

# 玻 璃 钢

子 佩

科学普及出版社

## 本書提要

玻璃鋼是用玻璃纖維和塑料做成的一種新型的結構材料，它比鋁還輕，比鋼的強度還高、還耐侵蝕、不生銹，有很好的電和熱絕緣性能，有的還能透過光綫，因此它能夠廣泛地應用在所有的工業部門來代替鋼材、木材和貴重金屬，並且具有比它們更好的性能。它是世界現代工業技術領域中的尖端工業之一。

我國在玻璃鋼的試制工作中，已經取得了很大的成績，並且已經制成了各種的產品。本書通俗地、系統地介紹了玻璃鋼的性能、用途和制法，使讀者對這門新興工業有個全面的概念，還可以做為選擇、製造玻璃鋼的參考。

總號：1077

### 玻璃鋼

編者：子 佩  
出版者：科學普及出版社

(北京市西便門外柳樹溝)

北京市書刊出版業營業許可證出字第091號

發行者：新華書店  
印刷者：榮文印刷廠

開本：787×1092毫米 印張：1 1/2  
1958年12月第1版 字數：30,000  
1958年12月第2次印刷 印數：1,001—12,040

統一書號：13051·207

定價：(9) 2角3分

# 序

随着我国工农业的大跃进，各方面对于结构材料的要求都在不断增长，不仅是在数量上，在它们的性能上也有很多新的要求。正在这个时候，我国许多单位的职工解放了思想，以无比的干劲在短短的几个月当中先后制出了各种玻璃鋼制品。这个巨大的成就很快地就引起了全国各地的重视，不少单位提出要求供给这方面的资料，说明它的性能和制造方法，但由于国内试制刚刚成功，经验还不多，系统的总结还有待于今后比较长时间的努力。在这种情况下，为了满足一些关心这种新型结构材料的人们的要求，编写了这本通俗的小册子，它只能给大家一个比较系统的概念，使大家对玻璃鋼有一个比较明确的认识，当然它还远不能满足所有的要求。不过我们相信，随着这门新生工业在我国迅速发展，我们将会很快地积累起丰富的经验。也正是因为这样，在这本小书里所介绍的主要的或者说绝大部分内容还都是从国外的一些资料中搜集编写的，它只是为了在目前国内还缺乏足够资料的情况下供给大家做为工作中的参考。不妥当或错误的地方，希望读者提出指正。

编者

## 目 次

第一章 玻璃鋼是什么？	1
第二章 玻璃鋼的性能	3
机械强度 热性能 化学性能 电气性能 其它性能	
第三章 玻璃鋼的用途	9
在航空工业上的应用	9
在車船制造上的应用	10
在电机制造工业上的应用	12
在机器制造工业上的应用	13
在建筑工程上的应用	14
在化学工业上的应用	15
在其它工业部門的应用	16
在日常生活中的用途	17
第四章 制造玻璃鋼的原料	18
一、玻璃纖維	18
1、玻璃纖維的特性	18
2、玻璃纖維的制造方法	19
3、制造玻璃鋼的玻璃纖維	21
4、玻璃纖維的处理	25
二、塑料	27
1、聚酯树脂	28
2、酚醛树脂	32
3、环氧树脂	34
4、三聚氰胺树脂	36

5、砂树脂 .....	37
<b>第五章 玻璃鋼的成型和加工</b> .....	<b>38</b>
<b>玻璃鋼的成型</b> .....	<b>38</b>
一、低压成型法 .....	38
二、金屬对模成型法 .....	41
三、袋模成型法 .....	44
四、真空浸渍法 .....	46
五、軟塞法 .....	47
六、压模法 .....	48
七、卷制法 .....	49
<b>玻璃鋼的加工</b> .....	<b>49</b>
一、玻璃鋼的机械加工 .....	49
二、玻璃鋼的連接 .....	50
三、玻璃鋼的修理 .....	50
四、玻璃鋼的油漆 .....	50
<b>第六章 影响玻璃鋼强度的因素</b> .....	<b>51</b>
一、玻璃纖維的含量 .....	51
二、玻璃纖維的方向 .....	51
三、不同种类的玻璃纖維制品 .....	52
四、玻璃纖維的处理方法 .....	53
五、玻璃纖維的长度 .....	54
六、使用的填充剂 .....	54
七、成型操作 .....	54

