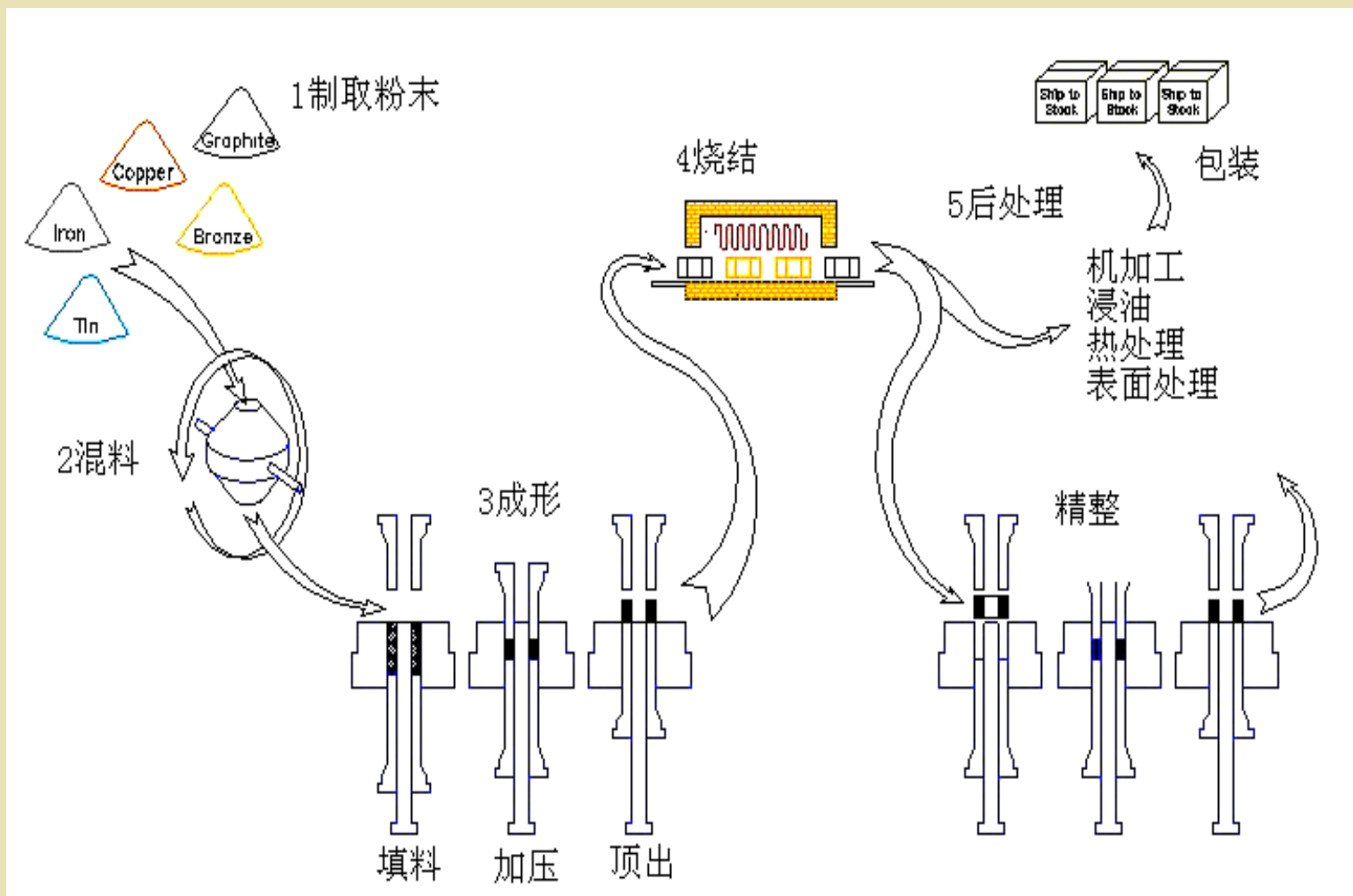


## 二 粉末成形

梁 吉



# 粉末冶金工艺过程



# 一. 成形前物料准备

1. 退火  $T_{\text{退}} = (0.5-0.6) T_{\text{熔}}$

还原气氛 惰性气体保护 真空

机械合金化的Al、Mg、Si、Cu 粉末退火后硬度

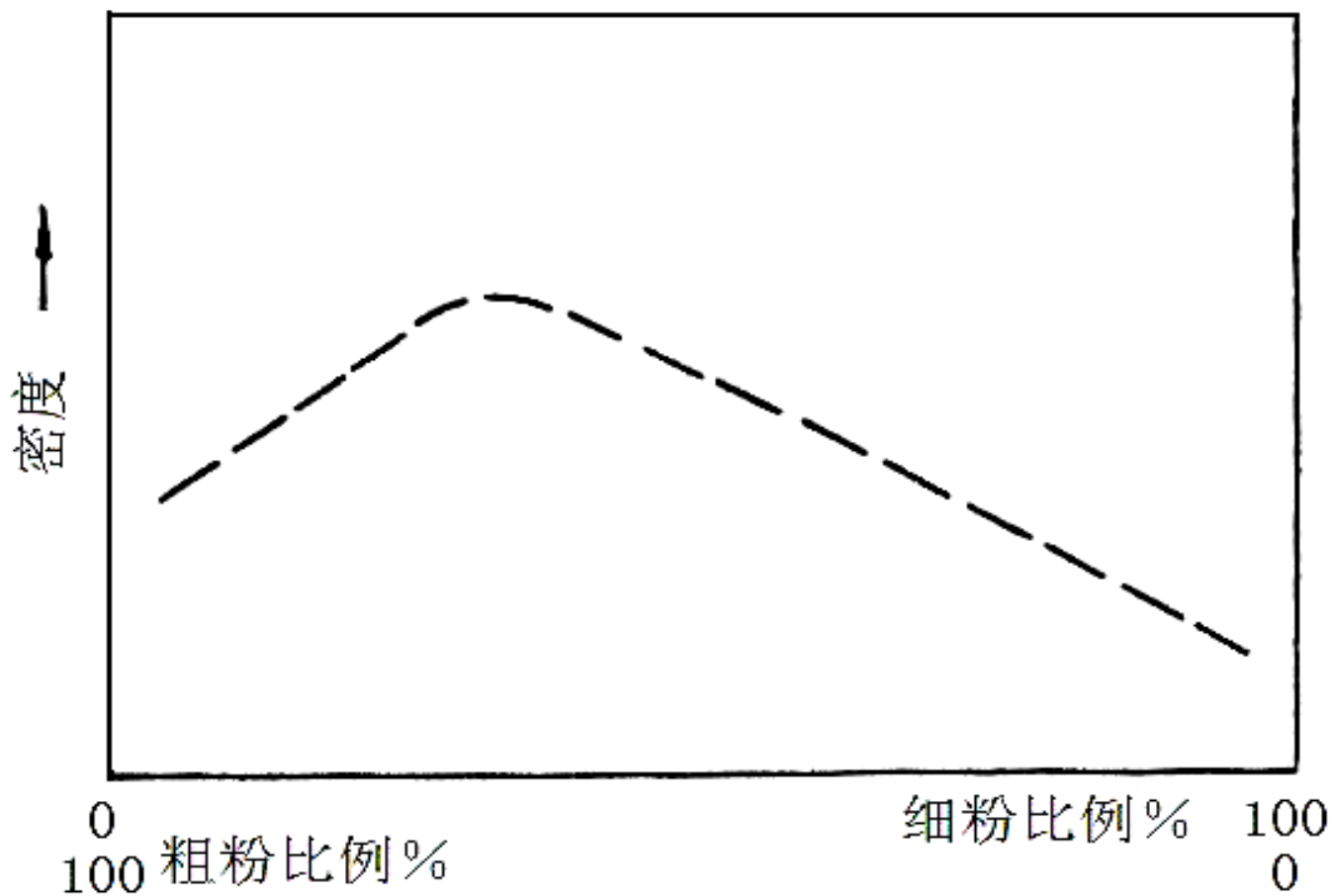
状 态	MA20h	415 °C ×2h	500 °C ×2h	500 °C ×12h
显微硬度 Hm	194	145	104	85

新相由 $\text{Al}_4\text{C}_3$ 、 $\text{Mg}_2\text{Si}$  及  $2\text{Al}_2\text{O}_3$ 组成

# 粉末硬度对成形压力的影响

粉末种类	松装密度 g/cm <sup>3</sup>	硬度 HB	压坯达到80%相对密度所需压力 MP <sub>a</sub>
铅	3.98	35	618.4
锡	3.50	50	1029

## 2. 筛分



粉末粒度组成对压坯密度的影响

### 3. 加润滑剂(成形剂)

润滑剂作用：提高压坯强度及均匀性，改善劳动条件

润滑剂组成：石蜡，硬脂酸 硬脂酸盐  
加入量为金属粉末的0.1 % ~ 2 %

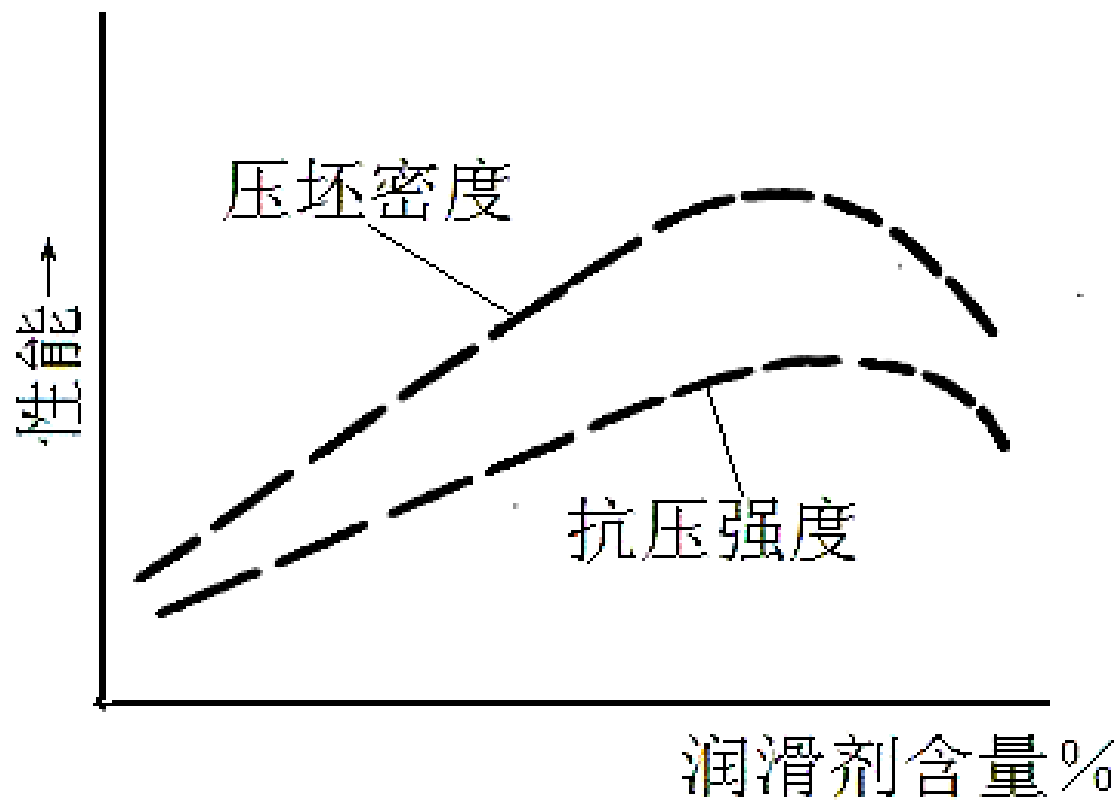
润滑剂还具有造孔剂的作用



## 润滑剂对脱模力的影响

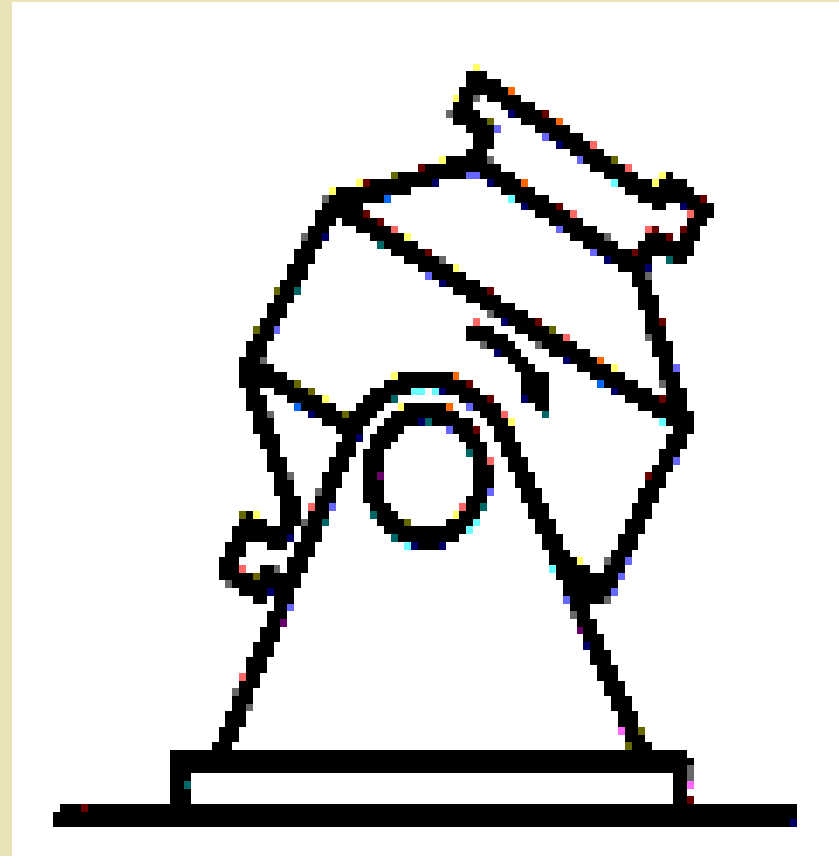
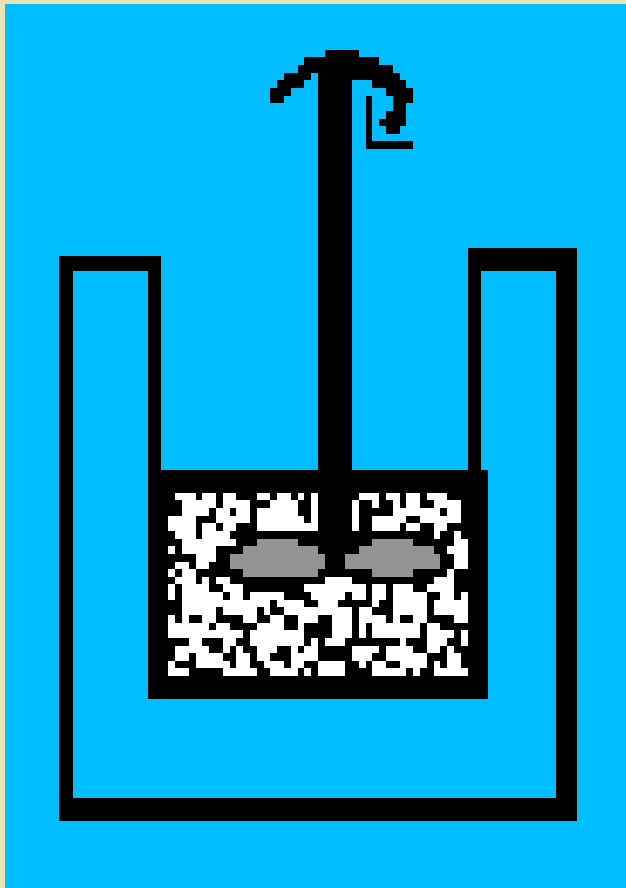
成形压力KN/cm <sup>2</sup>	10	20	30	40	50	60
脱模力KN/cm <sup>2</sup>						
无润滑剂	1.25	3.20	4.10	5.50	6.60	8.00
1.2%硬脂酸锌	0.60	1.10	1.65	2.10	2.60	2.95

