

# 船舶型线设计(续2)

钱文豪

## 3.5 几种特殊船舶型线

### 3.5.1 抛物线型首<sup>[2]</sup>

图40所示短轴为船宽的椭圆形水线型首,适用于  $F_n < 0.18$ 、 $C_B > 0.80$  的极丰满型船和大  $B/T$  的不太丰满的船。首踵侧形处理成圆弧以改善进水情况,并在首垂线处保证较大的排水量。与削尖型首部水线方案相比,可使前肩稍向后移,突肩和缓。此种首型亦可按装球首,如圆柱形球首,把驻点前移。球首长度上前移的变尖水线带来减少所需功率的好处(图42)。散货船模型比较试验表明,对  $L/B$  小、 $C_B$  大于 0.8 的船舶,在  $F_n = 0.11 \sim 0.18$  试验速率范围内抛物线型首有优越性。

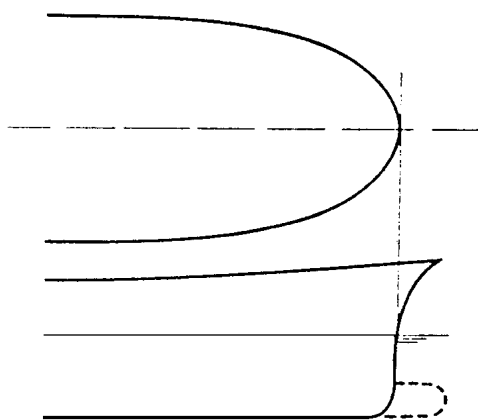


图40 抛物线型首——水线面和首外廓线

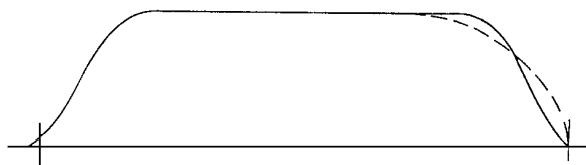


图41 抛物线型首和普通首的横剖面面积曲线

### 3.5.2 椭球形前体<sup>[31]</sup>

图43所示的由直立型首演变而成的椭球形前体,其静水阻力比直立型首好。

### 3.5.3 匙形首<sup>[31]</sup>

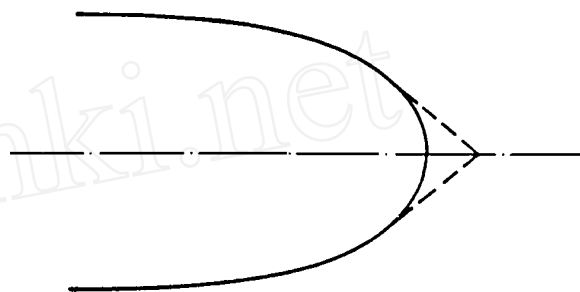


图42 尖削抛物线型首首部水线

图44所示的无前踵匙形首从首垂线后约5%船长起往前整个底部逐渐升高。此种首形适合于浅吃水型船。

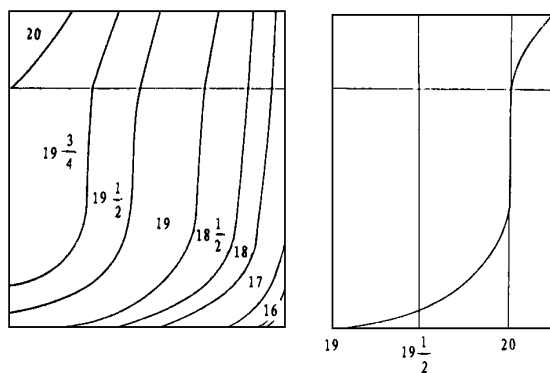


图43 椭球形前体

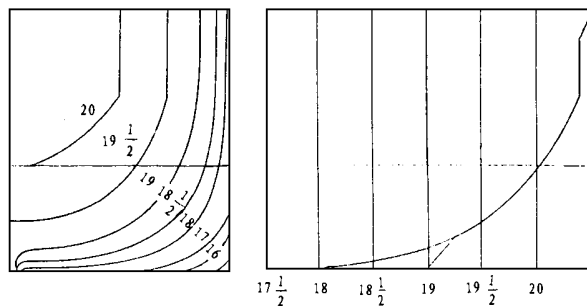


图44 匙形前体

### 3.5.4 同心球尾

(Nitzki)<sup>[33]</sup>和汤姆逊(Thomson)提出的使螺旋桨进

图45~48分别为霍格(Hogner)、尼茨基

流均匀的同心球尾。

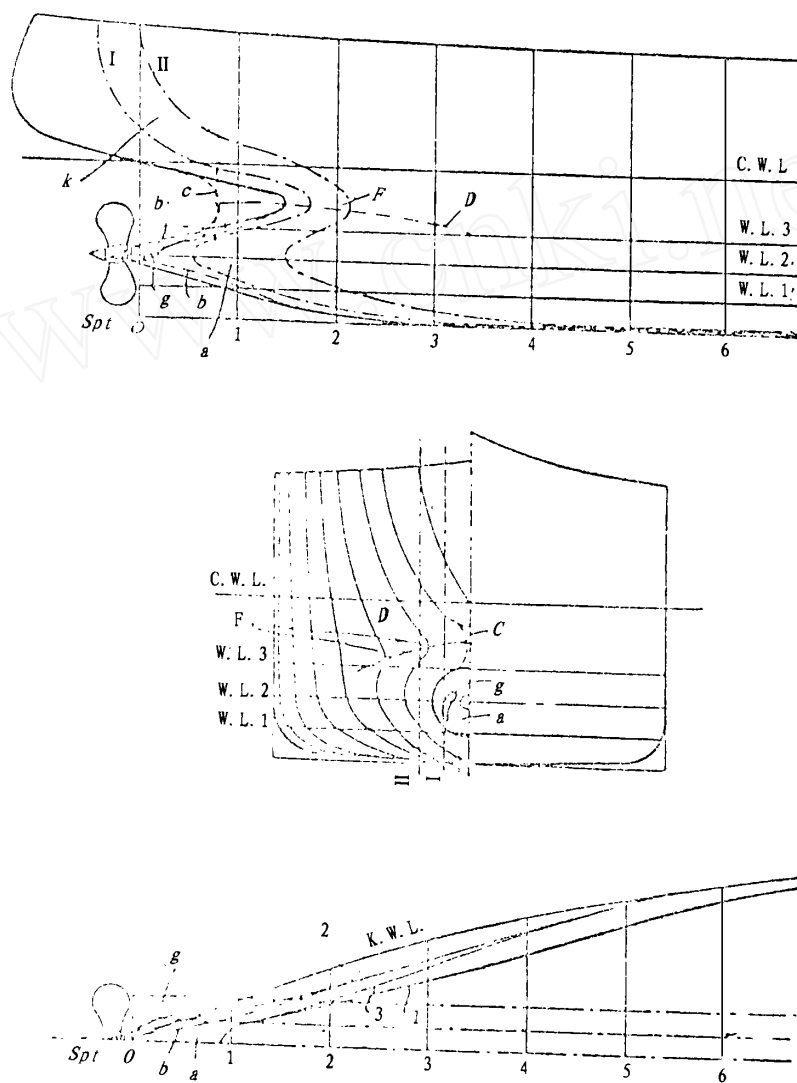


图45(a) 霍格同心球尾型线<sup>[32]</sup>

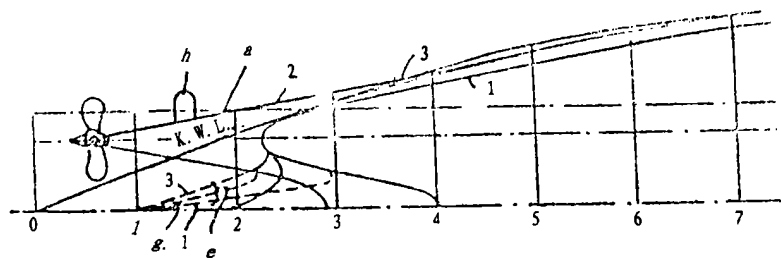
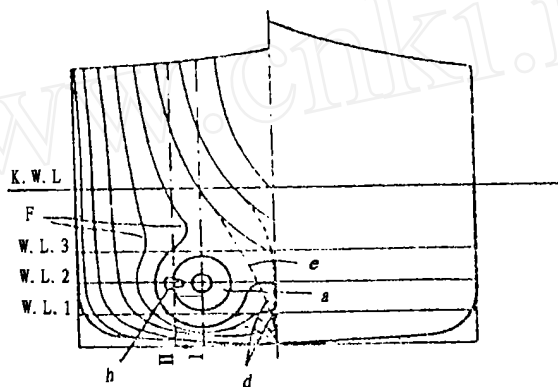
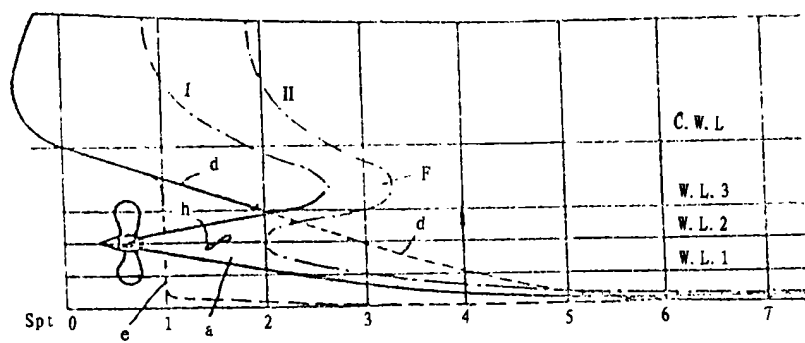


