

陈孟桃

玻璃钢生产 实用技术

BOLIGANG SHENGCHAN
SHIYONG JISHU



安徽科学技术出版社

前 言

玻璃钢是一种新型的复合材料，由于它的性能优良，成型简便，应用面广，近几年发展很快。据统计，1985年我国玻璃钢总产量超过60000t，跻身于世界玻璃钢生产十强之列。

在我国，玻璃钢生产工艺还是一项年轻的技术，出版的学术专著和科普读物也较少，尤其实用技术书籍更少，这给推广、普及这项技术带来一定困难。为此，本人不揣冒昧，根据多年来的科研和生产实践，编写了这本《玻璃钢生产应用技术》。本书通俗浅显地介绍玻璃钢生产的基本知识，力求实用。希望它对从事本专业的技术工人和初学者有所帮助。

本书在编写过程中，得到一些专家的指教和帮助，同时，某些章节还借鉴了部分期刊的内容，在此一并致谢。由于本人的学识所限，书中的错误和不足之处在所难免，希望今后能得到专家们的更多指教，也希望能得到更多读者的批评。

编 者

目 录

第一章 玻璃钢概况	1
第一节 概述	1
第二节 玻璃钢的性能和特点	5
第三节 玻璃钢的用途	9
第二章 玻璃钢的化学基础	18
第一节 合成树脂	18
第二节 合成树脂的固化反应	20
第三节 玻璃钢的成型机理	21
第四节 玻璃钢的界面化学	23
第五节 玻璃钢的性能改进	25
第六节 玻璃钢的应用化学	29
第三章 玻璃钢的原材料	32
第一节 树脂基体	32
第二节 增强材料	49
第三节 辅助材料	61
第四章 玻璃钢的模具与脱模剂	82
第一节 模具的分类	82
第二节 模具设计的基本原则	83
第三节 模具的制造	84
第四节 模具的选择	87
第五节 脱模剂	88

第五章	玻璃钢的成型方法	92
第一节	概述.....	92
第二节	手糊成型.....	94
第三节	其他成型方法.....	96
第四节	成型方法的选择.....	100
第六章	玻璃钢的生产	102
第一节	生产准备.....	102
第二节	一般的设计原则.....	108
第三节	基本配方.....	113
第四节	糊制成型.....	117
第五节	加工装配.....	127
第六节	产品检验.....	133
第七节	玻璃钢制品常见毛病及消除方法.....	135
第八节	玻璃钢生产中的劳动保护.....	139
第七章	生产实例	146
第一节	化工防腐.....	146
第二节	造船.....	151
第三节	装饰板.....	167
第四节	波形瓦.....	172
第五节	浴缸.....	175
第六节	洗衣机内胆.....	180
第七节	修复开裂管道.....	182
第八节	船用螺旋桨.....	183
第九节	冷却塔.....	194
第十节	城市雕塑.....	203
第十一节	人造大理石.....	207

附录 玻璃钢测试方法(节选).....	216
一、玻璃钢性能试验方法总则.....	216
二、层压玻璃钢板拉伸试验方法.....	218
三、层压玻璃钢板层间剪切试验方法.....	220
四、层压玻璃钢板压缩试验方法.....	222
五、层压玻璃钢板弯曲试验方法.....	224
六、层压玻璃钢板冲击试验方法.....	226
七、玻璃钢密度试验方法.....	227
八、玻璃钢吸水性试验方法.....	229
九、玻璃钢平均线膨胀系数试验方法.....	231
十、树脂浇铸体性能测试方法总则.....	232

第一章 玻璃钢概况

第一节 概 述

玻璃钢是一种高强度的工程塑料，它的全称是玻璃纤维增强塑料。由于它比普通塑料的强度高得多，成型固化之后，比强度（即强度与密度之比值）高，可与钢材媲美，因而人们送它个雅号——玻璃钢。

玻璃钢是一种新型的复合材料，它以树脂作为基体，加入玻璃纤维及其制品作为增强材料，再加上一些辅助材料即可成型玻璃钢制品。

玻璃钢所用的树脂基体主要有两大类，一类是热固性树脂，如不饱和聚酯树脂、环氧树脂、酚醛树脂等；另一类是热塑性树脂，如聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等。我国目前生产的玻璃钢制品大多采用热固性树脂，热塑性玻璃钢尚处在研制和小批量试生产阶段。而国外近几年来，热塑性玻璃钢发展很快。

