

国外技术参考资料译文选之三十六

日本研制玻璃钢艇概述

(一)

国外造船技术资料编辑部

一九七二年五月

说 明

日本利用玻璃鋼造船已有十七年历史，于 1955 年建成第一条玻璃鋼遊艇。最近大量制造的是渔船和海軍用的小艇。

日本玻璃鋼艇发展速度是快的，近年来已从遊艇发展到十八米长大型玻璃鋼实用艇，形成具有本国特性的产品，出现了用夹心玻璃鋼結構材料作外壳板的新型結構玻璃鋼渔船。

日本建造的玻璃鋼艇种类很多，主要有：渔船，交通艇，遊艇，摩托艇，巡邏艇，工作艇和深潛潜水艇等。其中在实用艇方面已形成十八米、十六米、十三米三种不同长度的定型产品，这些产品的主要特点是：采用深“V”船型；纵骨架式結構；使用組合模具成型；艇体纵桁材使用梯形截面型材，甲板分木甲板和玻璃鋼两种等等。在 1970 年 3 月份建成的十八米长的玻璃鋼渔船“第十六大晃”号，外壳板采用夹心玻璃鋼結構，其心材为泡沫塑料，外表皮为 $5,870$ 克/米²的玻璃鋼层压板，内表皮为 $4,400$ 克/米²的玻璃鋼层压板。

在玻璃鋼艇的建造方法方面，日本当前使用的主要仍是手糊成型法和噴射成型法两种，前者用于艇体成型，后者用于局部成型或部份构件成型。据报道，今后将研究使用冷压成型法和耦模成型法。

日本对玻璃鋼艇的研制已形成专门机构和生产单位，並备有临时檢驗規章。例如在日本增强塑料协会中設有巡邏艇委員會，从事玻璃鋼艇生产的厂商主要有：石川島播磨船厂、福島船厂、四村船厂、西井船厂、佐藤船厂、服部船厂、田中船厂等。日本在对玻璃鋼艇体检驗方面，除依据英国劳埃得船級社制訂的〈玻璃鋼渔船結構規則〉外，还自訂了〈玻璃鋼船的暫行标准〉。

尽管日本在玻璃鋼艇的研制方面有上述发展，但目前仍存在如下問題：一、設計資料不足；二、沒有形成完整的建造規範；三、船型不統一，难于批量生产等。

鉴于日本玻璃鋼艇的发展速度較快，並且在渔船建造方面又有独特之处，我們特选譯了下面数篇文章，供有关部门同志参考。

目 录

說 明

大型玻璃鋼艇	1
玻璃艇的試驗及評價	11
大型高速玻璃鋼艇概況	18
关于玻璃鋼艇的設計制造	38
玻璃鋼船体結構的試驗及評價	45
关于玻璃鋼船体結構設計的研究(I)	49
关于玻璃鋼船体結構設計的研究(II)	
——玻璃鋼夹心結構的刚性和强度	57
关于玻璃鋼船体結構設計的研究(III)	
——玻璃鋼复合結構的有效性	69

大型玻璃钢艇

日本最近几年已研制出几种具有独特性能的玻璃钢实用艇。其中一种是十八米长的玻璃钢交通艇，另一种是十一米长的机动艇。前者设计任务主要是运送人员和粮食，但若改动艇内布置和舾装，它又可作海上管理船使用；后者是日本海上“自卫队”辅助舰上装载的一种小型玻璃钢机动艇，主要任务由母舰决定，它除供运送人员和补给品外，还用作港内連絡和救援。

本文作者集中介绍十八米长的玻璃钢艇，並以具有类似性能参数的美国玻璃钢艇作比較阐述一些自己的意見。

十八米长交通艇是由日本海洋采掘公司訂貨，由石川島播磨造船公司建造的玻璃钢艇。它的設計与指导工作由日本玻璃钢技术协会中的巡邏艇委员会第一部会承担。

这里选择探討的两艘美国玻璃钢艇是56呎(約17.08米)长的摩托巡邏艇和50呎(約15.25米)长的摩托遊艇，前者是由汉特(Raymond Hunt)作基本設計，由道利斯(R.S. Dorris)作玻璃钢結構設計，属于巴特拉姆(Bertram)公司的玻璃钢艇；后者是由哈格拉夫(J.B. Hargrave)設計，属于哈特拉斯(Hatteras)公司的玻璃钢艇。

一、十八米长玻璃钢交通艇

这种十八米长的玻璃钢交通艇共建造了六条，設計任务是陆地与海上采掘井之間运送人员和补给，要求能在两小时内航行40海里。

承担該艇設計和指导工作的巡邏艇委员会第一部会，在对海洋气象作現場考查中发现該艇航行海域波浪較高，要求該艇应以20节以上的速度航行，同时設計时必须充分考虑波浪因素。

就耐波性而言，它不仅要求选择足以避免波浪冲击的船型，而且还应在結構上采用能充分发挥玻璃钢材料特性的挠性結構。同时，所选船型須保証在波浪中不造成过大的阻力增值，而且挠性結構船体仍应具备足夠的纵向刚性。

从在波浪中不降低航速角度考虑，艇体长度越长越好；但該設計艇长度根据事先計算定为18米，船寬和型深各自为4.8米，2.3米。在結構上該艇船壳采用玻璃钢材料，甲板、上建层筑和内部舾装构件全部使用木材。

上述結構材料的选择与建造数量有关。若艇体构件全部使用玻璃钢，則勢必需要預先制作大量局部构件模具，再以玻璃钢成型，这种作法对于建造六条船这种批量是不經濟的，同时也不能利用玻璃钢在色彩和光澤方面的特长。特別对于实用艇來說，平甲板和容易滑动問題都是作为不利因素加以考虑的。

