

复合材料工厂工艺 设计概论

主 编：葛曷一

副主编：王冬至 柳华实

中国建材工业出版社

复合材料工厂工艺 设计概论

主 编 葛 曷 一
副主编 王冬至 柳华实

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

复合材料工厂工艺设计概论/葛曷一主编. —北京:中国建材工业出版社,2009.4
ISBN 978-7-80227-532-4

I. 复… II. 葛… III. 复合材料—生产工艺—设计—高等学校—教材 IV. TB33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 027244 号

内 容 简 介

本书共分为八章:复合材料工厂设计的基础知识,复合材料厂总平面布置,复合材料厂车间工艺布置,车间工艺流程的选择和工艺设备的选型,物料衡算和能量衡算,复合材料工艺配套项目的设计基础,工艺设计制图的基本要求,生产车间和制品的工艺设计实例。本书内容较为基础,可作为高等学校复合材料与工程专业的教学用书,也可供国内玻璃钢设计院、建材规划院和相关生产企业的技术人员参考。

复合材料工厂工艺设计概论

主 编 葛曷一

副主编 王冬至 柳华实

出版发行: **中国建材工业出版社**

地 址:北京市西城区车公庄大街6号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京密云红光印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14

字 数:350千字

版 次:2009年4月第1版

印 次:2009年4月第1次

书 号:ISBN 978-7-80227-532-4

定 价:29.00元

本社网址: www.jcbs.com.cn

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010) 88386906

前 言

《复合材料工厂工艺设计概论》是根据国家教育部对高等学校教材改革的要求，为适应21世纪高等教育的创新要求而编写的。本书是高等学校复合材料与工程专业的教学用书。

《复合材料工厂工艺设计概论》是高等工业院校复合材料专业的一门专业课程。通过本课程的学习，使学生了解复合材料厂工艺设计的基本内容、方法和步骤，为将来从事工厂设计打下一定的基础。

全书共分为八章，以复合材料工艺设计为主，编者力图从复合材料的生产方法、工艺流程、工艺设备选型、工艺布置等方面阐述工艺设计的基本知识。另外，对工程可行性研究、厂址选择、总平面布置及工艺设计所需的其他专业知识也作了简要介绍。

本书的编写分工：济南大学材料科学与工程学院王冬至编写第一章、第六章；济南大学材料科学与工程学院柳华实编写第二章、第三章；济南大学材料科学与工程学院李建权编写第四章第一节至第六节；哈尔滨理工大学材料科学与工程学院单连伟编写第四章第七节至第十节、第七章；济南大学材料科学与工程学院葛曷一编写第五章、第八章。

本课程是在学生学完《复合材料原理》、《复合材料工艺及设备》、《复合材料聚合物基体》等专业基础课和专业课的基础上进行的，重点讲述了复合材料厂设计的目的和要求、设计基本程序、总体设计、车间布置设计、物料衡算、能量衡算、设备工艺设计、典型车间设计等知识。为使学生对生产具备完整概念，对于其他课程未涉及的内容，本书也作了相关补充。

本书既吸收了玻璃钢设计研究院、建材规划和玻璃钢企业的经验，也总结归纳了编者设计和教学工作的经验，力求使复合材料厂工艺设计方面的知识做到较为系统、完整。本书所提供的资料数据，可供学生毕业设计时选用。生产企业、设计单位在参考和选用本书资料时，有关数据应进一步调查核实。在本书编写过程中，济南大学材料科学与工程学院逢增凯、王伟等同学为本书的编排、校对做了大量工作，在此致以衷心的感谢。

由于知识更新很快，编者知识和能力有限，失误之处在所难免，有些观点也未必正确，欢迎读者批评指正。

编者
2009年2月

目 录

第 1 章 复合材料工厂设计的基础知识	1
1.1 复合材料的发展及应用	1
1.1.1 我国复合材料发展状况	2
1.1.2 树脂基复合材料的原辅材料	8
1.1.3 热固性树脂基复合材料	9
1.1.4 热塑性树脂基复合材料	11
1.1.5 我国复合材料的发展潜力和热点	12
1.2 复合材料厂设计的要求、分类及内容	13
1.2.1 复合材料厂设计的要求	13
1.2.2 复合材料厂设计的分类	13
1.2.3 复合材料厂设计的内容	14
1.3 设计的基本程序	15
1.3.1 项目建议书	17
1.3.2 可行性研究	22
1.3.3 设计任务书	27
1.3.4 厂址选择	29
1.3.5 设计阶段工作	33
1.3.6 设计后期工作	34
1.4 设计资料的收集	35
1.4.1 收集资料的内容	35
1.4.2 规范资料	37
1.4.3 资料来源	38
1.4.4 收集设计资料的原则和步骤	39
第 2 章 复合材料厂总平面布置	40
2.1 复合材料厂总平面布置的内容和步骤	40
2.2 复合材料厂总平面布置基础知识	41
2.2.1 复合材料厂总平面布置的原则	41
2.2.2 复合材料厂车间组成	42
2.2.3 复合材料厂平面布置	43
2.2.4 复合材料厂竖向布置	43
2.2.5 复合材料厂运输设计	43