图45(b) 霍格同心球尾型线<sup>[32]</sup>

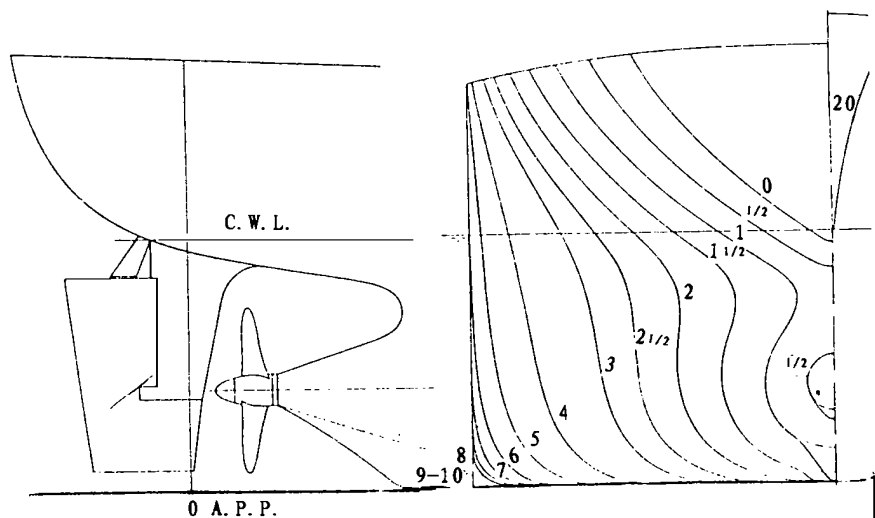


图46 霍格同心球尾<sup>[32]</sup>

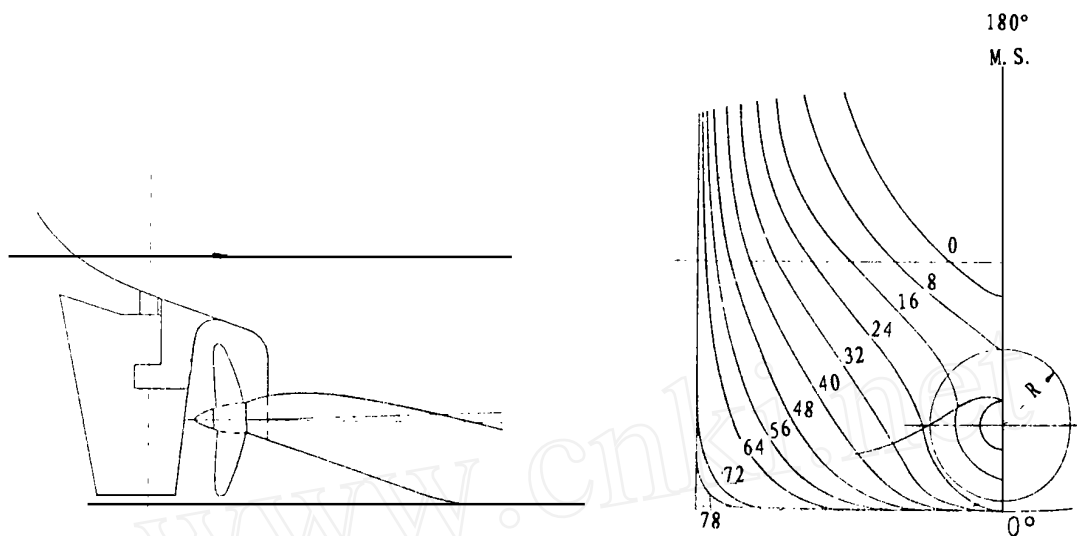


图47 尼茨基同心球尾

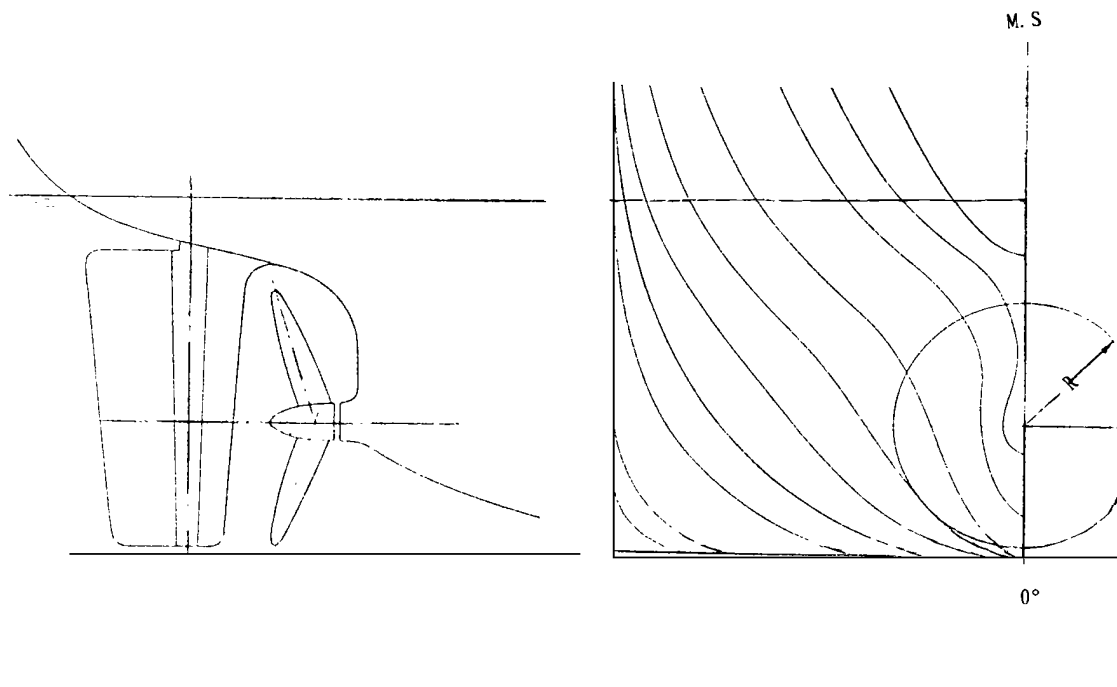


图48 汤姆逊同心球尾

### 3.5.5 驳船型尾

图49(a)~(c)分别为某双桨集装箱船<sup>[34]</sup>、单桨滚装船、双桨滚装船<sup>[31]</sup>的驳船型尾型线。其优点为伴流场较均匀,推力减额和伴流分数小,船模试验表明它比优秀常规小球尾所需主机功率小2~4%<sup>[34]</sup>。

### 3.5.6 隧道型尾

海洋运输船采用隧道型尾布置大直径螺旋桨可大幅度降低主机所需功率。图50所示为一艘单桨集

装箱船采用隧道型尾<sup>[34]</sup>配大直径螺旋桨的型线。船模试验表明与优秀常规小球尾相比,设计航速18 kn时它减少主机所需功率8.9%<sup>[34]</sup>。

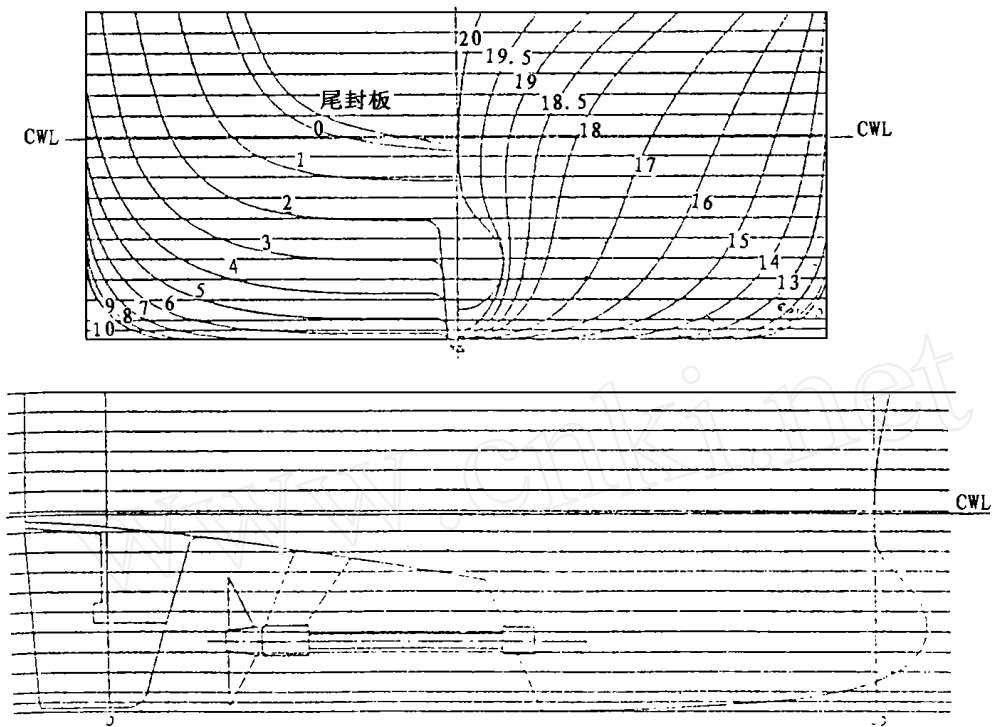


图49(a) 某双桨集装箱船驳船型尾

