

船型对双体船阻力的影响*

张素荣 黄武林

(中山大学)

提 要

本文通过九艘设计Froude数 $0.28\sim 0.40$ 的双体船模型试验资料的综合分析,探讨主要船型参数、间距比对片体剩余阻力系数 C_{r0} 及双体剩余阻力干扰分数 \bar{K} 的影响规律。提出表征首尾横波干扰程度的参数 $F_r/\sqrt{C_p}$;给出联系三个主要因数 F_r 、 K/b 、 C_p 的峰谷图及 C_{r0} 、 \bar{K} 的统计资料;对 C_p 等主要因数的选择作了讨论。

文章中的资料可供初步设计使用。

本文的统计船型不包括 $b/d > 3.1$ 及片体横向非对称的双体船型。讨论范围限于 $F_r = 0.3\sim 0.4$, $K/b = 2\sim 2.6$ 。

(一) 引 言

双体船由于甲板面积宽敞、稳性充裕等优点,近年来得到普遍重视,各种用途的双体船已越来越多。有关双体船流体动力特性的各种课题也成了“热门”。阻力方面已发展到寻找最小 R_w 船型及非对称片体线型的理论计算。总的说来,双体船研究、建造历史并不长,许多问题仍有待深入研究。

以往有关论文多数属基础性研究,讨论对象或是过于简化的数学船型^[2],或是某一种特定的实际船型^{[1][2]},即使文献[3][4]所做的系列试验研究其船型也有一定的局限,不能从较宽的尺度范围考察问题。

本文企图弥补这方面的不足,在模型试验基础上,用统计分析方法侧重探讨如下几个问题:

(1) 主要船型参数对 C_{r0} 、 \bar{K} 影响的统计规律,考察次要因素引起的离散程度;
(2) 这些主要船型参数是怎样与因素 F_r 、 K/b 联系起来影响双体有利干扰区的峰谷;

(3) 希望得到在初步设计阶段便于应用的资料,例如确定主要参数的有利组合及估算相应的 C_{r0} 、 \bar{K} 的资料。

表1所列模型的设计Froude数、主尺度比、船型参数及 K/b 的变化范围覆盖了现有多数双体船的相应范围。

* 本文于1985年11月11日收到。

表 1 统计的九艘双体船片体船型特点

序号	船模编号 SM	L/b	b/d	C_b	C_p	C_M	x_e (舫后 % L_{PP})	∇/L^3 $\times 10^3$	设计 Froude 数 Fr	用途
1	7824	10.61	1.737	0.502	0.557	0.901	-2.94	2.571	0.37	内河交通船
2	7910	8.05	3.077	0.523	0.564	0.928	-1.65	2.623	0.37	内河客船
3	7082	13	1.481	0.461	0.611	0.755	1.68	1.841	0.40	内河交通船
4	7081	11.275	1.60	0.555	0.638	0.870	-2.91	2.725	0.33	内河客船
5	6501	8.182	1.67	0.611	0.645	0.950	—	5.481	0.28	海洋双体船
6	8511	10.09	2.432	0.577	0.626	0.922	-2.28	2.330	0.268	内河交通船
7	7911	10.71	1.571	0.516	0.572	0.901	—	2.861	0.373	内河客船
8	7912	10.76	1.500	0.521	0.576	0.905	—	3.004	0.372	内河客船
9	7913	10.81	1.435	0.527	0.580	0.909	—	3.145	0.372	内河客船
参数 范围		8.05~13	1.44 ~3.08	0.46 ~0.61	0.56 ~0.65	0.76 ~0.95		1.84~5.48	0.27~0.40	

(二) 回 顾

由于两片体运动中流体动力的相互影响, 双体船有独特的阻力特性。它有单体船所没有的诱导阻力 ΔC_w , 还存在片体间摩擦阻力的相互干扰 ΔC_f 及更为复杂的兴波干扰 ΔC_w 。

在本文讨论的中高速区、 K/b 较小、片体线型对称的条件下, ΔC_w 是上述三者中最重要的。以往的研究已指出这种兴波干扰的特性与 Fr 、 K/b 、船型有关^{[3][4]}, 但这些因素是怎样影响双体兴波干扰的尚未弄清楚。