# 润滑剂加入量对压坯性能的影响

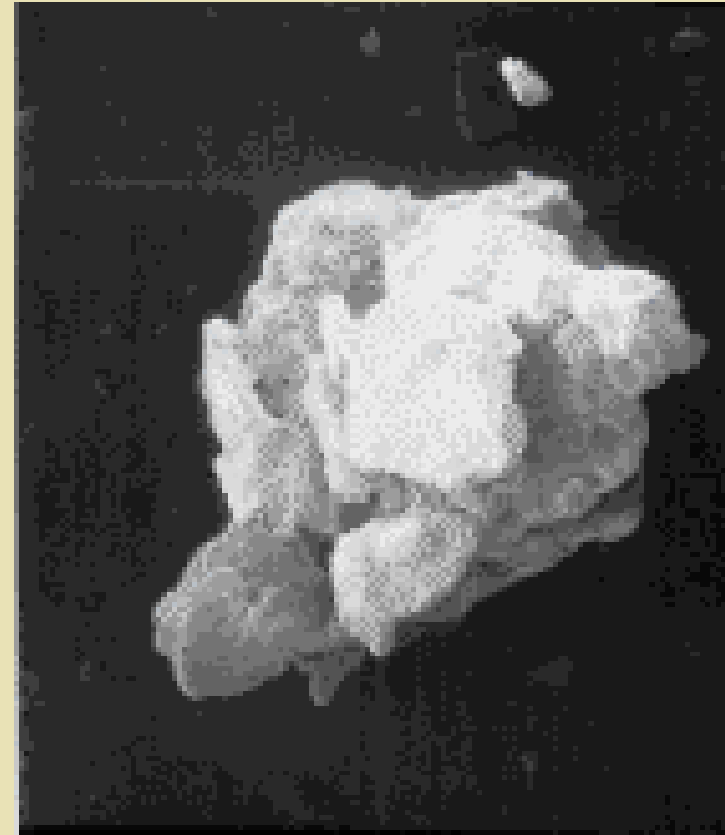
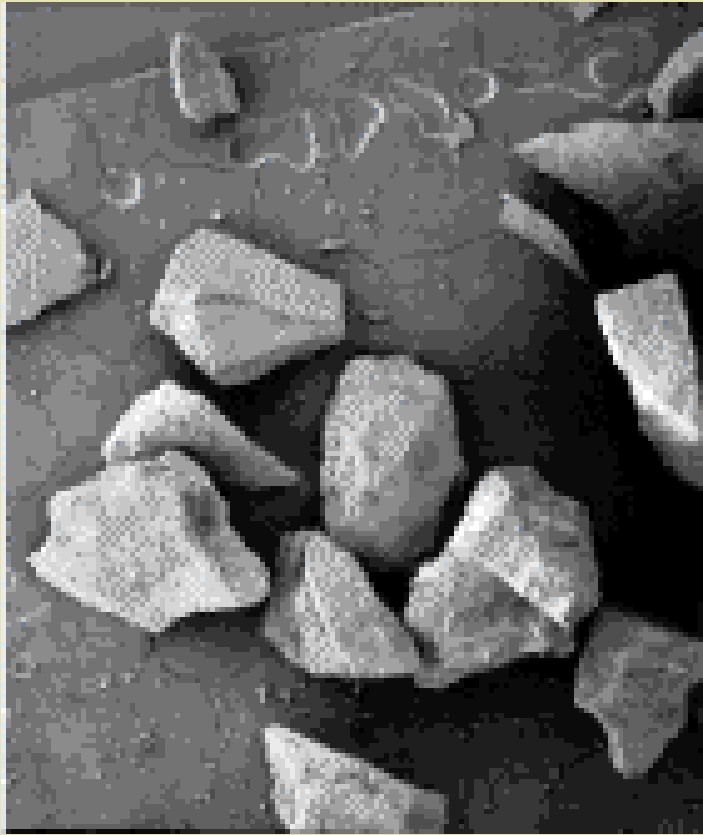




# 混合 合批(干混 湿混)

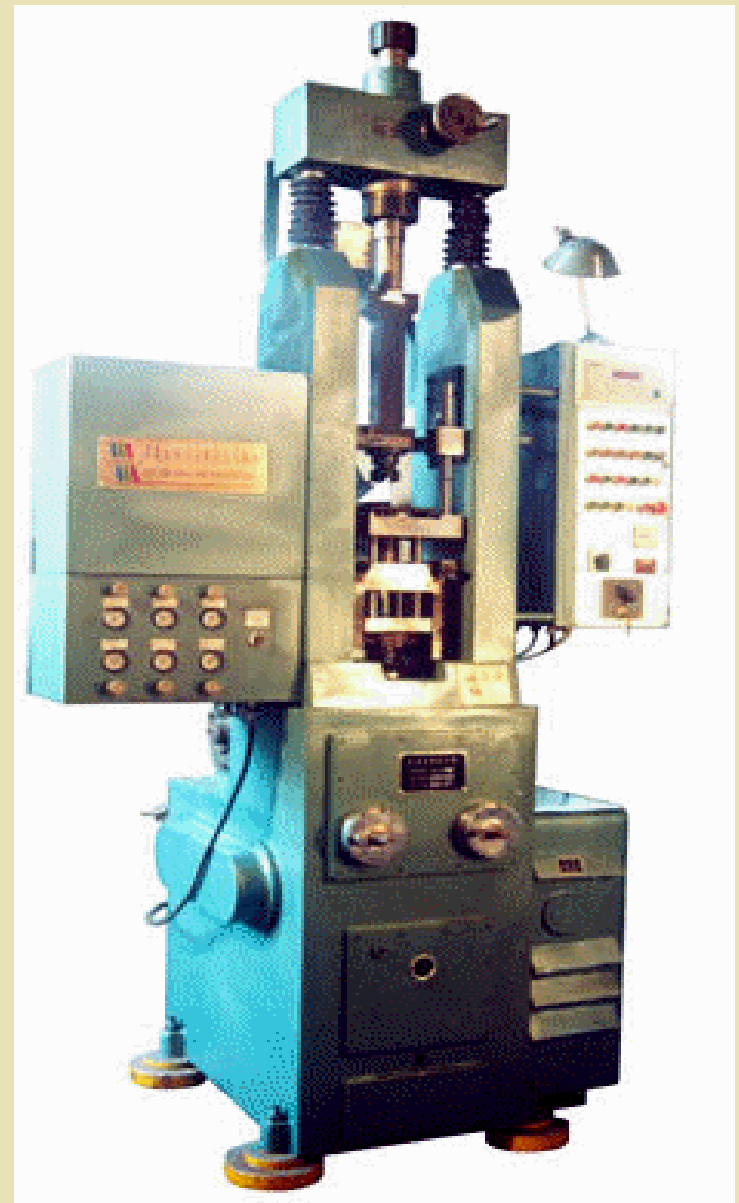
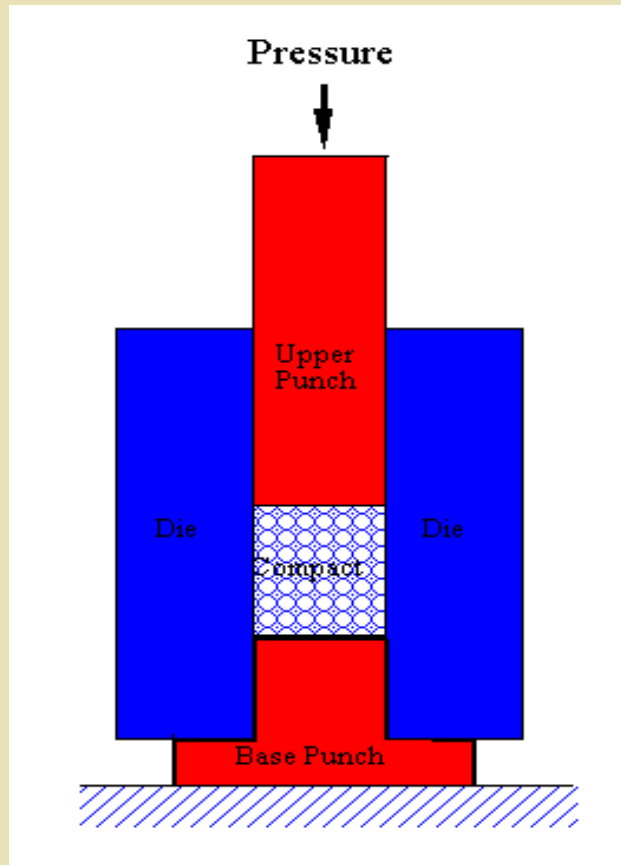