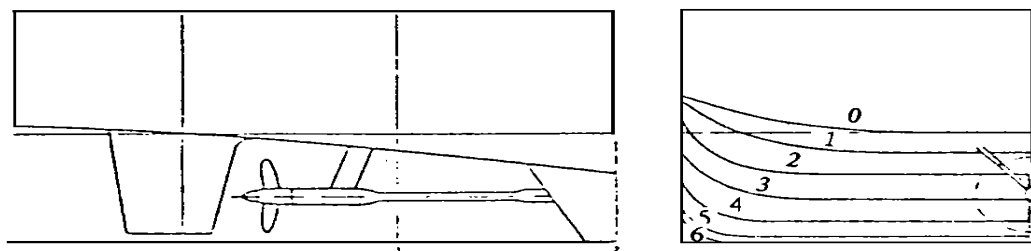


图49(b) 某单桨滚装船驳船型尾

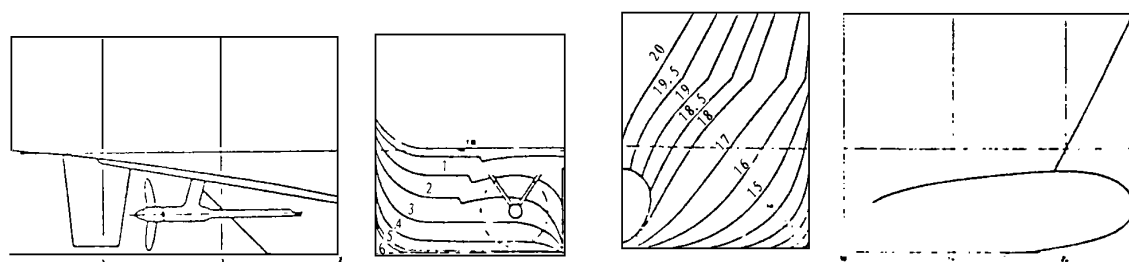


图49(c) 某双桨滚装船驳船型尾

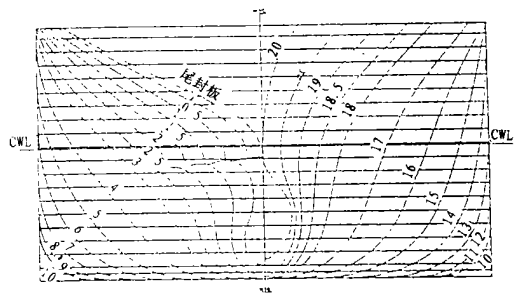


图50 一艘集装箱船的隧道型尾

### 3.5.7 不对称尾

图51(a)所示的尾柱S形不对称尾可减少或消除船尾水流分离,使桨的进流产生预旋从而提高船舶推进效率,减少主机所需功率4~9%<sup>[34]</sup>。图51(b)所示的尾柱偏移形不对称尾<sup>[35]</sup>满压载平均节能效果与尾柱S形不对称尾相同,用于方形系数大于0.78的船舶效果优于尾柱S形不对称尾。

### 3.5.8 双尾型尾

图52所示的双尾型尾可比常规双桨尾轴架船较大幅度降低主机所需功率<sup>[36]</sup>。

### 3.5.9 尾鳍型尾

图35为一艘单桨滚装船单尾鳍型尾<sup>[31]</sup>。图53(a)~(c)分别为双桨滚装船<sup>[31]</sup>、汽车渡船<sup>[37]</sup>和长江客船双尾鳍型尾<sup>[38]</sup>型线。吃水浅的情况下本型线快速性优于常规尾轴架型船。

