

玻璃钢船艇建造技术

姚树镇 编著



POLYLITE® 船用树脂
深刻理解FRP船艇制造工艺,
提供完美性能!



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

玻璃钢船艇建造技术

姚树镇 编著

上海交通大学出版社

内容提要

本书以玻璃钢船艇建造技术为中心,由原材料选择、模具制造到玻璃钢船艇建造做系统阐述,还介绍了玻璃钢/复合材料的概况及玻璃钢船艇的发展历史以及建造中的质量监控和成品船艇的维护保养要点。详述船体建造过程的作业细节和对生产中发生质量弊病作详细的原因分析。书中附多年积累的国内外有关技术参考资料,是玻璃钢船艇生产企业必备的技术指导书和技术培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

玻璃钢船艇建造技术 / 姚树镇编著.

—上海:上海交通大学出版社,2017

ISBN 978-7-313-18243-2

I. ①玻… II. ①姚… III. ①玻璃钢船—造船法 IV. ①U674.934.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 254968 号

玻璃钢船艇建造技术

编 著:姚树镇

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:谈毅

印 刷:安徽新华印刷股份有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

字 数:270 千字

版 次:2017 年 11 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-18243-2

定 价:350.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:15.75

插 页:10

印 次:2017 年 11 月第 1 次印刷

出 品:船海书局

网 址:www.ship-press.com

告 读 者:如发现本书有印装质量问题请与船海书局发行部联系

服务热线:4008670886

版权所有 侵权必究

《玻璃钢船艇建造技术》编委会

主 任

梁启康

执行副主任

姚树镇

副主任(以姓氏笔画为序)

于利民 马 勇 王小林 牛爱君 吕晓平 李凤磊
宋建国 陈韶晖 钟国阳 郭万涛 曾勤谦

委 员(以姓氏笔画为序)

丁恩宝 于婷婷 王冬生 刘益清 华海波 李志明
罗朗莹 赵 峥 祝培武 祝小利 钱永嘉 高志宇
徐永军 姚震球 曾爱军 崔友国

专业审校

朱珉虎 刘 免 高 旗

出版策划

周长江

前 言

我国玻璃钢船艇生产从上世纪五十年代末期开始,至今已跨越半个世纪的历程。由于建造较方便,生产效益较好,如今生产企业已达500余家,遍布大多数省市。船艇品种主要有游艇、公务船、游览船、救生艇、游乐船、渔船及军用艇等。有些产品已远销海外,是前景看好的产业。但在发展过程中,因建造方便而有重设计轻制造的倾向。

玻璃钢船体的建造方法,国内外大都以手工制作为主。辅以必要的轻便设备和器具,是能耗少的低碳生产方式。用手工积层法制造船体,看似落后,但却具有工艺品味。国外船企还特意强调手工制作富有精致的艺术感,从而提高船艇的价位。

玻璃钢属于复合材料,它不像钢、铝等金属材料那样是单一的均质各向同性材料,而是由基体材料和增强材料复合而成的非均质各向异性材料。它本身既是材料又是结构物,可以根据产品受力需要设计和布置增强材料。使之达到和满足所要求的受力性能,是性能优越的理想结构性材料,但因玻璃钢船体是在施工现场复合而成,故其物理力学性能具有现场决定性,这种与传统材料性能截然不同的特点必须受到设计与制造者的充分重视。要确保玻璃钢船体质量,必须重视和充分掌握玻璃钢的现场复合制作技术。

只看到制作方便的一面而忽视制作工艺技术对玻璃钢船体质量的决定性影响,是难以生产出符合质量要求的产品。国外专业人士早就提出,要造好玻璃钢船,必须要有造船、复合材料、结构三方面的专业人员通力合作。

鉴于多数中小玻璃钢船企缺少玻璃钢专业技术人员,在工作实践中也缺乏有关工艺技术、质量管理、职工培训等方面的技术图书。笔者在中国船舶工业行业协会船艇分会建议下,开始编著这本与玻璃钢船艇建造工艺技术有关的技术图书。

