

# 高速双体船的阻力计算

柳卫东 朱美琪 董元胜

(上海交通大学) (武汉交通科技大学)

## 摘 要

本文根据16条对称片体圆艏型高速双体船的阻力试验资料,运用多元线性回归分析方法,研究高速双体船剩余阻力系数 $C_r$ 随傅汝德数 $Fn$ 的变化规律,提出了剩余阻力系数曲线( $C_r \sim Fn$ 曲线)的表达方法。用本文提出的方法计算圆艏型高速双体船的剩余阻力系数,在95%的概率下,误差小于5%,较目前使用的其它方法计算简便、精确度高、适用的速度范围广,可供高速双体船设计时估算阻力使用。

**关键词:** 高速船, 双体船, 阻力, 回归分析

## (一) 引 言

目前常用的高速双体船阻力估算方法是把阻力分成两部分——摩擦阻力和剩余阻力。摩擦阻力近似地取两倍的片体摩擦阻力,而剩余阻力取两倍的片体剩余阻力再乘以一个干扰系数。由于高速双体船两片体兴波干扰非常复杂,其数值难以准确测量,剩余阻力干扰系数往往难以精确确定。

本文根据以往的试验资料,用回归分析的方法对高速双体船的兴波干扰作了较全面的分析、整理,提出了一套较精确的高速双体船剩余阻力计算方法,以供初步设计应用。

## (二) 船型参数对双体船剩余阻力的影响

### 1. 高速双体船剩余阻力系数曲线的特点

从16条对称片体圆艏型高速双体船的模型阻力试验资料来看,高速双体船剩余阻力系数曲线形状比较简单,一般在剩余阻力系数 $C_r$ 达到最大值后,曲线呈单调递减的趋势,如图1所示。

### 2. 船型参数对双体船剩余阻力的影响

#### (1) 棱形系数 $C_p$ 的影响

棱形系数表征排水量沿船长方向的分布情

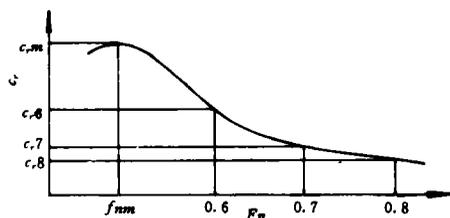


图1 高速双体船剩余阻力系数曲线示意图

收稿日期:1997-03-18

况。根据阻力理论<sup>[1,2]</sup>可知:

(a) 棱形系数不同表明船舶首尾肥瘦程度不同,因此不同航速下的兴波情况不同。

(b) 棱形系数不同表明船体表面水压力大小不同,因此会影响波峰、波谷的所在位置,使首尾波峰的相位差不同,影响兴波干扰。

(2) 瘦长度系数  $C_d$  的影响

$C_d$  是影响剩余阻力的主要参数,它既包括船长的影响,又包括船体纤瘦程度的影响。 $C_d$  减小,船体瘦削,会使兴波阻力和粘压阻力均下降;反之,则使其上升。

(3) 片体宽度吃水比  $b/T$  的影响

$b/T$  对双体船剩余阻力的影响要看  $b$  和  $T$  分别影响的大小而定:一般认为船宽  $b$  增大时,船体的散波波高增加;而吃水  $T$  增大时横波的波高增加<sup>[2]</sup>。对粘压阻力而言, $b/T$  增加,片体长宽比  $L/b$  减小,将使后体型线纵向倾斜程度增大,从而会使粘压阻力增大;对兴波阻力而言, $b/T$  增大意味着排水体积比较集中于临近水面之处,且  $L/b$  减小意味着纵向曲度增加,两者均会使兴波现象加强,从而增加兴波阻力。

双体船的片体宽度  $b$  通常是在满足机舱布置的前提下尽可能取小值,以保证最佳片体间距比  $K/b$  的选取和片体长宽比  $L/b$  的加大。它对阻力影响主要表现在片体的摩擦阻力上。因此,可以认为片体宽吃水比  $b/T$  对双体船剩余阻力的影响不大,是次要影响参数。

(4) 片体长宽比  $L/b$  的影响

$L/b$  对剩余阻力的影响基本上与瘦长度系数  $C_d$  相同,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,首部水线几乎呈直线,片体水线进流角很小,使  $L/b$  的变化对散波和横波的影响已趋平缓。因此, $L/b$  对双体船剩余阻力的影响较次要,可以不予考虑。

(5) 浮心纵向位置  $X_B$  的影响

$X_B$  对双体船剩余阻力的影响,有和单体船类似的规律。 $X_B$  增大(即向船首移动)将使首部肥大,对降低兴波阻力不利; $X_B$  减小(即向艉尾移动)将使尾部肥大,对降低粘压阻力不利。

低速时,兴波阻力在总阻力中占的比重较小,再加上双体船瘦削,粘压阻力一般也较小,浮心纵向位置的变动对双体船剩余阻力的影响已较次要。随着速度的增大,兴波阻力逐渐增大,浮心纵向位置  $X_B$  的影响会比较敏感<sup>[2]</sup>。