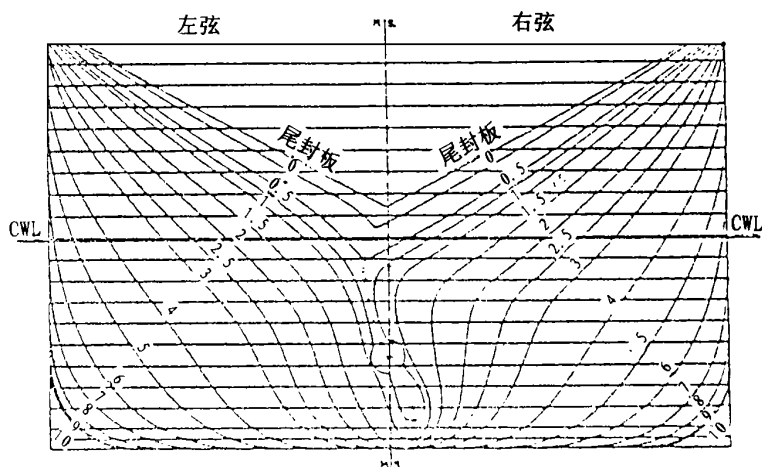
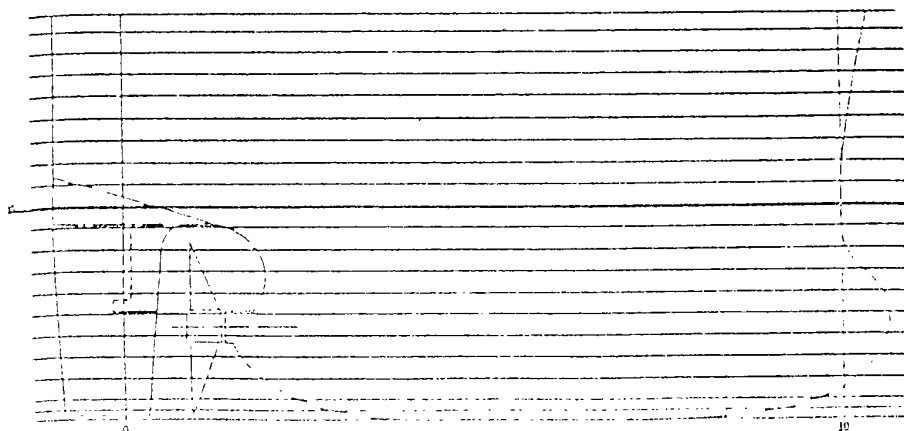