# 造粒 提高流动性



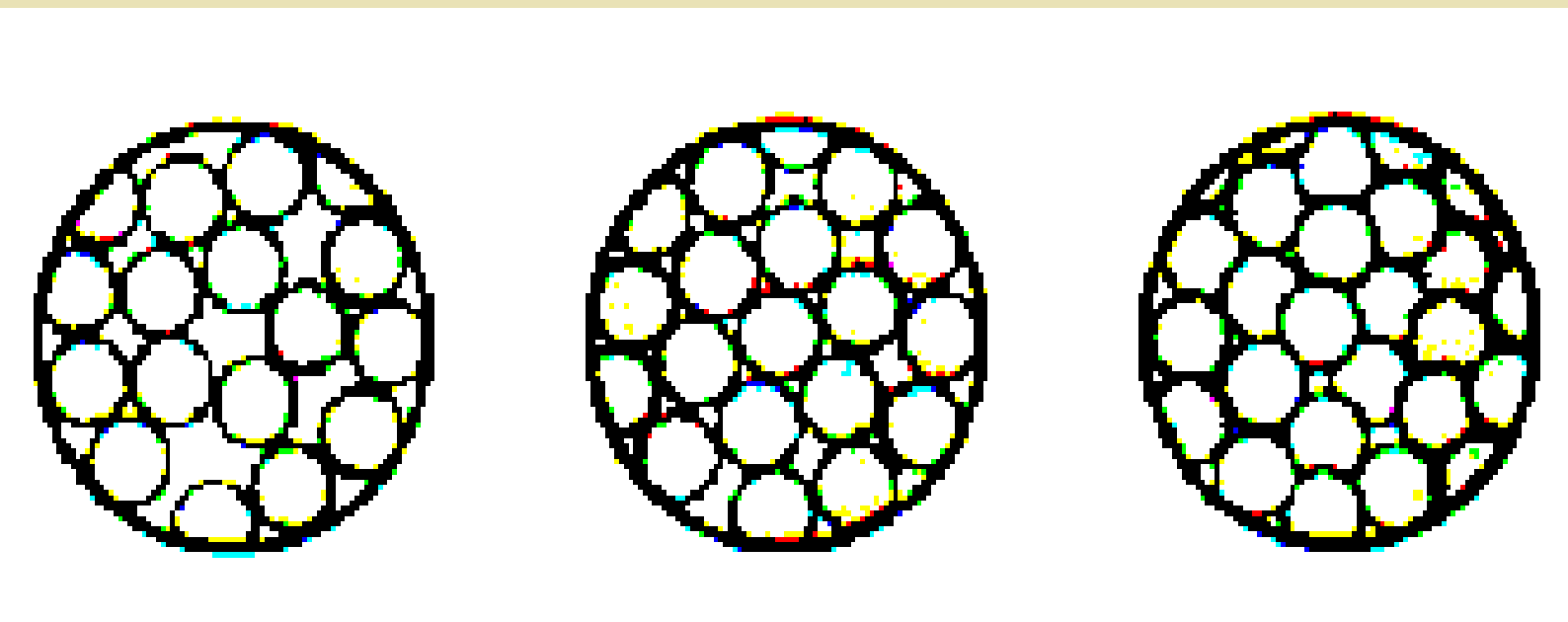
## 二. 模压成形

### 1. 单向压实

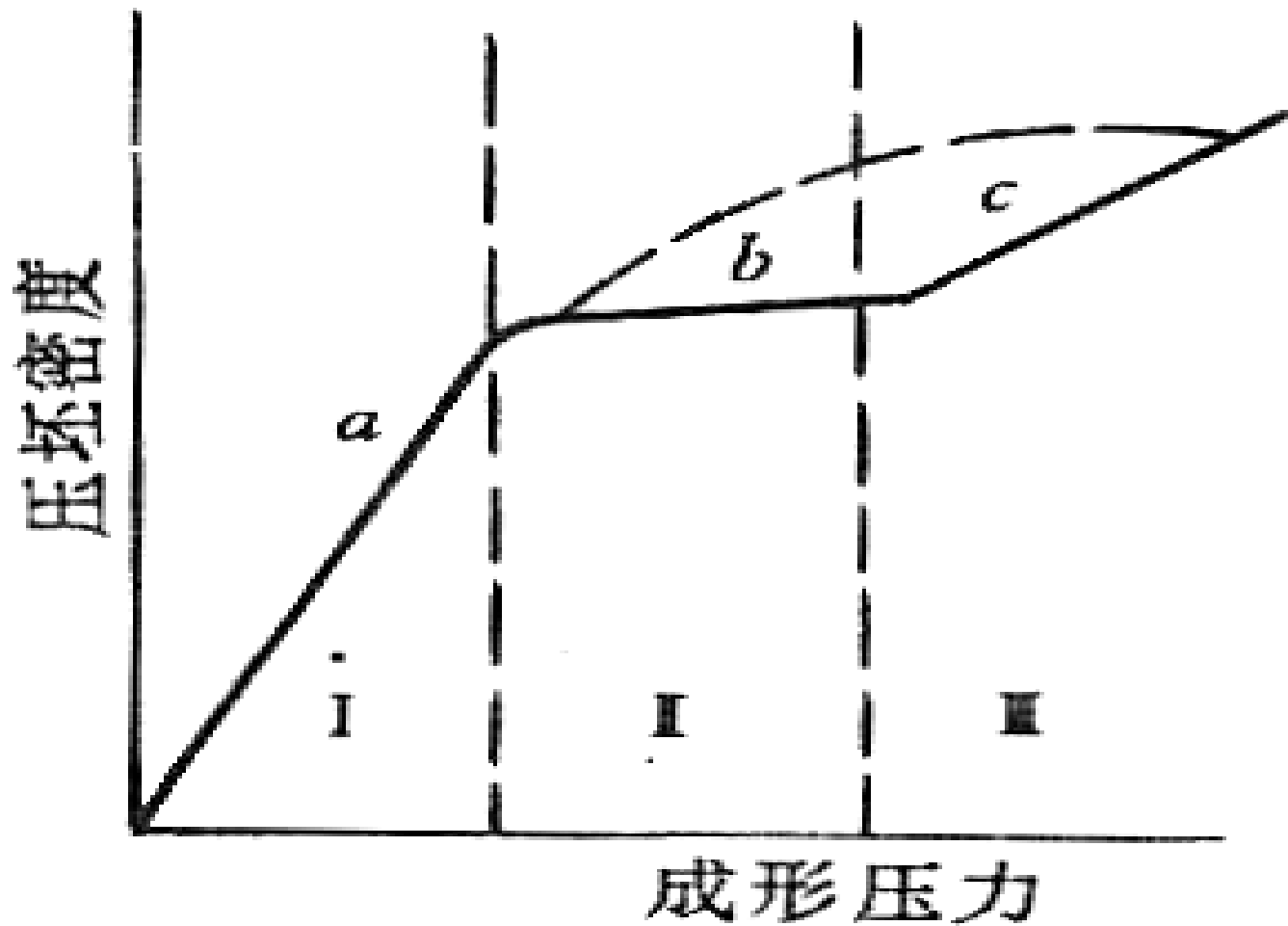


# 粉末的结合力

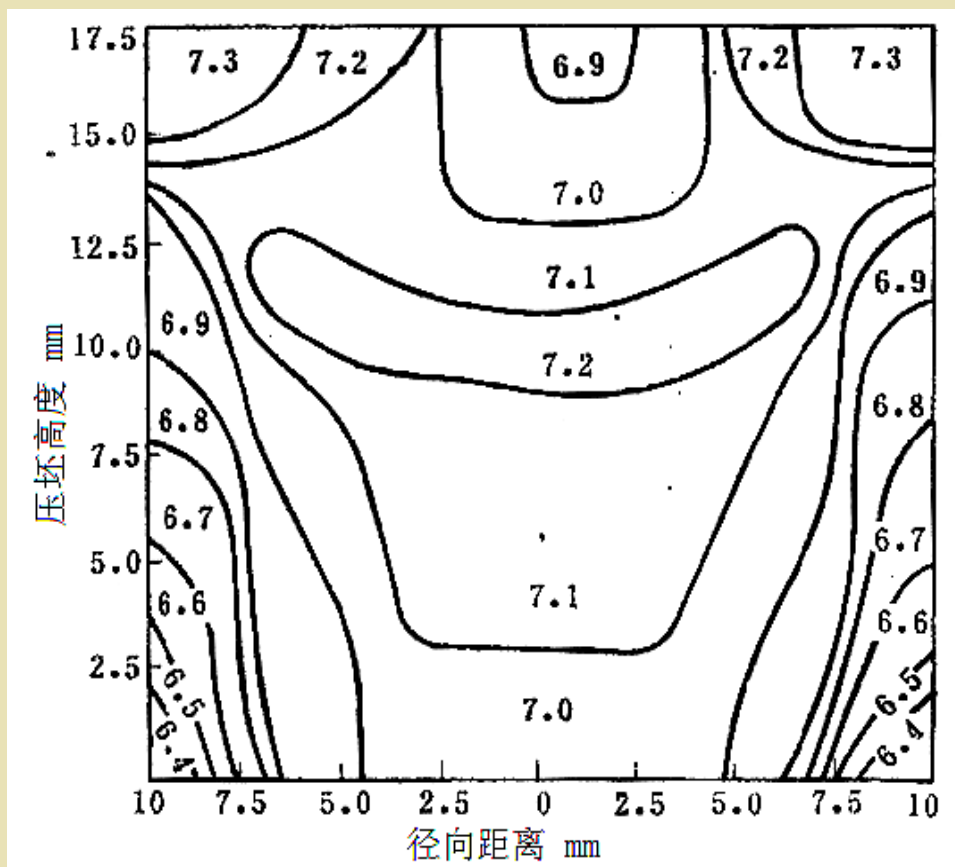
机械咬合      冷焊

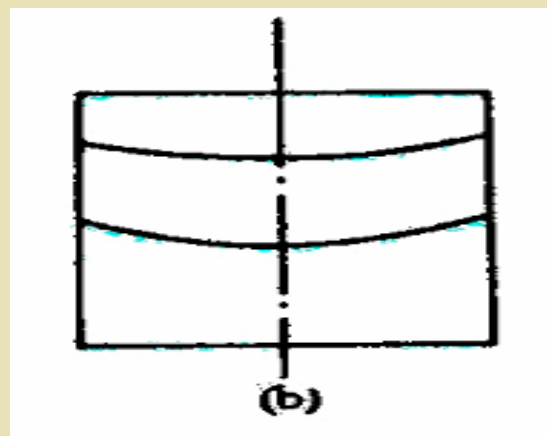
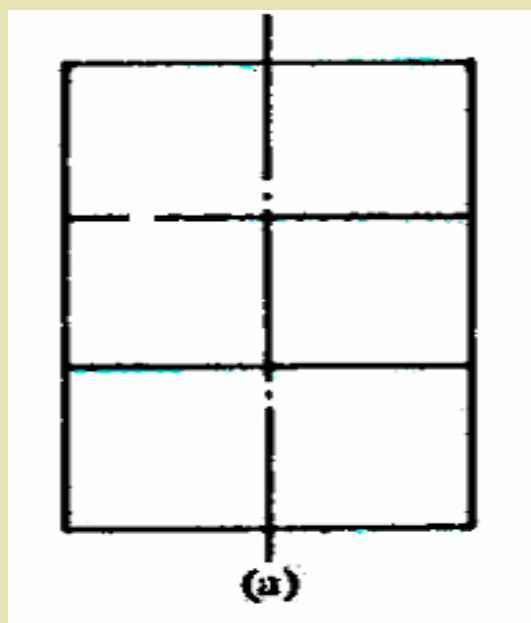


# 压坯密度与压力关系



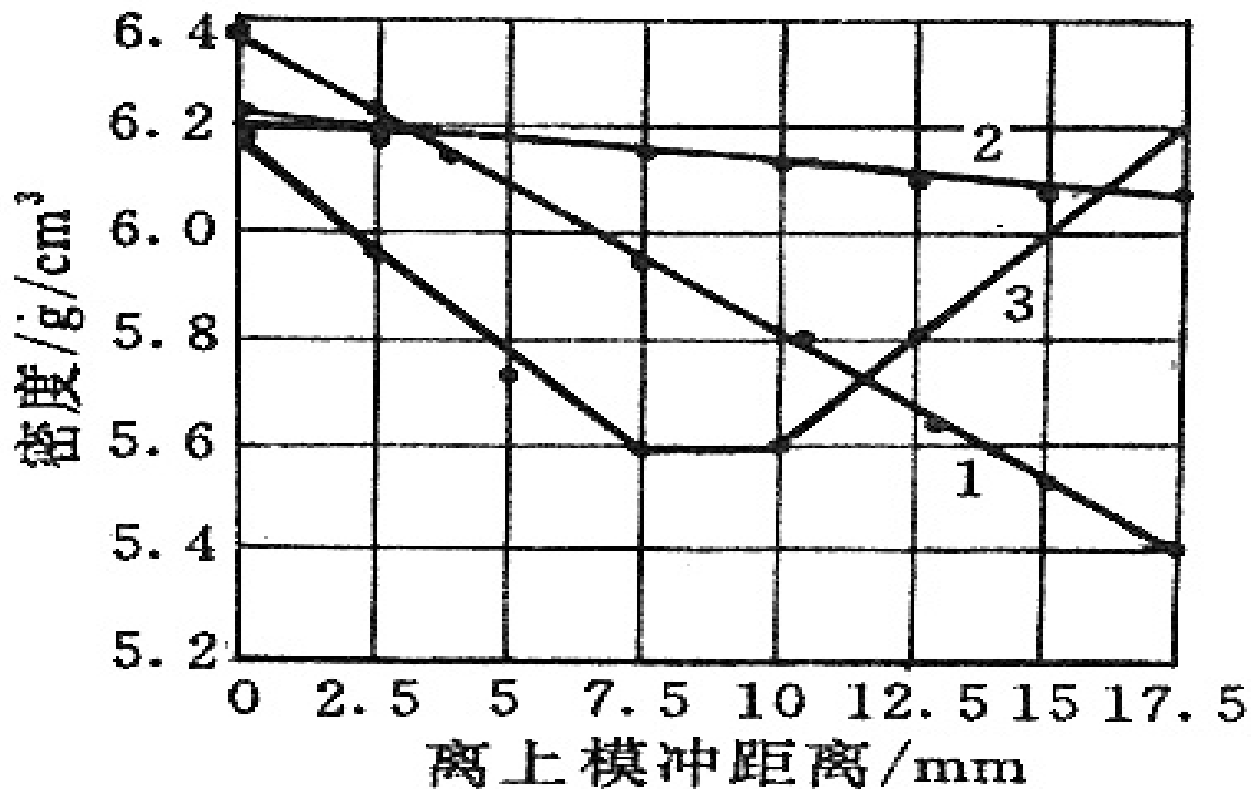
# 单向压制压坯的密度的不均匀性





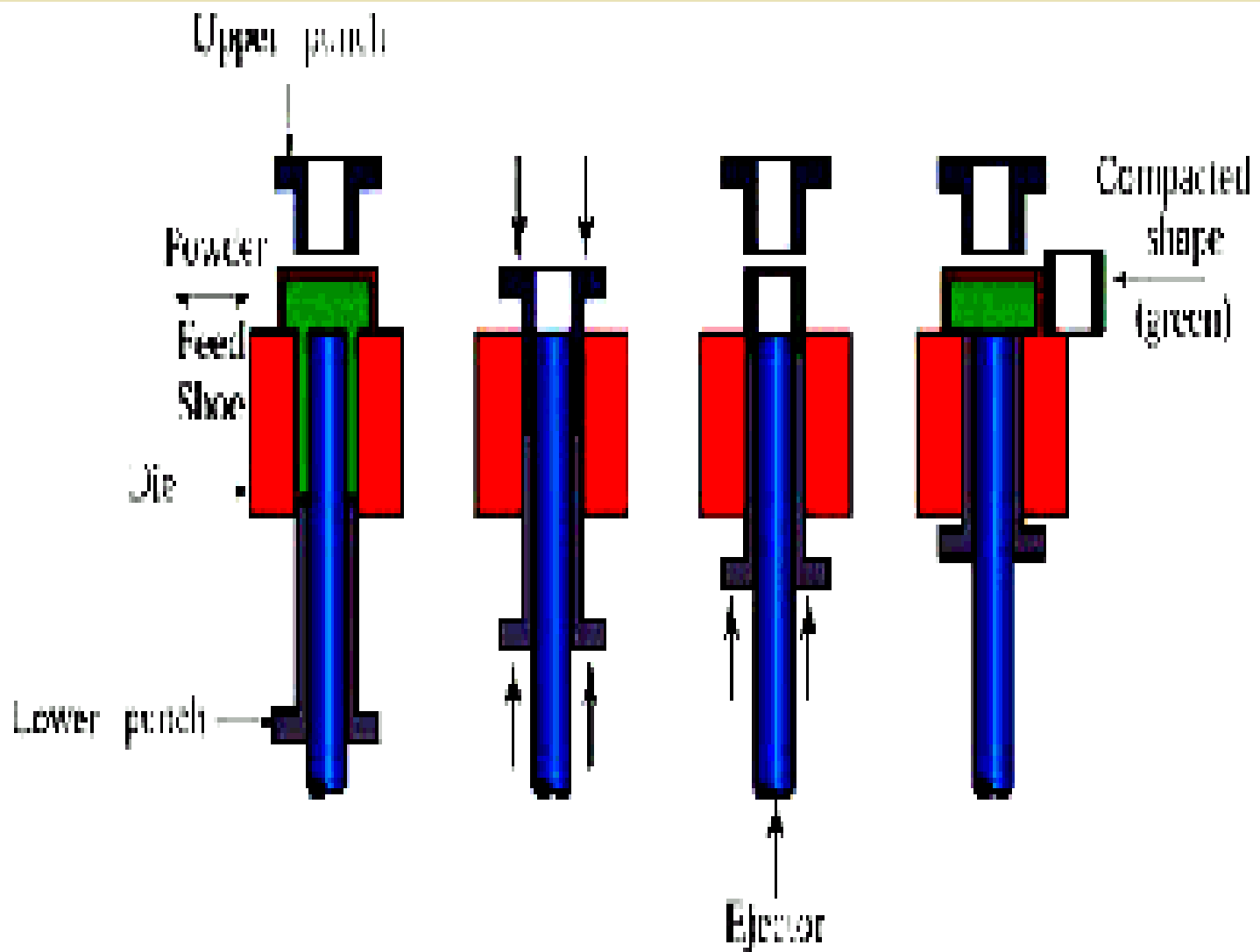
用石墨粉作隔层的单向压制压坯  
(a) 压制前 (b) 压制后

# 单向压制不均匀性的克服



1单向压制 2添加润滑剂 3双向压制





轴套双向自动压制



# 影响压坯质量的主要因素

1. 粉末性能（硬度、纯度、粒度、形状）
2. 成型剂（润滑剂，粘结剂）
3. 压制方式
4. 保压时间，震动加压

## 压制铁粉保压时间对压坯密度的影响

保压时间(mi n)	压坯密度(g/cm <sup>3</sup> )
0	5.65
0.5	5.75
3	6.14



粉末种类	震动压制		静压	
	压力 MPa	密度 g/cm <sup>3</sup>	压力 MPa	密度 g/cm <sup>3</sup>
Fe	1.833	4.05	77.91	3.95
W	1.147	11.29	155.82	11.2

Fe粉 松装密度2.3-2.7 (Fe密度 7.8)

W粉 松装密度 粗粉>6 中粉>2.5  
细粉<2.5 (W密度19.3)



## 2000年亚洲粉末冶金零件应用市场分布(%)

地区	汽车-摩托车	产业机械	电气机械	其他机械
日本	82	9	8	1
中国	43	12	25	20
韩国	70	1	22	7
台湾	26	35	32	7



# 粉末冶金的特点

生产普通熔炼法不能或很难生产的特殊材料及制品

制品尺寸精度高

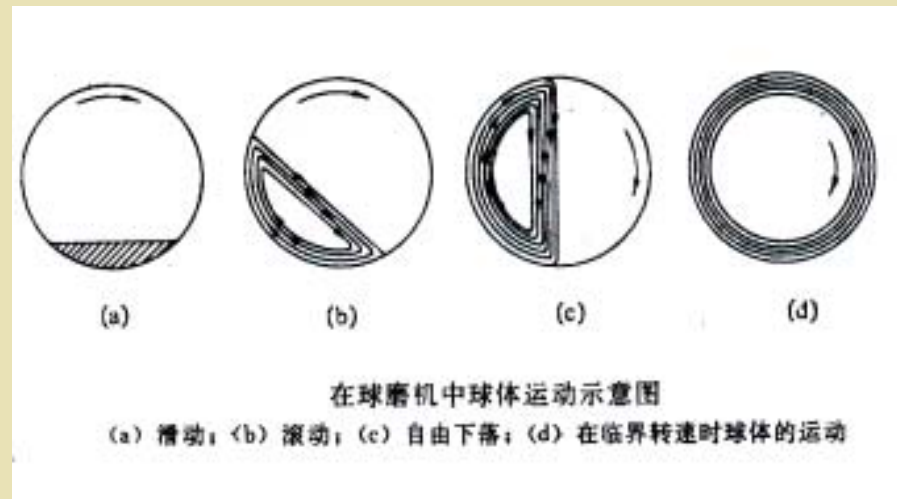
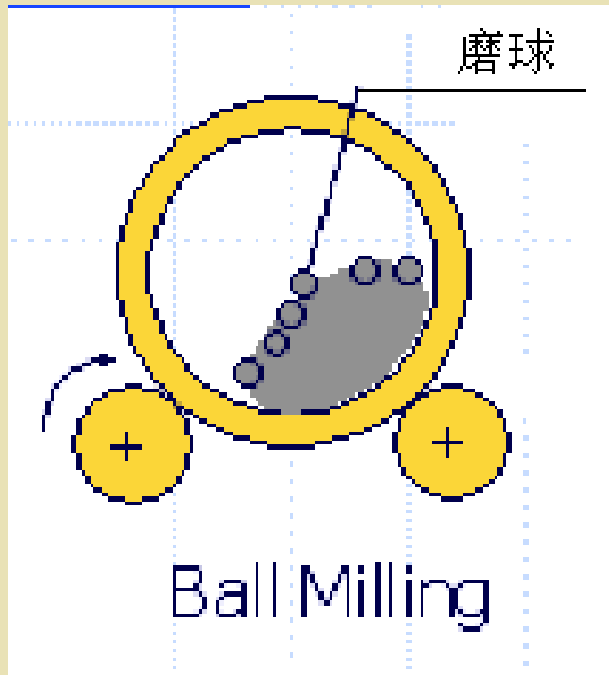
生产过程材料不熔化

