

# 船型系数对双体船阻力的影响

沈玉林 宋国华

## 一、前言

从国内外发表的资料来看,付氏数 $F_r > 0.3$ 的低速双体船居多,有许多船模阻力试验资料和阻力估算方法供双体船设计之用,并证明在某一相对速度下,如果片体线型和片体间距比选取得合理,可能出现负的波浪干扰阻力,阻力性能优于相同排水量的单体船。近期,付氏数 $F_r > 0.5$ 的高速双体船正在兴起。而对付氏数 $F_r = 0.3 \sim 0.5$ 的双体船研究较少。在剩余阻力主峰( $F_r = 0.5$ )之前上坡段的速度范围内,双体船的片体干扰对阻力影响最明显,人们对其片体间距比、船型系数与干扰阻力之间的关系尤为关注,亦是设计这类双体船时首先碰到的问题。本文通过一组船模试验,探讨 $F_r = 0.3 \sim 0.5$

双体船的阻力性能,给出计算图谱,供设计这类速度双体船参考。

## 二、试验船模

1. 二个母型船模的主尺度要素和横剖面线型,见表1和图1。

2. 试验范围

付氏数 $F_r = 0.3 \sim 0.5$

片体间距比 $k/b = 1.4 \sim 3.2$

3. 试验内容

(1) 改变Ⅱ号船模棱形系数 $C_p$ (取 $C_p = 0.585, 0.603, 0.617$ ),探讨它对双体船干扰阻力的影响;

(2) 改变Ⅰ号船模排水量,探讨它对双体船干扰阻力的影响;

表 1

船 模 编 号	I	II
设计水线长L(米)	2.6	2.6
片体宽b(米)	0.2	0.205
设计吃水T(米)	0.135	0.135
片体排水体积 $\nabla$ (米 <sup>3</sup> )	0.0324	0.0351
L/b	13	12.68
b/T	1.48	1.52
$C_b$	0.461	0.487
$C_p$	0.611	0.585
$C_{WL}$	0.737	0.701
L.C.b	-1.68%L	-1.37%L
尾板浸深面积 $A_0$ (米 <sup>2</sup> )	0.28	0.032

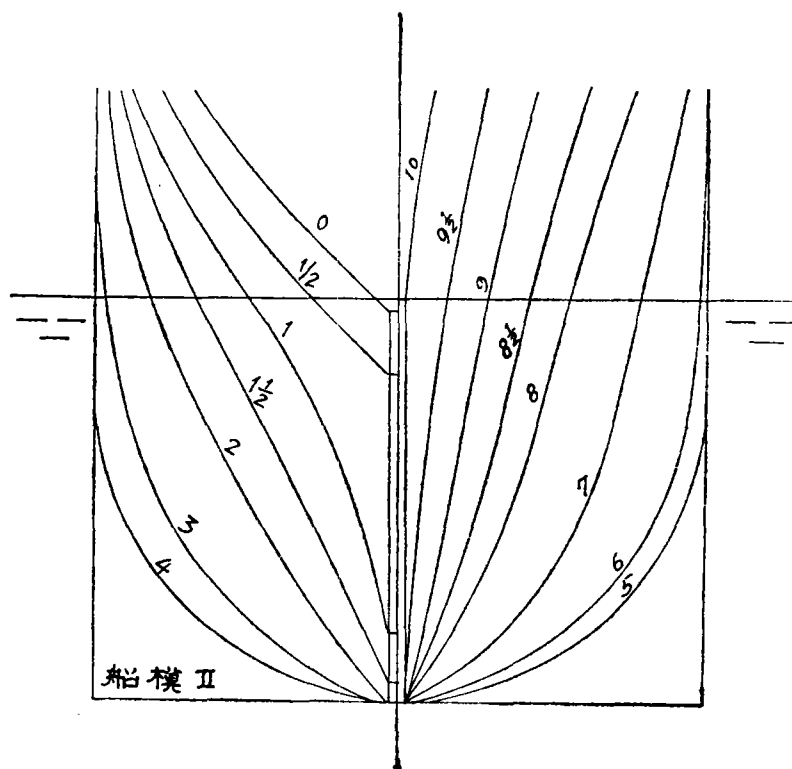
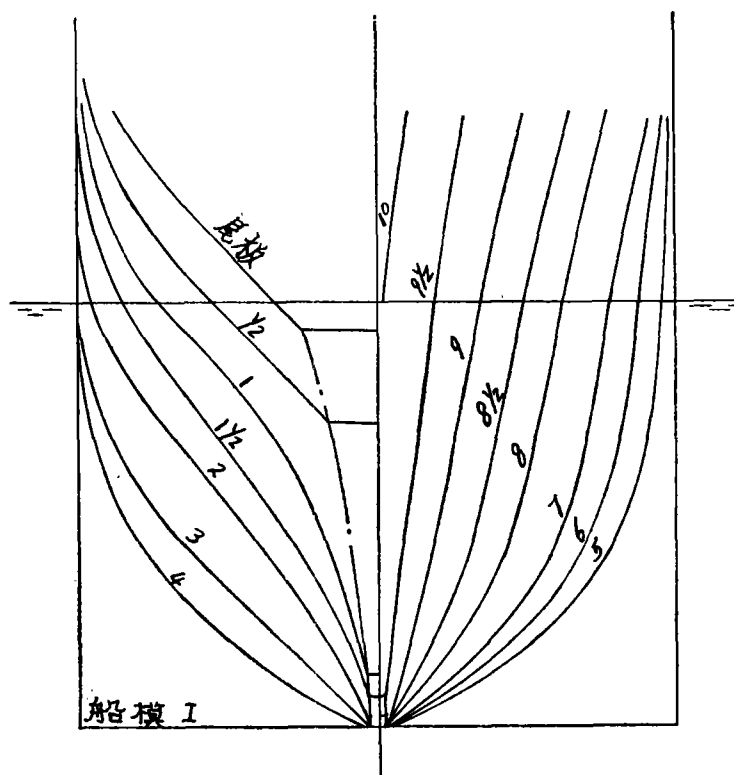


图 1

(3) 改变Ⅱ号船模尾板浸深面积  $A_0$ , 探讨它对双体船干扰阻力的影响;

(4) 球首对双体船阻力的影响。

### 三、双体船的波系特性

双体船的波系很复杂。图2为船模Ⅱ在  $V = 18$  节 ( $F_r = 0.41$ ) 及  $k/b = 2$  时的波型实况。片体间的波峰驻点分布在双体船的纵中剖面上, 依次为波峰驻点  $S$ 、反射波峰驻点  $R$  和尾波峰驻点  $W$ 。它们的位置随付氏数和片体间距的加大而向船尾移, 其中反射波峰驻点个数将随速度降低和间距减小而变多。

将双体船波系分解。由图3(a)可见, 双体船外侧为一般单体船的波形; 内侧是片体本身波系和反射波系的组合, 包括两个片体首横波叠加(波1)、两个片体尾横波叠加(波2)、首尾横波在船尾附近叠加(造成横波干扰)、两个片体首散波相遇并碰到片体后形成首反射波(波5)、首反射波在片体间继续

相遇和反射并与横波叠加(造成反射波干扰)以及两个片体尾散波相遇。前三者仍然具有单体船波形特点, 只是波1和波2的峰谷值大于片体外侧的横波。它们组合的结果, 使片体间的波呈“金字塔型”。笔者认为, 在  $F_r = 0.3 \sim 0.5$  范围, 反射波干扰起着很重要作用。

这样, 双体船干扰是下述二个干扰的再次叠加: 一是片体本身的横波干扰, 如果首横波波谷与尾横波波谷在船尾相叠加, 为横波不利干扰, 如果首横波波峰与尾横波波谷在船尾相叠加, 为横波有利干扰。不论船型系数如何, 片体本身的首尾横波干扰只与付氏数有关; 二是片体间的反射波干扰, 如果反射波波峰处于首横波波峰位置, 为反射波不利干扰, 如果反射波波峰处于首横波波谷位置, 为反射波有利干扰。反射波干扰与付氏数, 棱形系数和片体间距比有关。显然, 当这二种干扰在船尾再次叠加, 导致总的波面上升, 则为双体船不利干扰, 反映在双体船干扰阻力曲线为“峰”, 反之, 导致总的波面下降,