图51(a) 一艘集装箱船的尾柱S形不对称尾



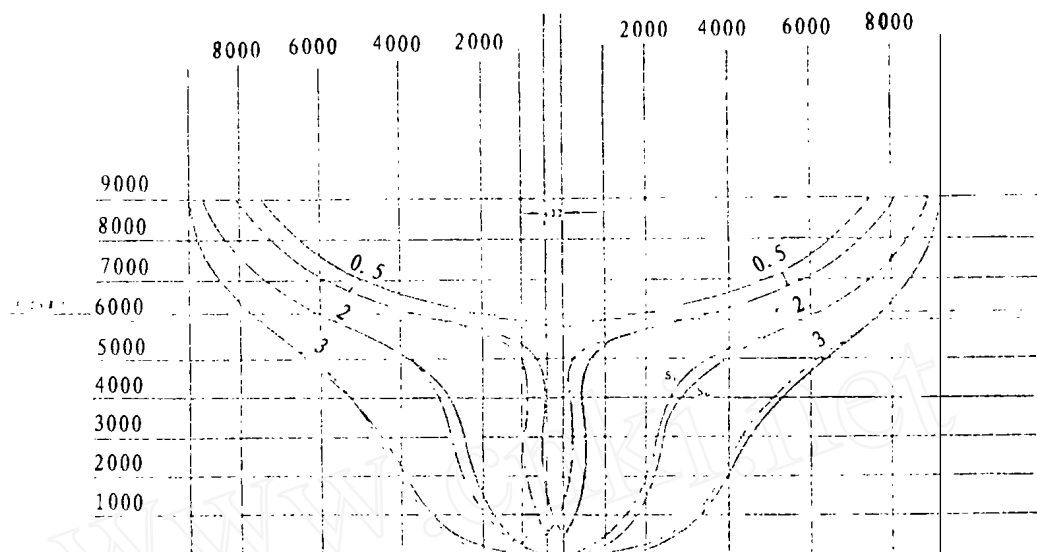


图51(b) 一艘冷藏集装箱船的尾柱偏移形不对称尾

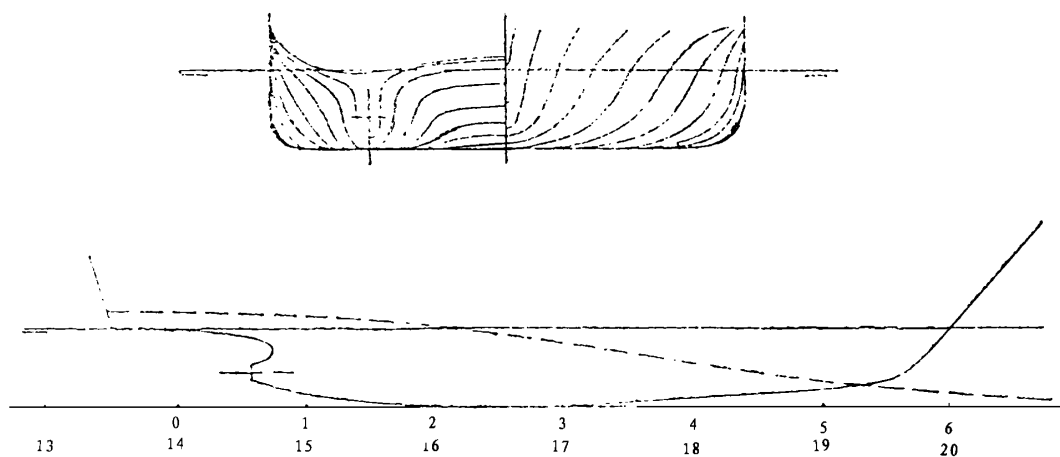


图52 某长江客船双尾型尾

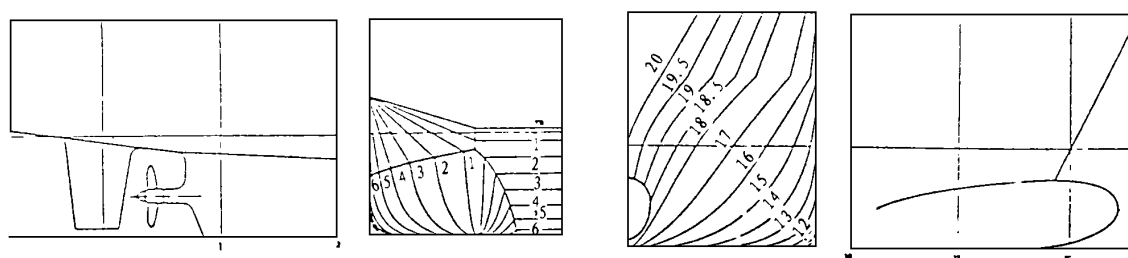


图53(a) 某双桨滚装船双尾鳍型线

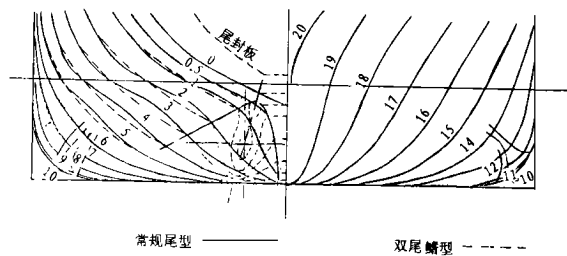


图53(b) 某汽车渡船双尾鳍型线

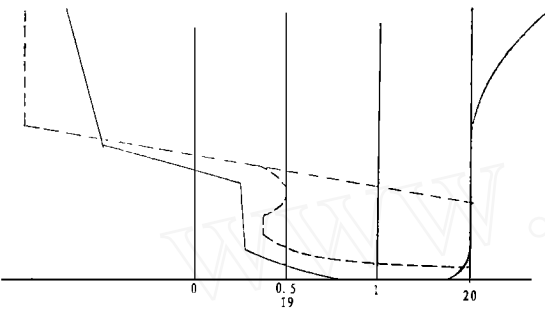


图53(c) 某长江客船双尾鳍型线

### 3.5.10 破冰船型线

图54为载重量5750 DW T 油船的适于破冰的型线<sup>[39]</sup>。

### 3.5.11 油驳型线

图55(a)、(b)、(c)是  $C_B = 0.77$ ,  $L_{pp} = 240$  m、 $T = 14$  m、船宽B 分别为37.5 m、56.25 m、75.0 m 的油驳型线<sup>[40]</sup>。

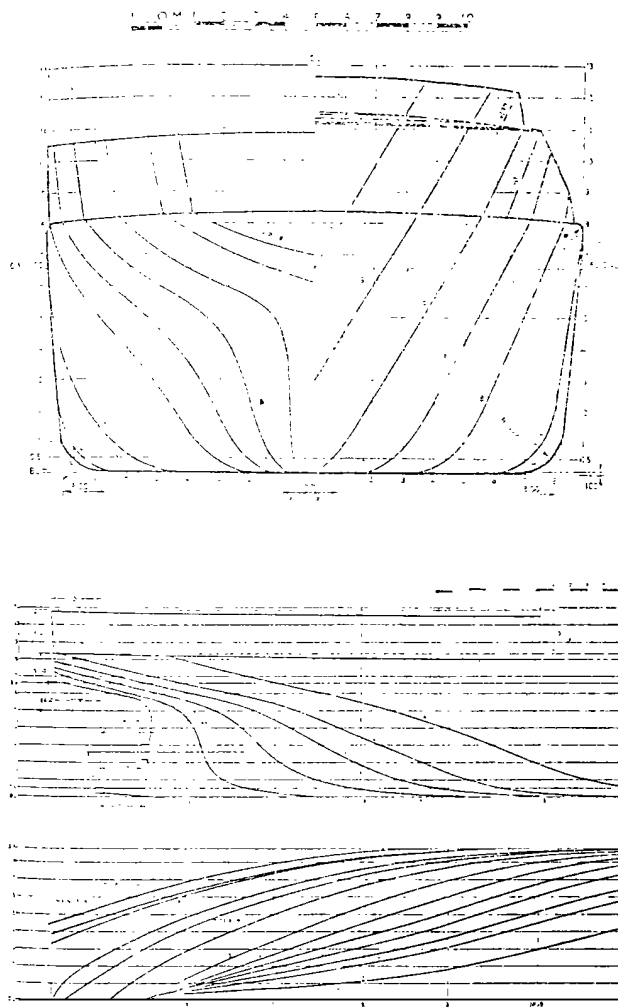
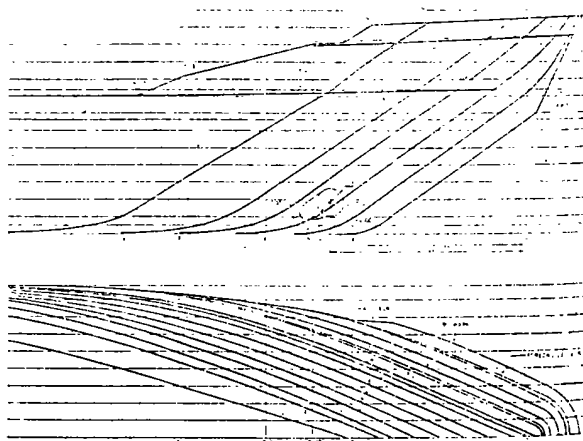
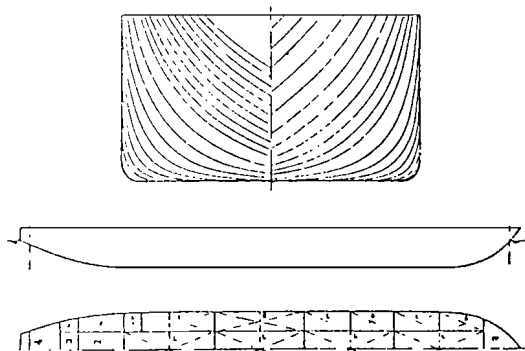


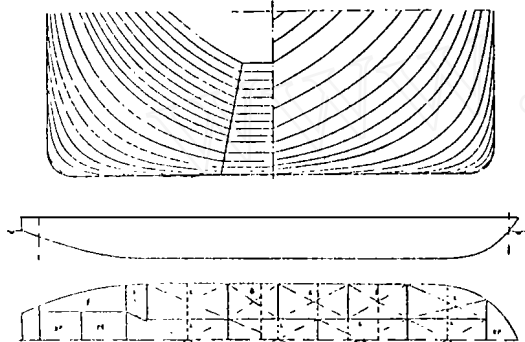
图54 某破冰油船型线



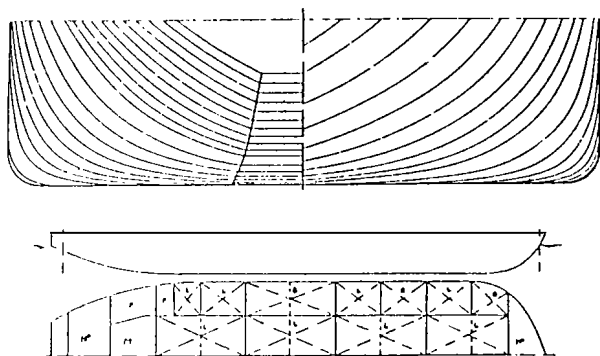




(a)



(b)



(c)

图55  $C_B 0.77, L_{PP} 240m, T 14m$  不同船宽油驳型线

### 3.5.12 简易型线

图56为德国伯隆+ 福斯(Blohm + Voss) 船厂于60年代建造的先锋型多用途货船简易型线<sup>[41]</sup>。结果发现造价下降并不理想, 建造6艘后中止。船模试验表明, 20 kn 时该简易型线阻力比泰勒标准系列低10%, 但比本身光滑曲线型线高7%, 收到功率则高10%; 简易型线的阻力性能在非设计吃水时较光滑型线差更多; 先锋型球首阻力收益达18%。