本书以手工制作技术为主,从实用性出发,融入了笔者从辽宁某科研机构到常州玻璃钢造船厂从事玻璃钢工艺技术及相关材料的实验研究、产品

研发、技术管理和质量管理等方面 30 多年的知识积累和实践经验。并将多年来收集积累的较多工艺技术资料附录于后,以供玻璃钢造船企业专业技术人员查阅参考,为玻璃钢船艇行业的整体技术水平提高做一些微薄的贡献。

本书由船海书局组织出版并重点邀请国内船艇行业有关科研机构、船艇建造、船艇设备、原材料企业及高等院校等方面的领导、专家、学者成立编委会,对本书顺利出版给予大力支持,在此谨表诚挚感谢。

由于编写时间较短,错漏之处还望业内同仁指正。

姚树镇

2017 年 8 月

目 录

第一章 玻璃钢概况	1
第一节 复合材料的特点	1
第二节 玻璃钢组成及固化特性	3
第三节 玻璃钢物理力学性能	4
第四节 玻璃钢化学性能	5
第五节 玻璃钢用于造船的特点	6
第二章 玻璃钢船艇发展简况	8
第一节 国际玻璃钢船艇发展情况	8
第二节 我国玻璃钢船艇发展情况	9
第三章 玻璃钢原辅材料	18
第一节 基体材料	18
第二节 增强材料	24
第三节 辅助材料	32
第四节 其他用材	37
第四章 玻璃钢成型工艺	39
第一节 手糊积层法	39
第二节 喷射法	40
第三节 真空袋法(湿法)	40
第四节 真空树脂导入法(真空袋干法)	42
第五节 注入法	43
第六节 浸渍法	44
第七节 模压法	44

第八节 缠绕法	45
第九节 拉挤法	45
第十节 离心法	45
第五章 玻璃钢船体建造技术	46
第一节 厂房设施与技术要求	46
第二节 工用具及设备	47
第三节 增强材料裁剪	51
第四节 树脂调配	53
第五节 脱模材料及使用	57
第六节 腻子调配及填料作业	59
第七节 船体成型方法	62
第八节 积层作业要领及技术要点	69
第九节 加强筋制作	73
第十节 门窗框制作	74
第十一节 胶衣分色线条及图案制作	75
第十二节 夹层结构	76
第十三节 浮力舱制作	77
第十四节 脱模技术	82
第十五节 甲板与船体合拢	86
第十六节 内衬制作	86
第十七节 再次加工技术	87
第十八节 修补技术	90
第十九节 弊病原因分析	93
第二十节 连接处理技术	101
第六章 模具制作	103
第一节 模具分类	103
第二节 过渡模制作	106
第三节 产品模制作	108
第四节 简易产品模制作	110
第五节 模具制造要点及注意事项	111

第七章 工艺设计与工艺管理	115
第一节 工艺设计	115
第二节 工艺管理	117
第八章 质量监控与检验	121
第一节 质量监控要点	121
第二节 质量检查	123
第三节 检验制度与检测设备	125
第九章 安全与环保	127
第一节 安全生产要求	127
第二节 厂区环境保护	129
第十章 玻璃钢船艇的维护保养	131
第一节 玻璃钢的老化与防老化	131
第二节 玻璃钢船艇的维护与保养	134
第三节 玻璃钢船艇使用寿命分析	136
附录一 玻璃钢制品手糊工国家职业标准	139
附录二 供生产企业参考的工艺及规程资料	148
附录三 有关玻璃钢船艇建造及材性的参考资料	215
附录四 常用英文字母缩写代号	239
参考文献	242

第一章 玻璃钢概况

玻璃钢学名玻璃纤维增强塑料,英文缩写为 FRP 或 GRP。是以玻璃纤维为增强材料,以合成树脂为基体材料,通过一定的工艺方法复合而成,属于复合材料范畴。由于其强度与普通钢材相当,且增强材料是玻璃纤维,所以我国俗称玻璃钢。