(6) 水线首端半进流角  $i_E$  的影响

水线首端半进流角  $i_E$  在形状相似的情况下表征片体长度比  $L/b$  的大小。 $L/b$  愈大, $i_E$  愈小。 $i_E$  对双体船剩余阻力的影响与单体船的一致,主要是影响兴波阻力的大小。根据美国 Mericer 和 Savitsky 回归分析的结果, $i_E$  对剩余阻力的影响比长度比  $L/b$  显著。

(7) 尾板浸湿面积比  $f_T$  的影响

尾板浸湿面积和最大横剖面面积之比  $f_T = A_T/A_M$  表征片体尾部纵剖线的平直程度和倾斜度。 $f_T$  对双体船剩余阻力的影响主要也是反映在片体剩余阻力上,对剩余干扰阻力的影响甚小。

高速双体船兴波剧烈,在整个进流段都会激起波浪,所以面积曲线应平缓过渡,使排水

体积较均匀地向首尾分布,这就要求尾部横剖面积不能收缩过快,在方尾处应保持相当大的水线宽度和浸湿面积  $A_T$ 。方尾伸入水下有利于减小纵剖线与水线的夹角,使后体水流光顺,减小扭转、弯曲的程度,从而可减小能量损失,改善阻力性能。另外,高速水流沿着方尾边缘一直延伸到尾后相当的距离处,其作用相当于增加了船体的有效长度,这样并不增加摩擦阻力,而对减小剩余阻力是有利的<sup>[2]</sup>。综上所述,尾板浸湿面积比  $f_T$  对高速双体船剩余阻力有着十分重要的影响。

#### (8) 片体间距比 $K/b$ 的影响

$K/b$  是影响双体船反射波干扰阻力的关键参数,其大小直接影响反射波纵向干扰位置,进而影响双体船剩余干扰阻力的大小。

一般认为,  $K/b$  越大,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作用,则反射波消失,反射波干扰不存在,双体船剩余阻力将等于两个片体剩余阻力之和。

由此可见,  $K/b$  对双体船剩余干扰阻力起着决定性的作用,在设计双体船时,应根据具体的船型,选取适当的  $K/b$ ,使双体船剩余干扰阻力尽量减小。

### (三) 回归方法的选取

逐步回归分析是一种从与因变量有关的自变量中选取对因变量有显著影响的自变量来建立回归方程的算法,理论上是一种很好的回归方法。但由大量的试算结果来看,该方法只有在原始数据量相当大的情况下才会得出满意的结果,而对本文这种原始数据并不很多的问题,却适得其反。根据各种方法的特点以及大量的试算,本文把多元线性回归分析作为推算高速双体船剩余阻力系数的基本数学模型。

### (四) 高速双体船剩余阻力系数的回归分析及结论

#### 1. 高速双体船剩余阻力系数曲线的表达方法

据图 1,高速双体船剩余阻力系数曲线的表达可分为以下两段进行<sup>[3]</sup>:

(1)  $F_n \in [F_{nm}, 0.6]$  范围的  $C_r$  曲线,用二次抛物线来表达

$$C_r = C_{r_m} - (C_{r_m} - C_{r_6})[(F_n - F_{nm}) / (0.6 - F_{nm})]^2 \quad (1)$$

(2)  $F_n \in [0.6, 0.8]$  范围的  $C_r$  曲线,用二次曲线来表达

$$C_r = aF_n^2 + bF_n + c \quad (2)$$

式中,  $a = 50C_{r_6} - 100C_{r_7} + 50C_{r_8}$ ;  $b = -75C_{r_6} + 140C_{r_7} - 65C_{r_8}$ ;  $c = 28C_{r_6} - 48C_{r_7} + 21C_{r_8}$ 。

#### 2. 回归参数的选取

据前分析,回归参数的选取分以下两类进行:

(1) 影响  $F_{nm}$  的参数:该参数是双体船剩余阻力系数曲线上最高点所对应的傅汝德数(见图 1)。根据前面船型参数对高速双体船剩余阻力影响规律的分析,可以得出结论:梯形

系数  $C_p$ 、间距船长比  $K/L$ 、片体长宽比  $L/b$ 、片体宽吃水比  $b/T$  将会对此傅汝德数的大小产生较大的影响,而其它参数的影响则较次要,可以忽略不计。

(2) 影响  $C_{rm}$ 、 $C_{rs}$ 、 $C_{rt}$ 、 $C_{rs}$  的参数:取棱形系数  $C_p$ 、片体瘦长度系数  $C_d$ 、浮心纵向位置  $X_B$ 、尾板浸湿面积比  $f_T$ 、水线首端半进流角  $i_E$ 、片体间距比  $K/b$  六个。

