

玻璃钢简明技术手册

中国玻璃钢工业协会 编



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

玻璃钢简明技术手册/中国玻璃钢工业协会编.
—北京: 化学工业出版社, 2004. 3
ISBN 7-5025-5312-6

I. 玻… II. 中… III. 玻璃钢-技术手册
IV. TQ327. 1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 020464 号

玻璃钢简明技术手册

中国玻璃钢工业协会 编

责任编辑: 龚浏澄 王苏平

责任校对: 顾淑云 战河红

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850mm×1168mm1/32 印张 6 字数 104 千字

2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5312-6/TQ·1948

定 价: 16.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

我国从 1975 年起，开始有关于玻璃钢的产量统计。当时发表的是热固性玻璃钢（FRSP）的产量 3481t。2003 年我国（大陆）FRSP 产量逾 60 万吨，28 年间增长到 172 倍。加上热塑性玻璃钢（FRTP）、覆铜板（CCL），我国 2003 年玻璃钢/复合材料的产量达 94.4 万吨，相当于美国 1984 年的产量水平。

然而行业的情况并不那么乐观。尽管玻璃钢的年产量已仅次于美国而居世界第二位，但科技水平、新产品开发能力、产品质量及其附加值与先进国家相比仍有相当大的差距。有感于此，我协会在 1986 年、1998 年曾先后编译出版《玻璃钢手册》、《FRP 袖珍手册》，出版后颇受欢迎，一再加印。

当今复合材料科学与产业发展日新月异，而有关出版物介绍的 FRP 成型工艺一般仅 7~8 种，或语焉不详，或不得要领。我们不揣浅陋，尽可能搜集了国内外实用的新技术资料，仅成型工艺即达 19 种；对工厂常用的生产工艺，还

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbo.com

列出了产品质量缺陷原因与解决办法，并介绍了成本计算实例，供业者实践中参考。

倘若本书能对玻璃钢业界的朋友们，尤其是对广大生产企业能有所帮助，就达到出版此书的目的了。

囿于水平与时间，不足之处乃至谬误谅必难免，敬望同仁方家不吝指正为幸。

中国玻璃钢工业协会
2004 年春于京西三里河

目 录

1	复合材料基本概念与分类	1
2	玻璃纤维增强塑料的特性	3
2.1	设计与制造上的四大特点	3
2.2	性能特点	3
2.2.1	优点	3
2.2.2	缺点	14
3	国内外发展概况	16
3.1	玻璃钢溯源与国外发展沿革	16
3.2	我国玻璃钢工业发展历程	19
3.3	我国玻璃钢行业的特点	21
3.4	我国玻璃钢行业现状及其与国际水 平的比较	24
3.4.1	企业情况	24
3.4.2	历年玻璃钢及其主要原 材料产量	25
3.4.3	原辅材料	26
3.4.4	生产工艺与技术装备	28
4	玻璃纤维增强复合材料的主要成分与 功能	30

4.1	玻璃纤维的主要功能	30
4.2	基体材料的主要功能	30
5	玻璃纤维增强复合材料承受荷载简析	33
5.1	拉伸	33
5.2	压缩	34
5.3	剪切	34
5.4	弯曲	35
6	树脂系统	36
6.1	树脂的特性要求	36
6.1.1	树脂系统的力学性能	36
6.1.2	树脂系统的粘结性能	38
6.1.3	树脂系统的韧性	38
6.1.4	树脂的耐候性	38
6.1.5	树脂的耐热性	39
6.1.6	树脂的耐燃性	39
6.1.7	树脂的耐化学腐蚀性	39
6.1.8	树脂满足复合材料制造工艺的要求	40
6.2	树脂类型	40
6.2.1	热塑性树脂	41
6.2.2	热固性树脂	48
6.2.3	作为复合材料基体材料的热固性树脂与热塑性树脂的特性比较	52
7	玻璃纤维增强塑料制品成型方法	54
7.1	玻璃钢制品成型三要素	54
7.2	树脂基复合材料成型工艺分类	56
7.2.1	对模成型	57