2.2.6	管线布置	45
2.2.7	绿化美化布置	45
第3章	复合材料厂车间工艺布置	47
3.1	复合材料厂车间工艺布置的要求	47
3.2	厂房布置	48
3.2.1	厂房的平面布置	48
3.2.2	厂房的立面布置	49
3.3	设备布置	49
3.3.1	设备布置的要求与步骤	49
3.3.2	设备布置图	51
第4章	车间工艺流程的选择和工艺设备的选型	53
4.1	选择车间工艺流程和设备的基本方法	53
4.1.1	选择车间工艺流程和设备的要求	53
4.1.2	车间主机的选型计算	53
4.1.3	附属设备的选型计算	54
4.2	各种成型工艺流程及设备	54
4.3	喷射成型工艺及设备	55
4.3.1	喷射成型的分类	55
4.3.2	喷射成型的特点	56
4.3.3	原材料选择的要求	56
4.3.4	喷射成型机的工作原理	56
4.3.5	喷射成型工艺控制	57
4.3.6	喷射成型设备	58
4.4	夹层结构成型工艺及设备	59
4.4.1	概述	59
4.4.2	蜂窝夹层结构制造工艺	60
4.4.3	夹层结构涂胶机的结构及原理	61
4.5	模压成型工艺及设备	65
4.5.1	模压料(短纤维模压料)	66
4.5.2	SMC成型工艺	67
4.5.3	模压制品生产	68
4.5.4	模压成型主要设备	68
4.6	层压工艺及设备	75
4.6.1	概述	75
4.6.2	胶布制备工艺及设备	75
4.7	缠绕成型工艺及设备	83
4.7.1	缠绕线型分类	84

目 录

4.7.2	缠绕设备	84
4.7.3	小车环链式缠绕机的总体结构	87
4.7.4	固化炉	88
4.8	拉挤成型工艺及设备	91
4.8.1	拉挤成型工艺	91
4.8.2	拉挤成型工艺分类	91
4.8.3	拉挤成型设备	92
4.9	挤出成型工艺及设备	96
4.9.1	FRTP 粒料生产工艺及设备	96
4.9.2	FRTP 挤出成型工艺	100
4.9.3	挤出成型设备	102
4.10	注射成型工艺	105
4.10.1	注射成型工艺原理	105
4.10.2	注射成型工艺过程	107
4.10.3	注射成型设备	109
第 5 章	物料衡算和能量衡算	113
5.1	物料衡算	113
5.1.1	物料衡算的作用与意义	113
5.1.2	物料衡算常用基本概念和方法	113
5.1.3	物料衡算举例	117
5.2	能量衡算	120
5.2.1	能量衡算解析	120
5.2.2	热量衡算计算方法	121
第 6 章	复合材料工艺配套项目的设计基础	124
6.1	土建设计	124
6.1.1	概述	124
6.1.2	柱和梁	125
6.1.3	单层厂房设计	127
6.1.4	多层厂房设计	132
6.1.5	给水排水设计要求	134
6.2	电气设计	135
6.3	技术经济指标分析	136
6.4	复合材料工业的污染及其预防	140
第 7 章	工艺设计制图的基本要求	142
7.1	制图的一般要求	142
7.1.1	图纸幅面	142