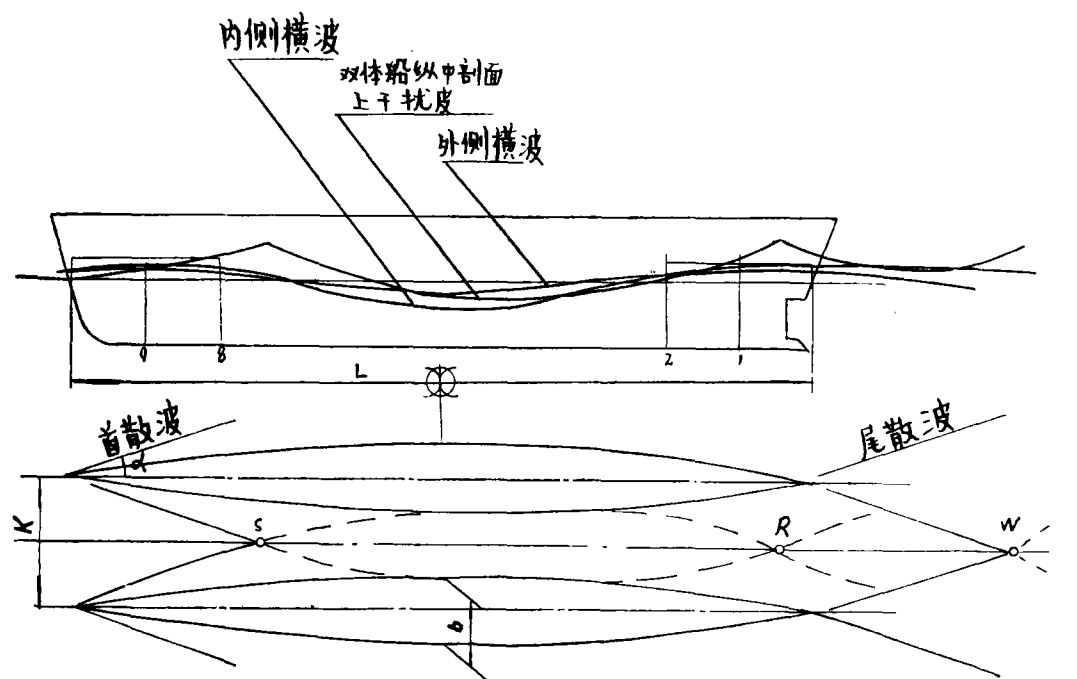


图 2

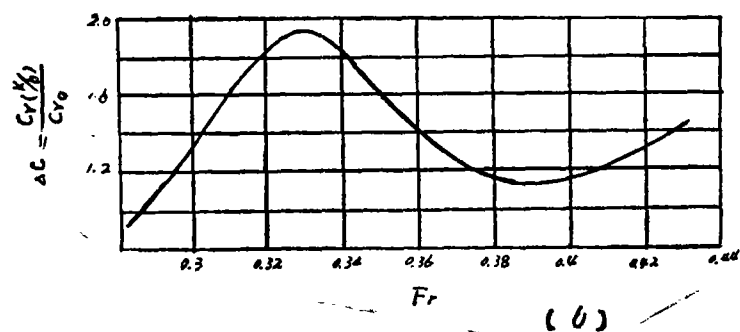
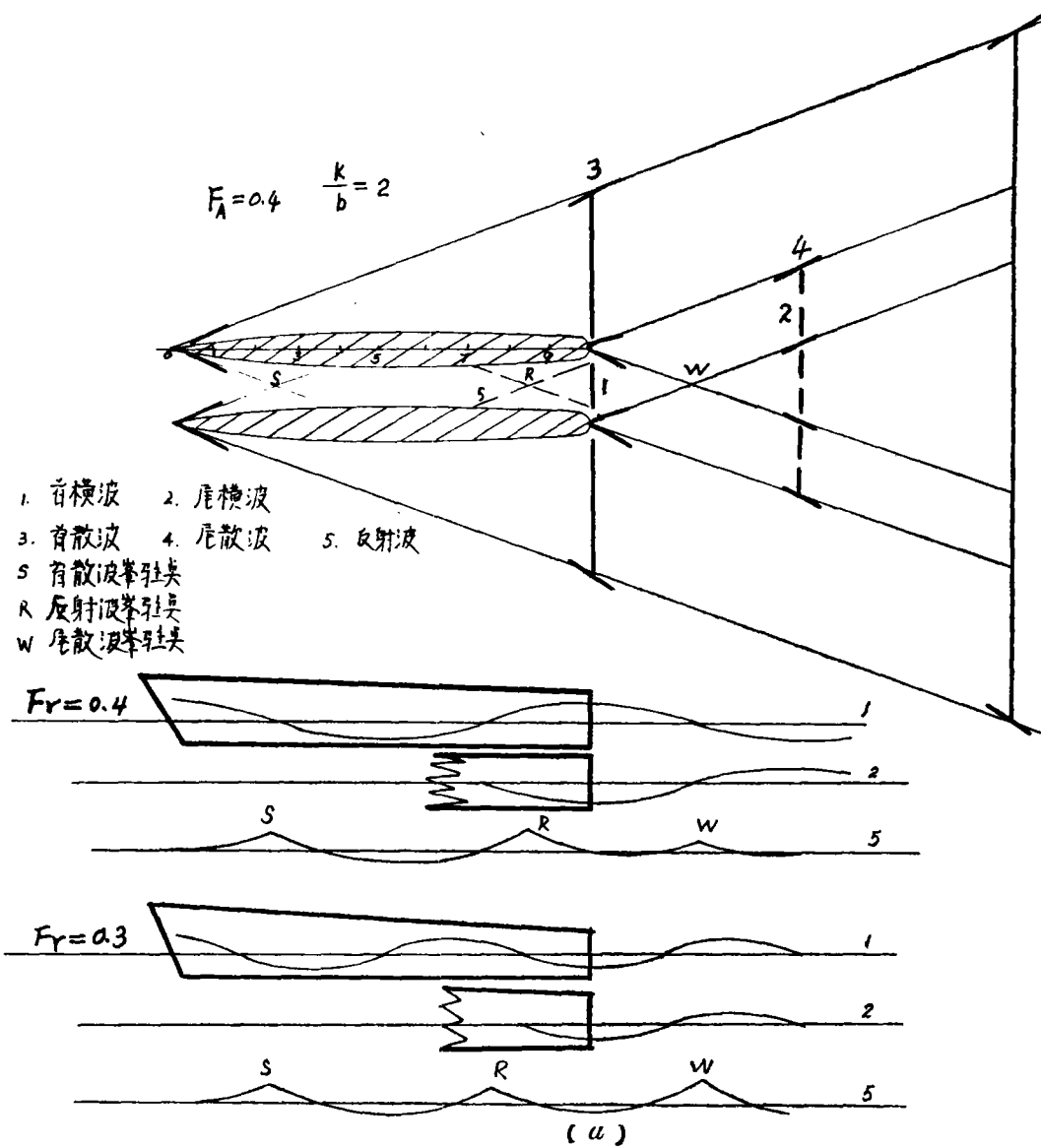


图 3

为双体船有利干扰,反映在双体船干扰阻力曲线为“谷”。如图3(b)在 $F_r \approx 0.4$ 时,首横波峰、尾横波谷和反射波峰驻点 $R$ 相叠加,使波面下降,反映在 $\Delta C$ 曲线于“谷”的附近,表示有利干扰。在设计双体船时,应使其干扰阻力值避峰就谷。

#### 四、主尺度系数对双体船阻力的影响

主尺度系数对双体船阻力影响包含两个方面:一是主尺度系数对片体本身阻力的影响,包括片体横波干扰阻力在内;二是主尺度系数对片体间反射波干扰阻力(通常称双体船干扰阻力)的影响。

1. 片体间距比 $k/b$ 是影响双体船反射波干扰阻力的主要参数。图4为本文船模干扰波的相位图(由试验观察得到)。间距比愈大,航速愈高,首尾散波波峰驻点和反射波波峰驻点位置向船尾移动。当间距大到使首散波波峰驻点超过船舯,片体不再对散波起反射,则反射波消失,反射波干扰不存在,双体船阻力将等于二个片体阻力之和。问题是在适当间距比下,能否出现双体船阻

力小于二个片体阻力之和。

图5(a)绘制了船模Ⅱ由 $k/b$ 之变化对干扰阻力的影响。其中 $\Delta C$ 为干扰阻力系数,即在某一 $k/b$ 值下,双体船剩余阻力系数与片体剩余阻力系数之比。

$\Delta C$ 曲线呈“坦谷波形”,在 $F_r > 0.3$ 时, $k/b$ 才明显影响干扰阻力,它的峰谷位置并不象单体船剩余阻力系数曲线那样,几乎固定于相应的付氏数(第一峰对应 $F_r = 0.3$ ,第二峰对应 $F_r = 0.5$ ),而是随 $k/b$ 变小, $\Delta C$ 曲线峰谷值的垂向位置上移,峰谷对应的 $\Delta C$ 值加大,水平位置朝付氏数大的方向平移,导致在 $F_r = 0.4 \sim 0.46$ 内,出现 $k/b$ 变小反而使干扰阻力系数向减小转化,若再加大船速, $k/b$ 变小,又使干扰阻力系数向增大转化,这一特点,使在 $F_r = 0.32 \sim 0.44$ 范围内的双体船具有一个最佳片体间距比,它对应的干扰阻力系数为最小,即在干扰阻力曲线的谷底。如果船型系数选择恰当,有可能产生负的干扰阻力( $\Delta C < 1$ )。如图5(b)所示: $k/b = 2.5$ 对应 $F_r = 0.36$ 时,双体船阻力小于二个片体阻力之和。这是我们所要寻求的目标,尽管它的区域十分狭窄和不易抓住。