从文献[1]~[4]可以发现: 各种船型只要发生双体有利干扰(包括负干扰), 其相应 Froude 数总是落入 0.3~0.38 范围, 虽然同一范围, 但不同船型, 同一 K/b 值下各船型干扰谷点位置 (Fr 数) 却明显不同, 甚至有些 C_p 值特别小的船 ($C_p=0.49$) 在上述 Fr 数范围, K/b 从 1.5 增大到 3.5 均不出现负干扰^[4]。其差异显然是由于船型不同引起的。同时也说明船型、 Fr 、 K/b 一定存在某种联系致使双体干扰为峰或为谷。

作者认为双体有利干扰是首尾横波处于有利干扰前提下发生的。沿用兴波长度理论的思想, 引进参数 $Fr/\sqrt{C_p}$, 它表征首尾横波干扰的程度, 可用它作为统一的横坐标对同一 K/b 、不同船型的 \bar{K} 曲线(双体剩余阻力干扰分数)进行比较。进而分解出有关因素的影响, 得到峰谷图, 再用其他文献结果检验, 证实所有关于干扰区的结论在峰谷图的关系上是基本一致的。

(三) 船型对片体剩余阻力的影响

本文采用 Froude 换算方法, 1957 年 ITTC 摩擦阻力公式。

选用 ∇/L^3 、 C_p 、 x_e 、 b/d 作为特征参数, 并假定各模型的横剖面面积曲线及首尾端设计已适合各自的设计 Froude 数。则有

$$C_{r0} = f(Fr, C_p, \nabla/L^3, x_e, b/d)$$

根据图 1, 实船 b/d 相对变化很小, 且 b/d 在现在情况下对 C_{r0} 影响并不重要^{[3][4]}。各实船之间浮心纵坐标 x_e 的相对变化约 1% L_{PP} , 据文献[4]认为 x_e 对 C_{r0} 的影响也可略去, 故得到

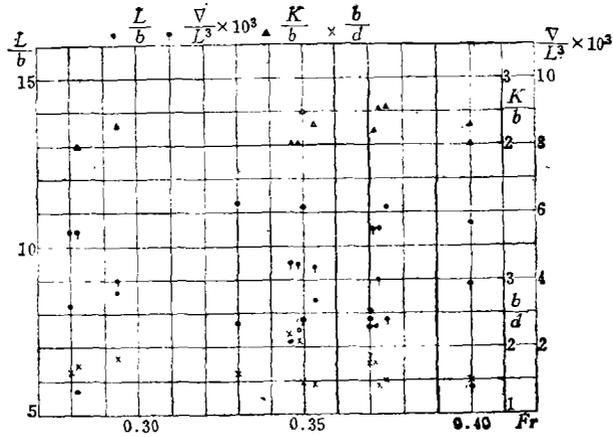


图1 实船统计资料

$$C_{r0} = f(Fr, C_p, \nabla/L^3)$$

式中 C_p 、 ∇/L^3 对中海高速船都是重要因素，它们对片体 C_{r0} 的影响规律与单体船相仿。在这速度区内两个船型参数各自对剩余阻力影响规律及程度上有差别，据文献〔3〕、〔4〕及单体船有关资料分析，在这速度区靠低端 ($Fr \leq 0.38$) 以 C_p 进行统计，靠高端 ($Fr > 0.38$) 则以 ∇/L^3 来统计。

在中、高速区， Fr 与 C_p 对 C_{r0} 的影响有明显交互作用，即 C_{r0} 对 Fr 的变化规律明显地受 C_p 值的大小影响。而 Fr 与 ∇/L^3 对 C_{r0} 影响的交互作用并不明显。