适合大批量生产


成本较高，零件尺寸不大，韧性不足，形状简单

## 2. 粉末制备

### (1) 机械研磨法 (Sb, Cr, Mn)







# 影响球磨的因素

## 球磨机转速

$$V_{\text{临界}} = \frac{42.4}{\sqrt{D}} \quad \text{r/min}$$

$D(\text{m})$  球磨机直径

筒体转速  $(0.7-0.75) V_{\text{临界}}$



## 装球量

填充系数=球体体积/筒体容积

一般取填充系数0.4-0.5

球体与被研磨物比例

一般装料量为筒体积的20%

球体直径 10-120mm

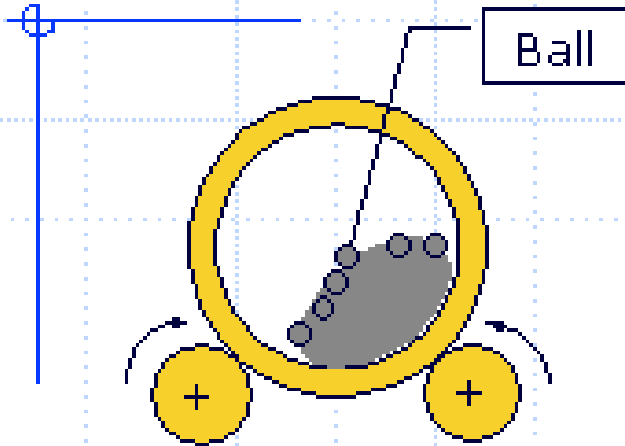


直径5米大型球磨机

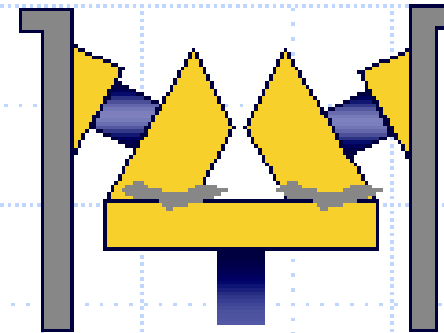


大型球磨机

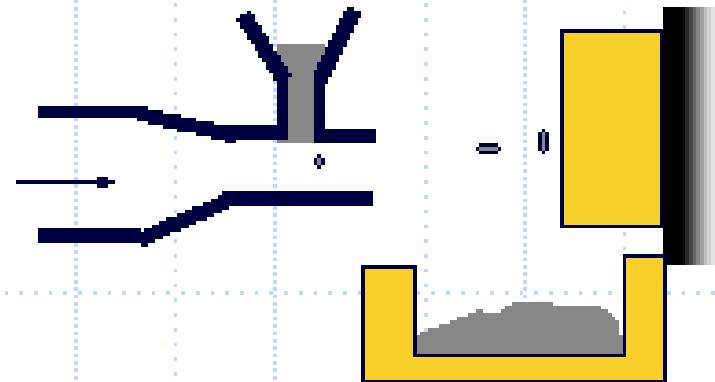
# Grinding



Ball Milling



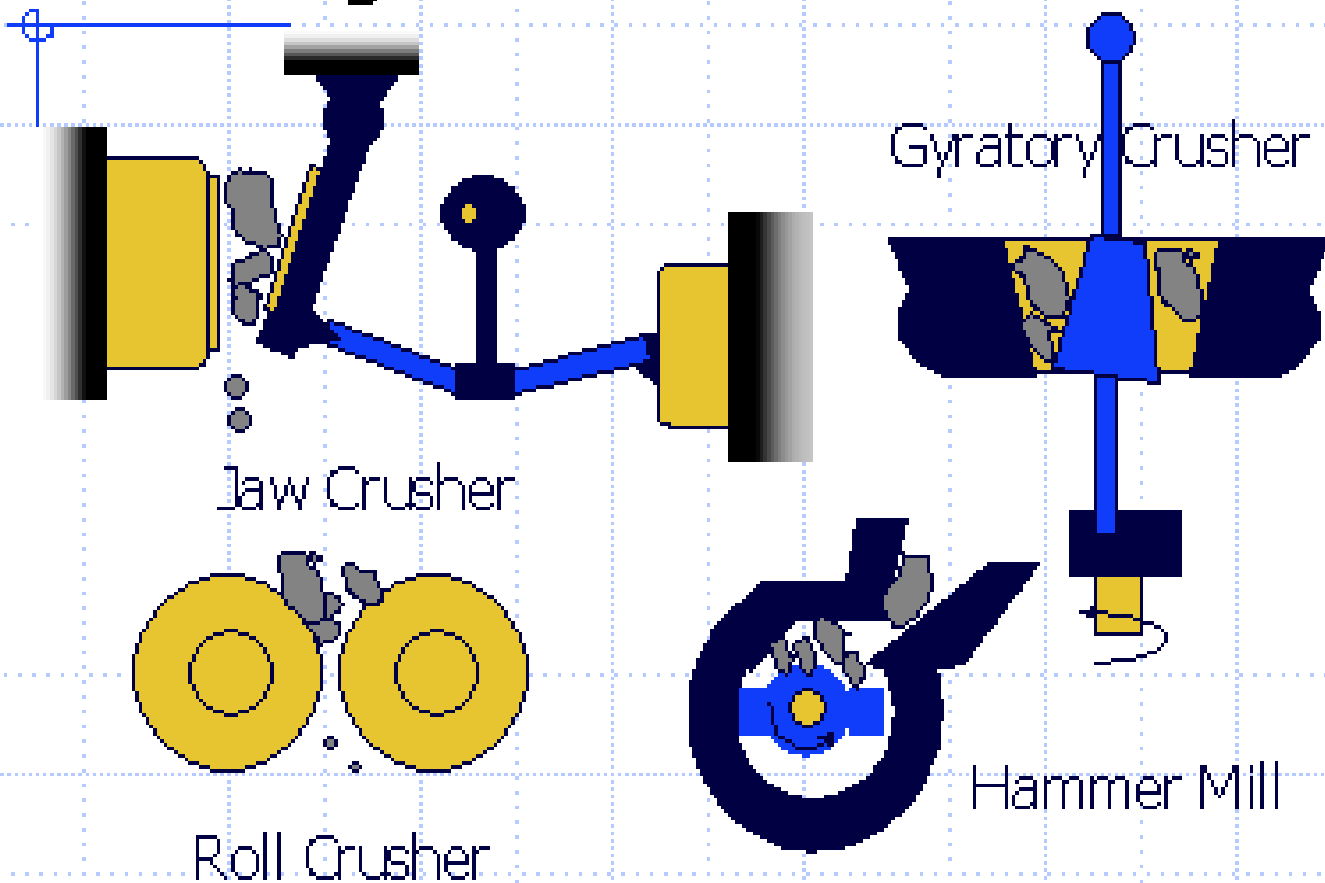
Roller Milling



Impact Grinding

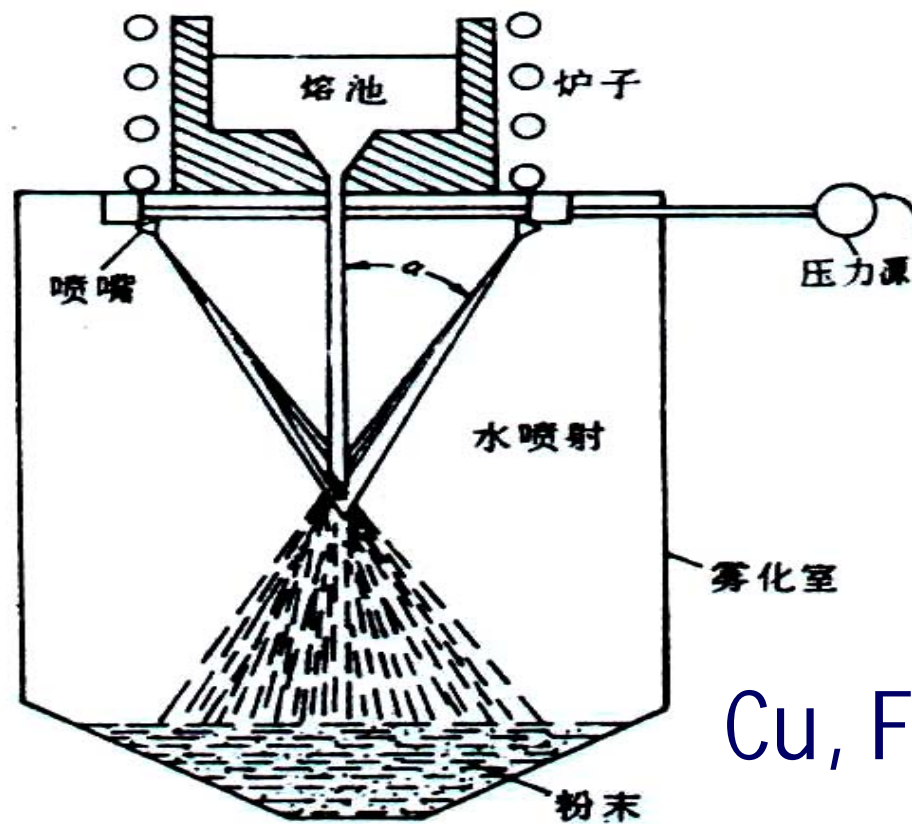
## 其它粉碎机械

# Crushing



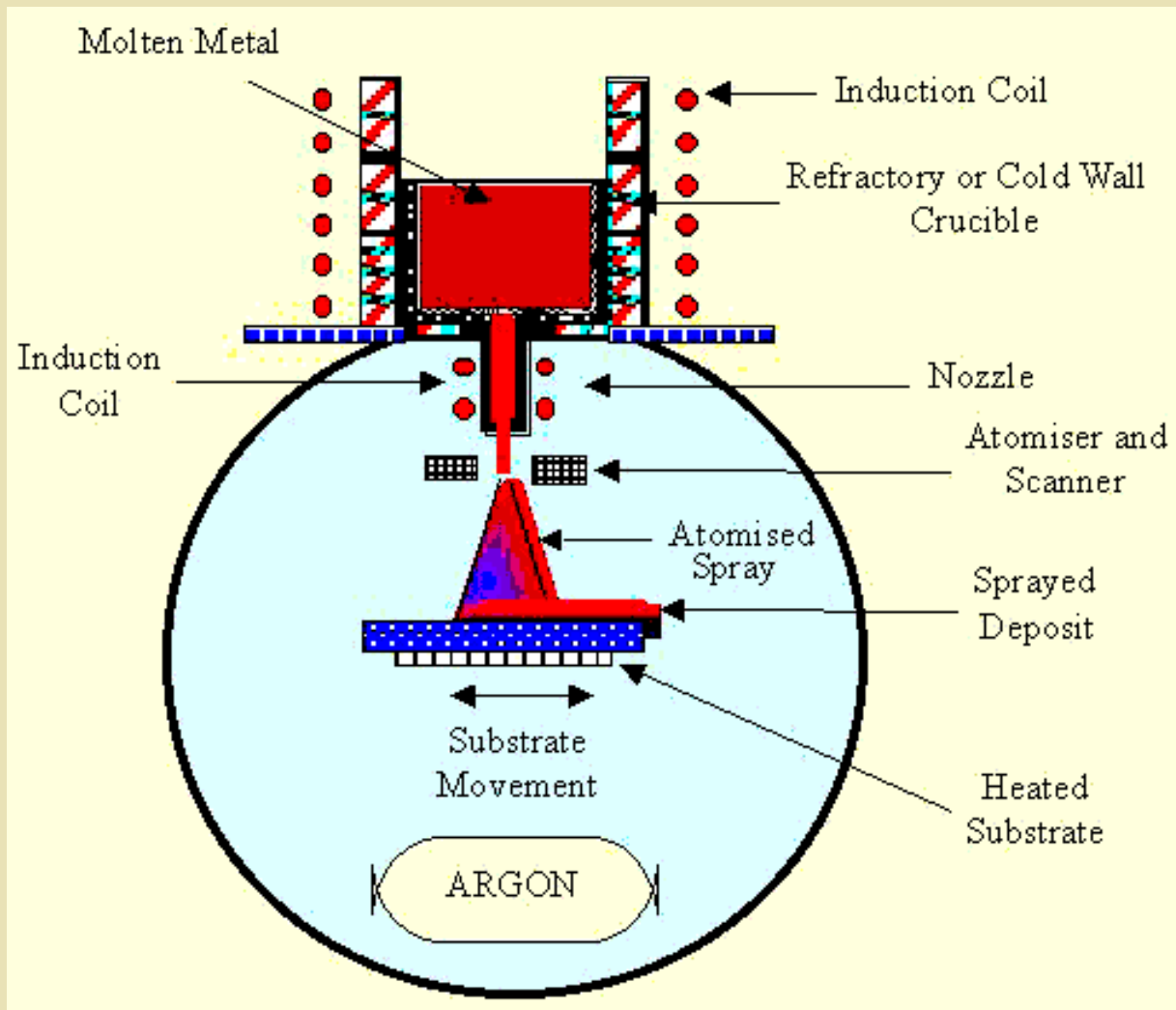
## 其它粉碎机械

## (2) 雾化法

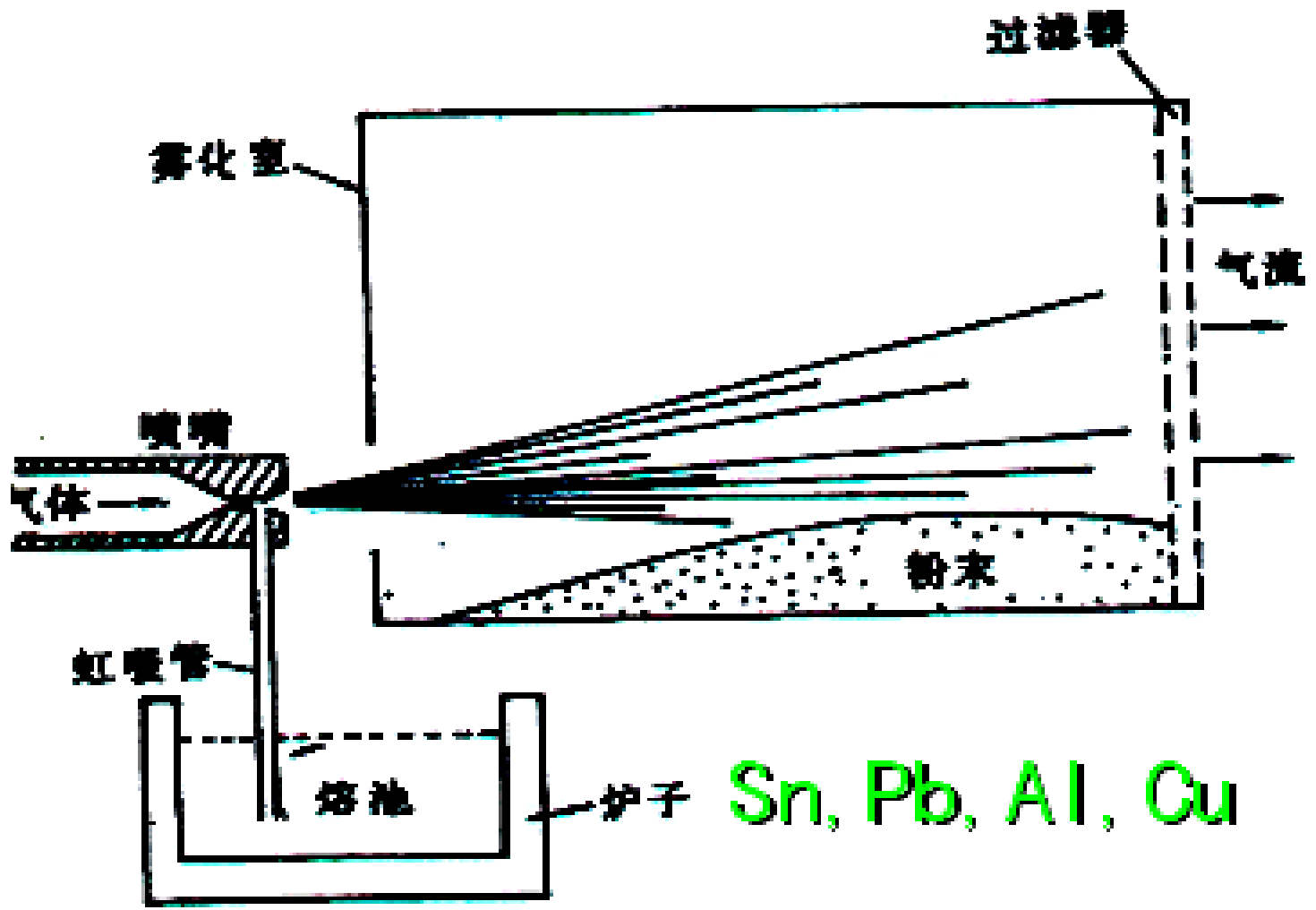


Cu, Fe, 黄铜

水雾化装置示意图







水平气雾化装置

# 影响雾化粉末性质因素

## 雾化介质

水 惰性气体

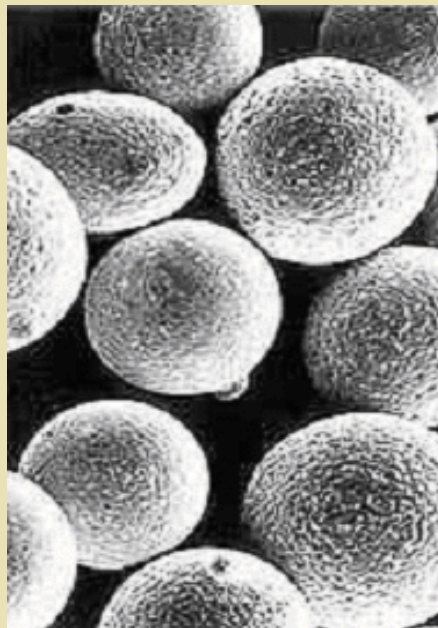
## 金属液流

表面张力 粘度