本文船模试验表明,干扰阻力曲线的谷

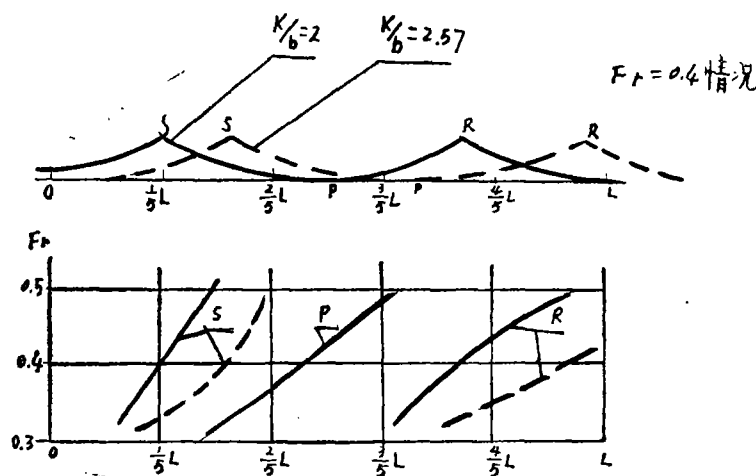


图4

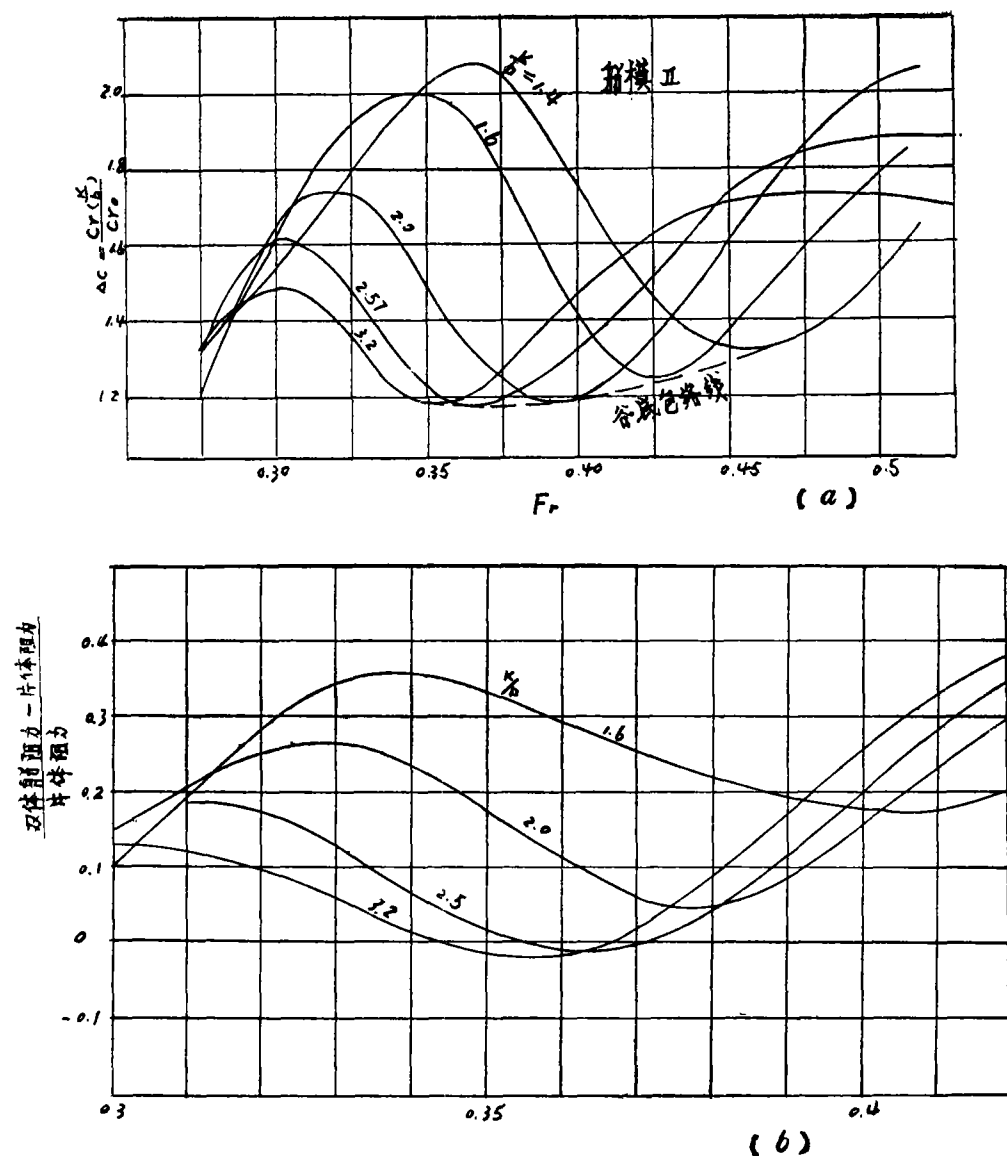


图 5

底出现在  $F_r = 0.34 \sim 0.42$  范围。用包络线绘制最佳片体间距比曲线，见图 6。它通过棱形系数和付氏数来选取，表示在这个片体间距比下，双体船的干扰阻力最小。

目前有两种片体间距比表示法： $2k/L$  和  $k/b$ 。在  $F_r < 0.3$  的双体船，往往在片体间出现若干个反射波波峰驻点，船长越长，驻点个数越多，因此， $2k/L$  作为影响干扰阻力的参数是适宜的。在  $F_r > 0.3$  的双体船，片体兴波阻力和干扰阻力占重要成份，在本

试验的间距比内，片体间只出现一个反射波波峰驻点，连同首和尾散波波峰驻点，共三个。似乎可以说， $F_r > 0.3$  时，船长  $L$  的变化将不再影响反射波波峰驻点个数。这

样，把船长放在排水体积长度系数  $\frac{\nabla}{\left(\frac{L}{10}\right)^3}$  中

作为影响片体兴波阻力系数，把  $k/b$  作为影响干扰阻力的参数，点出了  $L$  和片体间距  $k$  在各项阻力中扮演的角色，亦就更适宜

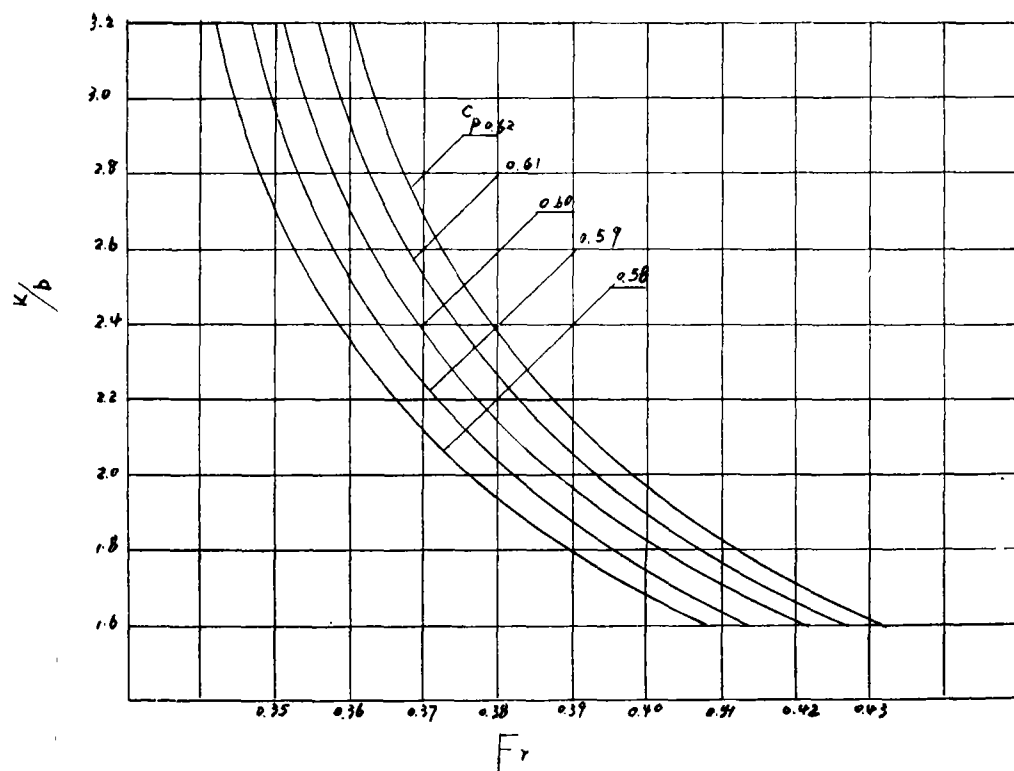


图 6 最佳片体间距比

了。

2. 棱形系数  $C_p$  是影响双体船片体阻力和片体干扰阻力的主要参数。图 7 给出本文船模的片体剩余阻力系数。在  $Fr > 0.3$  时，由于沿船长几乎全部产生兴波作用，需要排水量沿船长均匀分布，因此，棱形系数对片体阻力的影响符合单体船的规律，速度大者，棱形系数宜取大，速度小者，棱形系数宜取小。图 8 为相同方形系数  $C_b$ 、不同棱形系数时的干扰阻力系数曲线。从图中发现棱形系数对干扰阻力的影响很大，但这种影响不完全表现出象单体船那样，速度越大，棱形系数大者，干扰阻力就小的规律，显然，棱形系数对干扰阻力的影响还受到间距比  $k/b$  的牵连，如图 9 和图 15 所示：

- (1)  $Fr > 0.39$   $C_p = 0.603$  船模的干扰阻力最小，  
 $C_p = 0.617$  船模次之，  
 $C_p = 0.585$  船模最大；

- (2)  $Fr < 0.39$   $k/b \geq 2.6$  时

$C_p = 0.617$  船模的干扰阻力最小，

$C_p = 0.603$  船模次之，

$C_p = 0.585$  船模最大；

- $k/b < 2.6$  时

$C_p = 0.603$  船模的干扰阻力最小，

$C_p = 0.617$  船模次之，

$C_p = 0.585$  船模最大。

因此，它们之间的规律变化还须进一步探讨。

3. 排水体积长度系数  $\frac{\nabla}{\left(\frac{L}{10}\right)^3}$  是影响双

体船片体阻力的重要参数。 $Fr > 0.3$  的单体船正处于剩余阻力主峰上坡区， $\frac{\nabla}{\left(\frac{L}{10}\right)^3}$  从来

