

复合材料原理



江苏大学材料学院

第二章 复合材料的复合原理及界面

2.1 复合原则

2.2 弥散增强及颗粒增强原理

2.3 单向连续纤维增强原理

2.4 短纤维增强原理

2.5 混杂增强原理

2.6 复合材料界面及其改性

2.7 复合材料界面表征

2.7 复合材料界面表征

- ❖ 界面形态及界面层结构的表征
- ❖ 界面结合强度的表征
- ❖ 界面残余应力的表征
- ❖ 增强体表面性能的表征

思考题

- ❖ 1、界面结合强度表征有哪些方法？你认为哪一种或哪几种方法比较具有发展前途，为什么？

(脱粘、顶出、拔出、动态加载、声发射、扭辫分析、宏观)

- ❖ 2、你认为在复合材料界面结构表征与复合材料宏观力学性能之间还有哪些工作需要完善，你有什么好的建议？

(界面层厚度与结构——图像分析，快速获得统计结果和分布、结构与界面结合强度之间的关系、非破坏性观察)

第三章 复合材料的增强材料

- 在复合材料中，粘结在基体内以改进其机械性能的高强度材料称为增强材料。

- _____
- _____

一、纤维及其织物

- ❖ 玻璃纤维
- ❖ 碳纤维
- ❖ 硼纤维
- ❖ 氧化铝纤维
- ❖ 碳化硅纤维
- ❖ 芳纶纤维

纤维简介

；矿

。

，而
等。

- 纤维可分为无机纤维和有机纤维。

-

-

倍。

5

0

(一) 无机纤维

- 1、玻璃纤维
- 2、碳纤维
- 3、硼纤维
- 4、氧化铝纤维
- 5、碳化硅纤维
- 6、其他纤维

1、玻璃纤维（Glass Fiber, GF）

- 玻璃纤维简介及分类
- 玻璃纤维的结构及化学组成
- 玻璃纤维的物理性能与化学性能
- 玻璃纤维及其制品的制造工艺
- 玻璃纤维制品的性能及应用

1) 玻璃纤维简介及分类

- ❖ 随着**玻璃钢**工业的发展，**玻璃纤维**工业也得到迅速发展。
- ❖ **国外**玻璃纤维的主要特点如下：
 - A、普遍采用**池窑拉丝**新技术；
 - B、大力发展**多排多孔拉丝**工艺；

C、大量生产**无碱纤维**；

D、大力发展**无纺织玻璃纤维织物**，**无捻粗纱**和**短切纤维毡片**所占比例增加；

E、重视纤维—树脂**界面**的研究，**偶联剂的品种**不断增加，玻璃纤维的**前处理**受到普遍重视。

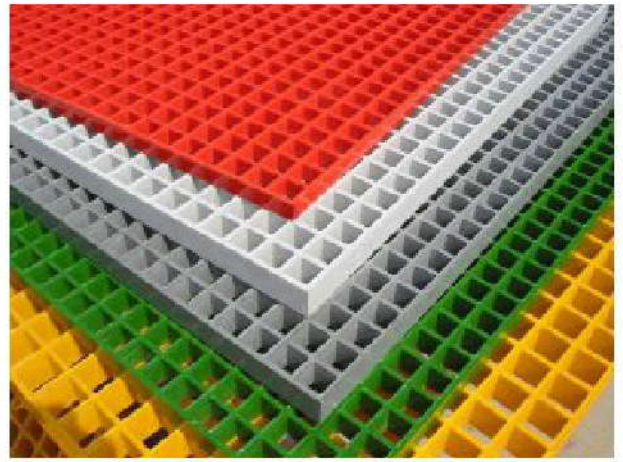


图1 玻璃纤维和玻璃钢制品

- ❖ 我国**玻璃纤维工业**诞生于1950年，当时只能生产绝缘材料用的**初级纤维**。
- ❖ 1958年以后，**玻璃纤维工业得到迅速发展**，纤维品种呈现出多样
- ❖ 现在全国有大年产量为5万吨**粗纤维**方向发展。

玻璃纤维
正向粗纤

玻璃纤维的分类

- ❖ 玻璃纤维的分类方法很多。通常从玻璃原料成分、
_____。
- ❖ _____
_____类。
一般以不同的含碱量分为四类。
- ❖ 无碱玻璃纤维、中碱玻璃纤维、有碱玻璃纤维、特
种玻璃纤维。