7.1.2	制图比例	143
7.1.3	字体要求	143
7.1.4	图线及其使用	144
7.2	工艺布置图及工艺流程图的编制	145
7.2.1	各设计阶段应提交的图纸内容	145
7.2.2	全厂生产车间布置平剖面图的深度和内容	146
7.2.3	初步设计资料图的深度和内容	146
7.2.4	施工资料图与成品图的深度和内容	146
7.2.5	工艺非标准件图的深度与内容	148
7.2.6	工艺流程图的深度和内容	148
7.2.7	尺寸、标高等数字与文字的标注方法	151
7.2.8	建筑物和构筑物的表示方法	153
7.3	工艺设备表和工艺非标准件设备材料表的编制	154
7.3.1	各设计阶段的编制要求	154
7.3.2	工艺设备表的编制方法	155
7.3.3	工艺非标准件设备材料表的编制方法	156
第8章	生产车间和制品的工艺设计实例	157
8.1	合成树脂车间生产工艺设计	157
8.1.1	合成树脂生产工艺设计的内容和步骤	157
8.1.2	合成树脂车间生产工艺设计	157
8.1.3	对非工艺专业的设计要求	161
8.1.4	车间生产协作问题	161
8.2	卷管生产工艺设计	163
8.2.1	预浸料生产工艺设计	163
8.2.2	卷管工艺设计	165
8.2.3	玻璃钢管后加工	169
8.2.4	卷管车间工艺布置	171
8.3	拉挤车间生产工艺设计	172
8.3.1	纤维与树脂物料计算举例	173
8.3.2	质量控制与缺陷分析	174
8.3.3	拉挤成型工艺中的影响因素与控制	176
8.3.4	后加工	177
8.3.5	拉挤车间设备布置举例	177
8.4	SMC模压生产工艺设计	179
8.4.1	SMC片材生产工艺设计	179
8.4.2	SMC模压生产工艺设计	180
8.4.3	车间设计	184
8.5	缠绕制品生产及车间	184

目 录

8.5.1 生产工艺过程	184
8.5.2 生产方案举例	185
8.5.3 缠绕车间设备布置举例	186
附录	188
附录 1 无碱玻璃纤维布 (JC/T 170—2002)	188
附录 2 热固化玻璃纤维增强塑料食品容器 (JC 586—1995)	199
附录 3 玻璃纤维增强热固性树脂承载型格栅 (JC/T 1026—2007)	203
参考文献	212

第1章 复合材料工厂设计的基础知识

工厂设计的任务是按照国家或国内外用户要求的产量和质量标准，在可能的情况下，综合国内外已成熟的工厂设计 and 专业设计的最优方案进行设计，达到完成既定产量及质量的要求，并尽可能降低造价、节约能源和相应考虑今后生产定额及工厂的改建、发展。这是一个政策性、技术性和经济性很强的综合技术工作，是基本建设全过程中最为重要的环节，为工厂建设及建成后投入生产提供基本条件。因此，设计内容是否先进、可靠直接影响到工厂投产后的产量、质量和生产成本，应予以足够的重视。

国内工厂设计必须贯彻我国的经济和工业政策，设计工作必须坚持基本建设程序。设计时力求做到技术先进可靠、经济合理、安全适用，使工厂建成后能获得预期的经济效益和社会效益。

工厂设计是各种专业人员共同劳动、集体智慧的结晶。在复合材料工厂设计中，应首先根据客观情况，决定采用何种工艺方法，因此复合材料工艺方法的选择在复合材料工厂设计中起着主导作用。在一般情况下，首先应确定生产方法及已定生产方法的工艺流程、工艺计算、专业设备和车间布置，然后依据工艺特点及车间布置向各有关专业提出要求，各专业在保证生产的情况下协同工作。因此，工艺设计人员不仅要精通工艺知识，还必须掌握与工艺有关的其他专业知识，这样才能提出正确的、系统的工艺设计方案，为其他专业工作创造必要的基础条件，才能共同完成工厂的整个设计。

总之，在复合材料工业日益发展的今天，为使复合材料产品生产规范化，不断提高产品质量和生产管理水平，同时为扩大学生的知识面，深化其学过的理论知识，培养其工程设计能力，学习复合材料工厂设计相关知识是非常必要的。

本书的重点是工艺设计，使学生在学完本课程后，能根据不同产品的设计要求和使用要求，掌握对产品进行工艺设计、生产方法选择、生产设备选择、生产工艺布置等方面的知识；树立车间和工厂设计的完整概念；了解工艺设计和非工艺设计之间的关系。

1.1 复合材料的发展及应用

复合材料是指由两种或两种以上不同物质以不同方式组合而成的材料，它可以发挥各种材料的优点，克服单一材料的缺陷，扩大材料的应用范围。由于复合材料具有质量轻、强度高、加工成型方便、耐化学腐蚀和耐候性好等特点，已逐步取代木材及金属合金，广泛应用于航空航天、汽车、电子电气、建筑、健身器材等领域，在近几年更是得到了飞速发展。

