

# 第一章

## 绪论



# 1.1 复合材料的定义、组成及特点

简而言之，复合材料是指将两种或两种以上不同性能的材料，用适当的方法复合而成的一种新材料，其性能比单一材料性能优越。

材料界资深专家、两院院士师昌绪在《材料大词典》中给出比较全面完整的定义：复合材料是由有机高分子、无机非金属或金属等几类不同的材料通过复合工艺组合而成的新型材料，它既能保留原组分材料的主要特色，又通过复合效应获得原组分所不具备的特殊性能。可以通过材料设计使各组分的性能互相补充并彼此关联。从而获得新的优越性能，与一般材料简单混合有本质的区别。

例：玻璃钢、砂浆、混凝土、篱笆等都是复合材料。



# 复合材料的分类

## 1、按基体材料类型分为

聚合物基复合材料（PMC）、金属基复合材料（MMC）  
无机非金属基复合材料，包括陶瓷基复合材料和水泥基  
复合材料（CMC）等

## 2、按增强材料类型分为

玻璃纤维增强复合材料；碳纤维增强复合材料、芳纶（K  
evlar）纤维增强复合材料、UHMW-PE纤维增强复合材  
料等

## 3、按用途分为

结构复合材料、功能复合材料、结构功能一体化复合材  
料



# 复合材料的组成与特点

复合材料是一种多相材料。 包含三种基本的物理相：

基体相：连续相材料

增强相：分散相材料

界面相：增强相与基体相之间的交界面

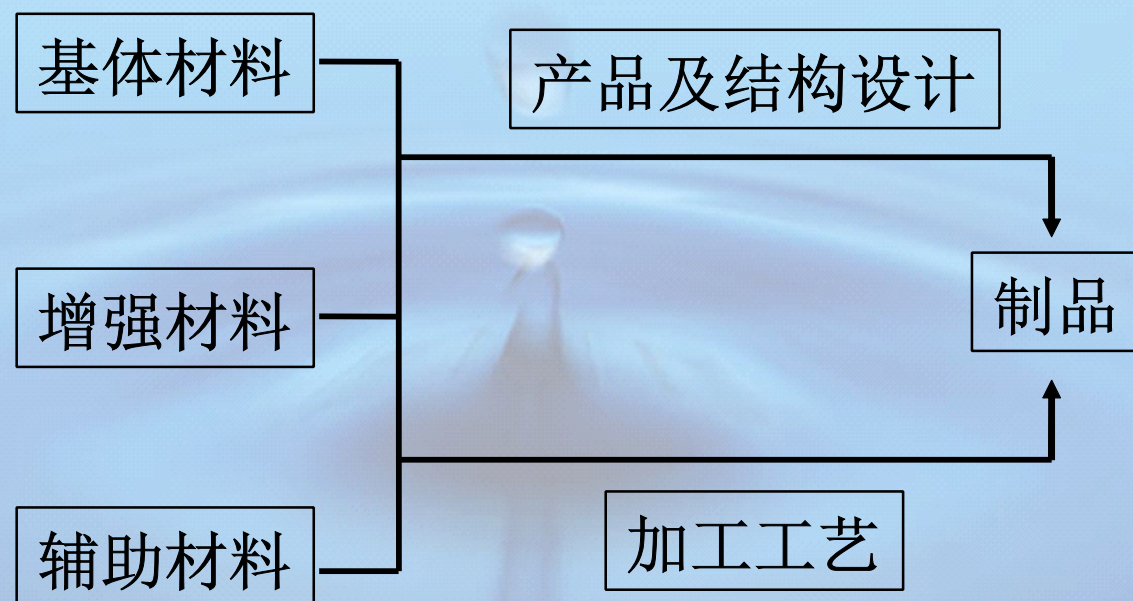
特 点：非均质材料，各向异性；

可设计性强。

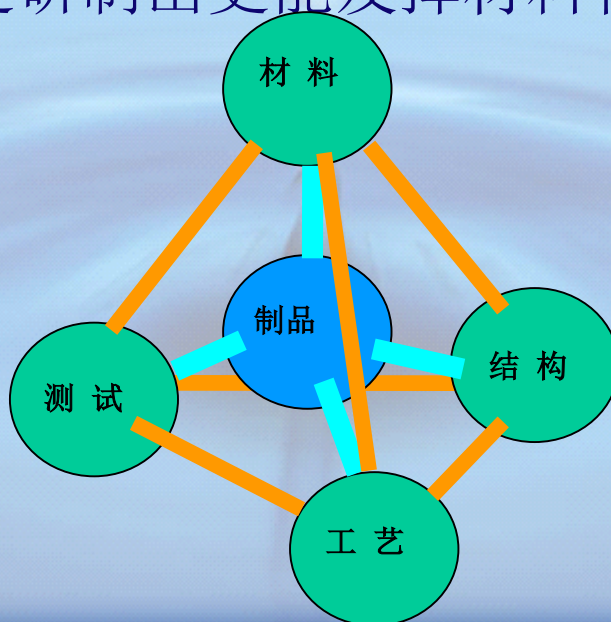


# 复合材料的组成与特点

## PMC（材料与制品）组成关系



与传统材料相比，复合材料既是一种材料，也是一种结构，而且材料、结构、功能具有一致性。这种材料和结构特性，只能通过具体的制品才能得以体现，因此无论是从事复合材料理论研究，还是工程技术研究的目标都是研制出更能发挥材料特性与效率的制品及制备方法。



复合材料制品与各要素关系图



# 基体材料在复合材料中的作用

## 1、粘结作用

基体材料作为连续相，把单根纤维粘成一个整体，使纤维共同承载。

