



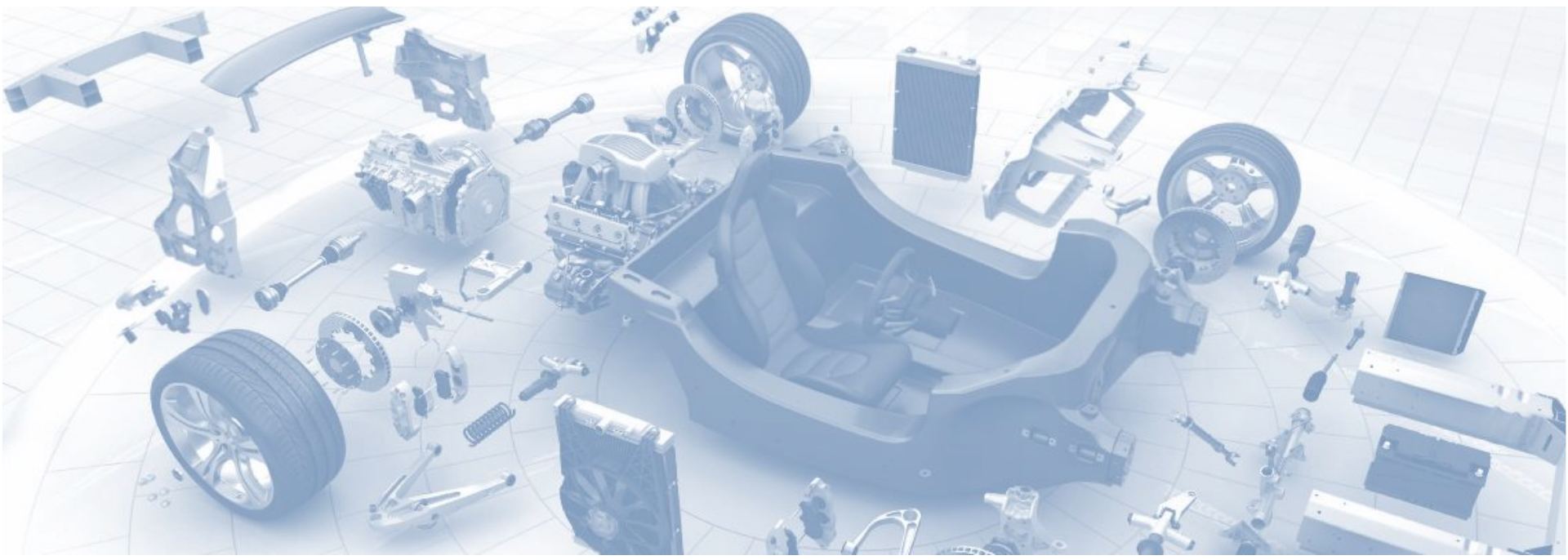
工程材料精品课程

## 第三篇 无机非金属材料

# 第八章 陶瓷材料

华南理工大学---材料学院---无机系

2021年





# 陶瓷材料

采用较纯的原料、精确控制的化学组成及易于控制的制备加工技术制备的具有优异特性的陶瓷。

陶瓷材料

传统陶瓷  
Traditional Ceramics

普通陶瓷  
Ordinary Ceramics

先进陶瓷  
Advanced Ceramics  
高性能陶瓷  
High Performance Ceramics  
工程陶瓷  
Engineering Ceramics  
高技术陶瓷  
High-Tech Ceramics  
特种陶瓷  
Special Ceramics



## 先进陶瓷与普通陶瓷的比较

	原料	组成	工艺	性能	应用
先进陶瓷	高纯超细的合成原料或精制原料	由纯化合物配比决定，成分简单、精确，稳定性好	用新工艺制备	对性能和功能有特殊的要求	机械、电子、信息、能源、化工、医疗、航空航天、武器装备等领域
普通陶瓷	天然矿物、粘土	由矿物和粘土的配比决定，成分复杂，稳定性不好	用传统工艺制备	一般对性能和功能没有特殊的要求	日常生活、建筑、装饰、化工、电工等领域

普通陶瓷



先进陶瓷





## 陶瓷材料的分类（按化学组成分类）

- ✓ **氧化物陶瓷**： $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 等
- ✓ **非氧化物陶瓷**：
  - 氮化物陶瓷： $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{TiN}$ 、 $\text{BN}$ 等
  - 碳化物陶瓷： $\text{SiC}$ 、 $\text{WC}$ 、 $\text{TiC}$ 等
  - 硼化物陶瓷： $\text{TiB}_2$ 、 $\text{ZrB}_2$ 等
  - 碳材料：石墨、金刚石
- ✓ **陶瓷基复合材料**：纤维增强陶瓷基复合材料、晶须增强陶瓷基复合材料、金属陶瓷等
- ✓ **金属陶瓷**

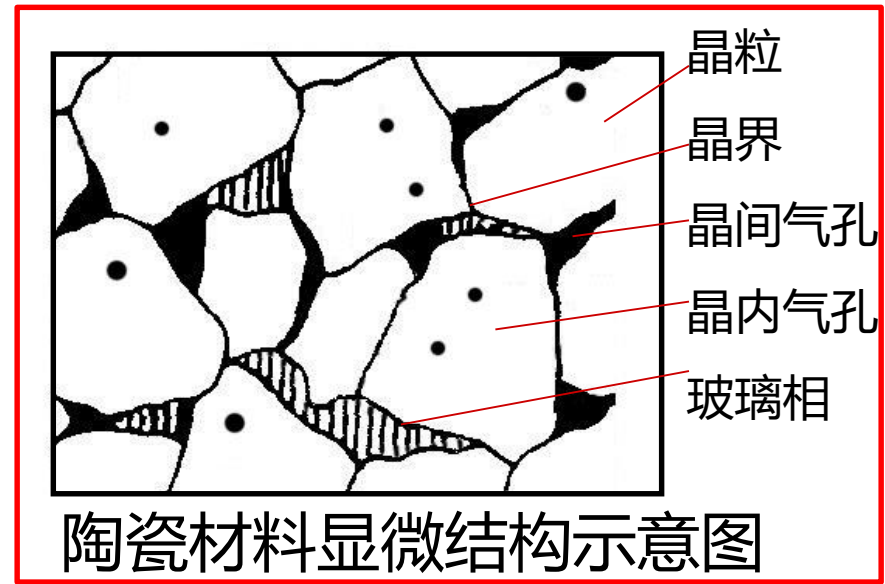




# 陶瓷材料的显微结构

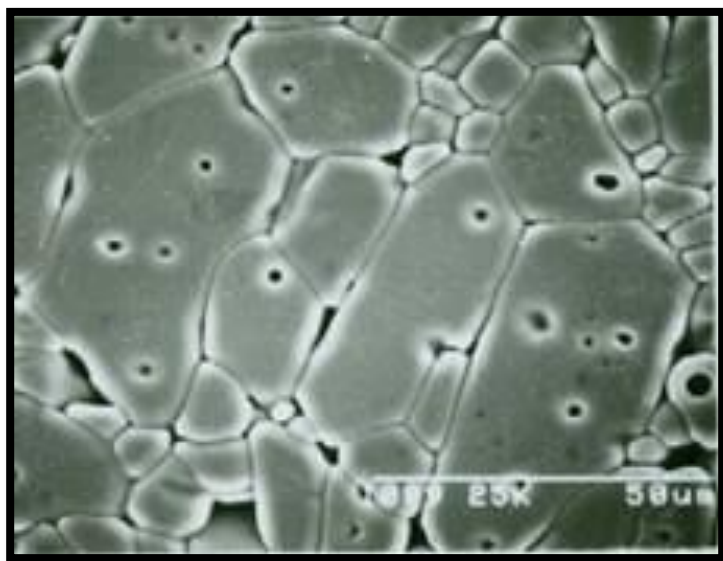
陶瓷材料是**多晶体**，通常由**晶相**、**玻璃相**和**气相**组成。陶瓷的性能取决于**组成**和**显微结构**。显微组织特征主要包括：