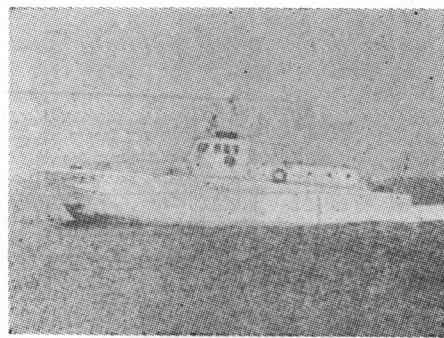


图1 航行中的十八米长玻璃钢交通艇“朝雾”号

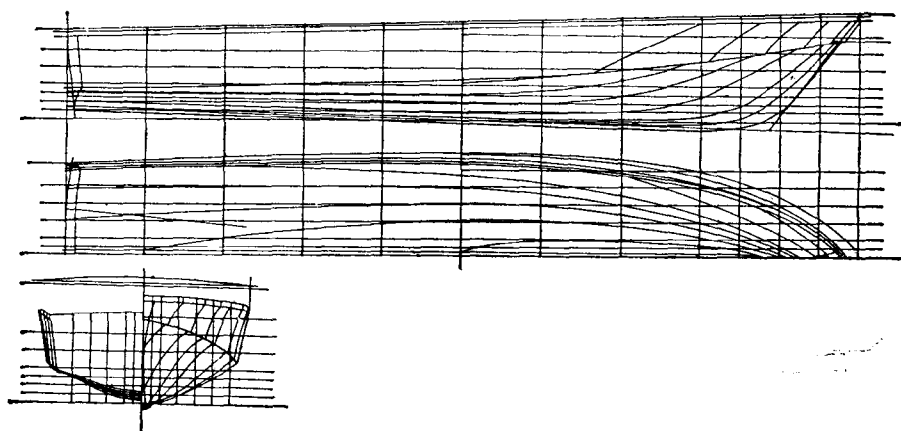


图 2 十八米长玻璃钢交通艇型线图

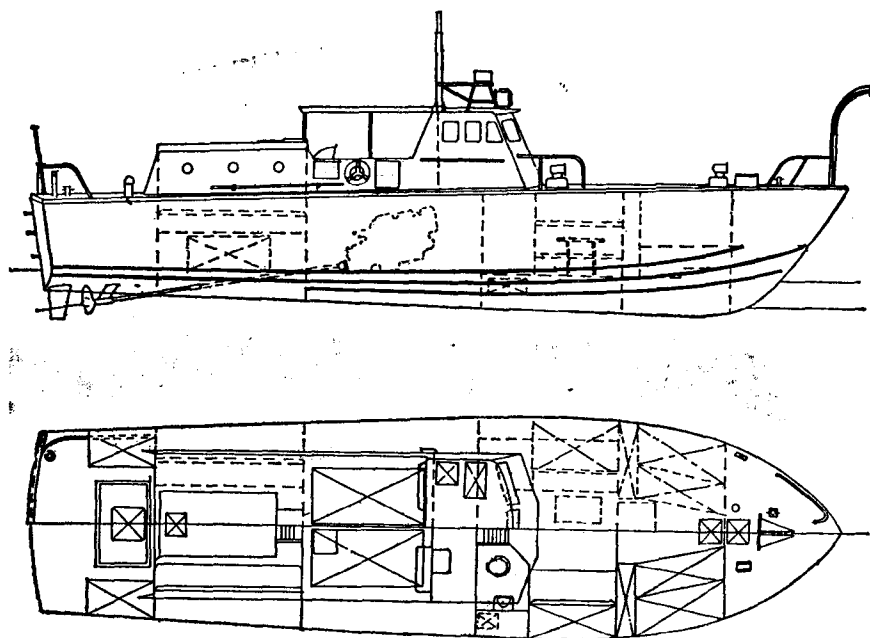


图 3 十八米长玻璃钢交通艇布置图

该艇船型如型线图所示(图2),为深“V”船型。艇首艀部型线设计得很高,而艇尾艀部则设计在水线以下,以此降低艇体静止时的横摇。从玻璃钢材料的加工工艺考虑,将该艇艀部均设计成150毫米半径的圆弧形,并在此之上安装挡波板。另外,在船底两侧各设计安装三根溅浪板,其刃边折角为10毫米半径的圆弧。艇体龙骨为方龙骨,以保证艇体纵向刚性和上下架时船体的强度。船尾肋板设计成圆弧形,其两侧圆弧半径为150毫米,与船底交线处的圆弧半径为10毫米。

该艇外壳使用玻璃钢材料,甲板采用木材,二者组装接缝的选择是设计上的关键问题之一。如果接缝选择在舷顶边,玻璃钢船壳建造到舷顶边为止,那么就难以保证船体形状对纵向刚性的作用,并且木甲板与玻璃钢船壳的连接也成问题。因此,该艇舷侧顶边向内弯成一

350 毫米寬的折邊，在成型加工中它和舷邊材與壳体一起整體成型，木甲板在折邊內側與船壳連接。

該艇玻璃鋼壳体是按普通方法建造的。它的加工過程是：制作木陽模；以陽模為靠模制玻璃鋼陰模；再以玻璃鋼陰模為靠模手糊成型為實物。木陽模是一個完整整模模具；玻璃鋼陰模則為沿中心綫分成左右兩半的組合模具，陰模舷頂內折曲部分截止在舷邊材之上，其內側附加部分暫時分開，成型時再用夾具固裝在本體上。

玻璃鋼組合模具使用中應該注意的是左右模的接縫吻合問題。如果接縫偏位，則不僅艇體左右不能平衡，而且左右壳体將在中心綫處錯開。此時，若以精加工的方法將錯開的部位磨平，則勢必造成左右兩側艇底板厚度不同，艇體左右不對稱，進而得不到良好的航海性能。

該艇外殼板共有九層玻璃纖維組成，纖維重量為 $6,070 \text{ 克/米}^2$ 。其積層壓過程是：先以表面漆作陰模襯里，然後糊一層 230 克/米^2 的玻璃布，再依次連續糊四層由 600 克/米^2 玻璃毡加 860 克/米^2 玻璃粗紗布預製成的組合層壓品。

在層壓過程中之所以使用這種由玻璃毡加玻璃織物預製的組合層壓品，是由于這種制品

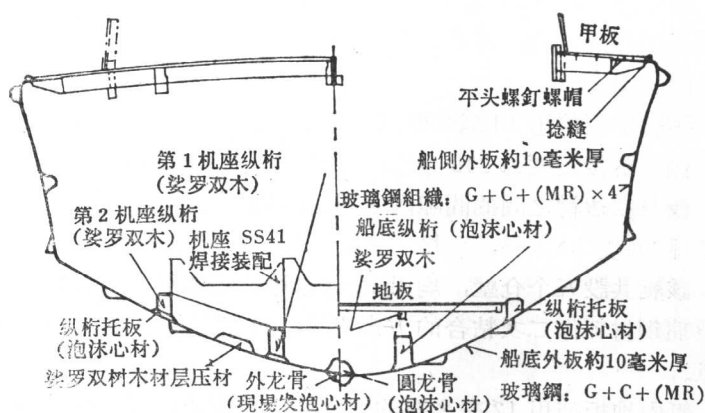
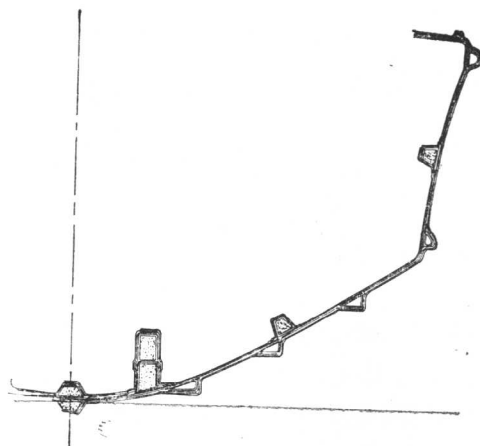