## 第一章 玻璃鋼是什麼？

一說到玻璃鋼很多人就會聯想到黑黝黝或者閃着光亮的鋼鐵，也許會想到晶瑩透明的玻璃，實際上從外表看來，玻璃鋼既一點也不像鋼鐵，又絲毫不像玻璃。它的外表和製造時所使用的原料有很大關係，可以是有色透光的，也可以是有顏色的，最常見的還是不透光綫而像電木一樣的東西。

它的主要原料是玻璃，但它的質地非常堅固，可以和鋼鐵相比，所以把它叫做玻璃鋼。玻璃鋼的製造是世界上一門新興的工業，到現在只有十多年的歷史，但是因為它的性能優越，用途廣闊，在世界各國都已經得到非常迅速的發展，蘇聯決定在兩三年內把玻璃鋼的產量增加幾倍。它的使用範圍也一年比一年擴大，在國防工業上、其它所有的工業部門中以及日常生活中，它已經成爲一種非常重要的結構材料，是世界現代工業技術領域中的尖端之一。

玻璃鋼是用玻璃纖維做骨材來加強的塑料。我們都知道塑料的用途非常廣泛，在日常生活中我們隨時都會和塑料打交道，我們用的梳子、肥皂盒、電燈開關甚至於牙刷、雨衣等很多都是用塑料製造的，但是塑料本身有很多缺點，例如乙強度不夠，在工業上的用途受到很大限制；在低溫的時候很多塑料都要變硬變脆，我們用的玻璃雨衣（實際上是塑料）到冬天就硬得不能穿；這都說明如果塑料的這些缺點不能予以克服，很難把它應用到各種工業上去。爲了解決這些問題，人們想了很多辦法，並且在很多年以前就用各種纖維來強化塑料，過去都是用石棉、碎布等加到塑料里，因為那時玻璃纖維還沒有出現。

二十多年以前，已經能够大量生产玻璃纖維，并且还能够把它織成布，但还不能把它用来做成玻璃鋼，因为那时生产的塑料在成型的时候都需要很大的压力，压力大得足以破坏玻璃纖維。一直到十多年以前低压塑料制成以后玻璃鋼很快地就制造出来了。到目前为止，玻璃纖維几乎已經完全代替了其它加强用骨材的地位。随着玻璃纖維工业和塑料工业的發展，玻璃鋼已經成为一門独立的工业。用不同加工方法的玻璃纖維配合各种不同性質的塑料，可以制出各种特殊性能的玻璃鋼。

玻璃鋼的原料主要是玻璃纖維和塑料，两种原料都有它原有的优点，但也都各有缺点，例如玻璃纖維耐化学侵蝕、不怕火、抗拉强度大等；但它还是比較脆。塑料可以塑制、耐侵蝕、重量輕；但强度差，在低温时尤其显著。把两种原料結合在一起以后就互相弥补了这些缺点，而原有的各种优点却都保留了下来。

玻璃纖維是玻璃融化以后拉制而成的。拉制的速度很快，所以拉出的纖維非常細，比人的头髮还要細好多倍。如果按直径5微米（一微米是一公厘的千分之一）可以紡織的玻璃纖維来計算，一斤玻璃可以拉成15,000里长的玻璃纖維。玻璃在拉成纖維以后抗拉强度很高，比任何天然纖維如羊毛、蚕絲、棉花和人造纖維都高，甚至比同等細度的鉄絲还要高一倍。由于玻璃纖維具有高抗拉强度这一个特点，再加上其它优越的性能，它就成为加强塑料的最好骨材。

玻璃鋼有很多特点，和鋼鉄相比它的重量較輕，它不生鏽、不导电、不容易传热。比較大的制品像小船等可以用玻璃鋼塑制成一个整体，不需要拼接，有些玻璃鋼还可以透过光綫；和木材相比它的强度較大、不腐烂、不容易燃烧（有些玻璃鋼根本不能燃烧）、吸水率很低。仅仅这几个特点就可以說明

为什么在现代工业上玻璃鋼逐渐取代了鋼材、木材而成为一种新型的結構材料；也可以說明玻璃鋼絕不只是鋼材、木材的代用材料，而是在很多方面具有比鋼材和木材更为有价值的特點。这些特點能够集中在一种材料上面就更为可貴，能够透过光綫而强度比較高的材料，到现在为止除了玻璃鋼以外还很难找到其它更合适的东西。

玻璃鋼在价格上比鋼材貴一些，尤其是目前我国塑料工业和玻璃纖維工业都还在开始發展阶段中，成本比較高；但是它比鋼材的加工費用低，維護容易，如果尽量利用玻璃鋼的特點像它的可塑性、电絕緣性、耐化学侵蝕性、重量輕等就可以弥补一部分价格高这一缺点，目前在我国的鋼鉄工业还不能充分滿足工业發展需要的情况下，玻璃鋼就更有它特殊重要的意义。