## 2、均衡载荷、传递载荷

在复合材料受力时，力通过基体传给纤维。

## 3、保护纤维

在复合材料的生产与应用中，基体可以防止纤维受到磨损、遭受浸蚀。



# 基体材料系统的选配原则

基体材料从使用性能、工艺性能以及经济性三方面统筹考虑，择优选用。

(1) 使用性能（性能）

(2) 工艺性能（工艺）

(3) 经济性（成本）

重要性次序：使用性能 > 工艺性能 > 经济性





## 1.2 基体材料的基本组分及其作用

### 1、聚合物

是基体的主要组分，对复合材料的工艺性能和成型方法起决定作用。

如：UP、EP、PP、PVC等。

### 2、助剂

改进工艺性能、或降低成本。

如：固化剂（引发剂/促进剂）、稀释剂、增韧剂（增塑剂）、触变剂、填料和颜料等。



- 1) 固化剂（引发剂/促进剂）：固化成形，使聚合物由线型结构变成体型结构。
- 2) 稀释剂：降低树脂粘度。有活性与非活性之分。
- 3) 增韧剂：降低脆性，提高韧性。有活性与非活性之分。
- 4) 触变剂：提高树脂在静态下的粘度。用于立面成型。
- 5) 填料：改善性能，降低成本。
- 6) 颜料：着色。



# 1.3 基体材料的基本性能

## 1.3.1 力学性能

### 1、强度与模量

决定聚合物强度的主要因素是分子内和分子间力。聚合物材料的破坏，是由主链上化学键的断裂或是聚合物分子链间相互作用力的破坏造成。

基体的粘结力和模量是支配基体传递应力的两个最重要的因素。这两个因素联合作用，可影响到复合材料拉伸时的破坏形式。



## 2、树脂的内聚强度与其结构的关系

随固化反应交联密度提高，内聚强度不断增大直至相对稳定；若继续使交联密度增加到很大，树脂的形变能力降低，呈现脆性。

内聚强度：在拉伸试验中假如材料没有显示出塑性变形，而引起材料断裂的理论应力。

## 3、树脂的断裂伸长率与结构的关系

1) 大分子链的柔顺性：由C—C键组成的脂肪链是柔性链的代表，具有柔性链结构的树脂，伸长率较大；具有刚性链结构（苯环、萘环、联苯环等）的树脂，具有相当大的刚性，伸长率较小。

