

# 侧推器的初步设计

华东船舶工业学院 汪海瀚

第七〇八研究所 汪诚仪

**提要:**本文介绍了侧推孔低阻孔口的设计,阐述了侧推器的水动力外部特性、射流与船体的相互作用;分析了零航速时侧推器推力、功率与船体回转角速度的关系;对航速使侧推力下降的现象作了分析并推荐两种方法改善上述现象。

**关键词:**侧推器,侧推孔,航速,侧推力,外部设计,设计方法

## 1 前言

大型船舶在狭窄航道或港口掉头以及靠离码头时,仅仅依靠通常的舵设备较为困难,甚至是不可能的,而侧推器能获得较好的操纵性,并能在恶劣的情况下,也能完全操纵船只。另一方面,侧推器也是航天测量船、猎扫雷艇在有风浪流的开敞水域实施动力定位所必需的装置。

侧推器在减少拖轮租费方面能得到迅速的收益。对于一般典型的货轮,仅3~4年的拖轮租金就可回收侧推装置的全部费用。

本文在介绍工作船A侧推孔的低阻孔口形状设计的同时,还论述了侧推器的水动力外部特性、侧推器射流与船体的相互作用、外力估算、零航速时侧推器的推力、功率与船的回转角速度的关系、航速对侧推力的影响。

## 2 侧推孔低阻孔口形状的设计

为了减小侧推器的工作噪音,工作船A的侧推装置由两个单向侧推器组成(见图1)。侧推孔的开口导致了该处流场的破坏和船体阻力的明显增加,另一方面开口影响进

出孔口的流线光顺。

侧推孔引起船体阻力增值的原因是水流对侧推孔后壁的冲击。如果通过侧推孔轴线作垂直于该处流线的平面,称为对称平面(图2)。对称平面把侧推孔圆筒分为前壁和后壁。由于船体线型的缘故,后壁圆柱面的母

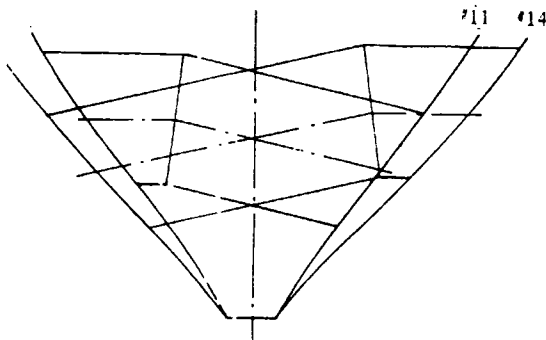


图1 两个单向侧推器的布置简图

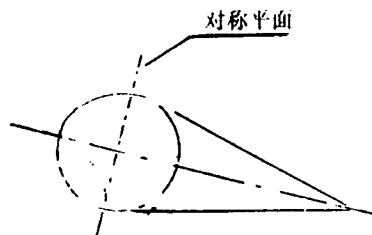


图2 侧推孔的侧视图

线总是长于前壁的母线,使得流经侧推孔的水流在后壁受阻。圆柱面的前壁和后壁与船体的相贯线投影到对称平面上围成的面积(图3)使得来流折向舷外。由于后壁的张口方向为迎流方向,因此流动为二维(图4),据此,侧推孔口处的水动力模型可简化成射流对垂直平板的冲击(图5),因此增加了船体的阻力。

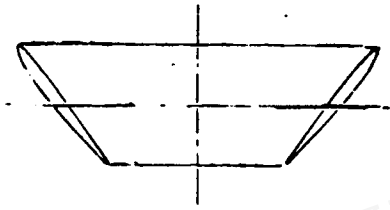


图3 侧推孔沿流线方向的视图

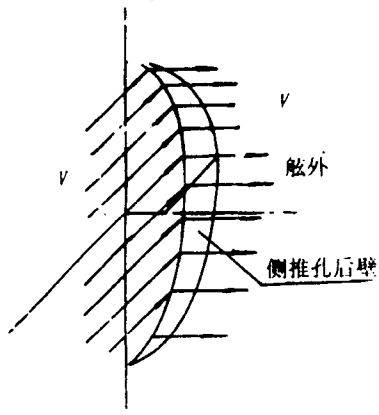


图4 侧推孔开口处二维流动模型

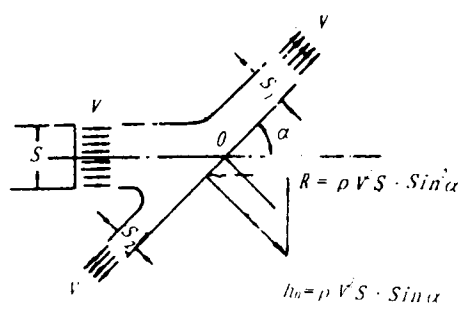


图5 射流对平板的冲击

文献[1]试验证明了侧推孔引起的阻力增值为

$$R = \rho V^2 S \quad (1)$$

式中  $\rho$  为流体密度;

$V$  为航速;

$S$  为图3中相贯线面积。

减少侧推孔开口引起的阻力增值,一般都在侧推孔开口后方开设导流槽,使后壁与前壁在对称平面上的投影面积相等,开设导流槽的方法详见文献[1]所述。由于A船有两个相邻的轴向侧推孔,前侧推孔如开设导流槽,在侧视图上,前导流槽势必与后侧推孔重叠,造成后侧推孔的前壁更加减少,其后果是后侧推孔的导流槽的深度加大。为了避免上述情况,将前侧推孔的导流槽取消,代之以侧推孔前方的导流罩。后侧推孔仍以导流槽降阻(图6)。导流罩高度和导流槽深度决定

