

# 游 艇 设 计 (一)

朱珉虎

(江苏省船舶设计研究所 江苏 镇江 212003)

游艇已成为高质量生活的象征。游艇也是一种美的创造。在狭小的空间里,设计师会充分发挥他的空间想象力,经营出别致而紧凑的布局把造型艺术和船舶设计的能力发挥得淋漓尽致。

## 符号表

A<sub>P</sub>- 滑行面投影面积 /m<sup>2</sup>A<sub>T</sub>- 尾封板浸湿面积 /m<sup>2</sup>A<sub>X</sub>- 最大横剖面(浸湿)面积 /m<sup>2</sup>

B- 艇宽或计算宽度,载荷系数中指平均折角线宽度 /m

B<sub>P</sub>- 最大折角线宽 /mB<sub>T</sub>- 尾板处折角线宽 /mC<sub>B</sub>- 方形系数C<sub>P</sub>- 棱形系数C<sub>R</sub>- 剩余阻力系数C<sub>S</sub>- 湿表面积系数, C<sub>S</sub> = S√LC - 排水体积长度系数, C =  $\frac{L}{10}$ C - 载荷系数, C =  $\frac{1}{0.5 \sqrt{B^2}}$ 

CG- 重心

d- 艇体吃水 /m

D- 艇的型深 /m

Fr- 长度傅氏数, Fr =  $\frac{0.5144V}{\sqrt{gL_w}}$ F<sub>r</sub> - 排水容积傅氏数, Fr =  $\frac{0.5144V}{\sqrt{g}^{1/3}}$ h<sub>0</sub>- 初稳性高度 /m

H- 断级高度 /m

l- 平均浸湿长度 /m

l<sub>p</sub>- 断级前的长度 /ml<sub>T</sub>- 断级后的长度 /mL<sub>C</sub>- 折角线长度 /m

L- 艇长或计算长度,一般指设计水线长 /m

L<sub>OX</sub>- 艇的总长 /mL<sub>WL</sub>- 载重水线长 /m

LCG- 重心纵向位置 /%L

P<sub>B</sub>- 主机功率 /kWR<sub>R</sub>- 剩余阻力 /kNS- 艇体湿表面积 /m<sup>2</sup>

v- 计算艇速 /m/s

V- 最大试航速 /kn

x- 重心与浮心纵向间距 /m

x<sub>B</sub>- 浮心纵向位置 /%L 舯后x<sub>G</sub>- 重心纵向位置 /mx<sub>r</sub>- 首部折角线与水线交点距首垂线距离 /m- 最大排水容积 /m<sup>3</sup>

- 相对浸湿长度, =l/B

- 尾纵倾角 / (°)

- 斜升角 / (°)

- 排水量 /t 在载荷系数中作重力计算时,应乘以 9.81,化为 kN)

## 1 基本尺度的规划

游艇的尺度一般都不是很大,十几米到二十几米的最为常见,而小的娱乐艇只有几米长。为了发挥它的速度优势,体现经济性和舒适性,还是要遵循滑行艇设计的基本原理。

要设计好一艘游艇,必需具有丰富的经验。这些经验既可以从实践中来,也可以利用已经发表的船模系列试验资料和实艇资料。关键是将搜集到的众多数据转换成特征参数(函数或自变量),然后拟合成曲线或回归公式,成为设计新艇的指南。Niels E. Sorensen-Viale<sup>[1]</sup>收集了下列资料:

·Clement 和 Blount 发表的 TMB 模型 62 系列;

·SNAME 公报中的小艇资料;

·Norström 的圆舳艇系列资料;

·各专业杂志上发表的实艇性能数据。

然后,转换成下列特征数进行统计回归:

$$= \frac{0.05V}{B_p^{1.5}}$$

- 速宽比,反映了艇速与宽度之间的关系

- 容积宽度系数, =  $B_p^3$ φ- 面积系数, φ =  $A_P / B_p^{2/3}$ - 宽长比, =  $B_P / L_{WL}$ - 功率系数,用于确定主机的功率, =  $1.36P_B /^{1.16}$ - 速度系数, =  $V /^{0.16}$ 

$$K_N = \frac{0.0587V \cdot^{1/3}}{\left( \frac{0.6169P_B}{B_p} \right)^{1/3} B_p^{3/2} \cdot P_B^{1/3}}$$

