

高速玻璃钢艇的设计问题探讨

[摘要] 高速玻璃钢艇的主要航行状态是滑行状态，它的船型特点、滑行原理、阻力特性、运动稳定性、耐波性等值得探讨。高速玻璃钢艇体型线设计特点及其实用设计方法也值得研究。上述问题也是玻璃钢游艇、玻璃钢巡逻艇、赛艇设计中所面临的问题。随着科技的发展，船艇设计的性能不断提高，人们对快艇速度的要求也在不断提高。快速游艇受到更高的强度负荷，这就要求其必须具备较高的强度和刚度。而具有刚性不足、强度有余特点的传统玻璃钢结构已不能满足现代高速艇的发展要求。

[关键词] 玻璃钢船；型线设计；运动稳定性；Maxsurf 的运用

目录

引言-----	1
一 高速玻璃钢艇概述-----	1
(1) 玻璃钢船-----	1
(2) 玻璃钢船现状-----	2
二 高速玻璃钢船的航行状态-----	2
(1) 顶浪航行-----	2
(2) 顺浪航行-----	2
(3) 在风浪中掉头-----	3
三 玻璃钢艇的船型特点-----	3
(1) 型线的修改-----	3
(2) 不同船型修改型线-----	4
四 高速玻璃钢艇的滑行原理-----	4
(1) 船长对航速的影响-----	4
(2) 主尺度选择对航速的影响-----	5
五 高速玻璃钢艇型线设计特点-----	5
(1) 主要参数-----	5
(2) 船型-----	5
(3) 纵稳定性-----	6
(4) 快速性-----	6
六 高速玻璃钢艇型线实用设计方法-----	7
(1) 主尺度的选择-----	7
(2) 型线的设计-----	7
(3) 性能的计算-----	8
七 高速玻璃钢艇的运动稳定性-----	8
(1) 玻璃钢艇稳定性计算-----	8
(2) 风压倾侧力矩及其横准-----	9

(3)滑行艇的稳定性-----	10
八 高速玻璃钢艇的艇体材料及结构特点-----	12
(1)艇体材料-----	12
(2)结构特点-----	13
九 MAXSURF 造船集成系统在高速玻璃钢艇设计中的应用-----	14
(1)Maxsurf 建模-----	14
(2)Maxsurf 的内部接口和外部输出-----	16
十 结论-----	16

前言

在当今世界船舶市场上，游艇工业发展迅速，而玻璃钢游艇在国际市场上更占有巨大份额。我国的玻璃钢游艇是从70年代开始起步的，前期发展速度缓慢。随着改革开放的不断深入和旅游业的发展，近几年来，玻璃钢游艇业悄然兴起，但是玻璃钢游艇在设计和使用过程中必须对安全性能进行核算和评估，最大程度的消除玻璃钢游艇的安全隐患。而稳性又是船舶最为重要的安全性能之一，在设计时是必须进行核算的。

我国的FRP游艇是从20世纪70年代开始起步的，前期发展速度缓慢。随着改革开放的不断深入和旅游业的发展，近几年来FRP游艇业悄然兴起，生产厂家主要集中在南方的广州、深圳、福建、厦门、珠海、上海、扬州等地和北方的山东、辽宁等地。游艇在出口的同时也进入了我国的一部分先富裕起来的人群的休闲生活之中，引领了我国的FRP游艇市场。可以预计，随着我国经济的高速发展，游艇市场前景不可估量。因此我们要抓住这一发展契机，利用制造FRP游艇的有利条件，快速发展我国的FRP游艇业。

一 高速玻璃钢艇概述

(1) 玻璃钢船

玻璃钢船是指用玻璃钢玻璃纤维增塑料作为船体结构主要材料、以柴油机驱动的船。玻璃钢船具有成型简便、耐腐蚀、无磁性、维修费用低和船体自重轻的特点。但因玻璃钢的弹性低于钢材，故船体变形比同尺度的钢质船体大。海事巡逻船舶的“航行更安全、水域更清洁、航运更便捷”是国家赋予海事工作的神圣职责。海事巡逻船是海事部门行使水上安全监督管理职责的最主要的装备之一，它的任务主要有清道、护航、巡航、应急反应、搜救、交通等。水上安全监督管理又创每事巡逻船的要求有航速、抗风能力、操纵性、数量、续航力、出勤率等。尤其是对进出湛江港的大型和超大型船舶的安全监督管理对海事巡逻船航速和

操纵性提出了更高的要求。

(2) 玻璃钢船的现状

我国玻璃钢船艇经过20多年的发展成绩显著,产品种类日益丰富、建造工艺有了很大的提高,但玻璃钢船艇设计至今仍存在一些误区,现实中由于设计不当而造成的船舶状态不佳、阻力偏大、结构易损等情况时有发生,因此对于特定功能的船艇在选型和设计时要慎之又慎,而对于一些基本的玻璃钢船艇特征的认识更应该引起重视。

