

排水量长度系数和片体间距比 对高速双体船阻力的影响

汪 诚 仪

(中国船舶及海洋工程设计研究院)

内 容 提 要

本文通过不同排水量长度系数 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 和片体间距比 $\frac{k}{b}$ 的高速双体船模型阻力试验发现:对于给定 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 和 $\frac{K}{b}$ 的高速双体船,当 Fn 超过某一值时,其阻力将小于两个单独片体的阻力之和。这一 Fn 就是高速双体船片体间波系有利干扰的起始点 F_{no} 。 F_{no} 主要依赖于 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 和 $\frac{k}{b}$ 。

本文根据试验结果,叙述 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 及 $\frac{K}{b}$ 对片体间波系干扰和高速双体船阻力的影响,推荐 F_{no} 计算式。

一、前 言

高速双体船小系列阻力试验,以研究船型、间距比和排水量长度系数对其阻力性能的影响。第一阶段的工作主要研究船型、片体间距和 Fn 对双体船片体间波系干扰的影响。文献[1]已经较详细地介绍试验的情况和高速双体船的阻力特点,并且还根据对数据资料的分析 and 试验观察,阐述了高速双体船片体间波系有利干扰和不利干扰的原理,提出片体间波系干扰分析方法,并应用这一方法判别有利干扰和不利干扰。

本文所论述的重点是高速双体船试验的第二阶段工作,研究不同排水量长度系数 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 及片体间距比 $\frac{K}{b}$ 对片体间波系干扰和对高速双体船阻力的影响。上述两阶段试验结果和分析将有助于高速双体船设计者选择船型、排水量长度系数、间距比和 Fn 。

二、高速双体船的有利干扰和不利干扰

常规单体船波系的干扰仅发生于首横波和尾横波之间。船首横波传到船尾时与船尾横波相混合,如首、尾横波的相位相同,波形趋于重合,则阻力增加,称不利干扰。反之,首、尾横波的相位相反,则阻力减少,称有利干扰。其实,高速船有利干扰和不利干扰的更简单

的判断是看船尾处于首横波的波峰还是波谷,处于波峰为有利干扰,处于波谷为不利干扰,这是因为高速船的船尾可以认为处于尾横波的波谷中[2]。

双体船的波系干扰除了上述常规单体船首、尾横波间干扰的特征外,两片体间各自产生的横波也会相互发生干扰,这是双体船与单体船的阻力特征的主要区别之一。由于两片体的横波相位相同,在一定的片体间距内,一个片体的船尾不仅处在本片体产生的首横波中,同时还处于另一片体的首横波中,这种情况即为片体间波系干扰。高速双体船片体间有利干扰或不利干扰的发生,与片体本身首、尾横波干扰的情况基本趋于一致,并且较之激烈。片体间波系干扰的结果加深了阻力曲线的凹凸性。

三、不同排水量长度系数的高速双体船模型试验

按照Froude方法,单体船的阻力划分为 R_f 和 R_r ,则双体船的阻力为

$$R = R_f + R_r + \Delta R_r \quad (1)$$

式中

R_f ——两个片体的摩擦阻力

R_r ——两个片体的剩余阻力,也等于 $K/b = \infty$ 时双体船的剩余阻力

$\Delta R_r = R_r^{K/b} - R_r$ —— R_r ,是片体间波系干扰引起的剩余阻力增值

$R_r^{K/b}$ ——间距比为 K/b 时双体船的剩余阻力

$$\Delta R_r = \frac{\Delta C_r}{C_r} \cdot R_r \quad (2)$$

式中 $\frac{\Delta C_r}{C_r}$ ——双体船片体间干扰系数

双体船阻力的基础是片体阻力,这样,影响片体阻力的主要参数也成为影响双体船阻力的主要因素。

本文所研究的高速双体船为第一阶段试验中的圆艏高速双体船,片体横剖面见图1,主要参数列于表1,与美国64系列[3]比较,表明片体船型是高速排水量船型。据参考文献记载,影响

这种船型阻力的最重要因素有:De.Groote认为 $\frac{L}{\Delta^{1/3}}$ 是对剩余阻力最有影响的因素[4],

根据参考文献[4]的数据可换算得到剩余阻力系数 C_r 与 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 的关系(如图2)。从图2可

看到 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 对 C_r 的显著影响。Nordstrom认为除 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 外,还不能归纳出其它船型参