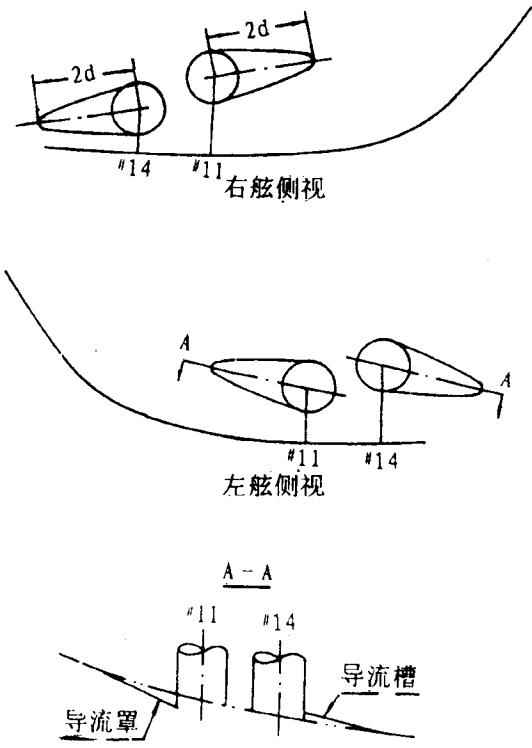


图6 导流罩和导流槽

的原则是侧推孔前、后壁在对称平面上的投影相等,水流对侧推孔后壁无冲击作用。导流罩和导流槽的方向由船模流线试验决定,长度取 1.5 倍侧推孔直径。

减阻孔口形状还包括侧推孔与船体表面的圆弧或折线的过渡形式(图 7),使进出侧推孔的流线光顺。

对裸船体,开侧推孔裸船体以及采取装设导流罩、导流槽和改进开口形状等降阻措施的开侧推孔的裸船体 3 种状态分别进行船模阻力试验,以测定侧推孔阻力增值和考核降阻措施的效果。阻力试验表明,圆弧和折线两种孔口形状的船体阻力是相同的,因此第三种状态的开口形式包括圆弧和折线两种情况。

三种状态的船模阻力见表 1。其中  $R_1$  是裸体船模阻力, $R_2$  是仅开侧推孔时的船模阻

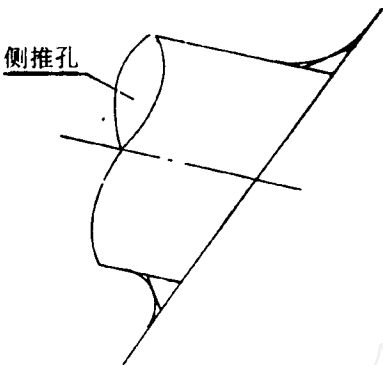


图 7 侧推孔口的形状有圆弧和折线两种

力, $R_3$  是开侧推孔并有降阻措施时的船模阻力。表 1 还列出了表征侧推孔和降阻措施的阻力特性的各种参数。为了便于分析侧推孔的阻力特性,本文还列出工作船 B 的侧推孔阻力及特性参数(表 2)。

表 1 A 船侧推孔阻力及降阻措施效果分析

$V$	$R_1$	$R_2$	$R_2 - R_1$	$\frac{R_2 - R_1}{R_1}$	$\frac{R_2 - R_1}{V^2}$	$R_3$	$R_3 - R_1$	$\frac{R_3 - R_1}{R_1}$	$\frac{R_3 - R_1}{V^2}$	$\frac{R_3 - R_1}{R_2 - R_1}$
0.2	0.17	0.21	0.04	0.235	1.00	0.183	0.013	0.076	0.325	0.325
0.4	0.68	0.84	0.16	0.235	1.00	0.730	0.050	0.074	0.313	0.313
0.6	1.59	1.96	0.37	0.233	1.03	1.702	0.112	0.070	0.311	0.302
0.8	2.90	3.57	0.67	0.231	1.05	3.098	0.198	0.068	0.309	0.296
1.0	4.62	5.68	1.06	0.229	1.06	4.925	0.305	0.066	0.305	0.288
1.2	7.00	8.55	1.55	0.221	1.08	7.436	0.436	0.062	0.303	0.281
1.4	10.1	12.25	2.15	0.213	1.10	10.69	0.59	0.058	0.301	0.274
1.6	14.0	16.87	2.87	0.205	1.12	14.76	0.76	0.054	0.297	0.265
1.8	18.9	22.6	3.70	0.196	1.14	19.83	0.93	0.049	0.287	0.251
2.0	25.2	29.92	4.72	0.187	1.18	26.31	1.11	0.044	0.278	0.235
2.2	36.2	42.3	6.10	0.169	1.26	37.5	1.30	0.036	0.269	0.213
2.4	53.6	61.6	8.00	0.149	1.39	55.1	1.50	0.028	0.260	0.188

\*  $V$  为船模速度(m/s), $R$  为船模阻力(N),表 2 亦然。

表 2 B 船侧推孔阻力及降阻措施效果分析

$V$	$R_1$	$R_2$	$R_2 - R_1$	$\frac{R_2 - R_1}{R_1}$	$\frac{R_2 - R_1}{V^2}$	$R_3$	$R_3 - R_1$	$\frac{R_3 - R_1}{R_1}$	$\frac{R_3 - R_1}{V^2}$	$\frac{R_3 - R_1}{R_2 - R_1}$
1.2	6.4	8.5	0.21	0.328	0.146	6.8	0.04	0.063	0.028	0.190
1.3	7.7	10.0	0.23	0.299	0.136	8.1	0.04	0.052	0.024	0.174
1.4	9.0	11.6	0.26	0.289	0.133	9.4	0.04	0.044	0.020	0.154
1.5	10.5	13.5	0.30	0.286	0.133	11.0	0.05	0.048	0.022	0.167
1.6	12.4	15.7	0.33	0.266	0.129	12.9	0.05	0.040	0.020	0.151
1.7	14.6	18.3	0.37	0.253	0.128	15.1	0.05	0.034	0.017	0.135
1.8	17.2	21.4	0.42	0.244	0.130	17.6	0.05	0.029	0.015	0.119
1.9	20.0	24.7	0.47	0.235	0.130	20.4	0.05	0.025	0.013	0.106
2.0	23.1	28.4	0.53	0.229	0.133	23.5	0.05	0.022	0.012	0.094
2.1	27.1	33.0	0.59	0.218	0.134	27.5	0.05	0.018	0.011	0.085