K<sub>N</sub>- 功效系数,反映经济性的好坏,图 1 至图 8 是

用这些特征数绘制的统计图表，反映了现有成功实艇的密集区域。其最佳吻合曲线可用下列公式来表达，其中某些曲线又分为基本值、高值和低值。

$$K_N(\text{高}) = 0.005525Fr^{2.09}$$

$$K_N(\text{基本}) = 0.004411Fr^{2.09}$$

$$K_N(\text{低}) = 0.002769Fr^{2.09}$$

$$(\text{高}) = 0.0289Fr^{1.69}$$

$$(\text{低}) = 0.0240Fr^{1.69}$$

$$= 4.378K_N^{1.09}$$

$$\phi(\text{基本}) = 13.63^{-0.33}$$

$$\phi(\text{高}) = 14.33^{-0.26}$$

$$\phi(\text{基本}) = 0.71^{0.69}$$

$$\phi(\text{高}) = 0.88^{0.69}$$

$$(\text{基本}) = 14.39\phi^{-1.99}$$

$$(\text{低}) = 10.69\phi^{-1.99}$$

$$= 0.56^{-0.19}$$

$$= 0.16^{1.815}$$

滑行艇体的几何形状参阅图 9。这些回归公式对于深 V 型艇也是适用的。下面几个公式是专为游艇设计初期建立艇体基本尺度规划而准备的。

$$P_B = 0.1176^{1.16} 1.815$$

$$P_B = 1.621^{3/K_N}$$

$$V = 3.246P_B^{0.551/0.476}$$

$$B_P = 1/3^{1/3}$$

$$B_P = 0.009479(1.689V)^{2/3}$$

$$A_P = \phi^{2/3}$$

$$L_{WL} = B_P/$$

### 计算实例

以设计一艘排水体积 23m<sup>3</sup>，航速 37kn 的小艇为例，计算此游艇的基本尺度。

$$= V/^{0.16} = 37/23^{0.16} = 22.4$$

$$P_B = 0.1176^{1.16} 1.815 = 0.1176 \times 23^{1.16} \times 22.4^{1.815} = 1261.4\text{kW}$$