数对阻力的影响[5]。参考文献[2、6]也有与此相同的评述。因此,本次试验以 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 作为影

响高速双体船阻力的主要参数,试验的目的是确定 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 对高速双体船片体间波系干扰的

影响和对阻力的影响。

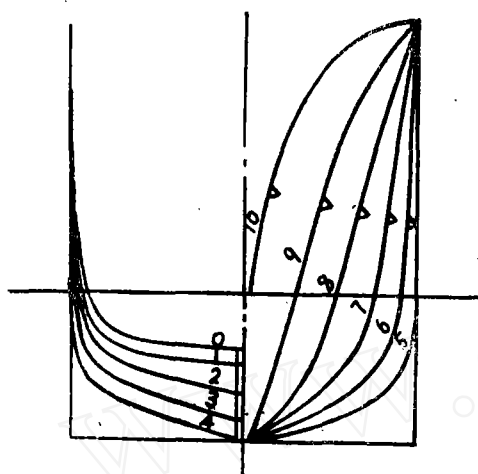


图1 圆舳高速双体船的横剖面图

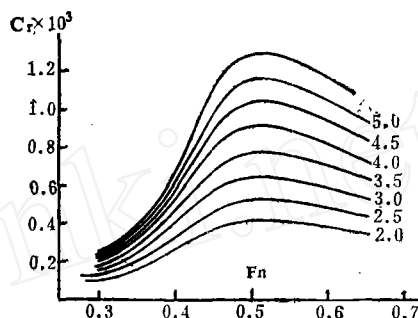


图2 高速排水量船的 C_r 与 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 的关系

表1 圆舳高速双体船的主要参数与64系列比较

		L/B	B/T	C_p	$\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$	F_n
高速双体船	超 载	10.53	2.036	0.657	2.396	1.1
	设计排水量	10.53	2.375	0.629	1.896	1.1
	轻 载	10.53	2.664	0.606	1.585	1.1
美 国 64 系 列		8.45~18.26	2~4	0.63	0.529~1.93	0.1~1.5

然而, 本试验仅以改变吃水的方法来改变 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$, 但幸好 B/T 对圆舳快艇的剩余阻力影响不大。64系列的试验结果, 得不出 B/T 影响阻力的规律。当 $C_B = 0.45$ 时, B/T 对 C_r 几乎无影响; 当 C_B 为 0.35 和 0.55 时, B/T 对阻力的影响不规则[3]。

本试验船模为第一阶段试验用过的圆舳双体船模。在船模排水量分别为 38.33 千克、30.33 千克和 25.33 千克三种状态下, 分别进行 K/b 为 6 和 2 的阻力试验。船模阻力曲线见图 3,

剩余阻力系数 C_r 曲线见图 4, 干扰系数 $\frac{\Delta C_r}{C_r}$ 见图 5。参考文献[1]已经证明, 该船模在片体间距

比 $K/b \geq 6$ 时, 片体间波系无干扰作用, $K/b = 6$ 时的阻力等于 $K/b = \infty$ 时的阻力, 与 $K/b = 6$ 时阻力曲线相比较, 可以看出 $K/b = 2$ 时片体间波系干扰的情况。比较同一 K/b 的阻力曲线,