侧推孔引起的阻力 ( $R_2 - R_1$ ), 除了射流对后壁的冲击力  $R_j$  以外, 实际上还包括水线下有限深度的孔口的兴波阻力  $R_a$  和孔内流体绕流所引起的形状阻力  $R_v$ 。上述三种阻力成份随船速增高而变化的规律都不一样:  $R_j \propto V^2$ ,  $R_a \propto V^6$ , 形状阻力系数  $C_v = \frac{R_v}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$  在

中低速时随速度增高而下降, 在超临界区内是一个不取决速度的无因次常数<sup>[2]</sup>。当速度增高时,  $R_a$  增长得最快,  $R_j$ 、 $R_v$  增长较慢, 使得各特征参数有不同的变化规律。采用降阻措施后的侧推孔引起的阻力 ( $R_3 - R_1$ ) 的主要成份是  $R_v$ 。  $R_j$  已经消除, 当然还有  $R_a$  残余。

本文用  $\frac{R_2 - R_1}{V^2}$  代替  $\frac{R}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$  来考核孔口

后壁动压力系数的变化。  $\frac{1}{2}\rho V^2$  是流场中物体表面的驻点压强, 称为动压力, 动阻力  $R$  与  $\frac{1}{2}\rho V^2 S$  之比称为动阻力系数。根据二维平板射流的原理, 侧推孔后壁的动压力系数应当是与航速无关的, 但由于侧推孔口接近水

线面, 航速增高时, 与射流对侧推孔后壁冲击  $R_j$  相比, 侧推孔引起的兴波阻力迅速增大, 这一项并入 ( $R_2 - R_1$ ) 后, 使动压力系数  $\frac{R_2 - R_1}{V^2}$  随速度增加而增大。文献 [1] 曾在不同吃水状态做过侧推孔的阻力增值试验。结果表明, 在吃水深时动压力系数基本不变, 吃水浅时航速增高使动压力系数增大。

既然侧推孔阻力增值具有二维平板射流的性质, 即  $R_j \propto V^2$ , 而船体的兴波阻力  $R_w \propto V^6$ , 当速度增高时, 侧推孔引起的阻力 ( $R_2 - R_1$ ) 的增长低于裸船体阻力  $R_1$  的增长, 所以  $\frac{R_2 - R_1}{R_1}$  随速度增加而减小。

当侧推孔采用减阻措施后, 侧推孔的形状阻力  $R_v$  随船速增长程度同样赶不上裸船体阻力的增长, 所以  $\frac{R_3 - R_1}{R_1}$  下降。  $\frac{R_3 - R_1}{V^2}$  随船速增加而减小的原因是中低速段  $C_v$  随速度增高而减小。

降阻效果  $\frac{R_3 - R_1}{R_2 - R_1} = \frac{R_v}{R_j + R_a + R_v}$ , 如前所述, 孔口兴波阻力  $R_a \propto V^6$ ,  $R_a$  的消除在高速时产生了明显的降阻效果。

### 3 侧推器的水动力特性

侧推器操作时,在时间  $t$  内流经侧推孔的流体动量:

$$mV = \rho Q t V \quad (2)$$

根据动量定理可知,流体受侧推器的作用力等于流体动量随时间的变化率:

$$F = \frac{mV}{t} = \rho Q V \quad (3)$$

其中  $Q$  为单位时间的流量。

流体对侧推器的反作用力

$$T = \rho Q V'; \quad (4)$$

其中  $V'$  为射流的法向速度。

由于  $Q = A_T V'$ ,  $A_T$  是侧推孔的面积,因此

$$T = \rho A_T V'^2 \quad (5)$$

侧推孔轴向压力分布如图 8 所示。

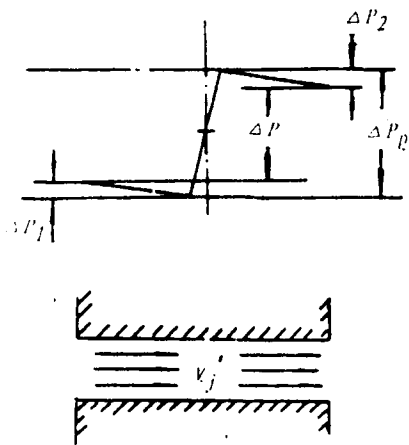


图 8 侧推孔轴向压力分布

根据柏努利方程,侧推孔两端的动压力差

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho V'^2 \quad (6)$$

侧推器所做的水动力功

$$P_N = Q \Delta P = \frac{1}{2} \rho A_T V'^3 \quad (7)$$

侧推器的比推力

$$C = \frac{T}{P_N} = \frac{2}{V'_j} \quad (8)$$

由上式可知,增加侧推孔的横截面积  $A_T$ 、减小射流速度  $V'_j$ ,可提高比推力。

侧推器的实际比推力

$$C_0 = \frac{Y_0}{P_0} \quad (9)$$

其中  $Y_0$  为装船侧推器所发出的总侧推力;

$P_0$  为侧推器的驱动机的输入功率。

由于流动的不均匀性,推进器的效率,管道内的摩擦和压力损失,进水口能量损失和流动分离以及电机和机械的效率,故

$$C_0 = \frac{1}{2} C \quad (10)$$

由于管道内的压力损失,泵所产生的的压差  $\Delta P_p$  与侧推孔两端的压差  $\Delta P$  是不等的。

$$\Delta P_p = \Delta P + \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (11)$$

其中  $\Delta P_1$  是进口处的压力损失;

$\Delta P_2$  是出口处的压力损失。

进水口损失总是大于喷射口的损失。进水口的形状和位置取决于船型,所以对于进水口的设计应充分注意。如喷管段轴线为曲线,则要求高次光顺。图 1 中侧推孔轴线为折角,仅是示意而已。

加大弯管的曲率半径,改善水流转弯条件,可减少分离区域,减少水力损失。弯管的局部水力损失系数为

$$\xi = [0.131 + 0.16 \left( \frac{d}{R} \right)^{3.5}] \frac{\alpha}{90} \quad (12)$$

