春 风	挪 威	高 速
$Q_2 / (^\circ)$	7.652	8.369	6.478	7.839	5.936
$Q_4 / (^\circ)$	9.551	10.123	8.111	9.491	7.579
Q_2/Q_4	0.801	0.827	0.799	0.826	0.783

* Q_2 和 Q_4 分别表示浪高为2 m和4 m时的横摇角.

表4 3艘双体船的舦龙骨修正系数值

船 名	k_{b1}^*	k_{b2}^{**}	平均值
瑞 新	1.74	2.55	2.145
海 峡	1.09	1.22	1.16
青 浏	1.10	1.27	1.18

注: * 舦龙骨面积比 $A_b/(Lb)$ 为2%;

** 舦龙骨面积比 $A_b/(Lb)$ 为4%.

2.4 横摇衰减系数 N

关于横摇衰减系数在目前尚无可靠的理论计算方法情况下, 只有通过模型试验. 表2所列的6艘试验船模中有4艘是海船, 2艘是 A 级航区内河船, 其中5艘是实船, 均为圆舦型. 5艘片体是对称的(其中1艘是尚未建造的短折角线的高速双体船), 只有挪威、高速双体船的船型是不对称的.

根据有关资料和实船及试验观察统计, 表明双体船的横摇阻尼远大于单体船, 而且这种趋势随着片体间距增大而增大. 双体船的横摇衰减主要受片体间距控制, 所以在试验中首先考虑变化片体间距. 另外, 亦分别探讨了重心高度、舦龙骨面积及吃水变化对横摇阻尼的影响. 试验表明: 片体间距、排水体积-片体宽度比以及舦龙骨面积大小对阻尼的影响是明显的. 为与现行的海船稳性规范相一致, 横摇阻尼按纯平方规律处理.

在分析了试验数据后, 假定横摇减幅系数 N 是 w/b 、 $\sqrt[3]{\nabla/b}$ 及舦龙骨面积比的函数. 其中片体间距对 N 的影响是明显的, 由图2可见, 6艘船的 N 都随 w/b 增加而明显增大. 从图上还可见, 6艘船在相同的 w/b 下, N 值相差很大, 是由 $\sqrt[3]{\nabla/b}$ 不同而造成

2.4.1 舦龙骨修正系数 k_b 装有舦龙骨与光体情况下的横摇减幅系数之比, 称为舦龙骨修正系数 k_b . 舦龙骨面积比 $A_b/(Lb)$ 一般在2%~4%. 表4给出了3艘船在两种 $A_b/(Lb)$ 值时所得的 k_b 值. 考虑到横摇

角 φ 与 $N^{-1/2}$ 成比例, 故设 $C_b = k_b^{-1/2}$ 为舭龙骨对横摇角的影响系数. 上述3艘船 C_b 平均值为0.85. 除瑞新号外, 另两艘船均大于0.90, 建议在实际计算横摇角时取 $C_b = 0.90$.

2.4.2 片体修长度影响系数 f_3 设 $w/b = 0.90$ 时, 以 $\nabla^{1/3}/b = 2.0$ 情况下所得的 N 值与单独改变 $\nabla^{1/3}/b$ 时所得的 N 值之比为修长度对阻尼的影响系数 f_3 . 根据试验结果, 其相应值如下:

$\nabla^{1/3}/b$	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
N	0.058	0.051	0.044	0.037	0.031	0.024
f_3	2.42	2.13	1.83	1.52	1.29	1.00

2.4.3 片体间距比影响系数 f_4 当 $\nabla^{1/3}/b = 2.0$ 时, 以片体间距比 $w/b = 0.9$ 情况下的阻尼与不同 w/b 时的阻尼值之比 f_4 为片体间距比影响系数. 其值如下:

w/b	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
f_4	1.00	1.12	1.23	1.35	1.48	1.62	1.75	1.88	2.01

2.5 不规则波影响系数 k_{ζ}

为了确定不规则波影响系数的数值, 首先按式(6)在不计 k_{ζ} 影响情况计算得 φ , 视为规则波上的值. 然后根据6艘船模34种状态在规则波上试验所得频响曲线, 取 ITTC 双参数谱, 每个状态各假定4个波高($h_{1/3} = 2\text{ m}, 3\text{ m}, 4\text{ m}, 5\text{ m}$). 每个波高又取3个周期, 其中一个按 $T_w = 3.81 h_{1/3}$ 取, 另两个各为 $T_w = 3.81 h_{1/3} \pm 1$, 分别计算 φ 值, 视为不规则波上的横摇值, 并与前面计算得的规则波上的横摇值之比, 即为 k_{ζ} 值. 根据6艘船34种状态, 波高为4 m 和5 m 时的 k_{ζ} 值, 其平均值分别为0.649和0.680. 考虑到与现行海船稳性衡准中 $k_{\zeta} = 0.70$ 相近, 因此建议亦取0.70.

以上分别阐述了计算双体船横摇角 φ 式(6)中诸参数的确定方法及其相应的数值, 现可简化为

$$\varphi = 11.75 C_1 \sqrt{k_{\zeta} C_3 C_b}, \text{ 其中 } C_1 = \bar{\delta}; C_3 = 0.024 f_3 f_4; k_b = 0.9 \text{ 或 } 1.0, \text{ 当有舭龙骨时取 } 0.9, \text{ 否则为 } 1.0.$$

3 内河双体船的横摇角计算

内河双体船的横摇角计算公式建议采用双体海船的公式. 因为海洋双体船和内河双体船目前大多为客、渡船, 在船型上不像单体船那样差异大, 且这次模型试验中也包含了两条内河船. 另外双体船的横摇周期一般较小, 在内河中有可能出现船的横摇周期等于波浪周期的现象, 所以 C_1 取 $\delta^{1/2}$, 不必考虑在长江水系规范中的 M 影响($M = 1$), 但应按海船遮蔽航区选取 C_1 .

参 考 文 献

- 1 冯铁域, 朱文蔚, 顾树华. 船舶操纵与摇荡(修订本). 第二版. 北京: 国防工业出版社, 1989. 100 ~ 103
- 2 Unozawa M, Shimizu K. 双体船设计. 上海交大译丛, 1981, 1: 190 ~ 202
- 3 中华人民共和国船舶检验局. 海船法定检验技术规则. 北京: 人民交通出版社, 1992

The Formulae of Rolling Angle in Stability Criteria for Catamarans

Chen Xueshen Shao Shiming Chen Guoquan Chen Yanzhong

(Department of Naval Architecture and Ocean Engineering)

Abstract Based on the model rolling tests in smooth water and regular waves for the six catamarans with different hull forms, the frequency response curves, rolling damping and period of ship's natural roll are obtained. The influence of some parameters, such as demi-hull space, area of bilge kells and displacement-beam ratio, on rolling angle of catamaran is discussed. The formulae of calculating the rolling angle and period of catamaran are given. The effects of catamarans going in irregular waves and defiladed navigation area on both values are also analyzed.

Key words catamaran; stability; rolling angle; rolling damping; period of ship's natural roll