第一节 复合材料的特点

复合材料是指将两种或两种以上的材料通过一定方式复合而成为新的材料,它综合了原材料各自的优点,并且有更好的性能。

复合材料有与一般材料不同的特点:

- (1) 不是先有复合材料再通过加工手段制作成产品,而是复合材料与产品是同时形成的,即成为复合材料的同时,也成为复合材料制品。
- (2) 复合材料一旦成型,就不能再通过加工手段改变其形态。
- (3) 复合材料的质量状况不能事先确定,并有其不同一性,不像钢材,同一型号同一批号都是一致的,而取决于所用原料品质、分布及现场制作过程中的工艺技术因素。

随着玻璃钢工业的发展,增强材料的品种也不断扩大,除了成分不同的玻璃纤维外,还有其他品种,如天然纤维——棉、麻类,人工合成纤维——尼龙、聚乙烯、聚丙烯以及性能更优良的碳纤维、芳纶纤维等,还有其他无机纤维,如玄武岩纤维、陶瓷纤维等,单纯称之为玻璃钢就包括不了众多材料形成的纤维增强材料,所以又一度称作玻璃钢/复合材料,现统称复合材料。

玻璃钢按基体材料不同又可分为热固性玻璃钢和热塑性玻璃钢两大类。热固性玻璃钢基体材料是热固性树脂,主要品种有不饱和聚酯树脂、环氧树脂、酚醛树脂、呋喃树脂等。特点是,在受热条件下,由液态转化为不

溶、不熔的固态后,不能再用其他手段还原成液体状态。热塑性玻璃钢基体材料是热塑性树脂,常用的主要品种如聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、饱和聚酯等,在常温环境下为固体,受热后液化,冷却后又成固体,这种形态变化是可塑的,故通过成型工艺制作作为产品后是可以回收再次利用的。但热固性玻璃钢制品就无法再回收利用。热固性玻璃钢开发较早,热塑性玻璃钢在 20 世纪 70 年代才开发,首先应用于管道,直到 80 年代后期才用离心法制造热塑性玻璃钢小艇。

玻璃钢常以使用的合成树脂品种来称谓,如称作聚酯玻璃钢、环氧玻璃钢、酚醛玻璃钢等。最早采用手工成型,称作积层法、手糊法。以后才逐渐改进和发展了多种成型方法如缠绕、拉挤、模压、喷射、树脂注入及预浸渍等方法。由于玻璃钢船艇体积大、结构复杂,有些成型方法并不适合,加上有的成型设备成本高,所以在玻璃钢船艇建造上,至今仍较多使用接触成型法——手糊。手糊成型较为简易,不需在设备上更多投资,生产成本相对较低,且还能以手工制品的精细、品位而多卖价钱。但也有相当部分企业主管以为手糊作业技术含量低,不重视手糊工艺技术,不重视技术培训和技管理,因而影响产品质量档次的提高。

各种船用材料的综合评价如表表 1-1 所示。

表 1-1 船用材料综合评价表

材料	项目							
	单位重量强度	单位重量刚性	吸水性	耐腐蚀抗老化	耐电腐蚀性	大型制品成型性	材料价格	综合评分
铝合金	8	10	10	8	6	8	4	54
钢铁	4	8	10	6	6	8	8	54
玻璃钢	9	7	10	10	10	10	6	62
木材	10	10	6	6	10	6	10	58

注:每项评价最优为 10 分。

玻璃钢船与钢船、木船的建造有本质的不同。一是玻璃钢这种复合材料不单纯是材料还是结构,它的力学性能是可以设计的,且力学性能数据不是建造前固有的,而是决定于成型时的各种因素,不像钢、木材料在购进时就有力学性能数值,建造时仅是利用其固有的性能;二是玻璃钢不是先有材