- 晶相的种类
- 晶粒的大小、形态、取向、分布
- 晶体缺陷
- 晶界
- 玻璃相的形态和分布
- 气孔的形态、大小、数量和分布
- 各种杂质、缺陷、裂纹存在的方式、大小、数量和分布
- 畴结构的状态和分布等

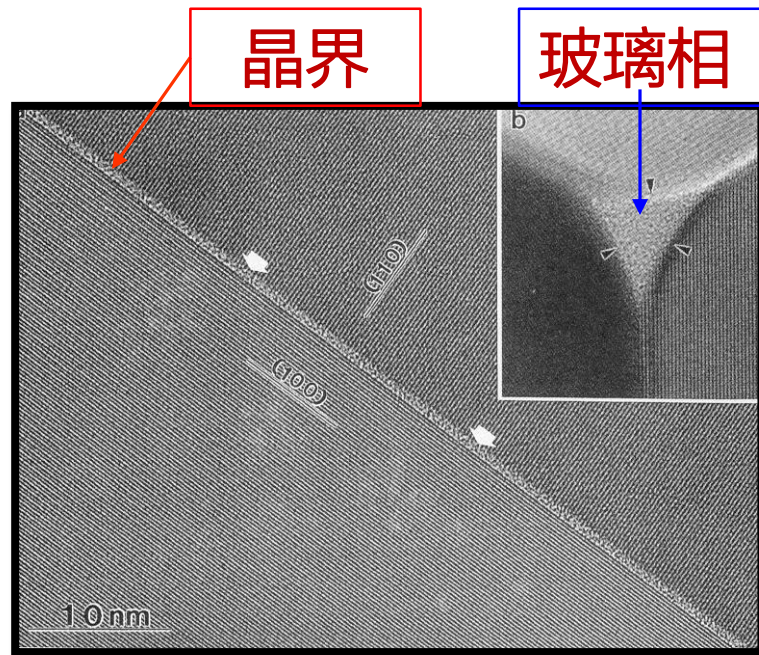




# 陶瓷材料的显微结构



氧化铝陶瓷的显微结构  
( SEM像 )



Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>陶瓷中的晶界和  
玻璃相 ( HRTEM像 )



# 陶瓷材料的性能

## 力学性能

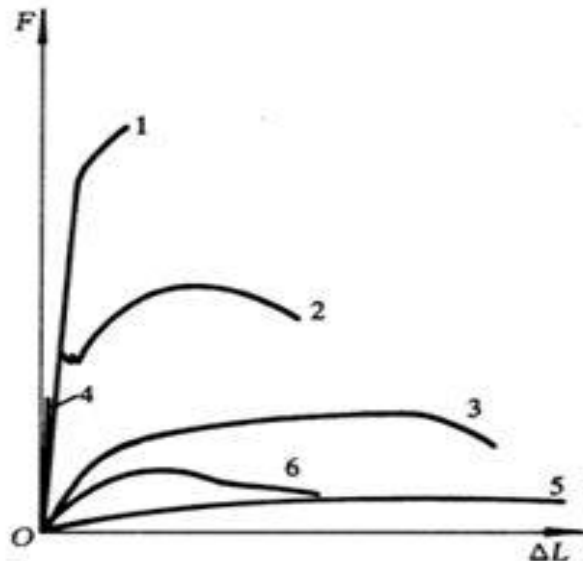
- 硬度高、耐磨
- 弹性模量高
- 强度高
- 断裂韧性低

## 化学性能

- 抗氧化
- 耐腐蚀

## 热学性能

- 熔点高、耐高温
- 热膨胀系数较低
- 热导率较低
- 抗热震性较差



几种典型材料的应力应变曲线

1. 淬火、回火的高碳钢；2. 低合金结构钢；3. 黄铜；4. 陶瓷；5. 橡胶；6. 工程塑料

**陶瓷材料是典型的脆性材料，断裂韧性低是限制陶瓷材料在机械工程领域广泛应用的重要原因**





## 第六节 工程用陶瓷材料



# 工程陶瓷与金属材料比较

性 能	结构陶瓷	金 属
密 度	中~低	高
弹性模量	高	较低
变形能力	很小	大
硬 度	很高	低
室温强度	中~高	高
高温强度	中	低
断裂韧性	低	高
耐 磨 性	好	较差
耐 热 性	好	较差
耐腐蚀性	好	较差
可加工性	差	好
可 靠 性	差	好



## 工程用陶瓷材料

- ✓ **氧化物陶瓷**： $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 等
- ✓ **非氧化物陶瓷**
  - 氮化物陶瓷： $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{TiN}$ 、 $\text{BN}$ 等
  - 碳化物陶瓷： $\text{SiC}$ 、 $\text{WC}$ 、 $\text{TiC}$ 等
  - 硼化物陶瓷： $\text{TiB}_2$ 、 $\text{ZrB}_2$ 等
  - 碳材料：石墨、金刚石
- ✓ **陶瓷基复合材料**：纤维增强陶瓷基复合材料、晶须增强陶瓷基复合材料等
- ✓ **金属陶瓷**：氧化物基和非氧化物基金属陶瓷



## 6.1 氧化铝陶瓷

### 3. 氧化铝陶瓷性能与应用

- 机械强度高
- 电阻率高，电绝缘性能好
- 硬度高，耐磨性能好
- 高温稳定性和化学稳定性优良、耐腐蚀

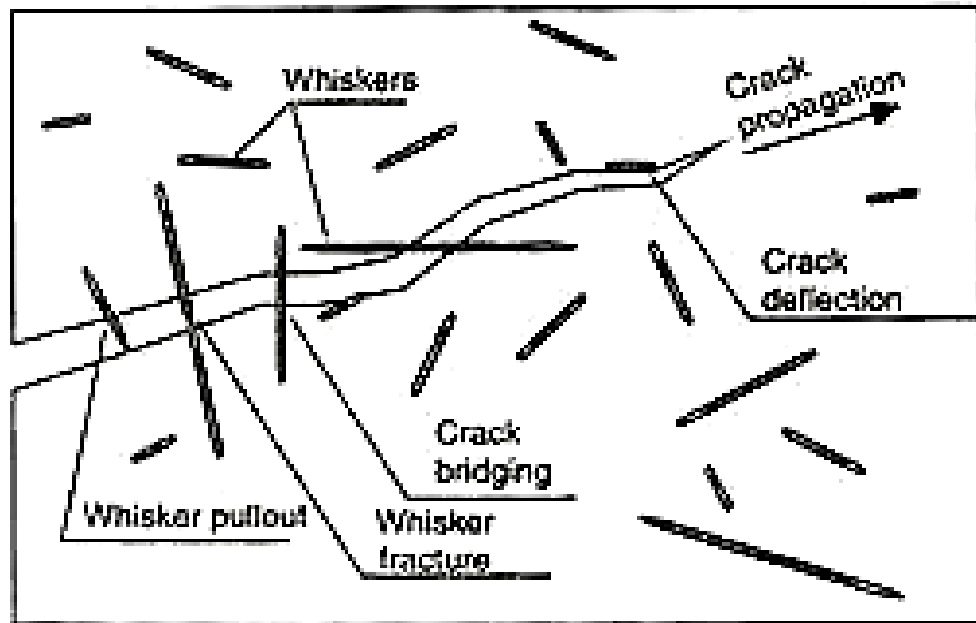
$\text{Al}_2\text{O}_3$ ( wt% )	> 99.9	> 99.7 <sup>a</sup>	> 99.7 <sup>b</sup>	99-99.7
密度 ( $\text{g}/\text{cm}^{-3}$ )	3.97-3.99	3.6-3.85	3.65-3.85	3.89-3.96
维氏硬度HV ( GPa ) ,	19.3	16.3	15-16	15-16
断裂韧性 $K_{\text{IC}}$ ( $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ )	2.8-4.5	-	-	-
杨氏模量 ( GPa )	366-410	300-380	300-380	330-400
弯曲强度 ( MPa )	550-600	160-300	245-412	550
热膨胀系数 ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) ( 200-1200 $^{\circ}\text{C}$ )	6.5-8.9	5.4-8.4	5.4-8.4	6.4-8.2
室温热传导率 $[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	38.9	28-30	30	30.4