其中  $d$  是弯管直径;

$R$  是弯管平均弯曲半径;

$\alpha$  是弯角。

出口处的压力大致等于静压头,而进口处压力大大低于静压头(图 8),必须避免空气吸入。

### 4 侧推器在船上的布置

本文推荐侧推器的安装位置如下(图 9):

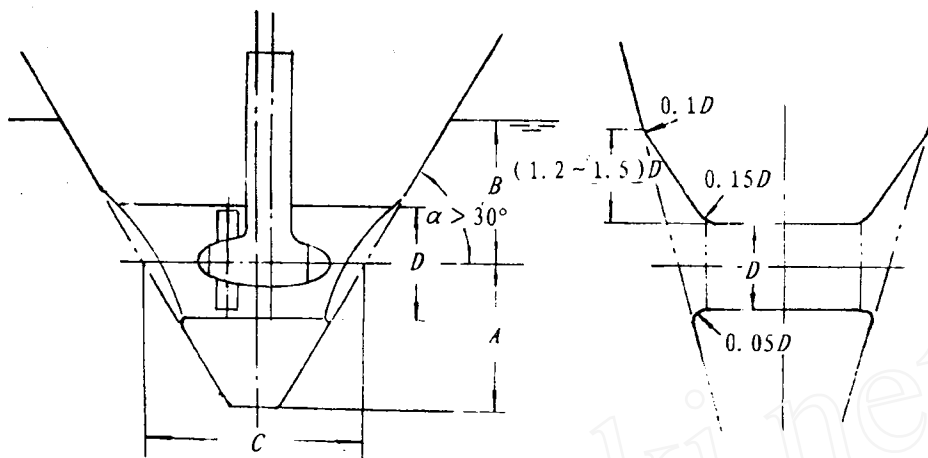


图9 侧推器在船上的布置

螺旋桨中心距基线的高度  $A \geq (1 \sim 1.5)D$ 。

螺旋桨中心距设计水线  $B \geq (1 \sim 1.5)D$ 。

侧推孔进流段越长,流经螺旋桨盘面处的水流越均匀,噪声越小。但侧推孔长度  $C$  越长,摩擦阻力越大,导致侧推效率下降,故对低噪要求者可选用较长侧推孔,反之可选用较短孔。双向侧推器的螺旋桨应尽可能处于侧推孔长度的中心,单向侧推器的螺旋桨应靠近出水口,可使进水导向有较长的距离。

取  $\alpha > 30^\circ$ , 否则侧推效率明显下降。

侧推孔端部格栅间距  $F = (0.12 \sim 0.2)D$ , 格栅横条宽度  $G = (0.3 \sim 0.4)F$ , 厚度  $H = 0.1F$ , 格栅直条直径  $I = 0.1F$ 。

## 5 侧推器射流与船体的相互作用

装于船上的侧推器所产生的推力  $Y_0$ 。与单个侧推器所发出的推力  $T$ , 由于射流与船体的相互作用, 两者是不等的(图10)。

$$Y_0 = T + I_1 + I_2 \quad (13)$$

其中  $I_1$  是进水口处船体与射流的相互作用,

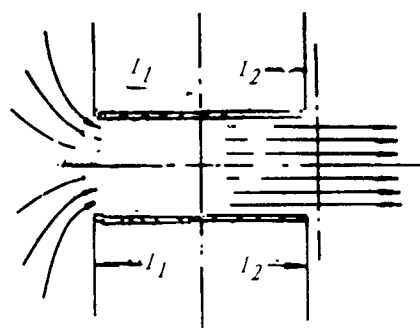


图10 射流与船体的相互干扰

包括该处有利的吸力场和流动加速度;

$I_2$  是出水口处船体与射流的相互作用。

出口处射流截面扩张面非收缩, 射流周围的旋涡引起能量损失(图11), 引起侧推力的改变都包括在  $I_2$  内。

文献[3]通过两个实验装置, 用不同的进水口形状和射流周围的不同介质引起不同侧推力  $Y_0$ 。来分别说明进水口和出水口船体与射流的相互作用  $I_1$  和  $I_2$  是存在的, 结论也相当明确:

(1) 圆弧进水口比尖角进水口具有更大的推力;

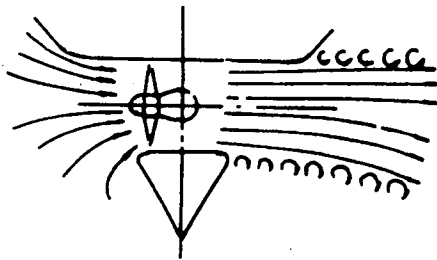


图 11 侧推孔出口处射流的扩张

(2) 侧推孔中水流射入空气所产生的推力比射入水中要大。

A 船的模型试验结果与上述结论 (1) 不谋而合: 在相同的螺旋桨转速时, 圆弧孔口的侧推力与功率之比  $K_1$  较尖角孔口高 12~22%; 当航速为 6 kn 时高 44~74%, 这是因为尖角孔口的侧推力在高速时骤跌之故。

A 船的侧推力与桨推力之比  $K_2$ , 在航速为零时, 尖角进口略大于 1, 而圆弧进口可达 1.16~1.22。在航速为 6 kn 时尖角进口的  $K_2$  跌至 0.6~0.7, 而圆弧进口可达 1.09~1.16。

理论上, 射流周围的介质, 无论是水还是空气, 对射流的反作用力  $T$  是无影响的, 但实际上对总侧推力  $Y$  是有影响的。文献 [3] 证明水流射入空气比射入水中有较大的侧推力, 其原因是水流射入水中, 射流扩张, 射流周围伴有旋涡使侧推力下降, 而水流射入空气就不存在上述情况。

## 6 侧推器容量的估算

侧推器的容量对船舶驾驶性能是一个重要的因素, 而侧推器的容量由船舶设计人员根据船舶的使用要求确定, 这些要求分为两类: (1) 抗风力、抗流力要求, (2) 在无风浪的条件下船体回转角速度的要求。

