


# 树脂基复合材料

—材料选择 模具制作 工艺设计

王顺亭 杨学忠  
庄 瑛 彭永利



中国建材工业出版社

# 树脂基复合材料

——材料选择 模具制作 工艺设计

王顺亭 杨学忠 编著  
庄 瑛 彭永利

中国建材工业出版社

一九九七年六月

(京)新登字 177 号

图书在版编目(CIP)数据

树脂基复合材料:材料选择、模具制作、工艺设计/王顺亭,杨学忠等编著. —北京:中国建材工业出版社,1997.6

ISBN 7-80090-591-8

I. 树…

I. ①王…②杨…

Ⅱ. 树脂-复合材料

Ⅳ. TB33

### 树脂基复合材料

王顺亭 杨学忠 编著  
庄 瑛 彭永利

\*

中国建材工业出版社出版

(北京百万庄国家建材局内 邮编:100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

\*

开本:850×1168 1/32 印张:10 字数:252千字

1997年6月第1版 1997年6月第1次印刷

印数:1—3000册 定价:15.00元

ISBN 7-80090-591-8/TU·132

# 前 言

材料工业的发展是当代经济建设的主要依托之一。在材料科学领域中,复合材料不但是其成员之一,同时也是其赖以发展的物质基础。一方面,随着人们对于材料发展历史的科学认识,现代科学技术的发展必将进一步推进各种材料综合使用新阶段的形成与深化,也就是说,人们接受、使用及推进复合材料工业发展的时机已经成熟。另一方面,复合材料以其优越的材料性能的可设计性及材料与结构的一致性的特点,确立了自身存在和发展的优势。因此,用复合材料的发展来比拟当今时代的进步也是具有一定代表性的。

树脂基复合材料是以合成树脂为基体材料,以玻璃纤维及其制品为增强材料组成的复合材料。它是复合材料的典型代表,它的研究、开发、生产和应用全面地反映了我国玻璃钢/复合材料工业发展的历史,是目前仍然占主导地位的一种复合材料。为了进一步研究和总结树脂基复合材料的生产实际,笔者根据实际工作的体会,编写了《树脂基复合材料》一书,希望能为广大从事复合材料研究、生产和应用的人们提供一点启示。

本书在编写的过程中,紧扣复合材料原材料设计、结构设计及工艺设计的特点,系统地介绍了树脂基复合材料的原材料、玻璃钢手糊成型工艺设计、玻璃钢制品设计基础、模具的设计与制作、手糊成型工艺、玻璃钢制品的表面装饰、玻璃钢制品的质量管理、手

糊玻璃钢制品常见缺陷及防治措施、二次加工、玻璃钢检验及劳动保护等内容。书后还附有《玻璃钢企业质量管理规程》、《玻璃钢企业产品质量监督检测管理办法》、《玻璃钢生产企业产品质量检验室基本条件》及《纤维增强塑料(玻璃钢)有关国家标准号与名称》等。

本书由武汉工业大学王顺亭、杨学忠、庄瑛及武汉化工学院彭永利共同编著。

由于编者水平所限,书中缺陷和不当之处在所难免,敬请同行及广大读者批评指正。

编者

1997年5月8日

# 目 录

## 前言

第一章 概论 .....	(1)
第一节 复合材料的发展概况 .....	(1)
第二节 玻璃钢的基本性能 .....	(8)
第二章 树脂基复合材料的原材料 .....	(20)
第一节 纤维增强材料 .....	(20)
第二节 基体材料 .....	(46)
第三节 辅助材料 .....	(69)
第三章 玻璃钢手糊成型工艺设计 .....	(90)
第一节 工艺设计的基本原则 .....	(90)
第二节 手糊车间生产工艺条件的设计 .....	(92)
第三节 手糊成型车间工艺布置 .....	(93)
第四节 玻璃钢制品的工艺设计 .....	(98)
第四章 玻璃钢制品设计基础 .....	(105)
第一节 概述 .....	(105)
第二节 玻璃钢结构设计基础 .....	(107)
第三节 手糊玻璃钢制品辅层的计算方法 .....	(116)
第五章 模具的设计与制作 .....	(120)
第一节 模具设计的基本原则 .....	(120)
第二节 模具的结构形式 .....	(121)
第三节 模具材料的选择 .....	(123)
第四节 各种模具的制作与使用 .....	(127)
第五节 玻璃钢模具的设计与制作 .....	(137)

