

# 游艇设计(二)

朱珉虎

(江苏省船舶设计研究所 江苏 镇江 212003)

(接上期)

## 2.2 无断级滑行艇

### 2.2.1 主尺度选择

高速滑行艇的设计起点:  $Fr > 3$ 。

作为初始数值, 无断级滑行艇的总长可按统计图 20 选取。

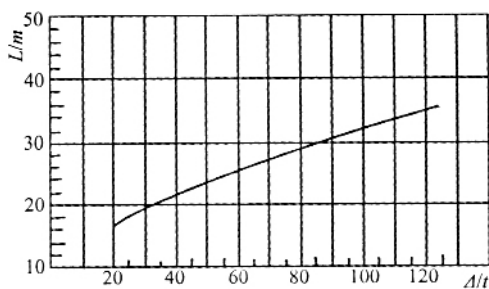
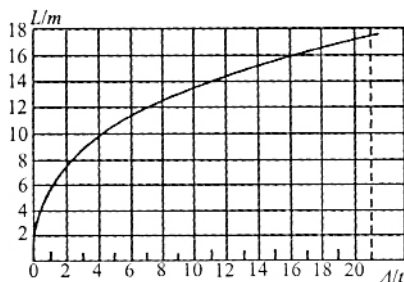


图 20 无断级滑行艇的长度

### 2.2.2 面积系数 $A_p/\nabla^{2/3}$

按 Clement 的试验结果, 面积系数大, 对低速阻力有利, 但在高速时阻力迅速上升, 因此当  $Fr > 4$  时, 宜取较小的面积系数, 见图 21。

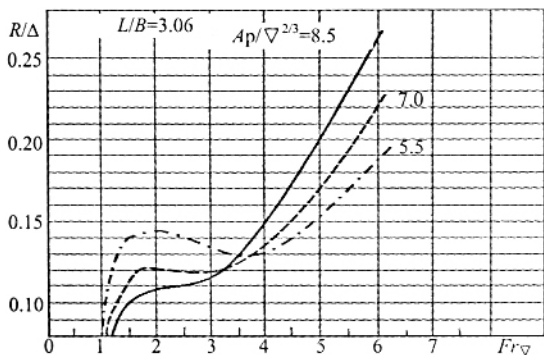
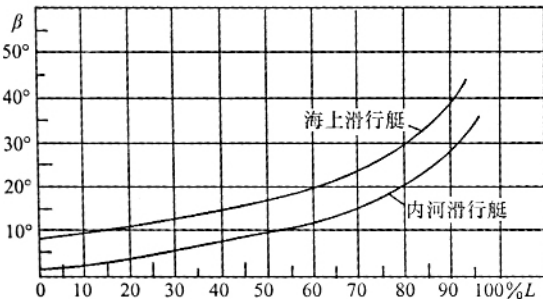


图 21 面积系数与傅氏数的关系图

图 22 典型  $\beta$  角沿艇长变化曲线

用于内河滑行艇的宽度可取:  $B_p = 0.6L^{0.7}$ 。

用于海上滑行艇的宽度建议:  $B_p = 0.63L^{0.65}$ 。

一般说来, 过小的  $L/B_p$  会出现较大的阻力峰, 且对于适航性不利。通常  $L/B_p > 3.5$ 。  $L/B_p$  过大尽管对低速区阻力有利, 但越过阻力峰以后的高速区阻力偏大。

### 2.2.3 重心纵向位置 LCG

对一定的滑行速度而言, 有一个最佳的 LCG 位置。这个位置决定艇的航态, 因而也决定艇的阻力。一般说来, 重心在舳折角线投影面积的形心后  $4\%L \sim 8\%L$  较合适 (舳折角线投影面积的形心一般在尾封板折角线前  $43\%L \sim 46\%L$ )。速度愈高, 则重心可再略后移些, 此时航行纵倾角会增加, 对阻力仍有利, 但以不产生纵向颠簸运动为限。