本文推荐几种估算侧推器容量的方法, 估算的方法绝大部分来自对以前发表的资料

的重新分析。

(1) 由靠离码头时针对抗风力来确定侧推器容量。

这一方法用于估算横风向中的船体在一端有拖轮或系缆机系住的情况下, 以 0.25 m/s 的速度平行靠码头时所需的推力。对于不同的船型、进出港时有不同的界限风速, 称为标准风速 (表 3), 根据标准风速, 由图 12 可推算出侧推器的推力。

表 3 用于估算侧推器容量的风速 (m/s)

船舶类型	标准风速 (m/s)
货船 (包括集装箱船)	8~12
客船和渡船	6~14
渔船	10
调查船	10~19

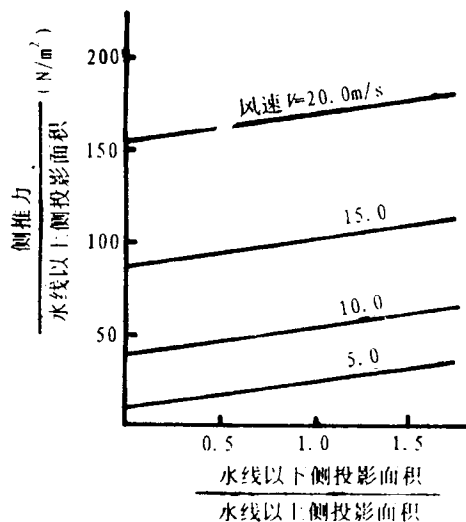


图 12 根据风速确定侧推器的容量

(2) 根据船舶水上和水下侧面积估算侧推力。

根据单位侧面积上侧推力的统计数据 (表 4) 估算各类船舶所需的侧推力, 侧推力不仅可用水上侧面积, 而且也可能用水下侧

面积来计算,二者取大值。

**表 4 根据水线以上和水线以下的侧面积 (m<sup>2</sup>)估算单位面积的侧推力(N/m<sup>2</sup>)**

	客船, 轮渡	货船, 拖船, 拖网渔船	油船, 散货船	挖泥船, 领港船, 特种船
水线以上	30~80	30~70	30~60	30~80
水线以下	80~140	50~90	40~70	80~120

客船、轮渡的水上侧面积通常是水下侧面积的 3 倍。

货船、拖船、拖网渔船,相同的船型侧面积差异很大,特别是货船,很难引用专门的数据,但表 4 中给定的数据一般也可使船舶有满意的机动性。

油船、散货船水下侧面积可以是水上侧面积的两倍或更大,侧推器大小的选择都是基于水下侧面积。

挖泥船、领港船和其它特种船舶,相同船型侧面积也相差很大。

一般,侧推器每产生 1 kN 推力需要侧推器原动机的功率为 6.2 kW。

(3) 由船体回转角速度决定侧推器的侧推力。

图 13 可以根据回转角速度  $\omega$  ((°)/s) 或回转 360°所需的时间  $h$  (min) 确定侧推器的推力。

## 7 零航速时侧推器的推力、功率与船的回转角速度的关系

刚体动力学认为刚体的一般运动如果分解为基点的平行移动以及相对基点的转动,则刚体与其质心一起的平移规律取决于作用在刚体上的合力,而刚体相对于质心的转动规律取决于刚体上作用力对质心的合力矩。

在总侧向力  $Y_0$  的作用下,船同时作横移和旋转运动。如果首侧推器在首垂线附近,在

初始瞬间,旋转中心  $P$  位于舯后的距离为 (见图 14)。

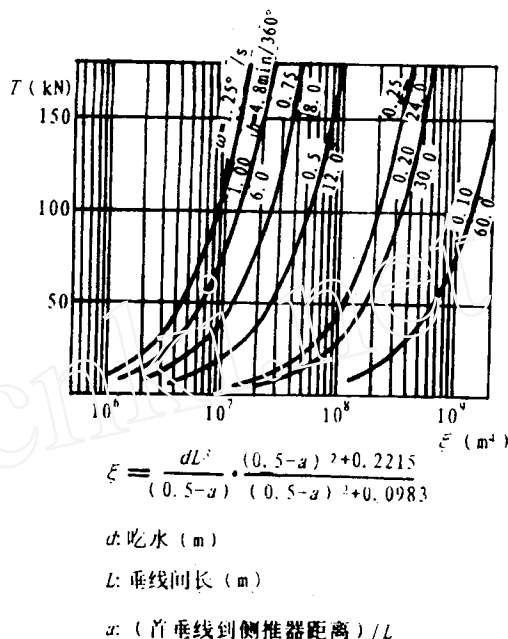


图 13 根据回转角速度  $\omega$  确定侧推力  $T$

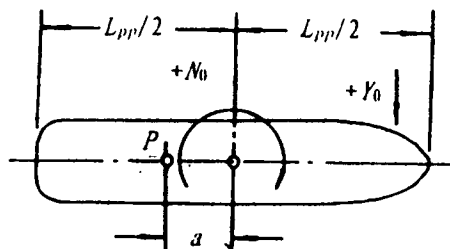


图 14 回转初始瞬间的旋转中心  $P$

$$a = 2i^2 / L_{PP} \quad (14)$$

其中  $i$  为纵向惯性半径。

当回转角速度  $\dot{\varphi}$  不变时,惯性力为零。回转力矩由水动力阻尼力矩平衡,水动力阻尼力矩由作用在  $T \cdot dx$  的微面积上的横向阻力引起 (图 15)。

