

中国内河运输船舶 优秀节能船型汇编



中华人民共和国交通部
能源管理办公室

U672

H51

354089

中国内河运输船舶 优秀节能船型汇编

主 编： 侯万新
编 委： 何锦淑 高祖纬 陈葆亮
李三春 张海泉
校 对： 周西庆 张海泉



一九九二年

序

我国内河近十年来研制成功一批新型节能船型,其中以双尾船型、涡尾船型、大径深比深隧道尾船型为代表,其节油率都非常可观,大都超过10%,有的更高。

为了促进技术进步,使这些优秀节能船型能够更好地推广应用,我们把各水系中比较优秀的各类节能船型汇编成册,这就是《中国内河运输船舶优秀节能船型汇编》的出版宗旨。收进本汇编的船舶是各水系经过多年实航考验并经过同行专家鉴定的低耗能、高效益的优秀船舶,它们将作为交通部“八五”期间指导水运企业进行船舶更新的技术指南。

本汇编船型有内河双尾型、涡尾型、大径深比深隧道尾型、江海直达双尾鳍型等,船舶类型则有客船、货船(含机动驳)、推(拖)船等。为了使读者对双尾船型及涡尾船型有更深入的了解,我们特邀武汉水运工程学院李世谟教授、长江船舶设计院国家级专家黄春茂高级工程师、华中理工大学薛中川教授撰写有关论文分别介绍双尾船型与涡尾船型的特点、进行船模试验研究和船舶设计的一些关键问题。

本汇编材料包括各船主要图纸、外形照片、船型特点及节能机理、节油率及主要技术经济性能数据、推广应用与发展前景等均作了较为详尽的介绍。

时代在前进,科技在进步。我们深信,本《汇编》的出版将会对我国内河各水系航运事业的发展起到很好的推动作用。各水系将会进一步根据各自航道的优势,不断探索和创新,研制出一代又一代性能更为先进、社会效益更好的新船型。

何锦淑

目 录

序 交通部能源管理办公室主任、高级工程师 何锦波

I 论文

1. 内河双尾节能船型
武汉水运工程学院教授 李世谟 1
2. 双尾客船的设计与推广应用
国家级专家 长江船舶设计院高级工程师 黄春茂 15
3. 平头涡尾客船
华中理工大学教授 薛中川 28

I 节能船型图集及性能介绍

一、客船

1. 820 客位沪渝客船 (武汉、重庆长江轮船公司) 39
2. 巫山号客船 (巫山长江航运公司) 47
3. 丰都 600 客平头涡尾客船 (丰都轮船公司) 56
4. 700 客位汉沙宜客船 (武汉长江轮船公司) 61
5. 金龙号客船 (沅江市运输处) 68
6. 滕王阁号客船 (江西省航运公司) 74
7. 江申 115 客货船 (上海长江轮船公司) 80
8. 穗梧线尖头双尾客船 (广东省珠江航运公司) 88

二、货船、机动驳

1. 闽江 50 吨机动货驳 (福建省南平市航运公司) 96
2. 干支直达 120 吨机动驳 (江西省都昌县航运公司) 102
3. 5000 吨江海直达货船 (上海长江轮船公司) 108
4. 1000 吨简易货船 (上海市航运公司) 122

三、推 (拖) 船

1. 鄂航 319 推船 (鄂航长江分公司) 130
2. 干支直达 490kW 大径深比推船 (湖南长沙轮船公司) 134
3. 黑龙江 485kW 推船 (*609) (合江航运局) 140
4. 长江 22040 推船 (武汉长江轮船公司) 144
5. 长江下游 1500kW 拖船 (上海长江轮船公司) 151
6. 芜湖型 886kW 推船 (芜湖长江轮船公司) 161
7. 长江 587kW 纵流双尾推船 (四川省巫山县轮船公司) 168
8. 武汉型 886kW 推船 (武汉通源公司) 175
9. 新 19m 综合节能推船 (江苏省运河航运公司) 181
10. 西江干支直达拖顶两用船组 (广东省怀集县、郁南县水运公司) 186
11. 黑龙江 735kW 推船 (*1003) (合江航运局) 195

内河双尾节能船型

武汉水运工程学院 教授 李世谟

一、双尾型是一种优良节能船型

内河船舶由于吃水受限,为了保证稳性和一定的载量,往往船宽相对而言较大。即是说通常 B/d 较大而 L/B 较小,从而阻力性能较差。另一方面,内河均有一定的流速,甚至有滩险,从而相对航速(佛氏数)通常较大。航速高、阻力性能差,加之吃水受限导致螺旋桨直径受限,致使螺旋桨负荷重、敞水效率低。所以,内河船舶几乎都采用双桨以分担负荷。但是,即使采用双桨使负荷减半,通常仍只能按受限直径设计螺旋桨(桨径只能为吃水的 65~75%),而且螺旋桨处于伴流值较低且不均匀的位置,故准推进效率仍然不高。例如建国初期,优良双桨客船代表“江蓉”型,其准推进系数仅约 0.5。七十年代初船型得到明显改进,其代表船型“东方红 11 号”型之准推进系数约为 0.6。八十年代初期以来在内河船上引进并推广了双尾船型,性能又有大幅度提高,以“江汉 57 号”型为代表,准推进系数较之“东 11”又提高了 10%以上,接近 0.7。

三种代表性船舶快速性比较见表 1。表中用剩余阻力系数 K_r 代表阻力性能是因为摩擦阻力主要决定于船舶尺度,船型优劣主要表现在剩余阻力大小上。这里用的剩余阻力系数定义为:

$$K_r = \frac{R_r \cdot L}{\Delta V^2}$$

式中 R_r 为剩余阻力, Δ 为排水量。用 Δ/L 取代湿水面积 S 是为了避免 S 的大小影响系数数值,便于比较不同船型。

表 1 三种典型船快速性比较

船型		东 38	东 11	江汉 57
K_r ($Fn=0.29$)	数值	5.3	4.4	4.15
	%	100	83	78.3
Q. P. C	数值	0.494	0.59	0.66
	%	100	119	134

若以东 38 作为比较基础,则从表列数据可见:东 11 之 K_r 下降了 17%,江汉 57 之 K_r 则下降了 21.7%;东 11 之 Q. P. C 上升了 19%,江汉 57 则上升达 34%。若以东 11 作为比较基础,则江汉 57 之 K_r 下降了 5.7%,Q. P. C 上升了 12%。可以看出双尾型节能效果是显著的。

