

# 第四章 无机非金属材料





唐明述院士



江東亮院士



徐德龍院士



# 本章主要内容

---

- 无机非金属材料概述
- 传统陶瓷、特种陶瓷
- 水泥
- 玻璃
- 耐火材料



## 4.1 无机非金属材料概述

### 什么是无机非金属材料？

金属材料 and 有机高分子材料以外的固体材料通称为无机非金属材料。

由硅酸盐、铝酸盐、硼酸盐、磷酸盐、锆酸盐等和氧化物、氮化物、碳化物、硼化物、硫化物、硅化物、卤化物等原料经一定的工艺制备而成的材料。



# 无机非金属材料概述

---

- 化学组成:
- 金属和非金属元素的氧化物、氢氧化物、碳化物、氮化物等以不同的方式组合。几乎涉及周期表上所有元素
- 键合结构:
- 离子键、共价键以及离子键 和共价键的混合键



# 无机非金属材料主要特点

熔点高

硬度高

强度高

耐高温

耐腐蚀

一般为脆性材料

耐磨损

耐氧化

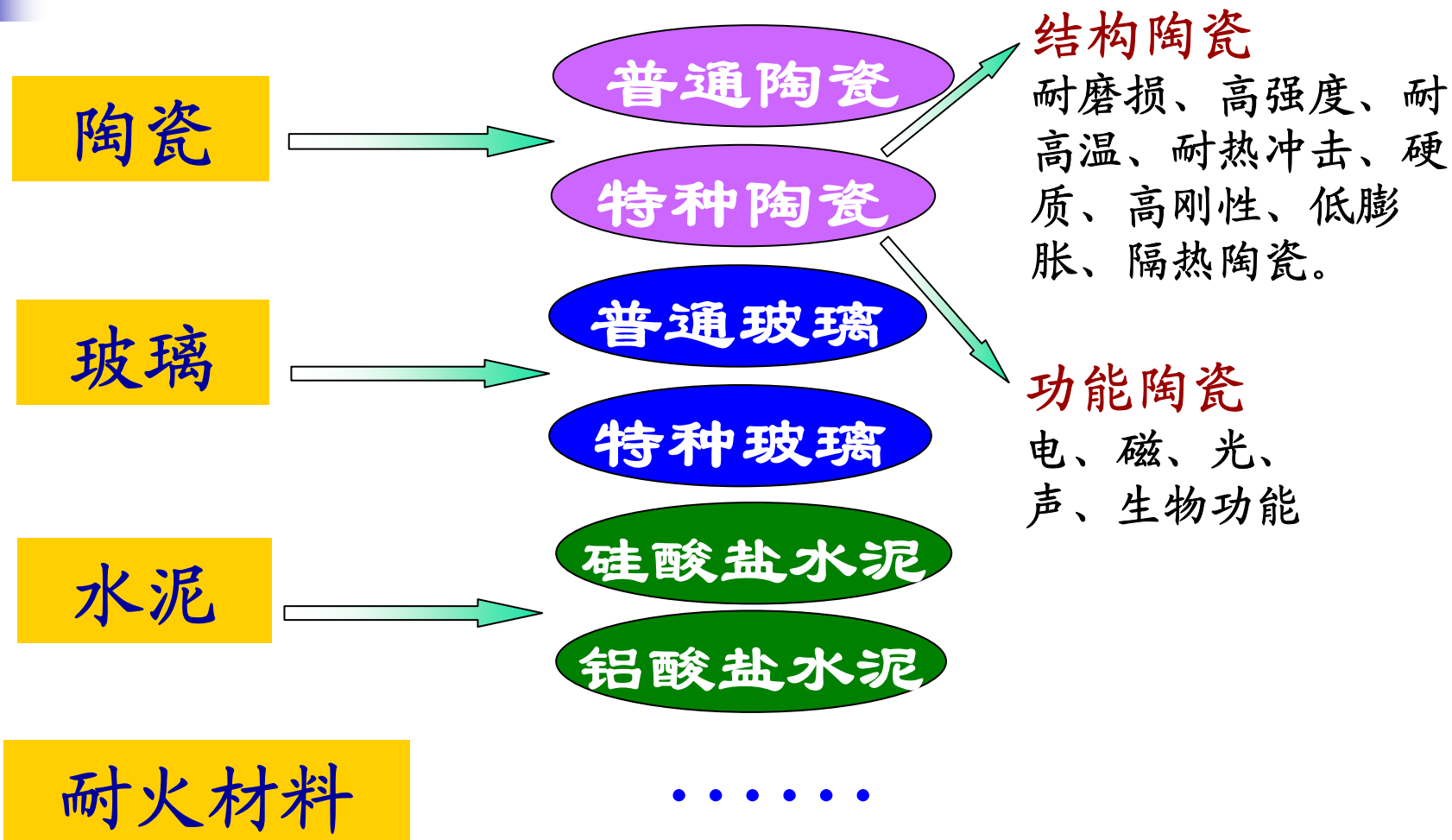
绝缘性好

脆性大

弹性模量大

化学稳定性好

# 无机非金属材料种类



## 4.2 陶瓷材料

### 陶瓷材料的结合键

离子键、共价键以及离子键与共价键的混合键。

离子晶体 - 以离子键结合的晶体。金属氧化物晶体。



共价晶体 - 共价键结合的晶体。金刚石、 $\text{SiC}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{BN}$

特点 - 强度高、硬度高、熔点高、绝缘、结构稳定、膨胀系数小、脆性大、无延展性。



## 4.2.1 陶瓷材料的结构

### 陶瓷材料的相组成

#### 晶体相

陶瓷材料最主要的组成相 其结构、形态、数量及分布决定了陶瓷材料的特性。

主晶相 - 氧酸盐（硅酸盐、钛酸盐）、氧化物  
 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）、非氧化物（ $\text{SiC}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ ）

# 陶瓷材料的结构

## 陶瓷材料的相组成

**玻璃相** 玻璃相是陶瓷材料中原子不规则排列的组成部分，其结构类似于玻璃。

**积极作用：** 填充晶体之间的空隙，提高材料的致密度；降低烧成温度；阻止晶型转变、抑止晶粒长大。

**不利影响：** 陶瓷强度、介电常数、耐热性能。

# 陶瓷材料的结构

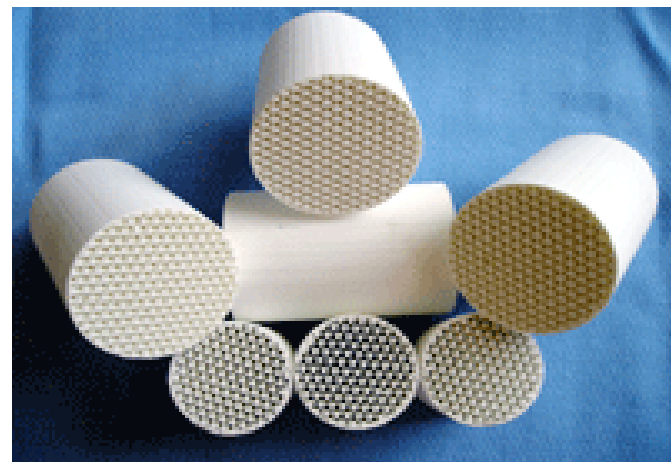
## 陶瓷材料的相组成

### 气相

坯体各成分在加热过程中发生物理、化学作用所生成的空隙。

不利影响：降低材料的强度，  
是造成裂纹的根源。

多孔瓷



# 陶瓷材料的结构

## 陶瓷材料的晶体缺陷

### 点缺陷

置换原子、间隙原子和空位等造成的缺陷  
影响导电性、烧结。

### 线缺陷

位错：形成所需能量较大，密度很低。

### 面缺陷

晶界和亚晶界：晶界两侧晶粒取向的不同  
可阻止裂纹的扩展，提高陶瓷强度。

## 4.2.2 陶瓷材料的性能—力学性能

### 硬 度

陶瓷的硬度很高 –  $1000\text{Hv} \sim 1500\text{Hv}$

(普通淬火钢 –  $500 \sim 800\text{Hv}$ )

原因 – 离子晶体中离子紧密堆积、

共价晶体中电子云的重叠程度高。

### 刚 度

陶瓷的刚度很高 – 刚度反映其化学键能

原因 – 高键能的离子键和共价键 → 高弹性模量。

# 陶瓷的力学性能

## 强度

理论强度高——离子键和共价键

实际强度要较理论强度低——组织的不均匀性，  
内部杂质和各种缺陷

晶粒越细，强度越高。

高温强度、高温抗蠕变能力、抗氧化性优于金属材料——常用于高温材料

# 陶瓷的力学性能

## 塑性 with 韧性

陶瓷的塑性和韧性较低，无塑性变形，脆性断裂——陶瓷最大的弱点。

断裂过程：裂纹形成和扩展的过程

断裂的原因：陶瓷内部和表面所产生的微裂纹，在受到外应力时快速扩展。



# 陶瓷的热学性能

## 熔点

陶瓷由离子键和共价键结合，具有较高的熔点。

## 热容

陶瓷材料在低温下热容小，在高温下热容增大。

## 热膨胀

陶瓷材料的热膨胀系数小，这是由晶体结构和化学键决定的。一般为 $10^{-5} \sim 10^{-6}/\text{K}$ 。





# 陶瓷的电学和光学性能

## 电学性能

陶瓷是良好的绝缘体，具有介电特性，介电损耗很小。

## 光学性能

陶瓷由于晶界和气孔的存在一般不透明。通过改变烧结方法和控制晶粒的大小，可制备出透明的氧化物陶瓷。



### 4.2.3 陶瓷 - 普通陶瓷

---

定义：以粘土、长石、石英为主要原料，经过粉碎、混炼、成型、锻烧等制作的产品。

广义陶瓷：用陶瓷生产方法制造的无机非金属材料 and 产品的通称。



# 普通陶瓷

---

主要化学组成（质量%）

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{R}_2\text{O}+\text{RO}$
65 - 75	7 - 30	4 - 33

# 陶瓷 - 普通陶瓷

## 发展概况

陶瓷是我国古代劳动人民的伟大发明之一，

英语china（昌南镇）即为陶瓷。

秦代：兵马俑                  唐代：唐三彩

宋代：定、钧、汝、官、哥窑，

瓷都 - 景德镇 青花、玲珑瓷

陶都 - 宜兴 紫砂

主要产地还有：佛山、淄博、晋江、  
唐山、邯郸、潮州、石湾、  
海城、醴陵、德化等





## 陶瓷 - 普通陶瓷

---

我国是陶瓷大国，日用陶瓷、建卫陶瓷产量均为世界第一，占世界产量的2/3。

我国又是陶瓷出口大国，2005年出口金额为45.54亿美元，出口建筑陶瓷4.2亿平方米，卫生陶瓷出口3885万件，出口170多个国家，出口额占世界整个行业的40%，其中佛山占60%。