都是影响剩余阻力的主要参数，它既考虑船

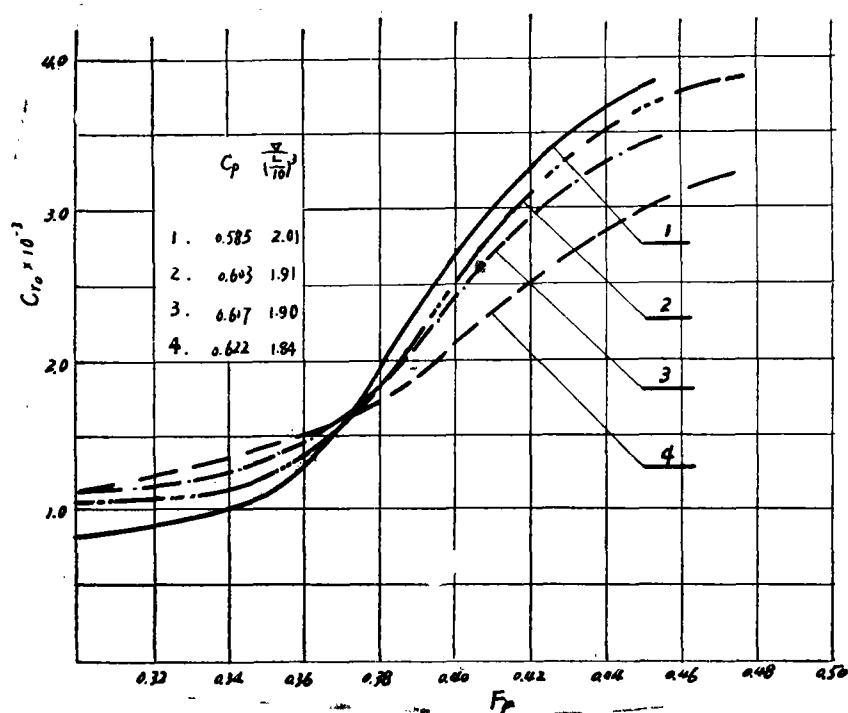


图 7 本文船模片体剩余阻力系数  $C_r$ 。

长影响,又考虑船体纤瘦程度,这一点同样适用于双体船。图10为船模 I 改变三种排水体积的阻力试验值。片体和双体剩余阻力系数随  $\frac{\nabla}{(L/10)^3}$  的增加而有比例增加,其相应的干扰阻力曲线几乎重叠,这就说明,  $\frac{\nabla}{(L/10)^3}$  的变化主要反映在片体阻力上,而对于干扰阻力影响甚小。

4. 尾板浸水面积  $A_0$  的改变主要引起片体阻力的变化。通常,当  $F_r > 0.4$  时,尾板才开始明显影响阻力,希望双体船的片体由巡洋舰尾过渡到方尾,逐步加大尾板浸水面积。 $A_0$  对双体船干扰阻力影响如何呢? 图11为船模 II 在三个不同尾板线型和它们的试验结果。片体和双体剩余阻力曲线和干扰阻力系数曲线的形态特征基本接近,说明  $A_0$  对双体船干

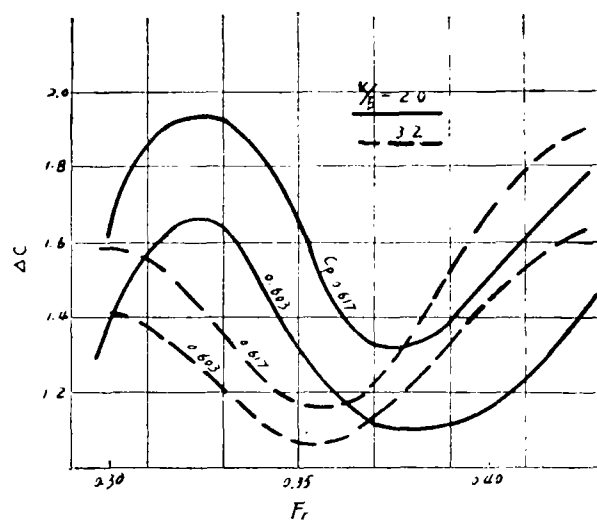


图 8

扰阻力的影响较小。

笔者从试验现场看到的波型,认为片体间的水面如在尾柱处抬高,则在保持需要的尾板面积下,尾板水线半宽宜小,以缓和片体间水流在尾部的拥挤(见图 12(a));如片体间的水面在尾柱处下降,则在保持需要的尾



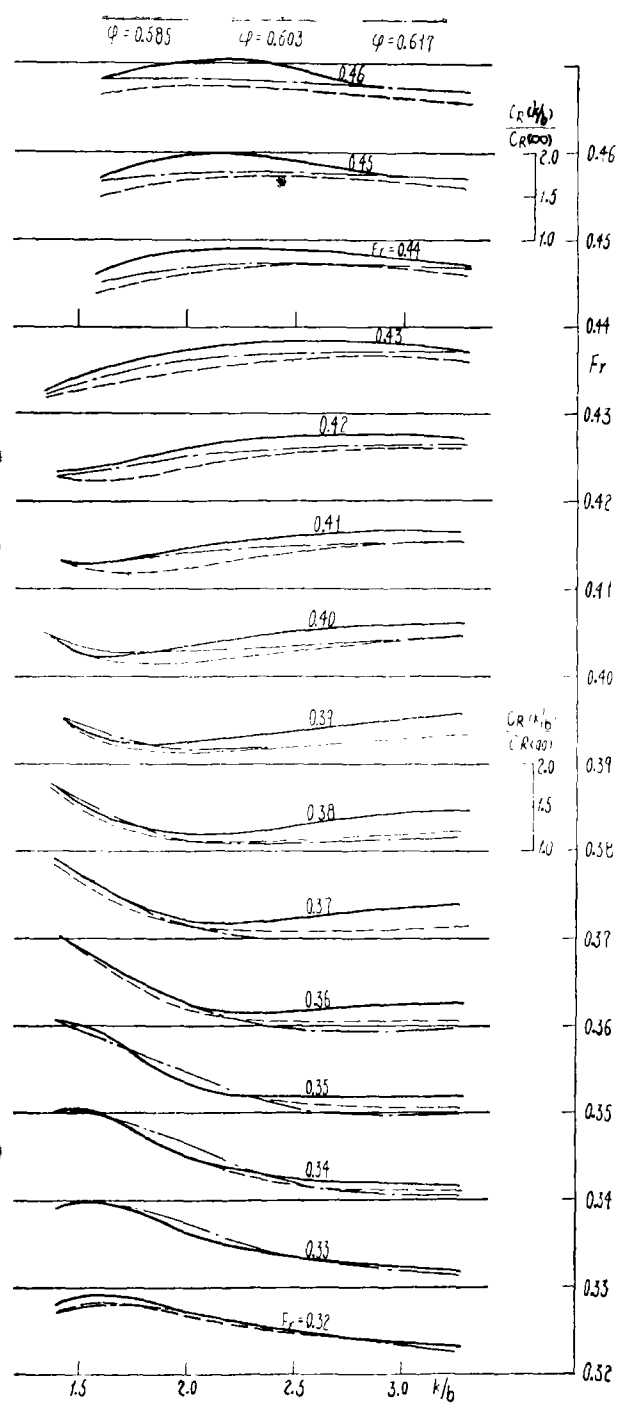


图 9

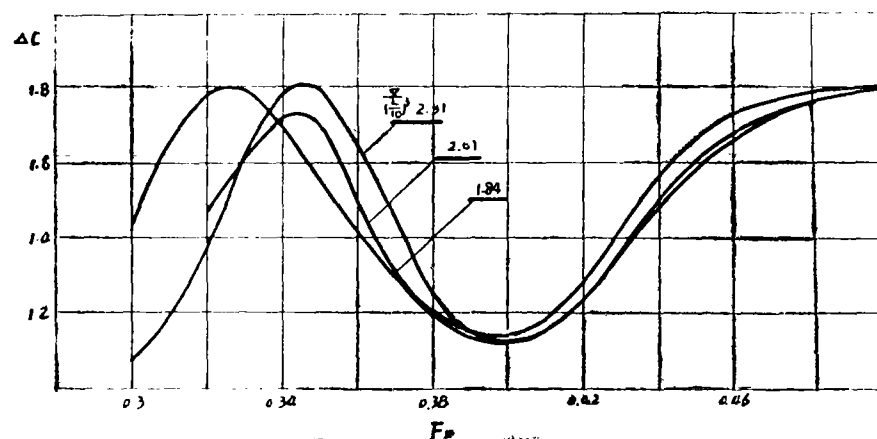
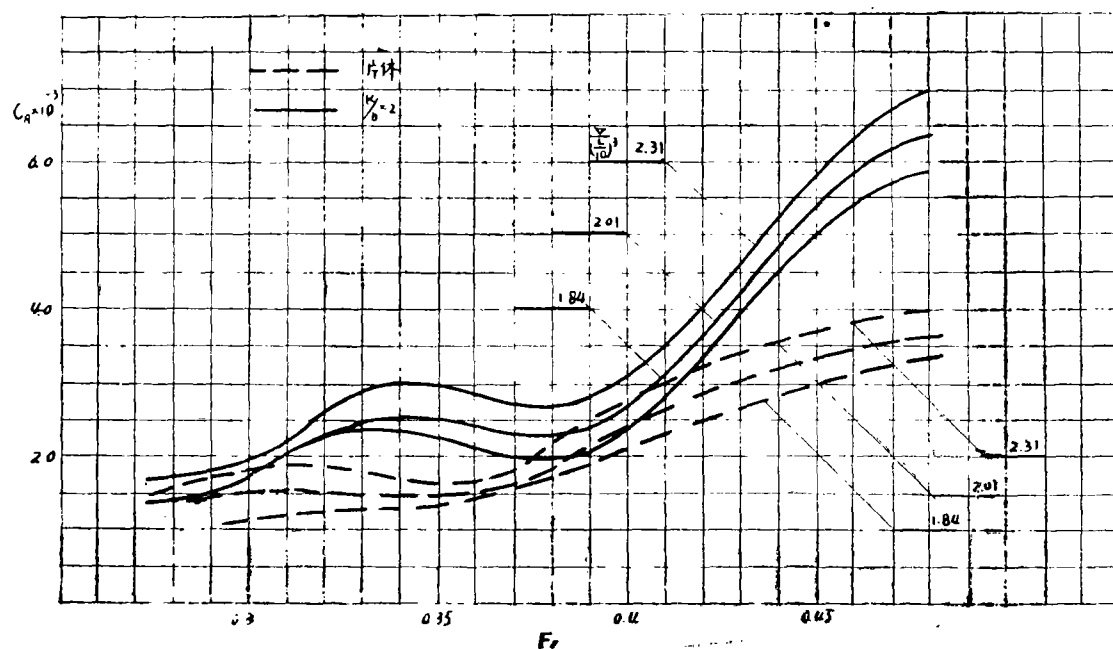