从应用上看，复合材料在美国和欧洲主要用于航空航天、汽车等行业。从全球范围看，汽车工业是复合材料最大的用户，今后发展潜力仍十分巨大，目前还有许多新技术正在开发中。例如，为降低发动机噪声，增加轿车的舒适性，正着力开发两层冷轧板间粘附热塑性树脂的减震钢板；为满足发动机向高速、增压、高负荷方向发展的要求，发动机活塞、连杆、

轴瓦已开始应用金属基复合材料；为满足汽车轻量化要求，必将会有越来越多的新型复合材料将被应用到汽车制造业中。与此同时，随着近年来人们对环保问题的日益重视，高分子复合材料取代木材方面的应用也得到了进一步推广。例如，用植物纤维与废塑料加工而成的复合材料，在北美已被大量用做托盘和包装箱，用以替代木制产品；而可降解复合材料也成为国内外开发研究的重点。图 1-1 所示是 1986 ~ 2006 年中国、美国、日本热固性树脂基复合材料产量。

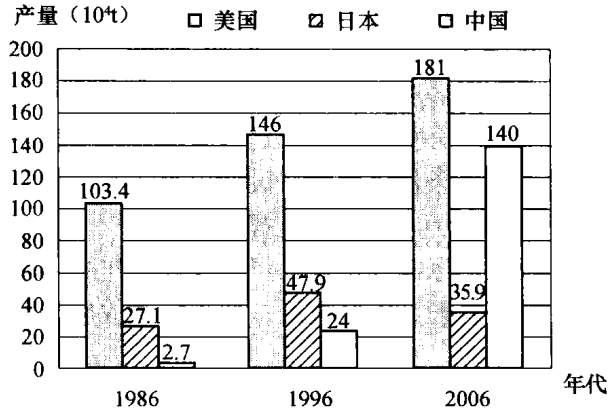


图 1-1 1986 ~ 2006 年中国、美国、日本热固性树脂基复合材料产量

神舟飞船主承力结构、低密度模塑料等 FRP (Fiber Reinforced Polymer) 荣获国家科技进步二等奖，标志着我国复合材料科学技术已达到世界先进水平。历经三十多年，我国 FRP/CM 年产量已超过日本、欧洲，显示了当今我国 FRP 行业的活力。近半个世纪以来，北京玻璃钢设计院等科研院所正是伴随着祖国航空航天事业的发展而壮大的。

从我国第一颗人造地球卫星、第一枚运载火箭、第一艘宇宙飞船到今天“神七”的成功升天，玻璃钢/复合材料在我国航空航天事业的发展历程中书写下属于自己的辉煌一页，在航天、航空、船舶、化工以及交通等领域都做出了重大贡献，并在发展中实现了稳步壮大。

1.1.1 我国复合材料发展状况

1986 ~ 2006 年，我国玻璃钢（热固性）产量增长近 51 倍，总量在 20 世纪 90 年代末期超过德国，21 世纪初超过日本，热固性玻璃钢已超过欧洲总和。我国玻璃钢总产量已经跃居世界第二，现仅次于美国（美国 2005 年热固性玻璃钢产量 186 万 t，热塑性玻璃钢产量 140 万 t）。表 1-1 为相关统计结果。

二十年来，我国 FRP/CM 行业取得了长足的发展，究其根本原因有以下三点：

第一，改革开放；

第二，国家建设发展，尤其是近十年来国家加大能源、交通、水利等基础设施的投入，开发中西部，新开工项目增多。党和国家的外交政策，促使我国玻璃钢产品逐渐迈向国际市场，包括发达国家与地区市场；

第三，不失时机地引进了一些国外先进技术，并在此基础上有所发展与创新，并对较先进的工艺与设备进行了普及。

表 1-1 1986~2006 年中国大陆 GF、UP、FRSP、FRTP、CCL 产品产量统计表 万 t

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
GF	6.7	7.1	7.5	8.3	8.7	9.69	12.08	13.4	15	16	17
UP	4	4	4	4	4.5	6	8	11	13	15	16
FRSP	2.7	3.2	6.3	8.0	9.5	11	13.3	14.5	15	15	17
FRTP	—	—	—	—	—	—	—	1.5	2.0	2.5	2.5
CCL	—	—	—	—	—	—	—	2.0	3.5	4	4

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
GF	17.5	18	20	21	27.3	36	47	65.25	95	121
UP	20	25	32	45	50	58	80	100.7	95	110
FRSP	22	25	30	48	50	54	60	114	120	140
FRTP	3	3.5	8	10	15	17	22	30	40	48
CCL	4	7	12	11	9	9	12.4	22	25	38