二 高速玻璃钢船的主要航行状态

(1) 顶浪航行

顶浪航行的时,船舶易发生拍底、螺旋桨打空或主机超负荷工作的现象。船舶由于排水量小、吃水浅、航速快的特点,在大风浪中航行时,船首抬高,船尾下沉,船舶与波浪的相对速度大,浪涌与船舶撞击频率快而剧烈。一个连一个的“跳跃式”拍底及颤动,倒合舶常出现飞车现象,甚至可能产生颤动叠加和谐振现象,易导致船舶推进设备、航海仪器、通讯设备等损坏以及船底板破裂或船体断裂的事故发生。另外,大风浪中顶浪航行,波涛的阻力大,使船舶的主机工作超负荷而发生故障的机会增大。这些设备的异常给船舶操纵带来了困难,甚至使船发生随风飘荡而严重偏离航线和剧烈横摇,导致碰撞、搁浅、触礁或翻倾等事故发生。所以船舶在大风浪中顶浪航行时,应采取以下措施正确评估风浪对船舶安全的影响,适当减速(一般中速,航速过低船将严重纵摇)和调整航向与波浪成10度到20度角左右舷交替左右航行,并远离碍航物或船舶,防止船舶受风偏航或失控而发生事故。如有条件,可选择避风。

(2) 顺浪航行

顺浪或偏顺浪航行,船舶易发生稳性损失、淹尾或被浪打横现象。船舶在恶劣天气海况中顺浪或偏顺浪航行,波浪对船舶的影响时间相对延长。当船舶处于波峰时,船舶达到“冲浪运动”状态,船舶稳性大量损失。船舶由于排水量小、

受风面积大等因素，受风浪影响很大。船舶低速航行时，受波浪影响更大，船舶可能会被波浪瞬间加速而扣横，使船舶大幅度横摇。当船舶位于波谷时，易发生涌浪冲击和淹没船尾现象，可导致尾甲板救生筏等设备被涌浪卷走，机舱、舵机舱进水，舵、螺旋桨及尾轴受涌浪的剧烈冲击而损坏等。另一方面，船舶顺浪或偏顺浪航行时，舵效较差，很难稳定航向，如果此时航速低，船舶会被浪涌推尾而打横，将发生大幅度横摇。因为在大风浪中，如果船舶发生剧烈横摇，并同时存在舱室进水、船舶超载、驾驶员操纵不当等诸多不利因素，则可导致船舶发生倾覆危险。所以船舶顺浪或偏顺浪航行时，应采取以下措施提高航速，以增加舵效和减少尾甲板上浪和淹尾现象稳定航向和避免大角度转向。

(3) 在风浪中掉头

船舶在大风浪中横浪航行或掉头，易引起大幅度横摇、横倾，甚至倾覆危险。由于船舶吃水浅、航速快、舵效好、追随性好等特点，用快车大舵角掉头时，船舶横倾比较明显。掉头初始时，在舵力作用下，船向掉头舷横倾，随后在旋回离心力作用下，船向掉头舷反侧横倾，回舵时，在舵力作用下，船也向掉头舷反侧横倾，此时如果急速回舵，船在旋回离心力和回舵舵力的共同作用下，使船向掉头舷反侧横倾加剧。另一方面，当船舶旋回至横浪时，船舶在横向风浪作用下剧烈横摇。船舶在几个不利因素的共同作用，会产生大幅度的横倾，甚至发生倾覆。所以船舶在大风浪中掉头时应采取以下措施①正确选择掉头时机，一般几个大浪过后，随后就有几个小的浪，当前一组最后一个大浪刚过去，就应该立即开始掉头，抓住海面较平静的一段时间，使船超过横浪的危险阶段，并争取在下一组第一个大浪到来之前掉头完毕。②正确使用车舵。掉头开始时用慢车、中舵(约10度)，当转到接近正横位置时，适时快车大舵(约30度)，以缩短船舶拍浪时间，当船将转至划航向时，减速并缓慢回舵，以减少船舶旋回中横倾。

三 高速玻璃钢艇的船型特点

(1) 型线的修改

在航速的最底点(相当于实船9节)至试验航速达相当于实船21节的整个速度区内，船首部的雍水和飞溅十分严重，高速达到型深且延至1/2船长。同时船尾动吃水增加很多，在相当19节航速时达240mm以上。在艇后形成涡流，尾流不顺畅。高速时，首部没有抬起，首部兴波很大，这种状态对设计艇的阻力及航行都是十分不利的。

所以我们应该做点型线修改：

- ① 提高首柱处折角高度，并光顺向尾延伸，减少前体丰满度，拉直设计水线，以减少进水角；
- ② 对尾隧道段的前半段作适当光顺；
- ③ 适当加大首部船底斜升角。