根据前苏联设计高速艇的经验。重心应位于水线与舳部折角线相切的那一点或自此点向艄约  $5\%$  此点到尾板的距离内 (参阅图 25)。重心太前会发生埋首现象, 太后会发生过大的尾倾引起阻力增加, 喷溅增多, 影响视线。

### 2.2.4 斜升角

为减少波浪对艇底的砰击, 滑行艇艇首横剖面呈尖劈形, 也即有较大的斜升角。由首向尾, 逐渐减小。对于海上滑行艇, 舳部一般为  $15^\circ \sim 20^\circ$ , 尾部为  $2^\circ \sim 8^\circ$ 。内河滑行艇由于波浪不大, 舳部为  $9^\circ \sim 12^\circ$ , 尾部为  $0^\circ \sim 2^\circ$ 。典型的角沿艇长的变化曲线见图 22。对于追求速度的娱乐用艇, 角可较上述酌减以提高流体动力特性: 海上小艇, 舳部以  $13^\circ \sim 16^\circ$  为宜; 内河小艇, 舳部以  $8^\circ \sim 11^\circ$  为宜。

通常以舳部斜升角和尾板斜升角的平均值作为等价棱柱体的斜升角。从阻力观点看,棱柱形艇底的升阻比随 角的升高而降低,因此,在滑行艇航行海域波浪不高时,常常选取平均 角较小的滑行棱柱面。

2.2.5 横剖面形状

横剖面形状应为微凹的 V 形或略带 S 形 (见图 23), 凹入的距离约为其弦线长度的 3%~4%, 过分的 S 形不如 V 形略带 S 形好。

各肋骨剖面凹入最大点的位置上下应成为一条平行于纵中剖面的直线(图 23), 这样可得到较好的水动力品质。因为若不平行纵中剖面, 就有部分平行于水线, 形成附加的涡漩阻力。

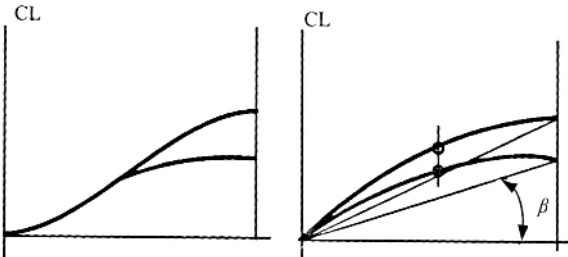


图 23 无断级滑行艇的横剖面形状

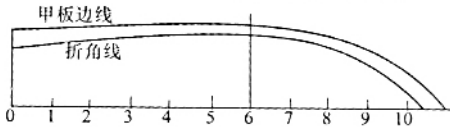


图 24 无断级滑行艇折角线在平面图上的形状

2.2.6 折角线形状

滑行艇的艇底与舷侧以折角线连接, 以使艇底水流在舷侧处抛出, 减少湿表面积, 并使艇底成为一个滑行面。折角线的形状对艇的性能有重要影响。折角线形状在平面图上如图 24 所示。一般最大宽度在离首 40% L 处, 在尾板处宽度  $B_T$  与最大折角线宽度  $B_p$  的比值约在 0.65 到 0.80 之间。过大的  $B_T$  会增加阻力。为了使艇有较佳的起滑性能和起滑航态, 折角线与水线的交点通常在离首  $1/4 \sim 1/3$  艇长处。折角线在舳以后其侧投影应近于直线或略带微凹(图 25)。舳折角线与水线所成之角度应在  $3.5^\circ \sim 6^\circ$  的范围内。如此角度远大于  $6^\circ$  或一般地将折角线伸到舳柱的顶点, 则在波浪中会引起阻力增长, 舳部的冲击加剧和适航性下降。