为了综合判断船型质量,表达节能效果,笔者提出了一个快速性综合指标 K ,其定义式为:

$$K = \frac{P_D}{\Delta V}$$

式中 P_D 为螺旋桨所需收到功率(马力); Δ 为排水量(吨); V_k 为船速(公里/小时)。可以导出

$$K \propto \frac{R/\Delta}{Q \cdot P \cdot C} = \frac{R_r/\Delta + R_v/\Delta}{Q \cdot P \cdot C}$$

它既反映了船型的阻力质量 R/Δ 或 R_r/Δ , 又反映了准推进系数 $Q \cdot P \cdot C$ 。另一方面它又由船舶经济性密切相关的三个参数组成, 我们认为它是一个很适用的综合性指标。应当指出, 这里所用的综合指标与常用的海军常数 C 的倒数是一致的, 仅阻力系数定义方式不同而已。但由于 K 系数中引用的是 Δ 和 V_k 而不象 C 系数中引用的是 $\Delta^{2/3}$ 和 V_k^3 , 所以在实际引用中计算 K 系数要方便得多, 也直观得多。

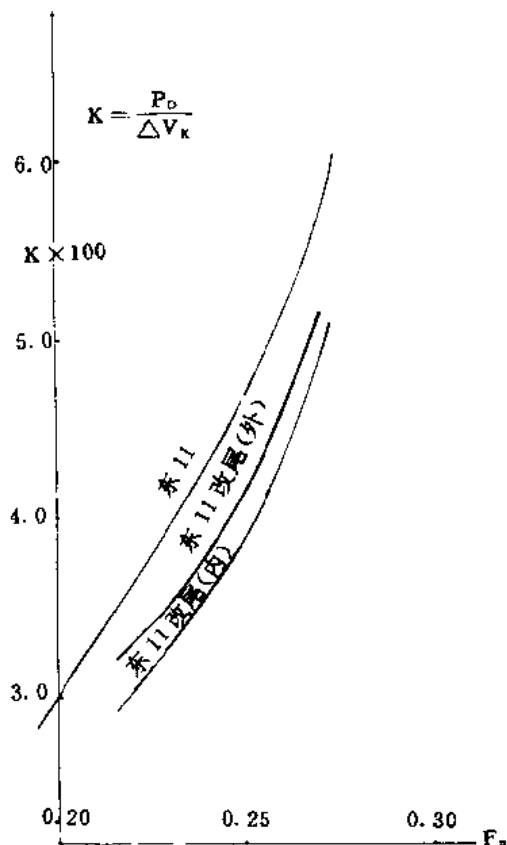


图 1

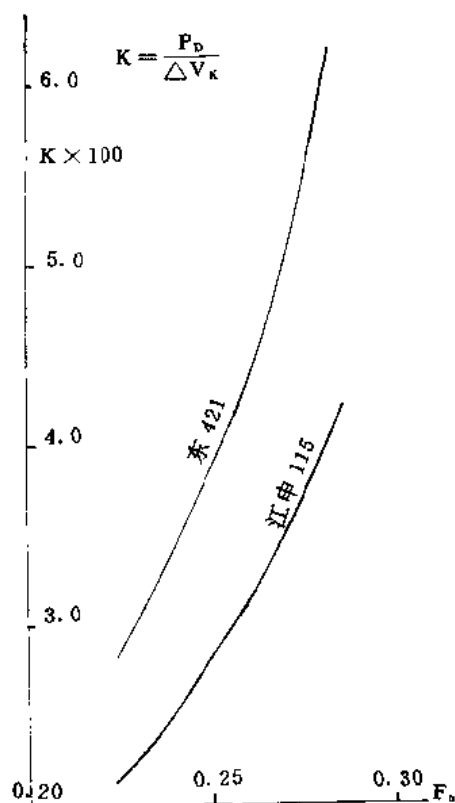


图 2

图 1 至图 3 利用快速性综合指标 K 对若干双尾船型及其对比的常规船型作了比较。图 1 为七十年代优秀常规船型长江下游大型客班轮“东 11”型及其尾型改为双尾后之比较。改型是在主尺度、排水量和前体线型不变的条件下进行的。原型数据取自上海交大的模型试验^[3], 改型数据取自武汉水运工程学院的模型试验^[4]。两组模型试验数据均已增大了 12% 使之尽可能接近实船服务状态, 增加量的讨论见文献^[5]。对于本船而言, 这一增加量可能略大了一些, 偏于保守。

图 2 为双尾船申高线“江申 115”型与其母型常规船“东方红 421”之比较。数据取自实船试验^[6]。

图 3 为武汉水运工程学院为宜宁线客轮研制之双尾线型 SY3 与对比常规船“江汉 119”之

比较。数据均取自武汉水运工程学院模型试验^[7],但均增大了 12%。

表 2 双尾及对比船尺度汇集

船名或代号	$L_{pp} \times B \times d \times \Delta \times C_b$ (米)(米)(米)(吨)	数据来源	设计单位	备注
DB2	$75 \times 14 \times 3 \times 1759 \times 0.558$	模试+12% ^[18]	武汉水运工程学院	
SY3	$68 \times 13.2 \times 2.4 \times 1166 \times 0.542$	模试+12% ^[7]	武汉水运工程学院	
江汉 57	$76 \times 14 \times 2.4 \times 1539 \times 0.603$	实船试验 ^[8]	长江船舶设计院	试验 $\Delta=1518$
江申 115	$81.4 \times 14.2 \times 2.9 \times (1884)$	实船试验 ^[8]	长江船舶设计院	试验 $\Delta=1884$
东 11(原)	$105 \times 16 \times 3.6 \times 3660 \times 0.595$	模试+12% ^[2]	上海船舶设计院	
东 11(改)	$105 \times 16 \times 3.6 \times 3660 \times 0.595$	模试+12% ^[4]	上海船舶设计院	
天府号	$55 \times 10.8 \times 2.2 \times 729 \times 0.555$	实船试验 ^[9]	涪陵公司 武汉水运工程学院	试验 $d=2.06$
川陵 55	$45 \times 9.2 \times 2.0 \times 427 \times 0.5125$	实船试验 ^[10]	涪陵公司	
丰都 16~18	$44.5 \times 9.23 \times 1.6 \times 360 \times 0.548$	实船试验 ^[11]	华中理工大	试验 $\Delta=303$
东 421	$75 \times 13.3 \times 2.75 \times (1432)$	实船试验 ^[6]		试验 $\Delta=1432$