### 3.5.13 简易球尾

该种球尾<sup>[42]</sup>的下部处理成可展开的圆锥体, 锥体的轴线向船尾下方倾斜, 并在桨轴下方中止。锥尖以下水面末端是较大半径的锥体剖面, 母线与船基线夹角很小(见图57), 可使更多的边界层内低速水流流向螺旋桨下半部。球尾以上的水线后部很快削尖到螺旋桨柱。球尾和船体间过渡部分处理成凹槽以减小尾伸部处流水线去流角。这种球尾的优点: 所需功率低, 伴流分布较均匀, 造价便宜。实船上的照片见Hansa, 1979, 116(13), 1045右上角照片。

## 4 根据型船设计型线的方法<sup>[2, 43]</sup>

按此法设计时先设计船体水下部分, 再加上干舷以及球首。

与常规方法比较, 本方法之优点如下:

较易设计出优秀型线;

减少工作量, 因为一般不需设计横剖面面积曲线, 不必检验它与型线是否一致;

变换过程中就了解许多特征, 如可从原始值求出KM 值。

变换型船型线生成具有不同主要量度和特征的类型线的方法有: 利用型值表或作图, 比例放大型值、改变水线、横剖线或纵剖线求出新型线; 用数学方程式求出新型线。

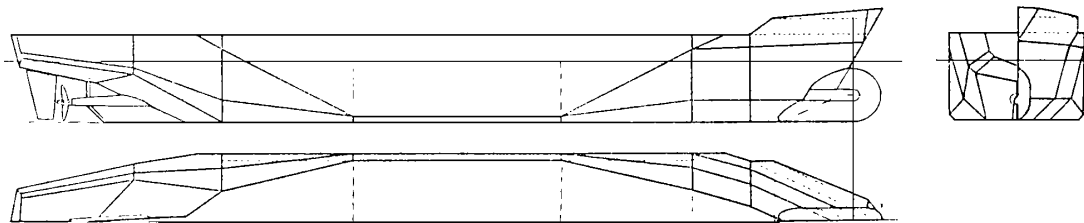


图56 先锋型多用途货船的简易型线

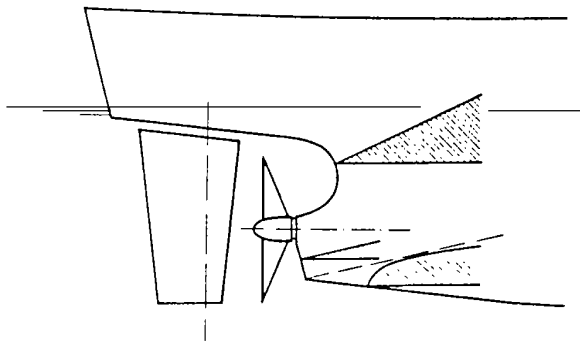


图57 简易球尾型线

用型值求变换型线的方法有：线性仿射变换长、宽、高都乘以相同或不同的比例；准仿射变换应用于局部或综合采用线性仿射变换；非仿射变换在一个或几个方向上比例作连续变化。

#### 4.1 型值比例变换(线性、仿射变换)

船长、船宽和吃水可以单独、两个或全部以相同或各自比例系数作线性变换。各横剖面的间距由长度变化系数来定，各横剖面型线型值乘以宽度比例系数后用于由吃水变化系数求得的新水线高度上。主尺度比如  $L/B$ 、 $B/T$ 、 $\nabla/L^3$  等均可变化。方形系数、浮心、水线面及横剖面特征，在仿射变换中都保持不变。变换长、宽、吃水之前先按主尺度要求仿射变换船的轮廓外形。如线性变换后再作进一步变换，此阶段不必作图。前、后体亦可从不同型船的型线求得，利用静水力曲线和其它原始资料求两半船体的排水量和丰满度时可把前、后体分开处理。浮心往往是给定的，这有助于确定其它必要的参数。

##### 4.1.1 浮心和前、后体方形系数间的关系

$$\text{对常规型线: } C_B = \frac{C_{BF} + C_{BA}}{2} \quad (1)$$

对  $C_M > 0.94$  的商船(无球首):

$$X_{CB} [\%L] = 44(C_{BF} - 0.973 C_B - 0.0211) \quad (2)$$

$$C_{BF} = C_B + (0.0211 + \frac{X_{CB}}{44} - 0.027 C_B) \quad (3)$$

$$C_{BA} = C_B - (0.0211 + \frac{X_{CB}}{44} - 0.027 C_B) \quad (4)$$

考虑  $C_M$  的影响有:

$$X_{CB} [\%L] = \frac{43}{C_M} (C_{BF} - 0.973 C_B) - 0.89 \quad (5)$$

$$C_{BF,BA} = C_B \pm [\frac{C_M}{43} (X_{CB} + 0.89) - 0.027 C_B] \quad (6)$$

式中 浮心在艏前取+，在艏后取-。

$X_{CB}$  的误差为  $\Delta X_{CB} < 0.1\%$ ，即对长100 m 的船  $\Delta X_{CB} < 0.1$  m，相应的纵倾变化  $\Delta t < 0.07$  m。

对有球首的船，先估算球首体积，在力矩计算中修正球首体积确定  $C_{BF}$ 、 $C_{BA}$ 。

#### 4.1.2 不同型船前后体的组合(图58)

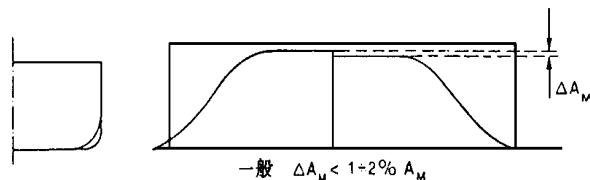


图58 中横剖面不一致时的组合

如果前后体是从中横剖面系数不同的两个型船型线变换而得的，会产生横剖面面积曲线前、后体的高度不同，须对船中段型线光滑处理。

线性变换的前提条件是型船或可用两个适当的半体组合成所需的方形系数和浮心位置。 $n$  艘船的前后体组合可变换出  $n^2$  个新型线。

#### 4.2 内插法(准仿射变换)(图59)

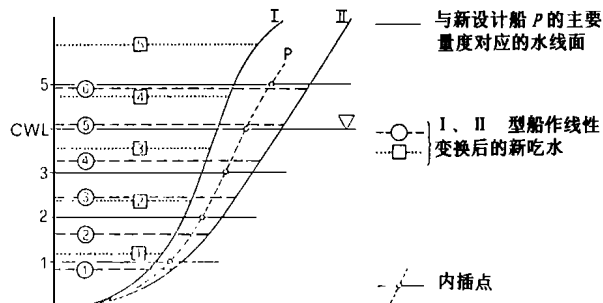


图59 使用内插法设计型线

本方法可从两个型船型线求得之间任何比例的内插值，可用作图或计算进行。

作图时，先在横剖面和纵剖面上作两条已仿射变换到预定主尺度的相应型线，再求出相应比例的内插型线。

内插法设计的型线突肩光滑度比型船差。两型船突肩位置明显不同，可能出现如图60所示的两个突肩的情况，此种平直形突肩在后体上出现问题不大。该方法最好应用于两个具有相似突肩位置的型船情况。

新设计船的排水体积

$$\nabla_p = \nabla_{v1} + (\nabla_{v2} - \nabla_{v1})x \quad (7)$$

式中  $x$  表示船宽的实际变化，为设计船(下标  $p$ )和型船(下标  $v$ )船宽的总差值和两型船船宽之差的比值。 $\nabla_{v1}$ 、 $\nabla_{v2}$  为型船仿射变换后的排水体积。