## 陶瓷 - 普通陶瓷

除中国外，世界陶瓷器的生产主要集中在欧洲。

英国 - 骨瓷、类碧玉陶器。

法国 - 各种雕像、花卉瓷，具有装饰华丽、色彩鲜艳的特点。

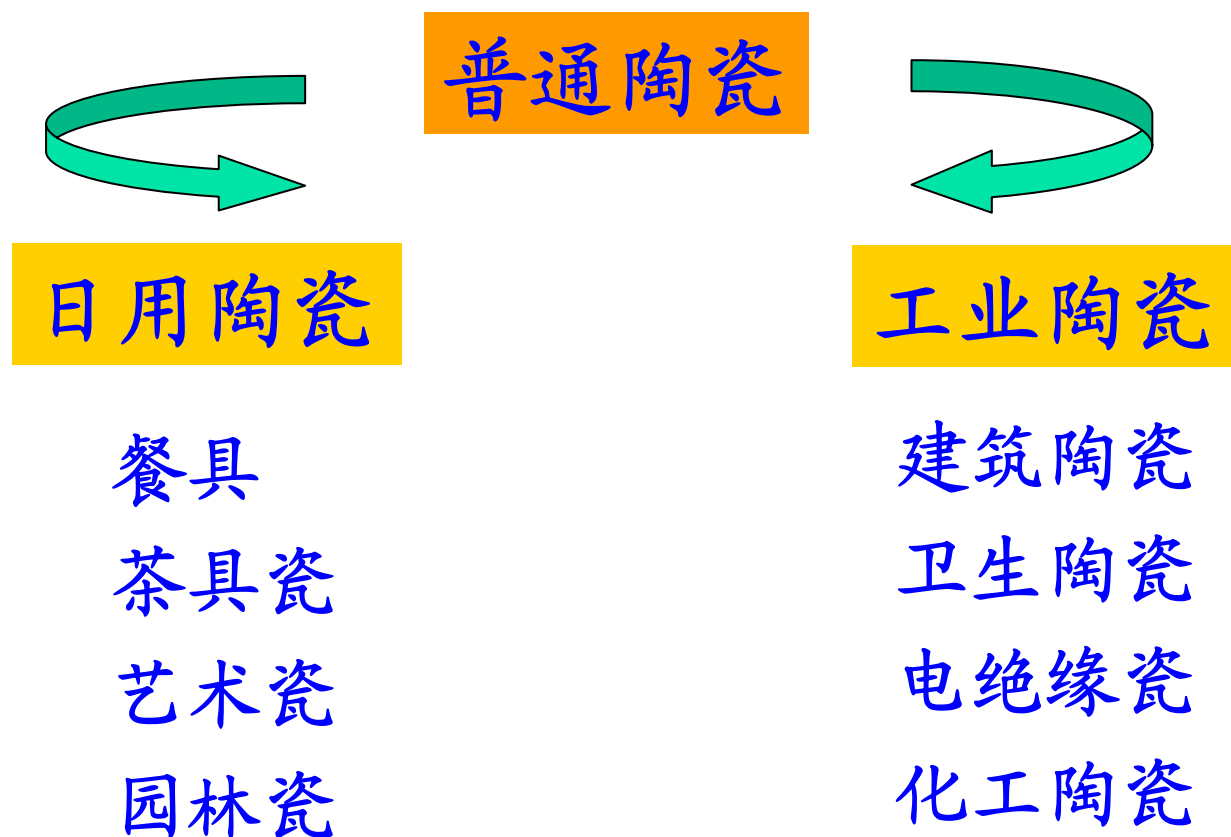
德国 - 高白度硬质瓷，并左右  
当时欧洲的瓷器风格。

荷兰 - 白釉蓝彩陶器称誉欧洲  
(16-17世纪)。

日本 - 濑户陶瓷产区13世纪起  
即以陶瓷业著称。



# 陶瓷 - 普通陶瓷分类





## 普通陶瓷－日用瓷

---

一般应具有良好的白度、光泽度、透光性、热稳定性和强度。

日用陶瓷主要应用于茶具、餐具和工艺品



# 普陶 - 日用瓷



白如玉,明如镜,薄如纸,声如磬

# 普陶 - 陈设瓷

## 陈设瓷



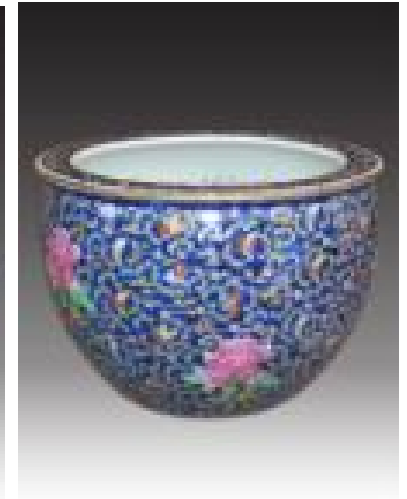
# 普陶 - 艺术瓷

## 艺术瓷



# 普陶 - 园林瓷

## 园林瓷



# 普通陶瓷 - 建筑瓷

## 建筑陶瓷

以粘土为主要原料而制得的用于建筑物的陶瓷

### 粗陶瓷

以难熔粘土为主要原料，包括砖、瓦、盆罐等

### 精陶瓷

以瓷土和高岭土为主要原料，包括釉面砖、建卫瓷等

### 炻瓷

以陶土和粘土为主要原料，包括地砖、外墙砖、耐酸陶瓷等

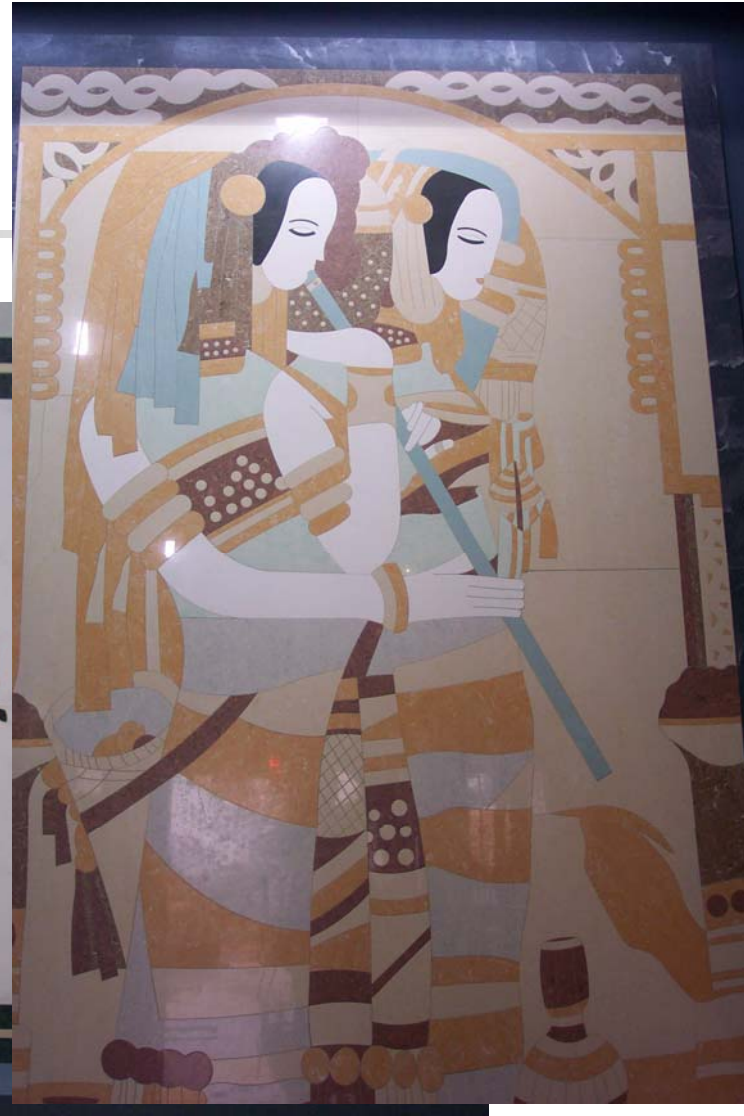


# 普陶 - 建筑瓷



地砖、墙砖 - 建筑陶瓷

## 普陶 - 建筑瓷



地砖、墙砖、装饰砖 - 建筑陶瓷



# 普陶 - 建筑瓷



地砖、墙砖、装饰砖 - 建筑陶瓷





# 普瓷 - 卫生瓷

---

## 卫生陶瓷

以高岭土为主要原料，用于卫生设施，  
带釉，有陶质、炻瓷质和瓷质等。

# 普瓷 - 卫生瓷



# 普瓷 - 电瓷



## 电绝缘瓷

- 又称电瓷，是作为隔电、机械支撑及连接用的瓷质绝缘器件。
- 分为低压电瓷、高压电瓷和超高压电瓷。



电器绝缘陶瓷分为低压电瓷、高压电瓷和超高压电瓷。

# 普瓷 - 化工用瓷

## 化工用瓷

要求耐酸、耐高温、具有一定强度。

主要用于化学、化工、制药、食品等工业。





## 4.2.4 特种陶瓷

### 定 义

采用高度精选的原料，具有能精确控制的化学组成，按照便于进行结构设计及控制制造的方法进行制造、加工的，具有特殊性能的陶瓷。

作为工程结构材料使用的陶瓷材料，主要利用陶瓷材料所具有的高强度、高硬度、耐高温、耐摩擦、耐腐蚀等力学和热学方面的优异性能。

# 结构陶瓷

## 与普通陶瓷的区别

- 原料上：纯度较高的氧化物、氮化物、碳化物、硼化物、硅化物等，材料组成精确调配；
- 制备上：突破了炉窑的界限，广泛采用真空烧结、保护气氛烧结、热压、热等静压等手段；
- 性质上：特殊力学、物理和化学性能。