2) 大分子链间的交联密度：交联密度越大，树脂的伸长率越小，呈现脆性。



#### 4、树脂的体积收缩率与其结构的关系

热固性树脂在固化时伴随着体积收缩现象。

影响树脂体积收缩的因素是固化前树脂系统密度、固化网络结构的紧密程度、固化过程有无小分子释放等。

低收缩添加剂（LPA）：热塑性聚合物

几种树脂的固化收缩率如下：

环氧树脂：1~2%

不饱和聚酯树脂：4~8%

酚醛树脂：8~10%



### 1.3.2 耐热性能

将聚合物加热，一般会发​​生物理及化学变化。

物理变化指树脂的变形、软化、流动、熔融。

化学变化指分子链断裂、交联、氧化、产生气体、质量变化（热失重）等。

物理耐热性：以树脂在一定条件下仍然保留其作为基体材料的强度或强度保留率来表示。

化学耐热性：以树脂在发生热老化时的温度范围来表示。如：玻璃化转变温度（ $T_g$ ）、热变形温度等。



# 提高树脂耐热性的途径

## 1) 增加高分子链的刚性

如在主链中尽量减少单键，引进共轭双键、三键或环状结构（包括苯环和杂环）。

## 2) 进行结晶

在主链上引入醚键、酰胺键或在侧基上引入羟基、氨基或氰基，都能提高结晶高聚物的熔融温度。

## 3) 进行交联

随交联密度的增加。树脂耐热性不断提高。



### 1.3.3 耐腐蚀性

基体对水、酸和碱的抵抗能力一般比玻纤好，而对有机溶剂的抵抗能力要比玻纤差。树脂和介质之间作用引起的腐蚀，主要有物理作用与化学作用。

物理作用：指树脂吸附介质引起溶胀或溶解导致树脂结构破坏，性能下降。

化学作用：指树脂分子在介质作用下引起化学键的破坏。或生成新的化学键而导致结构破坏，性能下降。





影响树脂耐溶剂介质能力的最根本的内因是组成体系的化学结构所决定，相互间极性大小、电负性与相互间溶剂化能力都影响耐化学腐蚀性能。（相似相溶原理：溶解度参数相近）

结论：一般树脂的极性越弱，交联密度越大，耐介质腐蚀性越好。



### 1.3.4 电性能

树脂分子由共价键组成，是一种优良的绝缘材料。

影响树脂电绝缘性能的因素有两个：

一是大分子链的极性；二是已固化树脂中杂质的存在。

1) 树脂大分子链中极性基团越多，极性越大，则电绝缘性越差；

2) 已固化树脂中的杂质越少，则电性能越好。



# 电性能参数

体积电阻率 ( $\rho_v$ )、  
表面电阻率 ( $\rho_s$ )、  
介电常数 ( $\epsilon$ )、  
介质损耗角正切 ( $\text{tg}\delta$ )、  
击穿强度



# 1.4 聚合物的分类

1) 按大分子形态可分为:

线性、支链、部分交联、交联网状结构



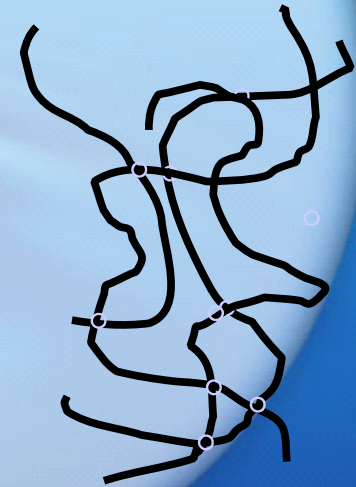
线性



支链



部分交联



交联网状

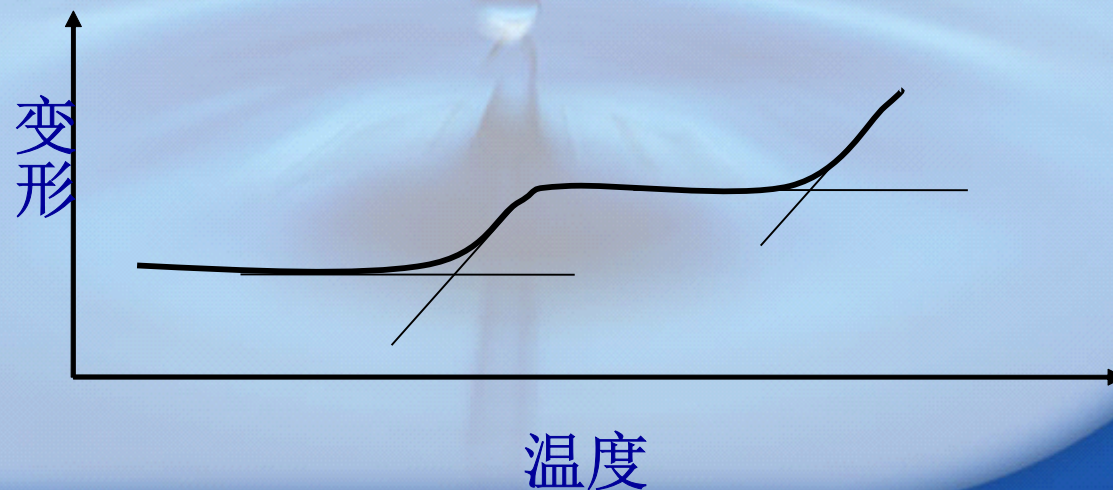


2) 按用途分类:

纤维、橡胶、塑料（树脂）、涂料、粘结剂

3) 按聚集态分类:

玻璃态、高弹态、粘流态



#### 4) 按物理特性

##### 热固性:

分子链之间通过化学键连结、形成的不溶、不熔的三向网络结构，加热不能改变其形状。

##### 热塑性:

分子链呈线形或支化、部分交联形态存在，可以通过加热改变其形状。



## 1.5 聚合物的发展概述

- 1907年酚醛树脂成为第一种合成树脂
- 1927年聚氯乙烯（PVC）
- 1931年聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）
- 1938年尼龙66纤维
- 1939年三聚氰胺-甲醛树脂
- 1941年不饱和聚酯树脂
- 1942年环氧树脂