无碱玻璃纤维

- ❖ 无碱玻璃纤维(通称E玻纤), 以钙铝硼硅酸盐组成的玻璃纤维, 强度较高, 耐热性和电性能优良, 能抗大气侵蚀, 化学稳定性也好(但不耐酸)。
- ❖ 无碱玻璃纤维最大的特点是电性能好, 因此也把它称做电气玻
—
- ❖ 国内外大多数都使用这种 E 玻璃纤维作为复合材料的原材料。
- ❖ 国内规定其碱金属氧化物含量不大于0.5%, 国外一般为1%左右。

中碱玻璃纤维

- ❖ 它是指碱金属氧化物含量在11.5% ~ 12.5%之间的玻璃纤维。
- ❖ 国外没有这种玻璃纤维，它的主要特点是耐酸性好，但强度不如E玻璃纤维高。
- ❖ 它主要用于耐腐蚀领域中，价格较便宜。

有碱玻璃(A玻璃)纤维

- ❖ 有碱玻璃称A玻璃，类似于窗玻璃及玻璃瓶的钠钙玻璃。
- ❖ 此种玻璃由于含碱量高，强度低，对潮气侵蚀极为敏感，因而很少作为增强材料。

特种玻璃纤维

- ❖ 如由纯镁铝硅三元组成的高强玻璃纤维，镁铝硅

—
等。

玻璃纤维的其它分类方法

- ❖ 以单丝直径分类，单丝呈圆柱形，以其直径的不同可以分为

	粗纤维	初级纤维	中级纤维	高级纤维 (纺织纤维)	超细纤维
直径 (um)	≥ 30	$\geq 20 \text{ um}$	$10 \sim 20 \text{ um}$	$3 \sim 10 \text{ um}$	$\leq 4 \text{ um}$

- ❖ **单丝直径**不同，不仅使纤维的**性能**有差异，而且影响到纤维的**生产工艺、产量和成本**。
- ❖ 一般**5 ~ 10 um**的纤维作为**纺织制品**使用，**10 ~ 14 um**的纤维一般做**无捻粗纱、无纺布、短切纤维毡**等较为适宜。

❖ 以纤维外观分类，有连续纤维，其中有无捻粗纱及

❖ 玻璃纤维、耐碱玻璃纤维、耐酸玻璃纤维、普通玻璃纤维(指无碱及中碱玻璃纤维)。

2) 玻璃纤维的结构及化学组成

- ❖ 玻璃纤维的拉伸强度比块状玻璃高许多倍，但经研究证明与玻璃相同。
- ❖ 关于玻璃结构的假说到目前为止，比较能够反映实际情况的是“微晶结构假说”和“网络结构假说”。

❖ 微晶结构假说的要点：玻璃是由硅酸块或二氧化硅的“微

❖

❖

填充的Na、Ca等阳离子称为网络改性物。

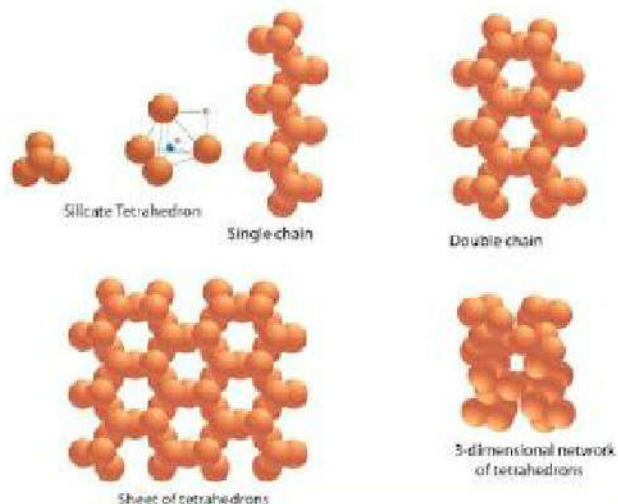
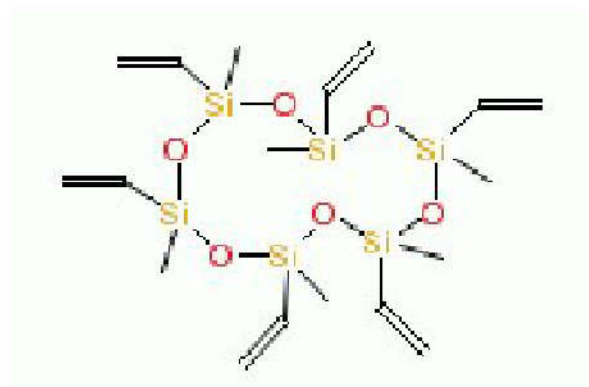