## 第二章 玻璃鋼的性能

上面曾經說过，使用不同的玻璃纖維、不同的塑料可以制出很多不同种类的玻璃鋼。它們在性能上的差別很大，就是同一种类产品的性能也会受很多因素的影响，这些我們将在以后詳細介紹。因此，这里我們只能將玻璃鋼的性能做一般的叙述，絕不能認為所有的玻璃鋼都同时具备以下叙述的性能，这一点对于我們正确地了解玻璃鋼是非常重要的。

所有的玻璃鋼都具备重量輕这一个特點，一般說來它的比重只有鋼的 $1/4$ 到 $1/5$ ，比鋁还要輕一倍，大致相当于金屬鎂的比重。由于它輕而强度很高，在飞机制造业上有特別重要的意义。



玻璃鋼和塑料一样也具有可塑性，它可以塑制成任何复杂的形状，金屬板材利用冲压不能成型的曲线，用玻璃鋼做起来非常方便。同时玻璃鋼可以模制比较大的整体，省去铆接和焊接的手续，还可以增加制品的强度并具有光滑的表面。在必须加工的时候玻璃鋼也可以进行各种机械加工，像切削、鑽孔等。塑制成型的玻璃鋼是不容易变形的，它能够始终保持准确的外形。

### 机械强度

我們常听说玻璃鋼比鋁輕，比鋼結实，这只是大致的說法。实际上玻璃鋼和鋼的种类都很多，有些在某种强度上比鋼高，而另一些强度并不如鋼。

現在我們把玻璃鋼和其它材料在强度上做一个比較：

	玻璃鋼	純聚酯	建筑鋼	鋁
抗拉强度 公斤 / 平方公分	8,400	420	7,000~8,400	700~2,500
比 重	1.9	1.3	7.8	2.7
抗压强度 公斤 / 平方公分	4,900	1,500	3,500~4,200	700~1,100
抗弯强度 公斤 / 平方公分	10,500	900	4,200~4,600	700~1,800
抗冲击强度 $\frac{\text{公分} \cdot \text{公斤}}{\text{平方公分}}$	156	7	100	44

表上所列的玻璃鋼是用玻璃纖維毛紗（沒有經過加工的长纖維）做骨材，用聚酯树脂做成的層压材料。

在抗拉强度上这种玻璃鋼和鋼材相近，比鋁高几倍，沒有用骨材加强的純塑料在抗拉强度上比玻璃鋼要低二十倍。

这几种材料当中玻璃鋼的抗压强度也最高。

值得注意的是玻璃鋼的抗弯强度，比上面所列的材料要高2—10倍。

耐冲击也是玻璃鋼的特点，在国外曾經有这样的記載，用11公厘的子弹在距离10步的地方射击厚半吋的玻璃鋼板，結果沒有射穿。

玻璃鋼的硬度并不高，大約相当于鋁合金或鋼的 $1/3$ 。

在考虑玻璃鋼强度的时候，不能忽略玻璃鋼很輕这一个因素，如果考虑了这个因素，玻璃鋼就比其它材料要强得多。例如把用玻璃短切坯垫和聚酯制成的玻璃鋼和軟鋼做个比較，要使玻璃鋼和鋼条具有同样的抗拉强度，玻璃鋼的断面积要比鋼大3倍，但是重量只有鋼条的 $3/5$ ；如果要使它們的抗弯强度相等，玻璃鋼需要比鋼材厚将近3倍，重量却只有鋼材的一半。这就是我們平常說玻璃鋼又輕又結实的道理。

一般金屬材料在受到外力引起破坏以前，它的强度会有所降低，也就是說它的屈服强度和極限强度有比較大的差別，但玻璃鋼直到断裂以前它的强度几乎是沒有变化的，它的屈服强度和極限强度相等。这样我們在考虑玻璃鋼的强度的时候就不必像考虑其它鋼材一样要留一个相当大的保险系数。

### 热性能

玻璃鋼具有很好的热絕緣性能，它不大传热，和金屬比起来它的导热系数要低得多，比建筑鋼材要低100—200倍，比鋁要低500—800倍。

玻璃鋼的热膨胀性質和制造时所用的玻璃纖維数量，形状以至于玻璃纖維的方向都有关系。一般說来和金屬很接近，这样玻璃鋼就有可能和金屬連接在一起做成各种制品，不至于在受热时因膨胀不同产生应力，而降低制品的强度。含有60%玻

