

文章编号:1000-0615(2001)05-0485-04

·研究简报·

玻璃钢渔船总体设计中的参数选择

Parameter selection of fishing vessels made of FRP

梁建生

(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所,上海 200092)

LIANG Jian-sheng

(Fishery Machinery and Instrument Research Institute, CAFS, Shanghai 200092, China)

关键词:玻璃钢渔船;总体设计;参数选择

Key words:FRP fishing vessels;hull design;parameter selection

中图分类号:S972.7;U674.934 文献标识码:A

纤维增强塑料渔船——简称玻璃钢(fiberglass reinforced plastic, FRP)渔船具有阻力小、自重轻、耐腐蚀、寿命长、易于维修和保养等特点。玻璃钢渔船材质轻巧,特别适用于作业方式较轻缓的渔船(典型的如钓船),而回避那些作业强度大,对鱼类资源破坏严重的高强度作业方式,因而适应环境和资源保护的需要,正成为现代渔船的发展方向之一。但由于受初始造价偏高及其它技术因素的影响,我国 FRP 渔船进展缓慢,船型不多、数量偏少、经验和统计资料较为缺乏。本文根据设计研究和统计分析的实践经验,提出一些意见和方法,可供 20~30m FRP 渔船总体设计时参考。

1 主尺度和船型系数

渔船属一种尺度相对较小、相对速度较高、布置难度较大、使用要求较复杂的尖瘦布置型船型。FRP 渔船与钢质渔船在主尺度和船型参数选择上一般没有实质区别,可以借鉴和采用钢质渔船的方法,只需在局部上考虑 FRP 渔船的特点作些修正。

主尺度和设计排水量主要根据渔船作业方式、航速要求、自持力、载重量及其它运行条件确定。FRP 渔船设计中特别应对建造经济性、营运优势性、技术先进性、工艺可行性和用户要求等诸多因素综合权衡。船长 L 的选取主要考虑流体动力性能、结构可靠性、经济性的综合需要,对应主机功率的选用范围及相应的傅氏(Froude)数或速长比能否处于阻力谷内。船宽 B 的选取重点考虑 B 对重量、航速、稳性、甲板作业面宽度要求等的复合影响,并兼顾对应的 C_B 、 L/B 、 B/d 及折角斜舷船型的合理适配。吃水 d 的选取考虑与其它参数协调配合,注重合理的 B/d 值以利稳性和耐波性,结合合理的初始纵倾值 t 和艉部线型光顺给出尽可能大的艉框以利大直径螺旋桨的应用。型深 D 的选取考虑 FRP 船体的刚性要求、舱容要求及其干舷值对大倾角稳性、稳性衡准数 K 的重要影响,兼顾受风面积和重心高度控制、小尺度船舱净空高度需要。设计排水量 Δ 由船舶重量控制给出的空船重量 LW 加上载重量 DW 并附加适当储备裕量确定。主机功率 P_e 选取按基本营运要求、合适机型和经济性论证确定。考虑到实用经济性和可靠性因素,目前我国 FRP 渔船适用于登记船长在 30m 以下的渔船,超过 30m 的渔船会因材料用量的大幅提升而使经济性指标下降。

船型参数主要根据性能要求选择,通常在根据任务书要求大致定好船长范围后逐一选定,一般采用择优权衡方法或参照优良母型方法。良好的统计经验对合理选定参数是大有帮助的。表 1 给出对国内外 60m 以下近 200 余条渔船(主要为钢质)主尺度比和船型参数统计分析的结果^[1]。

收稿日期:2000-10-16

基金项目:国家“九五”重点科技攻关资助项目(96-A21-01-03)

作者简介:梁建生(1957-),男,上海市人,高级工程师,主要从事渔船科研与设计。Tel:021-65020442,65027260-222

表1 船型系数统计

Tab.1 Coefficients of hull form

船型参数	傅氏数	$\frac{L}{\sqrt[3]{\Delta}}$	$\frac{L}{B}$	$\frac{B}{d}$	C_B	C_P	LCB ($L_{PP}\%$)	$\frac{P_b}{\Delta}$ (kW/t)
密集区间	0.26~0.38	4.1~5.6	3.8~5.8	2.2~3.3	0.46~0.70	0.54~0.75	-6.8~-0.5	0.37~2.35
统计平均	0.326	4.78	4.85	2.64	0.57	0.64	-2.8	1.20
相对L的分布特点	离散型	近似正比例线性关系	正比例线性关系	离散型 (对T近似反比例线性)	离散型	离散型 (对 C_B 正比线性)	离散型	离散型