图 4 十八米交通艇舢截面結構图

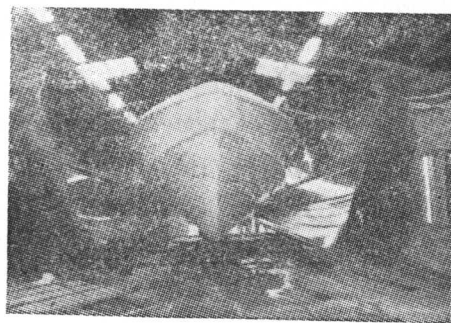


图 5 十八米玻璃鋼艇壳体組合模

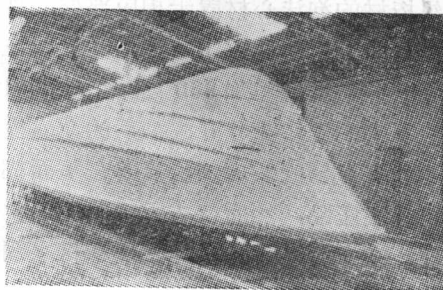


图 6 十八米玻璃鋼艇壳体木模

的层压工艺方便，而且制品的结构稳定性好。它不仅可以增加玻璃毡中的玻璃含量，而且还能避免在用玻璃毡作层压加工时产生的玻璃错位现象。这种组合层压品具体制法是：先将玻璃毡浸渍树脂使其充分吸收，然后在毡上铺以玻璃纤维吸收毡中多余树脂，同时粘合成组合层压品。

使用由玻璃毡加玻璃粗纱布预制的组合层压品，不仅有利于工艺加工，而且又经济。玻璃毡具有造价低、水密性好、可以防止层间剥离，且在破损时不会引起更大破坏。玻璃粗纱布则是手糊成型法中专用的基体材料，它的工艺加工性好，机械强度高，耐冲击性强，每层厚度适中。

该艇是一个实用艇，艇底、艇侧壳板均使用玻璃纤维制成。船内共安装七根纵桁材：船底四根、船侧二根、中心线上一根，其它贯穿首尾的纵向构件有：护舷木、舷边材以及安装在船底外侧的六根波浪板和安装在舳上方的挡波板等。上述所有纵向构件中，纵桁材采用夹心结构形式的构件，其心材为隔离的泡沫体，不对艇体强度起增强作用；其它均为空心结构形式的构件。这种中间没有填充材料，形成一个空心的构件，是在成型过程中用一块薄的玻璃钢板盖合而成的，外表看去象是一个完整的组合体，但结构上很难说是一个整体构件（参见图4的上图）。

该艇甲板使用19毫米厚的耐水胶合板制成，它与玻璃钢壳体的搭接部位设计在舷边材之内侧。搭接宽度为230毫米，沿长度方向每间隔200毫米用三个6毫米直径的螺钉固定。在甲板与舷边材之间的间隙内采用捻缝的方法防止漏水。甲板横梁尺度为120×25毫米，材料选用〈阿皮吨〉木料，连接方式是用螺钉和玻璃钢作二次粘合。

该艇共设五个仓壁，均用12毫米厚的耐水胶合板制成。仓壁与外板的连接采取用折边形玻璃钢材料作二次粘合的方式连接，并在接缝中间填一层泡沫垫子，以防止连接部位产生硬点。

艇内地板使用12毫米厚的耐水胶合板制成，在纵桁材上铺设50×50毫米的娑罗双木，棱木使用50×25毫米的娑罗双木。地板与外板接触部位的连接，均在用玻璃钢包糊泡沫材料后进行。

机座使用钢材制造，左右机架合成一个整体。

艇壳板玻璃钢积层顺序如下：

在分开的玻璃钢组合模上先涂一层表面漆，然后糊一层230克/米²的玻璃布，再糊一层由600克/米²玻璃毡加860克/米²玻璃粗纱布预制的组合层压品。接着，在波浪板等空心构件部位连糊四层600克/米²的玻璃毡，上面盖一块特制的玻璃钢薄板，再沿艇壳全面铺糊两层由600克/米²玻璃毡加860克/米²玻璃粗纱布预制的组合层压品。以此为基础，再将船底和船侧纵桁材的泡沫心材置于相应部位，外面涂糊两层玻璃毡和两层玻璃粗纱布，制成纵桁材。在这些纵桁部件层压成型后，最后在壳体积层内表侧，连同纵桁材一起，全面铺糊一层由600克/米²玻璃毡加860克/米²玻璃粗纱布预制的组合层压品，作为壳体的最内侧积层。

接下去的工作是分开成型后的左右模具合拢。首先在方龙骨处的模具分离线平面内填充两层600克/米²的玻璃毡，接着在里面糊四层由600克/米²玻璃毡加860克/米²玻璃粗纱布预制组合层压品，然后在方龙骨凹陷部位以现场发泡方式填充泡沫体，再在上面盖好玻璃钢预制板，在龙骨近侧两根船底纵桁材之间糊三层由玻璃毡加玻璃粗纱布预制的组合层压品。

纵桁材积层玻璃纖維物应截断在纵桁材頂面，因为玻璃粗纱布的宽度为一米，若在弯曲处截断，则玻璃粗纱布容易在边缘突然卷曲。另外，玻璃纖維在帽形截面纵桁材頂面重叠，还可以使其頂面玻璃纖維层数增加一倍，比较理想。机仓到船尾一段船底纵桁材，由于它需要承载很重的机器和固定推进轴的轴心，所以该部位纵桁材要以木材作心材，但并不是全部用木材代替，

当艇体积层成型后，则要求对整个艇体作纵向弯曲试验。试验时，首先将完整的艇体放置在间隔 10.02 米宽的两个台架上，使之成前后两点支撑，然后在艇体内的机座上安放两个 2 吨重的水箱和一个 4 吨重的固定压载，以使其在 8 吨重静负荷作用下测量艇体各部位的应变和挠度。8 吨负荷相当于 WL/20 的计算重量。