在整个试验速度区间，船体表面流态平顺，首部雍水及飞溅得到有效控制。尾部涡流消失，水流畅顺，高速时首部抬起呈现出滑行状态，有效功率与原型相比显著降低。

(2) 不同船型修改型线

- ① 对于高速过渡型艇，采用折角型线而非传统的圆舭型，不仅施工方便，工艺简单，而且在采用较好的进水角后，其阻力性能也比较满意。
- ② 告诉过渡型艇与滑行艇不同，其首部升力没有滑行艇阻力对首部型线特别敏感，因而首部进水角在考虑舱容布置的情况下，比滑行艇大为减少，取12度到15度为宜。
- ③ 过度型快艇的菱形系数一般按略少于“最佳菱形系数”的原则选定，这样对其阻力性能是有利的，相反如取“最佳值”，使艇经常处于不利状态，建议取 $C_p=0.61-0.65$ 之间。
- ④ 对于高速过渡型艇，浮心位置对阻力影响非常明显，随着航速的提高，浮心位置适当后移是非常有利的。
- ⑤ 过渡型快艇与滑行艇不同，适当提高其首部防溅条位置，在一定速度范围内阻力性能和耐波性可以得到比较满意的结果。

四 高速玻璃钢艇的滑行原理

(1) 船长对航速的影响

玻璃钢快艇的航行速度较高, 对排水体积的傅汝德数(F_r)一般远大于3.0, 艇体重量几乎全由作用在艇底的流体动力所支持。同时这些艇的航速范围也较大, 因此具有其相应艇型的特点, 即艇长一般都在12m以下, 均属于小艇; 航速要求都很高, 一般都在30kn以上; 艇体剖面形状采用V型或折角型, 艇体的前体特别是艏部的斜升角很大, 而向艉部方向迅速减小, 原因在于既要减小艇艏在汹涌中严重拍击, 又要考虑到尽可能改善后体的水动力性能; 艇体的长宽比L/B较一些过渡型艇要小, 其目的在于增加艇体展舷比, 以提高艇体滑行效率, 有利于减小阻力。

(2) 主尺度选择对航速的影响

艇长的选择主要取决于舱的布置, 同时应选择恰当的排水量长度系数, 使之降低阻力, 达到提高航速的目的。艇宽: 艇宽的选择主要是满足总体布置的稳定性要求。游艇、快艇的安全性十分重要, 稳性要求很高, 一般 $GM \geq 0.5m$, 小型玻璃钢游艇一般航行在遮蔽航区。型深: 型深的选取主要取决于稳性、主机的安装空间及造型的需要, 同时要考虑甲板上浪问题。国内快艇、游艇的主尺度比大致如下: 长宽比:L/B ≈ 3.0, 比值大于国外艇(国外艇L/B ≤ 2.8), 选取较大L/B值时对快速性较为有利, 但L/B值过大将影响艇的刚性, 增加艇的造价。

五 高速玻璃钢艇型线设计特点

(1) 主要参数

游艇的尺度范围较大, 艇长 $L_{OB} = 5—44m$, 佛汝德数 $F_N = 1.0—4.5$, 体积佛汝德数 $FNV = 2.0$ ($FNV = \frac{V}{\sqrt{g \nabla / 3}}$)。属于一种尺度相对小, 航速较高、受力复杂、布置难度大·使用要求高的过渡型快艇或滑行快艇。一般情况下, 艇长在12m以下属于小型快艇。佛汝德数 $F_N > 3.0$ 时, 艇体重量几乎全部由作用在艇底的流体动力所支持, 即为滑行艇。与排水型船考虑的因素不同, 快艇主要参数的选择应

满足定员舱布置要求的基础上，着重考虑耐波性、操纵性及航行中的稳定性等航海性能。

(2) 船型

艇属于过渡型快艇或滑行快艇范围，型线以折角形为主，艉部采用方尾。一般常见的有单折角形(在平板龙骨与舭部折角之间的艇底板有一道纵向折角线)和双折角型(即在平板龙骨与舭部折角之间的艇底板有两道纵向折角线)。其特点是增加艇底板的褶皱，产生数个小滑行平面，在增加滑行效率的同时，增加艇底板的刚性。舭部折角线还可以起到舭龙骨的减摇作用。

艉部采用方尾，方尾的相对宽度 $f_B = B_T/B_X$ (B_T :方尾宽度； B_X : 艇的最大宽度) 表征艉部的收缩程度。对于高速快艇，适当增加 f_B 可以增加艉部水压力作用不使艇体的航行纵倾过大，同时还可使艉部水流收缩不至于太快，从而增加了“虚长度”，因而对阻力性能有利。另外，方尾还具有有利于艉部上甲板、舵机舱和推进器等布置以及增加稳定性、便于施工等优点

对于 $FN > 3.0$ 的高速游艇，一般采用深V型，底升角在首部较大，最大可达60度，由船中向艉升角逐渐减小，到艉板处升角接近0度，以减轻高速航行中的首部拍击现象，有利于耐波性。艉部采用较平坦的纵剖线，可以减小高速水流的能量损失，也可以使纵中剖面面积不至于过小，有利于满足操纵性的要求。