# 结构陶瓷

## 结构陶瓷的种类

氧化物结构陶瓷



氮化物结构陶瓷



碳化物结构陶瓷



# 结构陶瓷

## 氧化物结构陶瓷

特点：化学稳定性好、抗氧化性强、熔融温度高、高温强度高。

$\text{Al}_2\text{O}_3$ 陶瓷

$\text{ZrO}_2$ 陶瓷

BeO陶瓷

MgO陶瓷

韧性



# 结构陶瓷

## $\text{Al}_2\text{O}_3$ 陶瓷的性能特点及应用

强度高、硬度高      机械加工磨料、磨具、切削工具、轴承

熔点高、抗腐蚀      耐火材料、炉管、热电偶保护管

优良的化学稳定性      坩埚、人体关节、人工骨骼

电绝缘性能好      基板、火花塞、电路外壳

优良的光学特性      透光材料：钠蒸汽灯管、微波整流罩窗口、激光振荡元件

# 结构陶瓷

## SiC陶瓷

**性能特点：** 高硬度、高的高温强度、高导热性、抗蠕变性好、抗酸和金属熔体、不抗碱

**应用——高温结构材料：**

火箭尾喷管的喷嘴、热电偶套管、发热体、高温热交换器、核燃料包装材料

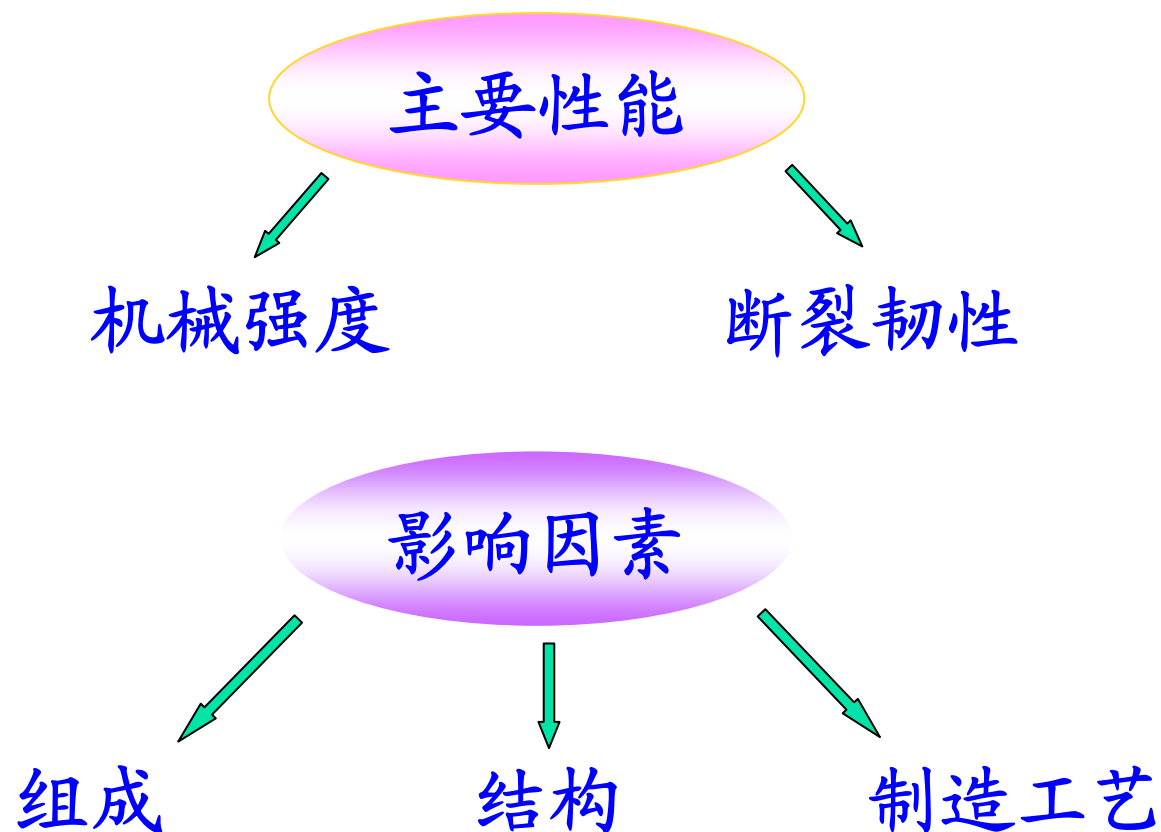
# 结构陶瓷

## $\text{Si}_3\text{N}_4$ 陶瓷

性能特点： 化学稳定性好：抗酸、碱、熔融金属  
硬度高、摩擦系数小、绝缘性和抗热  
震性好、高温强度高

应用： 耐磨材料(密封环、高温轴承)  
耐火材料(输送铝液的管道、阀门)  
切削刀具等

# 结构陶瓷



# 结构陶瓷

## 改善陶瓷材料强度、韧性的措施

1. 微晶、高密度与高纯度
2. 提高抗裂能力与预加应力
3. 相变增韧
4. 弥散增韧
5. 纤维增韧
6. 层状化结构
7. 纳米陶瓷



# 结构陶瓷

## 结构陶瓷的应用

机械加工磨料、磨具、切削工具

耐火材料、炉管、高温喷嘴、热电偶保护套

坩埚、人体关节、人工骨骼

基板、火化塞、电路外壳

制成透光材料、微波整流罩窗口、激光振荡元件

# 结构陶瓷



结构陶瓷



陶瓷轴承



陶瓷锉刀

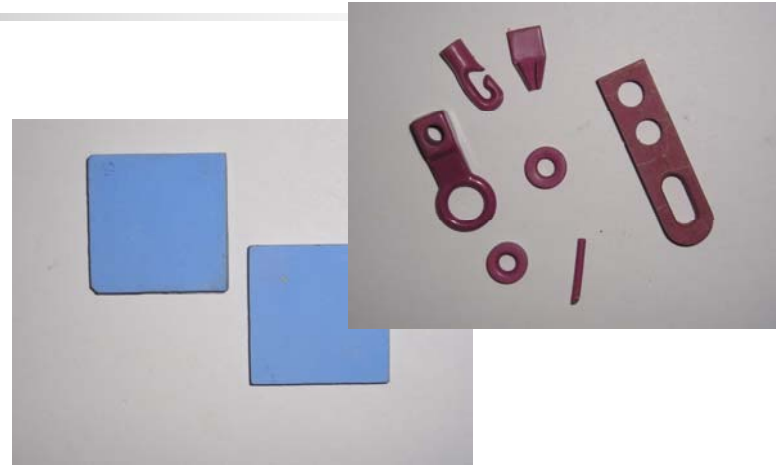


陶瓷螺丝刀



陶瓷餐刀

# 结构陶瓷



陶瓷柱塞



氧化锆



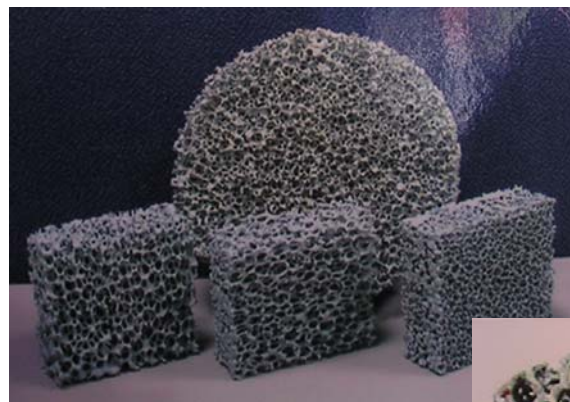
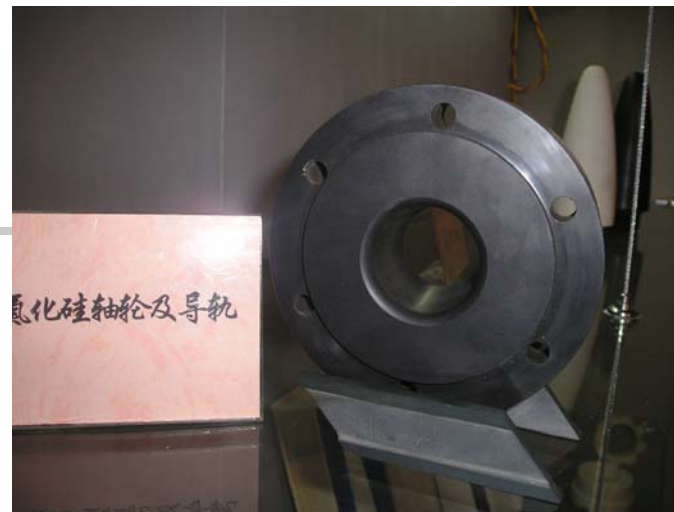
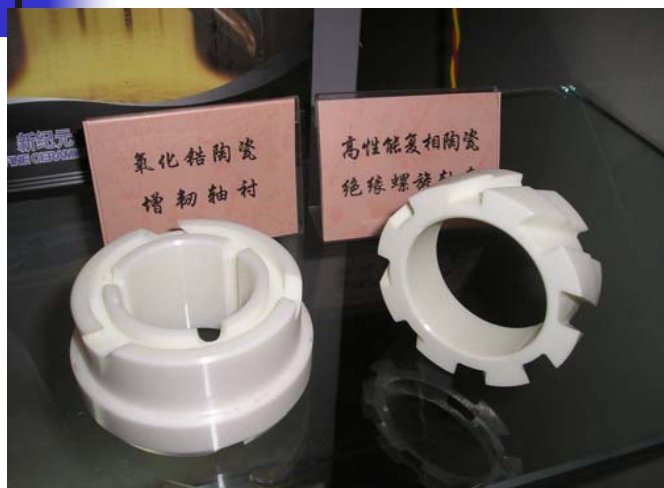
陶瓷磨具



陶瓷轧辊



# 结构陶瓷



钢水过滤用SiC  
泡沫陶瓷



# 结构陶瓷



$\text{Si}_3\text{N}_4$  密封圈

耐磨陶瓷  
阀门芯片



$\text{B}_4\text{C}/\text{TiB}_2$  复  
相陶瓷防弹  
片及喷嘴

# 结构陶瓷



纳米陶瓷弹簧



SiC发热体



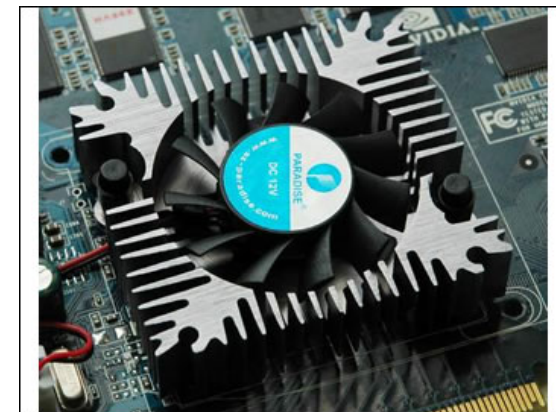
陶瓷火花塞



陶瓷发动机



纳米陶瓷轴心风扇

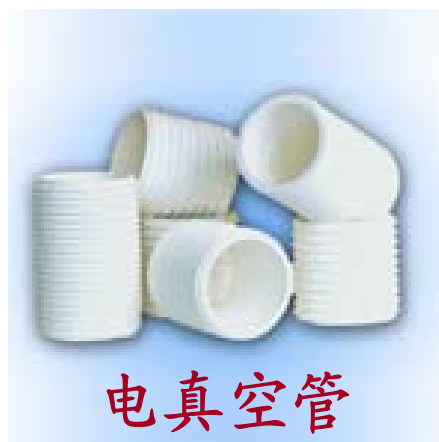




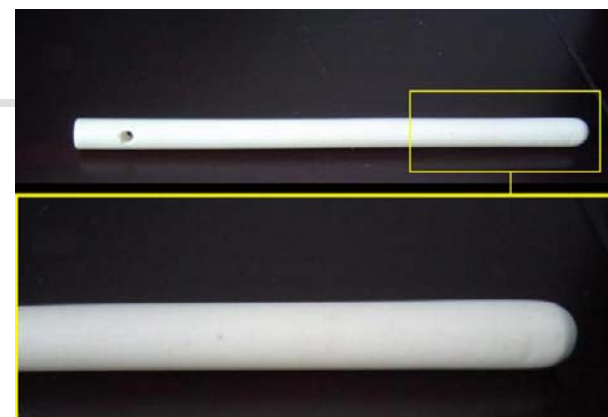
# 结构陶瓷



结构陶瓷



电真空管



陶瓷套管



陶瓷阀门芯片



陶瓷轴芯



旋风分离机用陶瓷叶片

## 4.2.5 功能陶瓷

### 定 义

具有电、光、磁以及部分化学功能的多晶无机固体材料。

功 能——具有特定的电绝缘性、半导体性、导电性、压电性、铁电性、磁性、生物适应性等。

# 功能陶瓷分类

## 功能陶瓷的种类

电子陶瓷

光学陶瓷

超导陶瓷

生物陶瓷

磁性陶瓷

敏感陶瓷





# 功能电子陶瓷

## 压电陶瓷

压电陶瓷是具有压电效应的陶瓷材料

压电效应：

外力作用于晶体  $\longrightarrow$  介质极化  $\longrightarrow$  压电效应  
材料的压电效应取决于晶体结构的不对称性，  
晶体必须有极轴，才有压电效应。