图2 微晶结构和网络结构模型

- ❖ 玻璃纤维的化学组成主要是二氧化硅、三氧化二硼、氧化钙、三氧化二铝等。
- ❖ 玻璃纤维的化学组成对玻璃纤维的性质和生产工艺起决定性作用，以二氧化硅为主的称为硅酸盐玻璃，以三氧化二硼为主的称为硼酸盐玻璃。
- ❖ 氧化钠、氧化钾等碱性氧化物为助熔氧化物，它可以降低玻璃的熔化温度和粘度，使玻璃熔液中的气泡容易排除。
- ❖ 助熔氧化物主要通过破坏玻璃骨架，使结构疏松，从而达到助熔的目的。
- ❖ 氧化钠和氧化钾的含量高，玻璃纤维的强度、电绝缘性能和化学稳定性都会相应的降低。

❖ 加入氧化钙、三氧化二铝等，能在一定条件下构成

❖

❖

度、硬化速度及粘度范围。

3) 玻璃纤维的物理性能与化学性能

❖

❖

❖

由于表面光滑，纤维之间抱合力非常小，不利于和树脂粘结；又由于呈圆柱状，所以玻璃纤维彼此相靠近时，空隙填充得较为密实。

乎是完整的圆形。

- ❖ 玻璃纤维的密度为2.16 ~ 4.30 g / cm³，其密度较有机纤维大很多，几乎与铝相似。
- ❖ 由于玻璃纤维的表面处理的效果对性能的影响很大。

- ❖ 玻璃纤维的最大特点是**拉伸强度高**。
- ❖ 一般**玻璃制品**的拉伸强度只有40 ~ 100 MPa，而直径3 ~ 9 μm 的**玻璃纤维**拉伸强度则高达1500 ~ 4000 MPa，较一般合成纤维高约10倍，比合金钢还高2倍。
- ❖ 对玻璃纤维高强的原因，许多学者提出了不同的假说，其中比较有说服力的是**微裂纹假说**。
- ❖ **微裂纹假说**认为，玻璃的理论强度取决于**分子或原子间的**

表1 几种纤维材料和块体材料的强度

材料 性能	羊毛	亚麻	棉花	生丝	尼龙	高强合金钢	铝合金	玻璃	玻璃纤维
纤维直径 (μ)	15	16~50	10~20	18	块状	块状	块状	块状	5~8
拉伸强度 (kg/cm^2)	10~30	35	30~70	44	30~60	160	4~46	4~12	100~300

- **玻璃纤维**比玻璃的**强度高**很多，主要有两方面的原因：



表2 玻璃纤维拉伸强度与直径的关系

纤维直径(μ)	拉伸强度(MPa)	纤维直径(μ)	拉伸强度(MPa)
160	175	19.1	942
106.7	297	15.2	1300
70.6	356	9.7	1670
50.8	560	6.6	2330
33.5	700	4.2	3500
24.1	821	3.3	3450

表3 玻璃纤维拉伸强度与纤维长度的关系

纤维长度(mm)	纤维直径(μm)	平均拉伸强度(MPa)
5	13.0	1500
20	12.5	1210
90	12.7	860
1560	13.0	720

- 一般来说，含碱量越高，纤维的强度越低。高强玻璃纤维强度明显地高于无碱玻璃纤维，而有碱纤维强度更低。
- 研究表明，高强和无碱玻璃纤维由于成型温度高、硬化速度快、结构键能大等原因，而具有很高的拉伸强度。
- 当纤维存放一段时间后，会出现强度下降的现象，称为纤维的老化。
- _____ 的化学稳定性。

表4 纤维强度与化学组成、表面缺陷的关系

品 种	A 玻纤	E 玻纤	铝硅酸盐玻纤	石英玻纤	表面缺陷状况
强 度 (MPa)	80 ~ 150	80 ~ 150	80 ~ 150	80 ~ 150	表面有微裂纹
	500 ~ 700	600 ~ 800	80 ~ 1000	2000	表面有超细微裂纹
	2000	2100	2500	4000	表面有微裂纹
	—	3000	3300	5000 ~ 6000	无缺陷纤维
	7000	—	—	22500	理想均匀的玻璃结构