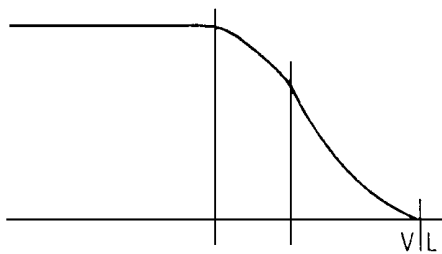


图60 采用内插法可能形成两个突肩

#### 4.3 设计水线面的转换(准仿射变换)

本方法改变型船的吃水和半宽, 方形系数将随吃水的减小而减小。型船的吃水与丰满度相关联, 根据所要求的  $C_B$  从静水力曲线图上读取吃水。该吃水下的剖面形状用于仿射变换所需的新设计船吃水下的剖面形状的设计, 可用下式计算设计船的排水体积:

$$\nabla_p = \frac{\nabla_v}{L_v B_v T_v} \cdot L_p B_p T_p \quad (8)$$

前倾式首柱因设计水线的变化应作相应的修正(图61)。设计吃水变化引起螺旋桨高度与吃水之比的变化。尾部型线略作调整以适合螺旋桨的布置或改变方型尾的浸深, 这时水线改变而垂线间长不变(图62)。

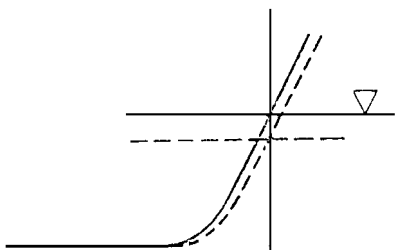


图61 设计水线移动时首柱的修正

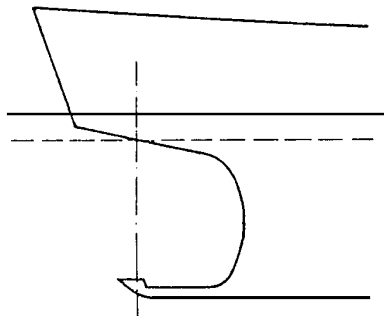


图62 设计水线变更对尾部的影响

本变换法只适用于少量变化  $C_B$  的情况:  $\Delta C_{BF} \pm 0.012$ ,  $\Delta C_{BA} \pm 0.008$ ; 但它可有效地改变后体尾伸部和螺旋桨尾框的高度。

#### 4.4 平行中体的变化(准仿射变换)

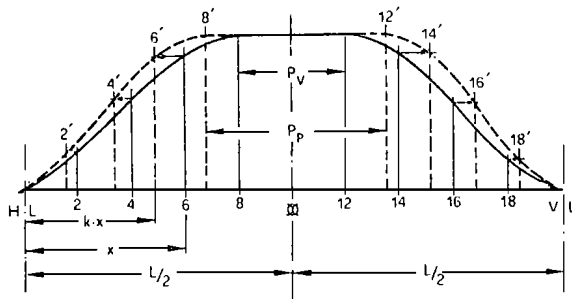
此法常用来改变方形系数(图63)。首、尾垂线保持不变; 其它各站至首、尾垂线的距离乘以  $K (= \frac{L - \Delta P}{L})$ , 作为相应的新站, 设计船的排水体积如下:

$$\nabla_p = \nabla_v \frac{L - \Delta P}{L} + \Delta P B T C_M \quad (9)$$

$L$ 、 $B$ 、 $T$  同时线性变换时设计船的排水体积:

$$\nabla_p = \nabla_v \frac{(L - \Delta P) B_p T_p}{L_v B_v T_v} + \Delta P B_p T_p C_M \quad (10)$$

如果  $\Delta P > P_v$ , 变换后中部出现折线, 影响到横剖面面积曲线、水线、斜剖线和纵剖线。这个折角不是很明显的话, 可修整光滑。



型船:  $P_v$ , 设计船:  $P_p$ , 平行中体变化量:  $\Delta P = P_v - P_p$

图63 平行中体长度  $P$  变化时站距的变化

新设计船的平行中体长度、变化量:

$$P_p = \Delta P + P_v K \quad (11)$$

$$\Delta P = (L - K)L \quad (12)$$

设计船的方形系数:

$$C_{BP} = \frac{C_{BV} (L - \Delta P) B T + \Delta P B T C_M}{L B T} \quad (13)$$

变换平行中体长度的站号比例变化系数  $K$  为:

$$K = \frac{C_M - C_{BP}}{C_M - C_{BV}} \quad (14)$$

本方法也可分别用于船的前体或后体上, 故本方法亦可改变平行中体的位置。如只考虑前体或后体, 半条船的公式为:

$$\Delta P = 0.5(1 - K)L \quad (15)$$

用该半体的  $C_{BP}$  和  $C_{BV}$  代入式(14)求  $K$  值。

应注意螺旋桨尾框, 特别是螺旋桨柱与尾垂线的间距随站距的变化比例而改变, 有时须作修正。采用本法要特别注意型线特征的变化。

#### 4.5 用抛物线法移动横剖面面积(非仿射变换)

在用各种特性曲线变换横剖面的方法中,图64所示的方法最便于应用,还可很简单又精确地确定排水体积的变化。

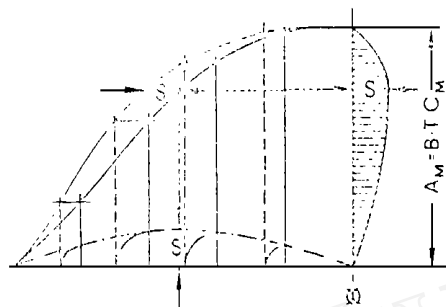


图64 用抛物线法变换横剖面面积曲线

横剖面的移动量可用沿船长方向的二次抛物线来求取。如抛物线一端位于尾垂线,横剖面移动会改变螺旋桨尾框的量度,把抛物线零点放在螺旋桨柱上就可不改变尾框量度。反之,也可用试凑法适当选取抛物线零点获得尾框尺寸所需的变化。

抛物线特征高度:

$$S = \frac{\Delta C_B L}{2K C_M} \text{ 或 } S = \frac{\Delta \nabla}{K A_M} \quad (16)$$

当  $C_P < 0.6$  时,  $K = 0.7$ ;  $C_P = 0.6$  时,  $K = 0.744$  ( $C_P = 0.6$ )<sup>2</sup>。

由于排水体积是  $S$  的函数,须对变换后的排水体积作校核。

#### 4.6 用抛物线法移动水线(非仿射变换)

两种应用形式: 同时变化排水体积和丰满度,横剖面形状特征变化较明显; 排水体积不变变化横剖面形状和水线面系数。

抛物线端点位于基线和某水线(图65所示为设

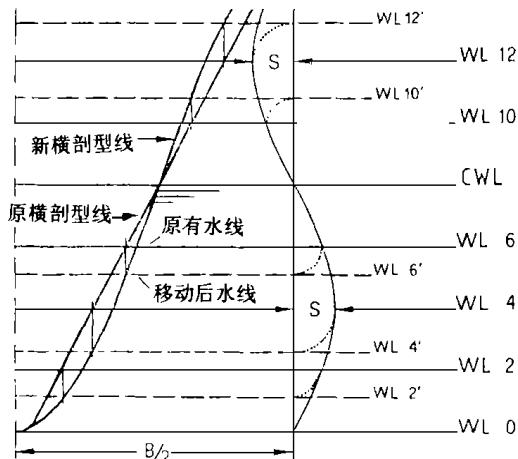


图65 抛物线法移动水线对横剖面特征的影响

计水线),用抛物线来移动这两根水线以外的水线,设计水线上下的水线作反向移动。如图示设计水线以下各水线向下移动各水线抛物线高度值,而设计水线以上各水线则向上移动相应量值。