图 10

板浸水面积下,尾板水线半宽宜大,以促使片体间水流向后冲击(见图 12(b)),尤其在高速时,沿船长只有半个波,双体船的片体线型应象圆舢快艇一样,具有足够的尾板面积,尾板水线半宽相应加大,发挥所谓“圆舢线型虚长度”的作用,减少高速航行时的纵倾。

5. 片体横剖面形状对双体船干扰阻力也有很大影响。但本文船模中没有给予充分试验,仅在片体尾部 $\frac{1}{3}$ 长度内改为不对称线

型,试验结果,它的阻力比对称线型要大一些。参考有关文献,本文认为  $F_r = 0.3 \sim 0.5$  双体船,它的片体宜用对称的具有单体船横剖面特征的线型,阻力性能较好,而不对称或折角型横剖面适用于高速双体船。

目前,参考价值较高的国外资料有日本利用兴波理论决定的船型[4],它的横剖面形状见图13;在同样排水体积和船长下,为减少湿表面积的半圆形横剖面[5];内河

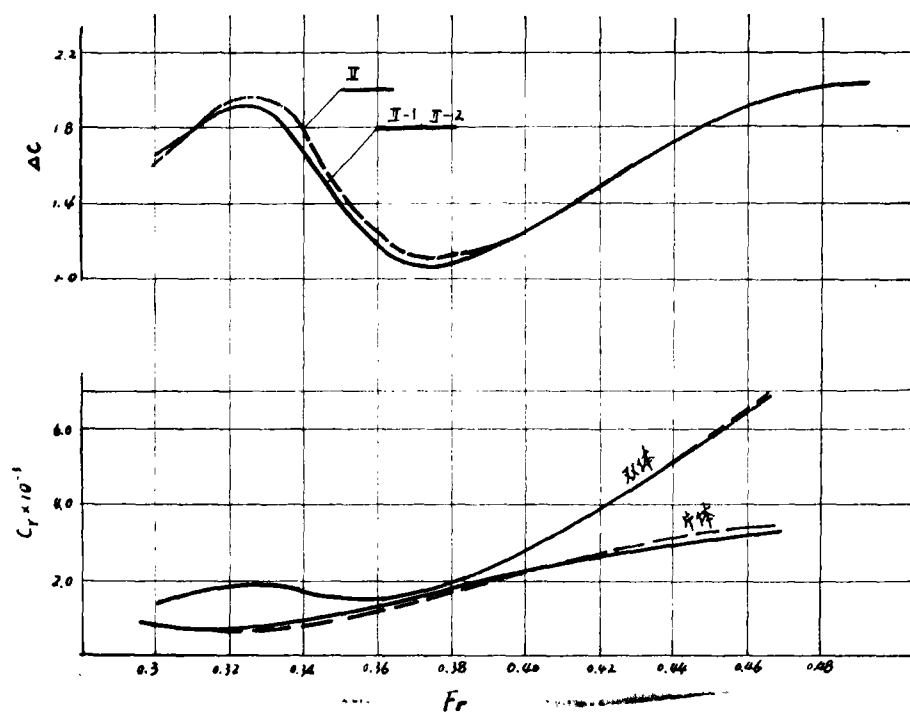
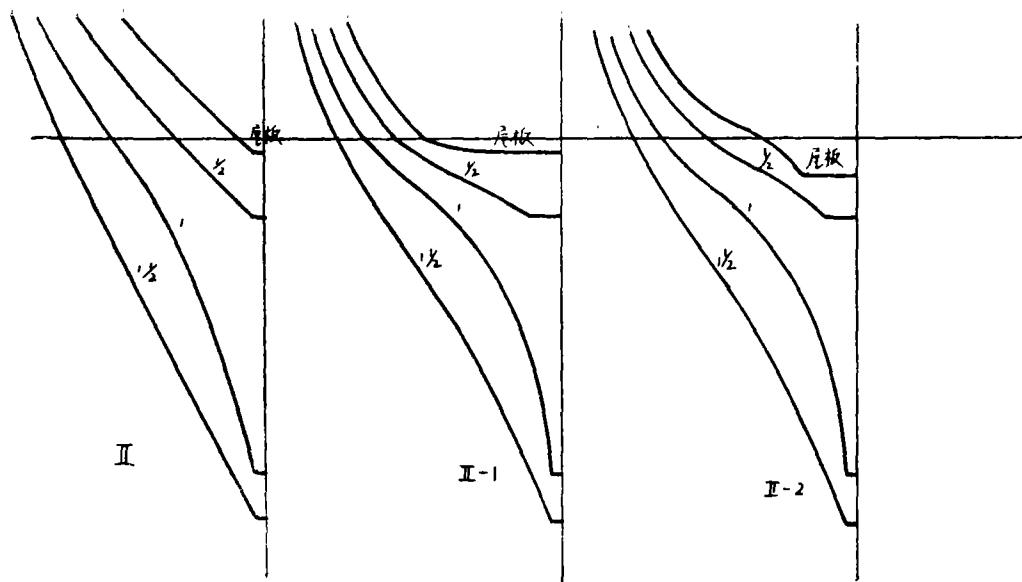


图 11

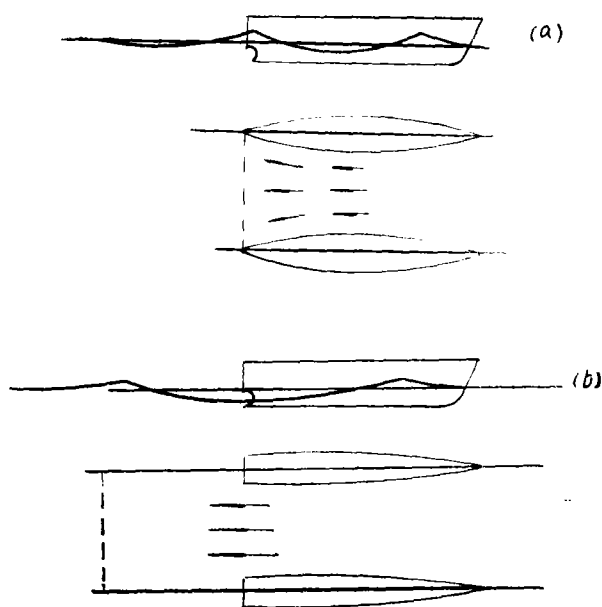


图 12

双体船横剖面[3]以及美国海军 HAYES 试验站的 ASR21 非对称横剖面[7]。

6. 浮心纵向位置  $L.C.b$ 。对单体船来说, 随航速的提高, 最佳浮心位置向后移。对双体船来说, 具有同样特性, 只是由于双体船  $L/b$  远大于单体船, 允许它的最佳浮心位置范围稍大, 不会明显影响双体船兴波阻力。

7. 片体宽度吃水比  $b/T$ 。其值小者, 促使  $L/b$  变大, 往往对阻力有利, 双体船的片体正好提供这个有利条件。双体船的片体宽度  $b$  在满足机舱布置下尽可能地狭, 以保证最佳  $k/b$  的选取和  $L/b$  的加大。实际上, 双体船的  $b/T$  变化范围比单体船小多了, 它对阻力变化主要表现在片体的摩擦阻力上, 因而在兴波阻力占较大比例的  $F_r = 0.3 \sim 0.5$  范围,  $b/T$  的影响比较次要。当然, 对吃水限制的内河双体船, 片体宽度需要大,  $b/T$  的影响明显了, 正如文献[3]把  $b/T$  作为影响内河双体船阻力的一个参数。

上面粗略讲了七个参数。至于长宽比

$L/b$  对剩余阻力的影响, 同于  $\frac{V}{(\frac{L}{10})^3}$  的

情况, 往往两者取其一。由于双体船片体很窄,  $L/b = 8 \sim 15$  甚至更大, 因为它不用担心在同样排水量下过长的船长会带来稳性不足; 首部水线呈直线, 片体进水角很小, 使  $L/b$  之变化对散波和横波的影响已趋平缓。如照片 2 为船模 II 片体在  $F_r = 0.41$  时的波型。因此, 本文选取