## 6.1 氧化铝陶瓷

### 4、氧化铝陶瓷的增韧

- 相变增韧
- 颗粒弥散增韧
- 晶须增韧



晶须增强陶瓷的增韧机理

材 料	工 艺	抗弯强度 /MPa	断裂韧性 /MPa · m <sup>1/2</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / 20% SiC <sub>w</sub>	热压	800	8.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / 30% SiC <sub>w</sub>	热压	700	9.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / 40% SiC <sub>w</sub>	热压(1850℃)	1110	6.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / SiC <sub>w</sub>	常压烧结	414	4.3

SiC晶须增韧Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>陶瓷的抗弯强度和断裂韧性

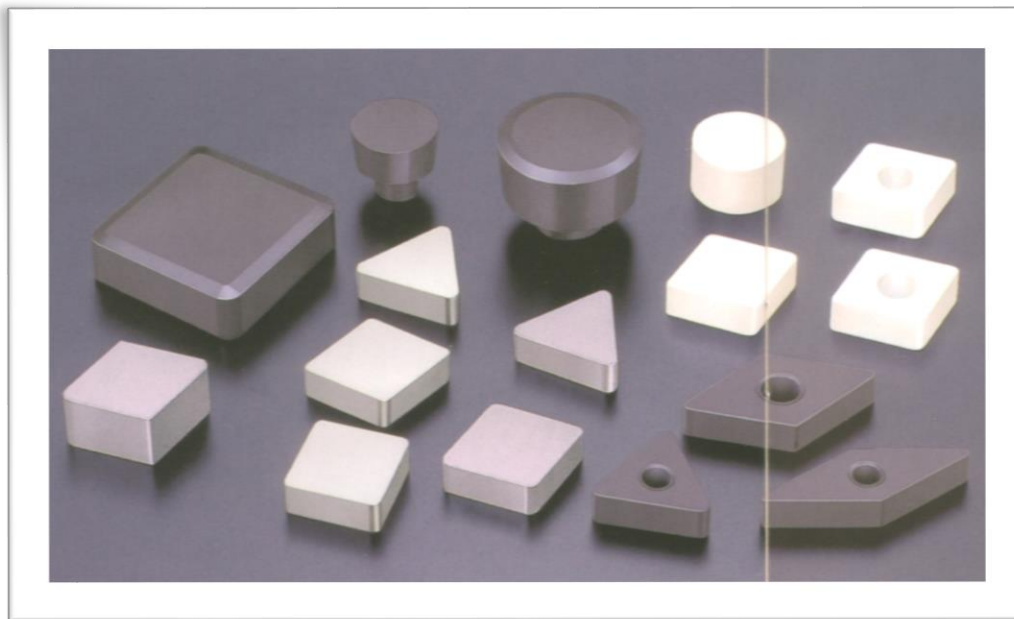




## 6.1 氧化铝陶瓷

### 5、氧化铝陶瓷在机械工程中的应用

- 机械零部件
- 切削刀具
- 密封件
- 阀件
- 轴承
- 纺织导纱器



氧化铝陶瓷刀具（白色）



## 6.2 氧化锆陶瓷

### 2. 氧化锆晶型的稳定化

- 在 $\text{ZrO}_2$ 中固溶入第二种氧化物（**稳定剂**），生成有限置换型固溶体，可使立方相和四方相稳定到室温
- 常用的稳定剂有 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CeO}_2$ 等。

完全为立方氧化锆的陶瓷称之为“**全稳定氧化锆**（FSZ）”

立方或四方与单斜共存的氧化锆陶瓷称为“**部分稳定氧化锆**（PSZ）”

完全为四方相的氧化锆陶瓷称为“**四方氧化锆多晶体**（TZP）”

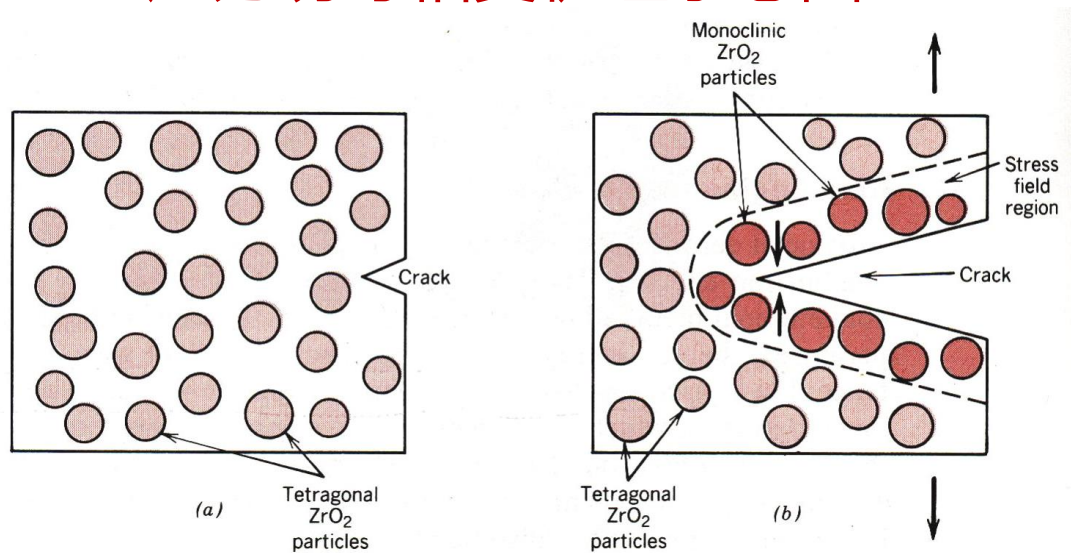


## 6.2 氧化锆陶瓷

### 3. 氧化锆相变增韧

**增韧机理**：当外加拉伸应力作用使亚稳四方 $\text{ZrO}_2$ 发生相变为单斜相时，其体积和形状的变化受到约束，产生应变，储存弹性应变能，吸收基体的应变能，提高断裂能，使材料的断裂韧性和强度得到提高。TZP陶瓷的断裂韧性可达接近铸铁的水平