第六节	玻璃钢模具的保养与维护 .....	(158)
第六章	手糊成型工艺 .....	(162)
第一节	手糊成型工艺流程及其特点 .....	(162)
第二节	手糊成型工具及设备 .....	(164)
第三节	成型前的准备工作 .....	(168)
第四节	铺层施工 .....	(178)
第五节	固化与脱模 .....	(185)
第七章	玻璃钢制品的表面装饰 .....	(189)
第一节	概述 .....	(189)
第二节	前装饰法 .....	(191)
第三节	后装饰法 .....	(193)
第四节	表面装饰在导电复合材料方面的应用 .....	(200)
第八章	玻璃钢制品的质量管理 .....	(204)
第一节	概述 .....	(204)
第二节	影响玻璃钢制品质量的因素 .....	(205)
第三节	质量管理的内容 .....	(206)
第九章	手糊玻璃钢制品常见缺陷及防止措施 .....	(220)
第一节	表面层常见缺陷及防治措施 .....	(221)
第二节	增强层常见缺陷及防治措施 .....	(227)
第三节	玻璃钢制品常见缺陷及防止措施 .....	(233)
第四节	喷射成型常见缺陷及防止措施 .....	(237)
第十章	二次加工 .....	(239)
第一节	引言 .....	(239)
第二节	机械连接 .....	(240)
第三节	胶接连接 .....	(250)
第四节	维修、修补与机械加工 .....	(261)
第五节	玻璃钢管道的连接 .....	(267)
第十一章	玻璃钢检验 .....	(270)
第一节	概述 .....	(270)
第二节	玻璃钢物化性能检验 .....	(272)

第三节	玻璃钢力学性能检验 .....	(278)
<b>第十二章</b>	<b>劳动保护 .....</b>	<b>(282)</b>
第一节	有关原材料的毒性 .....	(282)
第二节	劳动保护措施 .....	(284)
第三节	简易防护手套的配制 .....	(286)
<b>附录一</b>	<b>玻璃钢企业质量管理规程 .....</b>	<b>(289)</b>
<b>附录二</b>	<b>玻璃钢企业产品质量监督检测管理办法 .....</b>	<b>(296)</b>
<b>附录三</b>	<b>玻璃钢生产企业产品质量检验室基本条件 .....</b>	<b>(301)</b>
<b>附录四</b>	<b>纤维增强塑料(玻璃钢)有关国家标准号与名称</b> .....	<b>(306)</b>
<b>参考文献</b>	.....	<b>(312)</b>



# 第一章 概 论

## 第一节 复合材料的发展概况

材料科学是推动当代科技进步的重要支柱之一。复合材料作为一种新型的工程材料,越来越受到人们的重视和青睐。

由两种或两种以上具有不同化学和物理性质的组分材料组成的一种与组分材料性质不同的新材料,这不仅是复合材料的定义,同时也表明了复合材料的组成与材料的性质特征。也就是说,两种或两种以上物理和化学性质不同的材料,通过一定的工艺过程,复合而成的具有优越于原组成材料特性的多相固体材料就是复合材料。复合材料形成过程中,材料性能的变化可表示为: $1+1+1>3$ 。

树脂基复合材料,俗称玻璃钢,是一类重要的复合材料。它是合成树脂为基体材料,以玻璃纤维及其制品为增强材料组成的复合材料,它不仅是复合材料的典型代表,也是应用最为广泛,已经为中国人民所接受的一种新型材料。

随着科学技术的发展,玻璃纤维及其制品已不能满足某些特殊场合的需求,如瞬间高温、高强度和高模量、特殊腐蚀介质等,因而出现了以碳纤维、硼纤维、碳化硅纤维和 Kevlar 纤维等作为增强材料的高性能复合材料。

纤维是树脂基复合材料的主要承载部分,起到增强骨架的作用。它可以降低树脂的固化收缩率,提高复合材料的热变形温度及其他特殊的性能。

合成树脂是一种人工合成的高分子化合物,最初由于其外形

和性能类似于天然树脂而得名。在复合材料中,合成树脂通过固化将纤维增强材料粘结成一个整体,起到传递载荷的作用,又称之为基体材料。基体材料赋予复合材料各种优良的综合性能,如电绝缘性、耐腐蚀性、施工工艺性等,因而复合材料制品的性能往往取决于所用树脂的性能。常用的玻璃钢基体材料有不饱和聚酯树脂、环氧树脂和酚醛树脂等。此外,基体材料还有呋喃树脂、脲醛树脂、有机硅树脂、三聚氰胺甲醛树脂、丁苯树脂、乙烯基酯树脂和邻苯二甲酸二丙烯酸酯树脂等。