图2为统计结果。

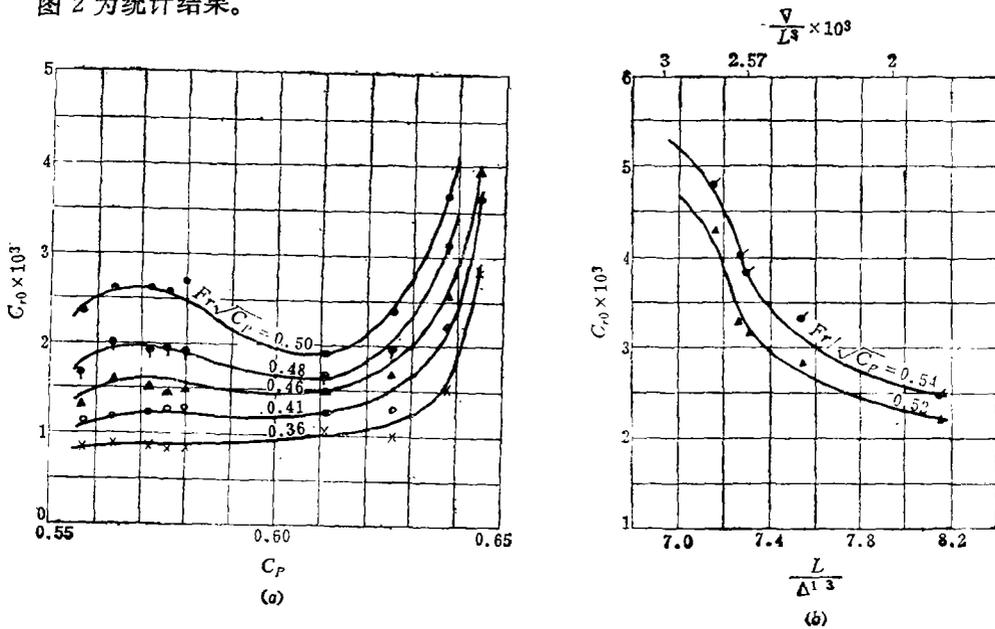


图2 C_{r0} 的统计曲线

从图2可得到如下结论：

(1) $C_p > 0.64$ ， C_{r0} 将迅速增加。

$C_p < 0.58$ ， $Fr/\sqrt{C_p} \geq 0.46$ ， C_{r0} 出现一个明显的峰。

$0.36 < Fr/\sqrt{C_p} < 0.46$, 取 $C_p = 0.55 \sim 0.63$ 对 C_{r0} 影响不大, 但取较大的 C_p , C_{r0} 将较小。

$Fr/\sqrt{C_p} \geq 0.46$, C_p 有一个最佳值, 约为 0.61。

(2) $0.48 \leq Fr/\sqrt{C_p} < 0.54$, 取 $L/\nabla^{1/3} \geq 7.3$ (或 $\nabla/L^3 \times 10^3 \leq 2.57$), C_{r0} 将明显下降。这与通常单体船 C_r 随 $L/\nabla^{1/3}$ 上升而下降的结论是一致的。

(3) 从图 2 具有很好的规律性来看, 对于次要的因素, 在设计中按常规选用时, 它们对 C_{r0} 的统计影响并不重要。

(四) 船型等因素对于干扰分数 \bar{K}_r 的影响

由(二)所述, 把次要项 ΔC_s 、 ΔC_l 并入主要项 ΔC_w 作为 ΔC_r 来讨论, 以兴波阻力的规律分析剩余阻力的变化。双体剩余阻力系数表示为:

$$C_r \left(\frac{K}{b} \right) = C_{r0} + \Delta C_r$$

ΔC_r 为干扰项。当 ΔC_r 为较大正值时称不利干扰; 当 ΔC_r 为较小正值时称有利干扰; ΔC_r 为负值时称负干扰。一般用相对值来衡量干扰程度。以往常见干扰系数形式为:

$$K_{r1} = C_r \left(\frac{K}{b} \right) / C_{r0} \quad \text{或} \quad K_{r2} = \Delta C_r / C_{r0}$$

本文采用 \bar{K}_r , 称为干扰分数

$$\bar{K}_r = \Delta C_r / C_r \left(\frac{K}{b} \right)$$

其含义是由两片体相互干扰引起的附加剩余阻力占该 $\frac{K}{b}$ 时双体剩余阻力的分数。

$$\bar{K}_r = K_{r2} \cdot \frac{1}{1 + K_{r2}}$$

\bar{K}_r 采用 $C_r \left(\frac{K}{b} \right)$ 做分母, 使它能在同样的 $Fr/\sqrt{C_p}$ 、 $\frac{K}{b}$ 值下更集中地反映船型引起的差异。 K_{r2} 小即此时 Fr 、 $\frac{K}{b}$ 、船型的组合对双体干扰是有利的。见图 3。