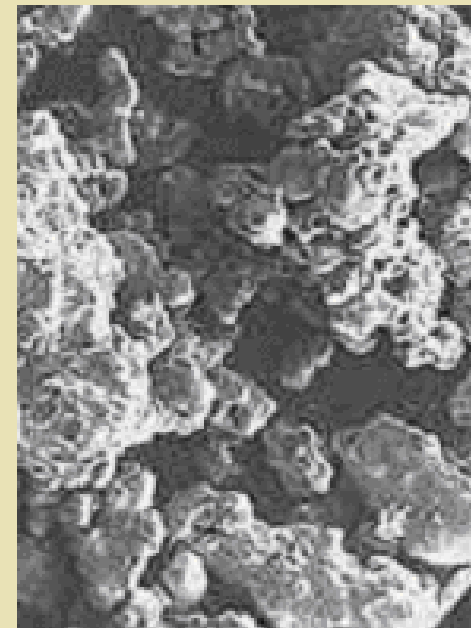
过热度 液流直径

## 雾化装置

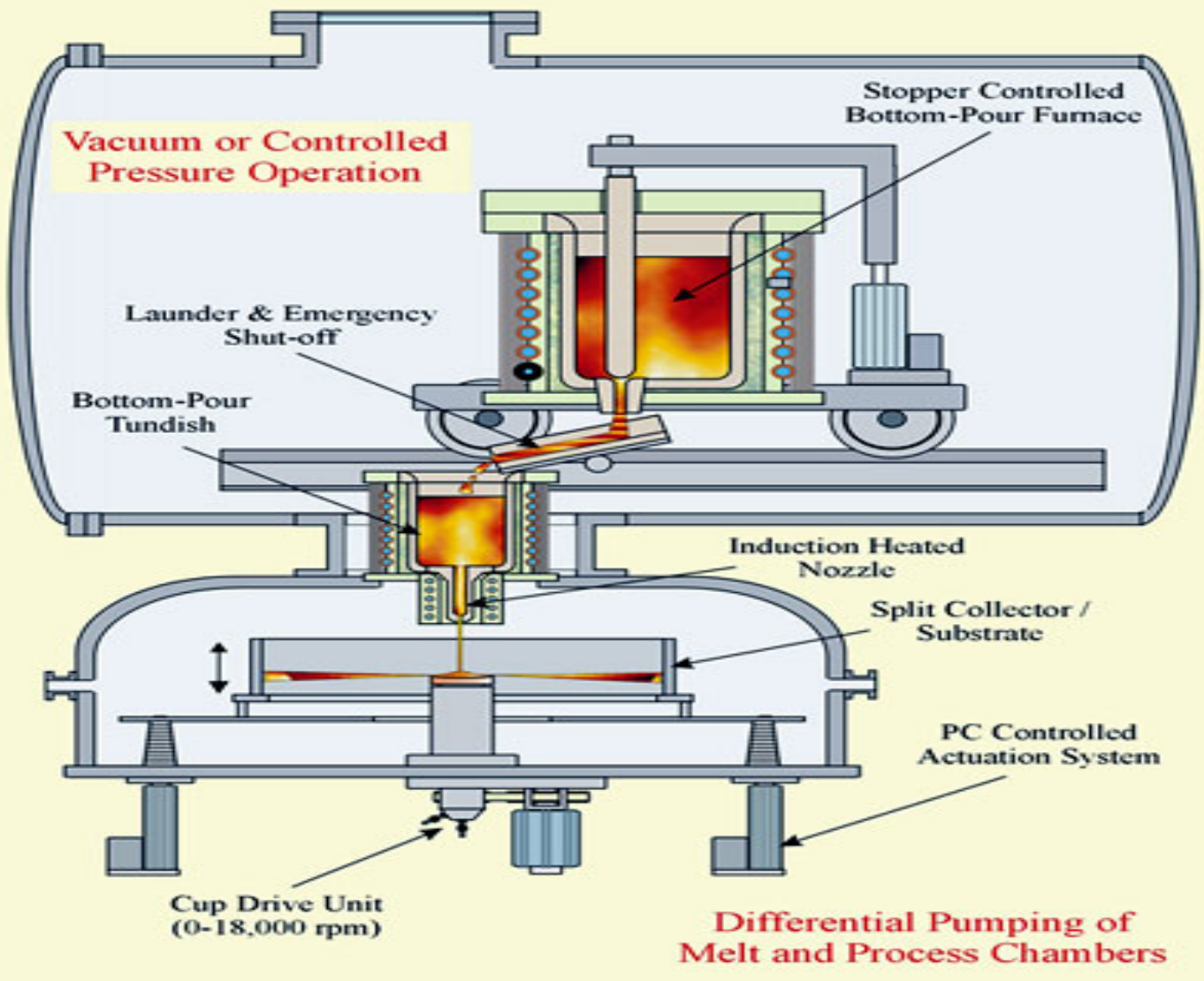
$D_{平} = C / \sqrt{V \cdot \sin \alpha}$



惰性气体



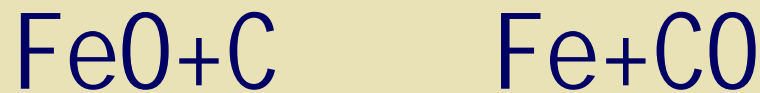
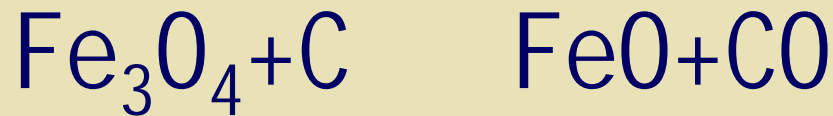
水



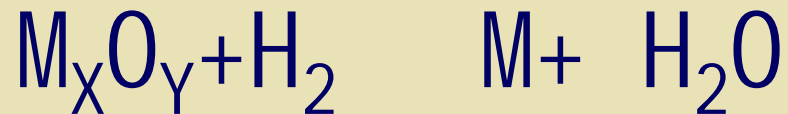
# 离心雾化装置

### (3) 还原法

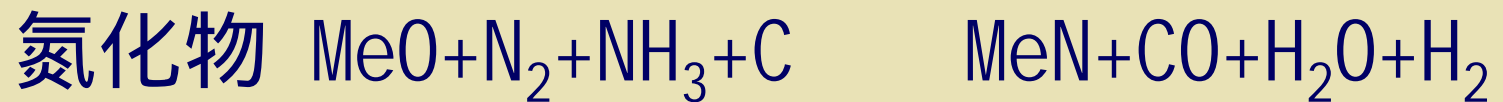
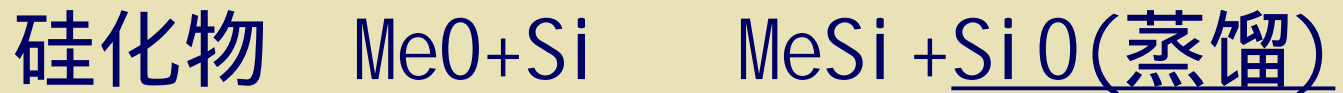
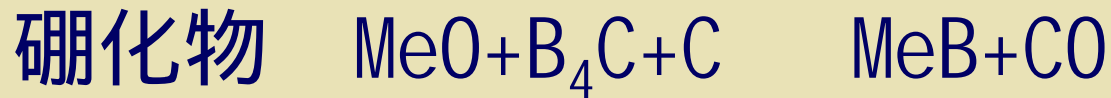
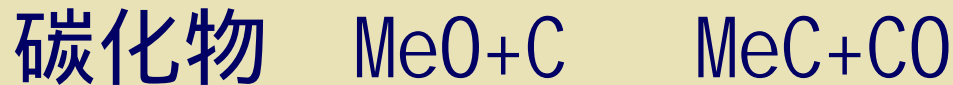
#### 碳还原法(制铁粉)



#### 气体还原法(Fe, Ni, Cu, W)



#### (4) 难熔化合物粉末制取

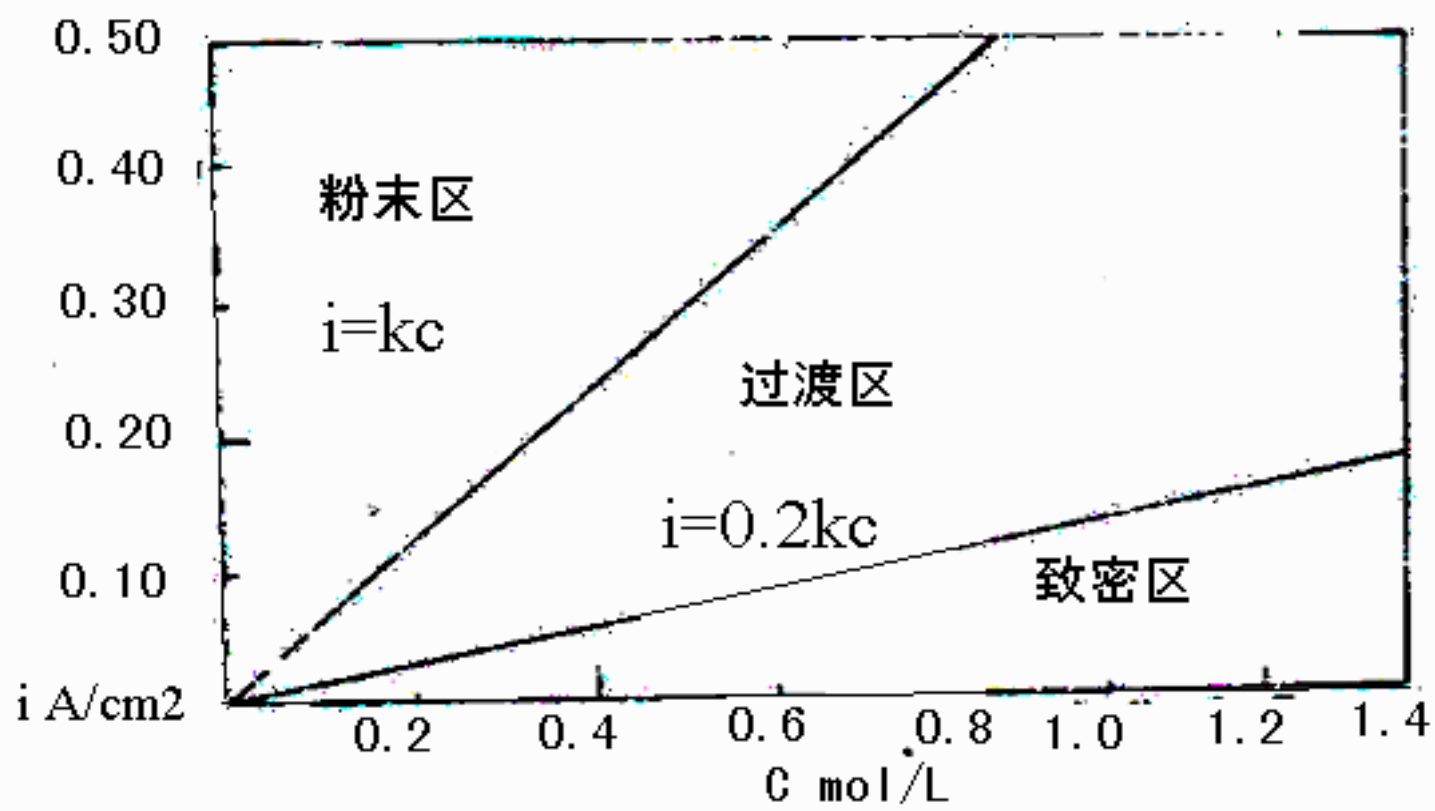




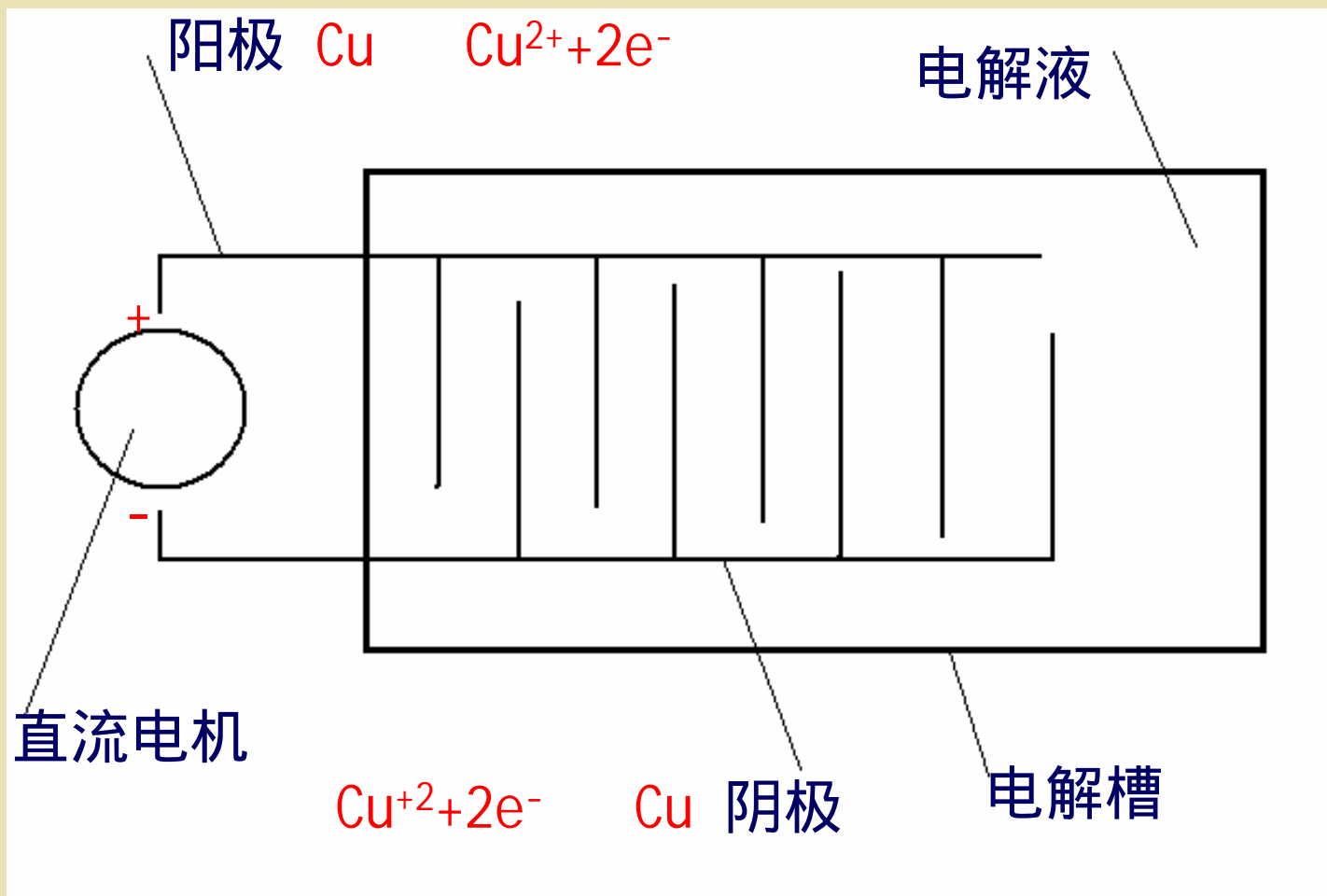
## (5) 电解法 (Cu, Ni, Ag, Sn, Cr, Mn)

### 法拉第定律

对于同一物质来说，阳极和阴极上溶解和析出的物质与通过电解质溶液的电量成正比。



$i$ - $c$ 关系图



# 电解制粉装置





条 件	数 量
铜离子浓度	5—15g/L
硫酸	150—175g/L
温度	25--60
阳极电流密度	430—550A/m <sup>2</sup>
阴极电流密度	700—1100A/m <sup>2</sup>
槽电压	1.0—1.5V