7.2.2	接触成型	60
7.2.3	其他重要的成型方法	60
7.3	成型工艺选择	60
7.4	常用玻璃钢成型工艺简介	65
7.4.1	手糊成型	65
7.4.2	喷射成型	76
7.4.3	树脂传递成型	85
7.4.4	纤维缠绕成型	93
7.4.5	SMC成型	100
7.4.6	BMC成型	111
7.4.7	拉挤成型	121
7.4.8	连续板材成型	129
7.4.9	RIM	131
7.4.10	真空袋法成型	133
7.4.11	离心成型	135
7.4.12	树脂膜熔浸成型	136
7.4.13	预浸料(高压釜)成型	138
7.4.14	低温固化预浸料成型	141
7.4.15	SCRIMP, RIFT, VARTM	142
7.4.16	GMT 冲压	144
7.4.17	TWINTEx 直接复合材料成型	148
7.4.18	热塑性塑料复合注射成型	150
7.4.19	长纤维增强热塑性塑料挤出-模压成型	151
7.4.20	真空辅助树脂注射法(VARI法)	153
7.4.21	冷模压成型法	155
7.4.22	FRTP 成型法	158

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbo.com

7.4.23	人造大理石成型法	162
7.4.24	其他成型方法	171
附录 1	玻璃钢的用途	173
附录 2	复合材料相关主要缩略语说明	175
参考文献	181

1

复合材料基本概念与分类

复合材料至少由两种以上成分复合而成。这些成分共同起作用，使复合材料的特性与组分迥异。

大部分复合材料系由基体材料与增强材料组成。基体构成复合材料连续相，增强材料通常呈纤维态分散于基体当中，提高基体的强度和刚度。

当今最通常的人造复合材料可分为三大类。

- 聚合物基复合材料 (PMC)：采用聚合物为基体，玻璃纤维、碳纤维、芳纶等为增强材料。本章讨论的 GRP 即属此类。

- 金属基复合材料 (MMC)：以金属（如铝）为基体，以纤维（如碳化硅纤维）增强（汽车上已有应用）。

- 陶瓷基复合材料 (CMC)：以陶瓷为基体，以短纤维或晶须（如碳化硅和碳化硼纤维或晶须）增强。

以上三种复合材料中，以 PMC 用量为最大，其中 GRP 用量占 90% 以上。

玻璃纤维增强复合材料 (glass fiber reinforced composites) 是当今用量最大的复合材料, 其中以玻璃纤维增强塑料 (GRP-glass fiber reinforced plastics) 为主, 在我国俗称玻璃钢。

2

玻璃纤维增强塑料的特性

2.1 设计与制造上的四大特点

- (1) 材料性能指标的自由设计性；
- (2) 产品型体设计的自由性；
- (3) 材料与结构的一致性；
- (4) 原辅材料选择与成型工艺选择的多样性。

2.2 性能特点

2.2.1 优点

- (1) 比强度高

玻璃纤维增强塑料的比强度高，而比模量则不一定高于金属。

$$\text{比强度} = \frac{\text{强度}}{\text{密度}} \quad (\text{cm})$$

$$\text{比模量} = \frac{\text{弹性模量}}{\text{密度}} \quad (\text{cm})$$

欲提高比模量，可采用高模量玻璃纤维，乃至采用碳纤维或芳纶纤维增强。

表 2-1 为几种常用材料与复合材料的比强度和比模量，表 2-2 为玻璃纤维复合材料与其他材料性能比较。

表 2-1 几种常用材料与复合材料的比强度和比模量

材料名称	密度 /(g/cm ³)	拉伸强度 /×10 ⁴ MPa	弹性模量 /×10 ⁶ MPa	比强度 /×10 ⁶ cm	比模量 /×10 ⁹ cm
钢	7.8	10.10	20.59	0.13	0.27
铝	2.8	4.61	7.35	0.17	0.26
钛	4.5	9.41	11.18	0.21	0.25
玻璃钢	2.0	10.40	3.92	0.53	0.21
Ⅱ 碳纤维/环氧树脂	1.45	14.71	13.73		0.21
Ⅰ 碳纤维/环氧树脂	1.6	10.49	23.54		1.5
芳纶纤维/环氧树脂	1.4	13.73	7.85		0.57
硼纤维/环氧树脂	2.1	13.53	20.59		1.0
硼纤维/铝	2.65	9.81	19.61		0.75