$$\phi(\text{基本}) = 0.71^{0.69} = 0.71 \times 22.4^{0.69} = 6.066$$

$$(\text{低}) = 10.69\phi^{-1.99} = 10.69 \times 6.066^{-1.99} = 0.296$$

本艇采用双机，要求宽度略宽一些，因此采用低值较为妥当。

$$B_P = 1/3^{1/3} = 23/0.296 = 4.27\text{m}$$

$$= 0.56^{-0.19} = 0.56 \times 23^{-0.19} = 0.309$$

$$L_{WL} = B_P/ = 4.27/0.309 = 13.81\text{m}$$

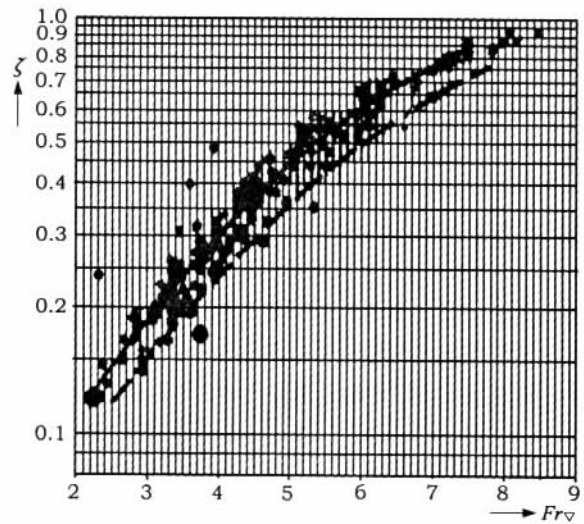


图 1  $\zeta$  和  $Fr$  的关系

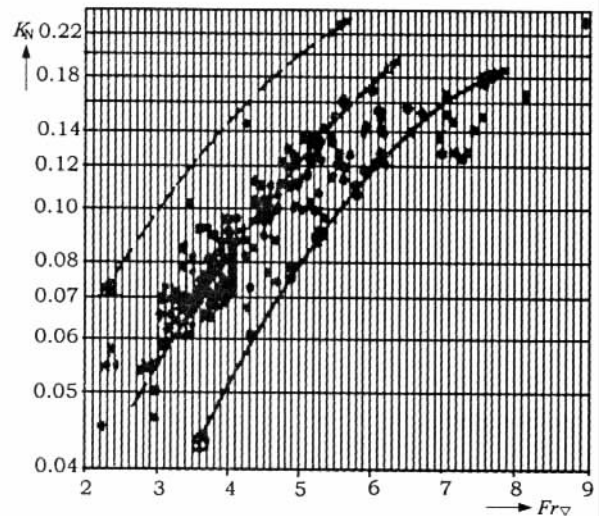


图 2  $K_N$  的  $Fr$  的关系

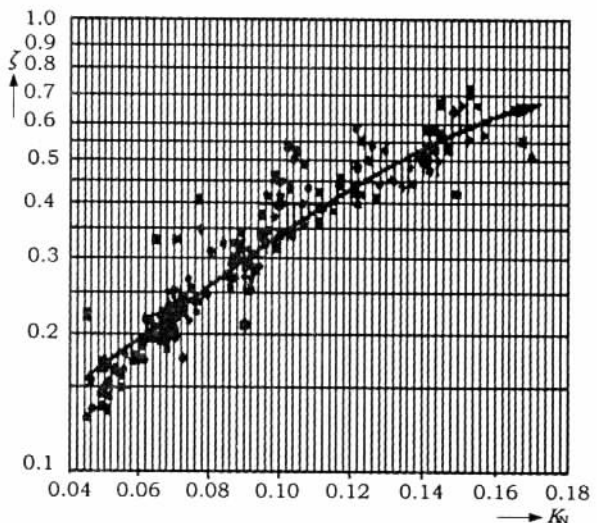


图 3  $\zeta$  和  $K_N$  的关系



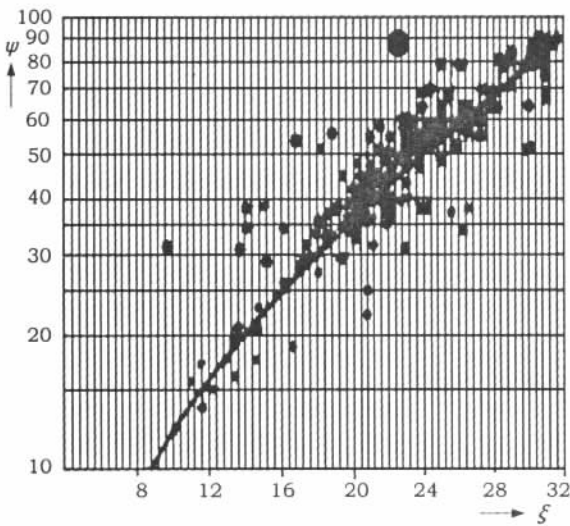


图 4  $\psi$  和  $\xi$  的关系

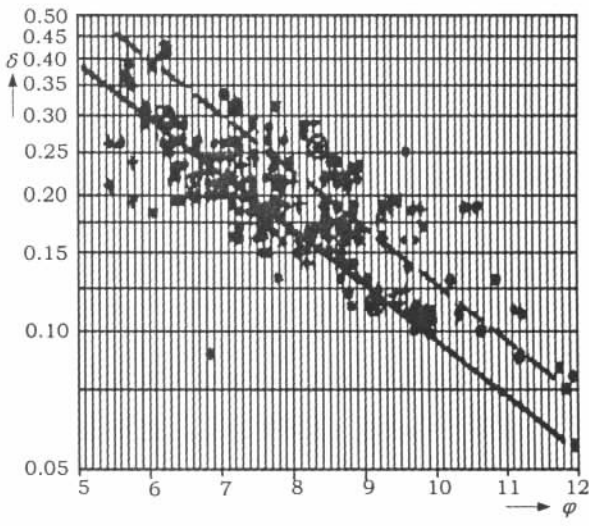


图 7 艇宽与滑行面面积的关系

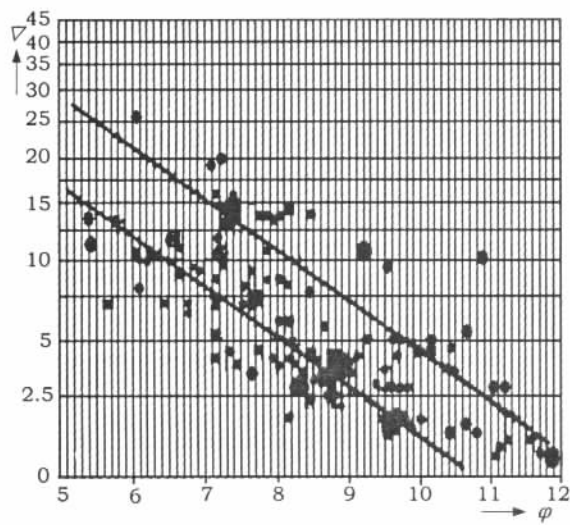


图 5 排水容积与滑行面面积的关系

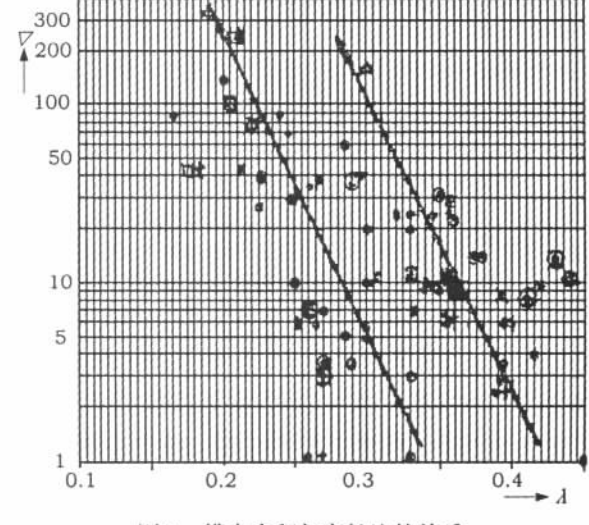


图 8 排水容积与宽长比的关系

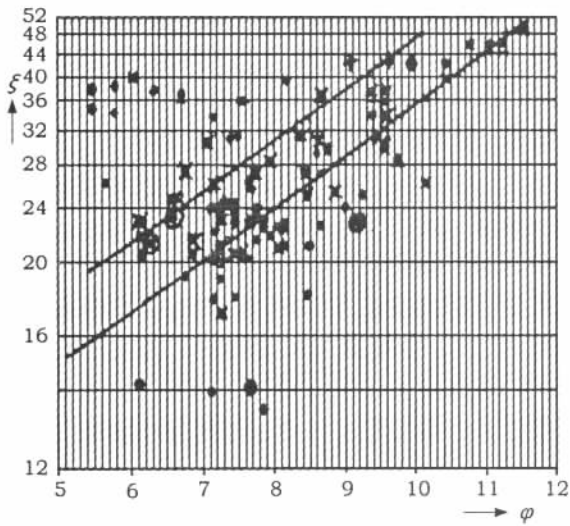


