

# 船舶阻力的相关系数及其应用

上海交通大学 鲍 毅 许定生

在船模试验和分析的基础上,提出船模阻力换算为实船阻力时可应用相关阻力系数的方法。相关系数法综合考虑了实船和船模的粗糙度和船模的尺度效应,因此其估算的实船阻力比常规的二因次法和三因次法具有更高的精度。

**关键词** 相关系数 尺度效应 摩擦粘压 剩余阻力系数 总阻力系数

## 1 摩擦阻力的相关分析

正确确定船舶的阻力是船舶设计研究工作者的主要任务之一。迄今为止,船模拖曳试验仍是确定船舶阻力的主要方法。估算实船阻力常用的有傅似德二因次法和 $(1+K)$ 三因次法。但由于船模的“尺度效应”和实船表面的粗糙度原因,两者间的流态和阻力系数都存在着一定的差异,使上述两种方法在估算实船阻力时出现较大的系统误差。

### 1.1 二因次法的相关分析

傅似德假定在傅氏数相等的前提下,船模和实船的剩余阻力系数相等,而船的摩擦阻力与同速度、同长度、同湿面积的平板摩擦阻力相等,因此船体摩擦阻力可以用相当的平板摩擦阻力计算公式进行计算。为此,傅似德法又称作二因次换算法。但实际上由于船体表面的弯曲,其流动情况与平板有相当的差异。船体的纵向弯曲使其边界层厚度较相当的平板为薄,这在曲度较大的艏部尤为显著,故船体阻力相应增大。而在船体弯曲表面后部,因边界层分离产生旋涡,旋涡区域水流的速度较低,该处的摩擦阻力则变得较小。因此,船体弯曲表面产生的形状效应使其摩擦阻力与相当的平板并不相等。

当水流为层流时,船体的粗糙度对阻力影响不大。而当雷诺数达到一定数值时,水流变为紊流,粗糙度对阻力产生影响。因此,采用二因次换算法时,实船总阻力系数 $G_{TS}$ 等于实船摩擦阻力系数 $C_{fs}$ 、船模剩余阻力系数 $C_{rm}$ 和粗糙度补贴系数 $\Delta C_f$ 之和,即 $C_{TS}=C_{fs}+C_{rm}+\Delta C_f$ 。实船粗糙度补贴系数 $\Delta C_f$ 随粗糙度粒子高度 $\delta$

与船长 $L$ 之比而变化,即随 $\delta/L$ 变化。当 $\delta$ 近似不变时,粗糙度补贴系数 $\Delta C_f$ 仅随船长 $L$ 变化,即 $\Delta C_f=f(L)$ 。目前国内外大多取 $\Delta C_f=0.0004$ 。该数值通常对长100m左右的船,能与实船试航的结果相符,但对于更长的船舶,则与实船试航的结果就不相符了。这是由于 $\Delta C_f$ 不仅取决于船体表面的粗糙度,而且还受到尺度作用的影响。为此,1973年荷兰水池发表了随船长而变化的 $\Delta C_f$ 值,见表1。

表1 荷兰水池的 $\Delta C_f$ 值

$L_s(m)$	100	160	220	280	340	400
$\Delta C_f \times 10^3$	0.375	0.250	0.125	0.000	-0.125	-0.250

荷兰水池推荐的 $\Delta C_f$ 按线性回归可表达为

$$\Delta C_f = \left( \frac{7}{12} - \frac{L_s}{480} \right) \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中 $L_s$ 为实船水线长。

由表1可见,对较长的船,此时 $\Delta C_f$ 呈负值,显然这是不合理的。

### 1.2 三因次法的相关分析

船舶的摩擦阻力和粘压阻力合称为船舶粘性阻力。船舶粘压阻力包括摩擦阻力的形状效应和因边界层分离而产生的旋涡作用。这两者都因水的粘性而产生,所以是雷诺数的函数。平板摩擦阻力系数 $C_f$ 又称为基本摩擦阻力系数,可按ITTC国际水池会议推荐的计算公式 $C_f = \frac{0.066}{(\lg Re - 2.03)^2}$ 进行计算。船模试验结果认为,粘压阻力系数 $C_{pv}$ 与基本摩擦阻力系数 $C_f$