玻璃钢所用的增强材料是玻璃纤维及其织物，玻璃纤维是由无碱或低碱玻璃在高温下熔化抽丝而成型的一种无机纤维。

玻璃钢源出于普通塑料。虽然塑料是一种年轻的材料，但也有100多年的历史。由于它质轻、绝缘和可塑性强，这种

人工合成的材料逐渐地取代了一些传统的金属和非金属材料，进而成为一种普及材料。但是，由于塑料本身性能的局限，使其强度和弹性模量（即刚性）仍处于低水平上。如普通塑料的抗拉强度大都在 $800\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下，弹性模量则只有 $4 \times 10^4\text{kg}/\text{cm}^2$ 。这就使得塑料的应用范围受到很大的限制。为了提高塑料的强度，除研究改进塑料本身的结构和添加优良的助剂之外，主要就是用增强材料与之复合。用各种纤维来增强塑料的强度、刚性和改善性能。人们发现，用强度高的玻璃纤维复合成型之后，即使是手糊制品，其抗拉强度也可达 $3000 \sim 5000\text{kg}/\text{cm}^2$ ，弹性模量可达 $5 \times 10^5\text{kg}/\text{cm}^2$ 左右。机械缠绕成型的玻璃钢制品，其抗拉强度甚至高达 $12000\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上。这种增强后的塑料，应用领域大为拓展，使得塑料在材料世界中取得了新的优势。这也证明，玻璃钢是塑料发展的必然结果。

玻璃钢的问世，大约可追溯到1940年以前，当时只有少数国家开始了玻璃钢的研究。第二次世界大战期间，首先是电子工业的需要，促进了玻璃钢的发展。当时，需要保护军用飞行器的雷达天线，所用材料必须防护气候对电子仪器的影响，又必须足以抵抗空气动力荷载的作用，特别需要的是能透射来回的雷达波。后一要求使金属不能担此重任。1940~1941年期间，军界和工业界的许多研究者，采用聚酯玻璃钢解决了这个难题。与此同时，美国首先用玻璃钢制作飞机副油箱的防护罩也获得了成功。1944年，美国用玻璃钢成功地试制出第一架BT-15型飞机，并在莱特-帕特生空军基地试飞成功。1946年，玻璃钢开始应用于民用工业，成为制作电子器材、各种交通工具的零部件、管道以及建筑用的新

型重要材料。1953年，美国通用汽车公司首先在汽车上采用了玻璃钢壳体。其后，玻璃钢在造船领域也得到了广泛地应用。50年代后期，英国海军规定长度为9.2m(30ft)以上的小艇，全用玻璃钢制造；1963年，美国海军中的小艇98%也由玻璃钢建造。60年代中期，世界上已建成了容积为380kl的玻璃钢贮罐，39.2m长的玻璃钢船壳，相当于14层大楼高的直径为4.2m的雷达罩。

近年来，玻璃钢产量增长很快。1970~1980年的10年中，日本的热固性和热塑性玻璃钢的产量增长速度分别为34%和28.6%，1981年热塑性的增长率更超过了热固性玻璃钢。由于热塑性的片状模塑料(SMC)可以用机械连续化的大规模生产，又可以用普通金属成型机械和切削机械大量地加工成各种零部件，加之成本较低，因而其发展速度超过了热固性玻璃钢。据估计，美国的热塑性玻璃钢产量已占总量的20%，日本则占总量的40%。

从成型工艺看，最先实用也最简便的是手糊法。由于手糊法生产准备时间短，设备简单，投资少，容易上马，制品表面光亮；还可根据产品设计要求，合理排布增强材料的材质、数量和方向，并可局部任意加强；因而特别适用于制品大、批量小、品种变化多和形状复杂的产品。随着玻璃钢工业的发展，各种成型方法相继出现，如喷射法、模压法、缠绕法、挤拉法、袋压法、离心法、连续法等，到目前为止，付诸实用的不下十多种。据报道，1979年，日本、丹麦、挪威等国，手糊法仍占50%左右，英、法、意也都在30%上下，只有美国较低，仅占15%。美国重点发展了喷射成型和机械模压，两者各占30%左右。由于缠绕产品质量好，适用于发

展尖端产品，目前，发达国家均占10%以上。

我国于1958年开展玻璃钢的研究和应用，起初也偏重于军用。民用方面，首先在建材领域。据统计，1983年我国玻璃钢总产量为40kt，比1982年增长50%，1985年又比1983年增长50%。尽管如此，比之于世界上的发达国家，我国还是大大落后了。据报道，1982年，美国的玻璃钢总产量已接近1000kt，日本也在250kt以上。如果按人口平均，美国比我国高90多倍，日本也比我国高40多倍。同时，我国的发展也极不平衡，江苏产量占全国的三分之一，浙江、河北、广东、山东等省发展较快，但还有很多省份仍处在起步阶段。成型工艺也比较单一，90%以上采用手糊法生产。