# 功能电子陶瓷

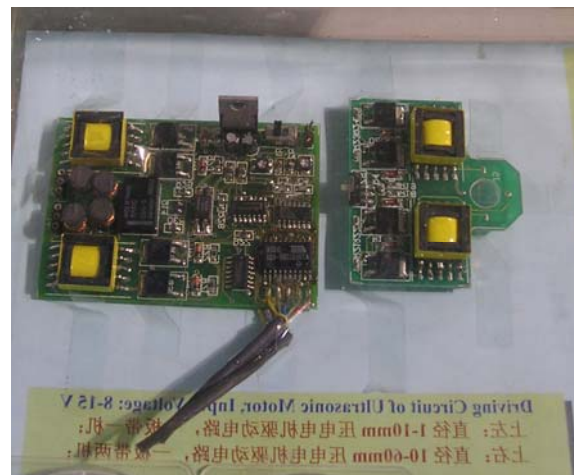
## 压电陶瓷的种类

压电陶瓷——钛酸钡、钛酸铅、锆钛酸铅（PZT）等。

压电陶瓷的应用——超声换能器、滤波器、声转换器、谐振器、点火器等。



压电陶瓷点火器



压电电机  
驱动电路



# 功能电子陶瓷



超声用压电陶瓷换能器



超高精度扫描仪 - 动态压电传感技术最小间距达50微米。

扫描实物：工业材质、粘土、玻璃、水晶、色彩丰富的物件，还包括鲜果和鲜鱼。



# 功能电子陶瓷

## 光电陶瓷

光电陶瓷是具有光电导效应的陶瓷

**光电导现象** — 陶瓷受到光照射时，能带间、能带与能级间的迁移引起光吸收，能带内产自由载流子，使电导率增加。

**光敏元件** — 利用光电导效应检测光强度。主要是GdS多晶；检测从波长X-Ray—紫外线。  
在GdS中添加Cu杂质，用作检测可见光的光敏元件。

# 功能电子陶瓷

## 超导陶瓷

1986年超导陶瓷出现。超导陶瓷主要有：

镧系 -  $\text{La}_2\text{CuO}_3$

钇系 -  $\text{YBa}_2\text{Cu}_2\text{O}_y$

铋系 -  $\text{Bi-Sr-Cu-O}$

铊系 -  $\text{Tl-Ba-Ca-Cu-O}$



# 功能陶瓷

## 超导陶瓷的应用

- ☞ 在信息领域：用作高速转换元件、通信元件和连接电路。
- ☞ 在生物医学领域：用于核磁共振断层摄影仪、量子干涉仪、粒子线治疗装置等。
- ☞ 在交通运输领域：完全抗磁体制造的磁悬浮列车、电磁推进器、飞机航天飞机发射台等。
- ☞ 在电子能源领域：用于超导磁体发电、超导输电、超导储能等
- ☞ 在宇宙开发、军事领域：潜艇的无螺旋桨无噪声电磁推进器、超导磁炮等。

# 超导陶瓷的应用



磁悬浮列车



核磁共振仪

# 磁性陶瓷

磁性陶瓷

磁性陶瓷主要指铁氧体

铁氧体 -  $\text{MO-Fe}_2\text{O}_3$ , M代表1、2、3价金属。

铁氧体的晶体结构类型

尖晶石型:  $\text{MeFe}_2\text{O}_4$ , 等轴晶系, Mn-Zn铁氧体、Ni-Zn铁氧体

磁铅石型:  $\text{MeFe}_{12}\text{O}_{19}$ , 六方晶系,  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

石榴石型:  $3\text{Me}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3$  或  $2\text{Me}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ , 等轴晶系,  
Me: 三价稀土金属,  $3\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3$

# 磁性陶瓷的应用

铁氧体



软磁铁氧体

硬磁铁氧体

**软磁体**      电感线圈、天线、变压器和滤波的  
磁芯以及录音和录像的磁头等。

**硬磁体**      永磁体，用于高频磁场领域。





# 功能光学陶瓷

---

光学陶瓷

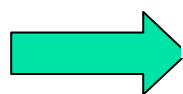
能够透光的陶瓷

要求：具有优良的透光性、耐热性、耐风化性、耐膨胀性；经光的照射，其性质发生可逆或不可逆变化。

# 功能光学陶瓷

## 光学陶瓷的种类

### 透明陶瓷



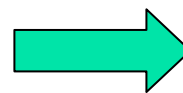
氧化物透明陶瓷

$\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Gd}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$   
 $\text{LiAl}_5\text{O}_8$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{BeO}$

非氧化物透明陶瓷

$\text{GaAs}$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{ZnSe}$   
 $\text{MgF}_2$ 、 $\text{CaF}_2$

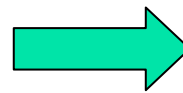
### 红外光学陶瓷



氧化钇( $\text{Y}_2\text{O}_3$ )

滤光、红外接受和红外探测材料

### 激光陶瓷



红宝石  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}^{3+}$

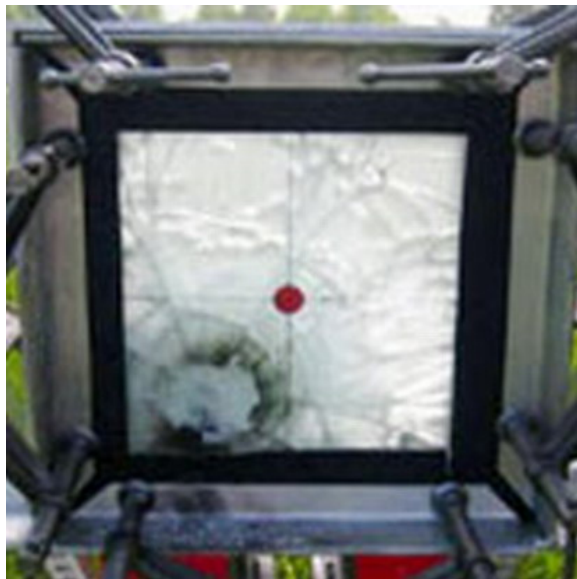
掺钕的钇铝石榴石晶体  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$

基质晶体 + 掺杂离子

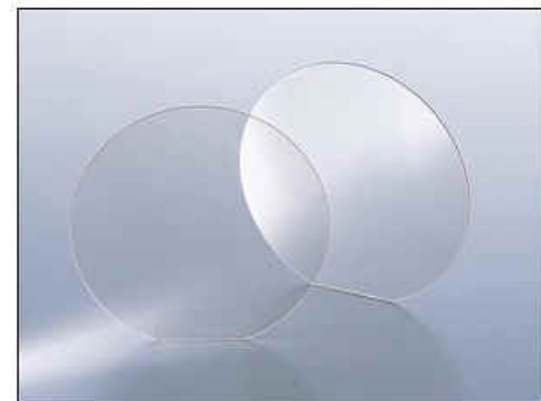
# 透明陶瓷应用

透明氧化铝  
高压钠灯灯管

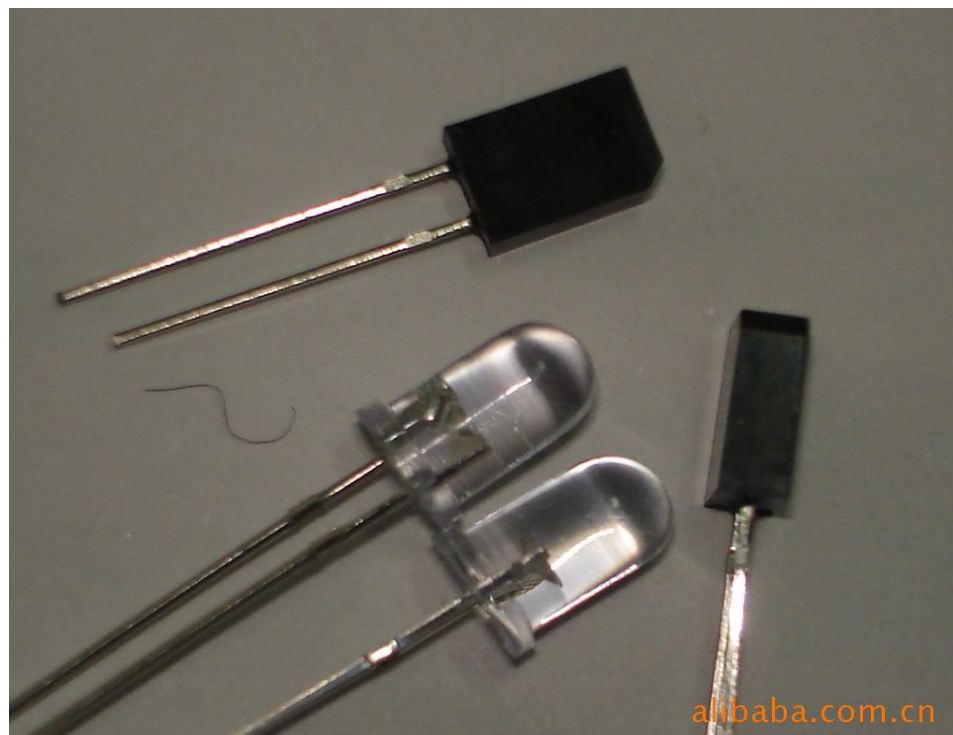
防穿甲弹的透明陶瓷



陶瓷光学透镜



# 红外光学陶瓷



高温滤光、红外接受  
和红外探测材料。

应用 - 红外导弹的窗  
口、整体罩、天线  
罩、微波基板绝缘支  
架、红外发生管壳、  
红外透镜

红外探测材料

# 光学陶瓷



激光晶体材料

# 功能陶瓷材料

生物陶瓷

用于人体器官替换、修补  
以及外科矫形的陶瓷材料。

生物惰性陶瓷

$\text{Al}_2\text{O}_3$ 瓷、 $\text{ZrO}_2$ 瓷、C类瓷

生物活性陶瓷

磷酸钙陶瓷

$\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{MgO}$ - $\text{CaO}$ - $\text{SiO}_2$ - $\text{P}_2\text{O}_5$ 陶瓷