玻璃钢基体材料与增强材料的界面粘接状况,对玻璃钢的力学性能、耐腐蚀性能和耐老化性能等有很大的影响。除了从工艺上改进树脂对纤维的浸润性以外,还可以采用增强型浸润剂,即用偶联剂对纤维增强材料进行表面处理。

复合材料的分类如表 1-1 所示。

表 1-1 复合材料的分类

一级	二级	三级	实 例
复合材料	金属基		碳化硅增强铝
	无机非金属基	陶瓷基	晶须增强陶瓷、多孔陶瓷
		无机非金属基	纤维增强石膏或水泥、钢筋混凝土
	树脂基	热塑型	纤维增强聚乙烯,泡沫塑料
热固型		玻璃钢	

## 一、国外发展概况

国外对复合材料的研究、开发起步较早。1940年,美国首次用玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂,以手糊成型工艺制造军用雷达罩和远航飞机油箱。1941年,福特公司生产的玻璃钢车身小汽车问世。1944年,美国空军首次用玻璃钢夹层结构制造了飞机机身和机翼。1946年,美国发明了纤维缠绕成型工艺。1949年,美国研制出玻璃钢预混料,利用传统的对模法压制成表面光洁的玻璃钢零

件。1950年,美国研制成功真空袋和压力袋成型工艺,使手糊产品质量得到提高,并试制成功直升机的螺旋桨。1961年,德国研制成功片状模塑料,使模压成型工艺达到新水平。1963年,玻璃钢板材开始工业化生产,美、法、日等国先后建起了高产量、大宽幅连续生产线,透明玻璃钢及其夹层结构板材也相继问世。1965年,美国和日本用片状模塑料压制汽车部件、浴盆和船上构件等。

本世纪60年代,拉挤成型工艺用于工业化生产,生产出了棒材、管材、方形、工字形、槽形等截面制品。70年代,树脂反应注射模塑和增强树脂反应注射模塑研制成功,使树脂基复合材料产品的质量显著提高,并用于卫生洁具和汽车零部件等的生产。

玻璃钢工业经历了50多年的发展历程,到目前为止,已经形成了从原材料、成型工艺、机械设备、产品种类及性能检验等比较完整的工业体系。美国、日本、德国等发达国家的玻璃钢工业发展很快,其1994年的玻璃钢年产量分别达到138万t、64.5万t和38万t,分居世界前三位,占世界总量360万t的五分之三。

美国从事玻璃钢生产的企业有3500家,片状模塑料和团状模塑料的生产是其主要的成型工艺,约占40%。美国玻璃钢产品主要有汽车零件、建筑构件、管道、贮罐、船舶和飞机部件等。

欧洲玻璃钢主要生产国有德国、英国、法国和意大利,生产企业主要为中小型。欧洲玻璃钢的年总产量为115万t,约占全球产量的三分之一,预计1997年将达到130万t,其中31.4%用于汽车工业。德国手糊成型产品占玻璃钢产品总量的20%,英国占26%,意大利占17%,法国占15%。欧洲的缠绕成型玻璃钢管道和贮罐生产技术在居领先地位。

日本玻璃钢产量居世界第二位,以住宅器材、工业机械部件为主要产品。1993年,主要玻璃钢产品(按质量计)依次为:住宅器材49.2%,工业机械部件12.7%,罐、容器9.4%,杂货8.3%,建设资材7.7%,船舶6.7%,汽车、车辆5.2%,其他2.8%。日本手糊

成型工艺的使用率逐年下降,片状模塑料和团状模塑料压制工艺是目前应用最多的成型方法,拉挤和缠绕工艺在大型构件生产中的应用将有所增长,特别是在耐腐蚀制品的生产方面增长较快。

## 二、国内发展概况

我国玻璃钢工业诞生于 1958 年。经过 30 多年的发展,到 1994 年全国从事玻璃钢生产的企业有 3000 多家,从业人员达 20 多万人,玻璃钢产品品种达到 2000 余种,年产量达 15 万 t,居世界第 6 位。

国内玻璃钢用增强材料主要为玻璃纤维及其织物。1994 年,全国玻璃纤维产量约 15 万 t,用于玻璃钢行业的约占 35%~40%,其中中碱无捻方格布应用最多,绝大部分用于手糊成型玻璃钢产品。适用于各种不同要求及最终产品性能要求的各种形式增强材料正在得到开发,提高玻璃纤维质量的浸润剂技术及其原材料的国产化也有了重大突破。