从我国的国情出发，还是以发展手糊法为好。它是一种最基本的、最容易普及的方法，它不仅上马快，投资少，设备简单，而且厂房可因陋就简，一般只要求遮阳避雨和通风良好即可，其工艺流程见图1-1。生产中耗能很少，它所用的原材料，我国多数省份均有生产和供应，这就给发展乡镇工业提供了一条很好的途径。

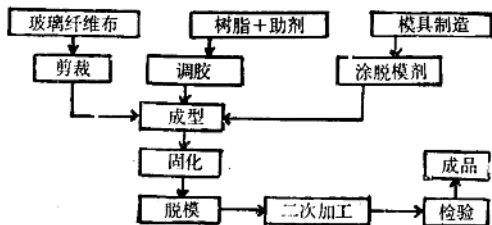


图1-1 玻璃钢成型工艺流程简图

虽然我国发展玻璃钢工业的历史不长，但还是取得了较

大的技术进展。早在60年代，就已采用玻璃钢试制过飞机螺旋桨叶、坦克外壳。70年代初，芜湖曾经试制出长39m、宽6.1m的大型扫雷艇，这在当时的世界上也属罕见。1982年9月，北京密云又修建了一座玻璃钢公路桥。桥长21m，单跨净跨为20.24m，全宽9.2m，最大载重量为8t。据了解，国外仅只保加利亚索非亚有一座跨度为12m的玻璃钢桥。1985年，我国试制的玻璃钢渔船也在汕头下水。经过二十多年来的努力，我国已经初步建成了玻璃钢科研和生产的独立工业体系。北京、上海、哈尔滨、常州、秦皇岛、南京等地相继建立了相当规模的科研机构和生产厂；培养了一支学有专长的技术骨干队伍。这是我国今后发展玻璃钢工业的重要基础。

第二节 玻璃钢的性能和特点

玻璃钢是一种增强塑料，它具有普通塑料的一般性能，但比普通塑料具有更多的优点和特性。

(一) 轻质高强

玻璃钢的密度只有1.8左右，同金属相比确实很轻，仅为钢的密度的1/4。因而，它的比强度可与金属媲美，甚至超过钢和铜合金。虽然玻璃钢的密度比一般塑料大一些，但强度却比一般塑料高出三倍以上。同样，玻璃钢的密度比木材大一倍多，而强度却比木材高出三倍以上。事实证明，与传统材料相比，玻璃钢轻质高强的优势是明显的。现将玻璃钢与各种材料的密度、强度和比强度列于表1-1中。

表1-1 玻璃钢与各种材料的强度比较

材料名称	木材 (松)	普通塑料	玻璃钢	缠绕制品	铝合金	钛合金	钢	铜合金
密度	0.85	0.9~1.4	1.5~2.1	1.8~2.1	2.8	4.8	7.8	8.3
拉伸强度 (kg/cm^2)	440	1000以下	1000~4000	7000~14000	2000~6000	4000~16000	3000~7000	2000~6000
比拉伸强度 (kg/cm^2)	517	700~1100	800~2000	4000~7000	1200~2300	900~3200	400~900	250~700

从表1-1中可看出，玻璃钢的比强度高，尤其是玻璃钢缠绕制品，其比强度大大高于其他金属制品。如采用特种树脂与高强纤维，其强度还要高些。这就给许多受力结构提供了一种新型的高强材料，而且在保证具有同等强度的前提下，可以使受力结构本身重量减轻。如交通工具从传统的金属材料改用玻璃钢之后，车体重量减轻，将有利于节约能源。在当前木材奇缺，金属笨重且容易腐蚀的情况下，玻璃钢正可以异军突起，大展所长。

（二）设计灵活、成型简便

玻璃钢制品不受制品形状的限制，许多奇形怪状的物件可以用玻璃钢成型，例如小轿车的流线型外壳用金属制造时，需经大型机械模压，成型工艺很复杂，且难以保证表面光洁度。若采用玻璃钢手工糊制，却可以很方便地在模具上成型，并获得上佳的光洁度。其他许多不规则的异形物品均可以用玻璃钢取代金属，简化成型工艺，缩短成型周期，提高工作效率。