# 生物陶瓷



生物陶瓷 -  
人工关节



生物陶瓷 - 人工听小骨



可切削牙科陶瓷材料



# 敏感陶瓷

## 敏感陶瓷

性能随外界条件（温度、湿度、气氛）的变化而发生改变的陶瓷。

### 热敏陶瓷

钛酸钡、尖晶石型

### 压敏陶瓷

ZnO, SiC, Ge

### 气敏陶瓷

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ZnO, SnO

### 磁敏陶瓷

钕铁硼 铝镍钴

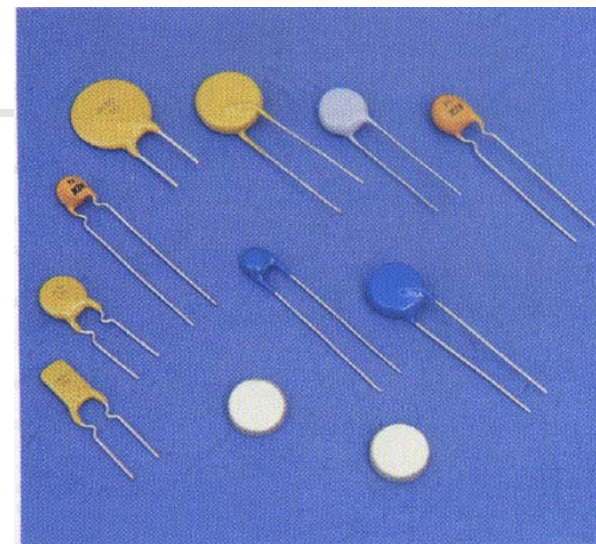
### 湿敏陶瓷

尖晶石型 钙钛矿

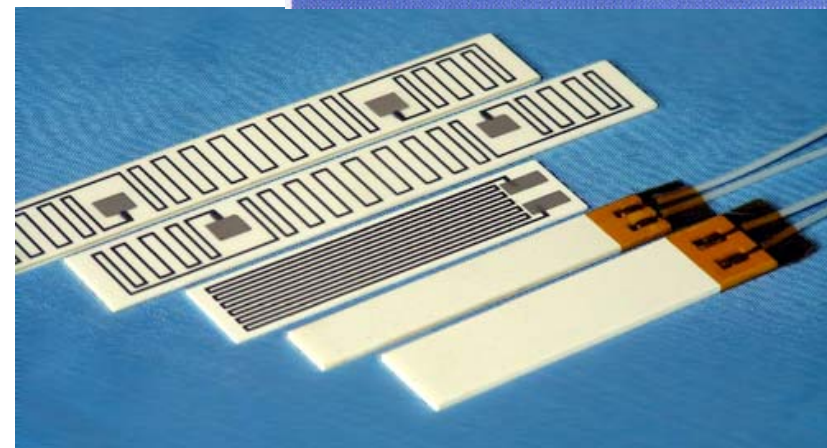
# 敏感陶瓷



磁敏陶瓷



数字温度  
传感器



PTC热敏陶瓷

## 4.2.6 陶瓷材料的生产工艺过程





# 普通陶瓷的生产工艺过程

---

## ■ 天然原料

可塑性粘土类原料（如高岭土）：细颗粒含水铝硅酸盐，具有层状的晶体结构。作用：提供室温下的可塑性和成型能力；提供组成中的氧化铝，调节烧结性能

非可塑性石英类原料（如石英砂等）：二氧化硅，质硬难熔，在瓷坯中起骨架作用；

# 普通陶瓷的生产工艺过程

## 天然原料

### 长石类原料

含有钾、钠或钙离子的无水铝硅酸盐，属于助熔剂，高温下熔融后成为玻璃相，可以部分溶解石英，并起到粘结的作用。

### 其它矿物原料

这些原料的配比不同，就形成了日常所见到的各种陶瓷制品，如建筑陶瓷、日用陶瓷、电工陶瓷等等。



# 普通陶瓷的生产工艺过程

---

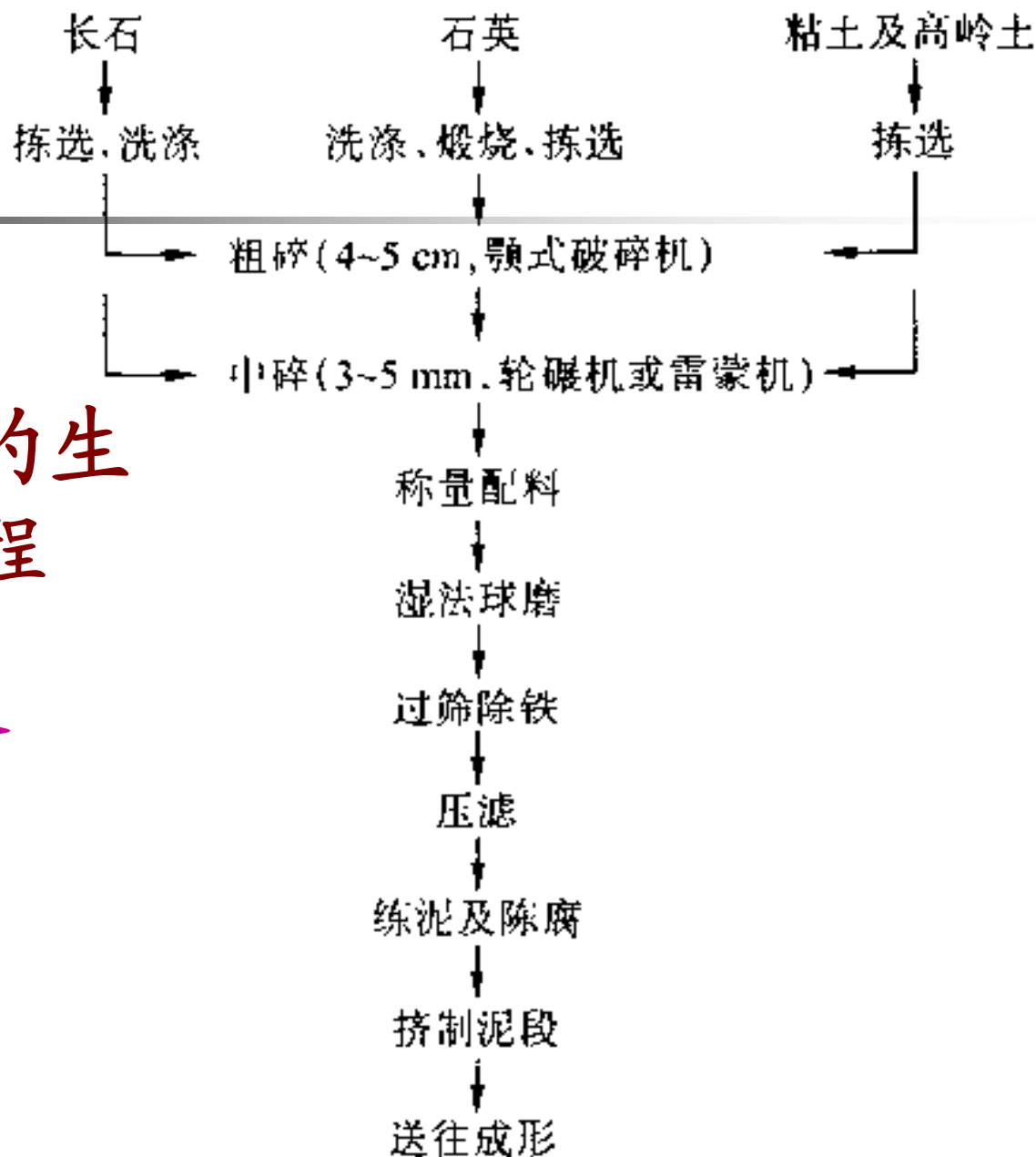
## ■ 化工原料

用于配制釉料，用作釉的乳浊剂、助熔剂、着色剂等。



# 普通陶瓷的生产工艺过程

## ■ 原料准备



# 普通陶瓷的生产工艺过程

## ■ 成型

坯料—具有一定形状大小的坯体可塑成型

将可塑性的泥料在外力作用下发生可塑变形而制成一定形状的坯体—最传统的陶瓷成型工艺。

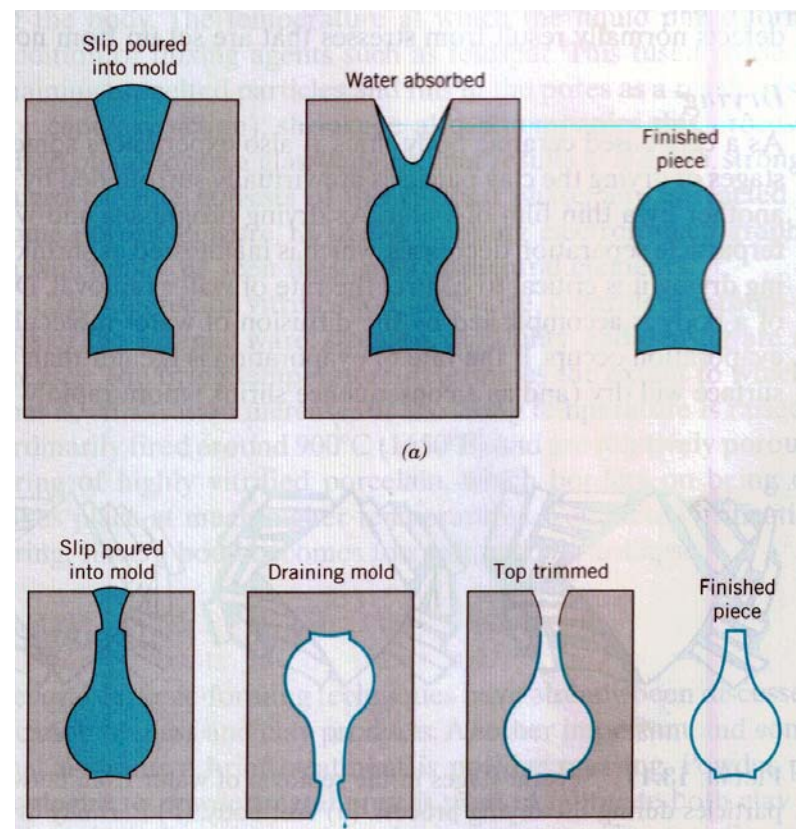
旋压法、滚压法、塑压法、注射法、轧膜成型法

# 普通陶瓷的生产工艺过程

## ■ 注浆成型

**传统概念：**利用多孔模型吸收注入其中的泥浆中的水分，在模壁上形成薄的泥层并具有模型赋予的形状，如真空注浆、离心注浆。

**广义概念：**所有由具有一定液态流动性和悬浮性的浆料得到坯体的成型方法，如热压注、流延成形。



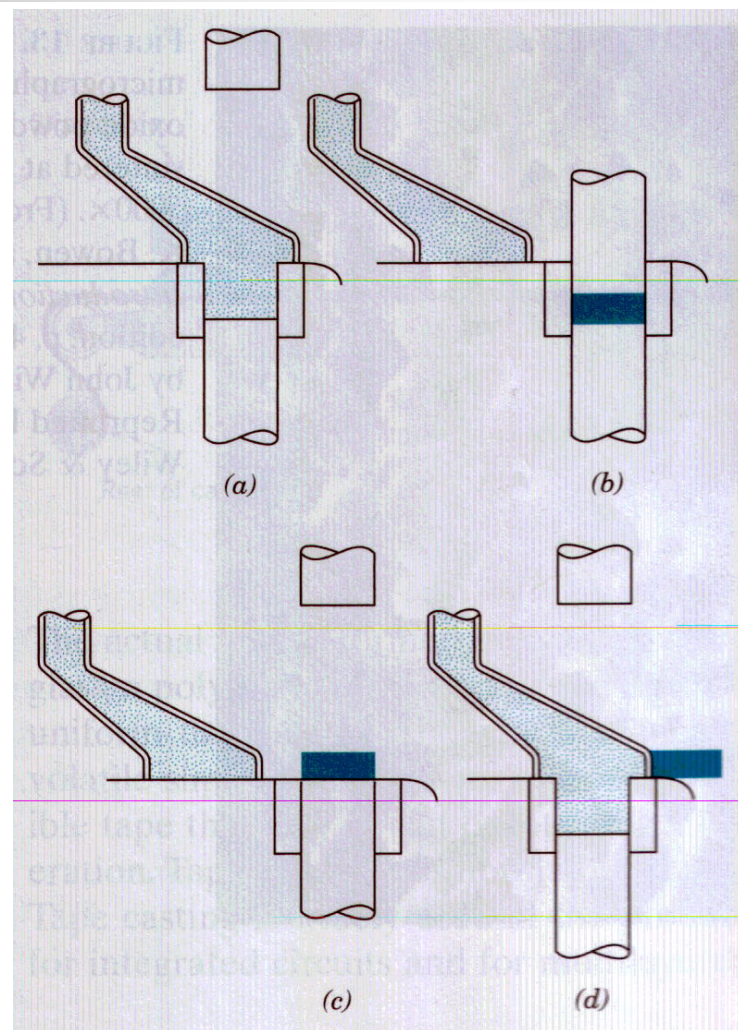
# 普通陶瓷的生产工艺过程

## ■压制成型

将含少量水分或润滑剂和粘结剂的坯料填充在某一特制的模型中，施加压力将其压制成为具有一定形状和强度的坯体。

**单轴向压制成型：**刚性金属模具、上、下两个方向加压；

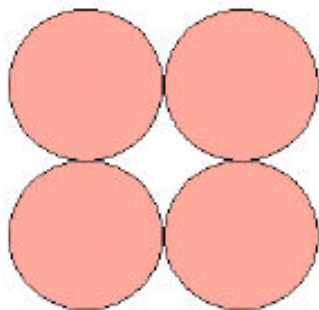
**等静压成型：**是坯料在各个方向同时均匀受压。



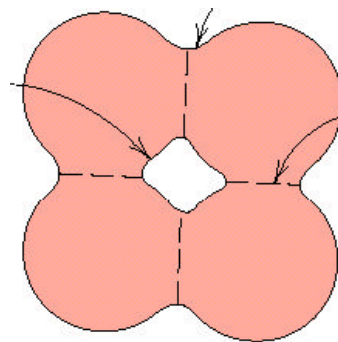
# 普通陶瓷的生产工艺过程

## ■ 烧成

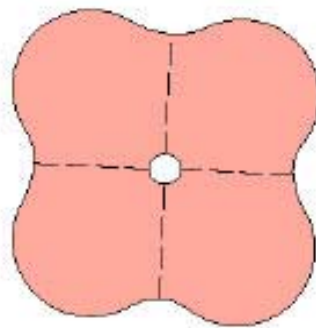
将干燥好的坯体放到窑或炉内加热到高温进行煅烧，通过一系列物理化学变化，形成预期的矿物组成和显微结构，从而达到固定外形并获得所预期的性能的过程。



(a)



(b)



(c)



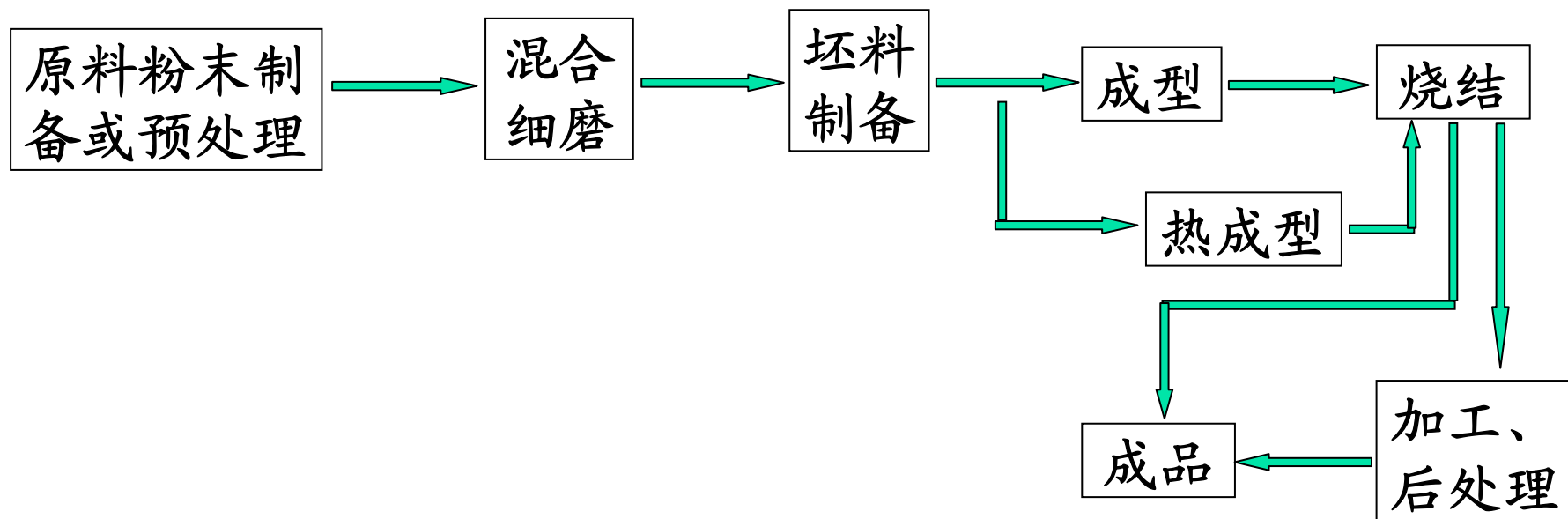