该艇应变测量点分为艏部以下和船侧纵桁材以上两部分。最大应力出现在艏部外侧纵向构件处，其值小于或等于 0.23 公斤/毫米²。最大挠度出现在龙骨处，其值为跨距的 1/2,500 左右；艏部和舷侧挠度较小。从上述试验结果可知：该艇有足够的纵向刚性，尚可进一步减轻重量。

第一条艇在去掉模具后当时的实际重量为 5.705 吨，其中玻璃钢材料重 4.413 吨。第三条艇由于在建造过程中改进了积层顺序和操作方法，不使用已耗费的树脂，减少手中停留时间，所以艇体玻璃钢材料重量降为 4.275 吨，建造工时也下降为第一条艇的 65%。

这种重量降低和工时缩减，是手糊成型法中必然产生的现象。随着操作的熟练和工艺的改进，艇体重量和建造工时必定要逐艇下降。与此同时，将会逐渐增加玻璃钢中的玻璃含量，提高玻璃钢板材的单位面积强度，改进产品质量。一个比较熟练的工人在建造同一产品时，其产品重量和工时将随着建造数量的增加而降低；而当在建造十条船后，这种重量和工时的下降率便开始减少；建造二十条之后，重量和工时将不再下降。

该艇主机选用两台 GM12V-71N 型柴油机，海运局要求功率为 395 马力，转速为 2,170 转/分，但实际选用的是 525 马力主机。其减速比为 1.5:1，推进器为三叶螺旋桨，直径 685 毫米，螺距 685 毫米。

该艇试航时的艇体排水量为 23.5 吨，吃水 0.82 米，试航速度分别如下：输出功率在全马力的四分之一时，航速 11.7 节；二分之一时为 16.9 节；四分之三时为 20 节；全马力时为 22 节；当功率为全马力的十分之十一时，航速高达 22.5 节，超过了原定要求。试航中除航速之外，对于操舵性、迴转性、惯性和后退力诸方面的性能试验，也取得了良好结果，满足了船主的要求。

二、美国巴特拉姆公司的 56 呎巡逻艇

该艇建造时间比上述十八米长交通艇早一年，是十八米长交通艇设计和建造上的主要参考船。该艇玻璃钢材料结构设计师道利施(Dorris)曾到日本对木模和玻璃钢阴模的设计和建造进行过指导。

该艇实长 16.84 米，水线长 14.732 米，型宽 4.877 米，主机为两台 350 马力柴油机、航速 20 节。其中第一条艇主机为两台 350 马力 GM8V-71 型柴油机。

该艇最早是由巴特拉姆公司订造的。考虑到今后定货要求，该艇在建造时制作了完整的木模和玻璃钢阴模。



图 7 航行中的 56 呎巡邏艇

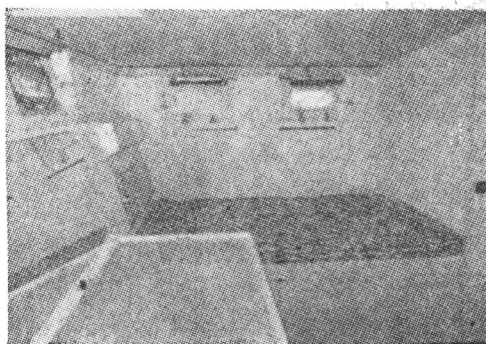


图 8 56 呎巡邏艇的船长室

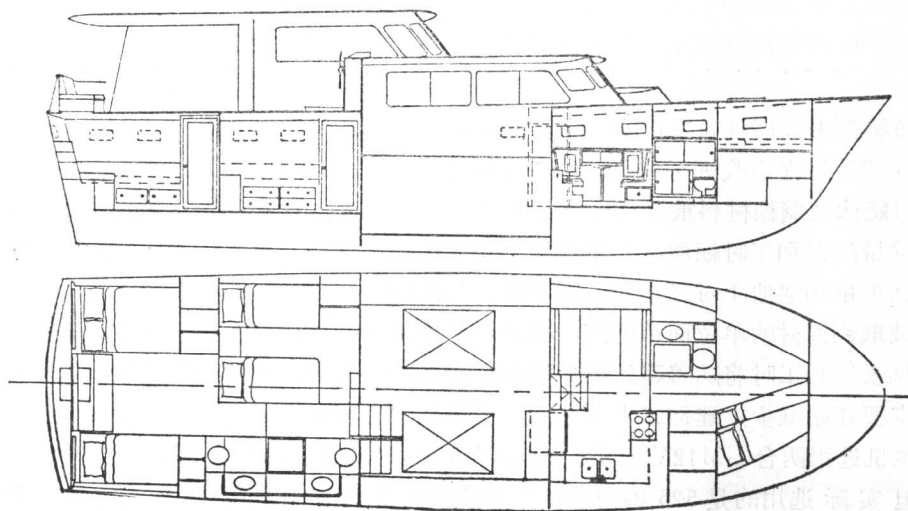


图 9 56 呎巡邏艇总布置图

該艇船型是汉特設計師所独创的深“V”型。艇体艏部設計成挡波部位；艇底每侧各有四根溅浪板，其中一根纵貫全船。挡波部位和溅浪板构件的下表面均呈水平状态。舷侧部由船中向后成一直綫。

艇壳材料使用玻璃鋼。主机、上层建筑和室内舾装以船主要求而定，其中甲板和室内舾装全部使用木材。

艇体外板共十层玻璃纖維，玻璃毡和玻璃纖維的层压分五个阶段进行。第一阶段层压 600 克/米²玻璃毡加 220 克/米²玻璃布，第二阶段层压 900 克/米²玻璃毡加 220 克/米²玻璃布，第三阶段和第四阶段层压 900 克/米²玻璃毡加 800 克/米²玻璃粗纱布，最后阶段层压 900 克/米²玻璃毡加 220 克/米²玻璃布。层压后玻璃鋼外板的总重为 6,460 克/米²，板厚約 13 毫米。