（三）耐腐蚀性能好

玻璃钢既不象金属那样“生锈”，也不象木材那样易朽；它耐水、耐油、耐酸碱腐蚀。而且针对不同的腐蚀介质，它能用不同的配方和办法对付。例如，制造玻璃钢船，可以选用耐水性能优良的189*聚酯树脂；包覆电镀槽、酸洗槽的玻璃钢可选用耐酸性、耐热性能兼好的198*、199*聚酯树脂。

一般地说，酚醛树脂有良好的耐酸性能。胺固化的环氧

树脂耐碱不耐酸，而酸酐固化的环氧树脂和不饱和聚酯树脂则耐酸不耐碱。近年出现的双酚A型不饱和聚酯树脂(197*、323*)和丙烯酸环氧树脂(MFE-2)是耐腐蚀性能优良的新品种。

在某种意义上讲，耐腐蚀与耐老化含义相通。所谓老化是玻璃钢制品不同程度地暴露于大气、江河海水、油、酸、碱等介质之中，经过若干年后，会使玻璃钢的性能下降。通过选用耐腐蚀的原材料，添加某些防老剂、改变腐蚀环境等手段，可以延缓制品的老化进程，达到延长使用寿命的目的。我国早在廿年前制作的某些玻璃钢制品，至今仍在用，说明玻璃钢耐老化性能很好。

(四) 电绝缘性能好、透波率高

玻璃钢既有优良的电绝缘性能，又能透射雷达波(透波率达95%以上)，用于电器和军用装备上有着特殊的优越性。玻璃钢扫雷艇，只需将主机、辅机经过消磁，就能逃避雷达的跟踪和磁雷的袭击。此外，用玻璃钢制作绝缘的受力构件也很“称职”。反之，如果制作具有一定导电率的玻璃钢，则只要在树脂中添加导电的粉状填料如金属粉、石墨粉等就可以了。

(五) 耐热、透光性好

玻璃钢的比热约为金属的2~3倍，导热系数仅为0.24，只有金属的1%至1%，隔热性能好，适合作车船的隔壁。

普通玻璃钢有良好的透光性能，现在还有专用的透光树脂，其透光率和透明度不亚于有机玻璃。在建筑上用于制作

透明瓦等很好。

(六) 节能

生产玻璃钢用树脂比生产同样钢铁少耗能源。生产1kg玻璃钢的能耗仅为生产1kg钢的60%，同时，玻璃钢制作的交通工具，由于自重减轻，也节约了能源。据美国试验证明，汽车每减轻400lb(1b \approx 0.45kg)即可使每加仑(1USgal \approx 3.785 dm³)汽油增加行程1~3mile(1mile \approx 1609.34m)。这是一个使汽车设计者很感兴趣的数字。在能源短缺的发达国家，玻璃钢便成了热门的节能材料。

诚然，玻璃钢也还存在一些缺点。其一是弹性模量较低，一般只有铁的1/20~1/10，是铝的1/7~1/4。刚性差，易变形，给制造一些受力构件和产品带来困难，设计者必须设法补救这一弱点；其二是耐热性远不如金属，一般长时间只能耐100℃左右，耐热性好的也只有200℃左右，少数特种树脂和增强材料复合后可耐高温，如烧蚀材料可耐瞬时高温2000℃以上；其三是阻燃性差，一般树脂易燃烧，加入阻燃剂又要提高成本，同时工艺性能也受到影响，这给推广应用带来困难；其四是手糊成型生产效率低，产品质量不够稳定。

第三节 玻璃钢的用途

(一) 化工防腐

化学工业本身就意味着有酸碱等腐蚀介质，又有潮湿环境，这对木材和普通金属材料是个严重的威胁，据专家们估

计，仅钢铁的锈蚀每年要损失产量的20%；而耐腐蚀的玻璃钢却可以用其所长。根据腐蚀介质选用不同的树脂和玻璃纤维等原材料，可以用作反应釜、大型油罐的内衬或包覆层；可以制作整体的化工容器、运输槽车、管道等。最早在耐腐蚀结构中使用玻璃钢的是美国，已有三十多年的历史。美国各大石油公司的汽油贮罐大都采用玻璃钢制造，容积一般为 22.8m^3 ，最大的玻璃钢贮罐已达 3000m^3 。从经济效益看，一个 22.8m^3 的玻璃钢贮罐与同样大的金属贮罐制造费用之比为2:3，使用寿命却为2:1。可见，采用玻璃钢制造贮罐是很合算的。