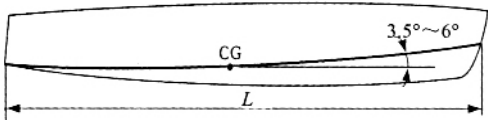


图25 无断级滑行艇折角线的侧面形状和重心位置

2.2.7 舳板

为了改善滑行艇的喷溅性能, 增加艇底举力。滑行艇舳部一般都装有防溅板条 - 舳板。舳板的宽度通常为折角线宽  $B_p$  的 2%~3%。在舳及舳后的安装角度与水线成零度, 在近艇首处与水线成  $8^\circ$  左右的俯角, 由舳至首逐渐过渡, 见图 26。

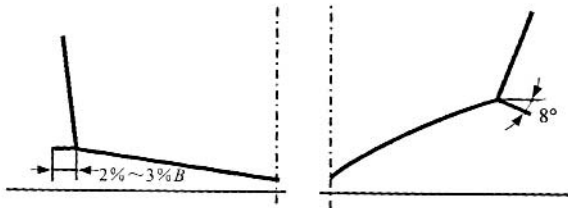


图 26 舳板安装示意图

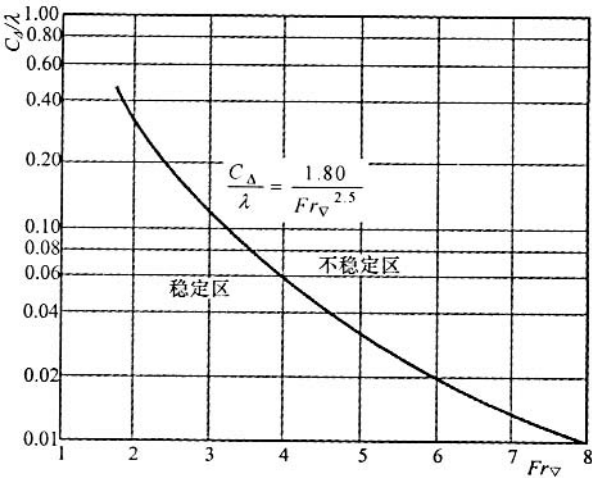


图 27 62 系列滑行艇颠簸界限图

2.2.8 滑行艇的纵向稳定性

滑行艇设计中最重要的是力求无颠簸运动 ( 又称海豚式运动) 下的低阻性能。颠簸运动是一种纵摇和垂荡的综合运动, 在较高的速度和较大的纵倾角时发生。产生这种不稳定运动的起始速度一般通过船模试验来获得。图 27 是 62 系列滑行艇的颠簸界限图, 在这条曲线的下方是稳定区, 即是说, 不会发生颠簸运动; 曲线上方则是不稳定区, 设计时应予避免。该图也可作为校核其它艇颠簸运动是否发生的参考。

曲线的拟合公式为:  $\frac{C}{Fr} = \frac{1.80}{Fr^{2.5}}$

若已知负载系数  $C$ , 则对每一  $Fr$  可确定最小的  $min$  值。把这个数值与阻力计算中得出的 值相比较。如果阻力计算得出的 大于  $min$ , 则可保证不产生颠簸运动。

2.3 断级滑行艇

断级滑行艇通常指艇底中部有一个断级的滑行艇。与无断级滑行艇相比, 差别在于它是由两个滑行面

支持, 每个滑行面的展弦比都较高, 同时前断级使艇底浸湿表面积减少, 因而流体动力性好, 升阻比大, 适用于更高的速度范围 (图 28)。断级艇由于 较小。容易产生不稳定的艇底三角形运动 (指前断级浸湿面积呈三角形, 而不是斜梯形)。此时还伴随有阻力的增大, 因此它的耐波性不如无断级的滑行艇。