璃布（按重量）的玻璃鋼；它的綫膨脹系数和建筑鋼的相近；含有35%切短纖維的玻璃鋼則和鋁相差不多。总的說來，含玻璃纖維愈多，膨脹系数愈小；在沿玻璃纖維放置的方向上膨脹最小。

耐热性能和所用的塑料的关系非常大。用矽树脂做成的玻璃鋼耐热性比較好，用酚醛树脂做的玻璃鋼比用一般聚酯的要好。一般玻璃鋼的使用温度大多在摄氏100度以內，用特殊塑料制成的玻璃鋼最高使用温度可以达到摄氏250—260度。各国都在研究寻找能耐較高温度的塑料，但往往在提高了耐热性以后就会影响到其它性能像电絕緣性等。

玻璃鋼不像其它單純的塑料，在低温时强度也很高，在很低的温度下强度反而有些增长。在高温时所有的玻璃鋼强度都有所降低。

### 化学性能

玻璃纖維本身具有很高的耐化学侵蝕性，除了氟氢酸等很少化学藥品对它比較强烈的侵蝕作用以外，它能耐絕大多数的化学藥品，因此在玻璃鋼中决定其耐化学侵蝕性的主要是所用的塑料。下表是各种树脂的玻璃鋼化学性能比較：

各种树脂玻璃鋼化学性能比較

	酚 醛	矽 树 脂	环 氧 树 脂	聚 酯 树 脂
盐 酸	好	好	强度稍降	有侵蝕
硫 酸	70%以下好	30%以下好	70%以下尚好	有侵蝕 (热时更差)
硝 酸	5%以下好	尚 好	不 好	稀时侵蝕 浓时破坏
冰 醋 酸	好	尚 好	好	好

磷 酸	好	—	好	好
氢氧化铵	不好	好	28%强度降低	—
氢氧化钠	不好	好	50%好	有侵蚀
乙 酮	好	不好	强度降低	—
醇	好	好	—	—
苯	好	不好	—	不好

环氧树脂耐化学侵蚀性较高，除硝酸、盐酸、浓硫酸、冰醋酸、丙酮、乙醇和其它一些脂肪酸以外，对其它化学品有很高的耐蚀性，并能耐芳香族有机溶剂的作用。

矽树脂除浓硫酸、浓硝酸和冰醋酸以外，能耐其它一切常用的无机酸，但对有机溶剂的耐蚀性很差。

聚合酯的种类很多，性能也不同，一般除强氧化性的酸以外，它的耐酸性很好，对碱液的耐蚀性较差。

其它树脂像酚醛树脂、三聚氰胺树脂等也都有比较好的化学耐蚀性。

水对于玻璃钢强度的影响很大，但在经过一段时间以后（从几小时到三、四天）就不再有影响，为了增加它的抗水性可以在玻璃钢中增加填充剂。海水对于玻璃钢的影响不如净水大。

### 电气性能

玻璃钢是很好的电绝缘材料，它的性质决定于所用的塑料和玻璃纤维的成份。

制造电绝缘用的玻璃钢必须是含碱很低的玻璃纤维，一般含钠钙成份的玻璃很少使用。苏联低碱玻璃纤维中含氧化钠小于2%，资本主义国家用制电绝缘材料的“E”玻璃也都是类似的

成份。

制造玻璃鋼的塑料中三聚氰胺树脂、矽树脂和环氧树脂具有較好的电气性能，在高温时虽然性能有所降低，但比其它的塑料要好。有的矽树脂層合材料虽然加热到摄氏250度，經過一段時間还能保持良好的电气性能，可以做最高級的電絕緣材料。有些环氧树脂加热到摄氏150度后虽然强度降低，但是并不产生化学分解，不会發生气体，也不裂縫，对电气工业來說是非常重要的。三聚氰胺树脂具有較高的介电强度、絕緣阻力和击穿电压。各种玻璃鋼的电气性能見下表：

各种树脂玻璃層压材料电气性能比較 (板厚 $\frac{1}{8}$ 吋)