从玻璃含量来看，其中玻璃毡含 30%，玻璃纖維物含 40%。最后一层使用玻璃布的目的是保持产品内表面的质量。

上述玻璃纖維成分主要是按加工性能好为重点設計的。其中 900 克/米²玻璃毡要求玻璃含量为 30%，条件比較严格，需要自制。

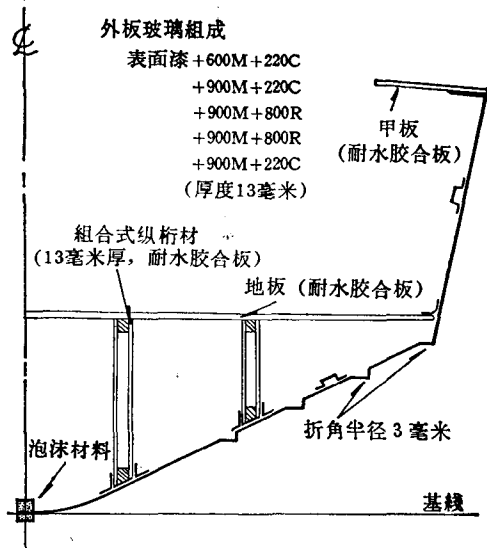


图 10 56 呎巡邏艇的舢截面图

艇，該艇成型后的脫型是在軌道和小車上進行的，而十八米玻璃鋼艇則採用迴轉法脫模。

艇体分左右两半成型后,在中心部位合攏粘合。此后再在方龙骨內填充泡沫塑料,然后用玻璃鋼板盖好,通过二次粘合成型为方形截面的內龙骨,以此加强艇体中心部位。該艇龙骨兩側的四根纵桁材选用耐水胶合板制造,以此兼作主机支架和地板棱木。

如图10所示，上述四根纵桁材的结构是：将两块13毫米厚的耐水胶合板垂直放在艇底，然后在二者之间的上下端各插一根方材，再用混有石棉纤维的树脂将它们粘合连接在船底上。

折角处作二次粘合，共五层，顺序是一层 900 克/米²玻璃毡加两层 220 克/米² 玻璃布 再加两层 400 克/米²玻璃粗纱布；二次粘合时一定要注意不要使气泡进入。其它船底和船侧纵桁材选择帽形截面，用玻璃钢制成空心形状，它与外板的连接采取二次粘合方式。

該艇橫向強度主要依靠四個倉壁和間隔 600 毫米的肋板加強。倉壁與肋板全部用耐水膠合板製作，它們與船體的連接與縱桁材相同，均作二次粘合。在肋板與縱桁材交叉部位，以保持縱桁材連續為準，將肋板斷開安裝。

甲板材料选用耐水胶合板，它与玻璃钢船壳的连接部位设计在舷顶的内折平面上，连接方式采取粘合与螺钉固定的配合形式。上述十八米长玻璃钢艇体将护舷木和舷边板与玻璃钢壳体制成一个整体，但该艇没有采取这种办法。该艇采取的装配方式可减少安装工时。

該艇試航時的排水量為 16.74 噸，使用直徑 710 毫米，螺距 760 毫米的四葉螺旋槳時，其最高試航速度為 18.8 節。

此后，該艇改用了三叶螺旋桨，于 1969 年 6 月份用 54 小时零 8 分钟的时间連續航行 1,257 海里，平均航速达到 20.2 节，超过了新建时的航速。从航速记录上看，該艇在上述里程中最高航速高达 22 节。

該艇建造中，在玻璃纖維方面存在如下几个問題未能解决。

一是要求大量使用造价高而又薄的玻璃布的問題；二是玻璃粗紗布在中心部位使用的問題；其次是作为大型玻璃鋼制品，汉特 (Hunt) 船型是否認真考虑到玻璃鋼材料因素的問題。

該艇綫型除龙骨处設計成圓弧形外，其它艇底与舷側部位均成直綫形，並且汉特 (Hunt) 认为艏部与浪板的棱角应尽可能鋒利，弯折部位仅取 3 毫米半径的圓弧。該艇前部形状与木艇相似，变化不大。

該艇建造过程与上述玻璃鋼艇相同，先用木材制作阳模，再以阳模为靠模用玻璃鋼材料制成阴模，最后以阴型作靠模层压玻璃鋼艇。此处阴模亦是一个左右分开的組合型模具，但其成型后的脫模方式不同与上述十八米玻璃鋼

三、美国汉特拉斯公司的50呎玻璃钢摩托艇

该艇是一个多用途的摩托艇。艇体全长15.24米，水线长14.02米，型宽4.83米，船首干舷2.29米，船尾干舷1.09米，轻载排水量19.05吨，主机为两台GM12V-71N型柴油机。

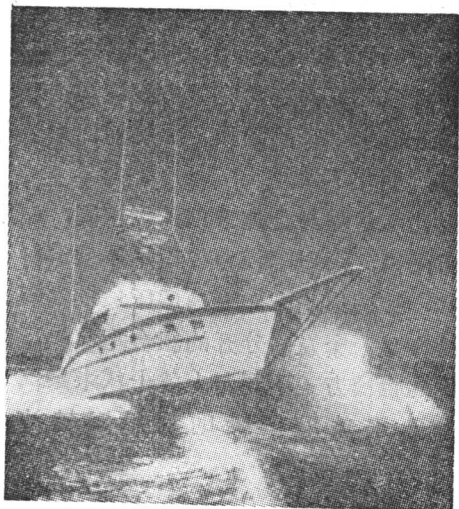


图 11 汉特拉斯公司的50呎玻璃钢摩托艇

艇内布置如图12所示，备有供八人使用的床位、伙房、厕所和洗脸间等。该艇船型选用“V”型，前端艏部较低，形成足够的舱容，艏部设计成具有挡波作用的平面形式。

与上述二艇相同，该艇船壳材料使用玻璃钢以手糊成型法制造。模具不清楚是整模还是组合模，但从最后的加强措施来看，估计有可能是组合型模具。

艇底外板共十六层玻璃织物，紧贴表面漆的是两层450克/米²玻璃毡，接着是一层815克/米²玻璃粗纱布和六层由450克/米²玻璃毡加815克/米²玻璃粗纱布予制成的组合层压品，最内层是450克/米²玻璃毡。板厚为18.2毫米。