$$\bar{K}_r = f \left(Fr/\sqrt{C_p}, \frac{K}{b}, C_p \right)$$

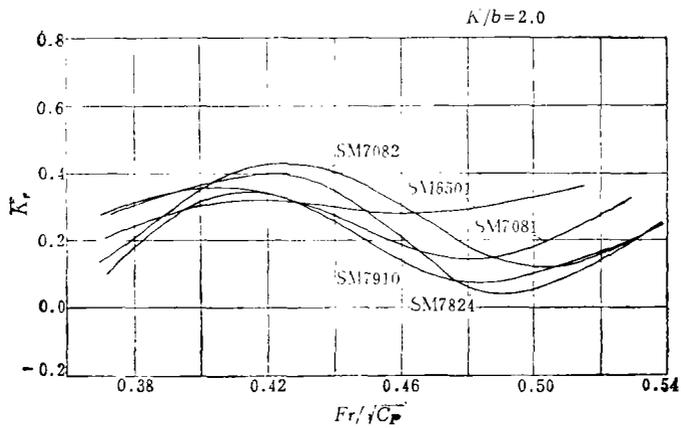
当 $Fr/\sqrt{C_p}$ 取某定值后得图 4, $Fr/\sqrt{C_p}$ 的定值是对应 $Fr = 0.26 \sim 0.40$ 区域的 \bar{K}_r 的峰或谷, 而峰或谷处 $Fr/\sqrt{C_p}$ 的值由图 5 确定。

从图 4 得知:

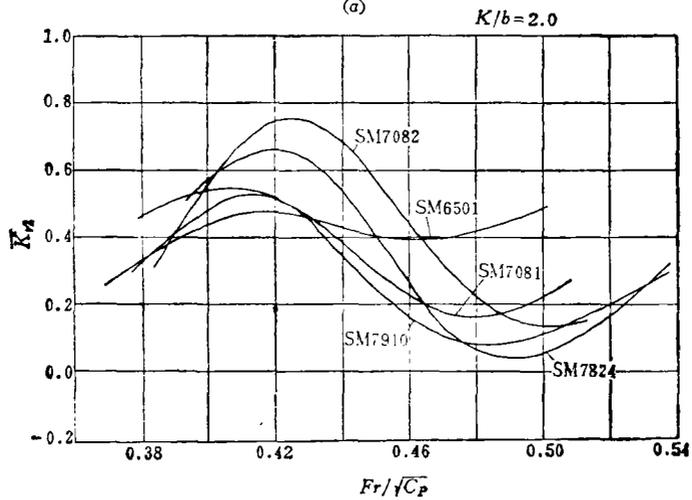
(1) 无论 $\bar{K}_{r\text{峰}}$ 或 $\bar{K}_{r\text{谷}}$, 当 $\frac{K}{b}$ 增加时均下降。

(2) $\frac{K}{b}$ 一定, $\bar{K}_{r\text{峰}}$ 或 $\bar{K}_{r\text{谷}}$ 对 C_p 的变化均呈波动状, 波动规律不一样。 $\bar{K}_{r\text{谷}}$ 受 $\frac{K}{b}$ 的影响与 C_p 有关, $C_p \geq 0.64$ 时, $\bar{K}_{r\text{谷}}$ 受 $\frac{K}{b}$ 影响显著。

(3) 结合图 2, 如 C_p 使 C_{r0} 较小, 则必然使 $\bar{K}_{r\text{谷}}$ 也较小, 同时 $\bar{K}_{r\text{谷}}$ 受 $\frac{K}{b}$ 的影响也小。换言之, 如使片体兴波小, 双体波系干扰必然小, $\frac{K}{b}$ 的选择也较自由。



(a)



(b)