## 电解过程主要参数

电解槽 铅阴极 铜阳极  
硫酸铜 电解液

粉末状沉积物

刷下，洗涤，过滤

还原  
480-760

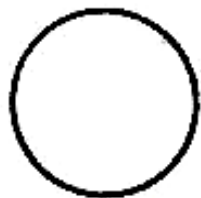
研磨与筛分

铜粉

电解制铜粉工艺

# 3粉末性能

## (1) 颗粒形状



球形



近球形



多角形



片形



树枝形



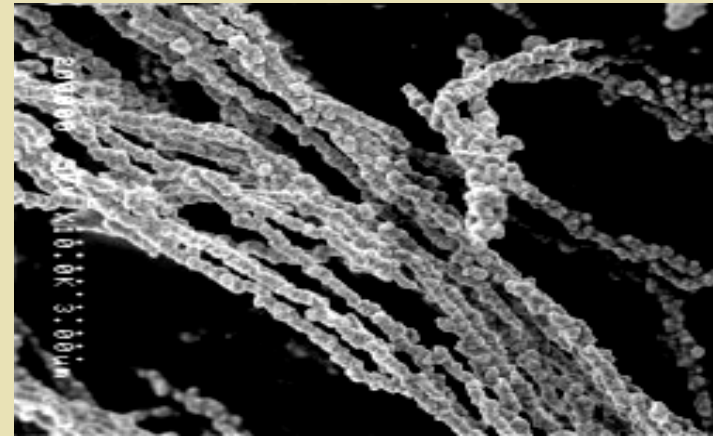
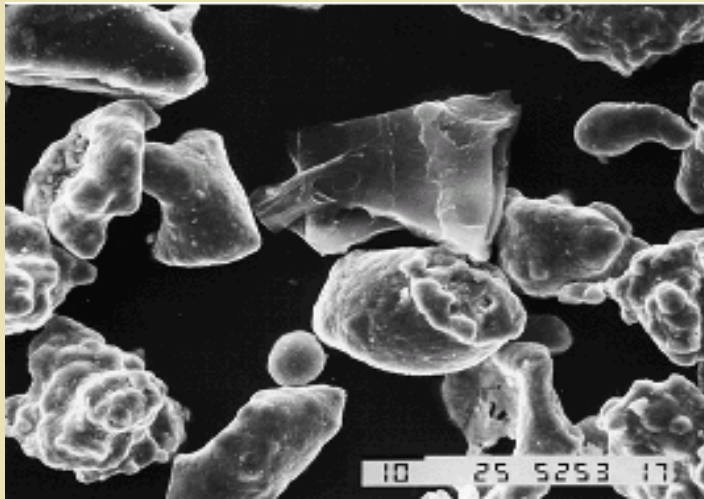
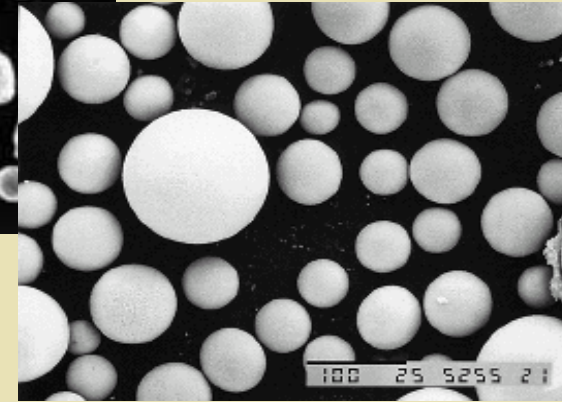
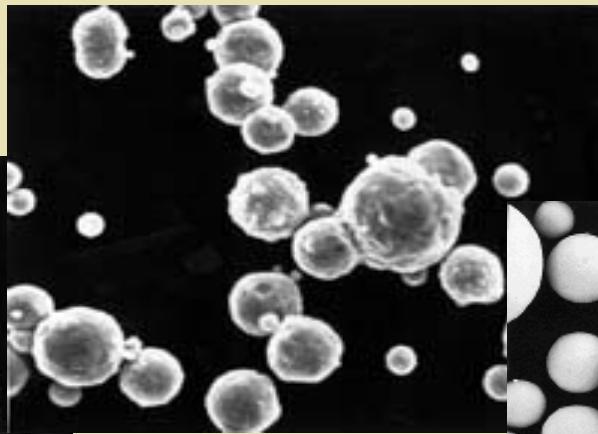
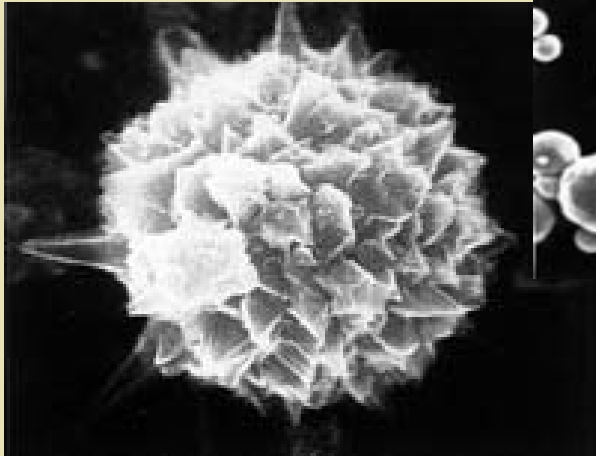
不规则形

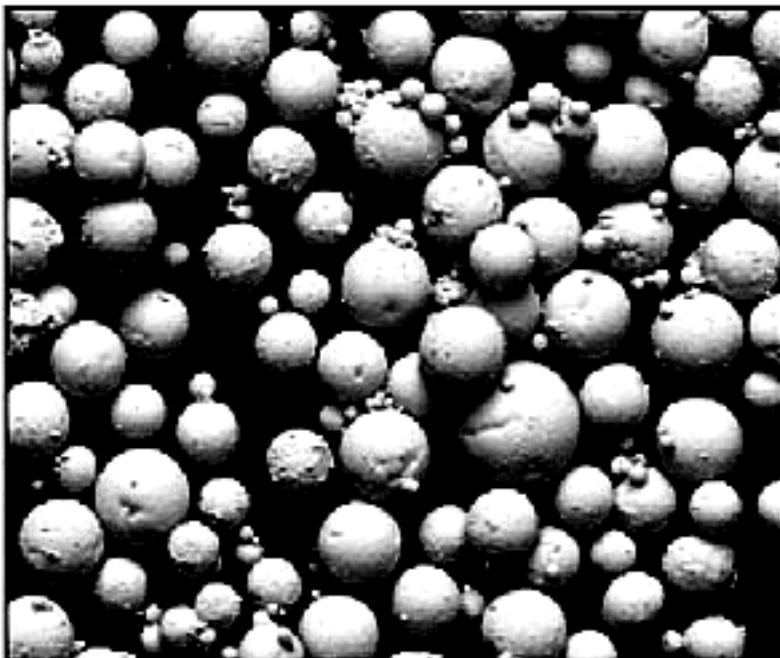


多孔海绵形

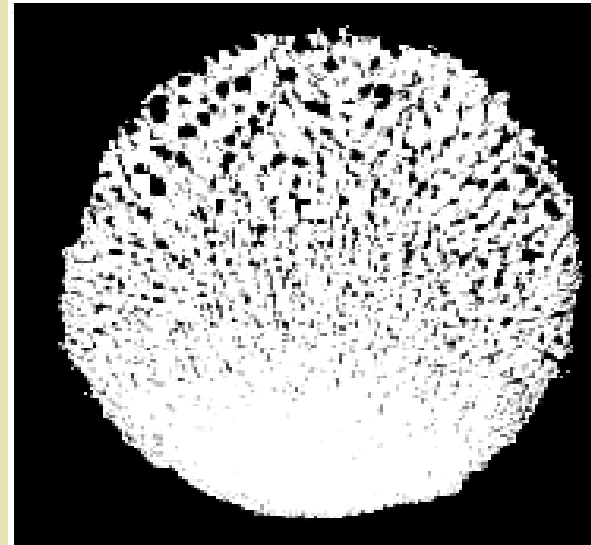


碟形

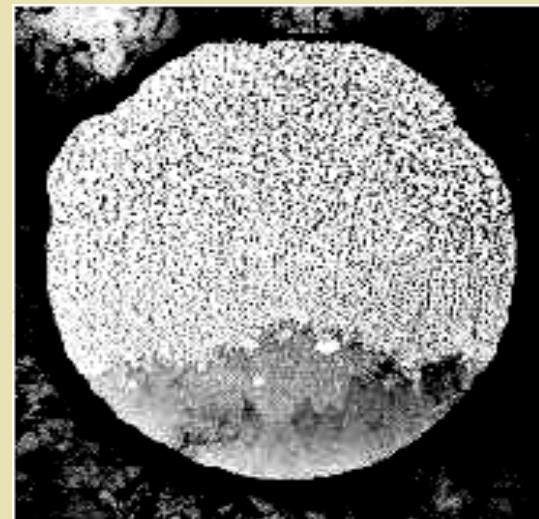
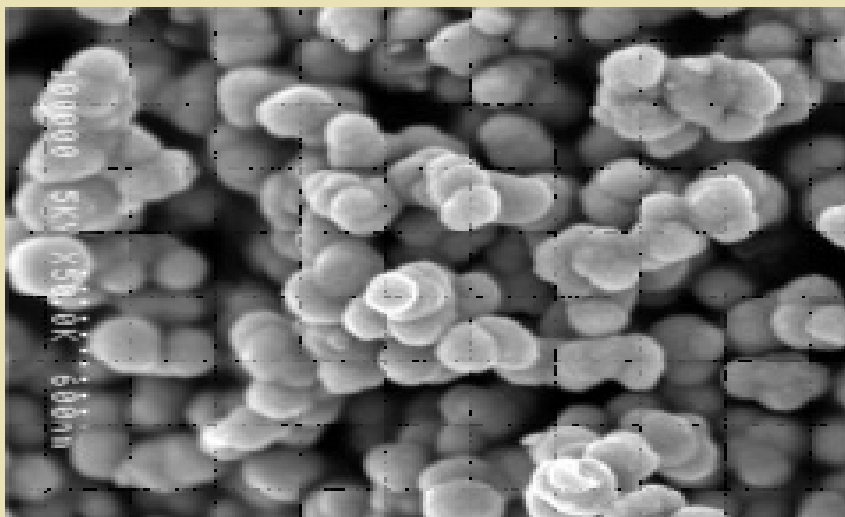




BEI 20.0kV x250 50µm



1 µm



1 µm

## (2) 粒度, 密度

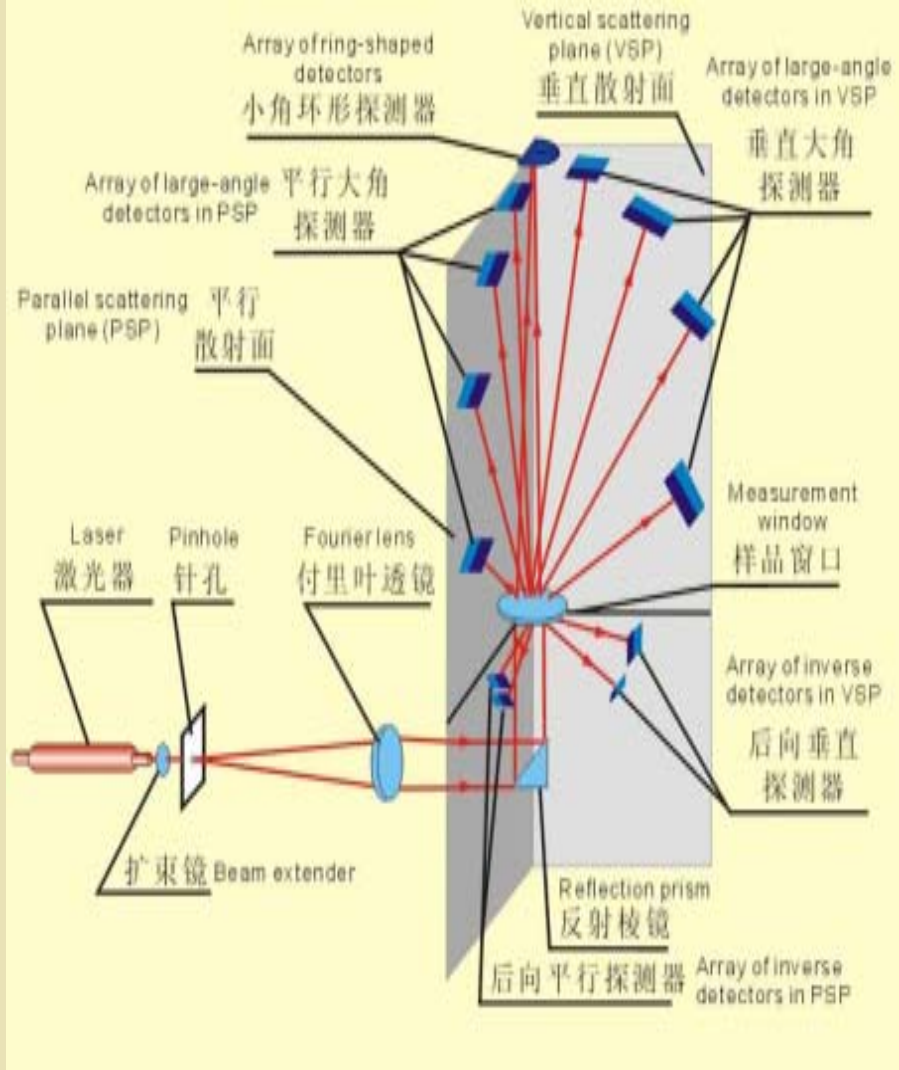
筛分法测量粒度, 计量单位: 目

目=每英寸长度上的网孔数  $m = \frac{25.4}{a + d}$

目数 (m)	筛孔尺寸 (a/mm)	网丝直径 (d/mm)
60	0.246	0.178
100	0.147	0.107
150	0.104	0.066
200	0.07	0.053