(3) 纵稳定性

与普通排水型船不同，因为小型快艇的 L/B 相对较小，导致纵稳心半径小，据统计艇长在10m 以下的游艇，其 $H/L_w = 1.1—1.6$ (H —纵向初稳定性高； L_w —水线长)，因此保证纵向稳定性是小型快艇设计中的一个重要问题。应适当减小艇的进水角，并使浮心位置后移，这对减小剩余阻力是有利的。为了减少高速艇的“海豚”现象，建议适当地把重心往前移向艇中，浮心位置应位于重心之后附近，使游艇在静水中处于轻微首倾，在航行中随着速度的提高，浸水线不断向后缩短，浮心逐渐后移与水动力所产生的升力作用线合成使游艇首部抬起，这时不至于因升力作用点沿纵向变化而远离重心，发生过大的纵向摇摆，即有利于纵向稳定性。笔者对艇长在10m以下的小型游艇的浮心纵向位置 L_{CB} 进行了统计，其取值范围在中后(7%—10%) L 。

(4) 快速性

过渡型快艇的棱形系数 C_p 值的选取与设计航速有关。一般按略小于“理论最佳棱形系数”的原则选定。这是因为这种艇的经常使用速度往往低于设计速度。取略小于最佳的棱形系数，对阻力性能是有利的相反，如果取“最佳值”，就会使艇经常处于不利状态下。

六 高速玻璃钢艇型线实用设计方法

玻璃钢快艇的航行速度较高，对排水体积的傅汝德数(F_r)一般远大于3.0，艇体重量几乎全由作用在艇底的流体动力所支持。同时这些艇的航速范围也较大，因此具有其相应艇型的特点，即艇长一般都在12m以下，均属于小艇；航速要求都很高，一般都在30kn以上，均属于滑行艇范围；艇体剖面形状采用V型或折角型，采用这种剖面形状有利于提高水动力特性；艇体的前体特别是艏部的斜升角很大，而向艉部方向迅速减小，原因在于既要减小艇艏在汹涛中严重拍击，又要考虑到尽可能改善后体的水动力性能；艇体的长宽比 L/B 较一些过渡型艇要小，其目的在于增加艇体展舷比，以提高艇体滑行效率，有利于减小阻力。

(1) 主尺度的选择

艇长：艇长的选择主要取决于成员舱的布置，同时应选择恰当的排水量长度系数，使之降低阻力，达到提高航速的目的。

艇宽：艇宽的选择主要是满足总体布置的稳性要求。游艇、快艇的安全性十分重要，稳性要求很高，一般 $GM \geq 0.5m$ ，应根据不同航区来决定艇宽。

型深：型深的选取主要取决于稳性、主机的安装空间及造型的需要，同时要考虑甲板上浪问题，对内河小艇来说可适当降低。

国内快艇、游艇的主尺度比大致如下：长宽比： $L/B \approx 3.0$ ，比值大于国外艇(国外艇 $L/B \leq 2.8$)，选取较大 L/B 值时对快速性较为有利，但 L/B 值过大将影响艇的刚性，增加艇的造价。

(2) 型线的设计

玻璃钢艇航速较高, 属于滑行艇范围, 线型以折角型为主, 有标准折角型、带纵向阶梯折角型、带平板龙骨折角型等。

对于玻璃钢艇, 考虑到其材料的刚性差的缺点, 在设计艇剖面时, 应在顾及施工工艺性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则容易满足。艇的破坏一般也都因刚度不足, 产生过度变形后所发生。因此, 玻璃钢艇不像钢质艇那样采用标准折角型, 而以带纵向阶梯折角型和带平板龙骨折角型两种剖面形式较常用, 他们共同的特点是增加艇底板的褶皱, 产生数个小滑行平面, 在增加滑行效率的同时增加了艇底板的刚性。

(3) 性能的计算

小型玻璃钢艇由于其独特的船型特点及较高的航速, 所以其性能计算方面与大型钢质船相比也有不同, 特别是阻力估算, 因其航速较高, 大都属于滑行艇范围, 涉及到滑行平板理论, 难度稍高。

七 高速玻璃钢艇的运动稳定性

(1) 玻璃钢艇稳定性计算

为了使公式推导过程、船舶各参数的选择和稳定性衡准更简单、合理, 从实船出发可作如下假设: 这类船舶主甲板面积相当小, 能够站立的地方仅为首部甲板, 两舷非直壁式船舶在横倾时, 入水楔形的体积不等于出水楔形的体积, 漂心的横向位置将会偏离原来平衡时的纵向轴线, 为了解决这类船舶空船状态下的重心高度值, 经过详细分解计算, 实船空船重心高度取值范围为: $Z_{g0} = 0.6 \sim 0.7D$ (D 为船舶型深), 在计算中为了安全起见, 实取 $Z_{g0} = 0.7D$ 。船舶在横倾时, 其浮心移动曲线仍是一段圆弧, 其圆心即为差动初稳心。

回复力矩计算

根据船舶原理, 船舶在横倾小角度范围内, 其回复力矩按下式计算:

$$M = 9.81 \Delta GM \sin \theta \text{ KN.M} \quad (1)$$

式中： Δ ——排水量， t； GM ——船舶初稳定性高， m； θ ——船舶横倾角度， 度。

初稳定性高度按下式计算：

$$GM = Z + BM - Z \quad (2)$$

式中： BZ ——船舶浮心距基线垂向高度， m； BM ——横稳心半径， m； g Z ——船舶重心距基线垂向高度， m。

① 浮心高度

$$Z_B = \frac{M_{xoy}}{\nabla} = \frac{\int_0^T z A_w dz}{\int_0^T A_w dz} \quad (3)$$