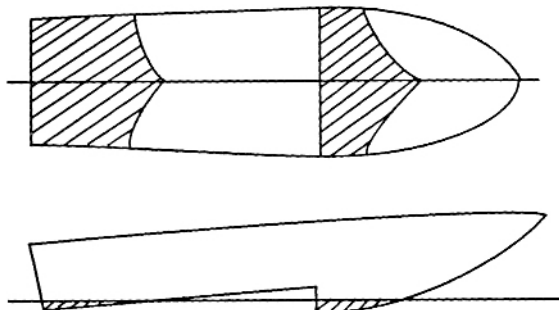


图 28 断级艇的滑行面

### 2.3.1 断级

由于前断级的流体动力性能较高, 因此通常前断级承担 60%以上的载荷。前断级的长度  $l_p=0.45L \sim 0.50L$ , 断级高  $H = 0.03B_p \sim 0.04B_p$ 。建议  $l_p/l_r = 0.9 \sim 1.0$ 。

### 2.3.2 折角线和尾龙骨线侧面形状

断级前的折角线, 其与水线的交角在浸湿部分应为  $4^\circ \sim 5^\circ$  (图 29), 且为直线。

艇艏浸湿部份应为平面, 而其离基线的高度  $h$  应使断级后龙骨线与基线的夹角在  $4^\circ \sim 5^\circ$  之间;  $h$   $(1.6 \sim 2)H$  (图 29)。

### 2.3.3 重心纵向位置 LCG

重心位置建议放在断级后面  $10\% \sim 15\%l_r$  处。

### 2.3.4 横向斜升角

底横向斜升角 的范围与无断级艇相同, 由艇的用途及适航性要求来决定。由于断级艇适用的速度范围比无断级艇高, 且适航性 (指耐波能力) 要求比无断级艇低, 因此斜升角 往往参照无断级艇取下限值。

### 2.3.5 宽度B

断级宽度与尾板宽度之比:  $B_p/B_r=1.5 \sim 1.6$ ; 由此可使得尾部的浸湿滑行面在前部浸湿滑行面所造成的水槽内运动而不碰到前面断级所造成的波浪。

为了使  $B$  能保证足够的升力, 取载荷系数:

$$C = \frac{1}{2} \frac{v^2}{B^2} = 0.034$$

所以如果 不变, 影响  $B$  的因素将是  $v$ 。随着设计速度增加则  $B$  下降, 反之则上升。当然在许多情况下, 还得考虑结构和总布置的要求。

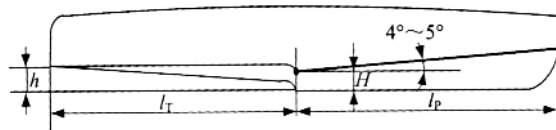


图 29 断级艇的侧面形状

### 2.3.6 准断级艇

在已建造的无断级滑行艇上, 为了进一步提高快速性能, 可以在中部及尾部艇底加上一定斜度的楔块。这不但能改变艇的航态, 而且能减少底部浸湿面积, 从而降低阻力。对航行纵倾角过分小的滑行艇, 前部艇底加装楔块能显著地降低高速阻力。这种加楔块的无断级艇可称为“准断级艇”。

## 3 玻璃钢小游艇设计

玻璃钢小游艇的特点如下:

艇长一般都在 10m 以下;

傅氏数均属滑行快艇范围;

动力以舷外挂机为主, 舷内装机舷外驱动方式次之;

以载客观光旅游为主, 使用经济性要求较高, 造价低廉。

### 3.1 主尺度选择

艇长的选择主要取决于乘员舱的布置。小艇用于载人, 总布置比较简洁, 乘员舱长度一般占艇长的 55% 以上。考虑乘坐舒适及视野, 坐椅宜向前顺向排列。坐椅间距不应小于 0.75m。根据乘员定额要求, 合理布置其舱室后就不难选定合适的艇长。以一艘 4.5m 玻璃钢小游艇典型的总布置为例。尾部为机器安装空间, 为了保护机器并增强造型美观, 可增设一定长度的假尾。