	酚 醛	三聚氰胺	矽树脂	环氧树脂	聚酯树脂
功率因数 ( $10^6$ 周/秒)	0.006— 0.06	0.01—0.06	0.0005— 0.022	0.02—0.05	0.02—0.08
介电强度 (伏/微米)	200—600	200—300	100—300	200—500	150—350
浸水24小时的 絕緣阻电 (兆欧)	5—2,000	10—1000	10— 100,000	1,000— 500,000	5—20,000
介电常数 ( $10^6$ 周/秒)	4.5—5.5	4.0—5.0	3.5—4.5	4.5—5.0	3.2—4.5
吸水率 (%)	0.2—1.0	0.3—1.0	0.1—1.3	0.1—0.4	0.2—0.8
温 度 (°C)	150	150	250	150—160	130—150

常溫时所有的玻璃鋼都能作为一般的電絕緣材料用。

### 其它性能

有些玻璃鋼能够透过光綫，用聚酯树脂制造的玻璃鋼的透光率可以达到65—85%，含玻璃纖維愈多透光率愈差。长时期暴露在日光下也会使透光率有些降低，但有的經過改进的树脂已經能够克服这个缺点。

关于玻璃鋼的隔音性能还没有什么試驗資料，在有些文献中談到利用玻璃鋼做車身时，似乎噪音比較小。

各种玻璃鋼都具有很好的耐气候的性能，在开始的几个月內，它的强度有些上涨，这是由于在紫外綫和日光热度的影响下，玻璃鋼还在繼續熟化，以后强度就稍稍有些降低，这和受水的作用时一样，到一定程度后就不再降低。

玻璃鋼的吸水率很低，使用布比使用切短纖維时吸水率要低。此外和所用的树脂也有关系。一般說来在湿度变化时胀縮很小，因此它能在任何气候下不变形，具有很高的形状稳定性。

大部分的玻璃鋼都不易燃烧，用矽树脂制造的玻璃鋼不能燃烧，用酚醛树脂和三聚氰胺树脂制造的玻璃鋼有自己熄灭的性能；用聚酯和环氧树脂制造的燃烧很慢，同时还可以利用填充剂或改进树脂配方来增进它的抗火性。

### 第三章 玻璃鋼的用途

#### 在航空工业上的应用

玻璃鋼具有重量輕、强度大、加工容易这几个特点，它在飞机工业上有很重要的作用。在飞机工业中常用玻璃鋼来制造雷达罩、門、翼尖、自閉油箱(圖1)、間壁、地板以及各种导管(圖2)等。除了上述的几点优点之外，它还有很好的抗疲劳

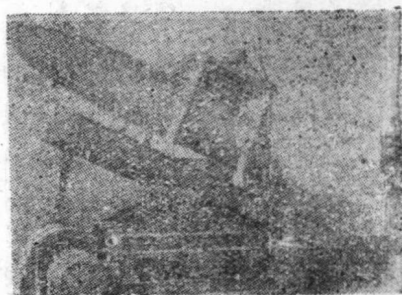


圖1 正在經受震動試驗的噴氣式飞机油箱

性，在长期震动的情况下不降低它的强度。

这里需要特别提一下雷达外罩。雷达波不能透过金属，因此在过去雷达外罩都是用木材胶合板或者脲素帆布制成的，它的强度比较差。玻璃钢出现以后，它的

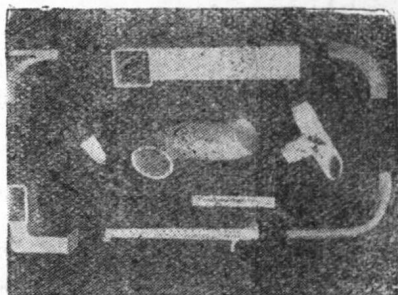


圖2 飞机用导管

电磁性能和机械强度特别适合于制造这种制品。在雷达穿透玻璃钢制的雷达罩时它的波长和雷达罩的壁厚有关系，小型雷达设备的波长比较长，单层的玻璃钢也能满足强度上的要求；如果是大型雷达设备，它的波长比较短，在电气方面不希望用太厚的玻璃钢，但还必须保证有足够的强度，这就必须用双层的轻质层合材料，在两层玻璃钢板之间夹上一层多孔性的橡胶，或玻璃钢制成的蜂窝状材料，也可以在其中夹上泡沫塑料。无论用什么样的材料都必须保证厚度均匀，不能有空洞或分层的现象，否则都会影响雷达波的穿透性。