图 3

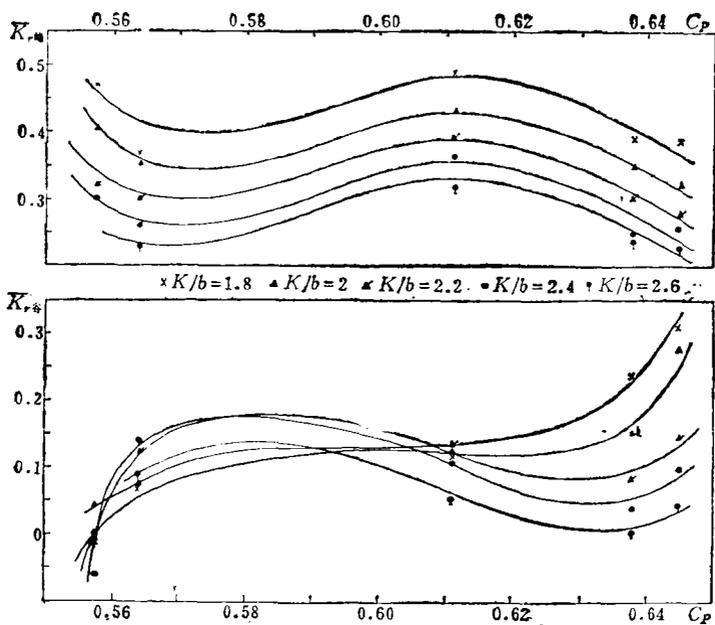


图 4

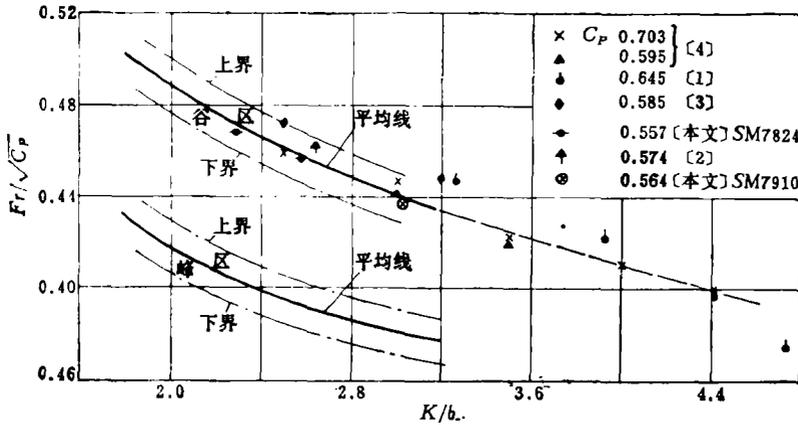


图 5

(五) 关于 $Fr/\sqrt{C_p}$ 的讨论

同一条双体船模，其 $C_p(\frac{K}{b}) \sim Fr$ 曲线的峰谷随 Fr 、 $\frac{K}{b}$ 的移动呈明显的规律^{[1][3][4]}。如把不同船模，同一 $\frac{K}{b}$ 的 $K_{r2} \sim Fr$ 曲线(其规律与对应的 $C_p(\frac{K}{b}) \sim Fr$ 曲线相同) 绘在一起，情况要复杂得多，见图 6。可看到它们的峰谷大小和位置明显不同，这些曲线的“相位”不仅与 Fr 、 $\frac{K}{b}$ 且与船型有关。

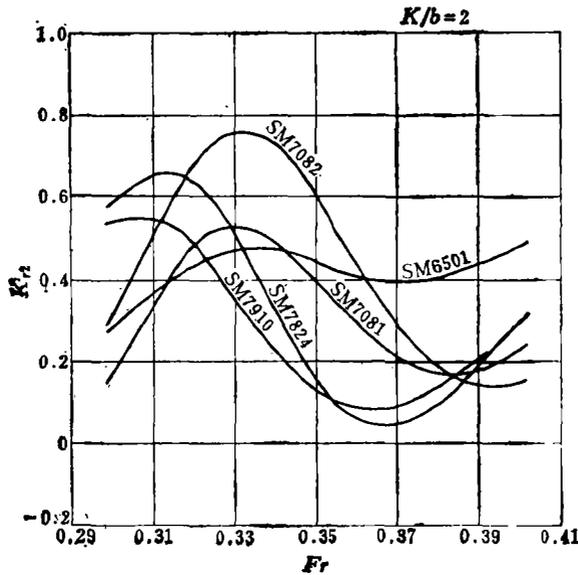


图 6

就某一艘双体船来说，其 $C_p(\frac{K}{b})$ 曲线的峰谷是首尾横波干扰及两片体内侧散波干扰能量叠加的结果。而这两种干扰中能量大的干扰发生的位置对 $C_p(\frac{K}{b})$ 的峰谷位置将起决定性影响。

干扰项能量的大小与该时两个干扰波系的大小及其相位差有关。Froude 数从 0.28 增大到 0.38 过程中，首尾横波不断增大。按②理论：它们的干扰 $Fr \approx 0.28$ 出现一个峰； $Fr \approx 0.35$ 出现一个谷。Froude 数从 0.28 到 0.35 首尾横波相位相应从 0° 变到 180° 。而双体船的阻力理论及实验都已证明 $Fr = 0.3 \sim 0.38$ 正是可能产生有利兴波干扰（包括负干扰）的速度区域。这就说明，出现有利双体干扰是以首尾横波处于有利干扰状态为前提的。绝大多数双体负干扰的谷点位于 Froude 数为 0.35 左右这一事实也进一步说明 $C_r \left(\frac{K}{b} \right)$ 的波动幅值及相位主要由首尾横波干扰所决定。