式中： M_{xoy} ——排水体积 ∇ 对平面 xoy 的静距； ∇ ——排水体积； T ——吃水； Z ——垂向距离； A_w ——水线面面积。

② 横稳心半径

$$\overline{BM} = \frac{I_T}{\nabla} \quad (4)$$

式中： I_T ——为水线面 WL 的面积对于纵向中心线 $0-0$ 轴的横向惯性距； ∇ ——水线面 WL 下的排水体积。

③ 由上面的假设，空船重心高度取值范围为 $Z_{g0} = 0.6 \sim 0.7D$ (D 为船舶型深)，在计算中为了安全起见，实取 $Z_{g0} = 0.7D$ ，所以

$$Z_{g0} = 0.7D \quad (5)$$

由于该类游艇多为外挂式主机，其燃油舱和淡水舱所形成的自由液面对艇初稳定性的影响可以忽略不计，因此由上面各式①~⑤可得出回复力矩。

(2) 风压倾侧力矩及其横准

① 风压倾侧力矩 M_f 的计算

$$M_f = \frac{PA_f Z}{9810} \quad (6)$$

式中：P—单位计算风压，pa； A_f —船舶受风面积， m^2 ；Z—计算风力作用力臂（所核算装载情况下船舶正浮时受风面积中心线至水线的垂向距离），m。

② 风压稳定性衡准

船舶在其核算的各种装载情况下，稳定性衡准数应按下式计算：

$$K = \frac{M_q}{M_f} \geq 1 \quad (7)$$

式中： M_q ——最小倾覆力距 m； M_f ——风压倾侧力距m。

最小倾覆力距，应用计及船舶横摇角影响后的动稳定性曲线来确定。对于无舭龙骨的尖舭型艇的横摇角 θ 按下式计算的横倾角：

$$\theta = 7.2kC_1 \sqrt{\frac{0.216d + Z_g}{0.0025B_c + 0.01d}} \quad (8)$$

式中：d—艇装载状态静浮时的平均吃水，m；g Z—艇装载状态静浮时重心距基线高度，m； B_c —艉线处最大型宽，m； C_1 —系数，按艇横摇周期 T_θ 查得；k—系数，按营运航区取值（该类型艇主要为遮蔽航区）。

自由横摇周期应按下式计算：

$$T_\theta = 2\pi \sqrt{\frac{J_x}{\Delta \cdot g \cdot GM}} \quad (9)$$

式中： J_x —船舶对x 轴的质量惯性矩； Δ —艇装载状态时的排水量。

最后绘制出艇在各种装载状态下的动稳定性曲线，确定其装载状态下的进水角，从曲线图中量去最小倾覆力距。

通过大量的对该类小型玻璃钢艇的稳定性分析，发现该类游艇的初稳定性半径与所装载状态下的水线面宽度可近似的看成是和平方成正比的关系，为该类游艇的稳定性计算提出了更加简便的衡准方法。

另外，针对此类游艇，提出影响游艇稳定的几个方面，首先是游艇型深选择不当，造成干舷过小，同时导致进水角小，引起稳定性丧失过早，其次在使用过程中，游客对该艇稳定的承受能力估计不足，在海上钓鱼或是捕鱼过程中，附加了一个横倾力矩，从而缩减了初稳心产生不利的影响，所以在以后建造和使用过程中应多加注意，尽量消除稳定性方面的安全隐患。

(3) 滑行艇的稳定性

克莱门特(Clement)将62系列模型的稳定性试验资料整理为 $\frac{C_L}{l_{CP}/b}$ 对 F_{NV} 关系曲线, 如图1所示。不发生海豚运动的限界曲线可以用如下方程式表示:

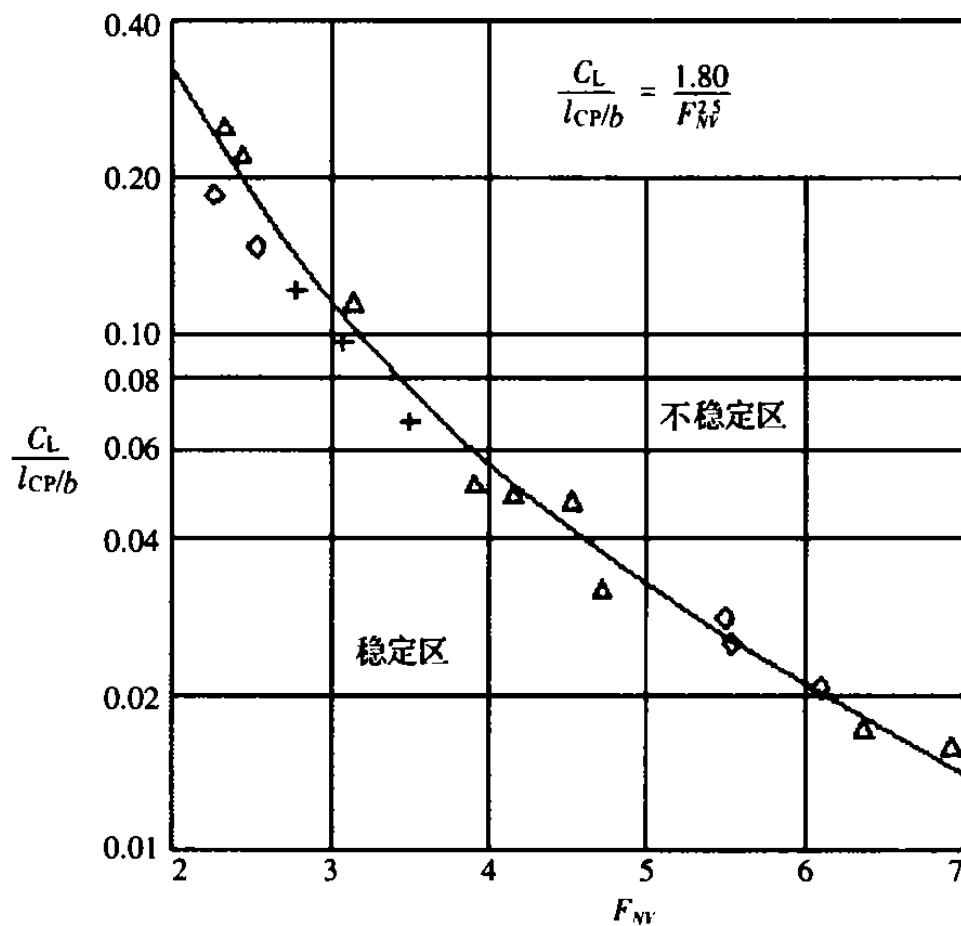


图1 系列62海豚运动界限图

$$\frac{C_L}{l_{CP}/b} = \frac{1.80}{F_{NV}^{2.5}} \quad (10)$$

式中: l_{CP} —压力中心, 即重心在艇尾板前面的距离, m;

b —重心纵向位置处的艇体宽度(包括防溅条在内), m;

F_{NV} —排水体积佛汝德数;

C_L —动载荷系数。

$$C_L = \frac{\Delta}{\frac{1}{2} \rho^2 B^2} \quad (11)$$

式中： Δ —艇的排水量, Kg;

ρ —水的密度, Kgfs^2/m^4 ;

v —艇的航速, m/s;

B —平均艇宽, $B = \frac{B_x + B_T}{2}$, m;

B_x —艇中部折角线处宽度, m;

B_T —艇尾板折角线处宽度, m;

使用图1曲线的方法是, 先用式(4)计算动载荷系 C_L , 再计算 $\frac{C_L}{l_{cp}/b}$ 和 F_{NV} ,

然后判断点 $(F_{NV}, \frac{C_L}{l_{cp}/b})$ 是否在稳定区内。

八 高速玻璃钢艇的艇体材料及结构特点

(1) 艇体材料

随着科技的发展, 船艇设计的性能不断提高, 人们对快艇速度的要求也在不断提高。快速游艇受到更高的强度负荷, 这就要求其必须具备较高的强度和刚度。而具有刚性不足、强度有余特点的传统玻璃钢结构已不能满足现代高速艇的发展要求。

近几年对玻璃钢材料的改进主要体现在夹层结构、增强材料及树脂系统。对于夹层结构, 目前采用夹心结构代替过去的单板结构。实践证明, 夹心结构在刚性方面明显地优于单板结构。目前国外出现了聚丙烯蜂窝状夹心材, 这种夹心材的抗弯、抗冲击强度都优于其他夹心材, 而且还能达到阻燃效果, 单位重量也低于其他夹心材, 施工方法也比其他夹心材简单。

对增强材料和树脂系统的改进。近年来复合毡—合成纤维与玻璃毡组成的混

合材料已得到应用。这种材料可提供更优的性能，更低的树脂含量，能更好地控制船体重量。例如将纤维与玻璃纤维组成混合增强材料，用于对强度负荷要求较高的高速船体上，仍能使船体重量减少，而且完全可以满足它的强度要求。

对表面胶衣系统的改进。现在世界上制造豪华玻璃钢游艇的厂家已开始使用一种称Barrier coat的树脂。这种Barrier coat的树脂用在胶衣层后面，糊制层前面，起到了一个胶衣层和糊制层之间压力传递和缓解的作用，有很好的防渗透能力。Barrier coat树脂与胶衣层和糊制层有着非常好的化学共溶性，非常强的粘接强度。在玻璃钢艇的使用结果表面，Barrier coat树脂层还能减少胶衣层的破裂现象。

(2) 结构特点

FRP 船艇与金属船艇，最显著的不同点是它的重量轻。这是由FRP材料本身的特点即轻质高强所决定的，因为它的比重是1.8，是钢材的1/5~ 1/4、铝材的1/3。所以在生产使用过程中会面临诸多问题：