(2) 耐疲劳性能好

疲劳破坏是指材料在交变载荷作用下，由于材料微观

裂纹的形成与扩展而造成的低应力破坏。金属材料的疲劳破坏是由里向外突然发展的，往往事先无征兆；而纤维复合材料中，纤维与基体的界面能阻止裂纹扩展，其疲劳总是从材料的薄弱环节开始，逐渐扩展，破坏前有明显的征兆。纤维增强复合材料的抗声振疲劳性能亦佳。

(3) 减振性好

复合材料中的纤维与树脂基体界面有吸振能力，故其振动阻尼甚高，可避免因振而致的破坏。曾对形状、尺寸相同的轻金属合金及碳纤维复合材料所制的悬臂梁做过振动试验，前者需 $9s$ 才能停止振动，后者仅需 $2.5s$ 。

(4) 破损安全性好

纤维复合材料基体中有大量独立的纤维，每平方厘米上的纤维少则几千根，多至上万根。从力学观点上看，是典型的静不定体系。当构件超载并有少量纤维断裂时，载荷会迅速重新分配在未破坏的纤维上。这样，在短期内不致于使整个构件丧失承载能力。

(5) 耐化学腐蚀

常见的热固性玻璃钢一般都耐稀酸、稀碱、盐、有机溶剂、海水，并耐湿。热塑性玻璃钢耐化学腐蚀性一般较热固性为佳。一般而言，耐化学腐蚀性主要决定于基体。玻璃纤维不耐氢氟酸等氟化物。生产适应氢氟酸等氟化物的复合材料产品时，接触氟化物表面的增强材料不能用玻璃纤维，可采用饱和聚酯或丙纶纤维（薄毡），基体亦需

表 2-2 玻璃纤维复合材

性 能		玻 璃 纤 维 含 量	相 对 密 度	拉 伸 强 度	拉 伸 模 量	伸 长 率	弯 曲 强 度	弯 曲 模 量
单 位		% (质量)		MPa	GPa	%	MPa	GPa
ASTM 试验方法			D792	D638	D638	D638	D790	D790
玻 璃 纤 维 增 强 热 固 性 树 脂	聚酯预成型 一般用途	25	1.55	93.1	12.41	2.5	186.2	7.58
	型 材	24	1.74	79.3	11.72	2.5	196.5	9.10
	高 玻 璃 纤 维 含 量	40	1.70	148.2	15.51	2.5	265.5	10.34
	聚 酯 SMC							
	低 压 (模 压)	30	1.85	82.7	11.72	<1.0	179.3	11.03
	一 般 用 途	22	1.78	51.7	11.72	0.4	124.1	9.65
	高 玻 璃 纤 维 含 量	50	2.00	158.6	15.65	1.7	310.3	13.79
	聚 酯 BMC							
	模 压	22	1.82	41.4	12.07	<0.5	88.3	10.89
	注 射	22	1.82	33.8	10.55	<0.5	87.6	9.93
	聚 酯 (拉 挤)	55	1.69	206.9	17.24		206.9	11.03
	聚 酯 (喷 射, 手 糊)	30	1.37	86.2	6.895	1.3	193.1	5.17
	聚 酯 方 格 布 (手 糊)	50	1.64	255.1	15.51	1.6	317.2	15.51