$\frac{V}{(\frac{L}{10})^3}$  为影响剩余阻力的主要参数来讨

论, 将参数  $b$  的影响放在选择最佳片体间距比上。尤其是在双体船方案论证时, 船长、排水体积和片体间距比是三个不可缺少而又首先要确定的参数。

综上所述, 在  $F_r = 0.3 \sim 0.5$  范围内,

棱形系数  $C_p$ 、排水体积长度系数  $\frac{V}{(\frac{L}{10})^3}$ 、

尾板浸水面积  $A_0$ 、浮心位置  $L.C.b$  和宽度吃水比  $b/T$  影响双体船片体本身的阻力, 它们具有单体船的规律, 而以前三个参数的影响为主。棱形系数  $C_p$ 、片体间距比  $k/b$  和片体横剖面形状影响双体船片体间的干扰阻力, 体现双体船的特点。

8. 关于球首对双体船阻力的影响。图 14 是本文带有球首船模试验的结果, 它降低阻力 2%, 证明在  $F_r = 0.3 \sim 0.5$  双体船应用球首, 给阻力带来一些好处, 原因是双体船首散波是引起干扰阻力的主要因素, 球首能够减缓首散波。那么为什么球首效果又不明显呢? 原因是片体本身瘦狭, 球首不能做大。当球首横剖面占片体横剖面 10% 时, 球首线型已延伸至  $\frac{1}{5}$  船长, 妨害首锚的起放。

看来, 球首在双体船上应用, 主要着眼于减缓双体船的纵摇。为克服首锚起放的矛盾, 可否探讨设计半球首, 布置在片体内侧。

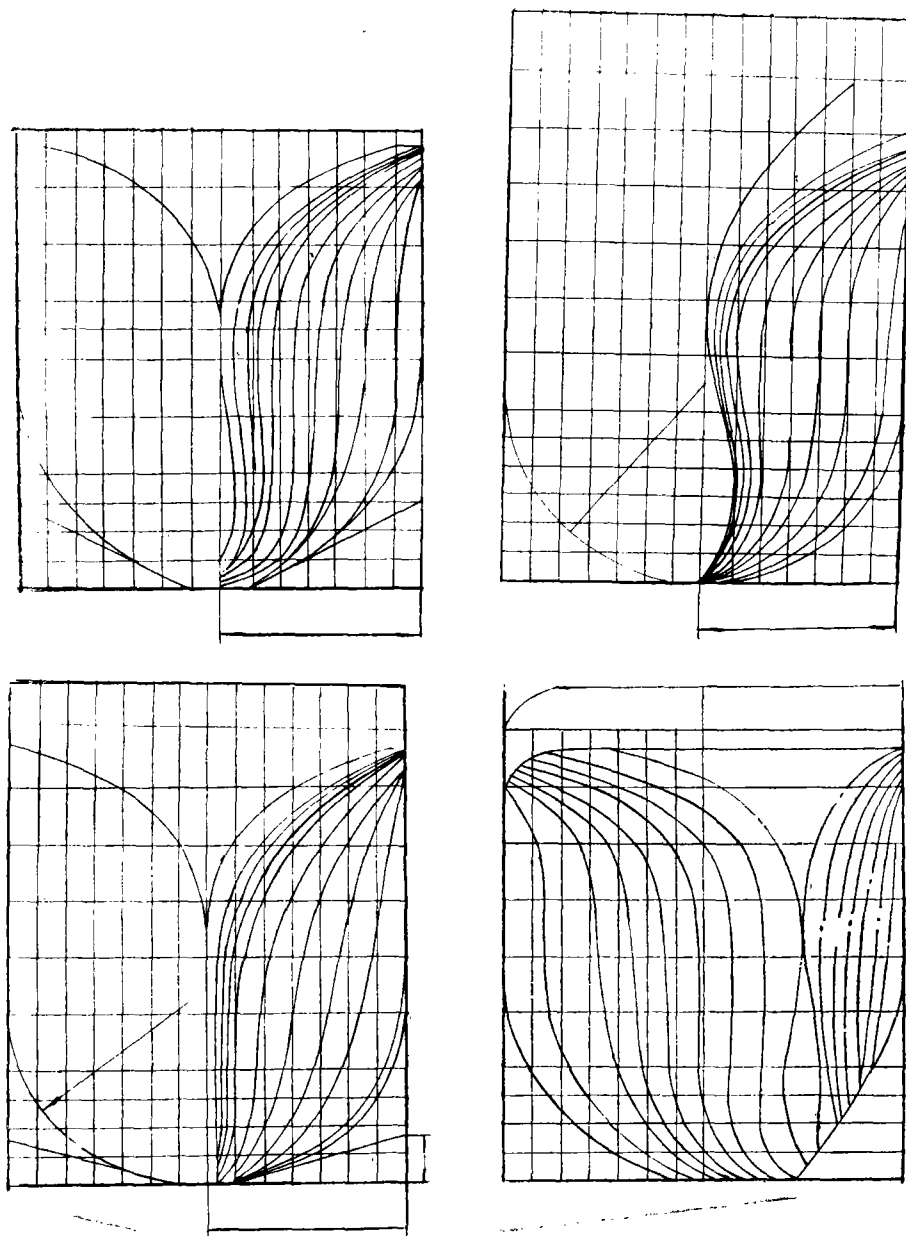


图 13

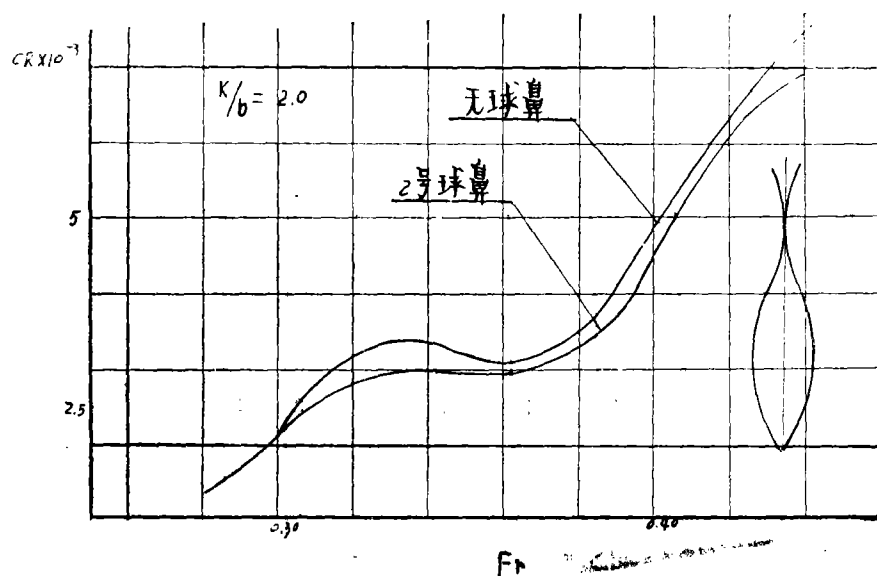


图 14

## 五、双体船阻力估算

单体船阻力由粘性阻力(包括摩擦阻力和形状阻力)和兴波阻力组成。双体船除了上述二个阻力外,还包括粘性引起的粘性干扰阻力,兴波引起的兴波干扰阻力以及“绕流阻力”。粘性干扰阻力是由片体间流速大于片体外侧的流速、片体间水面抬高所造成的,目前不能单独计算它。我们把上述二个干扰以及绕流统称为“片体间干扰阻力”。