图 6  $\xi$  和  $\phi$  的关系

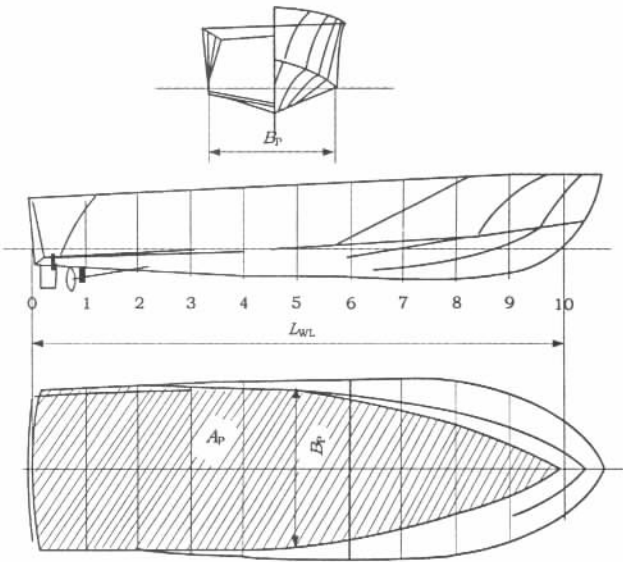


图 9 滑行艇体形状参数的定义

近代游艇的基本尺度列于表 1 中, 可供设计者参考。本设计实例即为表 1 中的 Sunseeker Manhattan 50 艇。

## 2 游艇设计

游艇通常尺度和排水量较小, 但相对速度较高, 其设计基础仍然是滑行原理。根据相对速度的大小, 可分为两种基本型, 即高速排水量型和高速滑行艇型。高速排水量型的艇体重量主要由浮力支承, 高速时, 部分艇体抬出水面, 但动举力不占主导地位。该艇型一般采用高速圆艏型, 适合的长度傅氏数范围在  $Fr = 0.35 \sim 1.0$  之间。高速滑行艇型的艇体重量主要由滑行面的动举力支承, 艇体排水浮力占有一定比例, 但不占主导地位。其一般采用折角型 (又称尖艏型), 由于艇体抬出水面较多, 长度傅氏数已不适用, 相对速度一般用体积傅氏数来表征。适合的体积傅氏数范围在  $Fr = 3$  以上。两种艇的设计方法截然不同, 下面分别介绍。

### 2.1 高速排水量艇

高速排水量艇的主尺度主要从快速性考虑, 并结合艇的布置、稳性等加以确定。影响快速性最重要的两个参数是排水体积长度系数  $C$  和长度傅氏数  $Fr$ 。图 10 是荷兰水池试验圆艏型快艇的结果。从图 10 中可以看出,  $Fr = 0.35 \sim 0.36$  时, 阻力曲线出现“第一谷”; 大部分的经济实用艇均设计在这一相对速率范围内。当  $Fr > 0.40$  之后, 剩余阻力系数  $C_R$  随  $C$  增加而急剧增加, 因此快艇设计者应特别注意减轻艇的重量; 另外, 在  $Fr = 0.5$  附近出现剩余阻力峰, 设计者应尽量避免设计在此傅氏数附近。