### 在船舶制造上的应用

用玻璃钢制造汽车外壳可以减轻全车的重量，一个用玻璃钢制造的整个小汽车底盘，用一只手就可以把它举起来。因为玻璃钢容易塑成复杂形状，可以减少外壳的拼接(图3)，一个由24个主要模塑件装成的小汽车车身的重量总共只有154公斤。整个小汽车车身的各部分包括挡泥板、引擎罩、车蓬、辐射器外壳、车门甚至连缓冲器也可以用玻璃钢制成。汽车外壳常常是用聚酯树脂加玻璃纤维塑制，上面说的24个塑件一共约需玻璃纤维62公斤，聚酯69公斤，填料23公斤。公共汽车的车身也可

以用同样的方法来制造。

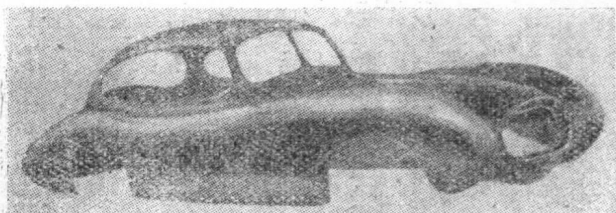


圖3 用玻璃鋼制的整體車身

用玻璃鋼做汽車車身可以節省很多大型沖壓和拼接的費用。我國目前也已經能夠用玻璃鋼來制造汽車車身。

用玻璃鋼板和夾層輕質玻璃鋼來制造火車車廂和冷藏車，不僅重量輕還具有良好的隔熱、隔音效果。最近在國外連火車座位的支架甚至車上的便器也有用玻璃鋼制造的。其它車輛像摩托車擋板、自行車車架也都可以用玻璃鋼制造。

玻璃鋼用在造船方面最多的是用來塑制整體的小艇像賽艇、游艇(圖4)、救生船等。我國已經做出了好幾只不同形式的小艇，使用情況都很好。

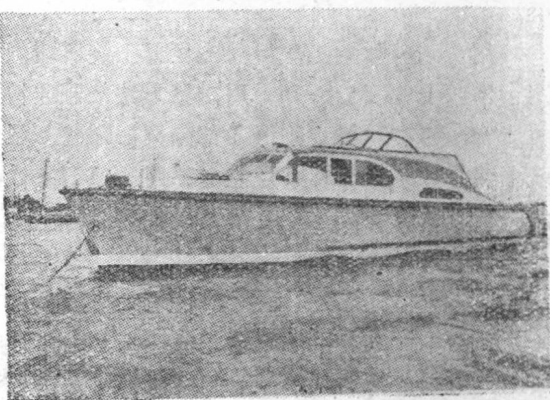


圖4 用玻璃鋼制的汽艇外殼

用玻璃鋼做船身的好處是可以做成整體，不用拼接，重量很輕，比木船還要輕很多，它的強度很高，曾經有人把一條用聚脂樹脂玻璃鋼做的26呎長的小船和一條同樣重量同樣長度的木船做了性能上



的比較，玻璃鋼船的抗斷力量比木船大3—4倍；同樣力量下的扭曲只有木船的1/4，經受重錘試驗強度要大1倍，在受剪力時如果木材沿斷面受力，玻璃鋼比它大1倍，如果沿木紋平行受剪力時，玻璃鋼要比它大10倍。

除此之外用玻璃鋼做船殼不需要防銹防蝕，它的吸水率只有木材的1/20，連續干濕對它沒有不利的影響，它不怕磕碰，壞了很容易修補，因此維護費用很低。玻璃鋼船的製造簡單，不要求很高的技術，也不需要很複雜的和大的製造設備，投資也很低。

一般的木船也可以在它原有的外殼上用玻璃鋼加固，只花幾小時就可以加固完畢，不需要什麼設備，操作非常簡單，加固後強度大大增加，壽命也可以延長。

玻璃鋼沒有磁性，因此可以做抗磁性水雷的掃雷艇和炮艇。

用塑制整體的方法目前在世界上還不能做成一條長達三、四十米以上的大船，如果用拼接方法來製造較大的船只一定是可能的，巨型輪船上的很多部分例如間壁、風管，尤其是甲板以上部分的船艙等都有可能全部用玻璃鋼來代替，這樣就能大大減輕船體重量，還可以節約大量的鋼材。

### 在電機製造工業上的應用

玻璃鋼既具有很好的電絕緣性能，因此在電機製造上也有很廣泛的用途，玻璃鋼製造的層壓板材比普通織物製造的絕緣板在電氣性能上要好多，它平均擊穿電壓比普通絕緣板要高3倍，可以作為各種絕緣器材，玻璃鋼還可以製成棒、管等形狀，可以製成各種電機設備的外罩，也可以製成各種異形的零件應用於發電機、電動機、變壓器以及其它電機上（圖5）。完