注: $L = 1/2(L_{WL} + L_{PP})$ 。

一些主要参数尚具简单线性回归关系($20m < L < 40m$)。

$$\text{长度排水量系数: } L/\sqrt[3]{\Delta} \approx 4.45 + (L - 20)/50 \quad (1)$$

$$\text{长宽比: } L/B \approx 4.25 + (L - 20)/25 \quad (2)$$

$$\text{宽度吃水比: } B/d \approx 3.15 - 0.3 \times (d - 1) \quad (3)$$

$$\text{棱形系数: } C_P \approx 0.55 + (C_B - 0.45)/1.5 \quad (4)$$

上述(1)、(3)式偏差范围: ± 0.25 ; (2)、(4)式偏差范围: ± 0.20 。

FRP渔船设计时可以参考上表中主尺度比和船型参数区间,特别是统计平均值结合公式(1)~(4)确定合理的参数。从现代渔船的参数选择趋向和FRP渔船有别于钢船的特点考虑,在参数选取时应当注意:钢质渔船空船重量对设计排水量之比 LW/Δ 分布为0.56~0.73(群众渔业设备配套较简单的渔船多位于0.6左右)。FRP渔船较钢质渔船空船重量减轻约17%^[2],因而相似船型设计排水量 Δ 和方形系数 C_B 可减少约10%(FRP渔船 LW/Δ 分布为0.51~0.69,群众渔船可按0.555~0.6选择)。影响到(1)式在应用时应按上偏差附近值选取。除有特殊重载要求外,方形系数 C_B 的合适选取区间为0.5~0.55。 L/B 和 C_P 可按(2)、(4)式选取。现代渔船设计考虑到耐波性、稳性等综合因素, B/d 值适当取大,尺度小的船更应如此,故在FRP渔船设计时可按(3)式及其上偏差确定设计船在不同装载情况下的 B/d 变动范围。20~30m渔船 B/d 的理想变动范围在2.8~3.2。浮心纵向位置LCB通常可取为舯后3% L_{PP} 。

单位排水量-功率比 P_b/Δ (kW/t)的选取决定了船舶的主机功率配置。绝大多数常规作业钢质或FRP渔船均可按表1中平均值,即1.2附近选择,一般都能取得合理结果。 P_b/Δ 的常用区间为0.74~1.65,当 P_b/Δ 取较小值,如0.74时,渔船的作业竞争力不强,通常适用于鱼获物较多、品种较杂的情况;当 P_b/Δ 取较大值,如1.65时,渔船的单位重量消耗功率偏大,载重能力不足,通常适用于针对高档经济鱼类的作业情况。如果 P_b/Δ 取值过小或过大,而作业对象正好相反的话,则船舶营运经济性将明显下降,不乏这方面设计不当的例子。

2 船型

FRP渔船从船体刚性和方便建造考虑一般采用单折角线型,单折角线型为保证流线通顺宜采用斜舷形式。从舯剖面形状来考察,斜舷角度的选择结合各处船宽变化、船舷保护、适当的 C_M 和作业方便性综合考虑,过分窄削或膨突都是不利的。常规作业FRP渔船舯部升高角度和型深处斜舷角度大多控制在 $10^\circ \sim 15^\circ$ 之间变动,一般取 $12^\circ \sim 13^\circ$ 通常能给出较合理的舯剖面形状,使前后流线通顺,侧舷保护和舯部避碰性良好,船舯段舱容宽适丰满。对应该角度的舯剖面系数 $C_M \approx 0.85$,当设计船 C_B 在0.52附近时,可使 C_P 在0.61附近,处于性能较有利位置,且舯段丰满适度,有利舯龙骨发挥减摇效果。