#### 2.1.1 水线长度

艇的水线长度应力求避开阻力峰区, 也就是要避开  $Fr = 0.5$  附近。在  $Fr = 0.40 \sim 0.48$  范围内,  $C_R$  值处于爬坡段, 增加艇长,  $Fr$  下降,  $C_R$  急速下降; 另外, 排水体积长度系数  $C$  也因艇长增加而减小。因此, 在这傅氏数范围内, 增加艇长, 使阻力大大下降。

在  $Fr = 0.52 \sim 0.60$  区域内,  $C_R$  处于下坡段。增加艇长使  $Fr$  更接近阻力主峰区, 但  $C$  因艇长增加而减小,  $C_R$  仍有所下降, 由于此时剩余阻力占总阻力的百分比较大, 增加艇长仍能使总阻力下降, 但效果不及爬坡段

明显。

在  $Fr > 0.8$  的高速段,  $C_R$  变化缓慢, 而且此时剩余阻力成分和摩擦阻力成分比较接近, 增加艇长从剩余阻力得到的收益被摩擦阻力的增加抵消一部分, 效果不甚明显。

增加艇长会引起空船重量增加, 也即排水体积增加, 但  $C$  总是能减小。因为空船重量和艇长是一次方正比关系, 而  $C$  和艇长是 3 次方反比关系。但艇长增加会引起造价上升, 型线变瘦, 施工不便, 因此设计时应全面加以考虑。

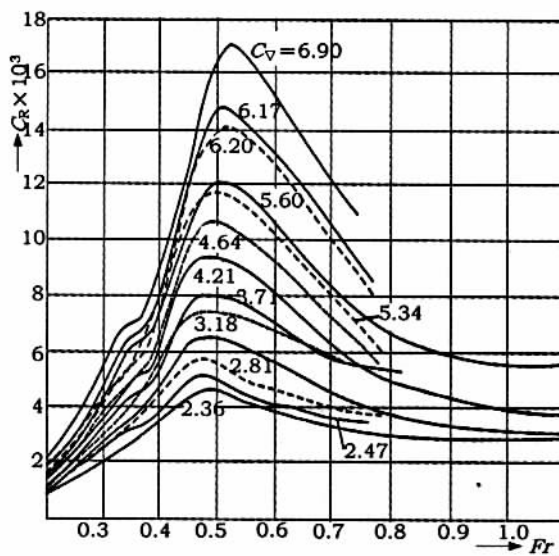


图 10 剩余阻力系数  $C_R$  与  $Fr$  的关系

#### 2.1.2 排水量

如前所述,  $C$  对阻力影响很大, 尤其是在阻力峰区域更为显著。因此减轻重量对高速排水量艇特别重要。选用轻型设备、采用铝合金或玻璃钢艇体、或者采用铝合金建造上层建筑, 这些都是改善排水量艇快速性的有效措施。但采取这些措施后, 会使工程造价大幅度上升。

#### 2.1.3 艇宽

艇宽主要从稳性和布置两方面加以考虑, 特别是双机或多机动力装置, 艇宽要考虑机舱的需要, 留有必要的维修空间。但艇宽过大又会导致宽度吃水比增大, 湿表面积增加而引起阻力增加; 艇宽过大还会引起初稳性值过大而横摇周期过小, 使得艇在水面上摇摆剧烈。

#### 2.1.4 型深

型深主要从布置方面并结合艇的造型和干舷等方



面确定。但应注意,型深增加会导致空船重量增加,影响艇的快速性能。

2.1.5 艇体形状

根据船模试验结果,高速排水量快艇为圆艏型时阻力性能最好。一般的圆艏型艇体见图 11。由于圆艏型横摇阻尼小,因此必须在艏部设置舵龙骨,以改善艇在海上的横摇性能,但舵龙骨的增加会使阻力也增加。为此有时也采用混合型艇体(如图 12 所示),即前体为圆艏型,后体接近尾端部分为尖艏型,中间逐步过渡。尖艏部分起到舵龙骨的作用,因此可以取消舵龙骨来抵消尾端尖艏型所增加的阻力。