如果零点上、下两抛物线特征值  $S$  不同,须光顺变换后转折点处的型线,并用常规方法设计设计水线以上的外飘横剖型线。本变换亦改变螺旋桨尾框高度和吃水的比值,但此变化没有线性变换设计吃水那样明显。本方法特别适用于把  $V$  型或  $U$  型横剖面变换成  $U$  型或  $V$  型横剖面。把抛物线零点放于适当的水线面,可不改变船舶丰满度而仅改变横剖面特征。

移动零点位于设计水线时的排水体积变化:

$$\Delta \nabla = SKBL C_{WP} \quad (17)$$

相应的丰满度变化为:

$$\Delta C_B = SK \frac{C_{WP}}{T} \quad (18)$$

式中  $S$ —最大移动距离

$K$ —与横剖面特征、水线面面积曲线有关的系数,是  $\frac{C_{WP}}{C_B}$  的函数。

极端情况是  $\frac{C_{WP}}{C_B} = 1$  和  $K = 0$  的正垂直横剖面情况。普通商船的  $K$  值为  $0.4 \sim 0.5$ 。用水线面面积曲线通过试凑法可以确定原有船的  $K$  值,来计算变换数据。

#### 4.7 变换方法的两点提示

(1) 如线性变换减小新设计船的  $L/B$ ,而型船的水线去流角又接近临界值,那么变换后的后体水线去流角可能大于临界角;

(2) 上述各种方法亦可组合使用。当全部或部分使用4.1~4.4介绍的仿射变换方法时,可精确计算变换后的排水体积;在使用4.5~4.6所介绍的非仿射变换法时,排水体积与经验系数正确选择有关。其中移动的距离必须在按横剖面面积曲线和水线面面积曲线绘制型线之前加以检验。

#### 4.8 型线变换后的初稳性

仿射或准仿射变换中即使船舶长、宽、吃水所用的变换系数不同,但  $C_{WP}$  保持不变。新设计船的横稳性垂向坐标为:

$$KM_P = BM_V \frac{(B_P/B_V)^2}{(T_P/T_V)} + KB_V (T_P/T_V) \quad (19)$$

计算内插法变换的新设计船稳性可以从两个变换后的型船之稳性内插。如这两型船差别较小,对  $KB$  和  $BM$  作线性内插即可。

设计水面变换 $4_3$ 后的水面横向惯性矩

$$I_{IP} = I_{IV} (B_P/B_V)^3 L_P/L_V \quad (20)$$

平行中体变换(4 $_4$ )后的 $C_{WPP}$ 和 $I_{IP}$ 可精确求得:

$$C_{WPP} = \frac{C_{WPV} \pm \Delta P/L}{1 \pm \Delta P/L} \quad (21)$$

$$I_{IP} = I_{IV} \left( \frac{B_P}{B_V} \right)^3 \frac{L_P - \Delta P}{L_V} + \frac{\Delta P B_P^3}{12} \quad (22)$$

采用抛物线法移动横剖面面积 $4_5$ 后,可用下面近似公式计算 $C_{WPP}$ (比一般近似公式精确):

$$C_{WPP} = C_{WPV} + \frac{2}{3} (C_{BP} - C_{BV}) \quad (23)$$

## 4.9 变换后的水面进流角

仿射变换中水面进、去流角 $i$ 的正切变化与 $L/B$ 成反比,并与平行中体的变化和附加的仿射变换引起的 $C_B$ 的变化有关:

$$\tan i_P = \tan i_V \frac{1 - C_{PV} L_V/B_V}{1 - C_{PP} L_P/B_P} \quad (24)$$

抛物线法变换横剖面站距,附加仿射变换引起 $C_B$ 的变化所致的水面进流角:

$$\tan i_{EP} = \frac{L/20}{L/20 \pm 0.4S} \tan i_{EV} \quad (25)$$

式中 $S$ 为抛物线法的最大移动距离。

(待续)

(上接第13页)

## 7 其它舰船部件<sup>[1,4]</sup>

### 7.1 其它船舶

随着港湾事业的发展,为清除第二次世界大战遗留的水雷等危险物,日本于1974年建造了长22 m和24 m的GRP磁探船,这种船在战时可与扫雷艇配合使用。日本还建造了世界上最大的GRP双体测量船,该船长20.9 m,双体最大宽度9 m,排水量为94 t。各国大多采用GRP来建造引水船,英国曾于1977年和1979年建造了艇长为14 m的MK I和MK II两型GRP引水船,其中MK II型是为中东各国建造的。1971年欧美试制成功长19.7 m的GRP驳船,并于次年开始大量制造,因船身轻而能装载更多的货物,已引起航运界的关注。中国1972年在常州试制成功长19.3 m的GRP驳船,经多年使用,情况良好。

### 7.2 舰艇部件

声纳导流罩必须具有良好的透声性,因而目前已广泛采用GRP制造声纳导流罩,近来又发展到应用玻璃纤维和碳纤维混纺增强的CM。GRP的高比强度和能透过雷达波,导致了它在雷达导流罩中的广泛应用,大型导流罩常采用轻型夹层结构,小型的则可采用单壳板结构。此外,GRP还适用于猎扫雷艇中的灭雷具,水雷壳体,扫雷浮标以及蓄电池箱等,其它如舰艇的桅杆、烟囱、舱口盖、管路系统等也采用了GRP建造,并带来很多好处。

## 参考文献

- 1 翁祖祺等编 中国玻璃钢工业大全 国防工业出版社, 1992: 663~641
- 2 曹明法 国外玻璃钢反水雷舰艇的发展概况 现代舰船, 1986 6
- 3 曹明法 我国纤维增强塑料舰船的现状和发展 船舶, 1997 2
- 4 蒋金英 世界各国和地区玻璃钢船的发展概况 中国船舶工业总公司综合技术经济研究院, 1987
- 5 蒋金英, 何国明 世界造船材料发展概述 中国船舶工业总公司综合技术经济研究院, 1993
- 6 蒋金英等 玻璃钢游艇工业及市场 中国船舶工业总公司综合技术经济研究院, 1997
- 7 船越卓等著 大连振华玻璃钢研究所译 玻璃钢渔船 大连理工大学出版社, 1989
- 8 高金城等著 玻璃钢渔船 中国农业出版社, 1995
- 9 农业部, 国家建材局 九五国家重点科技攻关计划项目可行性论证报告“大型玻璃钢渔船的研制及产业化” 1996
- 10 C. S. 史密斯著, 裴俊厚, 李润田等译, 复合材料船舶及海洋工程结构设计 水动力学研究与进展编辑部, 1992
- 11 雷电主编 '94-'95中国高速客船手册 海潮出版社, 1995
- 12 Jane's High-Speed Marine Transportation 1996-97, Edited by Stephen J. Phillips, Twenty-ninth Edition
- 13 程焱南主编 高性能船舶文集 中国船舶工业总公司七院第708研究所, 1993
- 14 Jane's Fighting Ships 1995-1996, Edited by Captain Richard Sharpe RN, Ninety-eighth Edition
- 15 曹明法, 马锦华 猎扫雷艇艇体材料可行性研究 舰船科学技术, 1991 4
- 16 恽良主编 国外军用气垫船和地效翼船译文集 中国船舶工业总公司七院第708研究所, 1994