料与其他材料性能比较

压缩强度	悬臂梁冲击强度	硬度	燃烧性	比热容	热胀系数	热变形温度	热导率	介电强度	吸水率	模塑收缩率
MPa	J/m	洛氏硬度		J/(kg·K)	$\times 10^{-6}$ K ⁻¹	°C (1.82 MPa)	W/(m·K)	$\times 10^6$ V/m	% (24h)	cm/cm
D695	D256	D785	UL-94		D696	D648	C177	D149	D570	D955
172.4	954		①	698	14.0	177	1.4	15.7	0.25	0.002
137.9	1102.4		①	698	14.0	204	1.2	15.7	0.8	0.000
220.6	1219		①	698	14.0	204	1.4	15.7	0.4	0.001
165.5	848		①	698	14.0	204	1.2	15.7	0.8	0.000
158.6	434.6		①	698	14.0	204	1.4	15.7	0.2	0.001
220.6	1028.2		①	698	14.0	204	1.4	15.7	0.2	0.001
137.9	227.9		①	698	12.0	260	1.4	14.8	0.5	0.001
	153.7		①	698	12.0	260	1.4	14.8	0.5	0.001
206.9	1325		①	651	12.0		1.4	7.87	0.5	
151.7	742		①	721	15.0	204	1.44	9.84	0.5	0.003
186.2	1749				8.0	204		13.8	0.5	0.002

性 能		玻 璃 纤 维 含 量	相 对 密 度	拉 伸 强 度	拉 伸 模 量	伸 长 率	弯 曲 强 度	弯 曲 模 量
单 位		% (质量)		MPa	GPa	%	MPa	GPa
ASTM 试验方法			D792	D638	D638	D638	D790	D790
玻 璃 纤 维 增 强 热 固 性 树 脂	环 氧 (纤 维 缠 绕)	80	2.08	551.6	27.58	1.6	689.5	34.48
	聚 氨 酯, 磨 碎 纤 维 (增 强 反 应 注 射 成 型)	13	1.07	19.3		140.0		0.34
	玻 璃 鳞 片 (增 强 反 应 注 射 成 型)	23	1.17	30.3		38.9		1.034
玻 璃 纤 维 增 强 塑 料	丙 烯 腈-丁 二 烯-苯 乙 烯 共 聚 物	20	1.22	75.8	6.21	2.0	106.9	6.0
	聚 甲 醛	25	1.61	127.6	8.62	3.0	193.1	7.58
	尼 龙 6	30	1.37	158.6	7.24	3.0	199.9	8.27
	尼 龙 66	30	1.48	179.3	8.27	1.9	241.3	8.96
	聚 碳 酸 酯	10	1.26	82.7	5.17	9.0	110.3	4.14
	聚 对 苯 二 甲 酸 丁 二 醇 酯	30	1.52	131.0	8.27	4.0	193.1	9.65
	聚 对 苯 二 甲 酸 乙 二 醇 酯	30	1.56	144.8	8.96	6.6	220.6	9.79

续表

压缩强度	悬臂梁冲击强度	硬度	燃烧性	比热容	热胀系数	热变形温度	热导率	介电强度	吸水率	模塑收缩率
MPa	J/m	洛氏硬度		J/(kg·K)	$\times 10^{-6}$ K ⁻¹	°C (1.82 MPa)	W/(m·K)	$\times 10^6$ V/m	% (24h)	cm/cm
D695	D256	D785	UL-94		D696	D648	C177	D149	D570	D955
310.3	2385		V-0	535	4.0	204	1.85	11.8	0.50	0.008
			V-0							
	111.3		V-0							
96.5	74.2		HB		21.0	104	1.3	18.3	0.14	0.002
117.2	95.4		HB		47.0	162		22.8	0.29	0.004
165.5	121.9		HB		17.0	215	5.6~11.0	19.7	1.10	0.004
182.7	106		HB	698	13.0	249	1.4	15.7	0.90	0.002
96.5	196.1		V-1	675	18.0	149	4.4	19.7	0.14	0.001
124.1	95.4		HB	256	12.0	221	6.7	14.8	0.06	0.003
172.4	95.4		HB		17.0	216	6.2	20.5	0.05	0.003