① 强度问题

FRP 结构设计是以材料的弯曲强度来考虑的。金属船体是以材料的拉伸强度来考虑，但FRP 船是以FRP 的弯曲强度进行设计计算。我们知道金属材料除冷轧板，其拉伸强度在纵向和横向稍有差异外，基本上都是各向同性的，而FRP 积层的增强材料，多为编织材料，其径向和纬向差异大，且在层板中其层间剪切强度与其他强度指标如拉伸、压缩和垂直积层的剪切强度差异很大，在进行糊层设计时必须考虑。而且在糊层设计时，要设法提高其层间剪切强度。

② 刚性问题

FRP 材料的剖面模数较小，所以产品刚性较差(与金属材料比较)。产品强度虽然满足了要求但较金属材料柔软些。船体表面变形量大了，会影响船体水动力特性，尤其是高速艇其影响更大。这就要求我们在船型设计和结构设计中充分考虑这种情况。

③ 应力问题

FRP 材料对应力集中较为敏感，这要求我们在设计各种船体开口以及糊层时，充分考虑其开口大小和形状以及增强层中材料的铺放和局部加强问题，亦

即对FRP 材料的可设计性要求充分利用好。

④ 蠕变问题

对FRP 材料的蠕变特性要考虑，因为设计建造的船艇一般要使用20 年。艇底和舷侧水下部分长期在水压力作用下会产生蠕变(这种影响会艇的性能恶化)。

⑤ 外观设计

在FRP 船艇外形设计时，充分利用FRP 材料优良的工艺性能，可将其外观设计得更漂亮。

⑥ 总体布局

在总体布置上FRP 船艇与其他船只不同之点是必须考虑其内部空间的充分、合理利用。因为这种船一般是船长为30~40m 以下的各种高速客船、交通艇、娱乐船艇和豪华游艇，各种设备和生活设施较多。在不大的空间内要布置这么多的设备，实属困难。这就要求设计者必须精心设计，充分、合理地利用好每一点空间。

⑦ 施工要求

因为玻璃钢船艇体施工中，成型质量受外界条件影响较大，除材料质量外，对施工环境，如温度、湿度、粉尘、施工人员的技术和责任心以及工艺规程等都有严格、细致的要求，因此，设计时必须作出明确规定。

九 MAXSURF 造船集成系统在高速玻璃钢艇设计中的应用

Maxsurf 是用于船舶设计的强有力的三维曲面建模体系，主要包括以下几个模块：型线设计，静水力、完整稳定性及破舱稳定性、极限重心、可浸长度、总纵强度校核及舱容(包括纵倾舱容)和倾斜试验结果计算和平衡计算，船舶阻力及有效功率计算，帆船性能分析，数据转换等。Maxsruf 软件已经在2000 年以后大量进入中国的高速船设计及制造机构，并得到广泛应用。

(1) Maxsurf 建模

在用Maxsruf 建模的过程中，应首先定义特征轮廓如中纵剖线、甲板轮廓线

及最大横剖面,如有底平线和边平线也应该先定义。当特征轮廓已经定义,应在站线附近布置一定数量的控制点,以利于控制站线形状,首尾的轮廓变化较大,首尾则应布置较船中相对多一点的控制点,对于需要特别控制的部位,如螺旋桨附近的船体外表面,因轮机布置对船体型线有特殊要求的部位应设置mark(标记)点,作为型线设计的参考条件。

当需要控制的边界条件已设定,Maxsurf 采用实时交互式控制方法,可用多种方法对船体曲面和线型进行修改,并辅以流体静力学计算得到设计者想要的船体型线。

图2为用Maxsurf 设计的不同界面中的18 m高速客渡快艇的型线及相应的三维船体曲面。

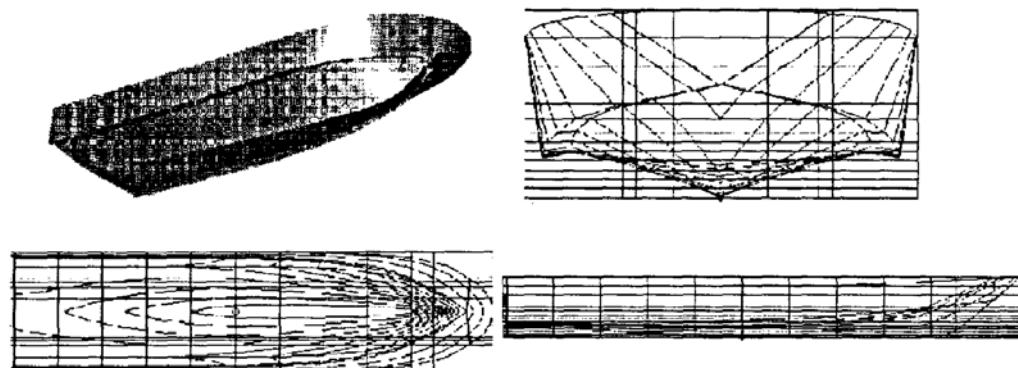


图2 18 m高速客渡快艇三维船体曲面

Maxsurf 交互式地显示出了表面之间的交线,并可即时计算在设计吃水时的排水量等性能参数和横剖面面积曲线,该船的各项静水力性能参数见表1。

表1 18 m高速客渡快艇设计吃水下的静水力参数

参数	数值	参数	数值
排水量/ t	24. 846	浮心距舯/ m	- 1. 052
排水体积/ m ³	24. 240	漂心距舯/ m	- 0. 956
吃水/ m	0. 840	浮心垂向坐标/ m	0. 582
水线长/ m	16. 062	横稳心高/ m	2. 538
水线宽/ m	3. 943	初稳心半径/ m	37. 580
水线面积/ m ²	64. 517	初稳心高度/ m	3. 120