从这些图上可以看出,双尾船型节能效果是十分显著的,与相应的常规船型比较,在同一佛氏数下 K 值的降低普遍在 20%以上。

图 4 中汇集了若干双尾船型的快速性综合指标,为了对比,图中也绘有常规船和平头涡尾船的指标。各船的主尺度、资料来源及设计单位示于表 2。所汇集的双尾船有不同的尺度、不同的设计航速,但无一例外的都优于常规船型,这就雄辩地说明了双尾船型是一种优良的节能船型。

二、双尾船型有先天性的优点

图 4 中所汇集的双尾船的设计单位有设计院、院校、船厂、地区航运公司,这些单位的设计经验并不一致,但都能取得良好的效果,意味着其间存在着内在的必然性,或者说双尾船型有其先天性的优越性。这里还有一个很突出的例子,四川南充地区航务处采用双尾设计一条 17.5 米港监艇,将母型船(常规型)的主机由 2×4105 改为 2×2105 ,功率减少 54.16%,而航速反而由每小时 16.68 公里提高到 18 公里^[12]。这条

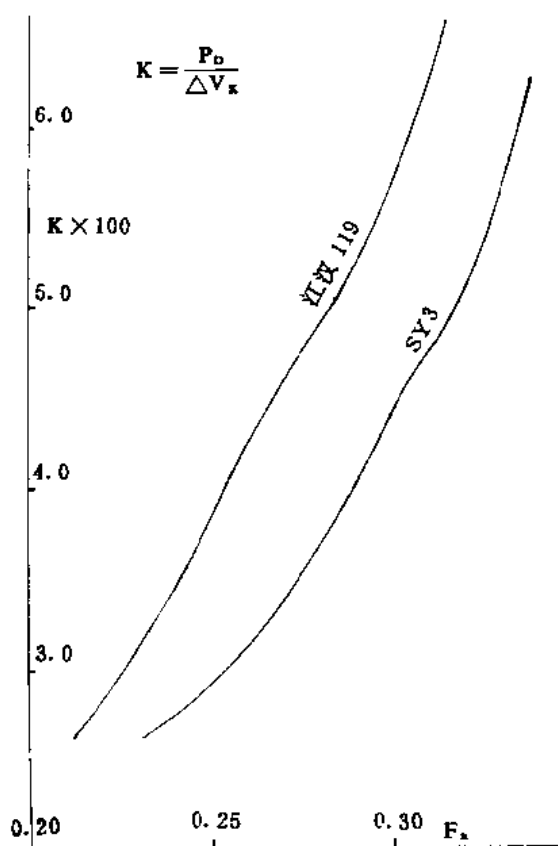


图 3

船还没有鉴定,数据也许不十分准确,但无论如何应该承认双尾船型即使用在这样小的船上其

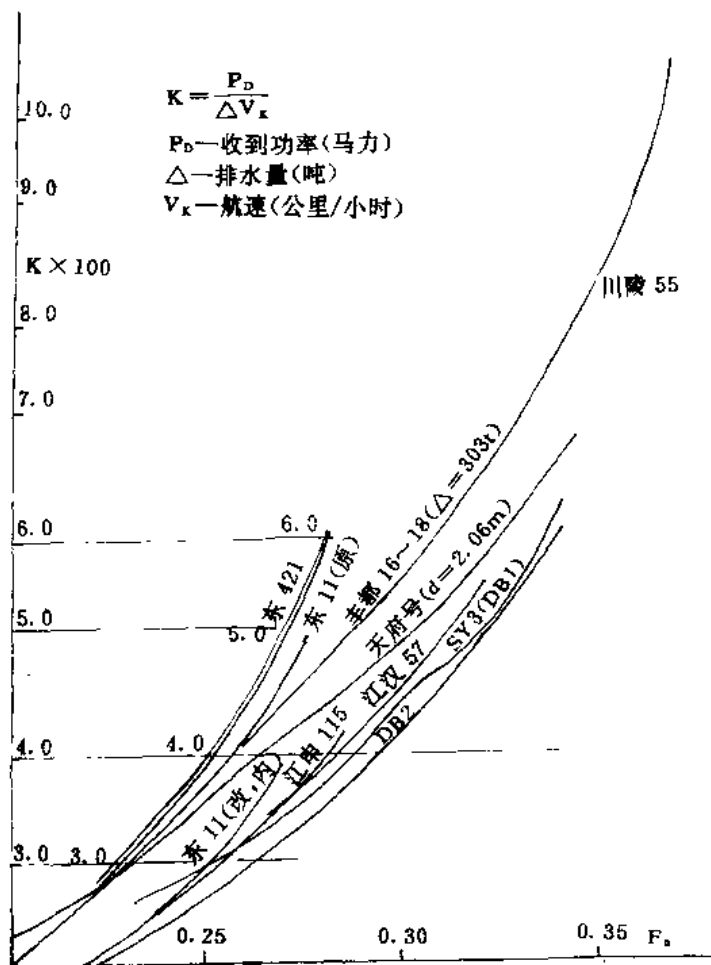


图 4

其次,由于片尾细长,纵流隧道平顺,船体的去流段可以取得较短,即最大断面容许自船中后移(10~15)%船长。于是,对前体而言,相当于较长的船之前体,其佛氏数较低,兴波阻力系数较小。我们曾比较最大断面后移10%和15%的影响。表3所示为F模在断面不同后移程度时之剩余阻力系数 K_r 。

表 3 剩余阻力系数 K_r 变化

F_n		0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38
后移	15%	4.67	5.32	5.58	5.82	6.39	8.87
	10%	4.2	5.18	5.61	6.05	7.10	9.20

从表3可见,该船在高速段($F_n > 0.32$)最大断面后移稍多有一定好处。至于后移多少为

效果也是惊人的。

优越性在哪里?按照我们的经验可以从以下两个方面看:

1、阻力性能好

双尾船型由左右两个片尾和一个纵流型的中央隧道组成。中央隧道因是纵流型,容易做得平顺和缓,使其对阻力有利。片尾则是一个细长体,若尾轴间距 b 为船宽 B 的一半,即 $b/B=0.5$,则若把片尾想象成细长船的尾部,此细长船的长宽比 L/B 将比原全船大一倍,其宽度吃水比 B/d 将为原全船的一半,显然将具有良好的阻力性能。具体说来,即其 $\partial y/\partial x$ 较小,可以避免分离,降低粘压阻力;同时, $\partial y/\partial x$ 小也使尾兴波小,使兴波阻力降低。我们对长江下游客班轮“东11”的改型试验证实了这一点。原型的 $(1+k)$ 为1.35,改为双尾后为1.13,下降了12%;如果把 $(1+k)$ 视作粘压阻力的标志,意味着粘压阻力下降了此数。同时,试验数据表明:剩余阻力较原型下降了(23.3~29.5)%^[13],说明除了粘压阻力以外,兴波阻力也有较大幅度下降。

好应从主尺度比、系数和设计航速综合考虑决定。

另外,双桨船通常有对阻力不利之附体,如轴支架、包壳等,附体阻力可占总阻力的一定份额。采用双尾型可以省去附体,从而减免了附体阻力。

应该指出,双尾船型由于有两个发达的片尾,其湿面积与尺度比和方形系数相同的常规船型相比较,通常要增大(3~5)%,摩擦阻力也相应增大,这对低速船尤为重要,但由于有上述几点有利影响,两抵之后阻力仍有下降。

2、推进效率高

首先,双尾船型的片尾接近单桨船尾型(由于中央隧道的存在,二者还不完全相同)。众所周知,单桨船较之双桨常规船有较高的伴流分数和船身效率。由此可以推想;双桨船由常规型改为双尾型其伴流分数和船身效率应有较大提高,大量试验都证明了此点,如表4所示。

表4 伴流分数、船身效率比较

代号	ω	η_b	备注
D 型	0.28~0.33	1.14~1.2	双尾 ^[1]
J 型	0.36~0.37	1.19~1.2	双尾 ^[14]
H 型	0.28	1.27	双尾 ^[15]
60 系列	0.24~0.36	1.1~1.24	单桨(L/B=6.5, C _b =0.6) ^[16]
D 原型	0.098~0.104	0.931~0.977	双桨常规尾 ^[3]

由表4可见,双尾船的伴流分数 ω 和船身效率 η_b 与单桨船(60系列)接近,而较对比的双桨常规船(D原型)高出很多,这是双尾船型的主要优点所在。

其次,已如前述,双桨常规船型的螺旋桨受到与船体间隙要求的限制,其直径通常仅为吃水的(65~75)%,改用双尾后螺旋桨直径可以增大。例如,可达吃水的(80~85)%,就使散水效率大为提高。

另外,双尾船片尾内侧是受限流场,而外侧是无限流场,两侧不对称,通常产生一外旋预旋流,使螺旋桨内、外旋时准推进系数不同。可以利用此点,将螺旋桨设计成内旋,充分利用反桨效应,获得较高推进效率。这也为多次试验证实,如表5所示。

表5 内、外旋比较

	伴流分数		船身效率	
	外旋	内旋	外旋	内旋
D 型	0.28~0.34	0.29~0.38	1.14~1.2	1.18~1.32
H 型	0.28	0.296	1.27	1.31

应当指出,目前驾驶人员从操纵性、特别是从倒航操纵性着眼,一般还不习惯于采用内旋桨,但我们也可以从片尾设计上使外旋桨效率高于内旋桨,下文将对此略作讨论。

三、水运学院双尾线型基本生成方法

武汉水运工程学院作为一个院校,对船型的研究,宁愿着眼于机理的研究、着眼于船型参数影响的研究,而不特别注重具体产品设计。因此,我们对双尾线型的生成制定了一套基本绘制方案,一方面便于掌握其基本形态,另一方面便于研究有关参数的变动及线型局部变化的影响。多年来的实践证明,这一套基本生成方法易于掌握且能获得良好的效果。为了下文讨论的方便,现将它简单介绍如下:

1. 按常规方法决定方形系数 C_b ; 中断面系数 C_m 和浮心纵向位置 x_c ;
2. 按设计航速对应之佛氏数选择最大断面后移量 x_m ;
3. 按 C_b 、 x_c 、 x_m 用常规方法决定前体及后体方形系数 δ_f 及 δ_A ;
4. 按以往经验及机舱布置要求选定尾轴间距 b , 此即两片体各自对称面之间的距离, 内河船通常在 0.5~0.6 之间。

5. 决定后体的中纵剖面形状。我们取两段二次抛物线 $y=ax^2$ 组成此线, 由于此线斜率的变化率为常数 $2a$, 取此线的意图是沿此线流动之水流方向变化均匀。

隧道尾取开式, 即零站中纵剖面高度 h_0 略大于吃水 d 。尾部中纵剖面的前端与基线相切称为底切点, 其距零站距离记为 x_0 。 h_0 和 x_0 是具体决定尾中纵剖面的两个参数。组成尾中纵剖面的两段抛物线可表为下式:

$$\text{在 } x = 0 \sim \frac{1}{2}x_0; \quad y = \frac{1}{2}h_0 \sim h_0 \text{ 之间}$$

$$\text{则 } y = h_0 - \frac{h_0/2}{(x_0/2)^2}x^2$$

$$\text{在 } x = \frac{1}{2}x_0 \sim x_0; \quad y = 0 \sim \frac{1}{2}h_0 \text{ 之间}$$

$$\text{则 } y = \frac{h_0/2}{(x_0/2)^2}(x_0 - x)^2$$

6. 决定片体方形系数 δ_A

可以想象, 如果把两片体的外侧合起来, 将形成一个完整的单桨船船尾, 令其体积为 V_0 , 其方形系数即 δ_A 。若取后体体积为 V_A

$$\text{并令 } K_0 = \frac{V_0}{V_A}, \quad V_0 = K_0 V_A$$

$$\text{则 } \delta_A \left(\frac{L}{2} - x_m \right) (B - b) d = \delta_A \left(\frac{L}{2} - m \right) B d K_0$$

$$\text{从面 } \delta_A = \frac{K_0}{1 - \frac{b}{B}} \delta_A$$

选定了 b (从而有 b/B) 后, 可以通过 K_0 由 δ_A 算得 δ_A 。 K_0 的数值由经验决定。在给定的中纵剖面形状下, b/B 愈大则 K_0 愈小; 在给定的 b/B 下, h_0 和 x_0 愈大则 K_0 变大。一般 K_0 在 0.45 左右。