FRP船体应设计灵巧。考虑平衡力矩后适当舷顶伸出以增宽甲板操作面,提高舷顶部刚性和纵强度,并可压浪。艏部线型采用V型,在保障舷顶部和舷墙刚性前提下尽量做大艏外飘,增加美观,有利甩浪。艏部线型常用U型,上部宽正,下部结合球艏等措施设计;折角线型还应注意方正的艏部形状与呆木结合的过渡和光顺,保证去流顺畅。甲板脊弧设计既要适配船舶总体造型,又要有利于捕捞机械等布置和作业需要。艏、艉舷墙外廓高度适当,对防上浪、溅浸和拍击有充分考虑。采取适当加大艏框的措施(如设箱龙骨结合下沉艏柱)以利大直径桨的选用。后呆木和前踵宽度应能满足施工工艺要求,一般不小于300mm,可考虑前踵前伸增加有效排水长度,前踵上部近水线处应收窄减小进水角。艏、艉部形状可结合前踵和呆木的考虑设计成适当的球艏和球艉。型线设计中须十分注意折角线的位置和走向。折角线的位置和走向一般决定了排水体积及其纵向分布和流线光顺性。对艉机型船舶,注重后体折角线的曲率变化,配合主机等的安装。对小尺度船,常会出现根据主机安装定位要求配合型线设计的情况,尽管其合理性有待商榷。小尺度双机双桨船这

一矛盾更为突出。

FRP船体一般设置纵中底箱龙骨,有利于提高强度、抗摇摆能力和分散坐坞支承力。底箱龙骨形状常为矩形、梯形或两者组合。可结合压载需要量 W_B 设计,即全船龙骨腔的实有容积和固定水泥压载量 W_B 所需的体积相配。在龙骨腔放置压载有利于降低重心并提高船底纵强度和支撑强度。对拖网作业类不需颇大压载量 W_B 的船只,可将全船龙骨腔净容积设计为约空船重量的7%除以混凝土重度。龙骨腔实有容积极大超出 W_B 所需体积的设计似不足取,这将使排水量不必要增大。底箱龙骨可考虑防摩擦措施。尚有考虑设置左右两道底箱龙骨的设计建造方法,有对提高综合性能有利的一面,但建造不便、耗材较多,多见于小尺度船或快艇上。

从提高全船纵强度、抗摇摆性和降低材料用量考虑,纵向波纹船型颇为有效。此船型一般为纵骨架式结构,以船壳纵向波纹代替纵骨。纵向波纹也有很好的减摇效果。波纹设置结合良好流线走向(通常通过船模试验)确定。此船型建造上有相当难度,国内尚无试制,应用中尚需考虑海洋附着生物的有效褪除方法。

3 布置

FRP渔船的布置追求美观、实用、方便作业、有利抗风。钢质渔船布置的良好经验一般均可采纳。舱室划分应合理,考虑到FRP船的特点、支撑分布、水密要求、渔捞作业环境及各种载况下的浮态。FRP渔船与钢质渔船的一个显著差别在于其强调构件,特别是纵向构件的连续、完整和预见性,不象钢质船可以方便的过渡或临时焊置。因而布置中对各种开口、梯道、机械设备和起重装置的设置、甲板室规划等应按适应或结合结构件走向的要求统筹设计。这一点比钢质船设计苛刻得多。FRP渔船因船体理论线为船壳外表面且构件包敷尺寸较大,故油、水舱的容积利用系数较钢质船低(当采用内置钢质油箱时更要浪费许多边角空间);渔舱因有绝热层,影响不致很大,容积利用系数与钢质船相当。分舱时应应对净容积有充分估计。舱壁位置确定应兼顾甲板机械和起重装置的底座设置,保证重型设备能可靠固定。注意机型选择对机舱长度和安装要求的影响。