这样,双体船阻力分成片体阻力和片体间干扰阻力。引入双体船干扰阻力系数概念

$$\Delta C = \frac{C_{r(k/b)}}{C_{r0}}$$

根据本文船模试验,绘制成双体船干扰阻力系数曲线,见图15。

则片体剩余阻力系数

$$C_{r0} = \frac{R_{r0}}{\frac{1}{2} \rho S V^2}$$

双体船剩余阻力系数

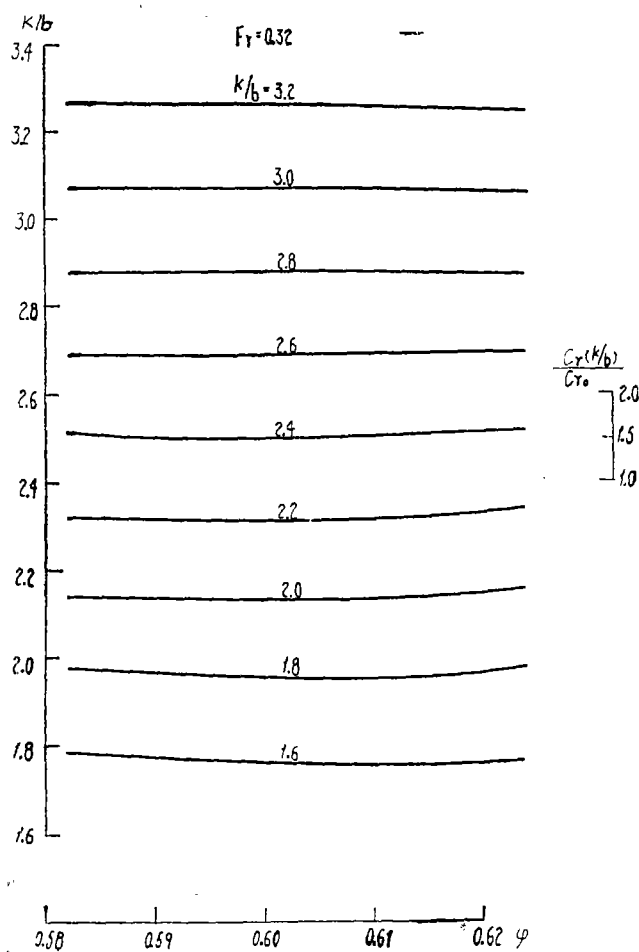


图 15-1

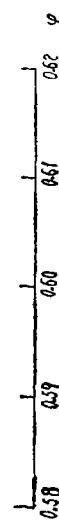
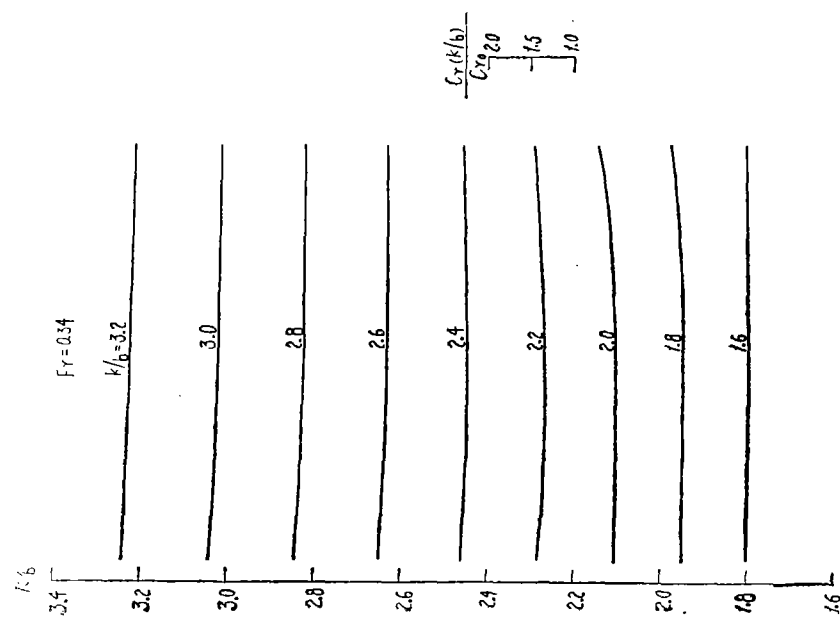


图 15-2

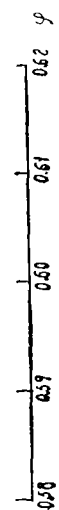
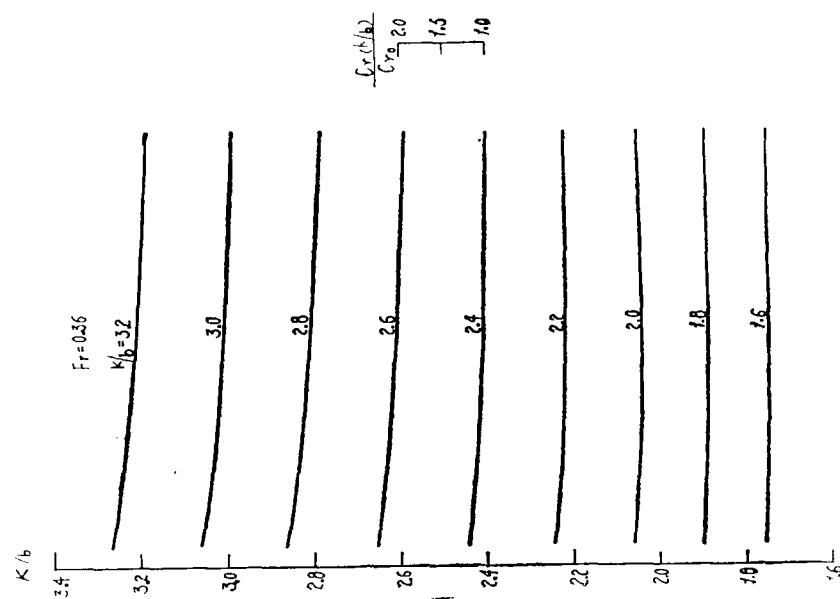


图 15-3

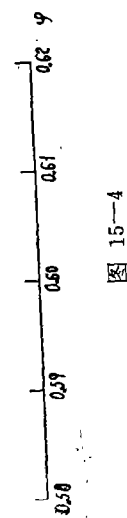
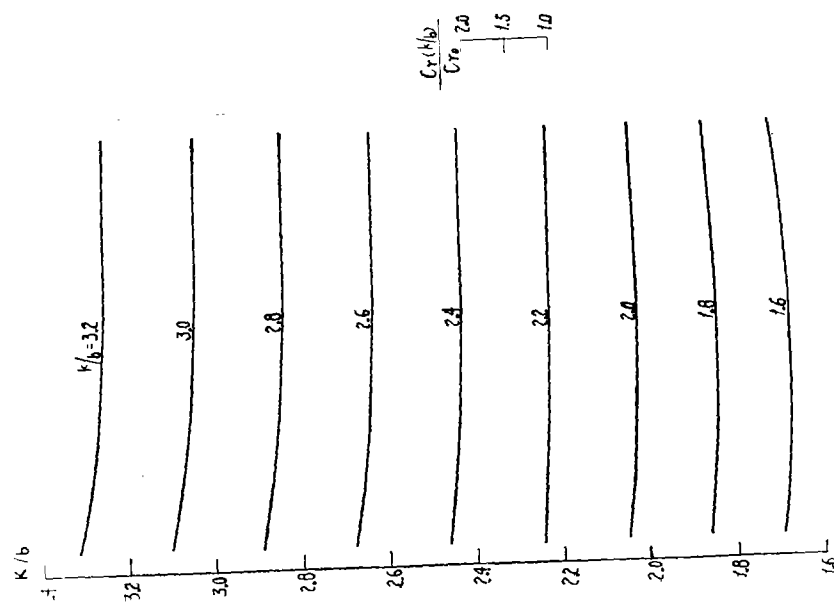


图 15-4

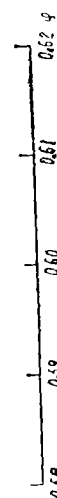
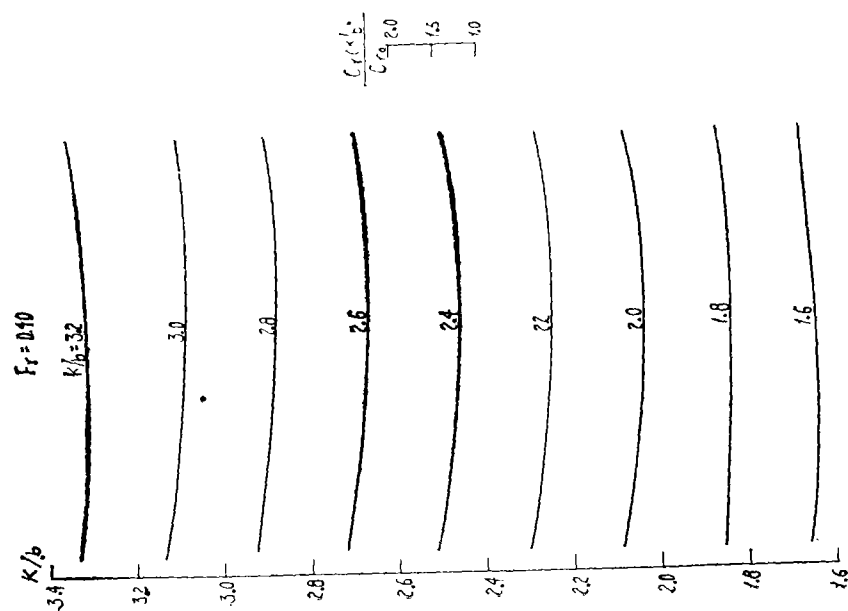