国内玻璃钢用树脂大部分为不饱和聚酯树脂,约占所用树脂的 80%。1994 年,我国不饱和聚酯树脂的产量为 13 万 t,1995 年为 15 万 t,基体材料的发展方向为乙烯基酯树脂、气干型树脂、高性能树脂和颜料糊的开发。

我国不同成型工艺所占比例如表 1-2 所示。目前,我国玻璃钢生产装备状况为:喷射成型机 200 台,纤维缠绕定长管、罐生产线 120 条,纤维连续缠绕管材生产线 2 条,离心法成型夹砂管道生产线 3 条,拉挤成型生产线 100 条,片状模塑料生产线 31 条,团状模塑料生产线 5 条。

表 1-2 不同成型工艺所占比例

手糊	缠绕	模压	层压	拉挤	其他
80%	10%	4%	4%	1.5%	0.5%

我国台湾地区1994年玻璃钢及其原材料的主要产量见表1-3所示。其中,片状模塑料、团状模塑料、真空注射成型、缠绕成型和预浸料等自动化成型工艺得到了快速发展,其手糊成型产品约占玻璃钢总产量的20%。

表 1-3 台湾地区玻璃钢及原材料产量

种 类	玻璃纤维	不饱和聚酯树脂	环氧树脂	碳纤维	聚酯玻璃钢	环氧玻璃钢
年产量 (万 t)	7	10	7	0.03	4.69	5

### 三、应用状况

玻璃钢工业的飞速发展,促进了各种玻璃钢制品广泛地应用于国民经济的各个领域。随着新型玻璃钢制品的研制成功,其应用领域会越来越广泛。

#### (一) 宇航工业

用于宇航工业的玻璃钢不但要求具有很高的比强度和比刚度,而且还要求具有耐烧蚀性。所谓烧蚀,是指宇宙飞行器高速穿过大气层时,由于高温高热而导致材料的剥蚀和分解的现象。

在宇航工业中,玻璃钢主要用于制造火箭发动机壳体、发动机燃料箱、火箭喷管、宇宙飞船和人造卫星的返地防护罩、导弹和飞船的头锥、多级火箭的级间连接件等。例如,美国阿波罗宇宙飞船月球着落用发动机,其燃烧室采用高硅氧增强酚醛树脂,而喷管采用玻璃纤维增强环氧树脂制造。火箭发动机壳体用玻璃钢制造,可以大大减轻重量,提高初始速度,使重心前移而提高准确度。

#### (二) 航空工业

在航空工业中,玻璃钢最初只用于制作非承力构件,如飞机雷达罩、机门、燃料箱、行李架和地板等。60年代以后,先进玻璃钢已

逐渐用于主结构件,如飞机平尾、主翼、尾翼、起落架、螺旋桨、安定面等。表 1-4 列举了波音飞机上玻璃钢的使用面积。

表 1-4 波音飞机的玻璃钢使用面积

机型	机外结构材料面积(m <sup>2</sup> )	机内部件面积(m <sup>2</sup> )	总计(m <sup>2</sup> )
波音 707	18	560	578
波音 727	162	540	702
波音 737	270	360	630
波音 747	900	1800	2700

### (三) 建筑工业

根据材料及结构设计,玻璃钢可具有透光、隔热、隔音和耐腐蚀等性能,因而在建筑工程上得到了广泛应用。

用于采光的玻璃钢制品有透明波形板、平板、采光罩、整体采光屋顶及组装采光屋顶等。这些产品多应用于工业与民用建筑、农用温室、公共建筑物的天窗及侧窗的采光。

用于装饰的玻璃钢制品有平板、薄板夹层饰面板、雕塑、壁画等。这些产品常应用于门、窗框、门框、贴面板、家具、仿罗马柱和装饰壁画墙等。

用于围护结构的玻璃钢制品有蜂窝夹层板、平板、波形板、各种复合板和壳体结构等。这些产品多应用于工业及民用建筑的隔墙、屋面、外墙、晴雨篷、空调罩、组合式简易房屋和地面防腐等。

用于给排水工程的玻璃钢制品有贮槽、管道、容器等。这些产品多应用于高位水箱、天沟、漏水斗、上下水管、便池、浴盆、组装淋浴间等。

用于采暖通风工程的玻璃钢制品有管道、板材、格栅等。这些产品多应用于中央空调送风管道、冷却塔、通风橱、通风管等。

此外,玻璃钢还可以用于制造电气开关、接线盒、电线杆、隔音板、窨井盖等。

#### (四) 化学工业

根据材料和结构设计,玻璃钢可具有耐酸、耐碱、耐有机溶剂、耐油等优异的耐腐蚀性能,在化工防腐工程中广泛用于生产各种贮罐、容器、管道、反应釜、洗涤器、冷却塔、高位槽、电解槽和电镀槽等。