(1) 技术与产品开发取得的重大进步

1987 年末引进意大利纤维缠绕管道与贮罐生产技术与设备，1993 年引进玻璃钢夹砂管生产线，以此二者为契机，带动了玻璃纤维、树脂（含固化剂）等原材料的技术进步与规模化生产，继之 SMC/BMC、拉挤、RTM 等，整个行业在三十多年间风雨兼程、与时俱进，向高层次发展。

20 世纪 80 年代末期，在我国玻璃钢成型技术中，接触（手糊）成型占 85% 以上；到“十五”末期，机械成型已跃升达 60%（表 1-2）。

表 1-2 “十五”末期我国 GF/UPR 各类成型工艺产品比例 %

手糊（含喷射）	纤维缠绕	SMC/BMC	拉挤	连续板材	其他
40	30	14	9	4	3

我国（大陆）热固性玻璃钢产量 2006 年达 140 万 t，相当于现今整个欧洲的产量，超过美国 1988 年的水平（120.9 万 t）。当前我国主要玻璃钢产品市场比例如图 1-2 所示。

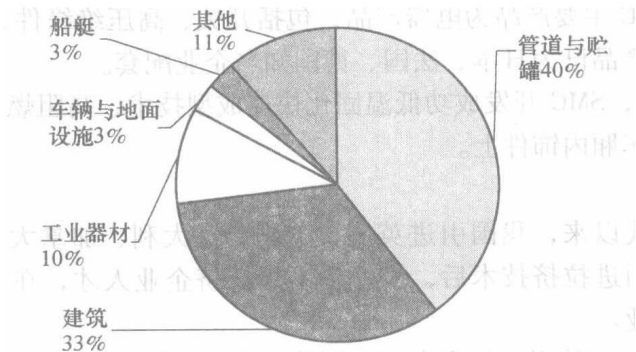


图 1-2 当前我国主要玻璃钢产品市场比例

1) 缠绕

迄今为止，我国自主开发的纤维缠绕管道制造方面的专利有 30 项，已具备 FW 工艺管、

夹砂管、高压管的全套生产技术，纤维缠绕管道与贮罐生产技术达到世界先进水平。4000mm 玻璃钢管试制成功。新疆某输水重点工程成功地采用了 3.1m 玻璃钢管，单管长 12m，重 16t，工程一次性安装通水成功无泄漏，质量受到了国家发展和改革委员会表彰。在我国众多油田及西气东输工程中，成功使用了玻璃钢高压管，而且玻璃钢管已出口到巴基斯坦、马来西亚、越南、伊拉克、俄罗斯、哈萨克斯坦、阿拉伯联合酋长国等国。

玻璃钢贮罐实际已经做到单罐 2000m³，已出口到美国、印度尼西亚、叙利亚等国。

为适应城市改造的需要，高校与企业结合，成功开发了玻璃钢顶管制造关键技术与施工技术。在广州施工内径 2.5m 的玻璃钢顶管，日顶进长度达到 69m，达到国际领先水平。

玻璃钢夹砂管在“十五”期间，年用量逾 1000km。高压环氧玻璃钢管 2006 年用量达 3000km。1996 年我国开始生产和使用玻璃钢电缆套管，现年用量逾 5000km。

我国缠绕技术及装备已出口到日本、韩国、伊朗等国及东南亚地区，部件已出口到美国。

2) 压力容器

1986 年至今，我国已生产复合材料呼吸气瓶、压缩天然气 (CNG) 气瓶、燃料电池用氢气瓶 15 万只。

1994 年我国开始开发 CNG 气瓶，并首先在北京公交车上装车使用。北京已成为世界城市中以 CNG 为动力的公共汽车拥有量最多的城市。1997 年我国自主研发的环形压力容器投入使用。2006 年我国引进德国技术装备 (内衬制造、纤维缠绕)，在苏州建立年产能力达 11 万只复合材料气瓶的生产基地。

3) SMC/BMC

1986 年从日本引进 SMC 及模压 SMC 座椅生产线，推动了我国 SMC 座椅的生产与普及。1988 年引进美国 SMC 机组压机及模具，建立了我国首个研发与生产 SMC 汽车件的基地。迄今我国已从日本、美国、德国引进 18 条 SMC 生产线，引进连续法 BMC 生产装置和 BMC 生产线。BMC 注射技术也已用于规模化生产，所用注射机近年已国产化，台商与日本亦在内地设厂生产。

