

# 玻璃钢渔船复合材料性能的试验研究

宋协法<sup>1</sup> 高清廉<sup>1</sup> 李学闵<sup>2</sup> 刘 威<sup>2</sup>

(1. 青岛海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003 2. 山东建筑材料工业学院, 山东 济南 250022)

**摘要** 通过对 FRP/1 年生植物纤维复合板及 FRP/混凝土复合梁弯曲强度、拉伸强度、弹性模量、剪切强度等性能的测试以及对由聚乙烯、尼龙和钢纤维混杂增强环氧树脂复合板的耐磨、耐腐蚀性能的比较试验, 认为 FRP/1 年生植物纤维复合板可应用于玻璃钢渔船的上层建筑及船甲板, FRP/ 混凝土复合梁可以应用于玻璃钢渔船龙骨和肋骨, 超混杂复合材料可应用于玻璃钢船体水下部分及船舷和缆桩等摩擦损失较严重的部位。

**关键词** 玻璃钢渔船, 复合材料, 性能试验

中图分类号: Q974.44

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737(2002)03-0286-03

玻璃钢渔船系列化、产业化推广应用已是大势所趋<sup>[1]</sup>。而目前我国渔船采用的玻璃钢船用结构材料优点与缺点并存, 弹性模量与层间剪切强度低, 强度有余而刚度不足是玻璃钢渔船设计建造过程中必然遇到的技术问题<sup>[2-4]</sup>。另外, 玻璃钢渔船在其靠岸、上坞、下水过程中常遇到砂石摩擦及碰撞, 船舷、甲板要经受绳索、物料的磨损以及玻璃钢船体水下部附着水生生物, 这都会影响玻璃钢渔船的性能<sup>[5-6]</sup>。为确保玻璃钢渔船的刚度及受剪切部位的稳定性, 必须采取合理的技术措施, 改进船用材料, 从而提高玻璃钢渔船的整体性能。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 试验材料 1) 玻璃钢 (FRP)。2) 1 年生植物纤维复合板, FRP/1 年生植物纤维复合板, 以玻璃钢为面层, 以 1 年生植物纤维板为芯材, 将玻璃钢糊制于由酚醛树脂与棉杆、麦草等热压而成的 1 年生植物纤维板上, 制成复合夹层结构板。3) FRP/ 混凝土复合梁, 将 425 号水泥、粒径小于 2.0 mm 的砂石和少量铁屑混合而成的混凝土, 用 4 根直径为 3.0 mm 的钢筋, 每隔 100 mm 用直径为 5.0 mm 的铁丝扎成“口”字型, 制成长 300 mm 的 2 根相同混凝土柱, 然后将其中的 1 根采用树脂渗透工艺, 让树脂胶液渗入混凝土的微孔产生扎根效应制成 FRP/混凝土复合梁试样。按 GB3356 进行性能测试<sup>[8]</sup>。4) 玻璃钢 + 聚乙烯 + 金属丝复合板 (PECM)。5) 玻璃钢 + 聚丙烯 + 金属丝复合板 (PACM)。

### 1.1.2 试验仪器 WE-100 型液压万能材料试验机, 量程

为 0~20 kN; YJ-22 型静态应变测量仪, YZ-22 型转换箱, 应变片及排线若干。

### 1.2 试验方法与设计

在液压万能试验机上通过对 FRP 材料、1 年生植物纤维板以及 1 年生植物纤维板包覆玻璃钢的 3 种试验样板以及包覆玻璃钢的混凝土复合梁进行性能试验, 确定其破坏载荷、弯曲强度、拉伸强度等性能指标, 通过对 PECM、PACM、FRP 3 种材料试验样板进行耐磨试验确定其耐磨耐腐蚀性能。

## 2 结果与分析

### 2.1 FRP/1 年生植物纤维复合板的力学性能

FRP 和 1 年生植物纤维复合板的力学性能如表 1 所示。

试验中 2 组 FRP/1 年生植物纤维复合板贴应变片, 1 组未贴片, 对比样板的破坏载荷及弯曲强度如表 2 所示。计算公式为  $\delta_f = 3PL/(2bh^2)^{1/2}$ ,  $\delta_f$ : 弯曲强度 (MPa),  $P$ : 破坏载荷 (kN), 跨距  $L = 250$  mm, 板宽  $b = 38$  mm, 板厚  $h = 28$  mm。