艇侧外板共十二层玻璃织物，由450克/米²玻

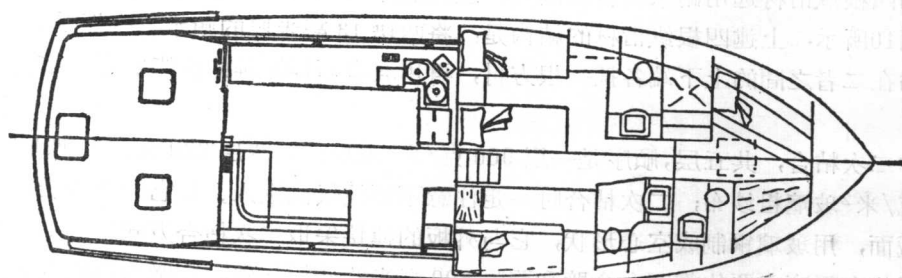


图 12 50呎玻璃钢摩托艇布置图

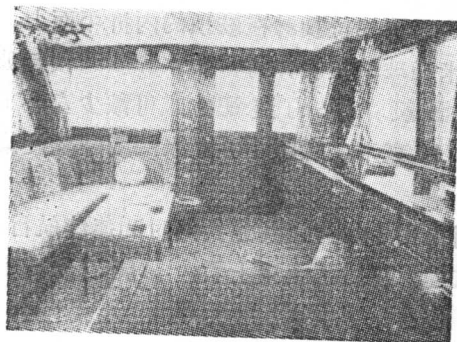


图 13 50呎玻璃钢摩托艇的客厅

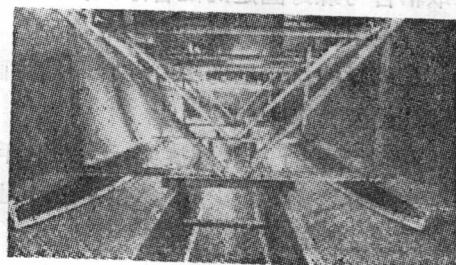


图 14 利用型钢作支架进行纵桁材的安装

璃毡和 815 克/米²玻璃粗紗布粘合而成, 板厚为 13.8 毫米。該艇玻璃纖維基础材料的单位面积重量很大, 船底为 9,655 克/米², 船侧克 7,590 克/米²。根据玻璃纖維和板厚 計算的玻璃含量如下: 450 克/米²玻璃 毡含 28%; 815 克/米²玻璃粗紗布含 45%。

另外, 整个艇体在中心綫处、艀部和船尾横翼板折角处以及軸支架部位等均用 450 克/米²玻璃毡和 815 克/米²玻璃粗紗布增强。其中, 中心綫处共有九层增强玻璃纖維, 艇体外壳最大厚度为 54 毫米。

艇底共安装四根帽形截面纵桁材, 纵桁材使用掺有氨基甲酸乙酯的增强塑料制成, 这种氨基甲酸乙酯的比重为 0.032。在纵桁材上鑲有另外成型制造的装配法兰, 安装时先用鋼制夹具将它压紧在船底上, 然后通过二次粘合与船体連接。

机座置于船底纵桁材上, 使用鋼材和輕合金組装而成。即在纵桁材下側安装 9.5 毫米厚的鋼板, 纵桁材上側安装 9.5 毫米厚的輕合金, 然后焊接而成。

油水仓設在纵桁材之間, 全部用玻璃鋼制成。其中 燃料仓三个, 每仓容量 1,300 升; 淡水仓一个, 容量 950 升。燃料仓用耐火性树脂成型, 並以气压作 耐压試驗(試驗压力为 0.28 公斤/厘米², 水压时间 12 小时)。

該艇試航时乘載船員三名, 燃油 1,700 升, 淡水 750 升, 排水量为 21.22 吨, 最高航速达 20.6 节。該艇推进器为四叶螺旋桨, 螺旋桨直径为 711 毫米, 螺距为 635 毫米。

四、上述三种艇的比较

上面分別介紹了日本十八米长玻璃鋼艇和美国 56 呎和 50 呎长玻璃鋼艇的概况, 現它們作如下比較(参見表 1、表 2)。

在速度方面, 十八米长和 50 呎长玻璃鋼艇采用的是相同的主机, 传速比也相同, 但十

表 1 主要性能参数比较

船 种	建造 年份	长度 (米)	寬度 (米)	排水量(吨)		主 机	螺旋 桨			最高速 度(节)	速长比) (V/ $\sqrt{L}$)
				輕載时	試航时		叶数	直径 (毫米)	螺距 (毫米)		
18米交通艇	1968	18.00	4.80	21.32	23.50	GM12V柴 油机×2	3	685	685	22.5	2.93
50呎艇	1968	15.24	4.826	19.05	21.22	GM12V柴 油机×2	4	711	635	20.6	2.92
56呎艇	1967	16.84	4.877	—	16.74	GM8V柴 油机×2	4 3	710 —	760 —	18.8 22.0	2.72 2.95

表 2 船底外板结构比较

船 种	层数	单位面 积重量 (克/米 ²)	玻 璃 纤 維 基 材 組 成	板厚 (毫米)
18米交通艇	9	6070	230C+(600M+860R)×4	11
50呎艇	16	9655	450M×2+815R+(450M+815R×6+450M	18.2
56呎艇	10	6460	600M+220C+900M+220C+(900M+800R)×2+900M+220C	11

附註: 1. M(mat)—玻璃毡, C(Cloth)—玻璃布, R(roving cloth)—玻璃粗紗布;
2. 玻璃纖維基材組成一栏的数字表示单位面积重量, 单位为克/米²

八米长玻璃鋼艇的最高航速比 50 呎长玻璃鋼艇最高航速快两节左右。

速长比 $v/\sqrt{L}$ ：V-速度(节)，L-船长(呎)方面，三种艇几乎相同，对比后結論是：艇体越长速度越快。另外，对于 56 呎长同一条玻璃鋼艇來說，安装的主机为同一厂的产品，但在安装四叶螺旋桨时，小艇达不到足夠航速；而当改換为三叶螺旋桨时，則使其速长比与其它二艇相同。

在船型方面，56 呎长玻璃鋼艇采用很强的深“V”船型；十八米玻璃鋼艇的深“V”船型比較緩和；而 50 呎玻璃鋼艇的“V”型船型，其前部狭窄，后部在龙骨处成略微向外展开的中凹“V”型船型。

在玻璃鋼外板結構方面，三种艇的比較情况如下：

十八米玻璃鋼艇的船底外板共九层玻璃纖維物，单位面积重 6,070 克/米²，玻璃纖維涂一层 230 克/米²的玻璃布外，其于均为由 600 克/米²玻璃毡加 860 克/米²玻璃粗紗布預制成的四层組合层压品，积层比較整齐。56 呎长玻璃鋼艇外板使用的是 220 克/米²玻璃布、600 克/米²玻璃毡、900 克/米²玻璃毡和 800 克/米²玻璃粗紗布四种玻璃纖維纖維物，共 10 层，单位面积重量为 6,460 克/米²。50 呎玻璃鋼艇使用的是 450 克/米²玻璃毡和 815 克/米²粗紗布两种玻璃纖維物，共 16 层，单位面积重量高达 9,655 克/米²，大量使用了玻璃纖維。