当回转角速度  $\dot{\varphi}$  不变时,在纵轴位置  $x$  上的横向速度  $V(x) = x\dot{\varphi}$ 。

相应微段上的横向阻尼力

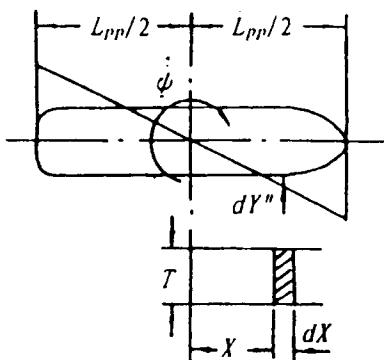


图 15 用切片法计算水动力阻尼力矩

$$dY'' = C_1 \cdot x^2 \cdot \dot{\psi} \cdot T \cdot dx \quad (15)$$

其中  $T$  为吃水。

相应微段上的横向阻尼力矩

$$dN'' = C_2 \cdot x^3 \dot{\psi} \cdot T dx \quad (16)$$

作用在全船上的阻尼力矩

$$N'' = C_3 L_{PP}^4 \dot{\psi} \cdot T \quad (17)$$

侧推器产生的回转力矩

$$N_0 = C_4 \cdot L_{PP} \cdot Y_0 \quad (18)$$

$$N_0 = N'' \quad (19)$$

$$\dot{\psi} = K \cdot \sqrt{\frac{Y_0}{\rho L_{PP}^3 T}} \quad (20)$$

系数  $K$  的量纲为角度,由系统的船模与实船试验求得。

$K = 160^\circ$ , 用于细长的前半体和后半体、双舵和远离首、尾垂线的侧推器的船。

$K = 220^\circ$ , 用于单舵、敞开的呆木间隙、圆弧形的前体和侧推器接近垂线的船。

$K = 190^\circ$ , 是为上述情况的平均值。

推力/侧面积比

$$f = \frac{Y_0}{L_{PP} T} \quad (21)$$

将式 (21) 代入式 (20) 得:

$$\dot{\psi} = \frac{K}{L_{PP}} \sqrt{\frac{f}{\rho}} \quad (22)$$

利用  $L_{PP}$ 、推力/侧面积比  $f$  和平均  $K$  值 190, 可绘制设计用图表 (图 16), 图中标志船舶类型的区域与回转角速度  $\dot{\psi}$  都作为参数。

根据图 16 可由船舶类型和船长查到  $f$  和  $\dot{\psi}$ , 由式 (21) 再求得  $Y_0$ 。  $\dot{\psi}$  也可由式 (22) 求得。

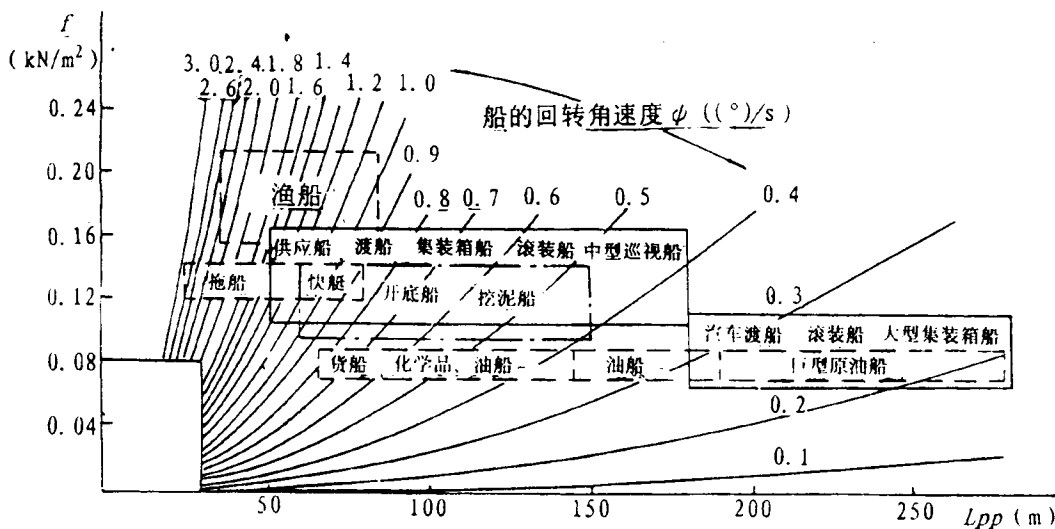


图 16 推力/侧面积比与回转角速度的关系

例如 A 船  $L_{pp}=48\text{ m}$ ,  $T=2.45\text{ m}$ , 侧推孔  $D=1\text{ m}$ , 在图 16 上由拖船类和  $L_{pp}$  查得统计值  $f=0.13\text{ kN/m}^2$ 。

A 船呆木面积较小, 侧投影面积为  $0.9 L_{pp}T$  (图 17)

$$Y_0 = f \times 0.9 L_{pp} T = 13.76\text{ kN}$$

因船体与射流的相互作用, 取

$$T = 0.9 Y_0 = 12.38\text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{由式 (5)} \quad V'_j &= \sqrt{\frac{T}{\rho A_T}} \\ &= \sqrt{\frac{12380}{1020 \cdot \pi \times 0.5^2}} \\ &= 3.93\text{ m/s} \end{aligned}$$

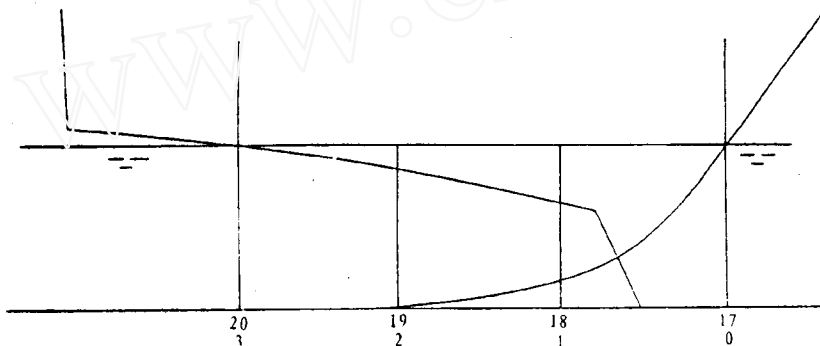


图 17 首、尾轮廓图

$Y_0$  减小后,  $\dot{\phi}$  相应改变。由式 (20) 可知  $\dot{\phi} = C Y_0^{1/2}$ , 根据本船的  $Y_0$  和  $\dot{\phi}$  值可得本船的  $\dot{\phi}$  为

$$\dot{\phi} = 0.38 Y_0^{1/2}$$

式中  $\dot{\phi}$  为  $(^\circ)/\text{s}$ ,  $Y_0$  为  $\text{kN}$ 。

由于不同类型的装船侧推器的  $T/Y_0$ ,  $\Delta P/\Delta P_p$  各异, 所以本方法仅是估算, 但可用来说明侧推器各参数之间的关系。