之比为常数  $K$ , 即

$$K = \frac{C_{pv}}{C_f} \quad (2)$$

常数  $K$  又称为形状系数。其数值视船形而异, 可由低速船模试验决定。船模总阻力系数  $C_{Tm}$  为

$$C_{Tm} = C_{fm}(1 + K) + C_w \quad (3)$$

式中兴波阻力系数  $C_w = AF^n$ ,  $A$  为待定系数,  $F_r$  为傅似德数,  $(1+K)$  为形状因素。实船总阻力系数  $C_{Ts}$  为

$$C_{Ts} = C_{fs}(1 + K) + AF^n + \Delta C_f \quad (4)$$

由于公式(3)中引进的形状因素考虑了船舶的三因次流动, 所以此方法称三因次换算法。通常三因次法又称  $(1+K)$  法。在将船模阻力换算为实船阻力时, 如采用三因次法, 由于春夏季节(3~8月)水池水温低于室温, 船模表面产生大量气泡, 此时船模低速阻力测试值因气泡的影响明显偏大, 所以  $(1+K)$  法不会有很高的精度。此外, 在公式(4)中,  $C_w = AF^n$  这一项中  $A$  及  $n$  的值需要根据船模  $C_w$  曲线确定, 给计算带来一定的困难。

## 2 相关系数法的探讨

在三因次法中, 为消除船模尺度影响, 实船总阻力系数需加上一个粗糙度补贴系数  $\Delta C_f$ 。国际水池会议推荐的  $\Delta C_f$  计算公式为:

$$\Delta C_f = (105 \sqrt[3]{\delta/L_s} - 0.64) \times 10^{-3}$$

此  $\Delta C_f$  与  $\sqrt[3]{\delta/L_s}$  有关, ( $\delta = 150 \mu m$ )

本文假设  $\Delta C_{fs}$  为受尺度影响的实船粗糙度补贴系数, 它既是  $L_s$  的函数, 又是  $\sqrt[3]{\delta/L_s}$  的函数, 即

$$\Delta C_{fs} = (A_1 \sqrt[3]{\delta/L_s} - A_2 \cdot L_s + K_2) \times 10^{-3} \quad (5)$$

式中  $A_1, A_2, K_2$  为待定常数。

式(5)中  $(-A_2 \cdot L_s \times 10^{-3})$  项仅是尺度影响系数的一部分。令  $K_1 = A_1 \cdot \sqrt[3]{\delta}$ , 则不考虑尺度效应的粗糙度补贴系数  $\Delta C_f$  可表示为

$$\Delta C_f = (K_1/L_s^{1/3} + K_2) \times 10^{-3} \quad (6)$$

因为实船与船模的缩尺比  $\lambda = \frac{L_s}{L_m}$ , (5)式中尺度

作用影响系数项  $(-A_2 \cdot L_s \times 10^{-3})$  可改记为  $(-A_2 \cdot L_m \cdot \lambda \times 10^{-3})$ 。又当船模尺寸等于实船尺寸无尺度作用影响时, 此项为零, 所以实船尺度影响系数  $\Delta C_{s1}$  可表示为

$$\Delta C_{s1} = K_3 \cdot L_m \cdot (\lambda - 1) \times 10^{-3} \quad (7)$$

现设  $C_{TS_0}$  为消除尺度影响后的实船总阻力系数, 那  $\Delta C_f = C_{TS_0} + A_3(\lambda - 1)$ 。式中  $A_3$  为待定常数。因此总阻力系数中只要减去  $A_3(\lambda - 1)$  就可消除船模尺度作用的影响。一般地, 由于实船尺度与船长成正比, 假设实船尺度增大(缩小)一倍, 船长  $L_s$  也增大(缩小)一倍。此时如船模尺寸不变, 则缩尺比  $\lambda$  也要增大(缩小)一倍,  $A_3$  值就要近似地缩小(增大)一倍, 所以, 可将  $A_3 \cdot L_s$  视作常数。

令  $K_4 = A_3 \cdot L_s \times 10^3$ , 得消除尺度影响后的实船总阻力系数为

$C_{TS_0} = C_{TS} - K_4/L_s \cdot (\lambda - 1) \times 10^{-3}$ , 式中第二项为船模尺度影响系数:

$$\Delta C_{s2} = K_4/L_s \cdot (\lambda - 1) \times 10^{-3} \quad (8)$$

由(7)、(8)式可得总尺度影响系数:

$$\begin{aligned} \Delta C_s &= \Delta C_{s1} + \Delta C_{s2} \\ &= (K_3 \cdot L_m + K_4/L_s) \cdot (\lambda - 1) \times 10^{-3} \quad (9) \end{aligned}$$

综合粗糙度补贴系数和尺度影响系数, 由(6)、(9)式得到相关系数:

$$\begin{aligned} \Delta C &= \Delta C_f - \Delta C_s \\ &= [K_1/L_s^{1/3} + K_2 - (K_3 \cdot L_m + K_4/L_s) \cdot (\lambda - 1)] \\ &\quad \times 10^{-3} \quad (10) \end{aligned}$$

为求得(10)式中  $K_1, K_2, K_3, K_4$  值, 我们综合5条不同缩尺比的船模试验数据和荷兰船模水池推荐的数据、6条实船海上试航实测数据以及采用三因次法计算5条不同缩尺比船模试验换算成实船总阻力系数的数据, 利用多变量回归分析法求得:  $K_1 = 2.8(m^{1/3}), K_2 = 0.11, K_3 = \frac{1}{930}(m^{-1}), K_4 = 0.78(m)$ 。将  $K_1, K_2, K_3, K_4$  数值代入公式(10)得

$$\begin{aligned} \Delta C &= [2.8/L_s^{1/3} - 0.11 - \left( \frac{L_m}{930} + \frac{0.78}{L_s} \right) \\ &\quad \cdot (\lambda - 1)] \times 10^{-3} \quad (11) \end{aligned}$$

式中:

$$\Delta C_f = (2.8/L_s^{1/3} - 0.11) \times 10^{-3} \quad (12)$$

$$\Delta C_i = \left( \frac{L_m}{930} + \frac{0.78}{L_s} \right) \times 10^{-3} \quad (13)$$

注意,由式(12)计算得到的粗糙度补贴系数  $\Delta C_f$  始终为正值(见表2)。

表2 公式(1)计算  $\Delta C_f$  值

$L_s$ (m)	60	120	180	240	300	360
$\Delta C_f \times 10^3$	0.6052	0.4577	0.3859	0.3406	0.3083	0.2836

### 3 讨 论

由前述可知,二因次法的实船裸船体总阻力系数为:

$$C_{TS} = C_{fs} + C_{rm} + \Delta C \quad (14)$$

采用(14)式对实船“大庆”轮按5种不同缩尺比计算,得到不包括补贴系数  $\Delta C_f$  的实船总阻力系数  $C_{TS}^{[1]}$ (见表3)。由表3可知,此时  $C_{TS}$  与  $\lambda$  近似成线性关系。

表3 SM24 船模在不同缩尺比( $\lambda$ )和航速( $V_s$ )时的总阻力系数(不包括  $\Delta C_f$ )

$\lambda$	54	47	40	33	26
$V_s = 14.538(k_n)$	3.105	3.058	3.004	2.985	2.949
$V_s = 15.771(k_n)$	3.319	3.277	3.227	3.216	3.171

比较由相关系数法计算不同缩尺比的船模换算得到的实船总阻力系数(见表4),可发现两者重合程度较好,即由相关系数计算得到的  $C_{TS}$  基本上消除了尺度作用的影响。

表4 SM24 采用相关系数法计算的  $C_{TS} \times 10^3$  值

$\lambda$	54	47	40	33	26
$\Delta C \times 10^3$	-0.026	0.005	0.037	0.069	0.100
$V_s = 14.538(k_n)$	3.079	3.063	3.041	3.054	3.049
$V_s = 15.771(k_n)$	3.293	3.282	3.264	3.285	3.271

根据“风光”、“岳阳”、“郑州”、“朝阳”、“庆阳”、“溧阳”6条实船的海上航速和主机功率的实测结果,将各航速下的主机功率换算成实船

的总阻力  $R_{TS}$ ,并由  $C_{TS} = \frac{R_{TS}}{\frac{1}{2} \rho_s \Omega_s V_s^2}$ ,分别用三

因次法和相关系数法求出各条实船的有关阻力系数,并计算出绝对误差  $\delta_k$  和  $\delta_c$ ,分别列于表5和表6。

表5 实船测量  $\Delta C_f$  用(1+k)法计算的绝对误差

船名	缩尺比	$V_s$ ( $k_n$ )	$\Delta C_{fk} \times 10^3$	$\Delta C_{fit} \times 10^3$	$ \delta_k  \times 10^3 =  \Delta C_{fk} - \Delta C_{fit}  \times 10^3$
风光	50	13.35	0.006	0.397	0.391
		15.95	0.647		0.250
岳阳	50	15.75	0.015	0.404	0.389
		17.25	0.083		0.321
郑州	50.6	15.51	0.013	0.355	0.342
朝阳	50	16.20	0.346	0.405	0.059
		17.40	0.143		0.262
庆阳	40	15.90	0.179	0.403	0.224
		17.00	0.356		0.047
溧阳	40	13.50	0.079	0.403	0.324
		15.90	0.270		0.133

表6 实船测量  $\Delta C$  用相关系数法计算的绝对误差

船名	缩尺比	$V_s$ ( $k_n$ )	$\Delta C_k \times 10^3$	$\Delta C_{fit} \times 10^3$	$ \delta_c  \times 10^3 =  \Delta C_k - \Delta C_{fit}  \times 10^3$
风光	50	13.36	-0.286	0.003	0.289
		16.11	-0.140		0.137
岳阳	50	15.99	0.160	0.005	0.155
		17.25	0.060		0.055
郑州	50.6	15.51	-0.195	-0.014	0.181
朝阳	50	16.26	0.190	0.005	0.185
		17.40	0.010		0.005
庆阳	40	15.59	0.030	0.055	0.025
		17.07	0.070		0.015
溧阳	40	13.67	0.220	0.055	0.165
		15.91	0.150		0.095

表5中实测值  $\Delta C_{f实} = C_{TS} - (1+K) \cdot C_{fs} - C_w$ ,其中  $K$  和  $C_w$  由船模试验资料查得。 $\Delta C_{fit}$  由国际水池会议推荐的三因次法  $\Delta C_{fit} = (105 \sqrt[3]{\Delta/L_s - 0.64}) \times 10^{-3}$  计算得到。

表6中实测值  $\Delta C_{实} = C_{TS} - C_{rm}$ 。 $\Delta C_{fit}$  由相关系数公式(12)式计算得到。

比较两种不同方法的误差如下。设 6 条船的平均绝对误差为

$$|\bar{\delta}| = \frac{1}{6}(|\delta_1| + |\delta_2| + |\delta_3| + |\delta_4| + |\delta_5| + |\delta_6|)$$

由三因次(1+K)法计算的平均绝对误差为 $|\bar{\delta}_k| = 0.249 \times 10^{-3}$ , 采用相关系数法计算的平均绝对误差为 $|\bar{\delta}_c| = 0.119 \times 10^{-3}$ ,  $|\bar{\delta}_c| < |\bar{\delta}_k|$ 。再比较 6 条船的平均方差

$$\bar{\delta}^2 = \frac{1}{6}(\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2 + \delta_6^2)$$

用三因次法计算的平均方差为 $\bar{\delta}_k^2 = 0.0758 \times 10^{-6}$ , 采用相关系数法计算的平均方差为 $\bar{\delta}_c^2 = 0.0212 \times 10^{-6}$ ,  $\bar{\delta}_c^2 < \bar{\delta}_k^2$ 。

显然相关系数法的精度高于三因次法。

表 7 3~6m 船模的 $\Delta C \times 10^3$  值

$L_s(m)$	3	4	5	6
60	0.2969	0.3640	0.4031	0.4322
120	0.0784	0.1444	0.1845	0.2116
180	-0.0601	0.0060	0.0461	0.0731
240	-0.1710	-0.1050	-0.0649	-0.0378
300	-0.2685	-0.2024	-0.1623	-0.1353
360	-0.3581	-0.2920	-0.2520	-0.2249

表 7 所列是不同船长、不同缩尺比船模根据公式(11)计算得到的 $\Delta C$  值。从表中可以看出船越长, 缩尺比越大,  $\Delta C$  值越小; 船越短, 缩尺比越小, 则 $\Delta C$  值越大。

#### 4 应用相关系数法精确计算实船的总阻力系数

相关系数 $\Delta C$  由粗糙度补贴系数 $\Delta C_r$  和尺度影响系数 $\Delta C_\lambda$  组成。粗糙度补贴系数主要影响实船的摩擦阻力系数, 即实船粗糙表面摩擦阻力系数为 $C_{fs}$  与 $\Delta C_r$  之和。尺度影响系数主要影响实船的剩余阻力系数。由于船模水流运动场与实船水流运动场不完全相似, 旋涡阻力与船的排水体积不成正比, 而与船的湿表面积成正比, 因此计算实船的剩余阻力系数 $C_{rs}$  必须消除尺度作用的影响, 即

$$C_{rs} = C_{rm} - \Delta C_\lambda$$

#### 4.1 装有舭龙骨的单桨实船总阻力系数的确定

由于舭龙骨是按流线安装的, 所以只增加实船的摩擦阻力。装有舭龙骨的船的摩擦阻力系数为

$$C_{fB} = \frac{S + S_{BK}}{S} (C_{fs} + \Delta C_f)$$

式中:  $S$  为实船裸船体湿面积,  $S_{BK}$  为舭龙骨面积。

剩余阻力系数 $C_{rs}$  为

$$C_{rs} = C_{rm} - \Delta C_\lambda$$

总阻力系数 $C_{TS}$  为

$$C_{TS} = \frac{S + S_{BK}}{S} \cdot (C_{fs} + \Delta C_f) + C_{rs} - \Delta C_\lambda \quad (15)$$