7. 计算片体的中断面系数 β

与上述一样, 想象两片体外侧合起来, 将有:

$$\beta \cdot (B - b) d = C_m B d - b d$$

$$\text{从而 } \beta' = \frac{C_{\text{m}} - b/B}{1 - b/B}$$

8. 利用 δ_A 和 α 套用优良单桨船尾型绘出片体外侧线型, 我们的习惯是套用 Todd60 系列线型。一来是因为 Todd60 系列是优良单桨船, 二来是因为它没有固定的中断面系数, 便于套用。

9. 片体内侧尽量与外侧对称, 并与隧道顶部光顺联接。应当指出, 这里并没有说明怎样光顺联接, 即是说此接合部的形状还存在一定程度的任意性。

四、几个参数的影响

虽然双尾船型有先天性的优点, 也有一套行之有效的绘制方法, 但是, 要想得到更好的效果, 对一些有影响的参数还必须注意考虑, 本节就我们在模型试验中取得的经验谈谈认识。

1. 中纵剖面

在以两段二次抛物线形成中纵剖面的前体下, 参数 h_0 和 x_0 限定了中纵剖面的具体形状。 h_0 减小和 x_0 增大均使中纵剖面变平, 各点斜率变小, 对降低阻力影响很大。先看两个例子: 船模 SQJ 原来底切点在 $6\frac{1}{2}$ 站, 即 $x_0 = 0.325$, 其中纵剖面是大倾角为 $\alpha = 13.14^\circ$, 其在出水处之倾角为 $\alpha_0 = 7.68^\circ$, 将其底切点移至 $7\frac{1}{2}$ 站, 其余线型均不改变, 形成 SQJ-1 模, 其 $x_0 = 0.375$; $\alpha = 12.18^\circ$, $\alpha_0 = 6.66^\circ$ 。 α 和 α_0 均约减小 1° , 剩余阻力系数 K_r 大大降低, 如表 6。

表 6 x_0 对 K_r 影响(SQJ)

代 号 \ F_n	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33
SQJ	3.80	4.29	4.20	5.36	5.65	5.75	5.73	6.10
SQJ-1	2.83	3.22	3.86	4.36	4.56	4.86	5.0	5.20
K_r 下降(%)	39	24.9	19.6	18.7	19.3	16.0	12.7	14.8

第二个例子是船模 SQF, 原底切点在 7 站, 即 $x_0 = 0.35$, $\alpha = 13.77^\circ$, $\alpha_0 = 8.05^\circ$ 。将底切点移至 $7\frac{1}{2}$ 站, 其余型线一律不动, 形成 SQF-1 模, 此时 $x_0 = 0.375$, $\alpha = 11.2^\circ$, $\alpha_0 = 7.52^\circ$, α 下降了 2.51° , 而 α_0 下降仅 0.53° , 剩余阻力系数 K_r 也有明显下降, 如表 7。

表 7 x_0 对 K_r 影响(SQF)

代 号 \ F_n	0.27	0.29	0.31	0.33
SQF	3.6	4.8	5.2	5.8
SQF-1	3.3	4.34	4.78	5.24
K_r 下降(%)	8.3	9.6	8.1	9.7

比较此二例可见, 第二例(SQF)的 K_r 下降较少, 而其中纵剖面最大倾角减小反而较多, 注意到其出水处倾角 α_0 下降较少, 说明宜于用 α_0 作为表征阻力性能的参数。文献[17]用 keller

的近似分析方法于双尾型,发现隧尾波的幅值与 α_0 有关,而其相位则与出水位置有关,这一方面解释了上述现象,另一方面也佐证了近似分析。

图 5 为另外两个例子^[5]。SW33 与 SW33A 的差别仅在于把 h_0 由 $1.2d$ 改为 $1.1d$,其余不变。 α_0 则由 7.65° 下降到 5.2° 。在一定的佛氏数区间内(约为 $0.28 \sim 0.35$) K_r 也有明显的下降。SW21 与 SW21A 的差别在于把 SW21 的中央隧道改用 SW33A 的中央隧道,其中纵剖线的变化与 SW33 相同,仅片尾内侧变瘦、隧道宽度略增, K_r 下降的趋势相同,下降量则更多。