SMC 主要产品为座椅、水箱、电表箱、卫星发射与接收碟形天线、汽车零部件、火车客车厢内饰件等。BMC 主要产品为电器产品，包括开关、高压绝缘件、仪表箱、塑封电机、汽车前灯反射面等，产品已为日本、法国、德国知名企业配套。

进入 21 世纪以来，SMC 开发成功低温固化快速成型技术、高阻燃 A 级表面技术，并应用于汽车件与火车客车厢内饰件上。

4) 拉挤

自 20 世纪 80 年代以来，我国引进英国、美国、意大利、加拿大等国拉挤机 30 余台。南京玻璃纤维研究院引进拉挤技术后，培养了不少拉挤企业人才，在“沪宁”一带兴建了许多拉挤型材生产企业。

2000 年以来，我国陆续引进加拿大两公司共 6 条玻璃钢门窗生产线。此前的 1992 年国内亦已开发拉挤型材组装门窗技术，可提供较先进的成套技术。由于玻璃钢门窗隔热、保温、隔声、耐老化、轻质高强、色泽典雅，被誉为第 5 代门窗。

我国现拥有国产拉挤生产线 300 余条，牵引方式有履带与液压往复式，且开发了注射和

浸渍树脂技术。1998年企业自主研发成功PU发泡共挤玻璃钢保温墙体型材，同年采用国产酚醛树脂拉挤玻璃钢格栅型材成功。

现主要拉挤产品有门窗、格栅型材、光纤增强芯、梯子、冷却塔支架、伞骨、移动通信基站天线罩、空调器罩、锚杆、建筑筋材、电缆桥架，帐篷竿、钓鱼竿、地铁第三轨保护罩等，在打击乐器、高低杠等文体器材方面亦有应用，我国产品已出口美国、东南亚地区，成套技术与设备已出口澳大利亚、南非、英国。

2006年我国拉挤型材产量逾10万t，除绝缘棒、管为环氧树脂基体外，大多为不饱和树脂基体。2006年自主研发成功在线编织玻璃纤维管、直接拉挤成型环氧玻璃钢电绝缘管。

5) 建筑应用

1997年大型玻璃纤维增强塑料冷却塔国家标准出台，促进了 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 以上玻璃钢冷却塔的发展，单塔现已发展到 $5000\text{m}^3/\text{h}$ 。20世纪90年代，我国研发了无风机冷却塔，其结构较简单、无风机噪声。不少制造商已采用拉挤玻璃钢型材作填料支架与塔支架，取代钢材，不锈蚀。现台商、港商、美商纷纷进入大陆市场，业内从业者若不注意技术进步，提升质量水平，其市场份额将会日益缩减。

1997年从日本引进SMC模压整体卫生间生产线投产。喷射成型玻璃钢浴缸、人造玛瑙浴缸、雅克力浴缸生产已规模化，且批量出口。风机、空调器、吸收塔、空气过滤器、蜂窝式除尘机已普及。从日本、意大利引进了净化槽技术。玻璃纤维增强氯氧镁水泥通风管建材行业标准在1996年发布，产品已广泛应用，无机玻璃钢板批量出口。

1999年容积 1260m^3 组合式水箱投入使用。

2000年起，碳纤维建筑结构补强在国内兴起。2004年我国自主研发的第一条现场发泡酚醛保温板连续生产线投产，并于2005年获建材科技成果二等奖。

2003年玄武岩纤维增强电厂用混凝土冷却塔与水坝取得成功。企业自主开发的SMC模压门于2003年试生产成功，受到外商青睐，已出口韩国及北美地区。2006年建筑混凝土用FRP/CM筋材通过鉴定。

2006年SMC模压瓦生产线投入运行，并通过鉴定。

6) 车辆与地面设施

近5年来，SMC、连续化玻璃纤维毡增强热塑性聚丙烯(GMT)模压汽车件和火车内饰件发展迅速，已建成规模化的专业生产企业10家。双层客车壁板、洗手间地面、酚醛玻璃钢风管等已成功应用。CNG瓶已批量装车使用，并随整车出口。2006年高阻燃、低发烟SMC通过鉴定。汽车牵引的摩托车玻璃钢拖车出口到欧美。火车铁轨连接用玻璃钢鱼尾板已投入使用。高速公路上的玻璃钢防眩板、反光标志已普及。地铁第三轨保护罩及其支座、电缆支架、紧急逃生平台等已规模化采用。