图 15-5



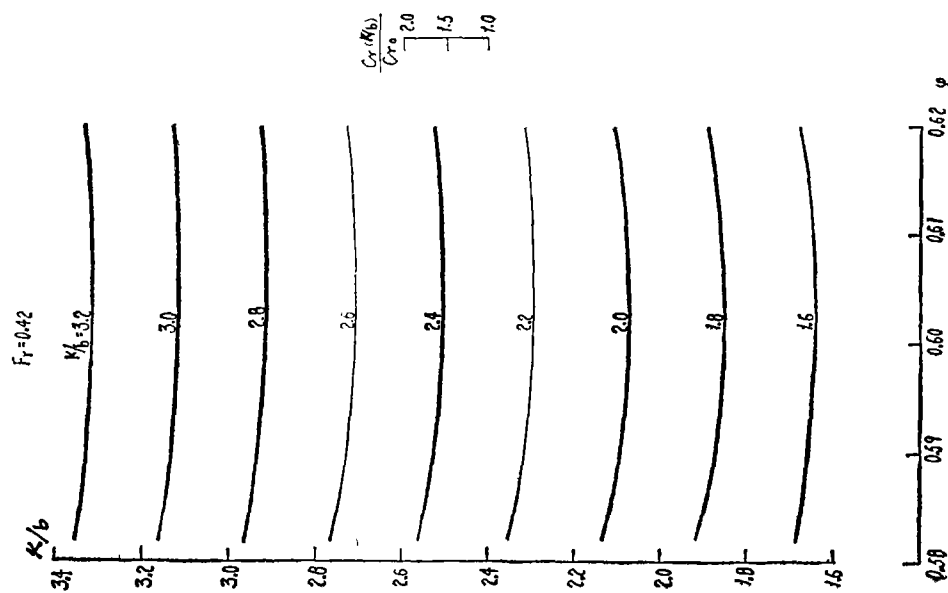


图 15—6

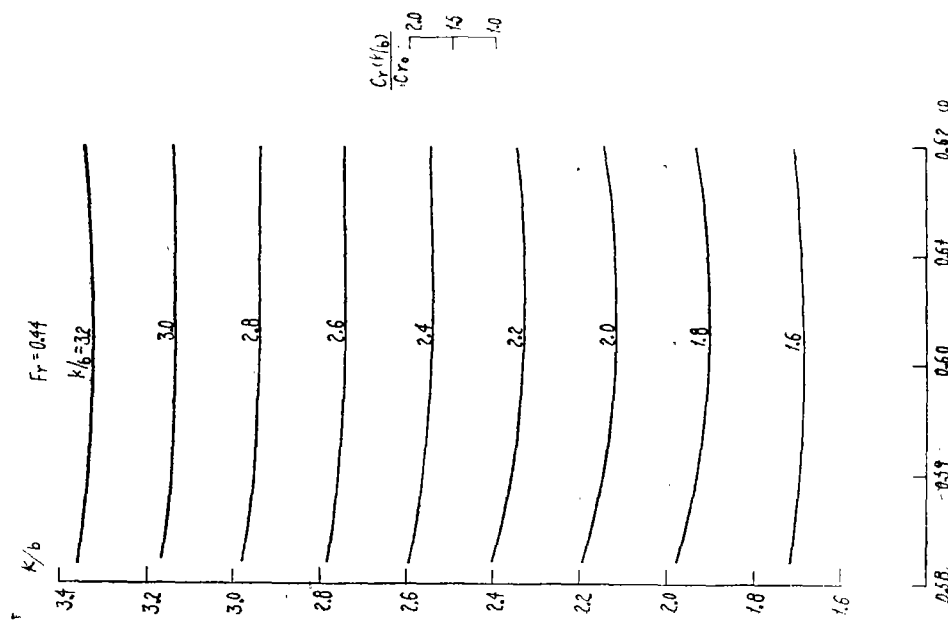


图 15—7

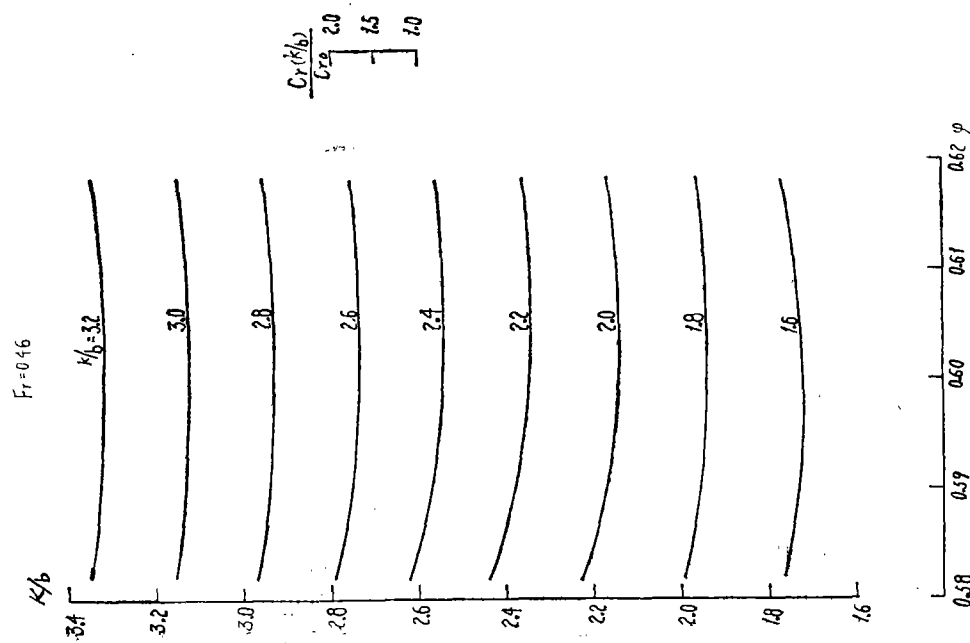


图 15-8

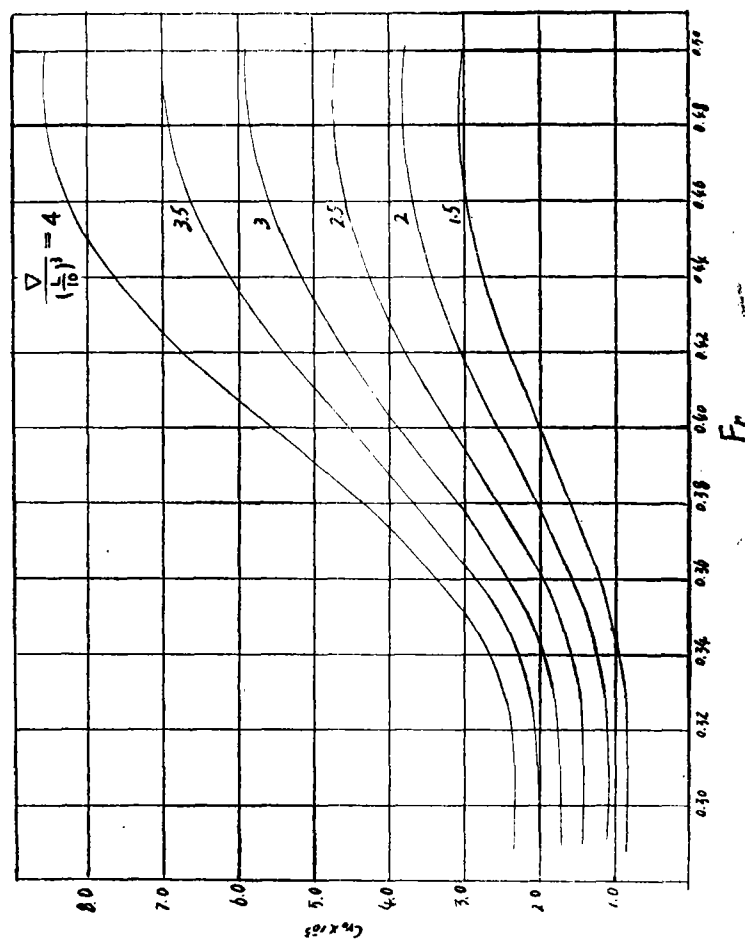


图 16 片体剩余阻力系数

$$C_{r_0}(k/b) = \Delta C \times C_{r_0}$$

双体船阻力

$$R = \frac{1}{2} \rho S V^2 (\Delta C \times C_{r_0} + C_t + \Delta C_t) \times 2$$

片体湿表面积近似估算为

$$S = L \times (0.5C_b + 0.272)(b + 27)$$

由于许多单体船阻力试验资料或估算阻力公式不适用于双体船的片体,片体阻力试验资料不多,需要我们不断积累。图16提供的片体剩余阻力系数以及文献[3][4][1]中介绍的资料,可供双体船方案设计时参考。图16是根据本文船模试验资料和参考文献[8]绘制的。

## 六、小 结

1. 单体船波系干扰是首尾横波干扰,双体船干扰除了首尾横波干扰外,还有片体间反射波干扰。双体船在  $F_r = 0.3 \sim 0.5$  范围内,反射波干扰起着非常重要作用。

2. 双体船片体间干扰阻力系数曲线随付氏数呈峰谷变化,峰点表示干扰阻力最大,谷点表示干扰阻力最小。我们在选择双体船航速时应该避峰就谷。

3. 双体船片体间距比  $k/b$  对双体船阻力影响甚大。对每一艘双体船来讲,都有一个最佳片体间距比,使干扰阻力为最小。图6给出一组不同棱形系数和付氏数组合下的最佳片体间距比,供设计双体船时参考。

4. 棱形系数不但对片体阻力有重要影响,对双体船干扰阻力也有很大影响,而排水体积长度系数  $\frac{\nabla}{(\frac{L}{10})^3}$ , 方形系数  $C_b$ , 尾

板浸水面积  $A_0$ , 浮心位置  $L.C.b$  以及宽度吃水比  $b/T$  主要影响双体船片体阻力,对双体船干扰阻力影响不大,片体横剖面形状采用对称型比较好。

5. 双体船阻力分成二部分,即片体阻

力和片体间的干扰阻力。当片体剩余阻力系数已知时,通过图15估算双体船阻力。

6. 本文是在设计产品的试验基础上进行分析,受到设计产品的船型参数局限,  $L/b$  和  $L.C.b$  对双体船干扰阻力影响没有探讨及棱形系数  $C_p$  变化范围不大所带来的不足都需要进一步探索。

## 参 考 文 献

- [1] 蒋慰昌: “双体船阻力的模型试验和理论计算”  
《中国造船》1965年59期
- [2] 横尾幸一 田崎 亮  
“关于双体船之阻力”  
日本运输技术研究所报告  
1951. №1, 1953. №2.
- [3] М.Я.АЛРЕТЬЕВ. Г.С.МАД-  
ОРСКИЙ“ТРАНСПОРТНЫЕ  
КАТАМАРАНЫ ВНУТРЕНН  
ЕГО ПЛАВАНИЯ”  
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТРАНС-  
ПОР»1976
- [4] 日本钢管株式会社  
双胴船について  
昭和47年12月
- [5] Ю.С.КРЮЧКОВ В.И.ЛАПИН  
ПАРУСНЫЕ КАТАМАРАНЫ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ СО-  
ЮЗНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ СУ-  
ДПРОМГИЗ 1963
- [6] 练淦: “双体船型评述”  
工程船舶译丛 第五辑
- [7] “依据美国海军HAYES 试验站  
的经验进行远洋双体船适航性的  
设计”  
The Society of Naval Archi-  
tects and Marine Engineers,  
New York 1974. 26p
- [8] 金平仲、苏拔英 “圆舢快艇主要  
尺度系数对静水阻力的影响”《中国  
造船》总70期
- [9] 人民交通出版社  
《内河船舶设计手册》1977年