

961/16

44597

玻璃钢手糊成型工艺

国家建材局上海玻璃钢研究所



中国建筑工业出版社

玻璃钢手糊成型工艺

国家建材局上海玻璃钢研究所

中国建筑工业出版社

79-188 {3}

本书主要论述手糊成型工艺，内容分三个部分。原材料部分介绍了常用的玻璃纤维及其制品的规格、性能和表面处理，树脂的类型与固化系统。成型工艺部分叙述了一般的模具结构和脱模剂，手糊成型的方法，以及装配和修补技术等。第三部分以风机叶片、雷达罩与反射体的典型产品制造为例，介绍手糊成型工艺的应用，最后介绍了安全与卫生的基本常识。附录中介绍了复合材料力学知识和性能测试数据评估。

本书由张致君、陆贤巽、马文庆、高德英、刘鑫昌、汪泽霖、胡振哲撰写，张致君主编，朱颐龄教授对全书进行了审阅。

本书可供玻璃钢生产及应用部门的手糊工人及技术人员参考。亦可供复合材料专业的师生阅读。

玻璃钢手糊成型工艺

国家建材局上海玻璃钢研究所

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：7 1/2 字数：208千字

1984年10月第一版 1984年10月第一次印刷

印数：1—5,500册 定价：1.00元

统一书号：15040·4622

44597

前 言

玻璃钢手糊成型工艺在我国已有20多年的历史。在各种成型方法中，手糊成型工艺始终占据主导地位。玻璃钢手糊制品在国民经济各部门中已经得到了广泛的应用，但是在手糊成型工艺方面还没有一本专著。为了适应我国玻璃钢事业的发展，我们根据本所在手糊成型工艺中的实践，并且在个别章节适当引用了一些兄弟单位的资料，编写了这本书，希望它能起一点“抛砖引玉”的作用。

本书共组织了十章，较系统、通俗地介绍了手糊成型工艺。考虑到有的读者可能缺乏复合材料力学知识，书后增加了“复合材料力学知识”和“性能测试数据评估”两个附录。由于国内外对手糊成型工艺报道甚少，我们对国内情况也未进行全面调研，加之，我们的水平有限，难免有错误和不妥之处，希望读者批评指正，不胜感谢。

·

国家建材局上海玻璃钢研究所

目 录

第一章	概论	1
第二章	玻璃纤维制品及其表面处理	6
2-1	玻璃纤维的制造	6
2-2	玻璃纤维的化学成分	8
2-3	玻璃纤维的性能	10
2-4	玻璃纤维制品及规格	17
2-5	玻璃纤维表面处理	23
第三章	树脂与辅助材料	51
3-1	树脂概述	51
3-2	不饱和聚酯树脂	52
3-3	环氧树脂	66
3-4	辅助材料	80
第四章	基本元件成型	87
4-1	树脂胶液配制中的几个问题	87
4-2	铺层拼接及其锥度的确定	88
4-3	元件成型	94
第五章	模具和脱模剂	103
5-1	模具的结构和设计	103
5-2	模具材料的选择	105
5-3	脱模剂	108
第六章	夹层结构	112
6-1	玻璃钢夹层结构基本概念及其特点	112
6-2	玻璃钢蜂窝夹层结构	113
6-3	玻璃钢泡沫塑料(或轻木)夹层结构	125
第七章	装配和修补	129
7-1	零件装配	129

7-2	零件铺层连接	135
7-3	玻璃钢蜂窝夹层结构装配实例	138
7-4	修补	140
第八章	叶片成型工艺	148
8-1	叶片的结构特点	150
8-2	成型工艺设计	153
8-3	模具装备	159
8-4	原材料的选择	163
8-5	叶根制造特点	168
8-6	铺覆成型	174
8-7	682-D8000型玻璃钢风机叶片制造工艺	178
8-8	直径19米风车叶片制造工艺	181
第九章	雷达罩与反射体的制造	187
9-1	雷达罩的制造	187
9-2	玻璃钢雷达天线反射体	203
第十章	安全与卫生	214
10-1	易燃易爆物品的安全知识	214
10-2	玻璃钢原材料毒性的评定	217
10-3	劳动保护	218
附录 1	复合材料力学知识	225
附录 2	性能测试数据评估	239

第一章 概 论

玻璃钢是由玻璃纤维（如短切玻璃纤维毡、玻璃纤维织物）与合成树脂（如聚酯树脂、环氧树脂等）复合而成的材料，所以，也叫复合材料。玻璃钢这个名称是我国的习惯称呼，确切的名称是玻璃纤维增强塑料。

玻璃钢自第二次世界大战末问世以来，在欧美亚许多国家中都获得了较快的发展。我国的玻璃钢工业起始于1958年，二十多年来已建立了一支颇具规模的科研、设计、生产、教学等专业队伍，掌握并拥有国际上玻璃钢工业通用的各种成型工艺方法和比较先进的科研手段与检测设备。目前玻璃钢产品已渗入到国民经济的各个领域，从国防军工、宇航开发，到各个工交部门；从城市建设、旅游事业，到文娱体育、人民生活等各个方面都有应用。但是我国的玻璃钢产量还不高，年产量只有三万余吨，远低于国外水平。1979年国外玻璃钢的产量，美国为93万吨，日本约为25万吨，联邦德国为17万余吨，法国为12万吨，英国为8万余吨。玻璃钢在欧美亚的很多国家中都获得了较高速度的发展，每年增长速度均超过了各国国民经济增长水平，这说明玻璃钢是一种有着广阔发展前景的新型材料。

在玻璃钢中，玻璃纤维是用来增强树脂的，它具有较高的拉伸强度和弹性模量，对于常用的树脂而言，玻璃纤维的拉伸强度约为树脂拉伸强度的30倍左右，也有达50倍以上的；玻璃纤维的弹性模量约为树脂弹性模量的20倍左右，也有达到30倍的。所以，玻璃钢的拉伸强度、刚度主要是由玻璃纤维确定的。玻璃钢的压缩强度、弯曲强度不仅与玻璃纤维有关，而且也与树脂的性能有关；层间剪切强度主要是与树脂的内聚强度和它对纤维的粘

结力有关。玻璃钢的耐温性、耐腐蚀性和阻燃性能主要由树脂所确定，并随所用树脂不同而变化。由于合成树脂和无碱玻璃纤维都是非金属材料，所以玻璃钢有优良的电绝缘性、抗磁性和透电波性。若在树脂中加入导电的粉状填料（如金属粉、石墨粉等）或经特殊处理，即可制得具有一定导电率的玻璃钢。因此，适当地选择树脂和玻璃纤维以及填料，可以制出各种性能的玻璃钢，适应不同的需要。

玻璃钢是一种新型结构材料，可以根据使用要求，选择合适的组分材料，设计出性能满足使用要求的玻璃钢。由于玻璃钢集中了玻璃纤维和合成树脂的优点，具有比强度高、抗疲劳性好、电性能优良和耐化学腐蚀等许多宝贵的优点，为其它材料所不及。

玻璃钢在使用过程中，因偶然原因或事故引起损坏，可以考虑修补使用，方法极其方便简单。若修补得好，仍可保持到原来的水平。利用这种优点曾修复了许多重要的受力构件，诸如机头雷达罩和叶片等。其它的受力不大的玻璃钢制品如冷藏车的玻璃钢车箱更可以修补了。

玻璃钢还可以同加工金属一样地进行机械加工。车、锯、刨、钻、锉等均可，不过刀具的材料和进刀的速度及深度有所差异，但玻璃钢与金属材料相比，还是易于加工的。

玻璃钢的产品，不同程度地曝露于大气、高湿度或有游离水的湿气、河水、海水等介质之中，这些介质影响着玻璃钢的性能。经过若干年后，会发生一些变化，这种变化一般称之为“老化”。对玻璃钢的老化问题，有一个认识过程，过去由于没有掌握大量的老化数据，对玻璃钢的老化问题看得过于严重。但从1958年以来积累的大量的老化数据来看，玻璃钢的自然老化并不严重，一般说来，玻璃钢制品是可以长期使用的，目前已经有使用17年以上的船舶。

但是玻璃钢也存在一些不足之处，如与金属材料相比，弹性模量较低，层间剪切强度较低，长期耐高温性较差，性能数据的

离散性较大，目前还缺乏合理的设计方法，等等。这是由玻璃纤维和树脂两种基础材料带来的，尚有待于进一步研究改进。

目前，玻璃钢的成型方法普遍使用的有十多种。随着玻璃钢工业的迅速发展，新的工艺方法还在不断涌现，但是在整个玻璃钢工业的发展过程中，手糊成型工艺在玻璃钢的各种成型工艺中仍占有相当重要的地位。1979年美国、日本手糊成型工艺（包括手糊法和喷射法）的比例分别为42%和59%，日本手糊成型竟占成型工艺的近一半（48%）。这说明手糊成型工艺即使在发达国家也有其生命力，有些大型、小批量或形状特殊的制品，手糊成型工艺是最适宜的成型方法。各种成型方法在一些国家所占的比例如表1-1所示。

1979年一些国家各种成型工艺方法所占的百分比 表 1-1

国 家	连续	手糊	喷射	SMS	BMC	缠绕	挤拉	注射	其它
联邦德国	11	13	6	17	5	8	9	6	25
法 国	15	28	9	13	4	2	5	13	11
英 国	6	42	11	9	11	8	1	1	9
意 大 利	25	22	17	4	1	6	1	10	14
挪 威	12	50	22	—	—	13	3	—	—
奥 地 利	3	12	20	3	2	24 ^①	34	2	—
美 国	7	15	27	13	9	7	4	7	11
日 本	7	48	11	10	—	4	1	7	12

① 包括离心铸塑。

手糊成型法又称接触成型法，是将加有固化剂的树脂混合料和玻璃纤维或其织物，在模具上用手工铺放层合，使二者粘结在一起形成制品的方法。

手糊成型的工艺过程是先在模具上涂一层脱模剂，然后将加有固化剂的树脂混合料用刮刀刮涂或刷涂在模具上，再在这湿的胶层上铺放裁好的玻璃布等增强材料，用刮刀或毛刷迫使树脂胶液均匀地浸入织物，排除气泡，待增强材料为树脂胶液浸透之后，再放一层，反复涂刷树脂和铺放增强材料直到所需的层数，

然后进行固化、脱模和修饰。其工艺流程可简单表示在图1-1。

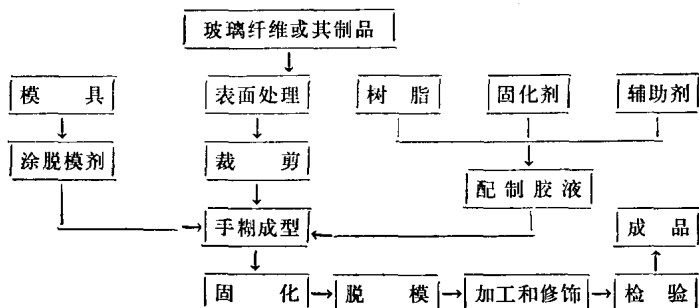


图 1-1 手糊成型工艺流程示意图

在玻璃钢的成型方法中，手糊成型是玻璃钢成型中最基本、最广泛使用的一种工艺方法。这主要是由它的工艺特性所决定的。这种成型方法，其设备简单，成型方便，不受制品几何尺寸及形状的限制，在制品的任何部位可铺放不同规格的增强材料，以达到合理使用材料，做到物尽其用。

手糊成型工艺按固化温度有热固化和常温固化之分。若按其工艺装备和加压方法来分，又可分为袋压法、湿糊低压成型法和喷射法等成型方法。

袋压法又分加压袋法和真空袋法两种：

加压袋法是用充气至 $0.03 \sim 0.05 \text{ kg/cm}^2$ 压力的橡胶袋对手糊法成型的制件加压固化的一种工艺方法。

成型夹层、空腹结构制品常用加压袋法。在夹层结构糊制好后，用涂有脱模剂的隔离薄壳将铺糊系统覆盖，再放上橡胶袋，上覆以用绳编成的网片或型面框架（留有橡胶袋通气后膨胀的间隙），再将周边固定在模具边缘，阻止橡胶袋通气后向空间无限伸胀。然后在树脂胶液凝胶之前通入压缩空气，对坯件加压固化。成型外表面要求光洁的空腹制品，也可采用加压袋和对模结合使用的方法。

真空袋法是将手糊法成型的制件带模套在气球布或橡胶制袋

中，密封抽吸至 600 毫米汞柱真空度，靠大气压力加压固化的成型方法。

真空袋法装袋是非常重要的环节。先要在铺糊的坯件表面非常小心地贴好脱模薄膜，再铺上一层或数层通气的缓冲材料使空气充分排出。然后带模套在袋中密封好，在树脂凝胶前抽真空。

袋压法成型的制品比手糊法成型的制品均匀、强度高、质量稳定。

湿糊低压成型法类似模压法。它是手糊的坯件在固化前用金属组合模低压成型的工艺方法。对某些过分复杂的制品，如大型风车叶片等常采用这种方法。

喷射成型是为了实现手糊法机械化而发展起来的一种方法。这种方法是利用短切纤维及各种树脂混合后用喷枪喷射成一定厚度和强度的制品。这种方法用短切纤维代替了比较昂贵的玻璃布，缩短了增强材料的铺覆与浸胶时间，节约了劳力，减少了飞边和零料的浪费，提高了生产效率，使制品的总费用有所降低。此法因操作环境差，又需要喷射设备，所以在我国使用不多。

手糊成型工艺虽然比较简单，但是要做好一个制品却不是一件容易的事，需要根据产品的实际使用情况，合理选用原材料，做好结构设计和工艺设计。此外，还要对操作人员进行技术训练来保证制品的质量。

第二章 玻璃纤维制品及其表面处理

纤维材料是纤维增强塑料制品中的主要组成部分。目前，用于增强塑料的纤维材料很多，其中大量应用的是玻璃纤维，此外，还有石棉纤维、天然纤维、合成纤维、碳纤维和硼纤维等。

玻璃纤维材料具有许多优异的性能：高的拉伸强度、不燃性、耐腐蚀、优良的电绝缘性能等。玻璃钢就是用它作为增强材料的制品。玻璃纤维是以玻璃为原料，在熔融状态下用不同的成型方法而制成的一种无机纤维。应用于玻璃钢的玻璃纤维单丝直径约为5~20微米。

2-1 玻璃纤维的制造

玻璃纤维的生产方式很多，目前常用的工艺方法是把熔融的玻璃液以极快的速度（约每分钟4000米）拉制很细的连续纤维并集束成原纱。拉丝工艺示意图如图2-1所示。将集束原纱加捻、退解、并股成为玻璃纤维线，再经织造成为玻璃纤维布或玻璃纤维带等玻璃纤维织物，或者将原纱无捻并股成无捻粗纱，或者再将无捻粗纱织成无捻粗纱布，或者将无捻粗纱切成短切纤维制成玻璃纤维毡片等。其工艺流程图如图2-2所示。

浸润剂在拉丝和纺织过程中的作用很大，它主要是使纤维粘合集束、润滑耐磨、消除静电等，保证拉丝和纺织顺利进行。浸润剂一般分为两类：一类称为纺织型浸润剂，主要适应拉丝、纺织加工的需要，其成分含有石蜡、凡士林、硬脂酸、变压器油、固色剂、表面活性剂和水。在制造玻璃钢时这类浸润剂会减弱树脂和玻璃纤维的粘结力，因此在使用时一般需要除去。为了改善

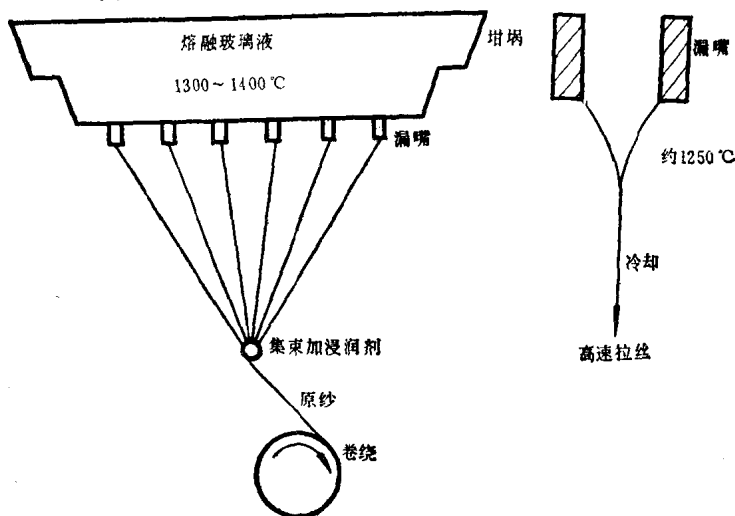


图 2-1 拉丝工艺示意图

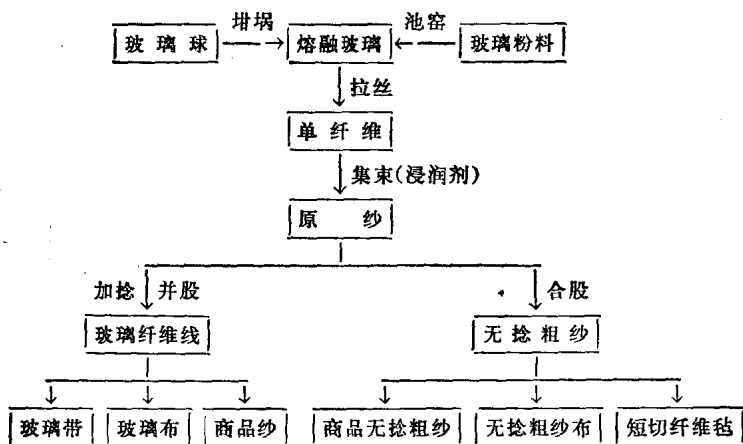


图 2-2 玻璃纤维及织物的工艺流程

树脂与玻璃纤维表面的粘结性能，最好对玻璃纤维表面进行化学处理。另一类是增强型浸润剂。主要是树脂型的，并在其中加入某些化学处理剂，用增强型浸润剂的玻璃纤维及制品制造玻璃钢

时，不必另行处理，从而避免了玻璃纤维及制品在后处理过程中的强度损失。

2-2 玻璃纤维的化学成分

玻璃纤维的性能与它的化学成分有关。玻璃纤维的化学组成主要是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 B_2O_3 等。它们对玻璃纤维的性质和工艺特性起决定性作用，以 SiO_2 为主的称为硅酸盐玻璃，以 B_2O_3 为主的称为硼酸盐玻璃。加入一定量的 Na_2O 、 K_2O 等碱性氧化物，能降低玻璃的熔化温度和粘度，加入 CaO 、 Al_2O_3 等能在一定条件下构成玻璃的网络结构一部分，以改善玻璃的某些性质和工艺性能。

有碱玻璃纤维含有较多的碱金属氧化物（含量12%），在水分侵蚀后会产生某些导电介质，因此，它的电绝缘性能比无碱玻璃纤维差。有碱玻璃纤维的力学强度低于无碱玻璃纤维，例如，中碱玻璃纤维的拉伸强度约为无碱玻璃纤维拉伸强度的80%。然而，中碱玻璃纤维的 SiO_2 含量较高，在酸性介质作用下，残留的 SiO_2 骨架较无碱玻璃纤维为强，所以中碱玻璃纤维的耐酸性较无碱玻璃纤维为佳，但其耐碱性，则不如无碱玻璃纤维。另外，中碱玻璃纤维的生产成本低于无碱玻璃纤维。

低碱玻璃纤维的碱金属含量小于2%，它的电性能、力学强度及耐热性能等都较好，广泛应用于电绝缘、高透波、高强度、耐碱性玻璃钢中，对于有特高电绝缘要求的产品，应该用含碱量小于0.5%的高级绝缘纤维。在玻璃钢生产中，中碱玻璃纤维不仅价廉，而且原料易得、拉丝工艺简便。所以对性能要求不很严格的玻璃钢制品，都可应用中碱玻璃纤维来制造。

对于一些特殊性能要求的玻璃纤维，可在玻璃的化学组成中引入某些特殊的组分，如高弹性模量的玻璃纤维组分中含有 BeO ，耐碱的纤维含有 ZrO_2 等。用作耐高温烧蚀玻璃钢的高硅氧玻璃纤维，是用酸浸析法将高钙硼硅酸盐玻璃纤维中的可溶物析出而

表 2-1 几种典型的玻璃纤维成分

序号	名称	代号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	CaF ₂	LiO ₂	BeO	ZrO ₂	CeO	TiO ₂
1	无碱玻璃纤维	E	53.5	15.3		10.0	16.3	4.5	<0.5	2.0					
2	无碱玻璃纤维	E	54.3	15.2		8.0	17.3	4.7	0.6	0.1					
3	低碱玻璃纤维	E	54.0	14.0		10.0	16.0	4.0	<2						
4	中碱玻璃纤维	C	64.5	4.1		4.7	13.4	3.3	7.9	(K ₂ O)	(BaO)				
5	高强玻璃纤维	S	64.3	24.8	0.21		<0.01	10.27	0.27	1.7	0.9				
6	高弹玻璃纤维	M	53.7		0.5		12.9	9.0			3.0	8.0	2.0	3.0	8.0
7	高硅氧纤维	R	98.59	1.07			0.24								