艇宽的选择主要是满足总体布置及稳性要求。高速游艇的安全性十分重要, 稳性要求较高, 一般初稳性高度不宜小于 0.5m。应根据不同航区的要求来决定艇宽。

型深的选取主要取决于稳性、主机的安装空间以及造型的需要。

国内小游艇主尺度比大致如下:

长宽比:  $L/B \geq 3$ , 略大于国外艇 国外艇  $L/B < 2.8$ 。



选取较大的  $L/B$  值对快速性较为有利。但  $L/B$  值过大, 将影响艇的刚性, 增加艇的造价。

长深比:  $L/D=7 \sim 8$ , 也较国外艇的统计值略大(国外艇  $L/D=6 \sim 7$ )。

宽深比:  $B/D=2.3$ , 与国外艇相接近。

### 3.2 线型设计

玻璃钢小游艇因相对航速要求都很高, 均属滑行艇范围。线型以折角型为主, 也有为消除飞溅影响而产生的 W 型, 以及在折角线型基础上增设‘隧道’的槽道型。但无论何种线型都必须确保艇底有足够的滑行面使艇产生足够的升力, 突破滑行艇阻力峰值使艇进入滑行状态。这对延长机器使用寿命, 提高航速, 产生足够的营运经济性是必不可少的。如果艇达不到滑行状态, 主机长期处于重负荷下工作有百害无一利。所以线型设计应以快速性为主, 兼顾适航性要求。

#### 3.2.1 艇底斜升角

艇底斜升角的大小对滑行艇升力面的效率起到决定性的作用。选取合适的艇底斜升角是线型设计的关键。原则上讲, 艇底斜升角越小, 升力作用越大, 滑行面效率(升阻比)越高。但过小的斜升角将导致波浪中拍击加重, 首部拍击导致产生严重的纵摇, 艇象脱缰的野马, 使驾驶员难于驾驭。乘员也不堪承受重力加速度产生的不适。为了解决快速性与适航性这一对矛盾。建议小型游艇艇底斜升角舭部取  $18^\circ \sim 22^\circ$ ; 艉部取  $10^\circ \sim 16^\circ$ 。

#### 3.2.2 横剖面形式

艇横剖面形式大致有图 30 所示五种。对于玻璃钢艇, 考虑到其材料刚性差的特点, 在设计艇横剖面时, 应在顾及施工工艺的前提下尽量增加其刚性。一般玻璃钢艇在满足刚度的同时, 强度也容易满足。艇的破坏大都因刚度不足, 产生过度变形后发生。因此, 玻璃钢艇不象钢质艇那样采用如图 30(1)所示的标准折角线型, 而以图 30 中第(2)、(3)两种剖面形式较常用。其共同点是增加艇底板的折皱, 产生数个小滑行平面, 在增加滑行效果的同时增加了艇底板的刚性。如果这些小折角线很光顺, 对艇阻力增加是可以忽略不计的。

在舷侧板上增设折筋, 对增加舷侧刚性极为理想。国外有些艇在舷侧不设肋骨就是基于这一措施, 它可

使艇内装潢简易化, 值得借鉴。另外, 舷侧板应尽量避免大平板式, 因为玻璃钢艇通过模具来制作, 而大平面对模具制作极为不利, 不仅增加制模难度, 而且产品在大平面处易产生折痕, 影响产品的美观、光顺。因此舷侧板宜带有一定曲度, 特别是在舭部。