可看到 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 对高速双体船阻力的影响。

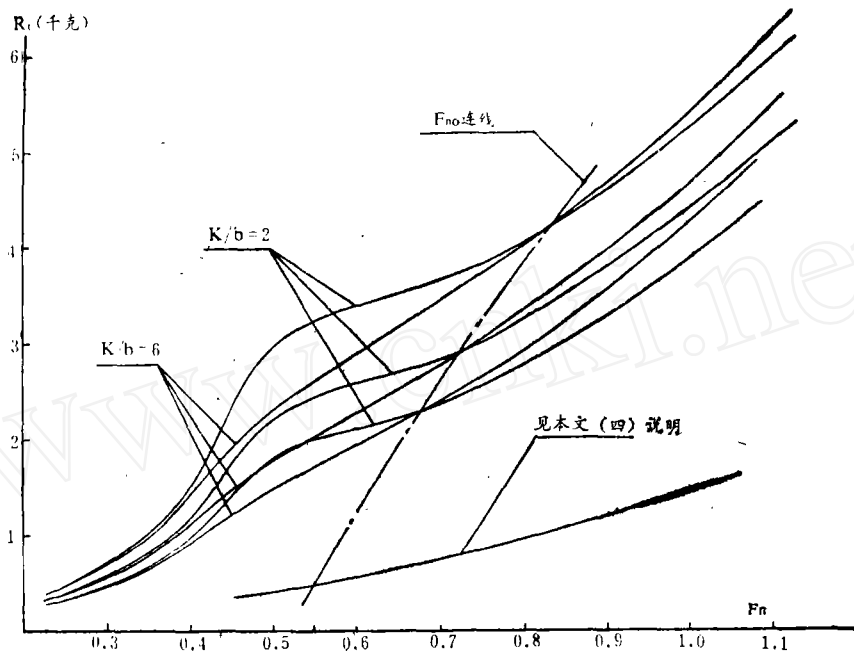


图3 圆艏高速双体船模型试验阻力曲线

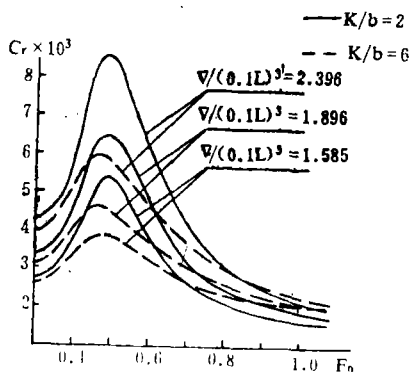


图4 圆艏高速双体船的剩余阻力系数 C_r 曲线

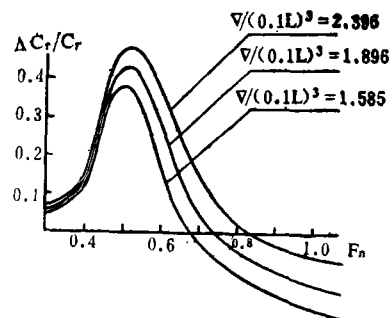


图5 圆艏高速双体船的干扰系数 $\frac{\Delta C_r}{C_r}$ 曲线

从图3可看到 $Fn=0.5$ 附近为阻力峰区， $\frac{V}{(0.1L)^3}$ 越大，阻力峰越大。其原因不仅如前述： $\frac{V}{(0.1L)^3}$ 是影响片体剩余阻力最重要的因素， $\frac{V}{(0.1L)^3}$ 越大，片体身的剩余阻力增加（图4），而且 $\frac{V}{(0.1L)^3}$ 增加也使阻力峰区的干扰系数 $\frac{\Delta C_r}{C_r}$ 显著加大（图5），所以阻力峰随 $\frac{V}{(0.1L)^3}$ 增加而显著加大。上述情况也表明，以 $\frac{V}{(0.1L)^3}$ 作为高速双体船片体的主要参数是恰当的。

在 K/b 不同, $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 相同的情况下, 虽然片体剩余阻力 R_r 相同, 但 K/b 越小, 片体间干扰系数 $\frac{\Delta C_r}{C_r}$ 越大[1], ΔR_r 增大, 所以阻力峰越陡(图3)。

当 F_n 大于0.5, 越过阻力峰以后, 片体首横波第一谷将随 F_n 的增加而离艇尾越来越远, 首、尾横波的不利干扰减小, 片体间波系干扰减弱。当速度再增加时, 片体间波系干扰逐渐向有利干扰过渡。

在有利干扰阶段, 一方面 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 增加使有利干扰加强, 另一方面因棱形系数增加, 片体间流动阻塞使阻力增加[1]。这两种因素的综合结果, 使得高速双体船在有利干扰阶段 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 越大, $\frac{\Delta C_r}{C_r}$ 越小(图5)。

四、有利干扰的起始点 F_{n0}

船模试验表明, 高速双体船不论 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 和 K/b 为多少, 当 F_n 大于0.5以后, 不利干扰都会逐渐向有利干扰过渡。用首、尾横波干扰的观点来解释: 当首横波上半波形在船长范围内, 为不利干扰(图6-a); 当上半波形超越船长时为有利干扰(图6-c); 当上半波形的末点位于船尾时(图6-b), 片体首、尾横波的干扰效果为零, 同时片体间波系干扰效果亦为零。相同 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 的 $K/b=2$ 和 $K/b=\infty$ 的两条阻力曲线的交点就属于干扰效果为零的情况, 这一交点的 F_n 称为有利干扰起始点或无效干扰 F_{n0} 。当 $F_n=F_{n0}$ 时, $K/b=2$ 和 $K/b=6$ 的阻力是相同的。 $F_n>F_{n0}$ 时, $K/b=2$ 的阻力小于 $K/b=6$ 的阻力, 进入有利干扰阶段。