# 普通陶瓷的生产工艺过程

---

- 烧成工艺制度：升温、冷却速度；烧成温度；保温时间；气氛；压力等
- 烧成窑炉：隧道窑、辊道窑、推板窑、倒焰窑等



# 特种陶瓷的生产工艺过程





# 特种陶瓷的生产工艺过程

## ■ 粉体制备

液相法、气相法、固相法、机械法等

## ■ 成型

进一步提高坯体致密度、均匀性或尺寸精度，保证制品的优异性能

等静压、注凝成型、可塑成型 \ 热压注成型 \ 挤压成型 \ 干压成型 \ 注浆成型

## ■ 烧结

烧成温度更高、需精确控制、控制气氛、几乎无液相

热压烧结、热等静压烧结、真空(气压)烧结、微波烧结、等离子烧结



# 特种陶瓷的生产工艺过程

---

## ■ 特点

原料高度精选

组成精确调配

生产控制更加严格



# 特种陶瓷的生产工艺过程

---

## ■ 原料特点

纯度高

颗粒细小

少加或不加添加剂

## ■ 原料粉体制备方法

液相法

气相法

固相法

机械法

溶剂蒸发法



# 特种陶瓷的生产工艺过程

---

## ■ 特殊烧结方法

热压烧结

气氛烧结

热等静压烧结

真空（气压）烧结

微波烧结

等离子烧结



## 4.3 水泥

---

### 定义

一种加入适量水后，能在空气中、水中硬化的，并能把砂、石等材料牢固地胶结在一起的水硬性胶凝材料。

# 水泥





## 4.3.1 胶凝材料定义与分类

### ■ 定义

能将散状材料或纤维材料胶结在一起，经物理、化学作用，由浆体硬化而成为坚固的人造石材的材料。

### ■ 分类（硬化条件）

气硬性胶凝材料：只能在空气中硬化

水硬性胶凝材料：能在水和空气中硬化



# 国家重大需求

- 水泥混凝土材料是最大宗人造材料

理由：基本建设的持续发展

城乡建设、水利水电建设、交通建设

基本建设年投入2万亿元，持续发展至少30年





# 水泥的分类

## 按水硬性矿物

硅酸盐水泥

铝酸盐水泥

硫铝酸盐水泥

氟铝酸盐水泥

少熟料和无熟  
料水泥

# 水泥的分类

## 按用途和性能

### 通用水泥

硅酸盐水泥：普通水泥、矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥，用于土木建筑等。

### 专用水泥

油井水泥、大坝水泥、砌筑水泥

### 特性水泥

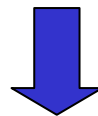
快硬硅酸盐水泥、抗硫酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥、自应力铝酸盐水泥，用于油井、大坝、机场道路水泥等。

## 4.3.2 水泥的应用

重要的建筑材料和工程材料  
基本建设三大材料之一



工业、农业、国防、城市建设、交通、水利水电、海洋开发



配制水泥砂浆和混凝土



# 水泥的应用

---

建筑、修路：配制水泥砂浆和混凝土

机制：水泥与水发生化学反应（水化反应）使砂浆和混凝土凝结、硬化。

# 水泥的应用

大坝



公路



# 水泥的应用



建筑物





## 4.3.3 水泥生产

水泥原料:

硅酸盐水泥

石灰石

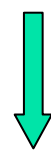
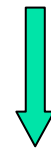
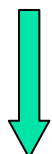
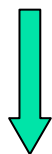
粘土