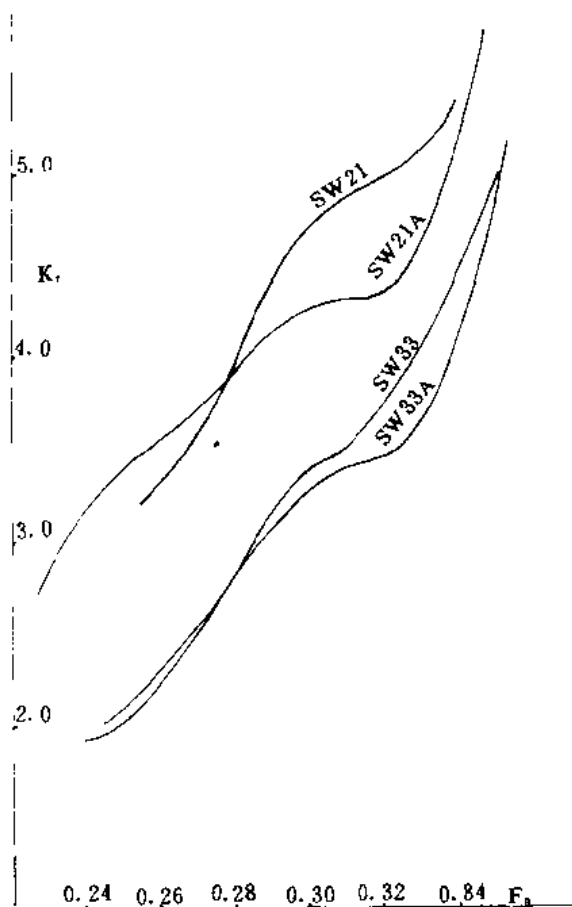


图 5

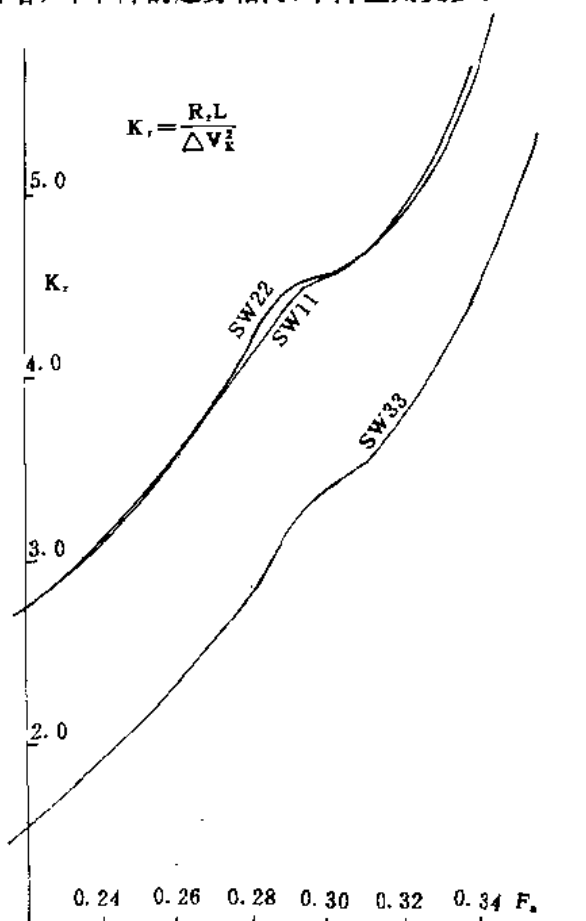


图 6

值得注意的是 x_0 增大时隧道空间稍大; δ_A 略有减小; 两片尾湿而积略有增大。而 h_0 减小时, 隧道空间稍小; δ_A 略小; 片尾湿而积略大, 但两者都能使 K_r 下降。

中纵剖线出水处倾角 α_0 由下式表出

$$\lg \alpha_0 = -2\sqrt{2} \frac{\sqrt{h_0(h_0 - d)}}{x_0}$$

$$\text{若令 } h_0 = K_A \cdot d; \quad x_0 = K_r L$$

$$\text{则 } \lg \alpha_0 = -2\sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{K_A(K_A - 1)}}{K_r} \cdot \frac{1}{L/d}$$

可见 α_0 值之大小与 L/d 有关, 这也是显然的。可以利用上式计算 α_0 或按选定之 α_0 协调 K_A 和 K_r 。

2. 后体方形系数

我们研究长江干线节能快速客船时把船模剖分为前、后体。前、后体方形系数 δ_f, δ_A 分别取三个不同数值。由此组成九个不同的总体方形系数,如表 8 所示,相应地各模名称如表 9。对角线三模为主模,方形系数均为 0.54。

表 8 方形系数

$\delta_f \backslash \delta_A$	0.4437	0.4742	0.4976
0.6635	0.54	0.5547	0.5681
0.629	0.5235	0.54	0.5534
0.5974	0.5119	0.5267	0.54

表 9 船模代号

前 \ 后	S ₁	S ₂	S ₃
W ₁	SW11	SW21	SW31
W ₂	SW12	SW22	SW32
W ₃	SW13	SW23	SW33

原来设想,前体瘦一些有利于减小兴波阻力,后体肥一些有利于增大伴流提高推进效率,预期 SW11 可能是最佳选择。但试验结果完全出乎意料,如图 6 所示,SW33 的阻力最低,其剩余阻力系数 K_r 在 $F_n=0.3$ 时比 SW11 和 SW22 分别低 24% 和 25%,差别之大看来不能简单地用浮心位置来解释。此外 SW11 和 SW22 的 K_r 值相差又并不大,这一情况是否说明后体方形系数存在某一临界值,超过此值时阻力将很快增加。SW22 的 δ_A 约为 0.63,而 SW33 的 δ_A 约为 0.60,或许 δ_A 的临界值在此两者之间。从前后体方形系数和体积比来看或许临界值在 $\delta_A/\delta_f=1.2\sim 1.3$ 之间, $V_A/V_f=0.88\sim 0.98$ 之间,有待进一步研究。

	SW11	SW22	SW33
δ_A/δ_f	1.48	1.326	1.2
V_A/V_f	1.094	0.98	0.88

出现此现象之机理还不很清楚,但可指出:双尾船之片体是瘦削的,其兴波较小,但两片体兴波相位相同,相互迭加后往往较首波更形重要,此点在文献^[17]中已有论述。

图 7 比较了 SW21、SW12 和 SW11 的 K_r 曲线。从图上可以看出 SW21 和 SW11 的 K_r 曲线相近,两曲线交叉。此二模尾型相同,但 SW21 前体较肥,从而 C_b 增大 2.7%。二者阻力相近说明后体更为重要。此外,SW12 和 SW11 相比,SW12 的 K_r 则低得多。二者首型相同,只是 SW12 的尾型较瘦,再一次说明尾型的重要。

表 10 列出了三个主模的自航因子,表列数值为试验速度范围内的平均值。正如

我们所预料的,随着 δ_A 的增大伴流分数 ω 也增大。但是,推力减额 t 也随之增大,而且增大量更多。这就导致 δ_A 大时船身效率 η_b 反而降低。另外, ω 小则散水效率可较高,综合起来使得 δ_A

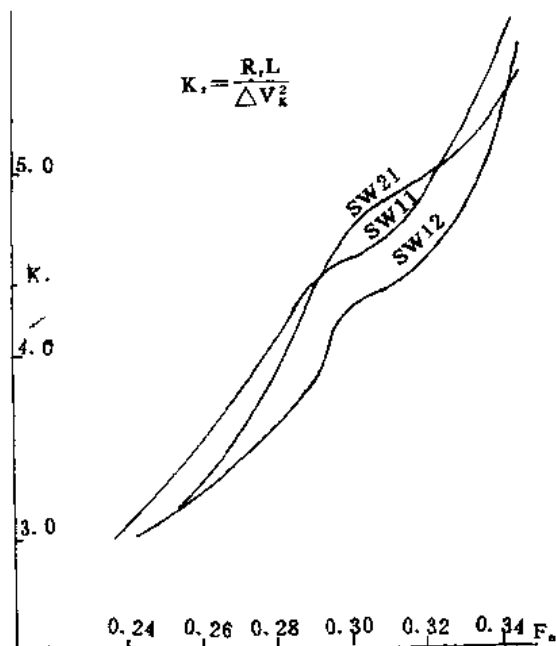


图 7

小时推进效率会更高。

表 10 推进因子比较

	SW11	SW22	SW33
ω	0.353	0.3496	0.2375
t	0.3074	0.34	0.1522
η_h	1.0706	1.0553	1.1117