7) 波形板、平板

1987年从美国引进连续板材生产线，迄今仍是技术水平与板材质量水平最佳的。采用玻璃纤维自行切割沉降工艺，较外购毡浸胶工艺成本低，可生产透光度高的板材。2006年我国引进美国技术，新建一板材幅宽2.8m的生产线，为当时全国之最。

2006年全国年产波形板 1500万m^2 。

8) 船艇

1986年80艘气垫船开发成功，1998年研究单位与企业共同研发了33m渔船下水。

2005 ~ 2006 年克利伯环球帆船大赛 10 条比赛用帆船全部由我国企业中标，外国船东对其质量的评价是：“超越了我们所有人的期望”。

2006 年我国首艘自扶正高速救助艇试验成功。该艇全封密， 180° 倒置 2s 内自行扶正，任何姿态不下沉。图 1-3 为玻璃钢外壳近海救助艇。



图 1-3 玻璃钢外壳近海救助艇

我国已有能力制造出质量非常好的船舶，但在内部设计和内部装饰等方面显得落后。玻璃钢艇制造已有采用真空浸渍与后固化技术，将玻璃纤维与碳纤维、芳纶混织作为增强材料，乙烯基酯树脂作基体，PVC 泡沫、巴沙木、PP 蜂窝增加刚度，提高了船艇的品质。

9) 可再生能源方面的应用

1986 年我国风力发电机叶片自行开发的技术水平是为 30kW 发电机配套的长 5.6m 叶片，为 200kW 配套的长 15m 叶片。2004 年我国自行研发成功 1MW (1000kW) 风机用叶片已装机运行。2006 年自主开发 1.2MW 风机叶片成功。2006 年上半年引进德国技术，制造成功 1.5MW 风机叶片，单片长 37.5m、重 5.7t，如图 1-4 所示。



图 1-4 风力发电机组

同为发展中国家，印度风能发电机装机容量为我国 3 倍多，我们应奋起直追。

2006 年我国 1.5MW 风机叶片生产企业已逾 12 家。沼气发电在四川、云南、安徽发展较快，采用有机、无机玻璃钢复合与加入填料，降低了成本。太阳能玻璃钢沼气罐 2006 年通过鉴定。

10) 烟气脱硫

我国二氧化硫排量现居全球首位，烟气脱硫是国家环保的战略措施，1996年我国与美国公司合作，制作整套烟气脱硫装置。玻璃钢件有除雾器、喷淋管、塔壁冲洗管、过滤装置、氧化曝气装置、浆液管道、塔化浆液污水处理装置等。

2006年春，北京高碑店电厂烟塔合一除硫系统中，烟气管道采用 ECR 纤维增强乙烯基酯树脂制作的玻璃钢管，直径达 7m，以立式缠绕机与卧式缠绕机现场制造，质量得到好评。

11) 热塑性玻璃钢 (FRTP)

FRTP 冲击韧性好，生产属物理过程，无污染，较易回收利用，是 FRP 的发展方向。1992 年玻璃纤维增强聚丙烯管挤出成型、管件注射成型技术研发成功，产品耐化学腐蚀性优于 FRSP。

2003 年开发了 PP/GF 混编的缝编织物，用于压制 FRTP 滑板。长纤维增强热塑性塑料——粒料 (LFT-G) 生产线近两年已增至 11 条。直接法 (LFT-D) 生产线台商已在长春建成，为一汽配套。

2006 年我国自主研发的年产 5000t GMT 生产线，已于 2007 年下半年在江苏江阴投入运行。

泰山玻纤公司开发玻纤/热塑性树脂复合纱 (国家“863”项目) 及其复合材料制品的生产工艺已取得突破性进展。目前，我国 FRTP 注射法占 90%，按玻璃纤维含量 25% 计算，2006 年中国大陆 FRTP 产量为 48 万 t，同比为美国的 1/3。

12) 材料的循环利用与环境保护

玻璃钢废料处理回收技术于 1995 年研发成功。将废料机械粉碎作填料，加入树脂，已生产出大理石、连续板材、火车卫生间地面等制品，既化废为宝、化害为利，又大大降低了产品的成本。火车卫生间地面用废料回收法制作较传统方法更能达到质量要求，不失为一个创新。

2002 年召开了全国玻璃钢行业可持续发展现场交流会。低苯乙烯挥发量不饱和聚酯树脂也开发成功，但因价格稍高，未能大面积推广。

(2) 未来行业发展的指导思想与目标

立足自主创新，吸收国内外相关先进技术，开发适应国内外市场，首先是国内支柱产业，能源、交通、资源、信息、建筑等领域需求的新材料、新工艺、新设备、新产品，全面提升我国 FRP 行业水平。重视环境保护，发展循环经济。致力开发国内外两个市场，推进行业信息化建设，提高经济效益，促进行业向高层次健康发展。努力形成以骨干企业为指导，大、中、小企业兴旺发达的局面。依靠技术进步，促使行业向高层次发展。培养自主创新意识，缩短新产品开发周期，提高产品质量与附加值，提高社会效益和经济效益。