再看 ΔC_r ，两片体内侧首横波及尾横波首先将左右分别叠加，这种叠加不改变其兴波长度。叠加后的首尾横波将再次发生干扰。因波能与波幅平方成正比，设想分别以一个能量相当的简单波代替首尾横波系，则可推想到这种“再次干扰”的结果与 $\frac{K}{b} = \infty$ 的情况相比，将多出一横波干扰项。这项能量也总是正的，但数值有极大极小（也是波动的）。其极大极小位置依次与“再次干扰”叠加及相消相对应。也就是说这项的相位与 $C_r \left(\frac{K}{b} \right)$ 的相近。 ΔC_r 中另一部分是内侧散波系之间干扰，其能量与 $C_r \left(\frac{K}{b} \right)$ 相比要小很多，假定它的波动比较小。综上分析，可以认为 \bar{K}_r 的相位基本上取决于首尾横波干扰的相位。

上面已指出参数 $Fr/\sqrt{C_p}$ 表征首尾横波干扰程度。此外有理由认为同一艘船、给定 Fr 值时，片体内侧散波干扰受 $\frac{K}{b}$ 影响。这样就可以在同一 $\frac{K}{b}$ 值下，用同一 $Fr/\sqrt{C_p}$ 横坐标去整理不同船型的 \bar{K}_r 曲线。图 3 与图 6 的比较显示了这种方法的效果。

把同一 $\frac{K}{b}$ 的五条船模（表 1 中序号 1~5 号）的 \bar{K}_r 曲线之峰谷横坐标各自取平均值后，得到了联系 Fr 、 C_p 、 $\frac{K}{b}$ 的峰谷图，见图 5。图中标出了取自其它文献的负干扰位置。图 7 统计了负干扰区宽度 ΔFr 对 $\frac{K}{b}$ 的变化。 ΔFr 为横轴 Fr 截取 \bar{K}_r 曲线或 K_{r2} 曲线两交点间距离，用来表示负干扰的程度。

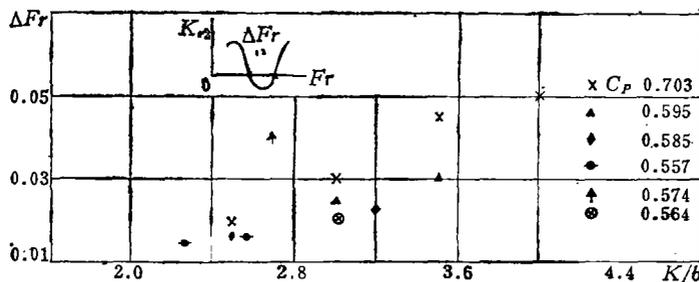


图 7 负干扰区宽度

从图 5、图 7 可得到以下几点结论：

- (1) $Fr/\sqrt{C_p}$ 、 $\frac{K}{b}$ 合理配合可取得双体船兴波的有利干扰。 C_p 也影响内侧散波

干扰。

(2) 以往文献中各种船型出现负干扰区的差异, 在峰谷图上是基本一致的。

(3) 负干扰区宽度 ΔFr 与 C_p 、 $\frac{K}{b}$ 有关。主要取决于 $\frac{K}{b}$, $\frac{K}{b}$ 越大, ΔFr 也越大, $\frac{K}{b}$ 小于某值则不可能再出现负干扰。

(4) 常用范围 $\frac{K}{b} = 2 \sim 2.6$ 有可能出现负干扰, 但 ΔFr 较小不易找到。

(六) C_p 的选择

这里给出选择三个因素 $Fr/\sqrt{C_p}$ 、 C_p 、 $\frac{K}{b}$ 的组合使 $C_r\left(\frac{K}{b}\right)$ 较小的公式, 推荐公式时考虑了文献〔5〕、〔6〕的经验。用本公式确定的 C_p 值可减少设计中由于航速预报不准或片体船型已定但由于结构、布置等原因 $\frac{K}{b}$ 要稍有调整时阻力性能上可能的增大。

$$Fr/\sqrt{C_p} = 0.45 - \left(\frac{K}{b} - 2\right) \times 0.03 + (Fr - 0.34) \times 0.65 \quad (1)$$