道利斯(Dorris)在对 56 呎长玻璃鋼艇的玻璃纖維結構設計中，把重点放在經濟性上加以考虑，其意义与 50 呎玻璃鋼艇一致。另外，十八米长和 56 呎长玻璃鋼艇都不是仅从本公司条件出发設計玻璃鋼結構和决定其加工方法，而是吸取其它方面意見进行設計的，这一点对于一个設計者是很重要的。但是，50 呎玻璃鋼艇的設計思路仅基于本公司的条件，为了求得最大仓容而将纵桁材的尺寸限止在最小範圍內。

在船底纵桁材方面，十八米长玻璃鋼艇使用的是以泡沫塑料为心材的夹心玻璃鋼結構型材，在制造过程中是将这种纵桁材預制成半成品，然后与外板同时作整体成型；50 呎长玻璃鋼艇則單純用玻璃鋼制作，利用法兰固定，作二次粘合，与外板連接；56 呎长玻璃鋼艇纵桁材是用胶合板組装而成的，它与外板的粘合比較精細。对于外板与纵桁材装配方式的經濟性和可靠性問題，目前尚不能简单地作出結論。这里所指的可靠性，主要指艇体强度、纵刚性、耐久性、机座和地板的承載情况等；經濟性主要指建造量、模具材料、設備費用、材料費用、工作量、工时費用等。对这些指标好坏的准确回答，必須在充分調查的基础上进行綜合研究得出。

本文作者的观点是：一条具有独特性能的玻璃鋼艇的先决条件是研制新型模具。上述三种艇在这方面也是一致的。一个新型模具由于造价較高人們常希望能大量建造和轉借它用，因此这里列举的三种艇都可以在改动上层建筑和仓內布置的情况下多方面使用；而且建造数量，上述三种艇都在八条以上。

众所周知，用单一材料制造小艇的时代已經过去，目前小艇的建造已在大量使用胶合板，玻璃鋼和輕合金材料。本文仅列举三种艇介紹了使用玻璃鋼材料制造大型艇的情况。

[譯自日刊<舵>，1969 年 9 月，第 319 期，43 頁~50 頁]

玻璃钢艇的试验及评价

玻璃钢摩托艇问世以来，不过二十几年，但它发展至今已为摩托艇和遊艇提供了完全可靠的强度。本文概略介绍如下两方面问题：(一)对于飞速发展的玻璃钢作为船用材料的评价；(二)关于以强度试验为主的试验方法问题。

一、对玻璃钢作为船用材料的评价

玻璃钢作为船用材料的好处是：重量轻，拉伸强度高，吸收冲击的能量大，防腐蚀，防锈，不因吸水产生重量变化，容易维修而且费用低，可制成无缝的结构，能自由地设计，与其它材料相比它可以更大量生产等等。它的缺点是：刚性小，容易磨损，疲劳极限值小，易燃烧，比重大于水等。因此，在与具有多年实践的木材和钢铁相比，为了肯定玻璃钢材料在小型船舶领域里作为船体材料使用的地位，尚须对材料的上述性质作进一步认识，以便作出足以充分发挥材料特长克服材料缺陷的设计标准。

(一) 与其它船用材料的比较

在小型船舶领域里，作为船体结构使用历史较久的材料是木材和铁；新兴的材料有铝合金、玻璃钢和热塑性塑料。现将这些材料的对比情况列入表1。从表1看出，上述各种材料优缺点的综合分数为：玻璃钢31分，木材29分，铝合金27分，铁26分，热塑性塑料21分。由此可知，长年居于小型船舶用材首位的木材，已开始被新兴的玻璃钢材料所顶替。

表 1 船用材料的评价

	单位重量 强度	单位重量 刚性	吸水性	耐 腐 蚀 抗风化性	电腐蚀性	大型制品 成型性	材料价格	各优缺点的 综合分数
铝 合 金	4	5	5	4	3	4	2	27
铁(船用)	2	4	5	3	3	4	4	25
玻 璃 钢	4	4	5	5	5	5	3	31
热塑性塑料	2	1	5	2	5	4	2	21
木 材	5*	5*	3	3	5	3	5	29

附注：1. 分数划分标准：

5分-优秀，4分-可以很好使用，3分-能克服其缺点，2分-使用困难但能设法解决，1分-不能使用或限于局部使用。

2. * 记号表示木材的极端单向性。

对于40呎长的高速艇，在使用木材、铁、铝合金和玻璃钢作为船体材料时各种性能对比列入表2。

表 2 关于40呎长小艇的各种结构材料的性能比较

性能	对比项目	輕結構木船	玻 璃 鋼 艇	鋁 合 金 艇	鋼 船
	外板組成	(9t+6t)斜鋪	船底 12t	船底 6t	船底 4.5t
船壳結構	外板加强	橫骨架式結構。 特征: 1)截面的强度高,但在微小变形情况下,缺口处易产生角裂; 2)肋骨深度为10厘米,所以有效仓容积狭小。	纵骨架式結構。特征: 1)截面存在柔软度,即使变形也难以破损; 2)由于选择纵骨架式結構,所以外板之内的容积几乎可以全部有效使用。	橫骨架式結構。特征: 1)截面的刚度高,但外皮容易产生凹伤; 2)因肋骨而使有效容积狭小。	橫骨架式結構。特征: 1)断面鋼度高,但外皮易于凹伤; 2)肋骨促使有效仓容积减少。
	外板装配	利用纵桁材和肋骨連接外板。	外壳成一完整的整体結構,无接縫。	外壳通过焊接或铆接連成一个整体。	外板利用焊接連成一个整体。
表面光滑度	外板外面的粗糙度	下水当时为±0.3毫米,如果检修不好,将因外表面的翹曲涂装不均匀而增加其凹凸程度。	下水当时为±0.1毫米,玻璃鋼表面不起变化。	下水当时为±1.0毫米,以后将因生鏽造成的油漆剝离,或因外板变形而增加其凹凸度。	下水当时为±1.0毫米,以后将因生鏽造成的油漆剝离,或因外板变形而增加其凹凸度。
吸水性		两年中吸水量为船壳重量的5%~10%,相应降低其船速。	吸水时重量沒有影响。	不吸水,但有腐蝕。	不吸水但有少量生鏽。
漏水		外板接縫略有漏水現象。在双重外板情况下,难于了解漏水經路,不易阻止。	由于外板是整体成形,所以除水綫之下安装艙裝品位置外均不产生漏水現象。	不漏水	不漏水
外板防护	虫 蛀	大	难	无	无
	船底污損	用船底涂料防止	用船底涂料防止	用船底涂料防止	用船底涂料防止
	锈 蝕	不生锈	不生锈	不生锈	生鏽可用防锈漆防止,但需要随时换油漆。
	腐 蝕	腐蝕厉害,要求内表面很好地通风	不腐蝕	腐 蝕	
	附着性能	容易附着	难附着	难附着	几乎不附着
	一般情况	需要涂油灰、防虫剂、油漆和船底漆。并因为涂料强度低,所以需要一年作一次表面处理,換一次漆。	除船底漆外不需要涂漆。由于表面硬度高,所以維修仅为木船的1/5。	对于海水中的一般腐蝕不太成問題,但为防止不同金屬之間产生的电化学腐蝕,而裝有保护鋅板,每1~2年換一次。	如增加使用年限,在外板厚度方面須包含锈蝕余量,从而增加了板厚,加大了重量。換漆時間与木船相同,一年一次。
重量比	船壳 — 外板 — 骨架 — 其它	100 — 30 — 36 — 34	94 — 37 — 23 — 34	75 — 31 — 15 — 29	116 — 55 — 26 — 35