### 应力诱导相变机理示意图



(a) 裂纹扩展前；(b) 应力诱导相变阻碍裂纹扩展



## 6.2 氧化锆陶瓷

### 5. 氧化锆陶瓷的性能与应用

断裂韧性和抗弯强度高、耐磨性好、隔热性能优异、热膨胀系数较大

几种部分稳定氧化锆（PSZ）的性能

性 能	Mg-PSZ	Ca-PSZ	Y-PSZ
稳定剂(质量分数, %)	2.5 ~ 3.5	3.0 ~ 4.5	5.0 ~ 12.5
硬度 HV	1440(2.8% MgO)	1710(4% CaO)	1360(5% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
抗弯强度/MPa	430 ~ 720	400 ~ 690	650 ~ 1400
弹性模量/GPa	200(2.8% MgO)	200 ~ 217	210 ~ 238
断裂韧度(20℃)/MPa·m <sup>1/2</sup>	7 ~ 15	6 ~ 9	~ 6
热导率(20℃)/[W/(m·K)]	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2
线膨胀系数(1000℃)/(× 10 <sup>-6</sup> /℃)	9.2(2.8% MgO)	9.2(4% CaO)	10.2(5% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )



## 6.2 氧化锆陶瓷

### 5. 氧化锆陶瓷的性能与应用

- 作为**结构材料**：TZP陶瓷主要用于制造挤压模、拉丝模、耐磨件、发动机部件（活塞顶、缸盖底板、气缸内衬、推杆、连杆、轴承等）、密封件、阀件、刀具（车刀及各种刀剪）、光纤连接器、人工关节等
- 作为**功能材料**：FSZ陶瓷可用于氧传感器（汽车尾气、钢水）、固体燃料电池隔膜（ $1000 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ ）、高温发热体（ $1300 \rightarrow 2200^{\circ}\text{C}$ ）等
- 作为**耐高温、耐腐蚀材料**：FSZ或PSZ陶瓷可用于耐火材料、熔炼贵金属的坩埚、钢水槽的内衬等





## 6.3 氮化硅陶瓷

### 3. 氮化硅陶瓷的性能和应用

- 氮化硅陶瓷强度高，高温力学性能优异
- 膨胀系数较小，导热性好，抗热震性和抗蠕变性良好
- 氮化硅摩擦系数小，有优良的自润滑能力，
- 化学稳定性优良
- 电绝缘性能和介电性能优异，介质损耗低。



## 6.3 氮化硅陶瓷

### 3. 氮化硅陶瓷的性能和应用

- 在**热机**方面，用于制备燃气轮机的转子、定子和涡形管；陶瓷发动机的活塞顶、燃烧器、火花塞、汽缸套、气缸盖、副燃烧室、电热塞等
- 在**化工**方面，用于球阀、密封环、过滤器、热交换器部件、管道内衬、耐腐蚀内衬等
- 在**机械工业**方面，用于制造轴承、高温螺栓、模具、柱塞、密封材料、切削刀具、喷砂嘴等



## 氮化硅陶瓷的应用

- 在**电子工业**方面，用于制造电路基片、薄膜电容器、高温绝缘体等
- 在**军事**上，用于雷达天线罩、导弹喷管、火箭喷嘴、炮筒内衬等
- 在**核工业**上，用于核反应堆的支承件、隔离件和核裂变物质的载体等

$\text{Si}_3\text{N}_4$  陶瓷用途表

用途分类	主要应用实例
耐热零部件	燃气涡轮和柴油机中定子叶片、燃烧器等,汽缸盖、活塞环、密封排气阀、高温气体流量调节阀、高温气体送风扇零件、加热炉传热管、炉芯管、热交换器等等
耐腐蚀部件	各种化学反应管,机械轴封,阀类喷嘴,耐腐蚀内衬件,熔融非铁金属输送泵零件,浸渍电热器等
工具及耐磨损件	切削工具,轴承类,研磨类,抄纸机零件,浆用阀类
轻量化零部件	机器油压控制阀,自动化装置和快速加热炉零件,飞机和宇航零件等
其它	各种绝缘体,精密工作机器及量规,弹簧等



## 第七节 金属陶瓷



## 7.1 金属陶瓷的特性

**金属陶瓷**(Cermet)是一种由金属相与陶瓷相组成的非均质复合材料。其出发点是**结合陶瓷和金属的优点**。金属陶瓷既有陶瓷的高强度、高硬度、耐磨损、耐高温、良好的抗氧化和化学稳定性等特性，同时又有金属较好的韧性、导热性和可塑性，是一类重要的工具材料和结构材料，用途广泛

与陶瓷基体相比，其**优点**是断裂韧性、耐磨性和耐热冲击能力较高；**缺点**是抗氧化性、抗腐蚀性、耐高温性较差





## 金属陶瓷的特性

金属陶瓷中**陶瓷基体相**通常是高熔点的氧化物（如  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{ZrO}_2$ 等）、碳化物（如  $\text{TiC}$ 、 $\text{SiC}$ 、 $\text{WC}$ 等）、硼化物（如  $\text{TiB}_2$ 、 $\text{ZrB}_2$ 等）、氮化物（如 $\text{TiN}$ 、 $\text{BN}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 等）。作为**金属粘结相**的原料有Ti、Cr、Ni、Co、Fe、Mo、W等

1923年德国人发明了Co粘结WC材料，命名为硬质合金，在金属陶瓷名词出现前已被普遍接受，因此现在仍将用**Co粘结的WC基材料称为硬质合金**



## 7.2 金属陶瓷的设计和制备

选择陶瓷相和金属相的原则：

### 1. 金属相熔体对陶瓷相的润湿性要良好

高温金属熔体在陶瓷颗粒表面充分铺展有利于形成金属包裹陶瓷颗粒，金属陶瓷的性能就越好。改善两者润湿性的方法有：①加入点阵类型与金属相相同的其他金属，如在 $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Cr中加入Mo；②加入少量其他氧化物，如 $\text{V}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Mo}_2\text{O}_3$ 、 $\text{WO}_3$ 等，其熔点应比金属陶瓷的烧结温度低，又能被还原成金属；③在氧化物基的金属陶瓷的烧结过程中生成的氧化物与原氧化物基体能互相适应。



# 金属陶瓷的设计和制备

## 2. 金属相与陶瓷相之间无剧烈的化学反应（化学相容）

金属陶瓷烧结时经常会在两相界面上**反应**生成新的陶瓷相，例如氧化物金属陶瓷在两相间生成**中间型氧化物或固溶体**，Cr-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>生成Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>固溶体，一般有利于改善两者之间的结合。但若反应剧烈，金属相全部或绝大部分变成非金属化合物，就丧失或削弱了金属相的作用



## 金属陶瓷的设计和制备

### 3. 金属相与陶瓷相的线膨胀系数相近（物理相容）

金属陶瓷组成相之间膨胀系数相差应足够小。如果相差太大，会使材料在急冷急热过程中产生过大的**热应力**而导致产生裂纹，甚至发生破坏。即使在一般温差条件下也可能产生相当大的内应力，从而使在承受**机械振动**时有可能产生新裂纹。一般如果金属陶瓷中两相膨胀系数之差达  $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  时，就会造成较大的内应力，使制品发生破坏；相差  $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  时尚能承受



## 金属陶瓷的设计和制备

**(4) 金属相增韧相的选择要适当。**如果金属相的强度远高于陶瓷基体，容易出现金属增韧相发生塑性变形断裂之前，基体在相界面附近发生断裂的情况，从而限制增韧性的塑性变形并降低增韧效果。研究表明，增韧相具有较低的屈服强度，有利于增韧作用的充分发挥