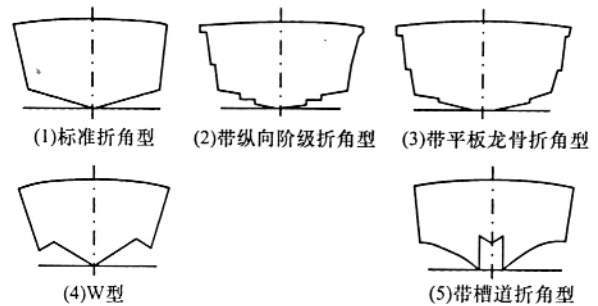


图30 玻璃钢游艇横剖面形式

#### 3.2.3 几个船型特征参数

参阅图 31, 折角线与水线交点距首距离与水线长之比  $x/L_{WL}>20\%$ , 如此值过小, 飞溅波浪可能上甲板。

艇尾板后倾角  $12^\circ$  可谓标准倾角, 它与舷外挂机的安装要求相适应。

最大折角线宽与型宽之比  $B_p/B=1.1$ 。

总长与折角线长度之比  $L_{OA}/L_C=1.05$ 。

重量重心与浮心之间距与艇总长之比  $x/L_{OA}<5\%$ 。如此值过大, 初始纵倾角会大于  $2^\circ$ 。当重心在浮心后时, 艇显尾重。艇起滑时间长, 所需动力将增大, 滑行前进时昂首过高, 艇速将受影响。当重心在浮心前时, 艇将产生埋首现象, 特别是停车时沉首幅度很大, 航速也将受影响。一般滑行艇在进入滑行状态前有一个沉尾抬起的过程, 正常情况历时  $2 \sim 3s$ , 然后保持一定的尾倾攻角滑行前进, 比较理想的尾倾角为  $2^\circ \sim 3^\circ$ , 此角过大, 航速将受影响。

敞篷艇挡风玻璃倾角不宜大于  $45^\circ$ 。倾角小, 迎风阻力小。国外艇最小采用  $30^\circ$ , 国内艇一般采用  $35^\circ$  和  $40^\circ$  两种倾角。

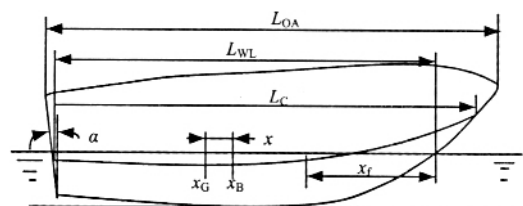


图31 船型特征参数

对于玻璃钢小艇, 主机均采用舷外挂机, 少数采用舷内外机。对于标准轴长的这两种机型, 其安装的最小空间尺寸和要求如图 32、33 所示。图 33 中  $z$  值为开孔中心(轴中心)至艇底板的距离, 根据尾封板后倾角  $\alpha$  值选取如表 2。

表 2 舷内机舷外驱动装置安装尺寸

	单机 $z/\text{mm}$	双机 $z/\text{mm}$
$10^\circ$	351	339
$11^\circ$	354	342
$12^\circ$	357	345
$13^\circ$	360	348
$14^\circ$	363	351
$15^\circ$	366	354