(续上表)

性能	对比项目	輕結構木船	玻璃鋼艇	鋁合金艇	鋼艇
船内容积	船内构件在截面内占去的面积与截面面积之比	15% 因船底肋骨、船侧肋骨和横梁而减少了截面面积。	2% 由于采用了纵骨架式，所以結構材料几乎不影响内部容积。	15% 大体与木船相同。	12% 大体与木船相同，但其肋骨高度较低。
寿命	外板	約15年	約20年	約25年	約25年
船型	选择性	双重胶合板可制成二次曲面。船型在凹V形范围内自由变化，但难以离开这种船型。现在，在結構和船型方面均已标准化。	以整体木质阳模为原形，可制成任何二次曲面。因此，无论在船型方面或在設計上都不受材料的約束，可以得到最理想的形状。例如圆形艉部二次曲面的外展部分和船首材的圓角等。	一次曲面比木船容易做到二次曲面则大体与木船相同。	大体与鋁合金船相同。
上层建筑結構	結構設計选择性	結構形式受限制，設計也受限制。一般做成四方的胶合板，若装圓角，则造价高，又重。	由于与船型相同曲面的选择性比较大，所以可以做成硬壳結構，即坚固又美观。	可在木船和玻璃鋼船之間考虑。如扩大选择性，则工本費剧增。	大体与鋁合金相同。
乘坐的舒适性	船体冲击	无论从船型方面，或从材料方面上来看在波浪中受冲击严重。	船体柔軟，若与船型相配合，则更显得柔和。	大体与木船相同。	由船型决定，但因重量大，仍呈现柔和感。
速度		已形成标准航速。	由于船体輕且表面光滑，所以速度很高。	由于船体輕，速度快。	船体重，所以速度慢。
国外动向	美国	1950年以前标准。用这种材料制造40呎长的小艇。	1958年以后标准。用这种材料制造40呎长以下的小艇。(中型游艇几乎全部用玻璃鋼)	大型游艇每年仅有几条使用这种材料制造，但对于小型漁船来说却在大量采用这种材料。	1950~1958年間用这种材料制造了标准型40呎长的小艇。

(二) 玻璃鋼存在的问题

与长期使用的木材和鉄相比，玻璃鋼这种新材料存在着許多与木材和鉄不同的問題。

(1) 剛性

玻璃鋼的比强度高，但彈性模量比金属小，几乎与木材相同。其比彈性模量均小于金属和木材，設計中稍不注意便难于充分發揮材料的“比拉伸强度”高的特长。这一点在設計时应充分注意。

(2) 磨 損

玻璃鋼的耐磨性不比木材強。木材可以通过增加板厚的办法,克服耐磨性不足的缺点,而玻璃鋼由于比重大于木材,造价又高,所以难于采取增加板厚的办法克服耐磨性不足的缺点。一般在使用玻璃鋼材料时,将受磨損的部位用金属或木材加以保护,或者在此处增补几层玻璃布。但这並不是解决問題的根本办法,对此尚有待于进一步研究。

(3) 疲 勞

玻璃鋼的疲勞極限約為 22%, 与鋁合金的 40%~60% 的疲勞極限值相比低得多,設計中应充分注意。同时,玻璃鋼的蠕变特性也应特別注意,設計时应尽可能避免产生长期受局部負荷作用的部位,或对此采用一定的措施加以解决。此外,玻璃鋼材料存在的另一个問題是材料在反复冲击負荷作用下容易破坏。因此,設計时应对受反复冲击負荷作用的部位采取与受磨損部位相同的保护措施。

(4) 比 重

玻璃鋼的比重約為 1.5, 比水重, 浸水后沉沒。在使用美国的 BIA 塑料的情况下, 作为它的安全措施規定: 塑料艇体上应設置一定数量的浮体。因此, 在設計玻璃鋼艇时, 与設計其它材料艇体相同, 要求計算艇体所必須的浮力。对于 25 呎长以下的摩托艇, 应采取使用泡沫塑料或設計空仓的办法来解决浮力問題。玻璃鋼艇的最小浮力应滿足下述条件: 所設計的玻璃鋼艇在裝載根据稳性計算所容許的最多船員的情况下, 充滿水后仍能保持浮力状态。关于这方面問題, 近来又有如下严格規定: 所設計的玻璃鋼艇在充滿水的状态下, 作为增加艇体浮力的泡沫塑料所給予的浮力应保證艇体在最多船員按規定位置就位时仍保持水平漂浮状态(見图 1)。这种条件排除了艇体空仓所提供的浮力。就艇体所必需的浮力來說, 木质艇体其本身已具有一定的浮力, 而玻璃鋼艇体即使在艇体能漂浮的情况下也需要附加相当数量的浮体, 所以無論从艇体空間和成本來說, 塑料壳体都不如木质壳体。



图 1 浮力試驗(左右图相同)

(5) 耐火性

用普通树脂制成的玻璃鋼容易燃烧, 存在着失火的危險。材料本身防火的方法有两种: 一是加掺和剂; 二是使用分子中含有氢基的化合物。但此两种方法均难于完成防止火災, 所