FRP渔船多设计为艏机型。通常采用甲板室形式(除前甲板室布置型式外一般不多见上层建筑型式),甲板室长度对总长之比多在 $1/4 \sim 1/3$ 范围内。应考虑作业方式、甲板机械与甲板室的布置协调。甲板室布置宜紧凑,有必要控制其侧面积,因其侧面积直接计入受风面积,对船抗风能力影响颇大。经验表明:甲板室侧面积对船长和船深乘积之比宜控制在 $0.3 \sim 0.35$ 左右,小尺度船适度偏大,以获得合适的受风面积,且常规船员定额下一般均能给出较好的适居环境。甲板室位置依作业情况不同而定,后甲板室布置型式一般在其后面留出最小必要甲板区面积(一般约为总长的 $15\% \sim 20\%$),尽量扩大前部主操作甲板区面积。前甲板室或上层建筑布置避开艏部上浪区,其中心可布置于前 $1/3 \sim 1/4$ 船长处;从操纵性和回转性考虑,注意二层驾驶室位置的协调避免风浪中操作不灵(如对无后机棚的前甲板室布置型式,二层驾驶室应适当后移,其前端壁位于约 $1/3 \sim 1/4$ 船长处)。

4 性能

4.1 快速性

FRP渔船较之钢质渔船在同条件下自重和带冰量减轻,排水量相对减小,航速有所提高。从改善快速性能考虑,设计中注意控制尽量大的排水体积长度,适度增大 L/B , C_p 适配,线型光滑,选择合适的球艏和球艉。FRP渔船Froude数多处于 0.33 附近,对应的速长比在 1.1 左右,按(4)式取 C_p 一般能落于兴波阻力谷内。球艉的应用是非常方便和有效的,工艺简单,对渔捞操作无妨碍,通常可降低阻力 $5\% \sim 10\%$;在减少漩涡阻力的同时又改善艉流状况,使桨叶供水充分,提高推进效率。

螺旋桨设计中一般采用大直径低转速桨,但由于受艉框限制,桨径不可能无限制放大,通常受到一定的限制。艉框尺寸宜合理,过大会造成急拐,去流不顺,艉垂线处适宜的艉框高度可取为约 $0.8d$ (d 为设计吃水),初始纵倾值 $t \approx 0.35 \sim 0.4d$,设有底箱龙骨者平行下移艉柱底材(下移量 $< t$),增大净空高度。设计中桨径可按吃水值 d 的 $75\% \sim 85\%$ 范围取值,通常可取 $D/d \approx 0.8$ 左右。当 $D/d > 0.8$ 以后,常为限定桨径的设计,此时不可盲目降低设计转速,否则效率和推力都将明显下降。研究表明:当螺旋桨设计转速 $\leq 300r \cdot \min^{-1}$ 后,无约束最佳直径 D_{OPT} 与适当限制直径桨的总体效率——敞水效率比加上系柱拉力比基本相当(原因在于敞水效率曲线在峰值附近斜率平坦,变幅不大),而桨重可减轻很多,并有利于减轻振动。对应FRP渔船尺度—航速范围的最佳螺旋桨转速在 $250 \sim 300r \cdot \min^{-1}$,在此范围内取桨径 $D \approx 95\% D_{OPT}$ 设计常能取得自航效率和拖曳能力具佳的效果。转速小于 $250r \cdot \min^{-1}$ 的设计应慎重。螺旋桨在船后的位置也要合理控制,一般来讲,适当后悬、下移是有利的。

一般设计中可用下面回归公式估算航速^[1]:

$$V_s = K \cdot L^{0.21} \cdot B^{-0.23} \cdot d^{-0.12} \cdot C_B^{-0.35} \cdot P_s^{0.206} \cdot N^{-0.015} \text{ kn} \quad (5)$$

式中: $L = 1/2(L_{WL} + L_{PP})$; P_s —轴功率, kW; N —桨转速, $r \cdot \text{min}^{-1}$ 。统计范围内系数 $K = 2.418 \sim 2.600$, 相应总体平均水平 $K = 2.514$ (三叶桨乘以 1.009), 标准偏差 $S = 0.20 \text{ kn}$ (或 1.85%)。对于相似船型可通过换算法求 K 值。

