

图书在版编目 (CIP) 数据

玻璃钢机械加工/穆惠民, 袁海荣, 穆泽华编著. —北京:  
化学工业出版社, 2006.9  
ISBN 7-5025-9282-2

I. 玻… II. ①穆…②袁…③穆… III. 玻璃钢-机械加工  
IV. TQ327.106.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 113423 号

---

玻璃钢机械加工

穆惠民 袁海荣 穆泽华 编著

责任编辑: 常 青

文字编辑: 王 琪

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 张 辉

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

\*

新华书店北京发行所经销

北京市振南印刷有限责任公司印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 7 $\frac{3}{4}$  字数 219 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9282-2

定 价: 18.00 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

玻璃钢（玻璃纤维增强塑料）是近代发展起来的一种新型复合材料。我国玻璃钢工业发展开始于1958年，当时主要为国防军工领域的配套应用开展研制工作，研制成功的玻璃钢产品和部件应用到我国国防尖端技术领域，并做出了巨大贡献。20世纪70年代之后，我国玻璃钢工业真正发展壮大起来，并形成了新的工业体系，规模越来越大，生产能力越来越强，新产品、新技术不断地被研制出来并相继投产，其应用不断扩大，不仅仅是国防军工领域，民用常规材料领域也有新的突破，目前已发展到石油化工、建筑、交通运输、机械、电气、环保、农业、轻工及体育、文娱等方面。近年来，我国的玻璃钢年增长速度不断提高，产品品种、规格不断增加。据2004年统计，我国玻璃钢企业有4000余家。不过从总体水平看，我国玻璃钢工业与发达国家相比尚有很大差距，如制品品种较少，企业规模偏小。

我国玻璃钢材料一般制品在成型之后，都需要不同程度的机械加工，根据玻璃钢制品形状复杂程度和连接件多少不同，加工程度不同。它的机械加工工艺方法和金属材料基本一样，主要有车、铣、刨、磨（锯）、钻、铆、铰等，但不能焊接，一般采用粘接的方法来实现。由于玻璃钢内部组织结构和金属不同，所以其机械加工比金属材料更复杂特殊，有着较大差别，面临着各种各样的技术问题。玻璃钢为热绝缘体且硬而脆，难以切削加工，特别是热导率小，在切削加工中产生很高的切削热，导致切削加工表面软化（老化）或烧蚀、变形，刀刃严重磨损，加工表面质量易受破坏，出现劈裂、分层、起毛等缺陷。因此，玻璃钢机械加工可以说是一种特殊的机械加工、特殊的工艺方法。

本书系统地阐述了玻璃钢的基本加工种类、性能特点及加工方法，介绍和分析了切削加工机床、刀具及切削加工技术，论述了切削加工理论和基本要素对切削加工的影响，并探索了比较可靠的先

进刀具和先进的加工技术——车刀及车削、铣刀及铣削、砂轮及锯（磨）削、刨刀及刨削、钻头及钻削、铰刀及铰削、螺纹加工等。另外，书中对粉尘污染防治也做了介绍，提出了较好的方法。

随着玻璃钢工业的发展和成型工艺不断改进与提高，特别是玻璃钢产品应用领域的不断扩展，玻璃钢产品的机械加工会更加受到重视，其作用更加明显。希望本书能帮助相关从业人员全面了解和掌握玻璃钢机械加工的种类、刀具及加工特性，并提高技术水平和操作能力，适应玻璃钢工业的发展要求。

本书在编写过程中，得到了何汝宁、穆泽坤、庄严和张泽同志的热情帮助，在此一并致谢。由于编著者水平有限，难免有不足之处，敬请广大读者批评指正。

编著者

2006年6月

# 目 录

第一章 概述	1
第一节 常用玻璃钢材料	1
第二节 玻璃钢的特性	3
一、密度	4
二、导热性能	4
三、耐热性能	4
四、电绝缘性能	4
五、耐腐蚀性能	4
六、成型加工性能	4
第二章 玻璃钢的切削加工	9
第一节 玻璃钢的切削加工性	9
一、各类玻璃钢的切削加工性概述	9
二、影响切削加工的因素	12
三、防范措施	16
第二节 玻璃钢的切削过程	18
一、切削过程	18
二、切削力	19
三、影响切削力的因素	21
四、切削时的摩擦	25
五、切削热和切削温度	26
第三节 玻璃钢切削对机床与刀具的要求	32
一、对机床的要求	32
二、切削加工刀具	34
三、切削刀具的几何参数	41
第四节 玻璃钢切削刀具的磨损	47
一、刀具的磨损特点及注意事项	48

二、切削加工刀具磨损原因 .....	49
三、影响刀具耐用度的因素 .....	50
第五节 玻璃钢切削加工冷却润滑剂及其选择 .....	53
一、空气冷却润滑作用 .....	53
二、切削加工冷却剂 .....	54
三、冷却液的选择 .....	55
四、切削加工冷却方法 .....	57
第六节 玻璃钢零件加工表面质量及影响因素 .....	58
一、零件加工表面粗糙度及其影响因素 .....	59
二、切削及圆弧半径 .....	64
三、表面粗糙度切削加工试验 .....	66
四、降低表面粗糙度的方法 .....	71
五、切削加工表面特征及粗糙度等级评定 .....	74
六、切削加工表面老化试验 .....	79
第七节 玻璃钢切削用量及选择 .....	82
一、切削速度影响因素及选择 .....	83
二、切削深度的选择 .....	86
三、走刀量大小的选择 .....	87
第三章 玻璃钢的车削加工 .....	88
第一节 车削刀具 .....	88
一、车刀的组成 .....	88
二、车刀刀头材料 .....	88
三、车刀的几何角度 .....	89
四、常用的几种车刀 .....	91
五、切断刀和切槽刀 .....	96
第二节 切削用量 .....	98
第三节 切削用量选择的合理性 .....	99
第四节 车削加工特点 .....	101
一、车削加工外圆时的特点 .....	101
二、车内孔的特点 .....	102
三、车削试验与粗糙度值 .....	103

四、玻璃钢车削实例·····	105
第四章 玻璃钢的螺纹加工·····	112
第一节 螺纹切削加工·····	112
一、玻璃钢螺纹的车削存在的问题·····	113
二、实例·····	118
第二节 螺纹的攻制·····	120
一、玻璃钢螺纹丝锥·····	120
二、攻螺纹出现的主要问题·····	126
三、操作注意事项·····	126
四、圆板牙套扣·····	127
第三节 螺纹模压成型·····	127
第五章 玻璃钢的锯（磨）削加工·····	129
第一节 锯（磨）削加工时存在的问题·····	129
第二节 砂轮的选择·····	130
一、磨料的选择·····	130
二、粒度的选择·····	131
三、砂轮结合剂的选择·····	132
四、砂轮硬度的选择·····	133
五、砂轮组织的选择·····	134
六、砂轮形状的选择·····	134
第三节 锯（磨）削过程和方法的选择·····	135
第四节 锯（磨）削加工切削用量的选择·····	136
第五节 锯（磨）削热及其冷却·····	138
一、锯（磨）削热·····	138
二、冷却液的选择及方法·····	138
第六节 影响锯（磨）削加工表面质量的因素·····	139
第七节 锯（磨）削加工实例·····	141
第八节 锯（磨）削加工装卡应注意的问题·····	144
第六章 玻璃钢的铣削加工·····	147
第一节 铣削加工特点·····	147
第二节 铣刀及铣削·····	148

一、铣刀切削部分的材料·····	148
二、铣刀切削部分的几何形状选择·····	148
三、顺铣和逆铣·····	155
四、不对称铣削·····	156
五、玻璃钢铣削时的均匀性·····	157
六、铣削磨损量与铣削速度的关系·····	157
七、切削用量·····	158
八、铣削方向和工件安装位置·····	159
九、高速铣削的可能性和危害性·····	161
十、铣削加工注意事项·····	163
第三节  铣削加工实例·····	163
第四节  铣刀的磨损·····	167
第七章  玻璃钢的钻削加工·····	169
第一节  玻璃钢钻削加工中的问题·····	169
一、被加工材料方面存在的问题·····	169
二、标准麻花钻存在的问题与改进·····	170
三、钻削中的一些基本要素的分析·····	171
第二节  标准高速钢麻花钻头的组成及几何参数·····	175
一、标准麻花钻头的组成·····	175
二、玻璃钢专用麻花钻头·····	180
第三节  玻璃钢的钻削加工·····	183
一、玻璃钢专用麻花钻头的选择·····	183
二、钻削玻璃钢切削用量·····	188
三、玻璃钢钻削操作方法及注意事项·····	191
四、玻璃钢钻削加工孔径收缩问题·····	192
五、钻削实例·····	193
第四节  标准麻花钻头的刃磨和专用麻花钻头的设计 制造·····	195
一、标准麻花钻头几何角度的刃磨·····	195
二、专用麻花钻头的设计和制造·····	197
三、玻璃钢专用钻头的制造·····	199

第五节	玻璃钢材料对钻削加工的影响	201
第八章	玻璃钢的其他加工	202
第一节	玻璃钢的刨削和插削加工	202
一、	刨削刀具	202
二、	刨削用量的选择	207
三、	影响加工表面粗糙度的主要因素	208
四、	刨削时的热量	209
五、	玻璃钢刨削加工注意事项	210
第二节	玻璃钢孔的铰削加工	211
一、	玻璃钢孔用铰刀材料	211
二、	铰刀结构和刀刃几何形状	212
三、	铰削用量和铰刀磨损	217
四、	铰孔注意事项	218
第九章	玻璃钢机械加工质量检验	220
第一节	玻璃钢机械加工质量检验	220
第二节	玻璃钢零部件检验	222
一、	最容易产生的误差	222
二、	避免和减小误差的方法	222
第三节	X射线照相法及超声波探伤法	224
一、	X射线照相法	224
二、	超声波探伤法	224
第十章	玻璃钢机械加工粉尘污染及防护	225
第一节	玻璃钢粉尘及其性质	225
一、	玻璃钢粉尘组成	225
二、	粉尘的密度、形状	226
第二节	玻璃钢粉尘的形成及运动特性	227
第三节	玻璃钢除尘方法及除尘剂的选择	228
一、	粗加工中除尘方法	228
二、	精加工中除尘方法	228
三、	喷雾除尘	229
四、	玻璃钢切削加工除尘剂	229

第四节	机床的密闭	229
第五节	除尘设备及效果	230
第六节	玻璃钢机械加工劳动保护与粉尘污染防治	233
一、	原材料的毒性及病态反应	233
二、	劳动保护	233
三、	玻璃钢机械加工粉尘污染防治动向	233
参考文献		235

# 第一章 概 述

## 第一节 常用玻璃钢材料

玻璃钢实际上是玻璃纤维增强塑料。它是以玻璃纤维及其制品为增强材料，合成树脂为黏合剂，经过特定的成型工艺制作而成。增强材料除了玻璃纤维外，还有高硅氧纤维、碳纤维、硼纤维、芳纶、碳化硅纤维等。玻璃钢集中了玻璃纤维和合成树脂的优点，它是一种新型复合材料。由于玻璃钢复合材料占复合材料总量的90%以上，是当今用量最大的复合材料，故在我国仍称之为玻璃钢。

我国从1958年才开始生产玻璃钢，从成型工艺上看，到目前为止，有70%的玻璃钢是以手糊成型为主，但通过引进国外先进技术，如大型自控缠绕机、连续波板生产机组、拉挤成型机组等，大大缩短了与国外的差距，各项生产技术有了很大提高。玻璃钢从成型工艺上分，主要有如下几种。

① 手糊玻璃钢，手糊成型是以手工操作制作玻璃钢的方法，它是先在模具上涂一层脱脂剂，然后将树脂混合料涂在模具上，再铺上裁好的玻璃纤维或其织物，通过加压排出气泡后再涂树脂混合料、铺放第二层增强材料，这种铺层反复进行，直到达到设计要求为止，并通过固化、脱模，最后生产出玻璃钢。

② 压制玻璃钢，包括层压、预成型对模、预混料等玻璃钢。压制玻璃钢是将压制的材料放入模具中，通过一定的温度和压力固化成型后得到的材料。

③ 卷管玻璃钢，卷制成型是制作玻璃钢的重要方法，它是在卷管机上卷制而成的。

④ 缠绕玻璃钢，是将连续的玻璃纤维粗纱或布带浸渍树脂后通过一定缠绕工艺，固化后得到玻璃钢的。

⑤ 模压玻璃钢，是将模压材料放入金属模具中，通过一定工艺而制得的。

⑥ 挤出成型玻璃钢，是用螺旋挤出机将模塑料连续挤出而得到制品的。

⑦ 注射成型玻璃钢，是将热固性和热塑性模塑料加热软化后注射到预先合模的金属模具中得到制品的。

⑧ 拉挤成型玻璃钢，是将浸渍过树脂胶液的连续玻璃纤维束或布带，通过一定的特殊工艺，在牵引力的作用下，连续成型无限长的玻璃钢型材的。

⑨ 连续波板玻璃钢，注射模塑玻璃钢等。

⑩ 喷射法是利用喷射机完成切断纤维和树脂喷射任务而制成制品。

⑪ 其他成型法，如回转成型法、离心成型法等。

常用玻璃钢的原料见表 1-1。

玻璃钢主要应用在国防、航空、航天以及工业建设中，已成为军工、民用领域中不可缺少的材料。如层压玻璃钢材料，不仅可以大量用于电绝缘材料，而且经过机械加工后可做成多种特殊形状的制品或部件。

玻璃钢材料的规格，一般情况下，层压板材的厚度为几毫米到 200mm 以上，面积能达到  $3\text{m}^2$  以上；卷管内径能达到 30~4000mm，长度为 12000mm 以上，壁厚为 1~10mm。缠制管的长度为 3500mm，一般为 2000mm 以内，管内径为 30~150mm，壁厚 2~6mm；有时可缠制成型直径为 1000mm 以上，壁厚为 15mm 以上，甚至无限长，然后可根据制品尺寸要求锯断；模压制品的规格一般由模具的形状、尺寸、精度决定，可以模压成形状复杂、尺寸准确的零部件。但是由于设计制造模具较复杂，所以，模具成型的制品规格大小均受到了限制。其他玻璃钢成型如手糊，其规格尺寸均无一定大小，一般不受制品形状、尺寸的限制，有些单位制作手糊成型件，能制作 10000mm 以上大型整体部件。

很多种成型方法都能达到设计要求，并使制品外观平滑、美观，不需要再进行油漆等彩色加工。

由于手糊不需要专门设备、投资少、成型工艺比较简单，所以

被广泛使用。

表 1-1 常用玻璃钢的原料

成型工艺	原 料			原料指标	发展过程
	树脂	填料	辅助剂		
层压	616 酚醛树脂、环氧树脂、DAP 树脂、环氧-酚醛树脂、有机硅树脂	平纹 0.1、0.2、0.25、格子布斜纹、0.2 缎纹、0.3 高硅氧中碱、人字布和无无纺布		以 616 <sup>#</sup> 酚醛层压玻璃钢为例：树脂含量 25% ~ 46%，挥发含量 1.5% ~ 3.3%，不溶性树脂含量 20% ~ 80%	层压是较早的一种成型工艺方法，已有百年历史，主要以玻璃胶布为原料
模压	酚醛型、环氧型、环氧-酚醛型	纤维型、纤维织物、毡布料、碎布料、增强布料	稀释剂、表面化学处理剂、粉状填料、脱模剂及颜料等		我国模压法是自 1958 年开始的，主要以纤维为增强材料
卷管	616 酚醛树脂、环氧-酚醛树脂 (6 : 4)	高硅氧布带、玻璃布带、有捻纱、无捻纱等	脱模剂		该法在我国有突出贡献，是自 1958 年发展起来的，主要以胶布为主
手糊	聚酯树脂、环氧树脂、酚醛树脂	玻璃纤维及织物、无捻纱、短切纤维毡、无捻纱布	固化剂、溶剂、增韧剂、填料、包料		它是玻璃钢工业最早使用的一种方法，也是最基本的方法，在工业生产中占 90% 以上
缠绕	聚酯树脂、环氧树脂、酚醛树脂、有机硅树脂等	玻璃布带、无捻纱、有捻纱、无纬带			

## 第二节 玻璃钢的特性

玻璃钢具有质量轻、强度高、耐腐蚀、耐热性能好、电性能优良、成型工艺简便等特性。除此之外，玻璃钢还有性能介于钢材料

和木材之间的特点。

### 一、密度

玻璃钢的密度小 ( $1.4 \sim 2.0\text{g/cm}^3$ )，是普通钢的  $1/6 \sim 1/4$ ，比铝轻  $1/3$  左右，而机械强度却能达到或超过普通钢的水平，其强度甚至超过特殊合金钢。

### 二、导热性能

玻璃钢导热性差，热导率低，线膨胀系数小（热导率只有金属的  $1/1000 \sim 1/100$ ）；尤其是无缝管材（防热套），对于传热设备作为贴衬材料较为适用，优于其他材料，所以它是一种优良的防护和耐烧蚀的材料。

### 三、耐热性能

玻璃钢的耐热性好，特别是耐瞬时超高温性能较好。有的玻璃钢（酚醛基体）耐瞬时高温达  $3800^\circ\text{C}$ ，由于玻璃钢具有这一特殊性能，所以它多用于火箭、导弹、宇宙飞行器等热防护。但是玻璃钢长期耐高温性能较差，例如，高性能树脂基复合材料长期使用温度一般不会超过  $250^\circ\text{C}$ ，而一般玻璃钢为  $60 \sim 100^\circ\text{C}$ 。

### 四、电绝缘性能

玻璃钢有良好的电气绝缘性能，能透过高频微波，不反射电磁波等，是金属材料无法比拟的。

### 五、耐腐蚀性能

常见的热固性玻璃钢具有良好的耐腐蚀性能，对于海水、大气和浓度较低的酸、碱、盐等都具有较好的抵抗能力。

### 六、成型加工性能

玻璃钢的成型工艺性能好，可根据负荷要求、结构形式、几何形状、尺寸大小等使用特点进行设计加工。同时，制作方便、成型工艺简单、节省工时。

除了上述特点以外，玻璃钢还具有弹性好、非磁性、耐磨性较好、色彩鲜艳、美观等特点，可制作透明及各种色彩的产品。

玻璃钢虽然具有以上优良的特性，但也有不足之处。例如，玻璃钢弹性模量较低，一般只有钢的  $1/20 \sim 1/10$ ；剪切强度及长期循环负荷强度较低等。然而，金属是各向同性材料，而玻璃钢是各

向异性材料；金属在应力作用下，一般都有弹性变形和塑性变形两个阶段，而玻璃钢在应力作用下，一般都没有显著的塑性变形阶段，同时表面硬度低、容易划伤、受力后容易产生分层，这些都是玻璃钢材料与金属材料在本质上的差别。

同时，玻璃钢材料有老化现象。为了防止玻璃钢材料的老化，一般情况下应避免接触水、油、酸、碱、盐等液体。

玻璃钢之所以具有独特性，其根本原因是由材料本身的化学成分决定的。由于化学成分不同，直接导致了力学性能的变化，尤其是玻璃纤维和黏合剂、树脂，在固化过程中发生变化，对玻璃钢材料所形成的特殊性能有决定的作用。

为了探讨玻璃钢切割加工工艺特性，几种常用的玻璃纤维的化学成分和玻璃钢的力学性能列于表 1-2~表 1-8。

表 1-2 玻璃纤维的化学成分

类别	组成/%						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	NaO
无碱纤维	53.3	15.3	微量	10.0	16.3	4.5	<0.5
中碱纤维	67.3	7.0	微量	—	9.5	4.2	<12.0

注：1. 高硅氧布和纱，在纤维中残存的组分 96% 以上是 SiO<sub>2</sub>。

2. 常用无碱纤维，中碱纤维使用很少。

表 1-3 环氧-酚醛玻璃钢力学性能

拉伸强度 /MPa	拉伸弹性 模量/MPa	压缩强度 /MPa	压缩弹性 模量/MPa	弯曲强度 /MPa	弯曲弹性 模量/MPa	剪切强度 /MPa
0° $\frac{459}{455\sim 463}$	0° $2.26 \times 10^4$	$\frac{235}{206\sim 277}$	$2.95 \times 10^4$	0° $\frac{423}{406\sim 447}$	0° $1.65 \times 10^4$	$\frac{42.6}{32.8\sim 54.3}$
45° $\frac{244.5}{240\sim 250}$	45° $0.862 \times 10^4$			45° $\frac{274}{246\sim 298}$	45° $1.05 \times 10^4$	
90° $\frac{341.6}{290\sim 381}$	90° $1.74 \times 10^4$			90° $\frac{362}{351\sim 380}$	90° $1.59 \times 10^4$	

注：0°、45°、90°在此表示取样方向。

表 1-4 616# 酚醛层压玻璃钢力学性能

拉伸强度 /MPa	拉伸弹性 模量/MPa	压缩强度 /MPa	弯曲强度 /MPa	弯曲弹性模量 /MPa	层间剪切强度 /MPa
0° $\frac{299}{273\sim 323}$	0° $2.52 \times 10^4$	$\frac{164}{144\sim 183}$	0° $\frac{377}{341\sim 424}$	0° $1.91 \times 10^4$	$\frac{28.9}{25.8\sim 31.7}$
45° $\frac{165.9}{152\sim 180}$	45° $0.712 \times 10^4$		45° $\frac{255}{240\sim 268}$	45° $0.952 \times 10^4$	
90° $\frac{162.5}{155\sim 168}$	90° $1.64 \times 10^4$		90° $\frac{281}{262\sim 306}$	90° $1.85 \times 10^4$	

注：0°、45°、90°在此表示取样方向。

表 1-5 616# 酚醛玻璃钢的热性能

热导率(室温)/[kcal/(m·h·K)]		0.366		
线膨胀系数/℃ <sup>-1</sup>	20~100℃ 20~200℃ 20~300℃ 20~400℃	未处理	热处理 2.5h	热处理 8h
		$9.1 \times 10^{-6}$	$9 \times 10^{-6}$	$8.4 \times 10^{-6}$
		$8.7 \times 10^{-6}$	$8.6 \times 10^{-6}$	$7.3 \times 10^{-6}$
		$8.7 \times 10^{-6}$	$8.5 \times 10^{-6}$	$7.9 \times 10^{-6}$
		$8.5 \times 10^{-6}$	$8.1 \times 10^{-6}$	$7.3 \times 10^{-6}$
马丁耐热度		>300		

注：1kcal/(m·h·K)=1.163W/(m·K)。

玻璃钢虽然是一种非金属材料，但是它具有钢材的某些特点，其机械强度可达到或超过普通钢的水平。例如，某些玻璃钢其拉伸强度、弯曲强度和压缩强度均已达到 400MPa 以上，其比强度却超过了特殊钢的水平。