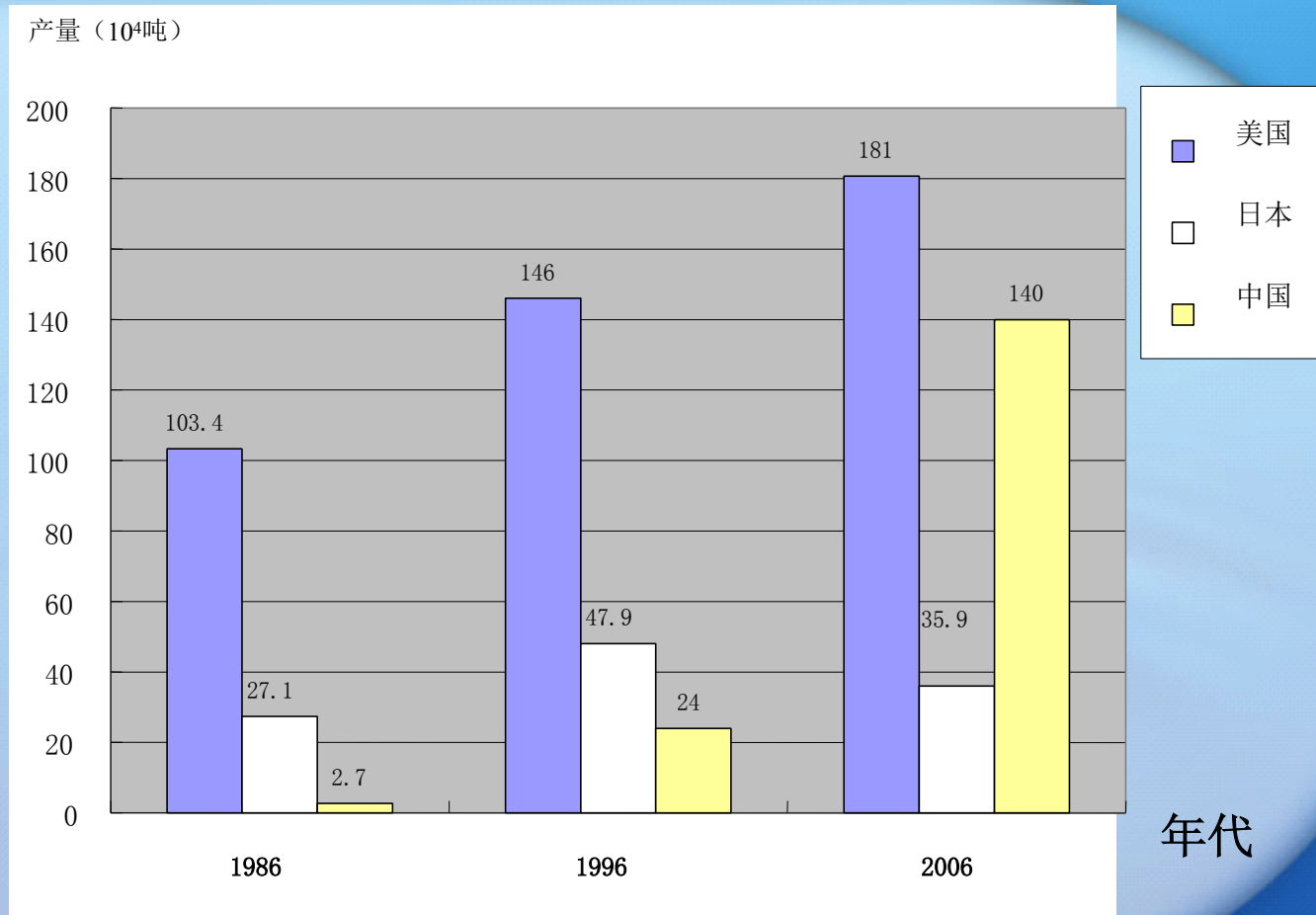
# 聚合物及其复合材料的进展

- 神舟飞船主承力结构、低密度模塑料等FRP件荣获国家科技进步二等奖，标志着我国复合材料科学技术已达到世界先进水平；
- 历经20年，我国玻璃钢/复合材料年产量已超过日本、欧洲，跃居世界第二大国，显示了当今我国FRP行业的活力。
- 1986-2006，我国玻璃钢（热固性）增长51倍。总量在上世纪90年代末期超过德国，本世纪初超过日本，热固性玻璃钢已超过欧洲总和。我国玻璃钢的总产量现仅次于美国（美国2005年热固性玻璃钢186万吨，热塑性玻璃钢140万吨）。