校正原料

煤粉

石膏

混合材料



CaO

$\text{Al}_2\text{O}_3$   
 $\text{SiO}_2$

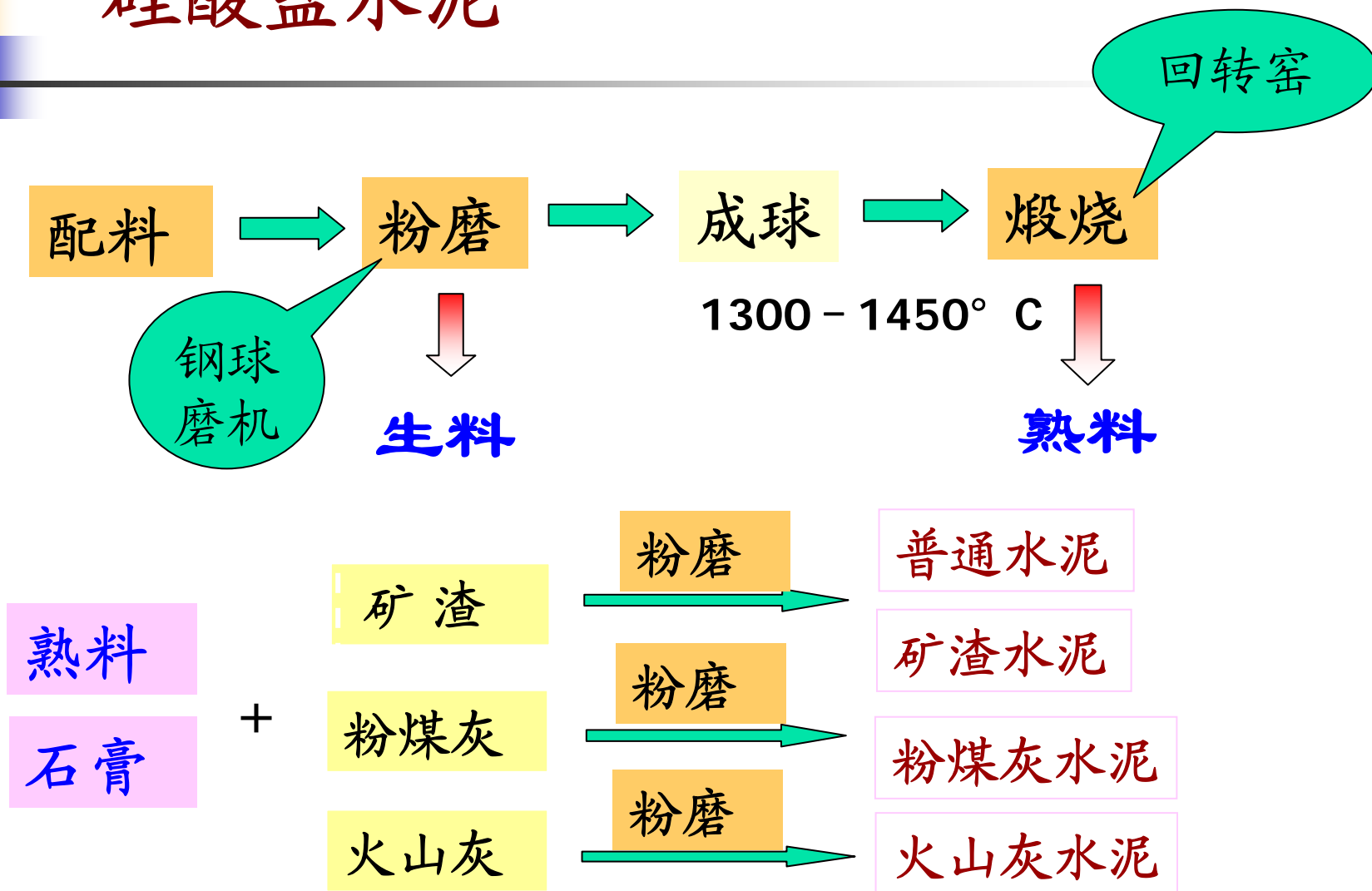
$\text{Fe}_2\text{O}_3$   
 $\text{SiO}_2$   
 $\text{Al}_2\text{O}_3$

煅烧  
燃料

调节  
水泥  
硬化  
速度

调节性  
能; 增  
产; 降  
低成本

# 硅酸盐水泥



# 水泥回转窑



## 4.3.4 水泥的主要成分

### 硅酸盐水泥熟料的主要矿物组成

硅酸三钙	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
------	--------------------------------	----------------------

硅酸二钙	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
------	--------------------------------	----------------------

铝酸三钙	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
------	---	----------------------

铁铝酸四钙	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$
-------	---	-----------------------



# 水泥

## 主要矿物对水泥性能的影响

$C_3S$   $\uparrow$   $\longrightarrow$  高强水泥

$C_3A$ 、 $C_3S$   $\uparrow$   $\longrightarrow$  快硬水泥

$C_3A$ 、 $C_3S$   $\downarrow$   $C_2S$   $\uparrow$   $\longrightarrow$  中低热水泥

$C_4AF$   $\uparrow$   $C_3A$   $\downarrow$   $\longrightarrow$  道路水泥



# 水泥

## 衡量水泥性质和质量的指标

凝结速度：初凝时间  $\geq 45\text{min}$ 、终凝时间  $\leq 12\text{h}$

强度：抗压强度(MPa)  $\xleftrightarrow{\times 10}$  标号

体积安定性：f - CaO(MgO)含量

水化热

密度

抗渗性：渗透系数

容重

抗冻性

细度

抗侵蚀性



## 4.4 玻璃

---

### ■ 定义

熔融体过冷制得的具有固体性质和一定结构特征的非晶态物质。

### ■ 共性

各向同性

介稳性

固态和熔融态间转化的渐变性和可逆性  
性质随成分变化的连续性和渐变性





## 4.4.1 玻璃的分类

### 按组成分类

#### 元素玻璃

##### 氧化物玻璃:

硅酸盐玻璃  $\text{SiO}_2$

硼酸盐玻璃  $\text{B}_2\text{O}_3$

磷酸盐玻璃  $\text{P}_2\text{O}_5$

##### 非氧化物玻璃:

卤化物玻璃

硫族化合物玻璃

主要类型: 钠钙硅、硼硅酸、铅硅酸玻璃

# 玻璃的分类

根据玻璃的用途分:

普通玻璃



日用玻璃

建筑玻璃

光学玻璃

玻璃纤维

特种玻璃



辐射玻璃

激光玻璃

光纤玻璃

非线性光学玻璃



# 玻璃

---

2005年我国平板玻璃总产量超过3.2亿重量箱，销售收入280亿元，

近二十年来，全国玻璃产量增长了7倍多。

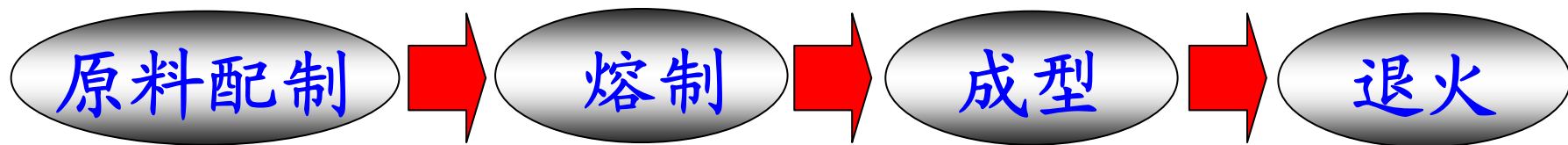


## 4.4.2 玻璃的性质

### 玻璃的性质

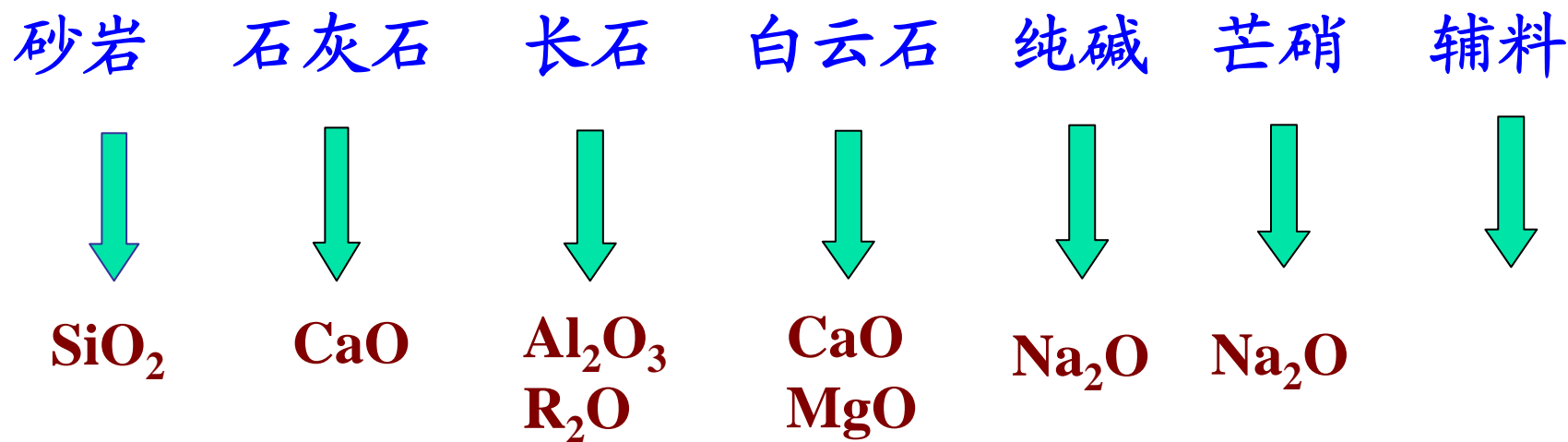
- |      |                                |
|------|--------------------------------|
| 力学性质 | 抗压强度高，抗拉强度低。<br>硬度高，脆性大        |
| 物理性质 | 高度透明，具有很重要的光学性质。<br>能透可见光和红外线。 |
| 化学性质 | 化学性质稳定，耐酸不耐碱。                  |

### 4.4.3 玻璃的生产方法



# 玻璃的生产方法

原料（以钠钙硅玻璃为例）





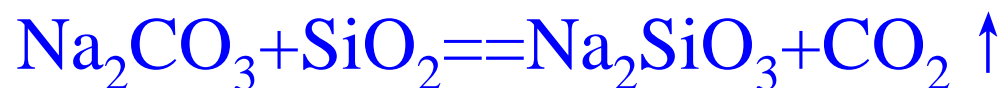
# 玻璃的生产方法

## 熔制

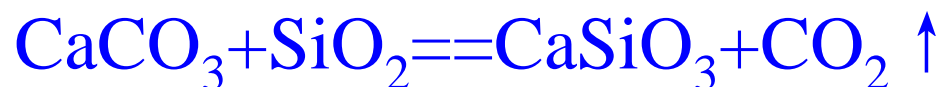
硅酸盐形成

复杂的物理、化学变化：

玻璃液形成



玻璃液澄清



玻璃液均化

主要成分： $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 、 $\text{CaSiO}_3$ 、 $\text{SiO}_2$   
 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$