# 现代粒度分析仪

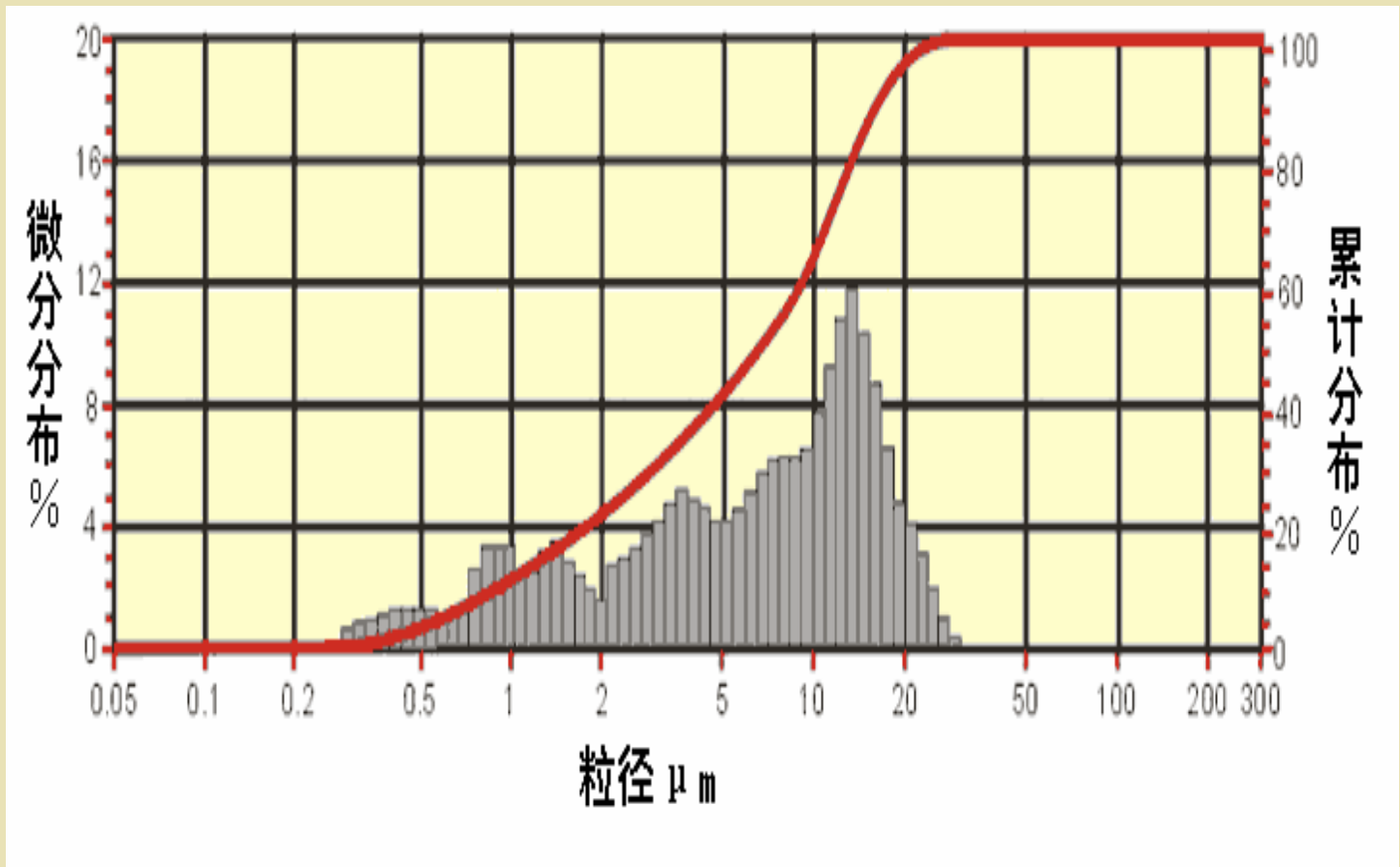




利用颗粒对光的散射现象，即大颗粒产生的散射角小，小颗粒产生的散射角大的原理测量粉体样品的粒度分布。

激光粒度分析仪原理





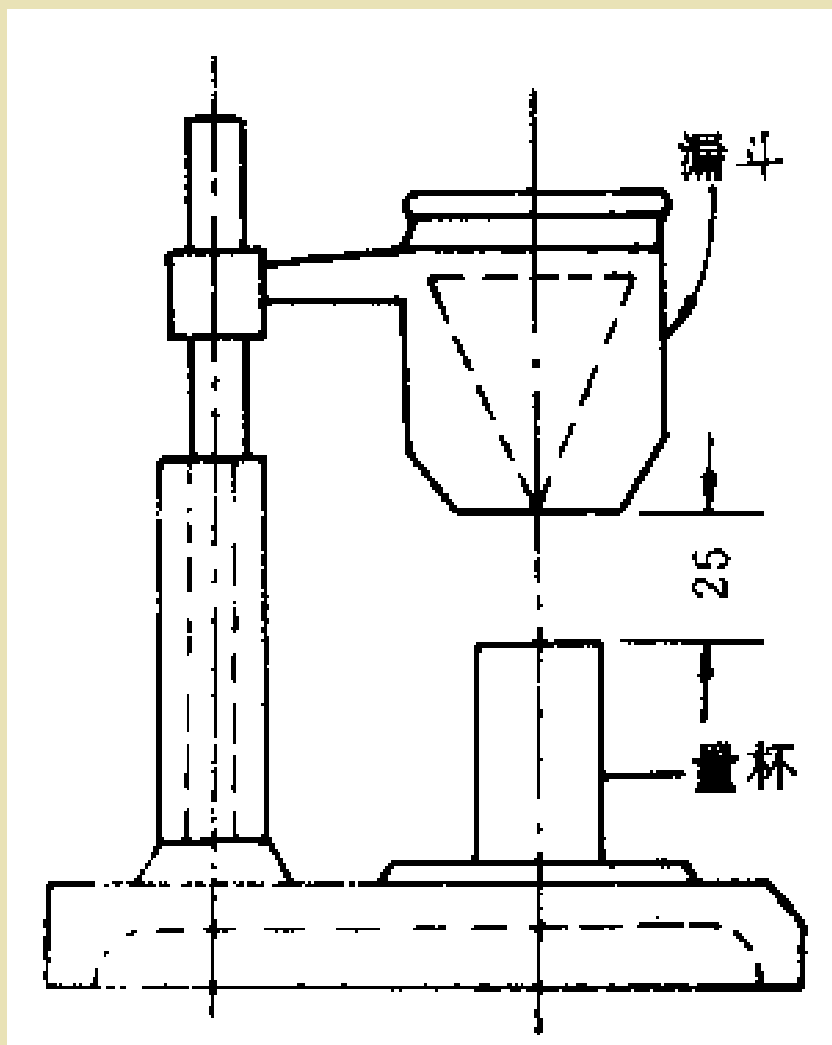
激光粒度分析仪检测结果



# 图像分析仪

松装密度

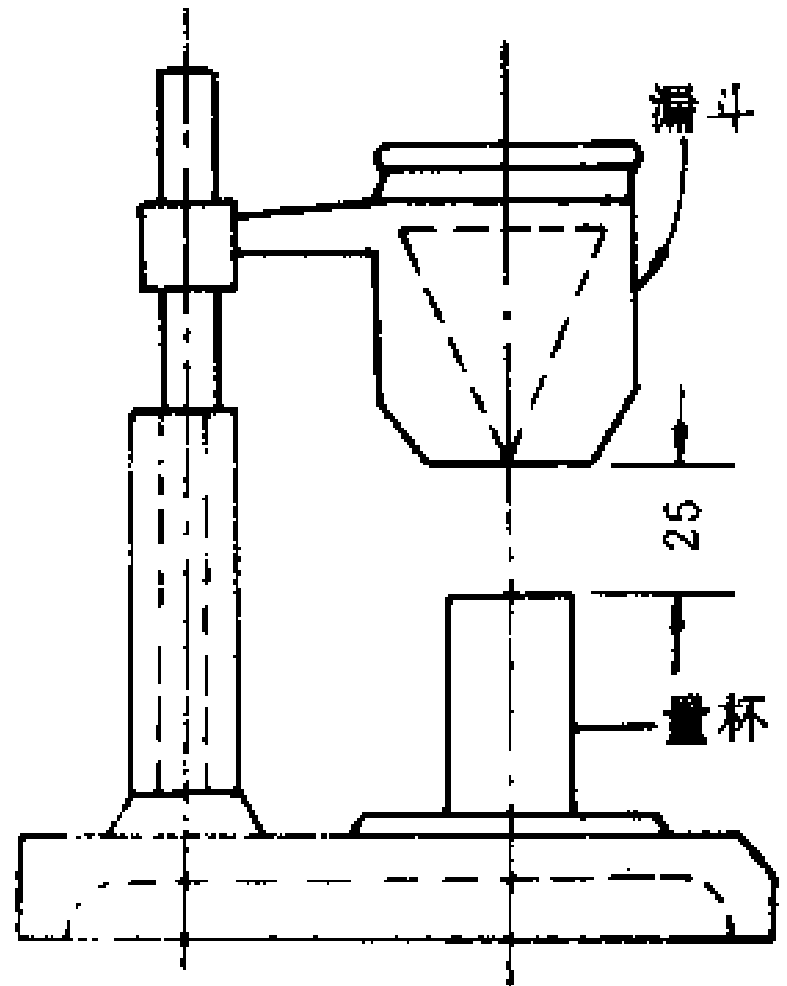
振实密度



松装密度测试仪

### (3) 工艺性能 流动性

50克粉末从标准的流速漏斗流出所需的时间





## 压缩性

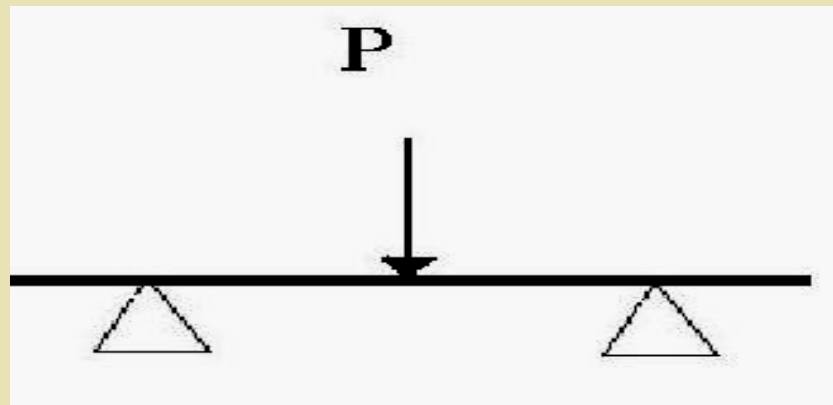
金属粉末在一定压制条件下, 被压紧的能力。

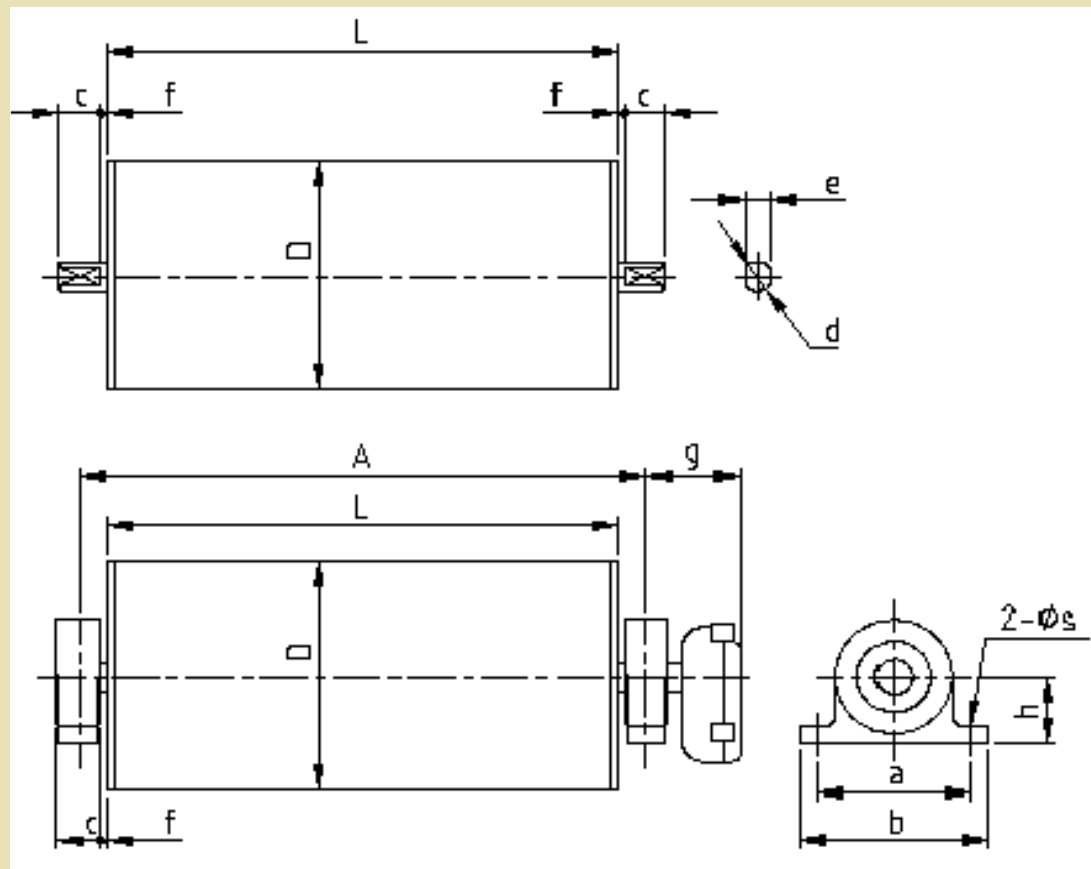
以压制后压坯的密度来表征。

# 成形性

粉末被压之后, 压坯保持既定形状的能力。

以压坯的抗弯强度或以转鼓失重表征。





转鼓试验机



# 4 纳米粉末制备

物理法

机械法

物理气相沉积(PVD)

喷雾干燥法

化学法

化学沉淀法

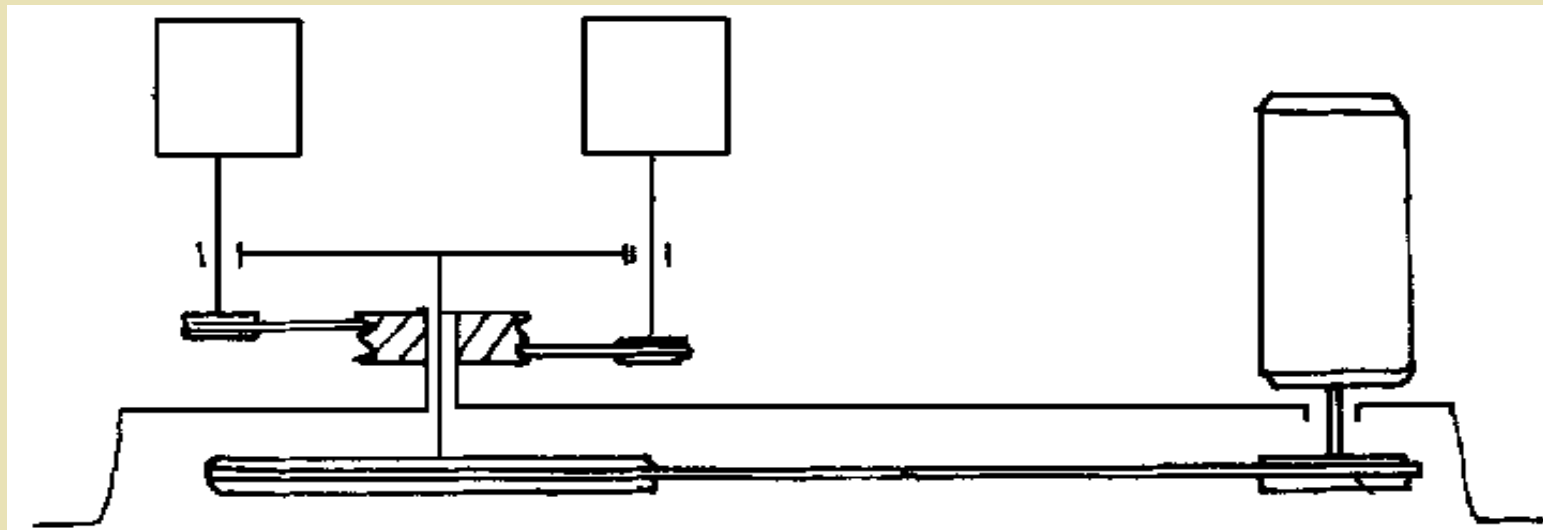
水解法

溶胶-凝胶法

化学气相沉积法(CVD)