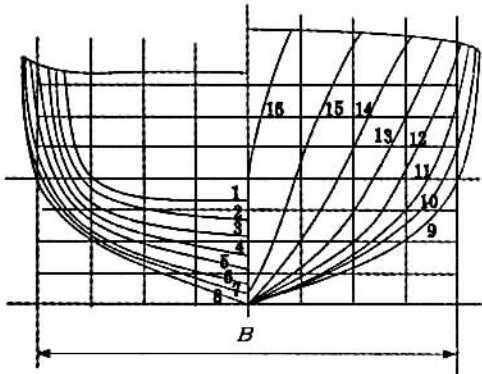


图 11 圆艏型线

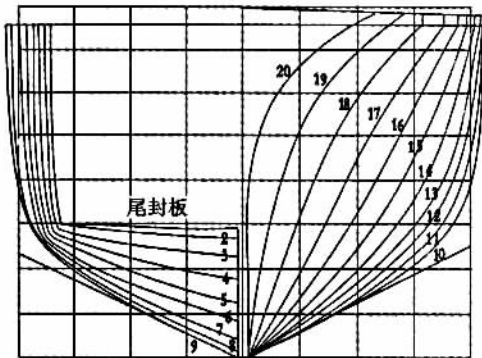


图 12 圆艏、尖艏混合型线

2.1.6 尾封板浸湿面积比  $A_t / A_x$

$A_t / A_x$  是圆艏型快艇中很重要的参数。低速段的圆艏艇,  $A_t$  通常接近于零,如瑞典的诺思聪船模,  $A_t / A_x = 0$ 。随着  $Fr$  的增加,加大  $A_t$  有利于形成艇尾的“虚长度”,对减小阻力有利,如英国 NPL 系列的  $A_t / A_x$  值就比较大,高达 0.52。但尾封板浸湿过大时会影响尾部螺旋桨的布置。为照顾高速艇低速时的阻力,  $A_t / A_x$  值也不宜过大。 $A_t / A_x$  值还可以表征快艇后体纵剖线的斜率,  $A_t / A_x$  愈大,纵剖线愈平直。当浮心纵向位置在舯后  $2.5\%L \sim 4.5\%L$  范围内,建议根据设计速度的傅氏数按图 13 阴

影线区域选取  $A_t / A_x$  值。图 13 中还标有一些国外专家的建议值和一些系列船模的  $A_t / A_x$  值供参考。

$A_t / A_x$  也可按 Fung<sup>[2]</sup>提出的回归公式确定。

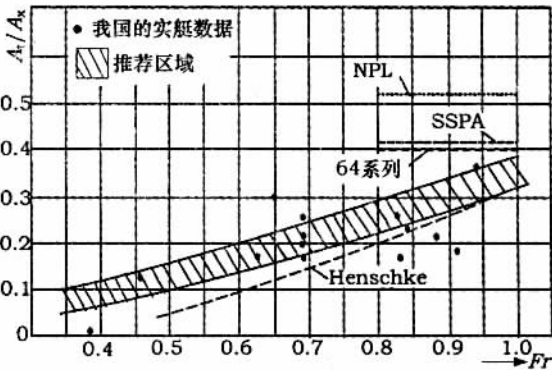


图 13 圆艏艇尾板浸湿面积比选用参考

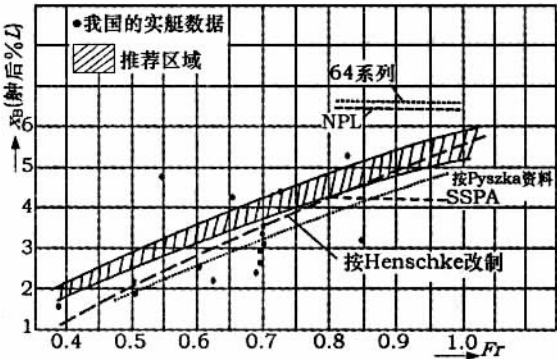


图 14 圆艏艇浮心位置选用参考

2.1.7 浮心纵向位置  $x_B$

圆艏快艇的  $x_B$  一般都在舯后。在低速快艇上  $x_B$  应位于舯后的  $1.5\%L \sim 2.5\%L$  处; 高速快艇上  $x_B$  应随  $Fr$  增加而后移。图 14 是浮心纵向位置选用参考图, 其中有两条浮心位置推荐曲线, 上面一条是按 Henschke 推荐的横剖面面积曲线改制的, 下面一条是按 Pyska 建议改制的。圆艏快艇在高速段的浮心位置可以在这两条线之间选取。但为了与较大的尾板浸湿面积配合, 也可按图 14 中的阴影区域选取。

按 Fung<sup>[2]</sup>给出的回归公式如下:

$$x_B = -2.2189 + 12.3505Fr - 5.4048Fr^2$$

2.1.8 方形系数  $C_B$

国内外圆艏快艇方形系数  $C_B$  很少有超过 0.50 的, 大多数都在 0.40 ~ 0.45 范围内, 还有不少的艇  $C_B < 0.40$ 。  $C_B$  对剩余阻力系数影响较小, 但对湿表面积影响较大。图 15 是湿表面积系数  $C_S$  与  $(C_p \frac{B}{d})^{0.5}$  的关系曲线图, 从图中可以看出  $C_B$  对湿表面积的影响。