因推力与转速的关系是  $Y_0 \sim n^2$ , 所以  $\dot{\phi}$  与  $n$  的关系是

$$\frac{\dot{\phi}_1}{\dot{\phi}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (23)$$

由式 (22) 可知, 当  $f$  值不变时, 船的回转角速度与船长的关系是:

$$\text{由式 (8)、式 (10)} \quad C_0 = \frac{1}{V'_j} = 0.254\text{ kN/kW}$$

$$\text{由式 (9)} \quad P_0 = \frac{Y_0}{C_0} = 54\text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \text{由式 (22)} \quad \dot{\phi} &= \frac{K}{L_{pp}} \sqrt{\frac{f}{\rho}} = \frac{190}{48} \sqrt{\frac{130}{1020}} \\ &= 1.41\text{ (}^\circ\text{)/s} \end{aligned}$$

由图 16 查得的  $\dot{\phi}$  与上述结果相符。

需要说明的是由图 16 查得的  $f$  值仅是装船侧推器的统计值, 供设计参考。但  $f$  值的选取可根据船的不同特点而有所改变。如本船装有尾回转推力器,  $f$  和  $Y_0$  可以偏低。

$$\frac{\dot{\phi}_1}{\dot{\phi}_2} = \frac{L_{pp2}}{L_{pp1}} \quad (24)$$

这与图 16 所示相符。

## 8 航速对侧推器的影响

在中、低航速时, 侧推器的操作发生转速下降、推力损失, 噪声和振动都相当大。

航速引起侧推孔进水口水流的扰动 (图 18) 影响了螺旋桨前方的轴向流动速度。图 19 表示了在各种航速时侧推孔进水口处水流的轴向分量。侧推孔前部区域流动速度大量损失, 后部区域的流速大大超过  $6 \sim 8\text{ m/s}$  的平均速度。

所引起的反作用力。

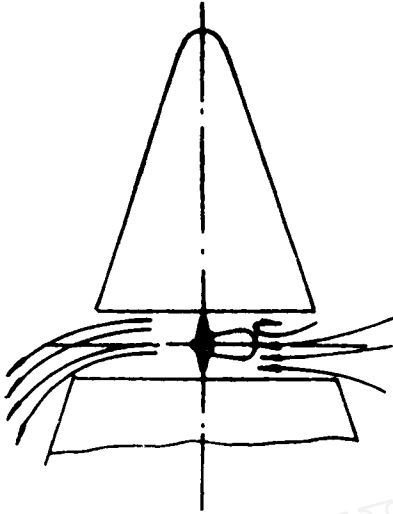


图 18 侧推孔进水口水流的扰动

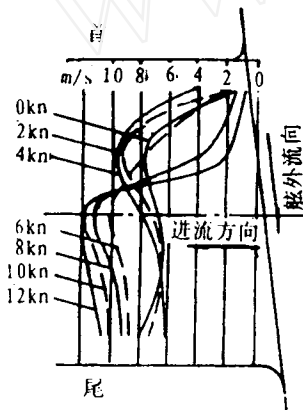


图 19 各种航速时侧推孔进水口处轴向流动速度

K 形首侧推孔 (图 20) 能够改善上述情况,大量试验证明,这种侧推孔具有增加推力及回转力矩 (图 21)、减少振动和噪声、增加使用寿命、改善操纵性和避免过载等优点。

从侧推孔外区域的压力场来看,在进水口后方是正压,出水口后方是负压 (图 22),这些压力区的作用方向与侧推力方向相反,在航速 3~7 kn 范围内,侧推力大大减少。在侧推孔后方装上称为减吸孔的导水管,使正压区与负压区相通,消除了高压区和低压区

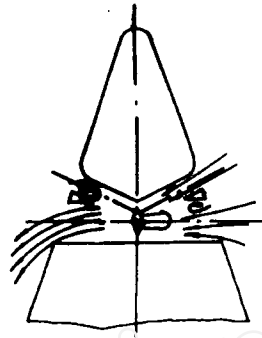


图 20 K 形侧推孔

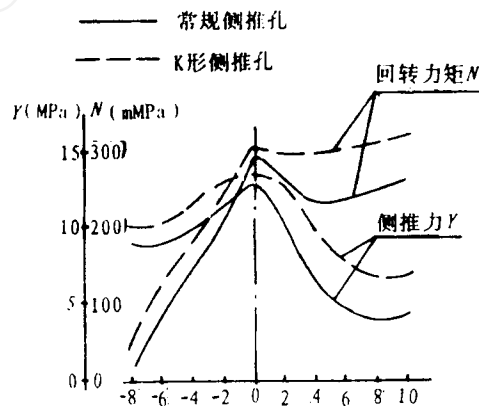


图 21 K 形侧推孔与常规侧推孔的水动力性能的对比

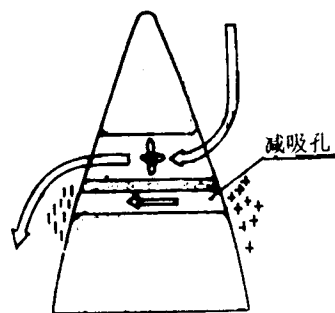


图 22 减吸孔消除侧推孔两侧不利的压力区

(下转第 28 页)

螺旋桨效率的值即为推力减额系数  $t$ 。艇体阻力由船模拖曳试验换算得出,用  $R$  表示。螺旋桨推力为  $T_e$ ,则推力减额系数由下式表示。

$$t = \frac{T_e - R}{T_e}$$

一般高速艇模型试验结果表明,伴流分数  $w$  越大,推力减额系数就越小。

假定舷外挂机滑行艇的螺旋桨在离开艇体的某一位置上的推力减额系数与处在艉板处的  $t$  保持不变,但伴流分数变化较大,即离艉板越远越接近于 0。对于工作在伴流中的螺旋桨,有效推力就相当于克服艇体的阻力  $R$ ,即由螺旋桨发出的推力  $T_e$  乘上船体效率  $(1-t)/(1-w)$ 。

$$T_{\text{有效}} = R = T_e \cdot (1-t)/(1-w)$$

可见,  $(1-t)$  如果不变,  $w$  越大(从负值趋于 0),  $(1-w)$  越小,推进效率就越高。所以艇底断阶有利于提高舷外挂机螺旋桨的推进效率。

## 4 实例

舷外挂机高速滑行艇艇底设置断阶或在尾封板加装机架以提高推进效率已引起国内外造船业和科研设计部门的关注。

(1) 日本 1987 年制造成功了一艘设有断阶的三体高速运动艇(详见图 6)。

主要参数:

$L$ : 7.72 m

$B$ : 2.60 m

$H$ : 1.19 m

乘员: 7 人

空艇重量: 1 020 kg

推进动力: NS 70A  $\times$  2

图中箭头所示为艇底断阶,断阶长度从滑行面后端算起为 450 mm,高度 50 mm。该艇是在 FS-600 型的基础上改进而成。由于设置了断阶,舷外挂机位置相对滑行面造成后移,使重心位置从原来的 34.4% 变为 30.1% (从滑行面后端测至重心的距离占艇长的比),航速比原型艇提高了 1 kn。

(2) 584 双体槽道型高速滑行艇是常州玻璃钢造船厂和总后军事交通运输研究所于 1992 年研制而成的新型快艇,安装一台 73.5 kW 舷外挂机。为了确保螺旋桨有足够的浸深,挂机安装在槽道中心线艉封板上,并使螺旋桨略低于槽壁最低点,但试航时发生了十分严重的机身阻水现象,水大量地飞溅进尾斗中,阻力明显加大,试航航速为 51 km/h。后来在槽道中心后端增设了 600 mm 长、60 mm 高的流线型凸缘将滑槽出水进行分流,消除了阻水,航速提高到 52.8 km/h。该厂正在开发的另一型号的 928 双体滑行艇,在槽道后端设置了长 800 mm、高 60 mm 的断阶,可以断言,阻力将会明显减小,快速性会得到进一步改善。

## 参考文献

- [1] レポートソ丹羽诚一,“NISSAN SVNCAT 7”。《POWER BOAT IMPRESSION》1988. 1.
- [2] Я. И. 沃伊特昆斯基著. 哈尔滨船舶工程学院译.《船舶阻力》,1977.
- [3] 丹羽诚一,“新高速艇讲座”,《船舶》,1981.
- [4] 黄振纲,“双体槽道型快艇”,《江苏船舶》,1993. 2.

(上接第 25 页)

## 参考文献

- [1] 汪诚仪,“船首侧推孔阻力增值估算和导流槽降阻”,《船舶工程》,1986 年第 4 期.
- [2] Л. М. Ногил《相似理论及因次理论》(中译

本).

- [3] 汪诚仪、汪海瀚,“侧推器的水动力外部设计”,《论证与研究》,1994 年第 3 期.

## CONTENTS

## TEST &amp; STUDY

## —On the Design &amp; Study of High Skewed Cavitation

Propeller for 42 kn High Speed Planning Craft ..... *Hua Hanjin* (4)

**Abstract:** Based on the testing and study carried out on a high skewed cavitation propeller for a 40 ton displacement planning craft, the paper presents a study on the repulution of the change of hydrodynamic characteristics of this type of propeller at about 40 kn speed (an incoming flow cavitation number  $v=0.4$ ) and develops control methods to account for the thrust reduction due to cavitation creation resulting in designing successfully the high skewed cavitation propeller for a planning boat running at 42 kn speed.

**Key Words:** High speed planning boat. Skewed. Cavitation. Propeller. Designing

## FORM &amp; CABIN DESIGNING

## —On Form &amp; Cabin Designing of New Type Pleasure Boat &amp;

Super Crew Boat ..... *Cai Weike* (10)

**Abstract:** For modern ships especially for pleasure boats and crew boats. It has become never enough to use just function designing principle, but needs modern form designing and high attention to their cabin layout. The author has made special efforts in this respect in his projects of "Hailu" luxury pleasure boat and 40 passenger super crew boat. The paper presents author's creative ideas and excellent designs adopted for these two projects through good examples.

**Key Words:** Pleasure boat. Crew boat. Form art. Cabin layout

## GENERAL DESIGN

—Initial Design of Ship Thrusters ..... *Wang Haihan Wang Chengyi* (15)

**Abstract:** The paper provides a discussion on the design of low drag thruster tunnel ends, exterior hydrodynamic performance of the thruster, interaction of jet flow and hull, and on this base presents relationships among thrust, power rating and hull turning ample at ship's zero speed. After analysing the phenomena of thrust reduction at ship speed, the author proposes two methods for countering such phenomena. The purpose of the paper is to develop and propose an exterior design method for the thruster.

**Key Words:** Thruster. Thruster tunnel. Speed. Thrust force. Exterior design. Design method

## —Outboard Engine &amp; the Effect of Bottom Steps Boat to

the Propulsion Efficiency of High Speed Planning ..... *Huang Zhenggang* (26)

**Abstract:** Various domestic & abroad examples revealed that for outboard engine and high speed planning boat, the bottom step(s) helps to reduce resistance, increase propeller propulsion efficiency and finally increase ship's speed.

**Key Words:** High speed planning boat. Outboard engine. bottom step(s). Resistance, propulsion efficiency

## OUTFITTING

—Some Musts in Handling Two Section Folding Type Bow Ramp ..... *Shen Wenjun* (29)

**Abstract:** The use of two-section folding type bow ramp on board landing ship has improved the landing