料再加工成制品,而是材料和产品同时形成的,所以其成型技术就显得更加重要。

玻璃钢这类复合材料可以形成几乎是完美无缺的结构,但前提是制造者必须很好地掌握这门技术。由于复合材料本身具有的复杂性,要使建造的船艇达到完美,必须重视生产技术负责人与材料工艺专业人员、结构分析专家建立紧密的交流与配合。本书的内容以积层成型法为主,全面介绍热固性玻璃钢船艇建造过程。

第二节 玻璃钢组成及固化特性

玻璃钢是以玻璃纤维与合成树脂复合而成的。在这两种组成材料中,树脂称作基体材料起黏结作用;玻璃纤维是增强材料,在形成的玻璃钢中主要起承受强度作用。基体材料本身强度较差,全靠增强材料取得优良的力学性能。玻璃纤维本身是松散的集合体,在合成树脂的黏结下,与之成为完整的一体,树脂对玻璃纤维还起到相应的保护作用。玻璃钢与同属复合材料的钢筋混凝土相似,即玻璃纤维相当于钢筋,合成树脂相当于混凝土,在组成的复合材料中,各自起到相应的作用。

确切地说,合成树脂并非仅起黏结作用,他在强度上也起到一定作用,如传递和分布荷载,承受压缩荷载和剪切应力,它还具有抵御各种化学介质和环境因素的侵蚀作用。因而在选择合成树脂品种时,必须全面考虑。

同样,由于玻璃纤维化学成份组成不同而有很多种,并被加工成多种制品,在性能上不尽相同,各具特点,在选择时要考虑到对船艇整体性能的影响。

玻璃钢的成型主要依靠合成树脂的固化。常用的树脂在常温环境下是黏流态,为线型结构,分子量也不大,在加热或添加固化材料(引发剂、促进剂或固化剂)的作用下,分子键产生交联,分子量迅速增加,形成不熔不溶的固体,机械强度随之很快增长。树脂的固化在初期进行得很快,固化 8h 后,固化程度达 16%,24h 即达 81%,7 天达到 96%;但其力学性能的上升则有所不同,如拉伸强度 10 天即可达 25 天的 90%,弯曲强度在 10 天时仅达 25 天的 50%,到 20 天时才达到 25 天的 70%。因此,在玻璃钢船艇建造过程中,必须充分注意到树脂的固化特性,才能确保船艇产品的质量。

第三节 玻璃钢物理力学性能

玻璃钢最大的特点是轻质高强，比强度超过铝合金，与高级合金钢相近。由于增强材料不可能在各个方向均匀分布，故是不均质的各向异性材料，它在应力应变曲线上无明显屈服点，在荷载超过极限时为脆性破坏。由于它是树脂基的，在物理学性能上也受到了一定影响，如表面硬度较差，不耐磨，耐热性也较差，并具有可燃性；但玻璃钢电绝缘性能较好，且无磁性。

表 1-2 为几种结构材料的比拉伸强度。这里的比拉伸强度是指拉伸强度与材料密度的比值。

表 1-2 几种结构材料的比拉伸强度

项目	材料			
	玻璃钢	钢	铝合金	钛合金
密度/(t/m³)	1.6~1.7	7.8	2.8	4.8
拉伸强度/MPa	180~600	300~600	200~600	400~1 600
比拉伸强度	113~353	38~77	71~214	83~333

物理力学性能参考数据如表 1-3 所示。

表 1-3 用不同玻璃纤维制品增强的聚酯玻璃钢的典型性能

性能	增强材料				
	单位	短切原丝毡	无捻粗纱布	缎纹玻璃布	连续无捻粗纱
玻璃含量	重量%	30	45	55	70
密度	t/m³	1.4	1.6	1.7	1.9
拉伸强度	MPa	100	250	300	800
拉伸模量	MPa	8 000	15 000	15 000	40 000
压缩强度	MPa	150	150	250	350

(续表)