玻璃液冷却

设备：玻璃熔窑





# 玻璃的生产方法

---

## 成型

压制成型：烟缸等器皿

吹制成型：空心玻璃等

拉制成型：窗用玻璃等

压延成型：压花玻璃等

加工纤维：

浇注成型：光学玻璃等

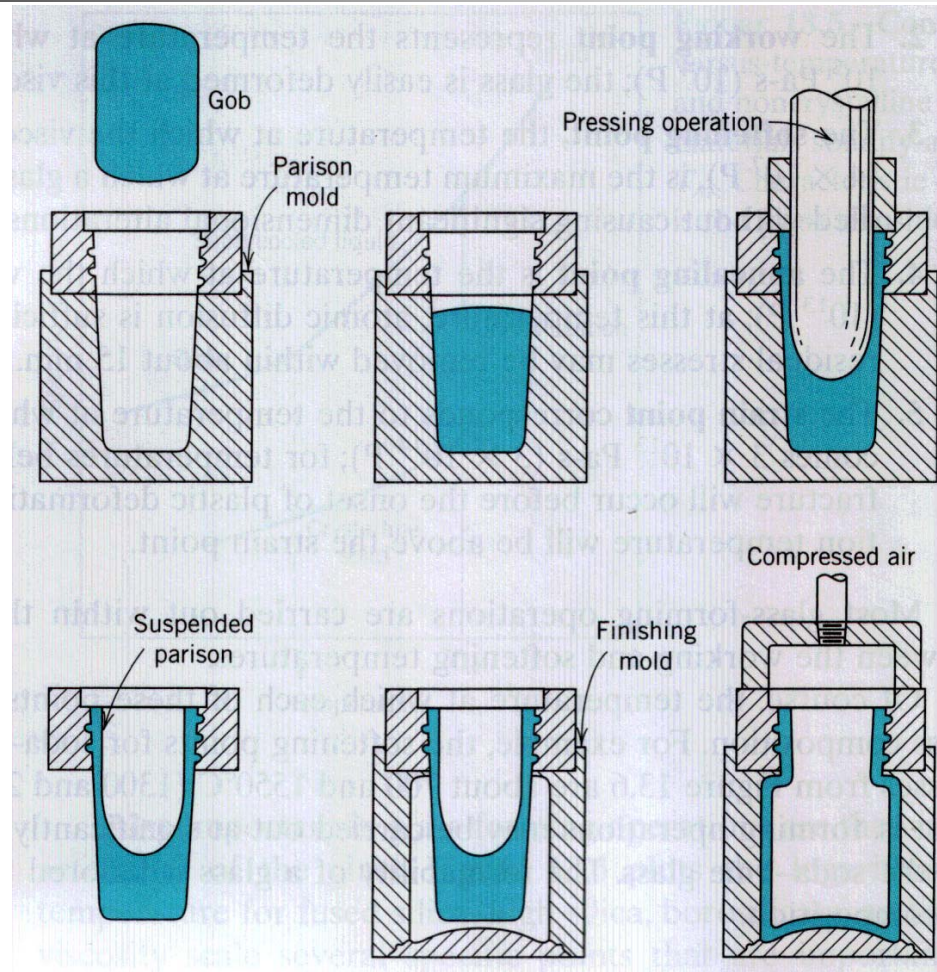
离心成型：玻璃棉等

烧结成型：泡沫玻璃等

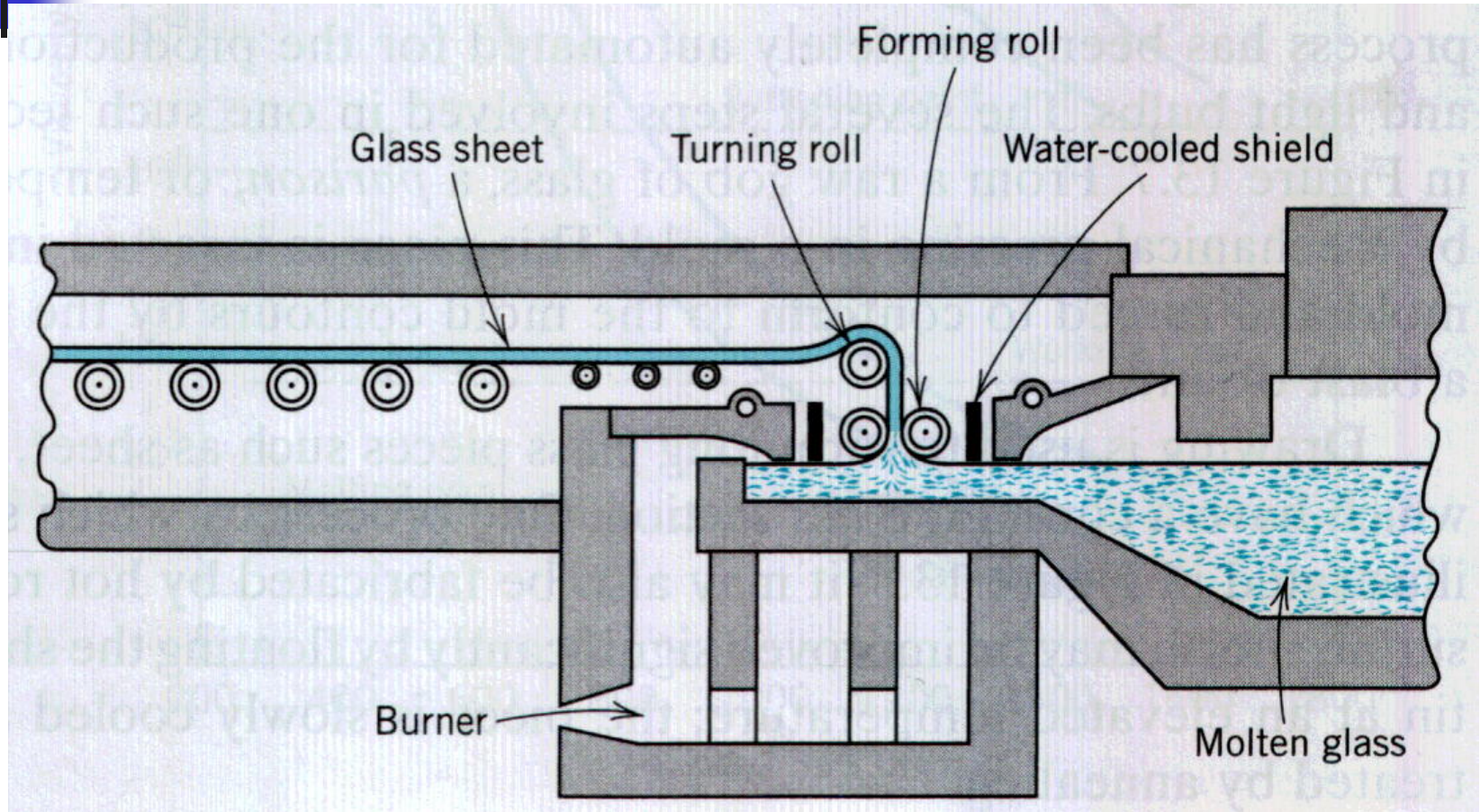
喷吹成型：玻璃珠等

浮法成型：平板玻璃等

# 玻璃瓶的生产



# 平板玻璃的生产

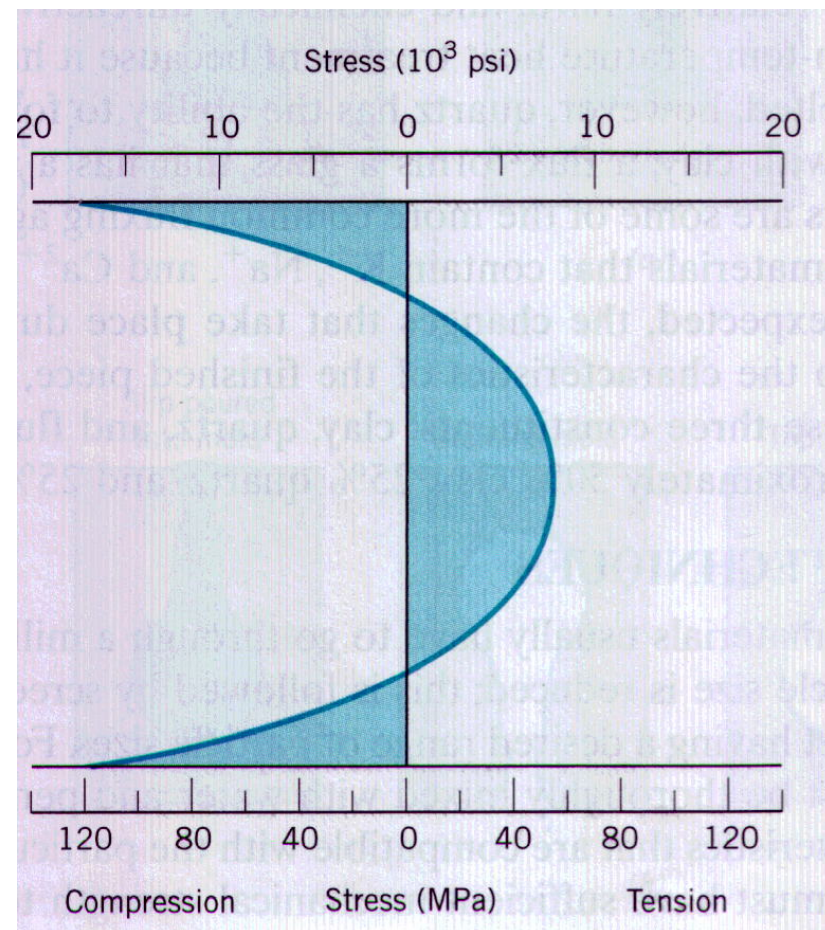




# 玻璃的生产方法

## 退火

将玻璃加热至一定温度进行热处理并采取适宜的冷却工艺制度，从而消除或减少玻璃在生产过程中因激烈、不均匀的温度变化而产生的热应力的过程。



## 4.4.4 玻璃的应用



# 玻璃的应用



香港中银大厦



美国纽约第五大道



法国罗浮宫广场



## 4.5 耐火材料

### 定义

耐火度不低于1580度的材料。广泛应用于冶金、硅酸盐、化工、机械等领域的窑炉以及高温容器的耐高温材料。

### 常见的耐火材料

耐火砖

粘土砖

轻质砖

半硅砖

高铝砖

镁砖

碳砖

耐火纤维

耐火混凝土



# 耐火材料

## 性能指标

耐火度

材料在高温下不熔化的性质。

荷重软化温度

指耐火材料在温度和荷重的作用下抵抗变形的能力。

高温体积稳定性

在高温下外形体积及线度保持稳定的能力。

抗热震性

在高温下，温度急剧变化不破坏的能力。

抗渣性

抵抗熔渣或熔融液侵蚀的能力。

耐真空性

在真空和高温下服役的能力。

# 耐火材料的应用