玻璃钢管道可以替代传统的钢管、铝管、塑料管和石棉管等,用于输送石油、天然气、各种化工介质和上下水等。管径 25mm~4800mm。

#### (五) 造船工业

玻璃钢具有轻质高强、耐海水腐蚀、抗微生物作用等优点,因此是造船工业的理想材料。可用于制造游艇、渔船、巡逻艇、登陆艇、救生艇、气垫船等的船身;还可用于制造船艇上的甲板、风帽、油箱、方向舵、仪表盘、驾驶室、蓄电池箱、机棚室等。

#### (六) 电器工业

玻璃钢具有优异的介电性能,而且耐腐蚀、隔音、隔热,因而在电器工业中得到了广泛应用。

玻璃钢可用于制造发电机和重型发电机护环、端盖、大型变压器上的线圈绝缘筒和衬套、各种绝缘板、集电环、绝缘梯、继电器绝缘垫、绝缘操作杆、各种开关装置、印刷线路板、插座、接线盒和计算机部件等。

#### (七) 车辆工业

玻璃钢用于车辆工业,可以减轻自重、降低油耗,从而提高运载能力。用于车辆内部装饰又具有舒适、隔声、隔热、降低震动等优点。

用于汽车部件的玻璃钢制品有车身壳体、保险杠、汽车顶篷、仪表盘、油箱、座椅、刹车片、发动机罩等。

用于铁路车辆方面的玻璃钢制品有机车车身及客货车车辆的顶篷、水箱、油箱、风帽、车辆座椅、内部装饰板、卫生间、卧铺床板和集装箱等。

#### (八)军械工业

玻璃钢在军事工业中得到了广泛应用,如隐形飞机、潜水艇、扫雷艇、弹药箱、枪托、避弹衣、引信体、炮弹护环、炮弹防潮筒、火箭发射筒、穿甲弹和破甲弹的零件以及坦克零部件及装甲等。此外,还可用于制造头盔、野战用手术床、担架、军用营房和浮桥等。

#### (九)体育用品

用玻璃钢制造体育用具,可以充分发挥其高强度、耐疲劳和高弹性等特点,为运动员创造纪录提供了条件。常用的玻璃钢体育器材有玻璃钢夹层结构滑雪板、球拍、跳板、赛艇、弓箭、赛车、划桨、撑杆、钓鱼竿等。其中,多采用碳纤维和 Kevlar 纤维为增强材料。

#### (十)医学方面

玻璃钢在医学方面可以用于制造假肢、牙齿和骨骼修补等。

## 第二节 玻璃钢的基本性能

原材料(组分材料)的可选择性、产品结构的可设计性、成型方法的多样性及产品的一次整体成型是树脂基复合材料(玻璃钢)的最大特点,这是传统材料和传统结构所不具备的。树脂基复合材料的特点可概括如下:

优点:



- (1)轻质高强,比强度高;
- (2)可设计性优良;
- (3)工艺性能多样化;
- (4)耐腐蚀性能优良;
- (5)电性能优良;
- (6)热性能良好。

缺点:

- (1)弹性模量低;
- (2)长期耐热性差;
- (3)耐老化性能差;
- (4)表面硬度低,耐磨性差;
- (5)抗蠕变性能较差。

由于原材料的选择、制品结构的设计和成型方法的确定都具有较大的自由度,因此,影响玻璃钢制品性能的因素也很复杂。首先,增强材料的强度、弹性模量,基体材料的强度、化学稳定性等是决定因素;其次,增强材料的含量及其铺层方式、方向,增强材料与基体材料的界面粘接状况等也是影响玻璃钢性能的主要因素;另外,人为因素、环境因素同样会影响玻璃钢制品的性能。

下面将从机械性能、物理性能和老化性能等方面来介绍玻璃钢的基本性能。

## 一、玻璃钢的机械性能

### (一)玻璃钢机械性能的特点

同金属及其他材料相比,玻璃钢的机械性能有以下几个特点。

#### 1. 轻质高强

玻璃钢的轻质高强可以用比强度和比弹性模量来定量描述。比强度和比弹性模量分别定义为: