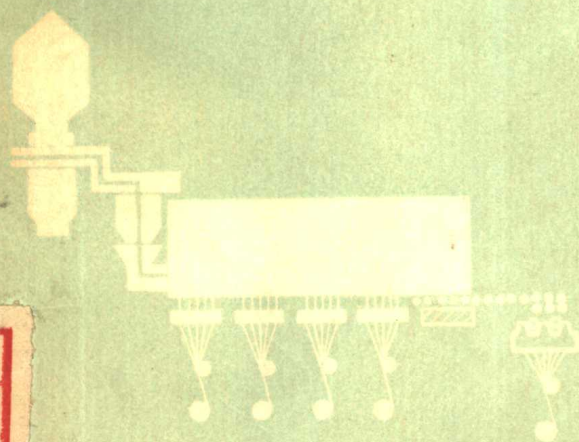


玻璃纤维的生产及应用



中国建筑工业出版社

玻璃纖維的生产及应用

南京玻璃纤维工业研究设计院 编

· 内 部 发 行 ·

中国建筑工程出版社

玻璃纤维是一种人造无机纤维。采用不同的生产方法，可以制得不同品种的玻璃纤维。玻璃纤维具有一系列的优越性能，广泛应用于各工业部门。

本书综合国内外情况，叙述各种玻璃纤维的性质、生产方法和应用。

本书可供玻璃纤维生产和使用部门的工人、技术人员参考。

玻璃纤维的生产及应用
南京玻璃纤维工业研究设计院编
· 内部发行 ·

*

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

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：11 1/8 插页1 字数：288千字

1974年5月第一版 1974年5月第一次印刷

印数：1—9,515册 定价：1.05元

统一书号：15040·3082

前 言

玻璃纤维是一种人造无机纤维。采用不同的生产方法，可以制出形态不同的各种玻璃纤维，有象蚕丝那样的连续玻璃纤维，有象羊毛似的玻璃棉和各种定长纤维，其制品形态更是多种多样。

玻璃纤维具有一系列的优越性能，如轻质高强、耐高温、耐腐蚀、吸声、保温、吸湿性低、伸长小、电绝缘性能好等等，因此在电机、机械、冶金、石油、化工、汽车、造船、飞机、冷藏、建筑以及国防工业中得到广泛的应用。玻璃纤维工业在材料工业中占有重要的地位，但还是一个年轻的工业部门，在国外形成一定规模的工业性生产也不过是在三十年代才开始的。近二十年来，玻璃纤维的产量增加迅速，新的生产工艺、新的产品品种不断涌现，新的用途越来越多，发展前景十分广阔。

在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国于1958年试制成功玻璃纤维，十几年来，玻璃纤维工业从无到有，从小到大，逐步发展起来，产量日益增加，品种不断增多，质量逐步提高，为社会主义建设和国防工业、尖端技术的发展，提供了一种新材料。

“小玻璃纤维”如雨后春笋，迅速发展，成为玻璃纤维战线上的一支新生力量。我国玻璃纤维工业群众性技术革新运动蓬勃开展，代铂试验取得了可喜成果，池窑拉丝进入工业性试生产阶段，所有这些成果的取得都是发扬自力更生、奋发图强的革命精神的结果。

书中引用的一些外国资料，仅供读者批判地阅读参考。

我国玻璃纤维工业发展迅速，新技术、新工艺、新产品层出不穷。但由于编写时间仓促，有些材料和数据收集不够全，有待于今后补充。同时，由于我们政治和业务水平较低，书中一定会有不少错误和缺点，恳切希望读者提出意见和批评，以便进行修改。

目 录

第一篇 玻璃纤维的性质和生产

第一章 玻璃纤维的分类	1
第二章 玻璃纤维的成分	3
一 什么是玻璃	3
二 玻璃的结构	4
三 玻璃纤维的结构	5
四 构成玻璃纤维的组分及其影响	6
五 几种典型的玻璃纤维成分	9
六 玻璃纤维成分选择的原则	9
第三章 玻璃纤维的物理化学性质	15
一 外观特点	15
二 比重	16
三 抗拉强度	16
四 弹性	21
五 柔性和脆性	23
六 耐热性	24
七 化学稳定性	24
八 吸湿性	27
九 电学性质	28
十 隔热性	32
十一 吸声性	35
第四章 连续玻璃纤维的生产	37
一 拉丝工艺流程	37
二 用铂坩埚拉丝的工艺过程	38
三 铂坩埚(或铂漏板)、浸润轮和绕丝筒的相对位置	39
四 坩埚法拉丝工艺参数	40

五	拉丝工艺中几个主要参数的相互关系	40
六	坩埚	50
七	丝根冷却器	59
八	浸润槽和浸润剂	62
九	拉丝机	67
十	铂铑坩埚的供电和控制	79
十一	玻璃纤维的纺织加工	88
十二	连续玻璃纤维的主要品种和规格	93
第五章	定长玻璃纤维的生产	99
一	气流吹拉法	100
二	一次毛纱	104
三	棒法毛纱和毡片	108
四	移动拉丝炉制造加筋毡片法	112
五	玻璃纤维膨体纱	115
第六章	玻璃棉的生产	119
一	离心盘法	119
二	蒸汽立吹法	122
三	火焰喷吹法	125
四	离心喷吹法	130
五	拉制玻璃棉法	131

第二篇 玻璃纤维的应用

第七章	玻璃纤维电绝缘制品	135
一	电绝缘用玻璃纤维的特性	136
二	电绝缘用玻璃纤维制品	140
三	玻璃纤维用于电绝缘方面的技术经济效益	148
第八章	玻璃纤维过滤材料	151
一	玻璃纤维作为过滤材料的特性	151
二	玻璃纤维过滤布(袋)及其处理	154
三	气体过滤	159
四	液体过滤	170
第九章	玻璃纤维被覆制品	173

一	乳胶玻璃布	173
二	聚氯乙烯被覆的玻璃包装布	179
三	聚氯乙烯涂层玻璃纤维窗纱	181
四	玻璃纤维导风筒	186
第十章	玻璃纤维隔热隔声材料	187
一	玻璃棉制品	188
二	在石油工业上的应用	188
三	在化学和其他工业上的应用	193
四	在冷藏方面的应用	196
五	在建筑上的应用	199
六	在防震方面的应用	204
第十一章	玻璃纤维防腐防潮材料	205
一	管道防腐	205
二	玻璃纤维增强油毡	212
第十二章	玻璃纤维增强无机材料	215
一	玻璃纤维增强水泥制品	215
二	玻璃纤维增强石膏制品	217
三	玻璃纤维增强石棉制品	218
四	玻璃纤维增强砂轮	219
第十三章	玻璃纤维增强橡胶制品	224
一	玻璃纤维和橡胶之间的粘结	224
二	橡胶预浸渍涂层	226
三	玻璃纤维增强轮胎	230
四	玻璃纤维增强传动带	234
第十四章	玻璃纤维窗帘和超细连续玻璃纤维 ——“贝他”纱	235
一	玻璃纤维窗帘	235
二	超细连续玻璃纤维——“贝他”纱	238
第十五章	光学玻璃纤维	248
一	光在光学玻璃纤维中的传播	248
二	光学玻璃纤维的生产	250
三	光学玻璃纤维的应用	257

第十六章 玻璃纤维的其他应用	267
一 玻璃纤维绝缘承力索	267
二 玻璃纤维蓄电池隔离片和固化管	268
三 导电玻璃纤维	273
第十七章 玻璃钢	275
一 玻璃钢所用的原料	276
二 在电气绝缘方面的应用	297
三 在化工防腐上的应用	309
四 在飞机上的应用	318
五 在火箭、导弹和空间飞行器上的应用	322
六 在船舶上的应用	326
七 在汽车上的应用	331
八 玻璃钢的其他应用	336

玻璃纤维的性质和生产

第一章 玻璃纤维的分类

玻璃纤维的品种很多，其玻璃成分、生产方法、形态、性能和用途也各不相同，通常是按下述几种方法进行分类的。

一 按玻璃纤维的形态和长度分类

玻璃纤维的形态和长度取决于它的生产方式，又与它的用途有关。可以分为：

1. 连续纤维（又称纺织纤维）：从理论上讲，连续纤维是无限延续的纤维。主要用漏板法拉制而成，经过纺织加工后，可以制成玻璃纱、带、布、绳、无捻粗纱等制品。

2. 定长纤维：其长度有限，一般在300~500毫米左右，但有时也可较长，如在毡片中基本上是杂乱的长纤维。例如采用蒸气吹拉法制成的长棉，拉断成毛纱后，长度也不过几百毫米。其他生产方法还有棒法毛纱、一次粗纱等。制品都制成毛纱或毡片使用。

3. 玻璃棉：也是一种定长玻璃纤维，其纤维较短，一般在150毫米以下或更短。在形态上组织蓬松，类似棉絮，故又称短棉，主要作保温、吸声等用途。

二 按玻璃成分中的含碱量分类

这种分类法主要用于连续玻璃纤维的分类。碱金属氧化物一般指氧化钠（ Na_2O ）、氧化钾（ K_2O ），其通式为 R_2O 。在玻

玻璃原料中由纯碱 (Na_2CO_3)、芒硝 (Na_2SO_4)、长石等物质引入。碱金属氧化物是普通玻璃的主要组分之一，其主要作用是降低玻璃的熔点。但玻璃中的碱金属氧化物含量愈高，它的化学稳定性、电绝缘性能和强度等都会相应降低。因此，对不同用途的玻璃纤维要采用不同含碱量的玻璃成分。这样，经常采用玻璃纤维成分的含碱量作为区别不同用途的连续玻璃纤维的标志。

根据玻璃成分中的含碱量，可以把连续纤维分为如下几种：

1. 无碱纤维（通称E玻璃）： R_2O 含量小于0.5%或0.7%，是一种铝硼硅酸盐成分。它的化学稳定性、电绝缘性能、强度都很好。主要用作电绝缘材料，玻璃钢的增强材料和轮胎帘子线等。

2. 低碱纤维：也是E玻璃的一种配方，是一种含碱量稍高的铝硼硅酸盐成分。 R_2O 含量小于2%。其化学稳定性、电性能和强度都略逊于无碱E玻璃成分。用途同上。今后将逐步为无碱玻璃成分所取代。

3. 中碱纤维： R_2O 含量为12%左右。这种成分因含碱量较高，不能作电绝缘材料，但其化学稳定性和强度尚好。一般作乳胶布基材，酸性过滤布、窗纱基材等，也可以作对电性能和强度要求不很严格的玻璃钢增强材料。这种纤维成本较低，用途较广。

4. 高碱纤维： R_2O 含量等于或大于15%的玻璃成分。如采用碎平板玻璃或碎瓶子玻璃作原料拉制而成的玻璃纤维，均属此类，可作蓄电池隔离片、管道包扎布和毡片等防水防潮材料之用。

三 按纤维的直径分类

玻璃纤维是圆柱形的，因此它的粗细可以用直径来表示。通常根据直径范围把拉制成型的玻璃纤维分成几种（直径用微米表示，其符号为 μ ）：

1. 初级纤维：单纤维直径大于 20μ ；

2. 中级纤维：单纤维直径 $10\sim 20\mu$ ；

3.高级纤维（又称纺织纤维）：单纤维直径 $3\sim 10\mu$ 。有时还把直径小于 4μ 的玻璃纤维称为超细纤维。

所谓单纤维是指未经集束或并股的单根纤维。一根头发的直径约为 40μ ，由此可知高级纤维是极细的纤维了。

四 按生产方法进行分类

多用于定长纤维和玻璃棉的分类和命名。如在定长纤维方面有：蒸汽吹拉法长棉，可制成毛纱、毡片；棒法毛纱、毡片；一次粗纱法毛纱等。

在玻璃棉方面有：蒸汽立吹法；离心盘法；离心喷吹法；多辊离心法；火焰喷嘴法。用火焰喷嘴法生产的玻璃棉直径很小，一般小于 1μ 或 3μ ，故其产品一般称为超细棉。

五 特种玻璃纤维

这是一类为适应特殊使用要求，新发展起来的具有某些特殊优异性能的新型玻璃纤维，如高强度玻璃纤维；高弹性模量玻璃纤维；耐高温玻璃纤维；低介电常数玻璃纤维；空心纤维；光学纤维；导电纤维等。

以上所列是一般习惯常用的分类和命名方法。由于玻璃纤维工业在迅速发展，生产方法日新月异，产品品种越来越多，非以上几种分类方法所能概括，今后还会有更多的分类方法出现。

第二章 玻璃纤维的成分

一 什么是玻璃

在我们的印象中，玻璃是一种透明或不透明的、着色或无色的、具有光泽的脆性固体。但这样的印象仅仅反映了玻璃的一些外部特征，并没有说明玻璃的本质问题。

在物理学上，玻璃的定义是：“凡熔融体通过一定的方式冷却，因粘度逐渐增加而具有固体的机械性质与一定结构特征的非晶形物体，都称为玻璃，并且由液态变为固态的过程应该是可逆的。”

我们知道，固体可以分为结晶体和非结晶体两大类。在结晶体中，原子按规律排列，形成正方形、锥形或其他有规则几何形状的结晶格子。当晶体被加热到一定温度，它的结晶格子被破坏，原子在其所占有的体积中获得自由地互相移动的可能性，于是晶体熔化转成液态。晶体物质的这种转变，都在严格固定的温度下发生，这个温度称为熔点。例如冰在 0°C 时熔化成水，银在 960.5°C 熔化，食盐在 804°C 时熔化等。

玻璃是非结晶体，它具有固体的形状，也就是说玻璃中的原子不能自由地相互移动，但它并不具有结晶的结构。这种物质的形态称为玻璃态。若将玻璃加热，它的温度将继续上升，直到转变成液态玻璃。因而，玻璃没有一个从固体突然转变成液体的固定温度，即没有固定的熔点。玻璃转变为液态是在一个比较宽的温度范围内进行的，这个温度范围一般称为玻璃的软化范围。融熔的玻璃称为玻璃熔体。

二 玻璃的结构

玻璃的性质不但和组成有关，而且和玻璃的结构有着密切的关系，因此研究玻璃结构有助于在生产上能够更好地控制玻璃的性质。曾经对玻璃的结构作了大量的研究工作，提出了各种假说来解释玻璃的结构，并用以说明玻璃的性质，但至今还不能完全说明所有的现象，其中比较能反映实际情况的是“微晶假说”和“网络结构假说”。

“微晶假说”认为：玻璃结构是由硅酸盐或二氧化硅(SiO_2)的“微晶子”组成的，这种“微晶子”是在结构上高度变形了的晶体，而在微晶子之间则由无定形中间层隔离。在这些中间层中，离“微晶子”越远，其不规则程度也越高。

玻璃纤维的成分多属于硅酸盐玻璃，其主要组成部分是 SiO_2 四面体所构成的“微晶子”，在“微晶子”之间的空隙中则填充着各种金属氧化物的离子：如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 等。

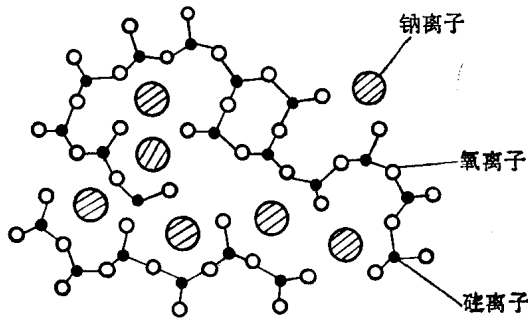


图 I-1 玻璃结构

用盐酸处理钠硼硅玻璃后，几乎全部的氧化钠和硼酐被渗浸出，形成超微多孔玻璃，同时样品的外貌几乎没有改变，说明在酸处理时，硅氧骨架基本上没有发生结构上的变化。这和“微晶子”理论基本上是一致的。

根据“网络结构假说”，二氧化硅四面体、铝氧四面体或硼氧四面体一个个连成不规则的三维网络，将金属离子 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 包围起来，构成了玻璃体。硅氧四面体、铝氧四面体或硼氧四面体等形成网络的物质称为网络形成物，而 Na 、 K 、 Ca 、 Mg 的氧化物，则称为“网络改性物”（见图 I-1）。

新的研究认为，微晶假说和网络结构假说都是有局限性的，实际上大部分玻璃的结构都介乎无序不对称与有序对称状态之间，因此玻璃通常具有“微不均匀”的特点。

三 玻璃纤维的结构

由于玻璃纤维比块状玻璃的强度高许多倍，有人认为这是在拉丝作业中在玻璃结构上发生了分子取向所致。近年来，通过大量X射线照相和电子照相的研究，没有发现玻璃纤维中有分

子取向的迹象，纤维和块状玻璃的结构没有任何区别。

此外，如果发生分子取向而使分子之间的距离缩短时，玻璃纤维的比重应当增大。但试验结果表明，铝硼硅酸盐块状玻璃的比重为2.58，用同一成分拉制的玻璃纤维的比重为2.52，反而小了2.35%，这说明在拉丝时没有发生分子取向，证明玻璃和玻璃纤维在结构上是相同的。

四 构成玻璃纤维的组分及其影响

根据玻璃纤维的用途，对玻璃纤维的性质提出不同的要求，因此，各种不同用途的玻璃纤维往往具有不同的成分。现将组成各种玻璃纤维成分中的各种氧化物组分及其在成分中的影响简单介绍如下。

二氧化硅 (SiO_2)

我们通常见到的玻璃和玻璃纤维都属于硅酸盐玻璃。在硅酸盐玻璃中， SiO_2 是最主要的组分被称为网络形成物。由纯粹的 SiO_2 也可以构成玻璃体，这就是石英玻璃。因 SiO_2 的熔点非常高，不易熔化，故在配方中要加入其他氧化物以降低熔点并赋予玻璃所需要的各种性能。在玻璃成分中，引入 SiO_2 的原料为石英砂、石英砂岩，或含有 SiO_2 的其他矿物原料等。 SiO_2 是一种酸性氧化物，在玻璃成分中所占百分数最多，增加玻璃中 SiO_2 的含量一般可以提高玻璃液的粘度，玻璃的熔融温度、化学稳定性和机械强度。

氧化硼 (B_2O_3)

B_2O_3 也是一种酸性氧化物。一般以硼酸 (H_3BO_3) 或硼砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) 方式引入到玻璃成分中。增加 B_2O_3 的含量可以降低玻璃的熔融温度、热膨胀系数和析晶性，提高玻璃的化学稳定性。

氧化铝 (Al_2O_3)

Al_2O_3 也属于酸性氧化物。少量的 Al_2O_3 常伴随石英砂、石英砂岩或石灰石等带入玻璃成分中。当玻璃需要较多量 Al_2O_3 。

时，可以采用长石、蜡石、煅烧过的氧化铝等引入。在玻璃中加入少量的 Al_2O_3 （约3%），可大大地降低玻璃的析晶倾向。 Al_2O_3 含量愈高，可以提高玻璃的耐久性、化学稳定性、热稳定性和机械强度，但也会提高玻璃的熔融温度和玻璃液的粘度，增加玻璃熔制过程中的困难。

氧化钠（ Na_2O ）

Na_2O 是碱性氧化物。在玻璃成分中主要用来降低玻璃的熔融温度、粘度和析晶性。引入 Na_2O 的主要原料为纯碱（ Na_2CO_3 ），少量由澄清剂芒硝（ Na_2SO_4 ）、长石或其他原料引入。由于纯碱和芒硝来源较广，价格较廉，在玻璃工业中是使用最普遍的熔剂。但 Na_2O 的含量增加后，会显著地降低玻璃的化学稳定性、热稳定性，提高玻璃的表面导电性、介电常数和热膨胀系数。因此在各种玻璃纤维成分中，往往对 Na_2O 的含量有不同的限制，以保证其应用性能。

氧化钾（ K_2O ）

其作用与 Na_2O 相近，但还能增加玻璃的光泽，降低玻璃的析晶能力。在玻璃纤维成分中没有多大重要意义，一般由砂岩中的钾长石（ $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ）带入少量 K_2O 。在中碱玻璃纤维配方试验时，曾发现少量的 K_2O 代替 Na_2O 会使漏板拉丝温度有所提高，产生不利影响。

氧化钙（ CaO ）

CaO 属于碱性氧化物，是玻璃的主要组分之一。由石灰石（ CaCO_3 ）和白云石（ $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ）引入玻璃成分中。引入 CaO ，主要是为了使玻璃具有耐久性，特别是耐水的侵蚀。增加玻璃中 CaO 的含量，能提高玻璃的化学稳定性、硬度、机械强度，但使析晶性能增加，这是需要注意的。

氧化镁（ MgO ）

MgO 属碱性氧化物。在玻璃纤维成分中，一般由白云石引入。如要求 MgO 含量很高时，也可由菱苦土（ MgCO_3 ）引入。 MgO 在玻璃中的作用与 CaO 相近。采用少量 MgO 代替玻璃中的部

分CaO可以降低玻璃的析晶倾向。

氧化钡 (BaO)

BaO也是一种碱土性氧化物。有时在玻璃纤维成分中用重晶石(BaSO_4)引入少量BaO。引入量较多时,可采用碳酸钡(BaCO_3)。在玻璃成分中,增加BaO的含量,会增大玻璃的比重、光泽、折射率,并降低玻璃的熔融温度。

氧化锌 (ZnO)

ZnO是另一种碱土性氧化物。用锌氧粉引入到玻璃成分中去。增加ZnO的含量,可以提高玻璃的化学稳定性,降低热膨胀系数,但会提高熔融温度。

氧化铅 (PbO)

PbO主要用于光学纤维和防射线纤维,通常用红丹(Pb_3O_4)引入玻璃成分中。PbO能增加玻璃的比重、光泽、折射率,降低玻璃的熔融温度和化学稳定性。

在玻璃纤维成分中,还有时采用 LiO_2 、 ZrO_2 、 BeO 等,这里不一一介绍了。

有人曾将上述各种氧化物在玻璃成分中的作用作一图解(见

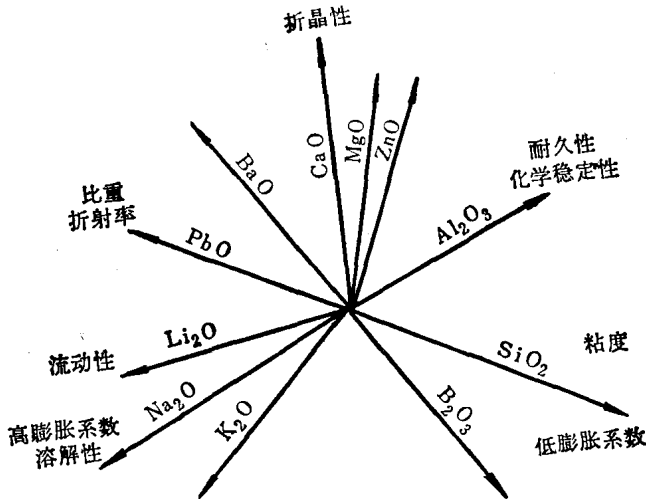


图 I-2 玻璃成分中各种氧化物组分的相对作用

图 1-2), 虽然不能全面说明这个复杂的问题, 但有助于了解各组分的基本作用和影响, 可供参考。

五 几种典型的玻璃纤维成分

如前所述, 对于不同生产方式, 不同应用要求的玻璃纤维, 需要采用不同的玻璃成分。解放以来, 为了建立我国独立自主的玻璃纤维工业, 为了尽量采用我国丰富的矿产资源和化工原料来多快好省地生产各种玻璃纤维制品, 以满足社会主义革命和建设的需要, 我国玻璃纤维工业上的广大工人和技术人员对各种玻璃纤维成分进行了大量的研究工作, 研制出适合我国具体情况的各种玻璃纤维成分, 为玻璃纤维在我国工业和国防方面的使用推广作出了贡献。

表 I-1 列出国内外几种典型的玻璃纤维成分。

从表上可以看出各种玻璃纤维在所含组分及组分数量上差异是很大的, 这取决于玻璃纤维所需要的成型性能和使用性能。

其中 E 玻璃成分 (无碱) 是性能很好用途最广的一种成分。广泛用于电绝缘、玻璃钢和增强轮胎等方面。

中碱 5* 成分, 由于成分中不含硼, 原料易得, 成本低廉, 同时也具有较好的耐水性和抗气候风化性。因此广泛用作乳胶布基布, 管道包扎布, 以及作电线编织护套层等, 用途很大。

六 玻璃纤维成分选择的原则

1. 根据产品所要求的性能合理地选择玻璃成分

每个品种的玻璃纤维都要根据特定的使用要求, 而具有一项或几项重要的性能指标, 如抗拉强度、弹性模量、化学稳定性、导热性等。由于玻璃纤维的性能在很大程度上是由它的化学成分决定的, 这就要考虑引入何种氧化物才能获得所需要的性能。如 E 玻璃主要是作电绝缘材料和增强材料用的, 需要电性能、强度和化学稳定性, 因此在成分中, 引入 B_2O_3 来代替 Na_2O 作熔剂。我国无碱 E 玻璃成分, Na_2O 含量小于 0.5%, 其纤维的电性