表 1 近代游艇数据

船名	118 WallyPower	Oceanco LadyLola	Pershing 50	Manhattan 50	Mariu	Lady Ingeborg	Posillipo Technema
设计者 (营造商)	Wally	Oceanco	Fulvio De Simoni	Sunseeker	Codecasa	Heesen	Carlo Galeazzi
建造厂	意大利 Rodriquez	Oceanco	Pershing		Codecasa	Heesen	Cantieri Rizzardi
建造年		2002		2003	2003	2004	2004
总长/m	36.0	62.6	15.83	16	49.9	37	29.11
水线长/m	30.4		11.25	13.10			
宽度/m	8.0	10.5	4.35	4.61	9.5	7.5	6.80
高度/m				4.90			3.10
吃水/m	1.25	3.65	0.98	0.93	3.4	2.2	1.10
排水量/t	95(半载)		20.1	23(半载)	540	146	87
最大航速/kn	60	15	45	37	16(满载)	27	28
巡航速/kn	9(柴油机)	12	38	23	14	22	24
航程/海里	2000(9 节)	4500		270	4600	1800(12 节)	
客位		4+8		6	12+10		
材质	玻璃钢	钢壳铝棚			钢壳铝棚	铝合金	
发动机型号	DDCTF50 燃气轮机	Caterpillar 3512B	MAN	CAT C12	Catterpillar	MTU 12V4000	MTU 16V2000
功率/kW	3×4117	3×1231	2×588	2×577	2×1618	2×2040	2×
推进器	KaMeWa 喷推器		ASD 11 Arneson				
发电机	2×33kW			4kW			
燃油容量/L	22000	117700	2200	2500	100000	33000	10000
淡水容量/L	1200	16100	500	500	19000	6000	2000

2.1.9 棱形系数  $C_p$ 

在  $Fr = 0.35 \sim 0.40$  的速度范围内, 圆艏艇的  $C_p$  不宜过大, 一般在  $0.56 \sim 0.60$  之间。高速段由于兴波剧烈, 在整个进流段都会激起波浪, 所以横剖面面积曲线应平缓过渡, 使排水体积较均匀地向首尾分布。Baker 曾建议  $C_p$  取  $0.61 \sim 0.65$ , 设计者可按图 16 的阴影区域选取  $C_p$  值。根据国内实艇的统计,  $C_p$  与  $Fr$  有如下的回归公式:  $C_p = 0.6757Fr^{0.14744}$ , 另外, Fung 提出了如下的回归公式:

$$C_p = 0.5687 + 0.1538Fr - 0.0701Fr^2$$

## 2.1.10 横剖面面积曲线

低速段的横剖面面积曲线前端微凹, 最大剖面在舭部略后处, 尾端凹下,  $A_t$  为零或接近零。高速段的横剖面面积曲线前端微凹或稍直, 最大横剖面位置应在舭后, 并随  $Fr$  加大而逐渐后移, 但最大不超过舭后  $7.5\%L$ 。这样就增加了前体的长度, 使进流段更加光顺。保证去流段的光顺也要兼顾, 因此尾部横剖面面积不能收缩过快, 在方尾处应保持相当大的水线宽度和  $A_t$ 。