式中 $\Delta C_r$  和 $\Delta C_\lambda$  分别由公式(12)、(13)求得。

#### 4.2 双桨或三桨船包括美人架、轴和舵的总阻力系数的确定。

以前用二因次法计算双桨或三桨船的总阻力系数时, 均把美人架、轴和舵所增加的阻力作为剩余阻力考虑, 这显然是不合理的。

图中所示为 6705kW 双桨双舵破冰船经过船模试验分析和计算得到的兴波阻力系数 $C_w$  曲线<sup>[2]</sup>。

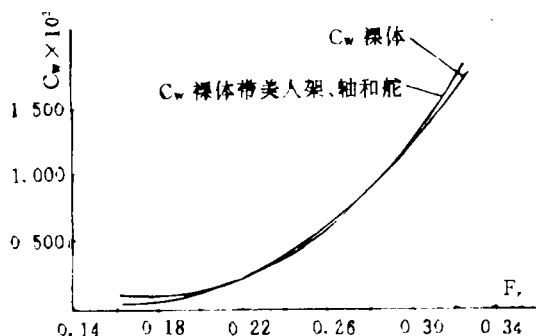


图 1 6705kW 双桨双舵破冰船兴波阻力系数曲线图  
由图 1 可知, 裸船体的兴波阻力系数与安装艏附件后的兴波阻力系数基本重合。在通常营运航速范围内, 双桨或三桨船装上艏附件所增加

(下转 21 页)

率,结果见图9。图9中的航速以任务书要求航速的相对值给出。

## 6.2 脉动压力和振动

在左桨上方的船壳板上装有9个压力传感器,测量了6档转速时的各点脉动压力,测量结果为:在最大持续功率和转速463r/min时,桨上方偏后230mm一点的脉动压力最大,达3.75kPa;其次是桨正上方的一点,为3.6kPa,均小于模型试验预报值。

共对7个部位的11个测点进行航行总振动测量。测得船体最大总振动是在2甲板尾端212号肋骨中部的垂向振动,在相应的463r/min时,叶频分量加速度为 $0.39\text{m/s}^2$ ,400r/min时的倍叶频分量加速度为 $0.64\text{m/s}^2$ 。

## 7 结 论

我国在护卫舰上第一次应用5叶侧斜桨已走过了从理论设计、模型试验、实桨制造、航行试验、修改、再试验到最终交付使用的研制全过程。概括前述,可得如下结论:

(1)所采用的环流理论升力线、升力面计算方法及相应计算程序是适用于设计水面舰船桨叶及预报其设计工况下的水动力性能的。

(2)在设计工况463r/min和最大工况

480r/min时,舰的实测航速达到了设计要求并略超过原设计值。

(3)桨叶强度满足使用要求。经随边切割后的螺旋桨在第二次试航中,以主机额定转速 $2 \times 463\text{r/min}$ 的全速航行了12h,最大转速 $2 \times 480\text{r/min}$ 的最大航速航行5h以上,全速倒车20min。其中包括全速满舵回转、全速Z形操纵、全速操舵以及从全速正车到全速倒车的惯性等试验,桨叶未发生任何变形。至1994年,该舰已航行超过900h,13000 n mile并经受高海情考验,也证明设计桨具有足够强度,可满足使用要求。

(4)脉动压力和船体振动均明显减小,且桨叶上无空化剥蚀。

## 8 参考文献

- 1 严宝兴,唐雷杰,王文美.一型护卫舰5叶侧斜螺旋桨的研究设计.武汉船舶设计研究所上海分部.1995年学术交流论文集,1995.10
- 2 叶永兴.螺旋桨升力线理论设计计算程序.舰船性能研究,1978(3).
- 3 Cheng H M. Hydrodynamic Aspect of Propeller Design Based on Lifting Surface Theory, Part I, Arbitrary Chordwise Load Distribution. DTMB Report-1803, AD 619506, 1965

(上接第30页)