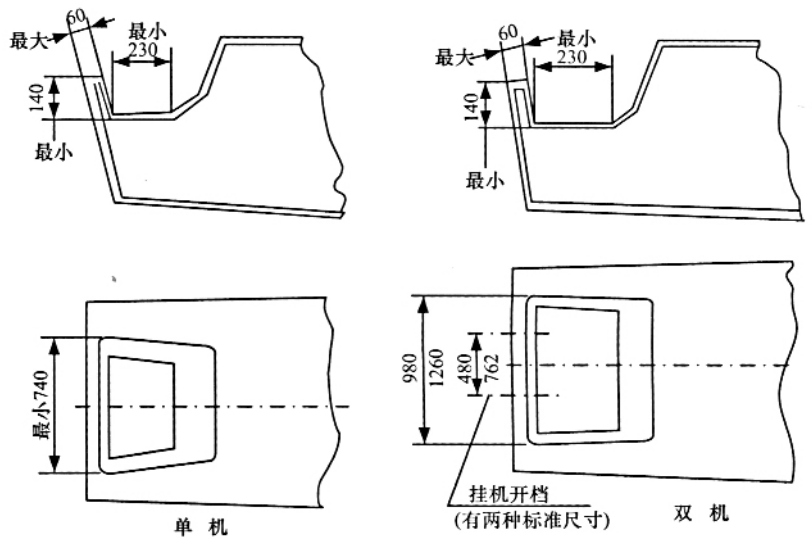


图 32 舷外挂机安装空间尺寸

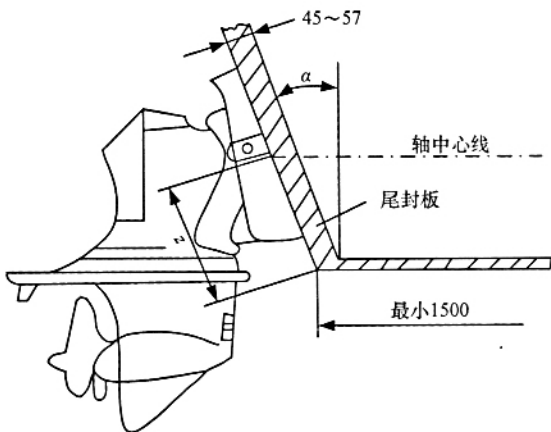


图 33 舷内机舷外驱动装置安装尺寸

### 3.3 结构

玻璃钢游艇的结构由于艇在波浪中滑行前进, 艇底板受力非常大。一般受力最大区域为尾封板前 1m 左右以及舭前 1m 左右。前者为滑行水动力作用区, 后者为波浪中拍击最严重区域。艇的破坏也大都发生在这两个区域。因此这两部分艇底板需特别加强。

尾封板是全艇受力最严重的板, 它承受主机作用的推力和弯矩, 并需以绝对刚性保证动力的传递, 一般应采用厚防水胶合板作芯材包覆于尾封板玻璃钢中, 此胶合板必须有效地与玻璃钢粘合, 绝不能产生分层

现象。

玻璃钢小艇一般有内底板(地舱板), 此板可以采用玻璃钢预制, 也可直接在艇内糊制。其高度值应根据总布置要求决定, 艇底骨架也应与之相适应, 因此产生高实肋板的艇底骨架特点。为了解决骨架高厚比过大易产生失稳的问题, 实肋板也应用胶合板或木板为芯材包覆玻璃钢。

玻璃钢艇由于滑行时产生纵摇, 对艇纵向刚性要求较高, 艇体构架宜采用纵骨架式。

### 3.4 使用经济性衡准

关于如何去衡量一艘高速游艇的使用经济性以及不同尺度不同功率主机的小艇如何进行比较, 目前还找不到一个完全合理的标准。文献[3]建议用  $\sqrt{V/P_B}$  来衡量。根据国内小游艇的统计值(表 3), 可以认为  $\sqrt{V/P_B}$  值达到 0.5 以上即为良好; 超过 0.7 可认为优秀。从表 3 中可以看出国内艇的  $\sqrt{V/P_B}$  值均大于国外进口艇。当然对于一定排水量的艇选择功率大小合适的主机十分重要。选择主机功率不同,  $\sqrt{V/P_B}$  值也将不同。一般在选择主机功率时应确保艇能达到滑行状态, 并留有一定储备功率。初估时以每吨排水量配备 29kW 功率较为合宜。不能片面地追求过高航速而随意增大主机功率, 导致使用经济性下降。