3. 尾轴间距

尾轴间距增大则隧道尾加宽而两侧片尾变瘦,湿面积增加,对摩擦阻力不利。对于剩余阻力而言,似乎 b/B 有一最佳值。我们对 L 船模曾取 $b/B=0.45; 0.50; 0.55; 0.60$ 作过小系列试验,表明 $b/B=0.50$ 时最佳。对子 F 模曾取 $b/B=0.50; 0.55; 0.60$ 作过试验,结果以 $b/B=0.55$ 最佳。而 D 模试验时又以 $b/B=0.60$ 优于 0.65。可见最佳值视船型不同而异。还需指出:在 $F_n=0.30$ (棱柱体峰)附近 b/B 的影响非常显著,以 F 船型两模的 K_r 为例示于表 11。

表 11 b/B 对 K_r 的影响

F_n	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33
$b/B=0.55$	3.8	4.08	4.5	4.97	5.33	5.53	5.64
$b/B=0.60$	3.72	4.83	5.32	5.56	6.67	5.74	5.8
K_r 增加%	-2.2	18.4	18.2	11.9	6.4	3.8	2.8

双尾船型有三个兴波点,即两个片尾和一个隧尾。两个片尾波相位相同,可以叠加视为一个波系,它与隧尾波合成尾波。 b/B 愈大则隧尾波愈大,而片尾则变瘦,片尾波变小。因此,随后体丰满度之不同应各有一最佳组合,即各有一最佳 b/B 。值得注意的是,简化理论分析表明^[17]:片尾和隧尾两波系的相位差决定于中纵剖线出水位置与片尾末端之距离,此距离不大,因而调整中纵剖线出水位置应该可以对这两个波系的干扰起较大作用,从而可以利用此点来减少兴波阻力。

实用中,中小型船舶通常由于受机舱布置限制, b/B 的选择裕度不大。国外和我国海船常取 $b/B=0.30\sim 0.35$ 。因此, b/B 的选取也与船舶的尺度有关。

4. 桨轴附近的形状

前已指出,争取大伴流对船身效率的提高有利,但对散水效率不利。减小推力减额则两利,至少是对船身效率有利,对散水效率无害。为了争取降低推力减额,我们在套用 Todd 线型的基础上对螺旋桨轴线附近的线型作了局部改动。注意到推力减额主要部分是势推力减额,则桨前船体法线在桨轴方向上投影愈小应能使推力减额愈低。为此我们首先把桨前船体做成以桨轴为心轴之锥体,锥体之倾角做得尽可能小,例如 $6^\circ\sim 7^\circ$ 。然后考虑到使上下伴流较均匀,使各肋骨线上下延伸略呈水滴形。而轴线附近则形成以轴线为心之椭圆锥形。最后将它与未改动部分光滑联接,如图 8 所示。图中(a)为未改动情况(SW33), (b)为改动后情况(SY3 或 DB1, DB2)。

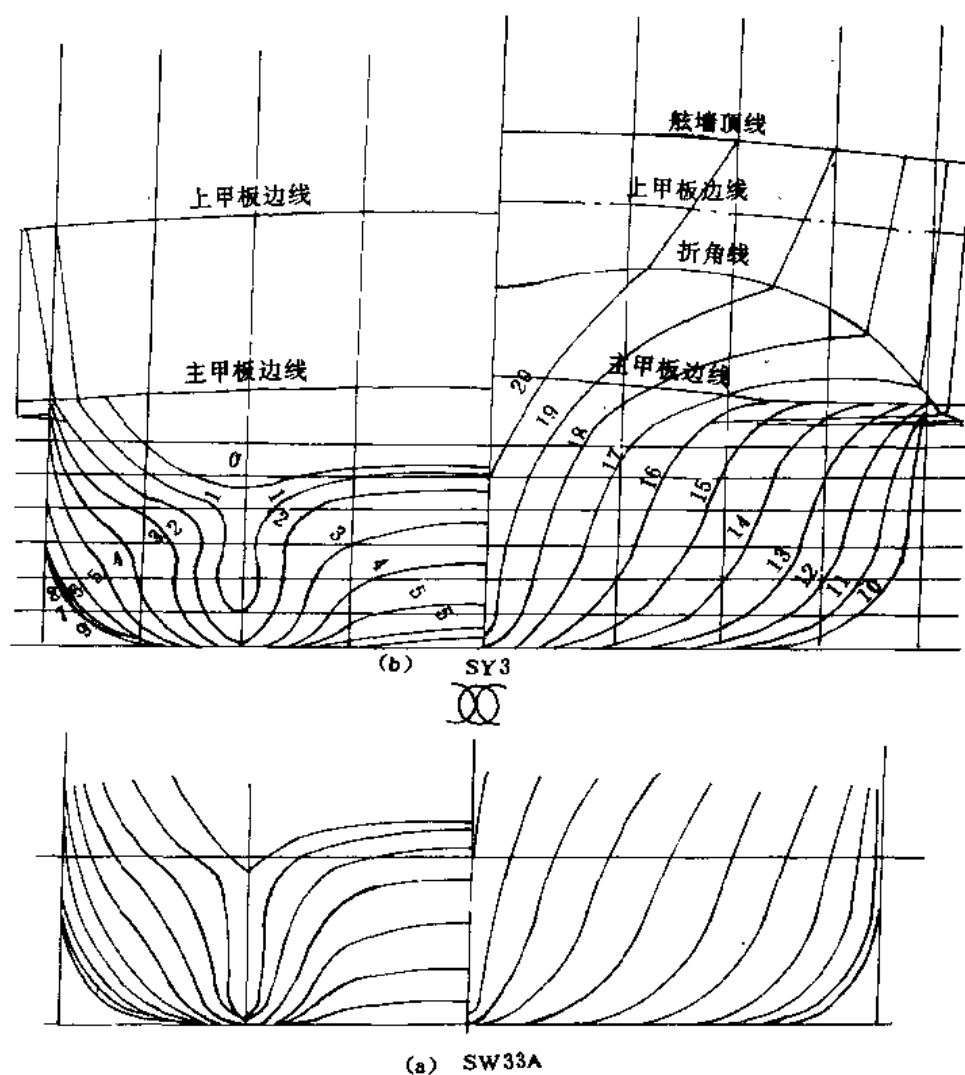


图 8

改动后的两模 DB1 和 DB2 及对比船模 SW33A 的推进因子列于表 12^{[7][8]}。

表 12 推进因子比较

		ω	t	η_h
外旋	DB1	0.225	0.128	1.1252
	DB2	0.188	0.12	1.0837
	SW33A	0.2692	0.2115	1.0739
内旋	DB1	0.255	0.15	1.1409
	DB2	0.237	0.112	1.1638
	SW33A	0.3307	0.284	1.0698