的阻力可近似地由与摩擦阻力成一定量比例关系的粘性阻力来代替。

双桨或三桨实船(包括艏附件)的摩擦阻力系数为

$$C_f = \frac{C_{Tm} - C_{rm_0}}{C_{fm}} \cdot (C_{fs} + \Delta C_f)$$

式中 $C_{Tm}$ 为双桨或三桨船船模(包括艏附件)的总阻力系数, $C_{rm_0}$ 为双桨或三桨船船模裸船体的剩余阻力系数, $C_{fm}$ 为双桨或三桨船船模裸船体的摩擦阻力系数。

双桨或三桨实船剩余阻力系数为

$$C_{rs} = C_{rm_0} - \Delta C_\lambda$$

双桨或三桨实船(包括艏附件)的总阻力系数为

$$C_{Ts} = \frac{C_{Tm} - C_{rm_0}}{C_{fm}} \cdot (C_{fs} + \Delta C_f) + C_{rm_0} - \Delta C_\lambda \quad (16)$$

最后值得一提的是,由于相关系数法消除了船模的尺度影响,因而船模可以不必做得很大,3~4m的船模就可以保证试验数据的足够精度。

## 5 参考文献

- 1 周健,姜次平,盛振邦等.几何相似船模的试验研究.上海交通大学学报,1981(2).
- 2 姜次平,陈良权.双螺旋桨船的美人架阻力的尺度效应.上海交通大学学报,1982(3).

## CONTENTS

### **Developing Tendency of Gyrocompasses and Suggestions about Developing Ways of National Products** ..... *Song Meiwen* (4)

On the basis of summarizing the international developing tendency of gyrocompasses and the present technical condition of national products during the 1980s and 1990s, the technical ways of developing the national gyrocompasses are discussed.

**Key words** Gyrocompasses, Marine navigation, Navigational instruments

### **The State of Arts and Development Trend of Marine Diesel Engines and the Proposed Countermeasures** ..... *Wu Yunwei* (7)

This article presents the corresponding countermeasures in light of the recent state and development trend of marine diesel engine both at home and abroad

**Key words** Marine diesel, Development, Countermeasure

### **The Design of Dual Functioned Submersible** ..... *Yang Yansheng, Han Duanfeng, Su Yongchang* (13)

A dual functioned submersible for underwater detection and operation is introduced in this paper. The system of the submersible, its equipment, general arrangement, as well as its model test and trail experiment are described and introduced in detail.

**Key words** Submersible, Design

### **The Five-blades Skewed Propellers for a Frigate** ..... *Yan Baoxing, Tang Leijie Wang Wenmei* (16)

This paper describes the whole process from design, model tests and full scale trial of five-blades skewed propeller, which is the first of such type in China equipped on a frigate. The Performance characteristics of ship's speed and vibrations are given. The comprehensive test data, such as performance curves, cavitation and fluctuating pressure of propellers and the ship's vibration are illustrated. An effective measure adopted for improving the local deformation of trailing edges for skewed propellers is discussed as well.

**Key words** Frigate, Propeller, Skewed propeller

### **Feasibility Study of Highly-skewed Propeller for VLCC** ..... *Ye Yongxing, Yang Changpei* (22)

A highly-skewed propeller(HSP)design package has been developed, its feature and function are described. Six HSP models for four large scale ships were designed and tested. The results indicate that the design method has high accuracy and the package is reliable. The package, which includes the computer program based on lifting line method and lifting surface method, can generate propeller drawing automatically. In addition to the HSP, two MAU conventional propellers for two ships were designed as well. Comparative experiments of seven propeller models behind wake field simulated by dummy model for fluctuating pressure measurement were carried out in cavitation tunnel. The results show that fluctuating pressure induced by HSP may be 30% lower than that by MAU conventional propellers, then HSP induces low vibration forces. Self-propulsion tests in towing tank also show that ships fitted with HSP can reach same speed as with the conventional one. Finally, an example of HSP for a 280,000t VLCC is described.

**Key words** VLCC, Highly-skewed propeller, Fluctuating pressure

### **Correlative Coefficient of Ship's Resistance and It's Application** ..... *Bao Yi, Xu Dingsheng* (27)

On the basis of ship model experiment and analysis, this article puts forward the method of application of correlative coefficient for conversion of resistance between ship model and actual ship. The correlation coefficient considers the roughness of actual ship and scale effect of model. Thus it has more degree of precision than the conventional assessment of two dimensional method and three dimensional method.

**Key words** Correlative coefficient, Scale effect, Viscous pressure, Resistance