**(5) 金属相和陶瓷相的含量要适当。**金属相含量对金属陶瓷性能有较大的影响，适当的含量有利于获得最佳的综合性能



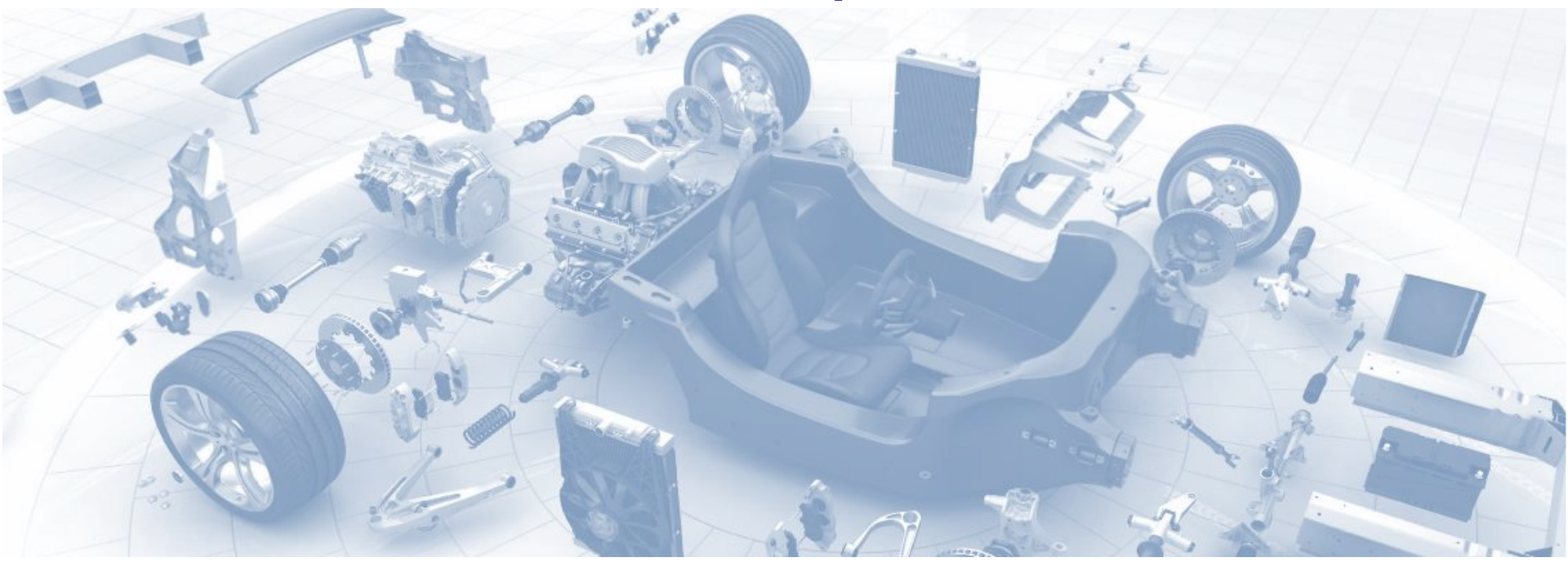


## 第三篇 无机非金属材料

# 第九章 功能玻璃

华南理工大学---材料学院---无机系

2021年





# 第一节 功能玻璃概述



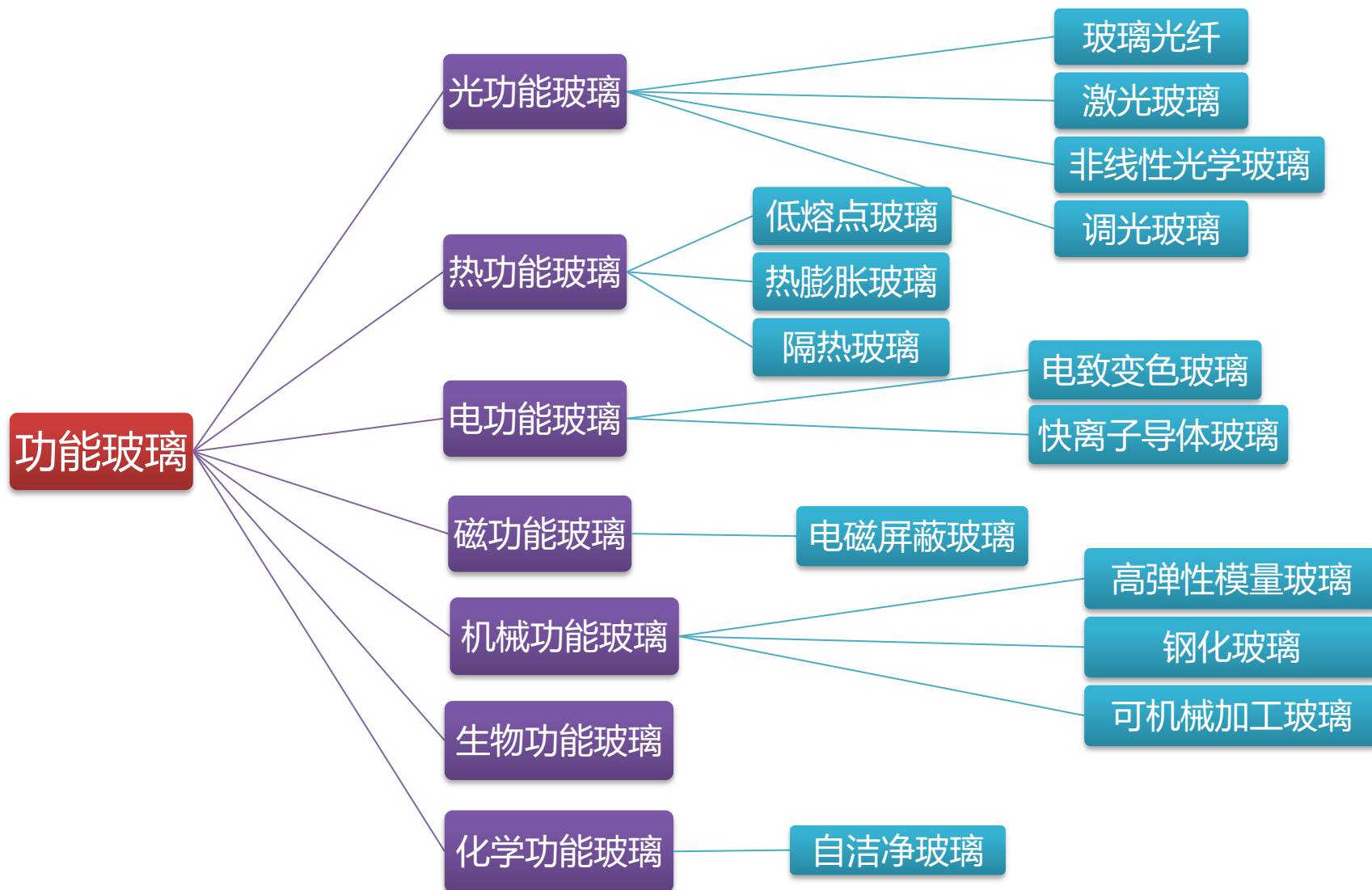
# 1.1 玻璃的定义

- 玻璃是一种无机非金属材料，一般具有非晶态结构
- 玻璃具有优良的透明性、化学稳定性、可塑性
- 玻璃被广泛制成日用品和装饰品
- 功能玻璃是具有光、热、电、磁、力、生物等功能的玻璃





## 1.2 功能玻璃的分类





## 第五节 机械功能玻璃



## 5.1 玻璃的力学性能

### 玻璃的力学性能：

机械强度、弹性、硬度、脆性

#### 5.1.1 玻璃的机械强度

- 抗压强度高，硬度高
- 抗折、抗张强度低（仅为抗压的7~10%）
- 脆性大
- 实际强度远低于理论强度（2~3数量级）

玻璃的脆性、玻璃中存在的微裂纹和内部不均匀区和缺陷的存在造成应力集中所引起



## 5.1.1 玻璃的机械强度

### 影响玻璃强度的主要因素：

#### 1. 化学组成

- 各质点的键强
- 单位体积内键的数目

#### 3. 微不均匀性

- 各微相之间易产生裂纹
- 微相间相互结合的力比较弱
- 由于成分不同，微相间产生应力

#### 2. 表面微裂纹

- 减少和消除玻璃的表面缺陷（火焰抛光、氢氟酸腐蚀）
- 使玻璃表面形成压应力，克服表面微裂纹的作用（物理、化学钢化）

#### 4. 结构缺陷

- 宏观缺陷：结石、气泡、条纹等缺陷与主体玻璃成分不一致，造成内应力
- 且宏观缺陷为微观缺陷（点缺陷、晶界、局部析晶）提供了界面，使其常常在此处集中，从而导致裂纹产生



## 5.1.1 玻璃的机械强度

### 影响玻璃强度的主要因素：

#### 5. 温度

- 200℃以下，由于裂纹端分子热运动增强，导致键的断裂，因此强度随温度升高而降低
- 200℃以上，由于裂口钝化，从而缓解了应力集中，因此强度随温度升高而增加

#### 6. 活性介质

- 渗入裂纹产生劈楔作用，使裂纹扩展
- 与玻璃发生化学作用破坏结构

#### 7. 玻璃中的应力

- 分布不均的残余应力使玻璃强度大大降低
- 钢化形成均匀的表面压应力能提高机械强度5 ~ 10倍

#### 8. 玻璃的疲劳现象

- 加荷速度越大，时间越长，其破坏强度越小
- 由于加荷作用下微裂纹的加深所致

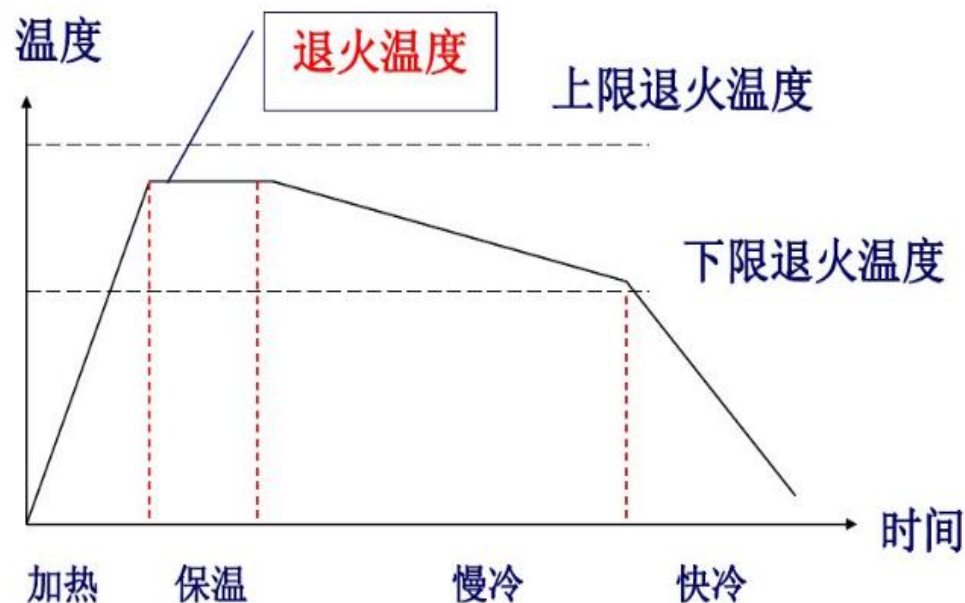




## 5.3 退火玻璃和钢化玻璃

### 玻璃的退火

玻璃在生产过程中，如果温度变化不均匀，会产生热应力，影响玻璃的强度、热稳定性和光学均匀性。为减少上述不规则热应力带来的影响可采取**退火或钢化两种热处理方式**





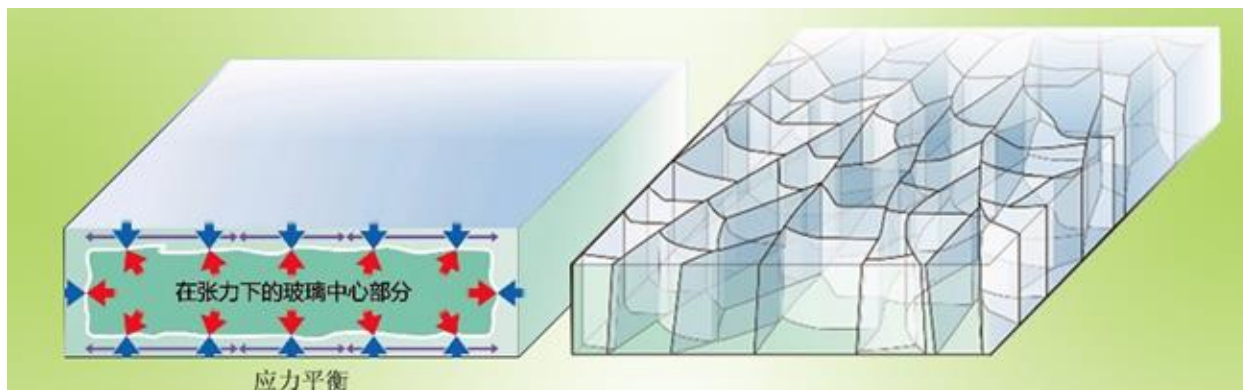
## 5.3 退火玻璃和钢化玻璃

**钢化玻璃**是一种预应力玻璃，通过表面形成均匀的**压应力**抵消承受的外力，从而显著提高了玻璃的抗冲击性、抗弯强度和热稳定性等

形成玻璃表面压应力的方式有两种：

**(1) 物理淬火法：**将玻璃加热至接近软化温度时迅速冷却使其内部产生均匀分布的永久应力

**(2) 化学钢化法：**通过改变玻璃表面的组成来提高玻璃的强度，如碱金属离子交换法等



钢化玻璃内部受力示意图及破碎示意图

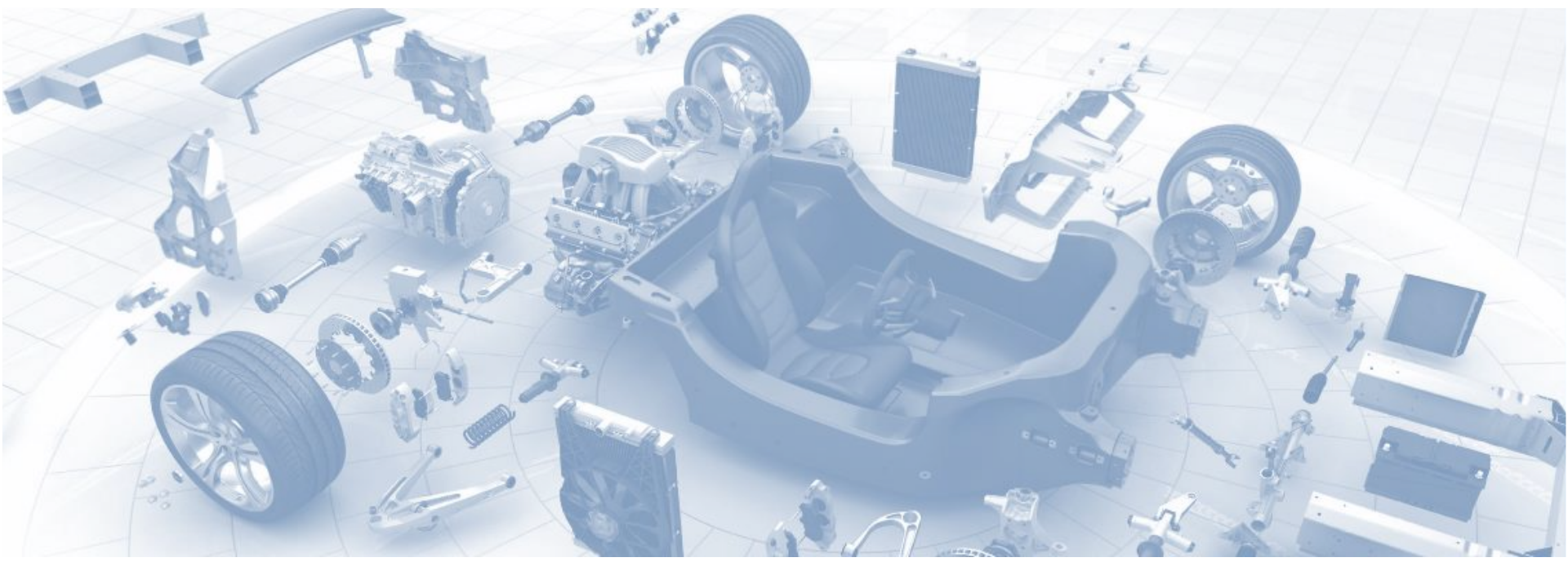


## 第四篇 高分子材料

# 第十章 高分子材料

华南理工大学---材料学院---高分子系

2021年





## 高分子材料具有自身独特的优点：

- 密度小。比钢铁、铜等要小得多，甚至比铝和镁还小；
- 高比强度和高比模量。能够代替部分金属材料制造机械零部件；
- 优良的电绝缘性能；
- 优良的减摩、耐磨和自润滑性能；
- 优异的耐腐蚀性能；
- 高粘接强度；
- 高弹性。将橡胶用于机械工程材料，可起到良好的抗振、减振和密封作用；
- 优良的透光性。有机玻璃、聚苯乙烯等的透光率可达90%以上；
- 优良的耐低温性能。



## 高分子材料的缺点：

- 耐热性差。多数高分子材料的长期使用温度在 $200^{\circ}\text{C}$ 以下
- 易于燃烧。通常需要加入阻燃剂以降低其可燃性。
- 易老化。在热、光、氧等长期作用下，高分子材料易发生降解，导致其物理机械性能下降。因此，需要加入抗氧化剂或防老剂以延长其使用寿命。



## 第三节 塑 料



- **塑料**（Plastics）是以**合成树脂**为基本组分，配合**填料**和**助剂**等，在一定的温度和压力下塑化成型，并在常温下可保持其形状不变的材料。







# 第一种人工合成高分子材料

- 赛璐璐Celluloid
- 1869年，海尔特在硝化纤维中加入樟脑，获得又硬又韧的人造塑料



J.W. Hyatt, 1837-1920, 美国





## 3.1 塑料的组成

- **合成树脂**是塑料的主要组分，一般占塑料全部组成的40% ~ 100%，如聚乙烯、聚丙烯、聚碳酸酯、聚酰胺、酚醛树脂等。
- **填料**约占塑料的20% ~ 60%，能够起到降低成本、改善力学性能的作用。常用的有碳酸钙、粘土、玻璃纤维、云母粉、石墨、蒙脱土等；
- **助剂**包括增塑剂、润滑剂、着色剂、固化剂、稳定剂等，用量少，但所起的作用十分关键。



## 3.2 塑料的分类

按受热时的行为分类 { **热塑性**：聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲醛、聚苯醚等  
**热固性**：酚醛树脂、脲醛树脂、环氧树脂、不饱和聚酯等

**热塑性塑料**：成型后再加热重新软化加工而化学组成不变，具有可溶可熔性

**热固性塑料**：成型后不能再加热重新软化加工，具有不溶不熔性

按用途分类 { 通用型：聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯和聚苯乙烯  
工程型：聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、聚苯醚、聚酰亚胺、聚四氟乙烯、聚砒、超高相对分子质量聚乙烯、ABS树脂等



## 3.3 工程塑料的性能特点

1970年代的工程塑料是指用作工程零件或外壳、强度及耐冲击性能高、耐热温度达100度左右的塑料，工程价值巨大

- 密度小。通常在 $1.02 \sim 2.40 \text{ g/cm}^3$ ，只有钢铁材料的 $1/8 \sim 1/4$ ；
- 较高的比强度。**聚芳酯**的比强度已超过钢铁；
- 良好的电绝缘性；
- 化学稳定性高。如**聚四氟乙烯**，可耐任何化学物质的腐蚀；
- 优良的耐磨、减磨和自润滑性；
- 良好的异物埋没性和就范性；
- 优良的吸振性、抗冲击性、抗疲劳强度及消声性。



## 3.4 工程塑料的主要品种

### (1) 聚酰胺, PA6, PA66, PA11.....

俗称“**尼龙**”。以内酰胺、脂肪羧酸、脂肪胺或者**芳香族**二元酸和**芳香族**二元胺为原料合成的主链上含有酰胺基团的高分子化合物。具有优良的力学性能，耐热性、电绝缘性及耐候性好，摩擦系数低，自润滑、吸振性和消声性优良，耐油、耐弱酸、耐碱和一般溶剂，无毒无臭



齿轮



滑轮



汽车后桥变速箱横梁



汽车进气管和  
涡轮增压器软管

**PA聚酰胺是产量最大、品种最多、用途最广的一类**

## (2) 聚甲醛 POM

是一种没有侧链且分子主链中含有 $-\text{CH}_2-\text{O}-$ 链节的线型聚合物，其综合性能优良，如很高的刚性和硬度、优良的耐疲劳性和耐磨耗性、较小的蠕变性和吸水性以及较好的化学稳定性和电绝缘性。其缺点是密度较大，耐强酸性、耐候性和阻燃性较差。



螺栓



软管接头



汽车洗涤泵



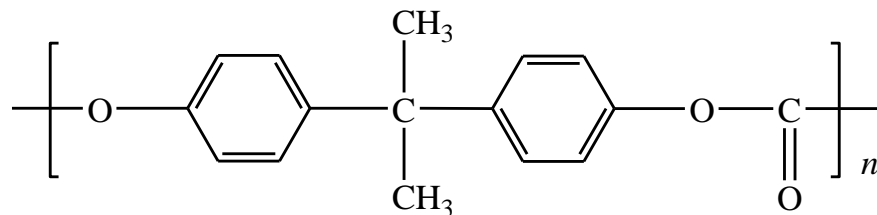
叶轮

**常见的机械工程用聚甲醛零部件**



### (3) 聚碳酸酯 PC

是于50年代末、60年代初实现工业化生产的一种新型热塑性塑料，分子中的碳酸基团与其它基团交替排列，这些基团可以是芳香族、脂肪族或者两者皆有。具有强度高、刚性好、耐冲击、耐磨、耐电压击穿性、透光性、尺寸稳定性好等特点。**透明**无毒，力学性能优异