Henschke 曾为不同傅氏数的圆艏快艇绘制了横剖面面积曲线 (如图 17 所示) 可供设计者参考。这些曲线的尾端坐标值即是  $A_t/A_x$  值。

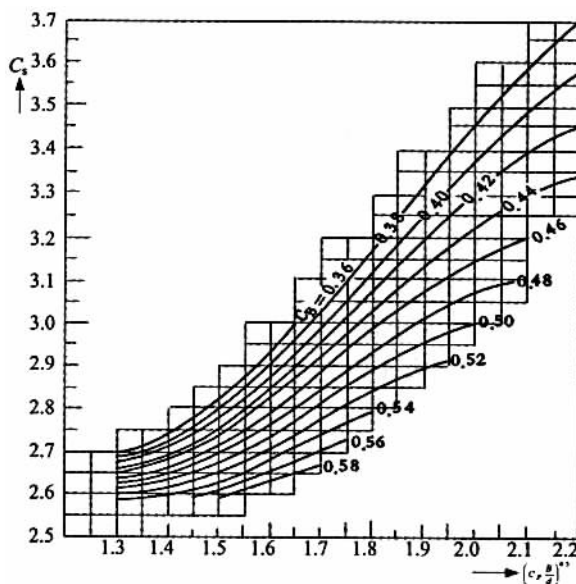


图 15 圆艏快艇的湿表面积系数



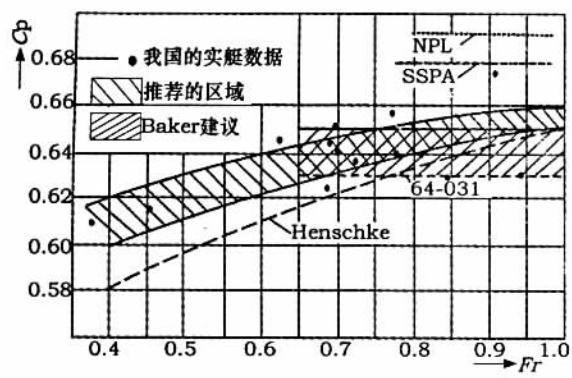


图 16 圆舢艇  $C_p$  选用参考

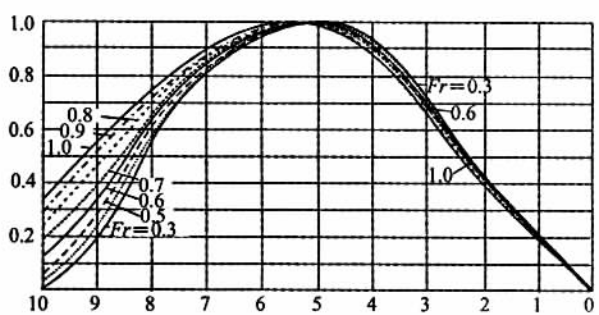


图 17 圆舢快艇的横剖面面积曲线

2.1.11 甲板边线

为配合造型的需要，快艇的甲板边线侧视图往往不是首尾部上翘的曲线或平行于水线的平直线，而是斜直线或上凸线。这样艇的侧面给人以昂首前进的动感，这是快艇型线比较特殊的地方。

2.1.12 尾部升力板

圆舢快艇航行时通常出现尾纵倾角。在中、高速段，随  $F_r$  的加大而增加，过大的纵倾角对阻力不利。但如果在快艇尾部加装尾部升力板，减小过大的，对阻力有好处。从图 18 中可见，加装不同角度的尾升力板，减小的程度也不同。通常尾升力板角度越大，的减少越多，但并非 减小越多越好，最佳阻力在  $= 1^\circ \sim 1.5^\circ$  之间。而使用于低速段的艇无需加装尾升力板。

尾升力板有两种安装方法：一种是安装在距尾  $0.015L$  处的底部；另一种是安装在尾封板的下缘，并向尾端伸出。后一种方法比较简单，调整尾升力板的角

度也比较方便，国内多采用这种方法。

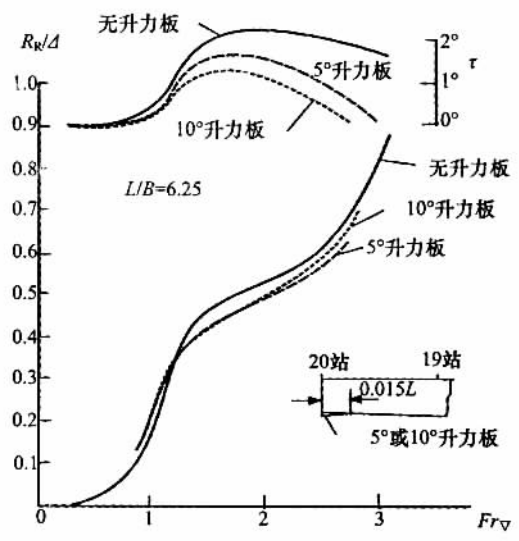
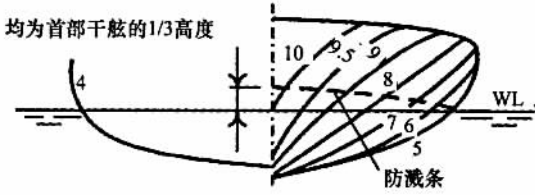
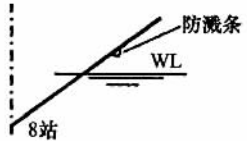


图 18 尾升力板的作用



防溅条可用下面的一种  
(A)首部4站以前加棱状防溅条



(B)首部艇体做成台阶形

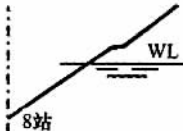


图 19 防溅条的设置

2.1.13 防溅条的设置

圆舢快艇在  $F_r > 0.8$  以后，首波波峰逐渐增高，飞溅增加，甲板上浪，引起阻力增加。为改善高速时的快速性，常在快艇前端两舷水线以上设置防溅条，以减少甲板上浪和飞溅，从而减少溅湿表面积，使阻力下降。图 19 是防溅条的典型布置图。

(未完，待续)