因此，玻璃钢在机械加工过程中会大量产生切削热，导致切削温度的升高和切削热的聚集，从而带来了切削加工的困难，尤其是玻璃钢内纤维的化学成分中二氧化硅 (SiO<sub>2</sub>) 和三氧化二铝 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 的大量存在增加了切割加工的困难。从各项力学性能指标综合分析玻璃钢，在一定程度上明显地形成了难以切削的加工特性和难以切削的加工因素。当然，难以切削加工还有其他不少方面的因素，如玻璃钢组织结构、成型工艺条件和原材料的选择等。

表 1-6 616# 酚醛模压玻璃钢®的力学性能

增强材料	性能	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa	压缩强度 /MPa	剪切强度 /MPa	弹性模量/MPa			泊松比	硬度(HB)
						拉伸	剪切	弯曲		
80/5 玻璃纤维加捻纱(石蜡型浸润剂)(短切)	32.2	138 (1×1×1.5)	84.9 49.6~130 ②	(周向)	1.56×10 <sup>3</sup> (横向) 7.85×10 <sup>3</sup> (纵向)	0.61×10 <sup>4</sup> (横向) 1.53×10 <sup>4</sup> (纵向)	2.3×10 <sup>4</sup>	0.16	58.1	
	24.6~49 ②									
80/5 高硅氧纤维加捻纱(短切)	23.3	192 141~312	59.5 55.3~68.3 ②	71.3 66~80.8	0.83×10 <sup>4</sup> (横向)	1.98×10 <sup>4</sup> (1.85~2.10)×10 <sup>4</sup>	48.5~50	108.4 76.3~14.8		
	10.4~35 ②									
经 B101 处理人工预浸定向 80/5-120 捻纤维	9.9	624.8 600~676	201							
	5.8~15.3									
碳纤维	248	220 171~271 (短切)	347 308~387 (定向)	(6.22~6.26) ×10 <sup>4</sup> (定向)	(6.12~7.16)×10 <sup>4</sup> (定向)					
	242~253 (定向)									
碎布块	23.3	112 107~118 (11)	54.3 47.6~65.7							
	10.4~35									

① 碳纤维增强的拉伸试样为长条形；玻璃纤维增强的试样为圆柱形。

② 从产品截取之试样性能。

表 1-7 616# 酚醛模压玻璃钢的热性能

性能 增强材料	平均比热容 /[kcal/(kg·K)]	线膨胀系数 / $\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	热导率 /[kcal/(m·h·K)]
80/5 玻璃纤维 加捻纱(石蜡型 浸润剂)(短切)	0.247(室温至 100°C)	24.3~27.0 (室温至 100°C)	0.90~0.98 (室温至 100°C)
	0.245(室温至 128°C)	20.1~21.6 (室温至 164°C)	1.06/0.96~1.15 (室温至 200°C)
80/5 高硅氧纤 维加捻线(短切)	0.265(室温至 100°C)	8.3~9.6 (室温至 100°C)	0.96~1.93 (室温至 150°C)
	0.272~0.282 (室温至 150°C)	-0.2~3.7 (室温至 200°C)	0.84(室温至 160°C)
	0.264(室温至 260°C)	-5.5~-3.4 (室温至 400°C)	

注：1. 1kcal/(kg·K)=4186.8J/(kg·K)。

2. 1kcal/(m·h·K)=1.163W/(m·K)。

表 1-8 缠制的酚醛管的力学性能

性能	工艺条件 用 3cm 宽、0.1mm 厚平纹酚醛胶布缠绕制作的 内径 90mm 的管(壁厚 2.5~3.5mm)
相对密度	1.7~1.75
弯曲强度/MPa	60.4~90.7
弯曲模量/MPa	$1.91 \times 10^4$
轴向压缩强度/MPa	84.0~171.0
径向压缩强度/MPa	17.4~30.7
拉伸强度/MPa	72.8~140.0

注：玻璃钢的性能随原材料和加工工艺条件的不同而不同。例如，在缠制工艺中采用复合结构的办法或其他方式而制成的管，管的强度有显著提高。