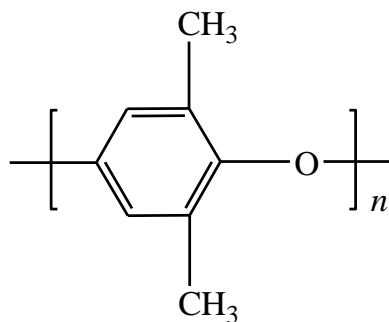
PC聚碳酸酯的强度及延展性接近有色金属，冲击韧性高，广泛用于飞机座舱窗等





## (4) 聚苯醚 PPO

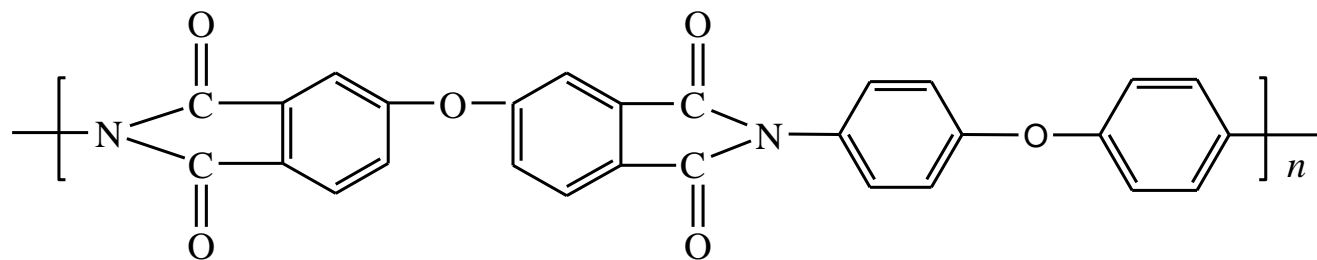
是以2, 6-二甲基苯酚为原料，以铜胺络合物为催化剂在空气或纯氧中氧化缩聚而成。具有较高的拉伸强度和优良的抗蠕变松弛性能，其介电常数和介质损耗变化很小，耐化学腐蚀性能优异。





## (5) 聚酰亚胺 PI

聚酰亚胺的主链由杂环、苯环和氧构成，是迄今为止耐热性最好的高分子材料之一。可在260 °C的高温下长期使用，在惰性气体保护下可在300 °C长期使用，间歇使用温度高达480 °C。







## (6) 聚四氟乙烯 PTFE

能在  $-250 \sim 260\text{ }^{\circ}\text{C}$  的范围内长期使用，不溶解或溶胀于任何溶剂，甚至高温下的王水也不能对它起破坏作用，有“**塑料王**”之称。具有优异的润滑性，即使在高速高载荷的条件下，其摩擦系数也小于0.01；在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时，其介电性能不会随着频率和温度的变化而变化，其体积电阻率大于 $10^{17}\text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ ，表面电阻率大于 $10^{16}\text{ }\Omega$ ，在所有工程塑料中是最高的。主要用于减摩密封件、化工耐蚀件与热交换器以及高频或潮湿条件下的绝缘材料



常见的聚四氟乙烯密封件



## 3.5 塑料增强复合材料

通过对塑料进行增强改性所制备的复合材料，在**模量、耐冲击性、耐腐蚀性、隔热性**等方面可得到较大的提升。

**玻璃纤维增强塑料**

芳纶纤维增强塑料

碳纤维增强塑料



# 玻璃纤维增强高分子材料GFRP

- 当把块体玻璃拉成细丝（约10微米）时，其拉伸强度提高了40倍，达到1500-4000兆帕，屈服强度最高达2000兆帕。有一定的弹性变形
- 玻璃纤维化，表面微裂纹和尺寸数量大大下降，拉伸强度因此大幅提高。纤维越细、越短，强度越高
- 第一个复合材料：**玻璃纤维增强塑料GFRP**，屈服强度达到300MPa，俗称**玻璃钢**，密度1.4-2.1，是铝合金之后的又一轻量结构材料





## 第四节 橡 胶



- **橡胶** ( Rubber ) 在室温下受到较小的外力作用，即能产生很大的形变，当外力解除后又能很快恢复原状，具有优良的弹性、伸缩性和积蓄能量的作用。





## 4.1 橡胶的组成

- **橡胶**是以生胶为主，并加入适量的辅助材料制备而成的。
- **生胶**分为天然橡胶和合成橡胶。天然橡胶主要来源于热带的三叶橡胶树；合成橡胶是由人工方法制备的，主要品种有丁苯橡胶、顺丁橡胶、氯丁橡胶、乙丙橡胶、丁腈橡胶、硅橡胶、氟橡胶等。
- **辅助材料**包括硫化剂、硫化促进剂、填料、增塑剂、防老剂、补强剂、着色剂等组分，用量虽少，但所起的作用十分关键。



## 4.2 常用橡胶品种

- **天然橡胶**。是从橡胶树上流出的汁液中获取的，是一种以聚异戊二烯为主要成分的天然高分子化合物，其弹性模量为 $3 \sim 6\text{MPa}$ ，约为钢铁的 $1/30000$ ，但伸长率为钢铁的300倍。主要用于制造轮胎、胶带、胶管及胶鞋等。
- **丁苯橡胶**。是以丁二烯和苯乙烯为单体，在乳液或溶液中采用催化剂进行催化共聚而成的浅黄褐色弹性体，是产量最大、应用最广的通用合成橡胶，约占合成橡胶的80%。其具有较好的耐磨性、耐热性和耐老化性能。主要用于制造汽车轮胎、胶带、胶管等。
- **顺丁橡胶**由丁二烯聚合而成的，其弹性是合成橡胶中最好的，比天然橡胶都要高，此外还具有优良的耐寒性和耐磨性，缺点是加工性能不好，抗撕裂性较差。主要用于制造轮胎、耐热胶管、三角皮带、减震器、刹车皮碗、胶辊等。





- **丁基橡胶**是由异丁烯和少量异戊二烯共聚而成的，其最大特点是**透气性小**，**透气系数分别为天然橡胶、顺丁橡胶和乙丙橡胶的1/20、1/30和1/13**。主要用于制造轮胎内胎、缓冲器材、防辐射手套、电线电缆、耐热老化垫片等。
- **氯丁橡胶**是以氯丁二烯为单体经聚合而成，具有**优良的耐油性、耐溶剂性、耐氧化、耐老化、耐酸耐碱性、阻燃性等**，故有“**万能橡胶**”之称。主要用来制造电线电缆用包皮、输送油和腐蚀性物质的管道、高速运转的三角皮带、地下矿井的运输带等以及各种减震器、垫圈、油罐衬里等。







- **乙丙橡胶**是乙烯和丙烯的共聚物，其耐臭氧性能十分突出，并具有优良的耐老化性、电绝缘性和耐化学介质性。除了用于生产车辆配件之外，还用来制造耐热运输带、密封圈、散热软管、高低压电线绝缘包皮等。
- **丁腈橡胶**是丁二烯与丙烯腈的共聚物，既具有橡胶的弹性，又有优异的耐油性，可抵抗汽油、润滑油、动植物油等介质的侵蚀，常作为耐油橡胶使用。可用于制造直接接触油类的密封垫圈、输油管、化工衬里、耐油运输带等。
- **硅橡胶**是二甲基硅氧烷与其它有机硅单体的共聚物，属于特种橡胶，其分子主链由硅元素和氧元素构成，耐高温和耐低温性能优良，可在  $-100 \sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内保持良好的弹性。硅橡胶还具有优异的抗老化性能，对臭氧、光、热、氧和气候的老化抵抗力强。主要用于飞机和航天飞船中的密封件、薄膜、胶管等，也用于高温电线电缆、电子设备以及汽车、仪表等的防护、减震和密封。