### 3. 高速双体船剩余阻力系数回归结果

将上述讨论的各参数组合成不同的耦合形式,运用多元线性回归方法进行,最后得(3)式~(7)式<sup>[3]</sup>。

$$F_{nm} = -1.106755L/b - 1.033192b/T + 1.141049C_pL/b - 7.893441C_pK/L - 8.881555C_p^2 + 0.019062(L/b)^2 + 0.2426(b/T)^2 + 2.078296(K/L)^2 + 10.472556C_p^2K/L + 7.117512 \quad (3)$$

$$C_{rm} = 15.174813C_d + 0.643397i_E - 7.603349X_B - 12.055276K/b - 62.331851C_p^2 - 1.558024C_d^2 - 6.021901i_E^2 - 0.844983X_B^2 + 0.730057(K/b)^2 + 0.061335i_EX_BK/b + 28.32907C_p^2K/b - 10.286515 \quad (4)$$

$$C_{rs} = -30.190261C_p + 55.569734f_T + 6.803589X_B - 6.487528K/b + 3.210103f_T^2 + 0.034196i_E^2 + 0.702376(K/b)^2 - 78.756637C_p f_T^2 - 9.158698C_p X_B + 5.209821C_p K/b + 0.268282C_d i_E + 26.903529 \quad (5)$$

$$C_{rt} = -272.594135C_p + 38.323264f_T - 0.117228i_E + 2.303086X_B - 8.195917K/b + 211.737061C_p^2 + 0.085211X_B^2 + 0.683599(K/b)^2 - 47.872616C_p f_T + 3.05793C_d f_T - 0.015463i_E X_B K/b + 97.921278 \quad (6)$$

$$C_{rs} = -84.490735C_p + 85.913946f_T - 4.515627i_E + 11.520494X_B + 14.803873f_T^2 - 129.338449C_p f_T + 6.490001C_p i_E - 13.947395C_p X_B - 2.110831C_p K/b + 2.633171C_d f_T - 0.229291C_d K/b - 0.018484i_E X_B K/b + 0.097683(K/b)^3 + 67.848807 \quad (7)$$

以上公式适用的船型参数范围见表 1。

表 1 适用船型参数的范围

$L_{wl}/b$	$b/T$	$C_p$	$C_d$	$f_T$	$i_E(^{\circ})$	$X_B(\%L_{wl})$	$K/b$
8.0~15.0	1.6~3.0	0.58~0.82	1.0~3.2	0.1~1.0	6~20	-12.0~1.0	0.5~2.0

### 4. 计算实例

某船模主要参数:

$$\begin{aligned} L_{wl}/b &= 10.437 & b/T &= 2.664 & C_p &= 5.99 & C_d &= 1.624 \\ C_k &= 0.471 & f_T &= 0.204 & i_E &= 6.5^{\circ} & X_B &= -4.17(\%L_{wl}) \\ K/b &= 1.0 & L_{wl} &= 1.983(\text{m}) & & & & \end{aligned}$$

表2 高速双体船  $C_r$  计算表

航速 $V_m$ (m/s)	傅氏数 $Fn$	$C_r \times 10^3$			误差	
		试验值	文献[4]法	本文法	文献[4]法	本文法
2.204	0.50	5.340	—	5.305	—	-0.66%
2.425	0.55	4.685	—	4.871	—	3.97%
2.645	0.60	3.855	3.741	3.894	-2.96%	1.01%
2.865	0.65	3.137	3.199	3.154	1.98%	0.54%
3.086	0.70	2.640	2.892	2.613	9.55%	-1.02%
3.306	0.75	2.350	2.565	2.270	9.15%	-3.40%
3.527	0.80	2.135	—	2.126	—	-0.42%

用本文方法计算的该船模剩余阻力系数  $C_r$  见表2。表中同时列出文献[4]之方法计算结果及试验值,供对照。

由表2可以看出,本文提出的高速双体船剩余阻力系数计算方法使用范围广,精度高,具有较高的实用价值。

## (五) 结 束 语

阻力计算是船舶设计的一个重要环节,其结果直接影响到主机选配、航速预报、方案选择等后续工作。目前高速双体船阻力计算方法并不多见。本文所提出的高速双体船阻力计算方法,计算步骤简便,精度较高,剩余阻力系数误差在95%的概率下小于5%,可以满足目前高速双体船设计的需要。

## 参 考 文 献

- 1 李世谟编. 船舶阻力. 北京:人民交通出版社,1989
- 2 姜次平,邵世明编. 船舶阻力. 上海:上海交通大学出版社,1985
- 3 柳卫东. 双体船型阻力计算研究. 武汉交通科技大学硕士学位论文,1997
- 4 阿里费里耶夫 М Я 和马多尔斯基 Г С(严爵华,樊德光译). 内河双体运输船. 北京:人民交通出版社,1980

# RESISTANCE CALCULATION OF HIGH-SPEED CATAMARANS

LIU Weidong

ZHU Meiqi

DONG Yuansheng

(Shanghai Jiao Tong University)

(Wuhan Transportation University)

## Abstract

Based on the resistance data of sixteen models of high-speed catamarans with symmetrical demihulls, the residuary resistance coefficient  $C_r$  versus Froude number  $F_n$  is investigated by regression analysis in this paper. The residuary resistance curve is obtained. The method is simple, convenient and accurate, the error of which is less than 5% under the probability of 95%.

**Key Words:** High speed ship, Catamaran, Drag, Regression analysis