由表 2 可见, 复合板的破坏载荷平均值为 7.9 kN, 平均弯曲强度约为 100 MPa, 是 1 年生植物纤维板弯曲强度的 7 倍多。

复合板层剪切强度按照 GB3357-82 采用短梁来测定该复合板的层间剪切强度。计算公式为  $\tau = 3P_b^2/(4bh)$ ,  $\tau$ : 剪切强度 (MPa), 跨距  $L$  为 160 mm。4 组试样的破坏载荷, 层间剪切强度如表 3 所示, 其平均破坏载荷为 11.53 kN, 层间剪切强度平均为 8.57 MPa。

### 2.2 FRP/混凝土复合梁的性能

从表 4 可以看出, 混凝土梁包覆玻璃钢后, 承载力有了

大幅度的提高,并且梁的破坏形式由正截面破坏转变为斜截面破坏。

表 1 FRP 和 1 年生植物纤维复合板的性能

Table 1 Performances of FRP and one-year plant fibre board

项目 Item	材料 Material	
	FRP	1 年生植物纤维板 One-year plant fibre boards
弯曲强度/MPa Curved intensity	200~300	8~18
拉伸强度/MPa Stretch intensity	150~220	70.4
弹性模量/GPa Modulus of elasticity	17	
吸水率/% Water -sopping rate	<0.5	5~7

表 2 FRP/1 年生植物纤维复合板的弯曲性能

Table 2 Curved performances of FRP/one-year plant fibre board

项目 Item	试件 Sample		
	1	2	3
破坏载荷/kN Destructive load	7.6	7.8	8.3
弯曲强度/MPa Curved intensity	98	110	91.5

表 3 FRP/1 年生植物纤维复合板剪切强度

Table 3 Cut intensity of FRP/one-year plant fibre board

项目 Item	试件 Sample			
	1	2	3	4
破坏载荷/kN Destructive load	11.35	10.85	11.55	12.35
剪切强度/MPa Cutting intensity	8.30	8.37	8.75	8.86

### 2.3 超混杂复合材料的耐磨耐腐蚀性能

目前的玻璃钢渔船大多采用的是不饱和聚酯树脂玻璃钢,这种材料的断裂延伸率较小,受力时胶层容易剥落,耐磨性能差,为提高玻璃钢渔船材料的耐磨耐腐蚀性能,在玻璃钢的外侧复合耐磨耐腐蚀功能层。腐蚀试验条件为将 25% 的硫酸在常温下浸泡 30 d。磨耗和腐蚀磨耗试验条件均为 100# 纱布在 5 kg 负荷下对磨。各种试样耐磨耐腐蚀性能试验结果如表 5 所示。

### 2.4 挂板生物附着试验

将 PECM 和 PACM 超混杂复合材料及 FRP 作成 225 mm×2.5 mm 的样板放入海中进行半年的挂板试验。试验地点为青岛前海青岛海洋大学太平角养殖试验场,海流状况为潮汐流,最大流速 1 kn,水流对样板的冲角为 80°~100°;水深 8.6 m。每月检查 1 次挂板海洋生物附着的情况(图 1)。

图 1 显示 PECM 和 PACM 板上海洋生物的附着量都少于 FRP 板上的。

表 4 混凝土梁与复合梁性能比较

Table 4 Comparison of concrete and compound girders

项 目 Item	弯曲破坏载荷/kN Curved destructive load	弯曲强度/MPa Curved intensity	截面惯性矩/mm <sup>4</sup> Moment of inertia	剪切破坏载荷/kN Cutting destructive load	剪切强度/MPa Cutting intensity
混凝土梁 Concrete girder	5.7	5.0	301264	9.4	7.0
复合梁 Compound girder	22.9	120.6	331248	24.65	12.48

表 5 材料的耐磨耐腐蚀性能

Table 5 Performances of wearation- and corrosion-resisting of material

性能 Performance	PECM	PACM	FRP	A <sub>3</sub> 钢	PVC	PA	%
磨耗体积损失率 Volume losing ratio of wear	0.37	2.07	8.98	0.31	2.87	45.4	
腐蚀增重率 Increasing ratio of corrosion	-1.11	-0.53	+3.34	-	-	-	
腐蚀 + 磨损体积损失率 Volume losing ratio of corrosion and abrasion	0.93	4.71	24.4	-	4.55	31.4	