横剖面面积/ m ²	1. 976	纵稳心半径/ m	38. 162
水线面面积/ m ²	53. 723	纵稳定性高度/ m	3. 120
棱形系数	0. 764	每厘米吃水/	0. 551
		t • cm ⁻¹	
方形系数	0. 456	纵倾1厘米力矩/	0. 593
		t • m	
舯剖面系数	0. 650	横倾1°力矩/ t • m	1. 353
水线面系数	0. 848		

在船舶初步设计过程中, 根据船东要求建立初步的总体设计方案和Maxsurf模型后, 需要进行多方案比较, 即对重要的性能参数, 如船舶的排水量、浮心和飘心的纵向坐标、水线长度、船宽、吃水、最大横剖面位置、平行中体长度、方形系数、棱形系数等, 进行小范围内的进一步研究和优化, 这就需要设计者快速、准确地建立与初步设计方案特征基本相似的方案模型系列, 供设计者确定最终的尺度。

Maxsurf对模型进行调整既可通过设计者的经验自行调整设计, 也可通过参数变换来处理, 即Parametric Transformation 命令。设计者可选定所需要的限制条件, 如排水量、船宽、水线长或吃水, 求解所需要的一定的浮心纵向位置、方型系数或棱型系数的船体型线。由此可以看出, Maxsurf 对高速船舶的初步设计的尺度确定及性能估算十分有效的。

(2) Maxsurf的内部接口和外部输出

Maxsurf可以输出二维和三维图形, 文本输出比较灵活。Maxsurf 的输出有多种格式可选择, 能很好地与各类流行软件接口, 可方便地输出到AutoCAD和OFFICE 软件, 与三维软件SolidWork, 3DMAX和其它船舶设计软件Tribon 等都有很好的接口。由Maxsurf 插值产生肋骨型线或任意位置的水线及纵剖线(包括斜剖线)极为方便快捷。现代船舶设计必须以强有力的设计软件为支撑, 采用先进的三维设计软件进行船舶设计既可以提高工作效率, 节约设计时间, 同时可将设计过程可视化, 很大程度避免二维设计过程中容易出现的干涉错误, 使用三维船舶设计软件是现代船舶设计的必然趋势。高效精确的船体三维建模是船舶结构设计及其它系

统设计的重要信息载体,在整个船舶设计过程中至关重要,Maxsurf 是船体三维建模中的一个简单而又有力量的工具。

结论

- (1) 玻璃钢艇的L与B或L与L/B存在一定的规律, 设计时可采用回归公式(10)进行粗估。
- (2) 玻璃钢艇在艇长为14m以下时的B/d=4.5~5.5; 艇长大于14m时, B/d值比较缓慢, 在5.2~5.7之间, 其值比中速普通排水型船高很多。
- (3) 保证纵向稳定性是小型快艇设计中的一个重要问题。保持艇体浮心位于重心之后附近是减小快艇产生海豚现象的有力措施, 小型游艇的浮心纵向位置LCB的最佳取值范围在船中后(7%~10%)L。
- (4) 根据大量玻璃钢艇的统计资料并回归的玻璃钢艇航速与主机功率的关系式(11)可作为游艇初步设计阶段的粗估计算。

致谢语

参考文献

- [1] 赵连恩, 韩端锋. 高性能船舶水动力原理与设计 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2007. 10.
- [2] 李百齐. 21 世纪海洋高性能船 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001. 7 第一版 .
- [3] 顾敏童主编. 船舶设计原理 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2001. 6 .
- [4] 盛振邦. 船舶原理 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2001. 6.
- [5] 邹劲, 刘炀, 史东岩. 计算机辅助船舶设计 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2002. 1 第一版.
- [6] 中国船舶工业总公司编. 船舶设计实用手册 (总体分册) [M]. 北京: 国防工业出版社.
- [7] 冷发旺. 13米玻璃钢艇的型线设计 [J]. 广东造船, 2001(2): 7~9.
- [8] 蒋毅文. Maxsurf 及相关设计程序在船舶设计中的应用 [J]. 船海工程, 2005. 4(4).
- [9] 银昊亚. 浅谈高速玻璃钢船在大风浪中航行受到的危害及应采取的安全措施. 中国水运, 2006. 6(6).
- [10] 李华彦, 李明. 玻璃钢游艇设计要点 [J]. 中国船舶报, 2005(51).

- [11] 郑飞鹏, 李治彬. 小型玻璃钢艇的稳定性分析[J]. 中国水运2007(7).
- [12] 窦培林, 臧瑞斌. 计算机辅助玻璃钢快艇型线设计及性能计算[J]. 造船技术2000(4).