表列数值表明推力减额确乎达到较小数值,虽然相应地伴流也较低,但船身效率仍较高,达到了预期的目的。

两个改进船模的剩余阻力系数 K_r 曲线如图 9 所示。两者均较 SW33A 高。表明锥体与原线型接合部设计得不好,还有潜力可挖。

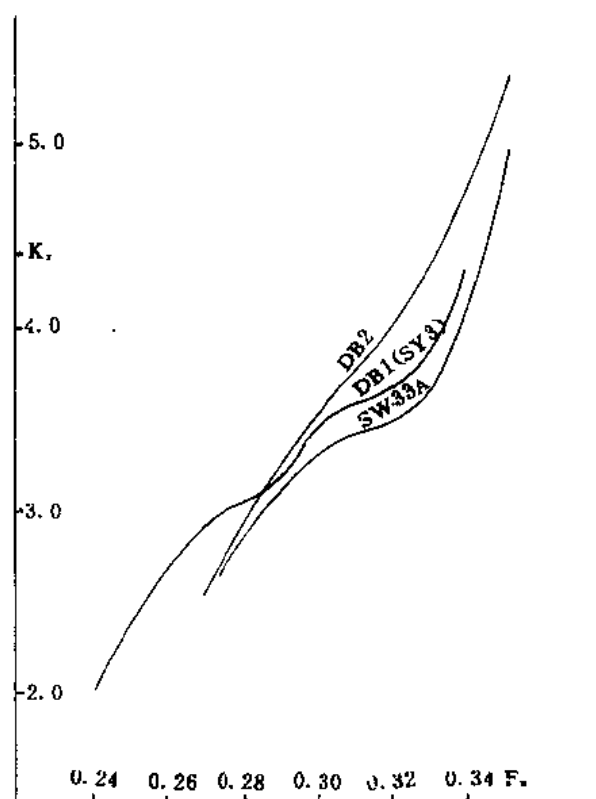


图 9

5. 不对称性

前面提到,双尾船上片尾附近流场不对称,有预旋流存在,可以加以利用。但多为外旋流,只有用内旋桨才可获得反桨效应。而驾驶人员又多不习惯用内旋桨,于是提出了如何能产生内旋流问题。

早期我们曾将单桨船的非对称尾型用于片尾上,使之既有双尾船之优点又能控制尾流旋向,使外旋桨也能得到反桨效应提高效率。根据这种设想,我们设计了 DAS4 船模(片尾外倾 26°),试验结果如表 13 所示。

表 13 内外旋 Q. P. C 比较

Fn		0.286	0.293	0.307
Q. P. C	外旋	0.66	0.62	0.64
	内旋	0.572	0.60	0.55

表列数值清楚地表明外旋效率高于内旋。用文献^[19]所提方法计算预旋流,表明确实存在较强的内旋流动。虽然这个设计是在早期双尾船上改动而成,若干参数的选择不太好从而总的Q、P、C并不高,但可证明上述设想是可以实现的。

值得注意的是我们在研究长江干线节能快速船型时发现SW21A模有较强的内旋流,从而使外旋桨的船身效率比内旋桨高11.4%。SW21A与其对比模SW33A的推进因子见表14。

表 14

		ω	t	η_h
SW21A	外旋	0.3654	0.2809	1.1334
	内旋	0.2295	0.2163	1.0173
SW33A	外旋	0.2692	0.2115	1.0739
	内旋	0.3307	0.284	1.0698

这两个船模片尾内侧全同(均为W3),SW33A为对称片尾(外侧亦为W3),而SW21A则为外大(W₂)内小(W₃)不对称形。SW33A有外旋流(内旋伴流较大)而SW21A则反之(外旋伴流大),符合我们的要求。这给我们以很好的提示:要想用外旋桨也能得到反桨效应,可以把片尾做成外大内小的不对称形。虽然这只是一例,我们还不知道内外侧相差多少为宜,但由于这种方法生成线型较为容易,值得尝试和进一步研究。

五、结束语

科学研究也是一项遗憾的事业,在取得一些认识的同时往往会提出更多的问题。几年来对双尾船型的研究正是这样。几年来在提高节能效果方面取得了一定的进展,认识有所加深,但是,同时也感到有很多问题仍属未知王国。例如片尾和隧尾兴波量级和干扰规律还完全没有掌握;如何处理片尾内侧与隧顶接合部?如何处理尾轴锥与基本型线接合部?这些细部的影响如何?怎样从尾型设计上保证减小推力减额并适当增大伴流、控制并利用预旋流?如何现解试验中出现的相对旋转效率随模型不同有较大波动?即是说怎样认识和控制伴流的径向分布?一系列问题都需要进一步深入探讨。看来要在这些问题上取得一些进展,仅用当前宏观地分析阻力成分变化、推进因子变化的方法是远远不够的。研究方法必需转细观分析。要利用波型测量和分解,作各种兴波源分析。要进行伴流测量、流线计算、流场显示。

遗憾的是以往的研究不得不依托某些产品来进行,既不系统也不深入。我希望有关部门能组织一些预研工作,以便使双尾船型的节能效果能稳定地进一步提高。

本文是应部能源办武汉节能工作站的邀请,结合参考文献[1]、[2]两文写成,文中引用了一些数深,谨向引文作者及本院参加双尾船研究的老师们致谢。

参考文献

- [1] 李世谟,“双尾节能船型”,《武汉水运工程学院学报》,1986,3;《中国造船》1988-1。
- [2] 李世谟等,“内河双尾船型研究的发展”,《水运工程学院学报》,1990.2。
- [3] 上海交通大学,“申汉线双桨客轮试验报告”,1973。