“十一五”行业发展的具体目标：

①“十一五”末期热固性复合材料 (FRSP) 年产量达 140 万 t，相当于美国 1995 年水平。

②将 FRTP 产品比例提高到 25%，完善 GMT 生产线，长纤维增强热塑性塑料 (LFT) 实用化。

③FRSP 机械化成型比例提高到 70%，优于英国水平。SMC、BMC 模压与注射工艺产品占 FRSP 年产量的 15%。

- ④ 重点开发可再生能源、环保方面的玻璃钢制品。
- ⑤ 建立高性能复合材料气瓶生产基地。
- ⑥ 开发发泡拉挤、在线编织拉挤、高黏度树脂浸渍技术。
- ⑦ 建成玻璃纤维预浸料生产线，开发相关产品。
- ⑧ 完善原辅材料、工艺装备（含模具）的配套，纤维缠绕设备达到国际先进水平。
- ⑨ 加强玻璃钢生产中污染防治及提高材料的循环利用水平。
- ⑩ 面向国内外两个市场，提高原材料、工艺装备、FRP 制品的技术含量及附加值水平。

1.1.2 树脂基复合材料的原辅材料

树脂基复合材料采用的增强材料主要有玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、超高分子量聚乙烯纤维等。

(1) 玻璃纤维

20 世纪 80 年代我国大陆还是玻璃球坩埚拉丝，能耗高、产量低、质量均匀性差，不能生产高 Tex（指一定长度纱的重量，一般是指 1000m 纤维的质量，单位 g/1000m）的直接无捻粗纱，薄毡、短切毡均无，方格布手糊玻璃钢几乎一统天下。1997 年建立了我国第一个玻璃纤维拉丝池窑。迄今我国在线池窑共 53 座，年产能逾 128 万 t。2006 年产量为 1986 年的 18 倍。世界上最大的无碱玻璃纤维池窑（10 万 t/a）与中碱玻璃纤维池窑（4 万 t/a）已于 2006 年投产。ECR（耐酸、高强度、高电阻无碱玻璃纤维）于 2005 年在重庆问世。

除传统的中碱、无碱、高强、高模、高硅氧、耐碱玻璃纤维外，还开发了 D（低介电）玻璃纤维、镀金属玻璃纤维。

SMC/BMC、连续板材、FW、拉挤、增强热塑性塑料、纺织多种用途的直接/合股无捻粗纱、短切纱、缝编毡、短切原丝毡、连续毡、多轴向织物及电子纱、电子布等品种已能满足市场需求。电子布产能已跃居世界之首，单层和多层 3D 立体织物芯材已自主研发成功。全球现有多轴向经编机约 200 台，中国占 1/5。2006 年我国连续玻璃纤维产量达 121 万 t，相当于美国 2004 年（120.66 万 t）水平。

目前，用于高性能复合材料的玻璃纤维主要有高强度玻璃纤维、石英玻璃纤维和高硅氧玻璃纤维等。由于高强度玻璃纤维性价比较高，因此增长率也比较快，年增长率达到 10% 以上。高强度玻璃纤维复合材料不仅应用在军用方面（如防弹头盔、防弹服、直升飞机机翼、预警机雷达罩），近年来在民用产品方面也有广泛应用（如各种高压压力容器、民用飞机直板、体育用品、各类耐高温制品以及性能优异的轮胎帘子线等）。石英玻璃纤维及高硅氧玻璃纤维属于耐高温的玻璃纤维，是比较理想的耐热防火材料，用其增强酚醛树脂可制成各种结构的耐高温、耐烧蚀的复合材料部件，大量应用于火箭、导弹的隔热材料。

(2) 碳纤维

碳纤维具有强度高、模量高、耐高温、导电等一系列性能，首先在航空航天领域得到广泛应用，近年来在运动器具和体育用品方面也广泛采用。据预测，土木建筑、交通运输、汽车、能源等领域将会大规模采用工业级碳纤维。目前，我国年 CF 用量已占全球 1/5。国产碳纤维的主要问题是性能不太稳定，且离散系数大、无高性能碳纤维、品种单一、规格不