低速船首、尾横波的干扰作用, 可用P理论来确定。但当 $F_n \geq 0.5$ 时, 由于高速船首波系横波的第一个波峰后移, 另一方面第一波峰也随 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 增大而前移, 所以P理论再不适用, F_{n0} 也无法用P理论来确定。

阻力试验可以确定片体间无效干扰 F_{n0} 。从船模阻力试验曲线来看, $K/b=2$ 的三种不同 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 状态的 F_{n0} 点在图3中近似一条直线, $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 越小, F_{n0} 发生得越早, 具有较强的规律性。这一规律性并不是指图3所示 F_{n0} 连线上阻力与 F_n 成相近的线性关系这一形式现象, 而是揭示了 F_{n0} 与 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 有关这一实验规律。

寻求 F_{n0} 对于 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 的依赖关系, 使片体间波系干扰进入有利干扰区, 对于高速双体

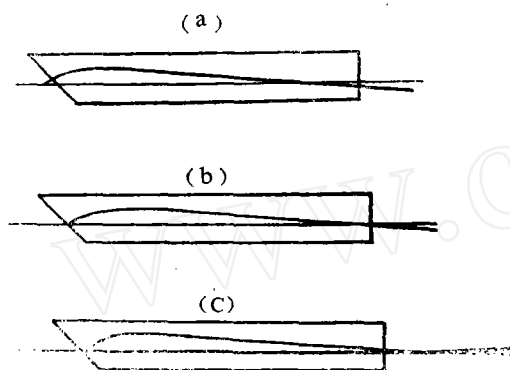


图 6

a—不利干扰时的首横波
b—无效干扰时的首横波
c—有利干扰时的首横波

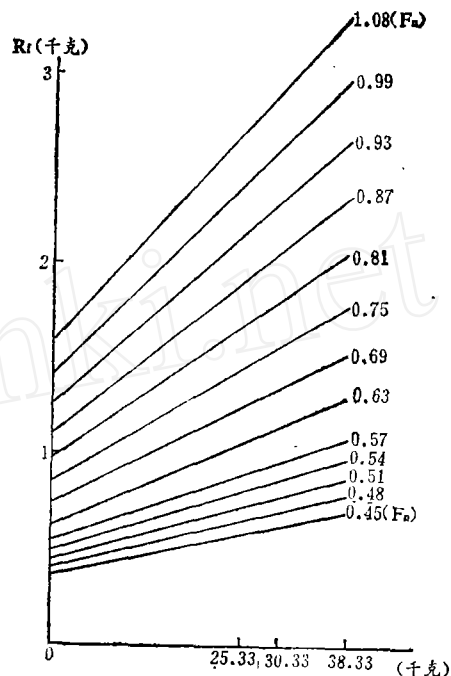


图7 各种排水量状态时的船模摩擦阻力 R_f

船的设计、选择合适的排水量和 F_n 具有很大的实用价值。

从图3表明,当 ∇ 减少时, F_{no} 也减小,因此,当 ∇ 趋近于零时, F_{on} 必趋近于一个极限。 $\lim_{\nabla \rightarrow 0} F_{no}$ 的求法如下:按三种试验状态的湿面积和摩擦阻力的变化规律,求 ∇ 趋近于零时的 $\nabla \rightarrow 0$

湿面积和摩擦阻力。图7根据三种不同的 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 状态下的船模摩擦阻力外插到 ∇ 趋近于零时的船模摩擦阻力。因 ∇ 趋近于零,兴波阻力趋近于零,船模摩擦阻力即为总阻力。将该阻力值绘在图3上,这一曲线与 F_{no} 连线的延伸线相交于一点。这一点的 $F_{no} = 0.55$ 即为 ∇ 趋近于零时的 F_{no} 。至此可得到四个无效干扰点 F_{no} 及与其对应的四个 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$, 如表2所示。

表2 无效干扰点 F_{no} 及其 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$

F_{no}	0.55	0.675	0.727	0.835
$\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$	0	1.583	1.895	2.396
$\left[\frac{\nabla}{(0.1L)^3}\right]^2$	0	2.506	3.593	5.739

在以 F_{no} 为纵坐标、 $\left[\frac{\nabla}{(0.1L)^3}\right]^2$ 为横坐标的直角坐标系中(图3),这四个无效干扰点

F_{no} 与 $\left[\frac{\nabla}{(0.1L)^3}\right]^2$ 呈如下关系式:

$$F_{no} = 0.55 + 0.05 \left[\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \right]^2 \quad (3)$$

根据式(3)可计算得到 $K/b=2$ 时某一 $\left[\frac{\nabla}{(0.1L)^3}\right]^2$ 的 F_{no} 。

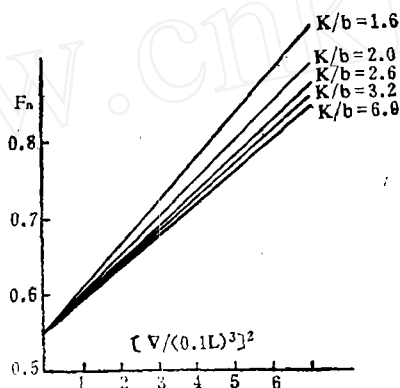


图3 F_{no} 随 $\left[\frac{\nabla}{(0.1L)^3}\right]^2$ 和 K/b 的变化

对于其它片体形状的高速双体船, 无效干扰点 F_{no} 的连线的斜率可能不为0.05, 但截距0.55是不变的, 如果船模试验仅测得某一 K/b 和 $\frac{\nabla_1}{(0.1L)^3}$ 时的 $F_{no}^{\nabla_1}$, 则该 K/b 时, 不同

$\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 的 F_{no} 计算式为

$$F_{no} = 0.55 + \frac{F_{no}^{\nabla_1} - 0.55}{\left[\frac{\nabla_1}{(0.1L)^3}\right]^2} \left[\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \right]^2 \quad (4)$$

值得提及的是, 本文只是根据三个实用吃水时的摩擦阻力的变化规律外插, 求得 ∇ 趋近于零时的阻力曲线和 ∇ 趋近于零时的 F_{no} , 然后导出式(3)。这三个实用吃水都是远离横剖面艤部圆弧之上, 而实际上, 当吃水在艤部圆弧处的船模摩擦阻力并不按上述关系变化, 并且 ∇ 趋近于零时的阻力为零, 因此式(3)适用于实用吃水范围, 而对于非实用的相浅吃水并不适用。

五、间距比 K/b 对 F_{no} 的影响

上面所列 F_{no} 计算式是 $K/b=2$ 的情况。在同一 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 情况下, 不同 K/b 时的 F_{no} 是不同的。参考文献[1]中所述的试验结果表明, K/b 越小, F_{no} 越大, 有利干扰来得越迟。 K/b

变小使首横波第一个波峰前移,使 F_{no} 变大。这与 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 增大的结果相同。因此说, K/b 小相当于 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 增大。

参考文献 [1] 由船模试验得到同一 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$,不同 K/b 的船模的 F_{no} (图9)。根据式(3)可分别求得与上述各 K/b 的 F_{no} 相对应的 $\frac{\nabla_r}{(0.1L)^3}$ (见表3), $\frac{\nabla_r}{(0.1L)^3}$ 不等于实际 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$,称为相当排水量长度系数。这是因为式(3)仅适用于 $K/b=2$,当 $K/b \neq 2$,实际排水量长度系数为 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 的双体船使用式(3)时,应当用 $\frac{\nabla_r}{(0.1L)^3}$ 代入。本圆舳双体船不同 K/b 的相当排水量长度系数 $\frac{\nabla_r}{(0.1L)^3}$ 可用下式求得:

$$\frac{\nabla_r}{(0.1L)^3} = \frac{0.288}{(K/b - 0.629)^{7/4}} + 1.73 \quad (5)$$

式中 0.629——片体的棱形系数值

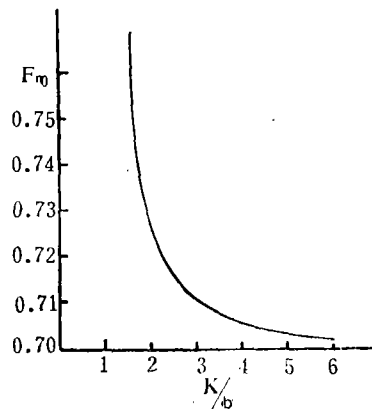


图9 由试验得到的本圆舳双体船各 K/b 时的 F_{no}

表3 不同 K/b 时的 F_{no} 和 $\frac{\nabla_r}{(0.1L)^3}$

K/b	1.6	2.0	2.6	3.2	6.0
F_{no}	0.757	0.728	0.715	0.709	0.702
$\frac{\nabla_r}{(0.1L)^3}$	2.033	1.896	1.818	1.785	1.744

在图 8 中, 当 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 趋近于零时, F_{no} 应当有相同值, 所以不同 K/b 时 F_{no} 随 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 变化的直线都应通过点 $(0, 0.55)$ 。

对于 $K/b=2$, 排水量长度系数为 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 的高速双体船, 在任意 K/b 时的相当排水量长度系数为

$$\frac{\nabla_r}{(0.1L)^3} = \frac{\frac{0.166}{(k/b-0.629)^{7/4}} + 1}{\frac{0.166}{(2-0.629)^{7/4}} + 1} \frac{\nabla}{(0.1L)^3} \quad (6)$$

$$\text{所以 } F_{no} = 0.55 + 0.05 \left[\frac{\frac{0.166}{(k/b-0.629)^{7/4}} + 1}{\frac{0.166}{(2-0.629)^{7/4}} + 1} \right]^2 \left(\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \right)^2 \quad (7)$$

$$\text{由式 (1) 可得: } F_{no} \Big|_{(k/b=1.6)} = 0.55 + 0.057 \left(\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \right)^2$$

$$F_{no} \Big|_{(k/b=2)} = 0.55 + 0.05 \left(\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \right)^2$$

$$F_{no} \Big|_{(k/b=2.6)} = 0.55 + 0.046 \left(\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \right)^2$$

$$F_{no} \Big|_{(k/b=3.2)} = 0.55 + 0.044 \left(\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \right)^2$$

$$F_{no} \Big|_{(k/b=6)} = 0.55 + 0.042 \left(\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \right)^2$$

对于任意 k/b

$$F_{no} \Big|_{(k/b)} = 0.55 + 0.042 \left(\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \left(\frac{0.166}{(k/b-\varphi)^{7/4}} + 1 \right) \right)^2 \quad (8)$$

当 $K/b=6$ 时, 片体间波系已不干扰, 双体船阻力等于两个片体阻力之和, 阻力曲线与 $K/b=\infty$ 时的阻力曲线相重合, 因此 $K/b=6$ 时的 F_{no} 并非说明实际存在一个有利干扰起始点, 而是指 $\lim_{K/b \rightarrow \infty} F_{no}$ 。

笔者有根据说明大部分高速双体船的 F_n 都大于按式 (8) 得到的 F_{no} (表 4), 航速选择在有利干扰区域内表明 F_{no} 计算式的可用性。

表4 一些高速双体船的Fn与Fno

来源	参考文献[7]		参考文献[8]				收集	
船名	MXA1700	AZ100	Shuman	Double Eagle	Double Eagle II	H& speed Twin	甬兴	IETCAT
$\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$	3.47	2.83	2.912	2.350	2.421	2.035	1.25	1.77
F _{no}	1.114	0.928	0.936	0.805	0.820	0.743	0.632	0.704
F _n	1.272	1.088	0.930	0.820	0.912	0.775	0.918	0.941

说明：由于高速双体船的主要参数指标很难收集，船例不多，如读者手中有资料或试验数据，可自行计算Fno作进一步校核。

六、应用举例

已知：排水量长度系数 $\frac{\nabla_1}{(0.1L)^3}$ 、间距比 $(k/b)_1$ 、棱形系数 φ 的高速双体船的有利干扰起

始点为

$$F_{no}^{\nabla_1} \Big|_{(k/b)_1}$$

$$\text{求：} \frac{\nabla_2}{(0.1L)^3} \text{ 和 } (k/b)_2 \text{ 时的 } F_{no}^{\nabla_2} \Big|_{(k/b)_2}$$

$$\text{解：(1) 先考虑 } \frac{\nabla_2}{(0.1L)^3} \text{ 和 } (k/b)_1 \text{ 的 } F_{no}^{\nabla_2} \Big|_{(k/b)_1},$$

在 $F_{no} \sim \left[\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \right]^2$ 直角坐标系中：

由 $(0, 0.55)$ ， $\left(F_{no}^{\nabla_1} \Big|_{(k/b)_1}, \left[\frac{\nabla_1}{(0.1L)^3} \right]^2 \right)$ 两点连线可得间距比为 $(K/b)_1$ 的高速双体