表中：1—国内无碱玻璃纤维成分；

2—美国通用无碱玻璃纤维成分；

3—苏联低碱铝硼硅酸盐玻璃纤维成分；

4—国外通用中碱玻璃纤维成分；

5—美国高强度玻璃纤维成分；

6—美国高弹性模量玻璃纤维成分；

7—是铝镁硅酸盐玻璃纤维用酸萃取法制得的高硅氧玻璃纤维成分。

制得的，二氧化硅含量达95%以上。耐高温的石英纤维，其生产方法是直接用含99.95% SiO_2 的高纯度石英玻璃棒在2000~2100°C高温下熔化拉制。

2-3 玻璃纤维的性能

2-3-1 外观和比重

玻璃纤维与各种天然纤维和人造纤维不同，其外观是光滑的圆柱体状，其截面多呈完整的圆形。而有机纤维的表面都带有很深的皱纹，截面呈不规则形状。玻璃纤维的几何特征给它带来两个特点：表面光滑使纤维的握固力小，不利于与树脂粘结，圆形截面，能使纤维间的空隙填充得较为密实。

玻璃纤维的比重比有机纤维大，但比金属纤维小，几乎与铝纤维相当。其比重与玻璃的成分有密切的关系，一般为2.4~2.7左右，但含有大量金属成分的高弹性模量纤维的比重可达2.9。几种纤维的比重见表2-2。

几种纤维的比重

表 2-2

纤维名称	无碱玻璃纤维	有碱玻璃纤维	碳纤维	尼龙	棉	羊毛	人造丝
比重	2.6~2.7	2.4~2.6	1.4	1.14	1.5~1.6	1.28~1.33	1.5~1.6

2-3-2 耐热性能

玻璃纤维比有机纤维的耐热性高很多，玻璃纤维的耐热性又与其化学成分有关，玻璃的软化点一般在550~850°C，比尼龙的软化点高二、倍以上。在高温下玻璃纤维不会燃烧，无碱玻璃纤维在200~250°C以内强度变化不大，但随着加热温度和时间的增加，强度损失亦将增大，如表2-3所示。

无碱玻璃纤维的瞬时耐热性（30秒）可达1000°C，石英玻璃纤维和高硅氧玻璃纤维制品的瞬时耐热性可达2000°C或更高。因此，玻璃纤维布在后处理过程（表面化学处理）中的热处理阶段

热处理温度和时间对无碱玻璃布强度的影响① 表 2-3

温 度 (°C)	强 度 (公斤)	时 间 (分钟)					
		0.5	1	2	5	30	60
未处理	原 始	55.8	57.2	56.1	61.1	62.3	60.9
100	断 裂 力				60.5	58.6	60.8
	强度损失, %				0.98	5.95	0.16
150	断 裂 力				55.5	60.7	59.1
	强度损失, %				9.16	2.52	2.95
200	断 裂 力				58.1	61.1	60.2
	强度损失, %				4.92	1.91	1.15
250	断 裂 力				59.2	56.8	53.1
	强度损失, %				3.1	8.82	12.8
300	断 裂 力	51.6	55.1	51.5	51.4	48.9	45.8
	强度损失, %	7.52	3.67	8.20	15.9	21.5	24.8
350	断 裂 力	52.4	48.6	49.2	39.4	39.6	37.9
	强度损失, %	6.1	15.0	12.3	35.5	36.4	37.8
400	断 裂 力	44.5	38.7	35.6	34.3	34.7	29.7
	强度损失, %	20.4	32.4	36.5	43.8	44.3	51.3
500	断 裂 力	34.0	31.4	28.4	26.0	23.4	21.8
	强度损失, %	39.0	45.1	49.3	57.4	62.4	64.2
600	断 裂 力	24.6	21.8	19.4	11.9	12.8	15.3
	强度损失, %	55.9	61.8	65.4	80.5	79.4	74.9

① 本试验采用上海耀华玻璃厂生产的“无碱布——100”，断裂力为25×100布条的经向拉伸力；100~250℃热处理在烘箱中进行，300~600℃热处理在茂福炉中进行；在同一时间段内的玻璃布原始数据试件由该批试件中按一定规则选取；每项数据为四组(每组五根试件)试件的算术平均值。