性能	增强材料				
	单位	短切原丝毡	无捻粗纱布	缎纹玻璃布	连续无捻粗纱
弯曲强度	MPa	150	250	400	1 000
弯曲模量	MPa	7 000	15 000	15 000	4 000
冲击强度(无缺口)	kJ/m ²	75	125	150	250
线膨胀系数	×10 ⁻⁶ /℃	30	15	12	10
导热系数	W/(mK)	0.20	0.24	0.28	0.29

注:①均为无碱玻璃纤维;

②数据源自常州建材 253 厂。

第四节 玻璃钢化学性能

玻璃钢耐化学介质腐蚀性能好,远胜于木材、钢材,其耐化学性能取决于原材料,如合成树脂品种、类型,增强材料品种及表面处理,并与辅助材料如固化剂品种、填料及作业控制等有关。故制造产品前必须针对所处环境、接触介质情况选择原材料,做好工艺设计。重视外表防护层。

环氧玻璃钢耐蚀性能优良,但价格高,聚酯玻璃钢价格较低,且类型多,可根据应用环境状况选择适宜的牌号。

玻璃钢船体主要接触的介质是水,因此在原材料选择上应重视耐水性能。水对树脂分子有溶胀及增塑作用,但不会导致树脂大分子链的破坏。因而具有可塑性,即玻璃钢浸泡于水中后,吸收一定水分,会造成强度下降;但当离水后,随着水分逐渐消失,强度又会部分恢复。此性能已被大量实验证实。此外聚酯玻璃钢还有较好的耐煤油性能,但对溶剂类的汽油、四氯化碳、蒸馏水则较差。

表 1-4 为几种热固化树脂耐化学腐蚀性能。

表 1-4 几种热固化树脂耐化学腐蚀性能

项目	不饱和聚酯树脂	环氧树脂	乙烯基树脂	酚醛树脂
24 小时吸水率/%	0.15~0.6	0.1~0.14		0.12~0.36
弱酸	轻微	无	无	轻微
强酸	被侵蚀	被侵蚀	被侵蚀	被侵蚀
弱碱	轻微	无	无	轻微
强碱	分解	非常轻微	轻微	分解
有机溶剂	被侵蚀	耐侵蚀	耐侵蚀	某些溶剂能侵蚀

第五节 玻璃钢用于造船的特点

玻璃钢具有较多的优良性能,这些性能十分适合于造船。因此,在玻璃钢研发之后,很快被造船行业采用。

玻璃钢适于造船的特点主要有:

- (1) 轻质高强。比强度优于现有的合金材料,造出的船自重轻,强度高,可节省能源。
- (2) 耐腐蚀、不生锈、能耐海水、油类及一定浓度的酸碱介质侵蚀。
- (3) 整体性好,制成的船体表面光洁而无接缝,可减少航行阻力,提高航速。这种整体性是钢质、木质船无法达到的。
- (4) 强度可设计性好,可根据船体受力性能需要布置增强材料,达到更好的受力要求。也可根据需要变更船体不同部位的厚度,这也是其他材质的船难以做到的。
- (5) 冲击韧性好,在遭受碰撞时能吸收一部分能量,避免或减轻损伤,在受到外力挤压时,产生的允许范围内的变形能逐渐自行恢复。
- (6) 介电性能好,无磁性,微波穿透性好,适于军事船艇。
- (7) 外表可制成带有各种色彩,有美化功能。
- (8) 船舱内可做到无架构,增加可利用的空间。
- (9) 制造快捷方便,用工少,建造周期短。
- (10) 维修量少,仅需适当维护保养,不需像钢船那样定期小、中、大修,既节省维修费用,又提高了船艇利用率。

(11) 容易修补,方法简便,时间短。

(12) 导热系数低,隔热性好,适于冷藏船及建造耐火救生艇。

(13) 玻璃钢外表能较少和不长水生物,有利于船艇航行。

(14) 耐老化性能好,使用寿命长,建造质量合格的玻璃钢船艇,正常使用寿命不低于 25 年。

玻璃钢虽有以上利于造船的特点,但和任何材料一样,也有一些不足,如:

(1) 弹性模量低,约为钢的 $1/10 \sim 1/15$,造成的刚度不足可从结构设计上弥补。

(2) 表面硬度较低,耐磨性较差,船艇易磨损部位应设防磨或防护装置。

(3) 合成树脂为碳氢化合物,能燃烧,即使加入阻燃成份也只能达到难燃而非不燃,故应注意防火。

(4) 在制造过程中影响质量因素较多,必须充分重视工艺技术。

因此,建造玻璃钢船艇应充分运用各种材料,发挥各自的特性。

表 1-5 提供了 20 世纪 80 年代江苏南部地区不同材料制造救生艇的经济分析(仅供参考)。

表 1-5 救生艇经济分析

类别	艇重/kg	船艇 建造工时/h	船艇造价/元		整艇出厂价/元
			材料费	人工费	
玻璃钢艇	1 167	450	9 651*	585	35 000
钢质艇	1 905	2 000	1 555	2 600	16 870
木质艇		约 700	3 130	700	15 870

注:①材料费中*为包括储备浮体聚氨酯泡沫塑料 2 700 元;

②数据来自 20 世纪 80 年代江苏南部地区;

③玻璃钢救生艇材料费用高,人工费用低,两者之比为 12:1(包括聚氨酯泡沫塑料在内为 17:1),钢质艇材料费和人工费相差不大,为 1:1~1:1.7,木船则在两者之间,为 4.5:1;

④玻璃钢救生艇人工费用低是由成型方便这一特点决定的,钢质艇在钢材下料、加工、焊接等方面花费的工时远远超过玻璃钢艇;

⑤玻璃钢救生艇虽然价格高于钢、木救生艇,但维修费用低,船体轻,使用价值远高于钢、木质艇;故救生艇早已玻璃钢化;

⑥此经济分析也可供其他品种玻璃钢船艇参考。

第二章 玻璃钢船艇发展简况

玻璃钢船艇诞生于第二次世界大战期间,我国于新中国成立后第一个五年计划末期开始研发。经半个多世纪的努力,在船艇品种、尺度(吨位)、工艺技术以及建造企业数量和应用普及程度等方面均获很大进展,在某些领域(如救生艇、工作艇)已是玻璃钢一统天下的局面。现将国际、国内玻璃钢船艇发展情况介绍于下。

第一节 国际玻璃钢船艇发展情况

最早研发玻璃钢和制造玻璃钢船艇的是美国。1938年,美国首先开发成功实用性的玻璃纤维,1940年确定了制造方法。在第二次世界大战中,美国生产了玻璃钢军用飞机部件和批量生产12ft(1ft=0.3048m)玻璃钢小艇和水陆两用艇;1945年后开始大量生产游艇和帆船等民用船艇。1956年在美国小艇展览会上展出的380艘展品中,有玻璃钢艇70艘,最大尺度为20ft。苏联、英、法、德及意大利等国于20世纪50年代初开始发展玻璃钢船艇;日本于1953年建成第一艘玻璃钢船,并于1957年起研制玻璃钢救生艇和运动艇;1960年南非发展拖网渔船。美国于1960年出版《玻璃钢舟艇设计便览》;1961年英国劳氏船级社公布了《玻璃钢游艇暂定规则》,同年召开了第一次国际船艇结构会议。1964年,美英开始研究玻璃钢扫雷艇,英国劳氏船级社推出了《玻璃钢快艇规范》。1965年劳氏船级社推出了《玻璃钢渔船构造规则》,1966年美国开始批量生产大型玻璃钢渔船,1967年韩国开始大量建造玻璃钢船。1968年,荷兰造船研究中心出版《玻璃钢船标准试验检验手册》。1972年,英国建成船长46.6m、总吨位450t的威尔顿号海军扫雷艇,同年,挪威船级社制定了《玻璃钢船艇规范》。1977年英国又建造了玻璃钢潜水艇。日本于1969年建造了37m金枪鱼延绳钓船,1972年建造了23.8