### 3 讨论

目前我国船用结构材料大部分采用木材作为芯材,与玻璃钢组成夹层结构板,尽管性能可以满足要求,但是浪费了大量木材。为充分利用自然资源,选用 1 年生植物纤维复合板作为芯材与玻璃钢组成夹层结构板。从试验结果看,1 年生植物纤维板本身的力学性能无论是弯曲强度还是拉伸强度都比玻璃钢本身低得多。而采用 1 年生植物纤维复合板作为芯材与玻璃钢组成夹层结构板,完全能够满足在船舶上层建筑中应用的要求。

由表 4 可见,混凝土梁包覆玻璃钢以后,其力学性能比混凝土梁有了较大幅度的提高,完全可以满足船舶复合结构

龙骨和肋骨的要求。

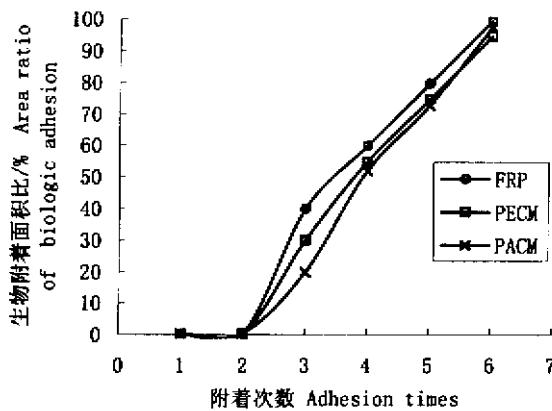


图 1 3 种试样生物附着状况

Fig.1 Status of biology adhesion of three samples

由表 5 可见 ,PECM 的磨损体积损失率为 0.37 ,是玻璃钢的 4.12% ,干摩擦的耐磨性能与  $A_3$  钢相当 ,优于 PVC 和 PA ,在酸性腐蚀条件下 ,PECM 失重 1.11% ,而 FRP 增重

3.34% ,说明酸介质浸入 FRP 中 ,使其重量增大 ,而 PECM 无酸介质浸入 ,在腐蚀磨耗的联合作用下 ,PECM 的体积损失率仅为 FRP 的 3.8% 。由此可见 超混杂复合材料既可以应用于玻璃钢船体水下部分以提高其耐腐蚀性能 ,又可应用于船舷和缆桩等摩擦损失较严重的部位以提高其耐磨性能。

#### 参考文献 :

- [1] 钱 鸿.玻璃钢船的结构特点 [J].造船技术 ,1989 ,4 :28-42.
- [2] 王秋霞.世界复合材料强国与我国的复合材料现状及发展动向 [J].玻璃钢/复合材料 ,1999(1) :2-4.
- [3] 金海祥.玻璃钢结构特点及其在造船上的应用 [J].造船技术 ,1979 ,6 :7-20.
- [4] 金原勋.船用玻璃钢的强度问题 [J].国外造船技术 ,1981 ,2 :37-50.
- [5] 汪裕炳 张全纯.复合材料的结构连接 [M].北京 :国防工业出版社 ,1992.3 :40.
- [6] 李国来.合成树脂及玻璃钢 [M].北京 :化学工业出版社 ,1995.162-211.
- [7] 陆洲导,郑昊,刘曙.玻璃钢板材加固混凝土梁的试验研究 [J].土木工程学报 ,1999 ,32(5) :41-45.
- [8] 小林佑规.船舶用积层板的力学特性 [A].日本机械学会论文集 [C].日本东京 :千曲印刷株式会社 ,1995 ,14 :48-53.

## Experimental research of compound material of fishing boat made of glass fibre reinforced plastic

SONG Xie-fa<sup>1</sup> , GAO Qing-lian<sup>1</sup> , LI Xue-min<sup>2</sup> , LIU Wei<sup>2</sup>

(1. College of Fisheries , Ocean University of Qingdao , Qingdao 266003 , China ;  
2. Building Material Industry College of Shandong Jinan 250022 , China )

**Abstract :** The curved intensity , stretch intensity , modulus of elasticity , cutting intensity and other performance of FRP/one-year plant fiber board and the FRP/concrete girder were tested and the wearability and the corrosion-resisting performance of the strengthened epoxy resin board made of polythene , nylon and steel fiber were researched. The conclusion is that the FRP/one-year plant fiber board can be applied in the upper structures and the deck of a fishing boat made of glass fiber reinforced plastic ; the FRP/concrete board can be applied in the keel and the rib of the boat ; Super-fixed-compound material can be applied in the underwater parts of the boat and shipboard , cable stakes and other parts which can be damaged seriously by friction.

**Key words :** FRP fishing boat ; compound material ; performance test