玻璃纤维的**疲劳、成型方法和条件**对强度也有很大影响。

玻璃**硬化速度越快**，拉制的**纤维强度也越高**。

- 玻璃纤维的延伸率比有机纤维低，一般为3%左右。

- _____应力和应变

- _____与铝相当，
的刚度较低。

- _____其化学组成。
性模量。

- _____明它们具有

- 玻璃纤维的**耐磨性**是指纤维抵抗磨损的能力，**耐折性**是指纤维_____
- 玻璃_____或断裂，
- 玻璃_____玻璃纤维后，其导热系数只有**0.03**千卡 / 米·度·时。
- 纤维间的空隙较大，容重较小，其**导热系数小**，主要是因为**空气导热系数低**所致；而**导热系数越小**，**隔热性能越好**。
- **温度的变化对玻璃纤维的导热系数影响不大**。

❖ 玻璃纤维耐热性较高，软化点为550 ~ 580℃，其热

❖

❖

温)，强度变化不大；

❖ 石英和高硅氧玻璃纤维的耐热性则可达到2000℃以上。

- ❖ 玻璃纤维的导电性主要取决于**化学组成、温度和湿度**。
- ❖ **无碱纤维的电绝缘性能比有碱纤维优越得多**。
- ❖ 这主要是因为**无碱纤维中碱金属离子少**的缘故。碱金属离子越少，电绝缘性能越好；
- ❖ 玻璃纤维的**电阻率随着温度的升高而下降**。

表5 空气湿度对玻璃布电阻率影响

玻璃布种类	空气相对湿度(%)下的不同电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$)				
	20	40	60	80	100
无碱玻璃布	2×10^{15}	6×10^{14}	7×10^{13}	9×10^{12}	3.4×10^{11}
有碱玻璃布	4×10^{13}	1.8×10^{12}	7.5×10^{11}	9.8×10^{10}	2.8×10^4

- ❖ 玻璃是优良的透光材料，但制成**玻璃纤维**制品后，其**透光性**远不如玻璃。
- ❖ 玻璃纤维制品的**光学性能**以**反射系数**、**透光系数**和**亮度系数**来表示。
- ❖ **密度小而薄**的玻璃布，透光系数可达**65%**；
- ❖ **密度大而厚**的玻璃布，透光系数只有**18%~20%**。

表6 不同织纹玻璃布的光学性能

织 纹	系 数 %		
	透 光	反 射	亮 度
平 纹	54.0	45.0	1.66
缎 纹	32.6	60.0	2.46
蔓 草 花 纹	26.5	65.0	1.15

- 玻璃纤维除对氢氟酸、浓碱、浓磷酸外，对所有化学药品和有机溶剂都有良好的化学稳定性。
- 玻璃纤维单纤即使与水接触，强度也不发生变化。
- 只有在含碱玻璃纤维中，由于玻璃纤维中所含的碱分溶出，强度才会下降。
- 影响玻璃纤维化学稳定性的因素：化学成分、纤维表面情况、侵蚀介质体积和温度、玻璃纤维纱的规格及性能。

- 玻璃是一种非常好的耐腐蚀材料，但拉制成玻璃纤



4) 玻璃纤维及其制品的制造工艺

- ❖ 玻璃纤维的制造工艺有坩埚法和池窑法两种。
- ❖ **坩埚法**的基本过程：也称“二步法”，是将矿物原料根据要求的配方制成玻璃小球，而代铂拉丝坩埚内再熔后拉丝。
- ❖ **坩埚法**不仅存在能源的二次而且单机产量低，产品质量差，生产成本低，不能满足生产的需要。
- ❖ **池窑法**的基本过程：也称“一步法”，它不需要先制成玻璃小球，而是直接将各组分天然矿石原料按配比同时投入池窑内熔融拉丝。