式中 $0.34 \leq Fr \leq 0.38$, $2 \leq \frac{K}{b} \leq 2.6$ 。由设计 Froude 数、 $\frac{K}{b}$ 确定 $Fr/\sqrt{C_p}$, 再根据 Fr 、 $Fr/\sqrt{C_p}$ 确定 C_p , C_p 的上限为 0.64。(1) 式所得 $Fr/\sqrt{C_p}$ 区域在图 5 上为邻近其谷区下界线, 接近双体干扰谷区, 这样使 \bar{K} 小的同时也能使 C_{r0} 较小。

(七) 小 结

(1) 本文虽然资料还不够多, 但就主要船型参数对双体船阻力影响规律基本上取得与以往文献一致的结论。

(2) 本文引进参数 $Fr/\sqrt{C_p}$, 比较同一 $\frac{K}{b}$ 值、不同船型的双体剩余阻力干扰系数 \bar{K} 的近似方法取得较满意的结果。找到了影响双体兴波干扰主要参数 $Fr/\sqrt{C_p}$ 、 $\frac{K}{b}$ 之间简单关系。证实以往文献关于双体有利干扰区(包括负干扰区)由于船型不同出现的差异, 在峰谷图的关系上基本统一起来。

(3) 明确了片体船型设计时使其横波处于有利干扰对减小 $C_r\left(\frac{K}{b}\right)$ 的重要性。给出了确定主要因数 $Fr/\sqrt{C_p}$ 、 C_p 、 $\frac{K}{b}$ 有利组合的公式。

符 号 说 明

L 、 b 、 d ——片体的设计水线长、宽、吃水;

K ——两片体纵中线间距;

C_{r0} 、 $C_r\left(\frac{K}{b}\right)$ ——片体、双体剩余阻力系数;

ΔC_a 、 ΔC_f 、 ΔC_w 、 ΔC_r ——片体相互影响附加的诱导阻力系数、摩擦阻力系数、兴波阻力系数、剩余阻力系数;

K_{r1} 、 K_{r2} ——剩余阻力干扰系数;

\bar{K}_r ——剩余阻力干扰分数;

R_f 、 R_w 、 R_r ——摩擦阻力、兴波阻力、剩余阻力。

参 考 文 献

- [1] 蒋懋昌, “双体船阻力的模型试验和理论计算”, 《中国造船》, 1965年第3期。
 [2] Everest, J. T., “Some Research on the Hydrodynamics of Catamarans and Multi-Hulled Vessels in Calm Water”, Trans. NECTES, Vol. 84, No.5, (1968).
 [3] 沈玉林、宋国华, “船型系数对双体船阻力的影响”, 《舰船科学技术》, 1984年8月。
 [4] 林宗熊, “双体船型及阻力特性”, 1981年阻力学组学术交流会议资料。
 [5] 宇野洋等, “双体船设计”, 《上海交大译丛》, 1981年1月。
 [6] 长航设计院, “双体船设计与计算”, 《船舶设计技术交流》, 1973年1月。
 [7] 中山大学船池试验报告, “500客位双体船阻力试验报告”, 1980年1月。
 [8] 中山大学船池试验报告, “双体交通船阻力试验报告”(I)~(IV), 1981~1985年。

STATISTICAL ANALYSIS OF EFFECTS OF HULL FORM ON RESISTANCE OF CATAMARAN

Zhang Surong and Huang Wulin

(Zhongshan University)

Abstract

Statistically analysing test data of five conventional catamaran models with design Froude-number of 0.28~0.40, this paper discusses effects of essential hull form parameters and separation-width ratio on residual resistance coefficient C_{r0} of single-hull and residual resistance interference fraction \bar{K}_r of catamaran, presents an approximate method for correcting interference fraction for "phase". On the basis of these, it detaches effects of the various factor concerned. Then, it gives a peak-valley graph with relation to essential factors F_r , K/b , C_F ; and statistical data of C_{r0} , \bar{K}_r , and finally proceeds to discuss the choice of essential factors such as C_F , etc.

The data provided in this paper can be used for preliminary design.

Hull forms discussed in this paper do not include those with $b/d > 3.1$, neither include forms with unsymmetric cross-section. The range under discussion will be limited to Froude-number of 0.3~0.4 and K/b of 2~2.6.

Key Words——Ship resistance, catamaran, statistic analysis for experimental data, analysis for characteristic parameter.