## 产量 (10<sup>4</sup>吨)



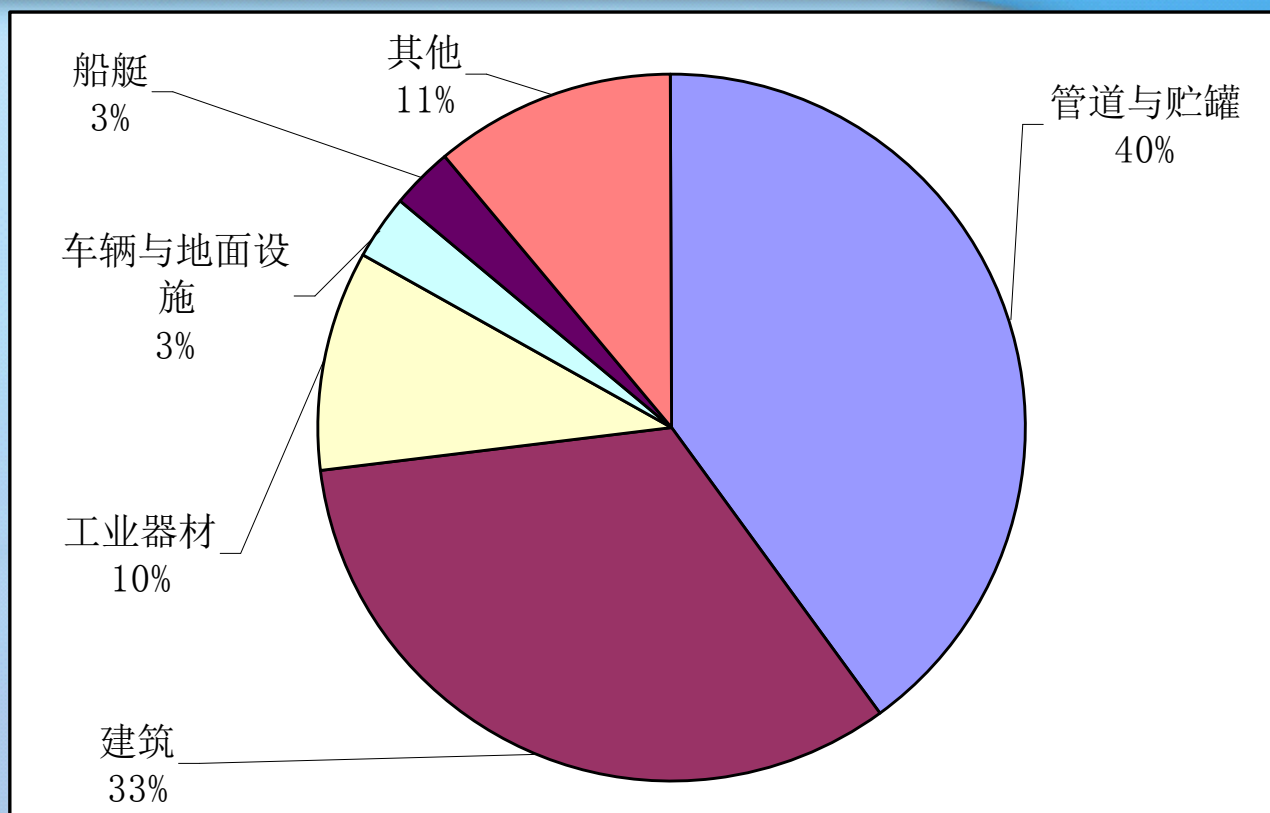
1985—2006年中、美、日热固性玻璃钢产量



# 基体材料方面现状

- 不饱和聚酯树脂（UPR）：2006年年产量达到110万吨。我国已超过美国成为世界上不饱和聚酯树脂产量与用量最大的国家。（美国2006年产量为87万吨）。
- 环氧树脂（EP）：我国现在已经是环氧树脂产量、进口量、消费量最大的国家。2006年我国产量52万吨。
- 酚醛树脂（PH）：2006年我酚醛树脂产量约40万吨，约为日本年产量的1.4倍；2006年酚醛树脂胶衣研发成功，性能优于英国水平。





当前我国主要玻璃钢产品市场比例



## “十五”末期我国GF/UPR各类成型工艺产品比例

手糊 (含喷射)	纤维缠绕	SMC/BMC	拉挤	连续板材	其它
40	30	14	9	4	3



本章结束