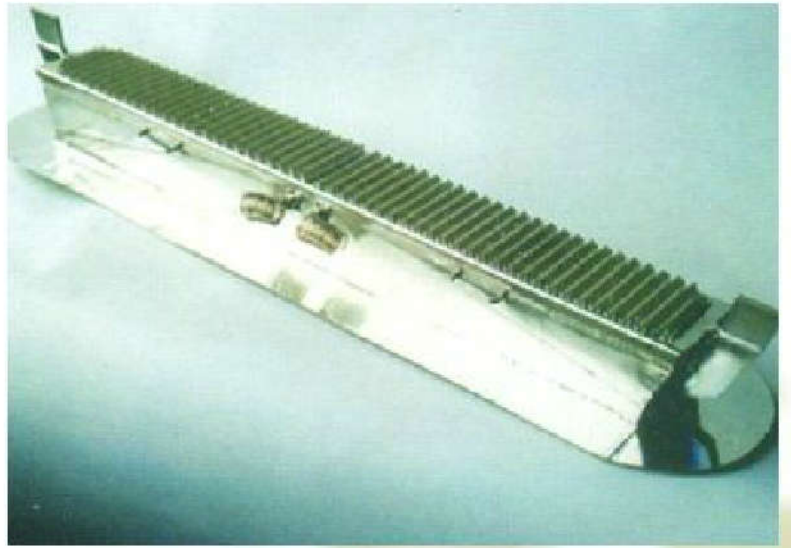


图3 坩埚法的示意图及装置



图4 池窑法的示意图

浸润剂的作用和类型

- ❖ 玻璃纤维很容易由表面缺陷引起损伤，为了减少损伤和便于纤维的操作，而采用浸润剂涂覆处理。
- ❖ 润滑作用，防止纤维间的磨损，使纤维的表面得到
- ❖ _____ 使单丝集束成原纱或丝束；
- ❖ _____，防止纤维表面聚集静电荷；
- ❖ _____ 使纤维能够获得与基体材料良好的黏结性能。

环氧或聚酯乳液成膜剂，赋予玻纤以良好的浸透性，制成玻璃钢制品清澈、透明，无白丝，界面结合力强，耐老化、耐候性好。

组分名称	
环氧乳液 (或聚酯乳液)	4~9
水溶性环氧	0.4~1.5
润滑剂 A	0.05~0.5
润滑剂 B	0.03~0.1
润滑剂 C	0.~0.3
抗静电剂	0.05~0.2
偶联剂 A - 174	0.2~0.5
冰醋酸	0.03~0.1
去离子水	余量

图5 典型的方格布浸润剂配方

- ❖ 常用的浸润剂有石蜡乳剂和聚酯酸乙烯酯两种，前者
- ❖ _____ 脂对玻璃布
- ❖ _____ 使用时不需清除。

5) 玻璃纤维制品的性能及应用

❖ 玻璃纤维纱一般分为加捻纱和无捻纱两种。

❖

❖

❖

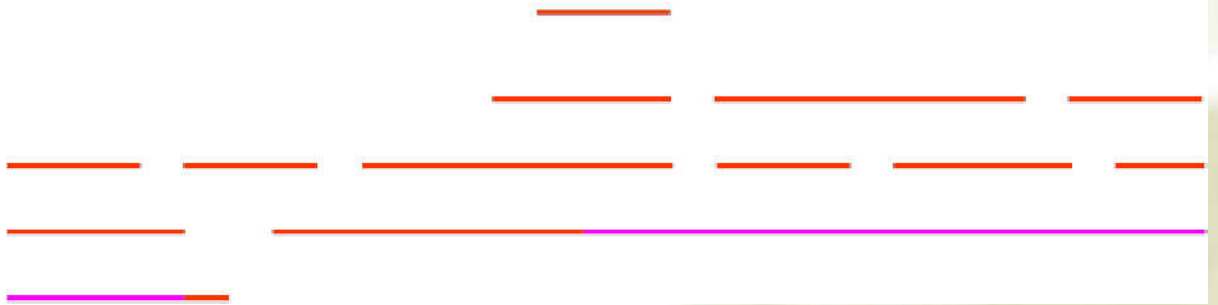




图6 主要玻璃纤维制品（一）



图7 主要玻璃纤维制品（二）



图8 特种玻璃纤维制品（耐高温、中空玻璃纤维）

1、玻璃纤维

- 玻璃纤维简介及分类
- 玻璃纤维的结构及化学组成
- 玻璃纤维的物理性能与化学性能
- 玻璃纤维及其制品的制造工艺
- 玻璃纤维制品的性能及应用

思考题

- 1、玻璃纤维有哪些主要物理和化学特性，这些性能在玻璃钢制品中发挥怎样的作用？
- 2、玻璃纤维有哪些制品，它们主要应用在哪些场合？你觉得还可以开发哪些玻璃纤维制品？