船的Fno对 $\left[\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \right]^2$ 的斜率为

$$\frac{F_{no}^{\nabla_1} \Big|_{(k/b)_1} - 0.55}{\left[\frac{\nabla_1}{(0.1L)^3} \right]^2}$$

所以，当 $\frac{\nabla_2}{(0.1L)^3}$ 和 $(k/b)_1$ 时

$$F_{no}^{\nabla_2} \Big|_{(k/b)_1} = 0.55 + \frac{F_{no}^{\nabla_1} \Big|_{(k/b)_1} - 0.55}{\left[\frac{\nabla_1}{(0.1L)^3} \right]^2} \left[\frac{\nabla_2}{(0.1L)^3} \right]^2$$

$$(2) \text{再考虑 } \frac{\nabla_2}{(0.1L)^3} \text{ 和 } (k/b)_2 \text{ 时的 } F_{no}^{\nabla_2} \Big|_{(k/b)_2}$$

$$F_{no}^{\nabla_2} \Big|_{(k/b)_2} = 0.55 + \frac{F_{no}^{\nabla_1} \Big|_{(k/b)_1} - 0.55}{\left(\frac{\nabla_1}{(0.1L)^3} \right)^2} \left[\frac{\frac{\nabla_2}{(0.1L)^3} \frac{0.166}{((k/b)_2 - \varphi)^{7/4} + 1} + 1}{\frac{0.166}{((k/b)_1 - \varphi)^{7/4} + 1} + 1} \right]^2$$

七、结 论

1. 由船模试验阻力曲线可知: $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 增加或 k/b 减少使高速双体船片体间波系干扰加剧。

2. 高速双体船在 Fn 大于 0.5 以后, 不利于干扰向有利干扰过渡, 有利于干扰起始点为 F_{no} 。高速双体船航速的选择, 以 $Fn \geq F_{no}$ 为宜。

3. F_{no} 取决于 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 和 k/b , $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 增加或 k/b 减少使 F_{no} 增大。

4. 对于排水量长度系数为 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 、间距比为 k/b 、棱形系数为 φ 的高速双体船:

$$F_{no} = 0.55 + 0.042 \left[\frac{\nabla}{(0.1L)^3} \left(\frac{0.166}{(k/b - \varphi)^{7/4} + 1} + 1 \right) \right]^2$$

5. 若船模试验得到排水量长度系数 $\frac{\nabla}{(0.1L)^3}$ 、间距比 $(k/b)_1$ 、棱形系数 φ 的高速双体船的有利干扰起始点为 $F_{no}^{\nabla_1} \Big|_{(k/b)_1}$, 则当 $\frac{\nabla_2}{(0.1L)^3}$ 和 $(k/b)_2$ 时有利干扰起始点为

$$F_{no}^{\nabla_2} \Big|_{(k/b)_2} = 0.55 + \frac{F_{no}^{\nabla_1} \Big|_{(k/b)_1} - 0.55}{\left(\frac{\nabla_1}{(0.1L)^3} \right)^2} \left[\frac{\frac{\nabla_2}{(0.1L)^3} \frac{0.166}{((k/b)_2 - \varphi)^{7/4} + 1} + 1}{\frac{0.166}{((k/b)_1 - \varphi)^{7/4} + 1} + 1} \right]^2$$

参 考 文 献

- [1] 汪诚仪: “高速双体船模型阻力试验及片体间波系干扰分析方法的应用”, 《中国造船》1989年第3期
- [2] 金平仲、苏拔英: “圆舳快艇主尺度和系数对静水阻力的影响”, 《中国造船》1980年第3期
- [3] Hugh Y. H. Yeh, “Series 64 Resistance Experiment on High Speed Displacement Form”, 《Marine Technology》, July (1965)
- [4] De. Groote, “Resistance and propulsion of motorboats”, I.S.P Vol. 2,

No.6 (1955)

- [5] H.F.Nordström, "some tests with models of small vessels" ,Swedish Tank Publication, No.19 (1951)
- [6] 秦士元: "高速排水型艇的阻力和有效功率的一种估算方法", 《船舶工程》, 1979年, 第2期
- [7] 《Jane's High-speed Marine Craft and Air Cushion Vehicles》,nineteenth Edition, 1986
- [8] E. D. Fry & T. Graul: "Desigh and Application of Modern High-speed Catamarans" ,《Marine Technology》, Vol.9, No.3, July.1972