4.2 稳性和耐波性

稳性和耐波性可以统筹考虑, 影响最为重要的参数有: 宽度吃水比 B/d 、干舷船宽比 f/B 、初稳性高 GM 值、棱形系数 C_p 、水线面系数 C_{WP} 和受风面积等。以往渔船设计应用中, 片面追求快速性, 一些设计思想 (如 B/d 甚小) 已显陈旧, 光有速度快但抗风浪能力差的渔船已不适应作业需要。现代渔船设计进展中, 既讲求快速性, 也注重耐波性, 以求得协调和平衡。新的设计思想希望渔船在真实海况下具有较好的抗风浪能力, 降低失速, 减少避风时间损失, 求得一定海况概率下的最好工作效率。

在稳性控制上, 20~30m FRP 渔船之类的小尺度船舶基本载况变化范围内的理想初稳性高 GM 值宜控制在 0.7~0.8m 左右 (尺度大者可适当降低), 稳性衡准数 K 有适宜裕度。

在船型及其参数选择上, 取 $B/d \approx 3$, 水线面系数 $C_{WP} \geq 0.8$, C_p 适度偏大, L/B 适中, $f/B \approx 0.10 \sim 0.12$ 。适度增大 B/d 和 C_{WP} , 减小垂向棱形系数可很好改善纵摇和升沉, 同时有利于提高 GM 值, 增加小型渔船抗风浪的“硬”度, 减轻横摇。 L/B 的选择侧重于快速性和经济性的矛盾主要方面, 偏小值有利耐波性。 C_B 的确定主要考虑排水量和快速性; C_p 的选择将兼顾快速性和耐波性。在快速性的最佳适用 C_p 范围内, C_p 适当取大值, 能有效改善船在风浪中的纵摇和上浪, 当船遇艉随浪时还具有较高的稳定性; 增大 C_p 一般增加船的丰满度, 增大舵龙骨的减摇效果, 改善横摇性能。良好的艏、艉脊弧和舷墙外廓高度, 艏部 V 形线型和外飘有利船舶迎浪航行时增加纵摇阻尼, 减小失速, 避免上浪。与其他参数共具耦合影响作用的 f/B 值取 0.11 左右通常能给出理想的大倾角稳性, f/B 过小则使稳性曲线峰值角偏小, K 值不足; 过大则影响重心高度和受风面积, 对 K 值贡献作用下降。

在改善摇摆的措施上, 选取合适的舵龙骨、箱龙骨面积和全船受风面积, 利用液体舱的止荡滞摇作用。在重量控制上, 注意重量合理分布, 尽可能限制高位重量, 配合适当的固定压载量。全船变动重量载荷要有充足的调节余地, 保障合理控制浮态避免航行中艏倾。

5 设计实例

本科研专题 FRP 船型追求快速性和耐波性更佳的设计, 研究设计确定的主要技术参数为: $L_{WL} = 30\text{m}$, $L_{PP} = 28\text{m}$, $L = 29\text{m}$, $B = 6.3\text{m}$, $B_{WL} = 6\text{m}$, $D = 2.8$, $d = 2.1\text{m}$, $\Delta = 202\text{t}$, $P_b = 235\text{kW}$, $C_B = 0.555$, $C_p = 0.65$ (0.62——括弧内值表示回归式计算值, 下同, 实际取值考虑到 FRP 船特点多接近上偏差值附近), $V_s = 10.8$ (10.53) kn , $L/\sqrt[3]{\Delta} = 4.94$ (4.63), $L/B = 4.83$ (4.61), $B/d = 2.86$ (2.82), $P_b/\Delta = 1.16$, 拖网作业各工况 $GM = 0.75 \sim 0.81\text{m}$, $K = 1.4 \sim 1.68$, 主要参数确定后的船型研究注重提高快速性、耐波性和经济性的措施应用, 如控制船型外廓和型线走向, 采用小球艏, 艉框和推进系统的优化设计, 控制甲板室侧面积等。船模试验结果表明: 本船快速性良好, 预报航速 10.83 kn ; 耐波性优良, 运动状态稳定, 上浪小, 横摇角较其他渔船小。

参考文献:

- [1] 梁建生. 小型海船的航速控制[J]. 中国航海, 1987, 21(2): 42-56.
- [2] 梁建生. 玻璃钢渔船总体设计中的重量控制[J]. 渔业现代化, 2000, (5): 7-9.