表 3 玻璃钢小游艇数据一览表

产品 型号	CJ 435	JN 450	CJ 468	JN 538	CJ 550	CJ 606	JN 608	RB 620	BC 630	BC 640	BC 908	CJ 930
$L_{OA}/m$	4.35	4.5	4.68	5.38	5.5	6.06	6.08	6.20	6.30	6.40	9.08	9.30
甲板 宽/m	1.72	1.76	1.45	1.8	2.2	2.0	2.1	2.25	2.1	1.9	2.7	3.05
$D/m$	0.55	0.6	0.55	0.75	0.98	0.85	0.9	1.0	0.9	0.8	1.25	1.29
$d/m$	0.28	0.29	0.28	0.335	0.345	0.36	0.42	0.51	0.4	0.28	0.5	0.51
$\Delta/t$	0.78	0.841	0.76	1.2	1.56	1.65	1.92	1.795	1.96	1.31	4.225	5.31
乘员 人数	7	7	6	10	10	8	8	8	12	6	23	16
$P_B/kW$	29.4	22	35.3	35.3	62.5	62.5	84.6	128.7	62.5	44.1	147	294
$V/kn$	25	23.2	28.8	22.7	27.9	27.9	32.4	32.4	23.5	25.4	22.7	35.2
航区	内河 B 级	内河 B 级	内河 B 级	内河 B 级	III类 海区	III类 海区	III类 海区	III类 海区	III类 海区	内河 B 级	III类 海区	III类 海区
上棚 形式	敞棚	敞棚	敞棚	敞棚	敞棚	全棚	全棚	敞棚	敞棚	全棚	全棚	全棚
艇体 形式	折角	折角	W 型	折角	折角	折角	折角	折角	折角	折角	折角	折角 槽道
$C_B$	0.38	0.37	0.4	0.37	0.42	0.38	0.36	0.306	0.35	0.385	0.385	0.51
$B_T/m$	1.46	1.62	1.28	1.54	1.916	1.69	1.89	2.03	1.90	1.78	2.34	2.80
尾 $\beta$	16	16	17	14	14.4	14	13.5	20.4	13.9	0	13.5	12
舦 $\beta$	21	20	20	19.5	20.1	18	20	27.2	19	10	18	17.8
$x_B$ 距 舦/m	-0.71	-0.69	-0.24	-0.8	-0.742	-0.72	-0.68	-2.10	-0.72	-0.43	-1.29	-1.41
$x_G$ 距 舦/m	-0.69	-0.9	-0.1	-0.78	-0.804	-0.71	-0.81	-1.98	-0.78	-0.174	-1.05	-1.745
$h_G/m$	0.671	0.875	0.76	0.685	1.067	0.82	0.71	1.04	0.778	0.86	1.778	1.74
$\Delta V/P_B$	0.66	0.89	0.62	0.77	0.70	0.73	0.73	0.45	0.73	0.756	0.65	0.637
$\frac{(x_B-x_G)}{L_{OA}}$	0.4%	4.6%	3%	0.4%	1.5%	0.17%	2.1%	1.9%	0.95%	4%	2.6%	3.6%
备注								美国 引进				双机

参考文献:

[ 1] Niels E. Sorensen- Viale. The design and tank testing of planning hulls. High- speed Surface Craft, May/June, 1985: 30 ~ 34  
[ 2] Su C. Fung. Resistance predictions and parametric studies for high- speed displacement hulls. Naval Engineers Journal, March 1987.  
[ 3] 刘才法. 小型玻璃钢游艇设计经验. 江苏船舶, 1994, 11( 1) : 5 ~ 10.

( 上接第 41 页)

灌注工艺也有一些不足:

- ( 1) 成型过程层间无可视性, 故在质检方面要有更先进的手段, 如使用超声波技术来检测层间粘结情况、致密性、厚度及有否树脂积聚等;
- ( 2) 由于要使用与之配合的专用工艺材料 (如脱模布、导流器材、真空袋等) 及导流管中剩余的废树脂等, 增加了生产成本, 约比手糊法多 5% ~ 8%;
- ( 3) 成型时间略长, 据国外资料显示, 用灌注法生产船体约比手糊法多耗 10%的时间。

3 结 论

总的说来, 灌注工艺最大的优势在于使产品的质量、性能更好, 因而日益受到船艇生产商的重视, 由于船艇尺度大, 在树脂如何能更好地分布均匀等方面还需不断探索和完善, 但灌注工艺的优越性是十分明显的。虽然目前在国内外船艇业应用还不广, 但随着灌注技术的不断提高和优化, 此工艺必将有很好的应用前景。