玻璃钢管用于输送石油产品、天然气和各种化工药剂等，以代替其他传统材料的管道有重量轻、耐腐蚀、保温性好等优点。玻璃钢用作化工设备如管道、泵、阀和贮槽等，不需要采取防腐、防锈等措施，减少了维修费用，使用寿命也较长。据报道，美国和西欧一些主要工业发达国家，玻璃钢防腐的用量已占总量的15%以上。

我国早在60年代初，就采用玻璃钢缠绕包覆船舶艉轴、船体和甲板等，有效地防止了海水和大气腐蚀，延长了船舶使用寿命。化工厂选用玻璃钢喷射泵、耐蚀泵、冷却塔、排风机等的日渐增多。

(二) 建筑

玻璃钢主要用作结构建材，其次用于隔热、防水、装饰和耐腐蚀材料，还有用作系光透明材料的。

首先，玻璃钢被用作建筑物的受力构件，如屋梁、屋架、门、窗等，还有用作大型圆形透光罩。甚至有可能用来建筑

体育馆、厂房等屋顶结构。其他也有用作地下水管、煤矿通风管道等。

由于玻璃钢质轻高强，施工简便。近年来，我国采用作房屋平顶上的加层建筑，引起人们的广泛关注。它的自身重不超过 $35\text{kg}/\text{m}^2$ ，既不影响原建筑质量，而又解决了平顶房渗漏、隔热问题，还能起到美化建筑和市容的作用。一般加层玻璃钢建筑造价约为 $200\text{元}/\text{m}^2$ 左右，与普通建筑物造价不相上下。

用玻璃钢建造的各种活动房屋，适用于野外作业，公路交通，部队营房等各种临时性建筑。它的特点是，可根据不同地形和需要进行设计和就地建造，可做到轻便灵活，组装方便，美观大方。

据报道，国外用于建筑上的玻璃钢，已占很大比重。例如美国，1981年的建筑用玻璃钢已达 150kt ，占玻璃钢总产量的16%以上，仅次于陆上运输车和舟艇的玻璃钢用量。欧洲法、英、意等16个国家的建筑用玻璃钢占总产量的20%左右。我国玻璃钢总量中有30%以上用于建筑，占第一位。

近几年发展起来的建筑装饰性板材如玻璃纤维贴墙布、人造大理石板等，受到人们的广泛关注。是一种很有发展前途的装饰性建筑材料。

(三) 造船

由于玻璃钢质轻、比强度高，耐海水腐蚀，抗微生物附着性好，透波率高，防磁性好，能吸收撞击能，特别能整体成型，比其他材料优越，因而很适合于造船。

国外许多国家十分重视发展玻璃钢造船业。玻璃钢造船

用量已占玻璃钢总量的很大比重。例如1980年,挪威占56%,英国占20%,日本占20%;美国虽然只占16%,但全年用量却有150kt之多,是玻璃钢造船业最发达的国家。

我国自1958年开始建造小型玻璃钢艇之后,玻璃钢在造船上的应用日渐增多。目前,救生艇已几乎全部采用玻璃钢,小型快艇及工作艇、摩托艇等也在一定程度上取代了钢质、木质艇,还能建造游艇出口。此外,船用的许多零部件也采用玻璃钢制造,如救生圈、驾驶室、浮筒、仪表盘、汽缸罩和螺旋桨等。

玻璃钢可以整体成型船壳,也可分段成型,然后组装;还可以在钢质、铝质和木质船壳上用玻璃钢外包覆。再则,玻璃钢船,不生海蛎子,不受海生物腐蚀,维修保养费用很低。这都是优于其他材料而造船又十分需要的长处。

玻璃钢用于制造渔船,可以说恰到好处。我国现有30多万条渔船,其中95%是木船,每年用于造船和维修的木材竟达600km³,桐油近10kt。如果每年新造一万条玻璃钢渔船,则可节约木材140km³,倘若使用15年,便可节约木材370km³。此外,玻璃钢渔船的维修费用仅为钢质渔船的1/10;轻巧的玻璃钢渔船还可自带冷冻加工设备,减少鲜鱼变质,仅此一项,每条船每年增加收入就达30000多元。因此,发展玻璃钢渔船制造业,经济效益和社会效益均十分可观。

(四) 车辆

减轻交通工具的重量就意味着节能。据试验,同一条件的汽车,钢质需耗油14kg,铝质耗油10kg,而玻璃钢只需耗油7kg。玻璃钢制造的运输腐蚀性液体的罐车,其自重仅为