# 机械法 高能球磨



行星式高能球磨机

《行星式高能球磨机工作原理研究》  
矿冶工程 Vol. 17 4 December 1997



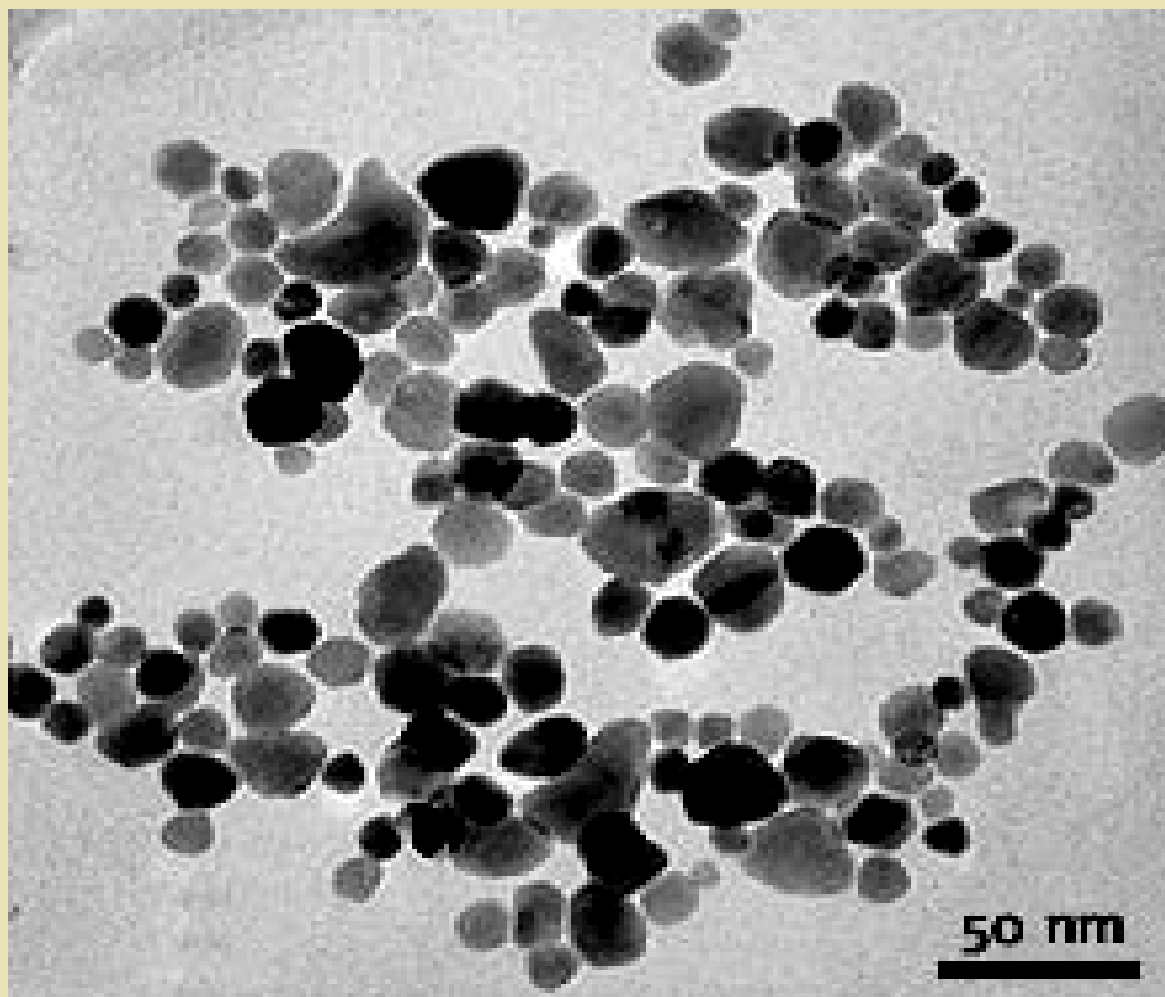
## 高能球磨优缺点

优点：

可得到纯元素、合金或复合材料的纳米粉末、操作简单、成本低。

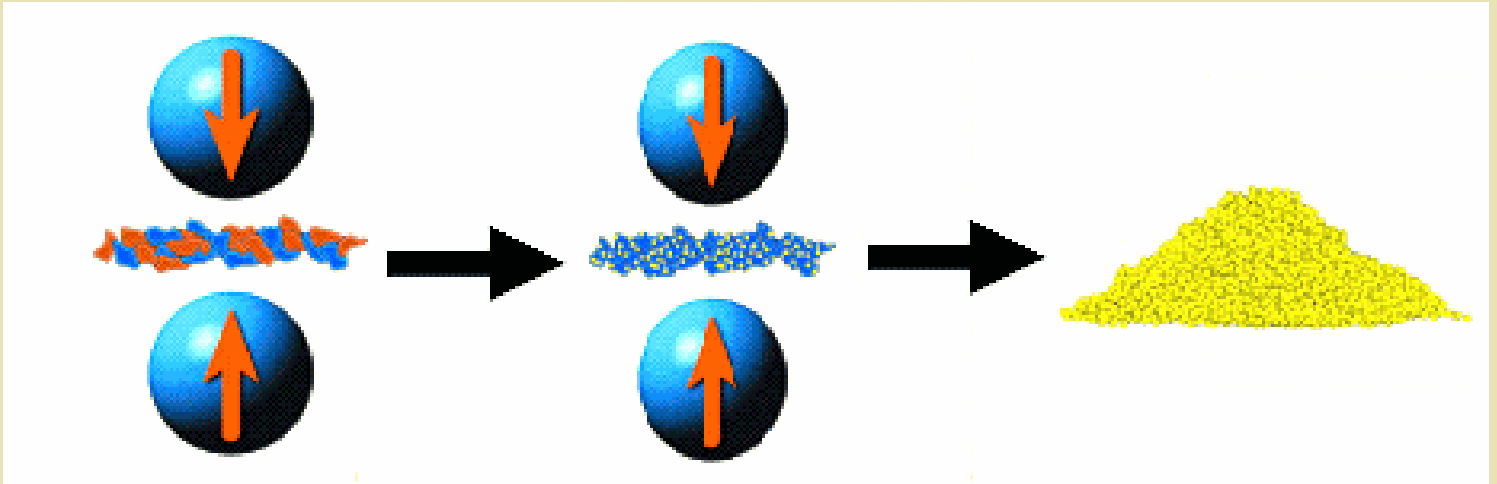
缺点：

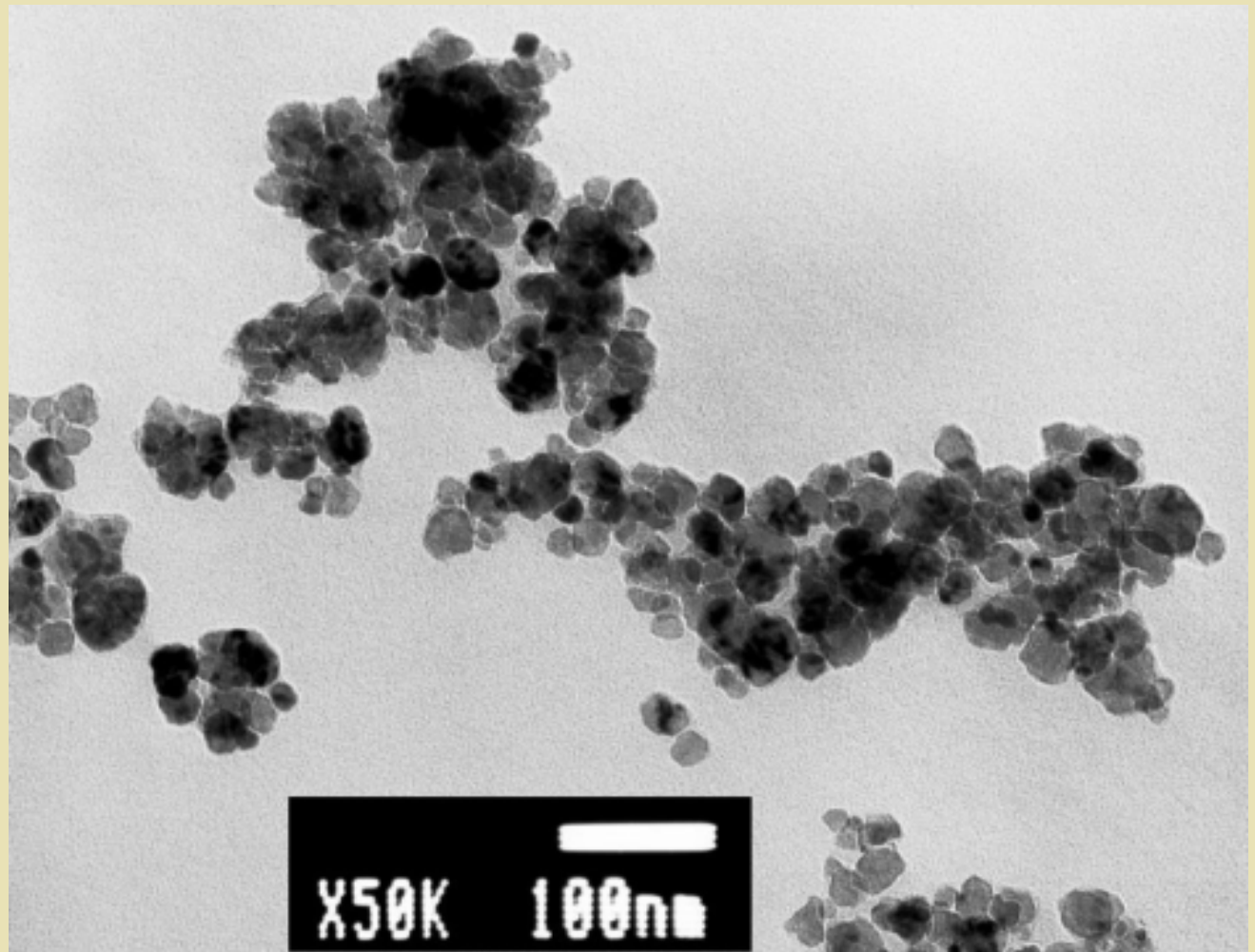
纯度低、颗粒尺寸分布不均。



纳米氧化锌粉末

# 机械合金化

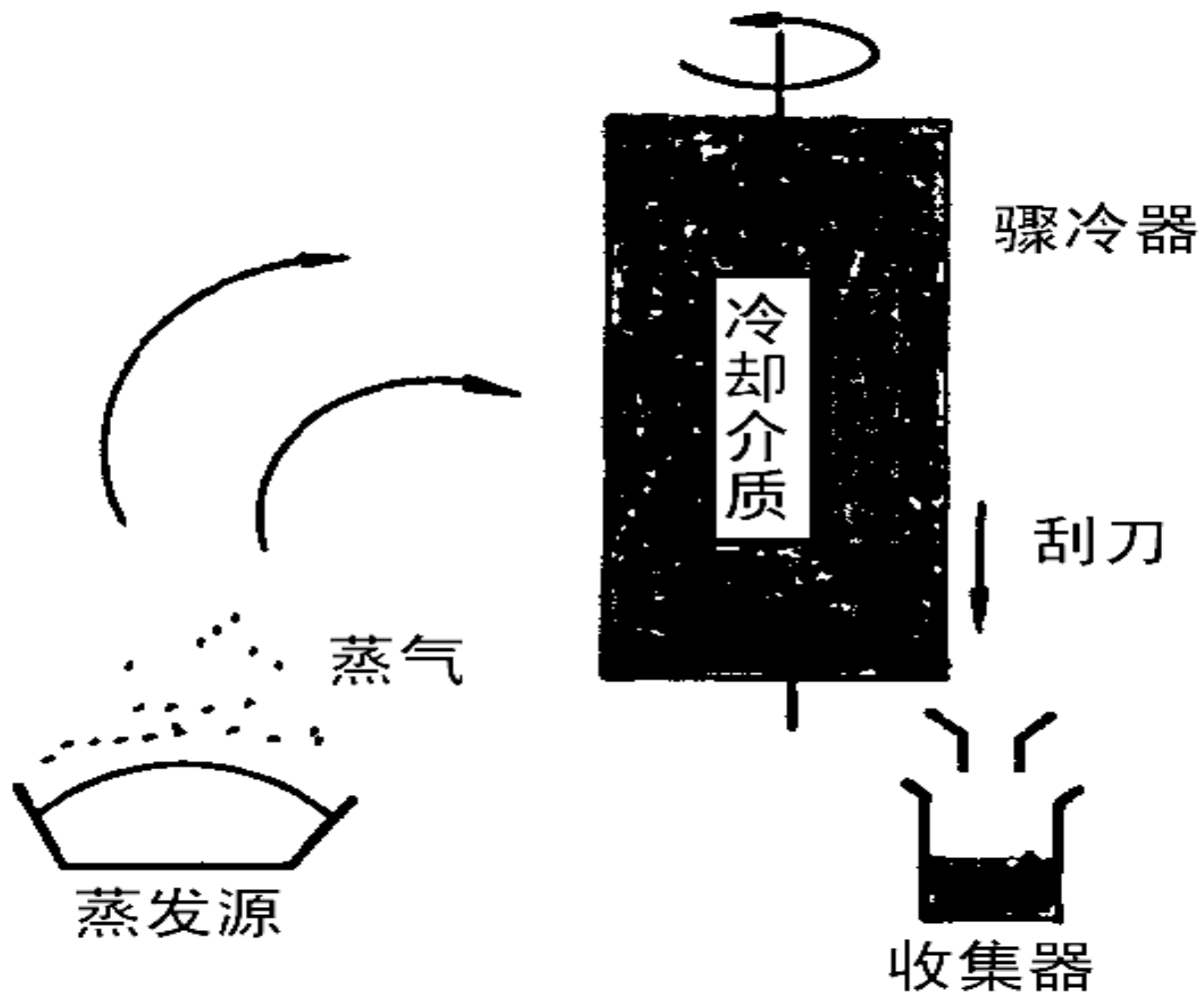




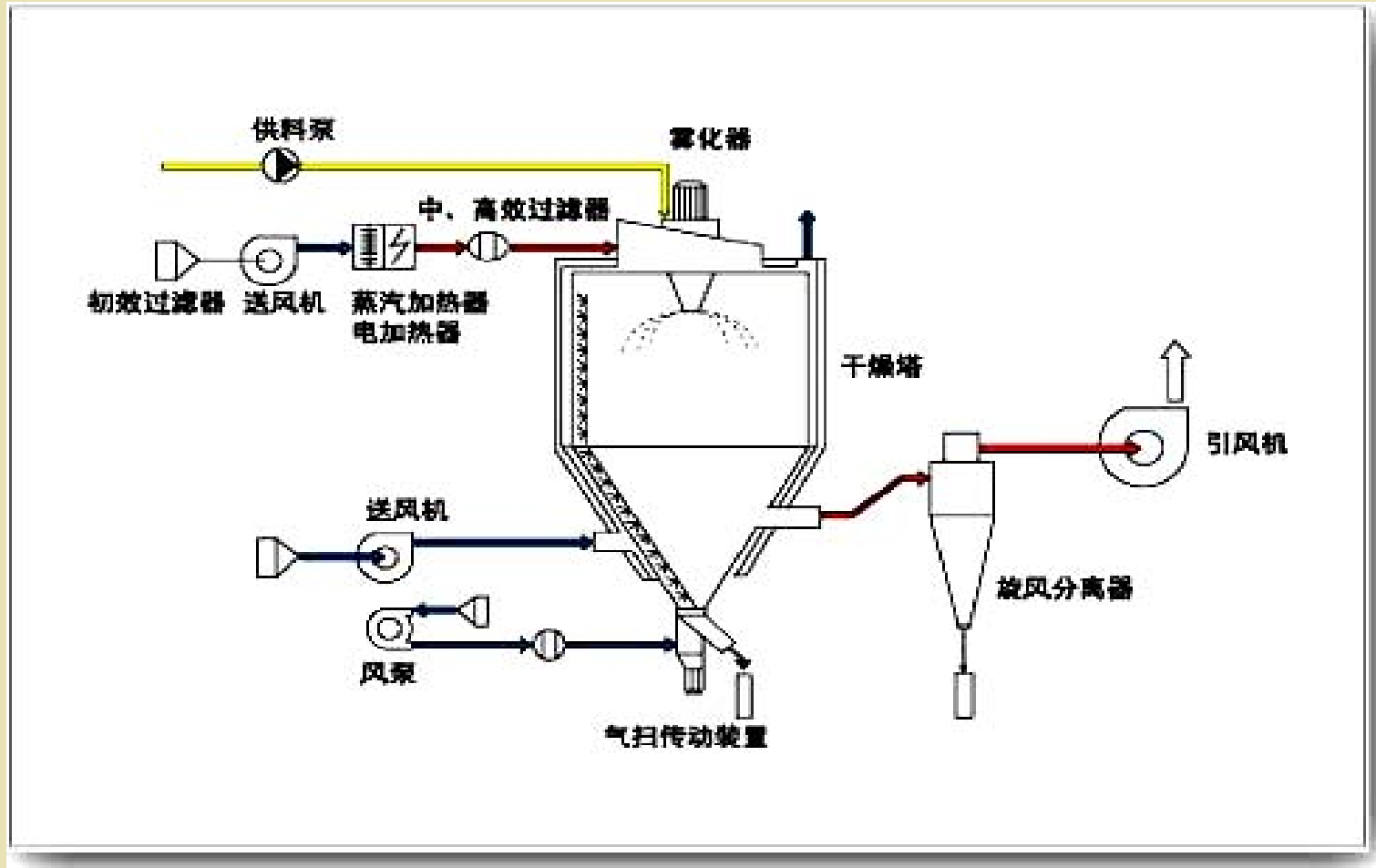
TEM of TiN Nanoparticles

# 物理气相沉积法 ( PVD )

## Physical Vapor Deposition



# 喷雾干燥法




## 喷雾干燥制粉原理



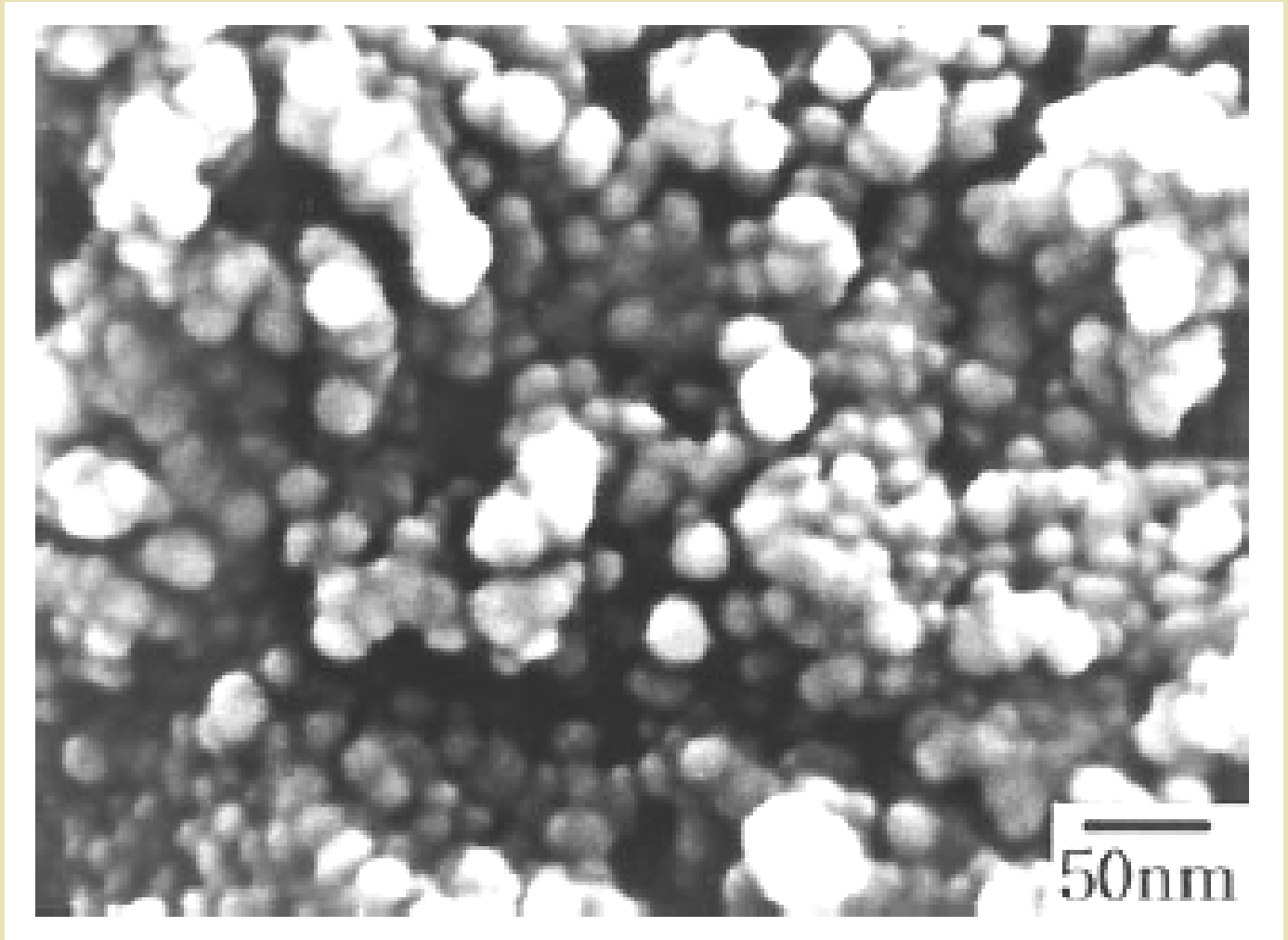
瑞士布奇喷雾干燥器





# 喷雾干燥Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米粉末制备

1. 制备Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>+Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>水溶液，浓度50wt.%.
2. 喷雾干燥
3. 粉末热处理
4. 氧化铜还原.



**Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NANO COMPOSITE POWDER**

# 化学沉淀法

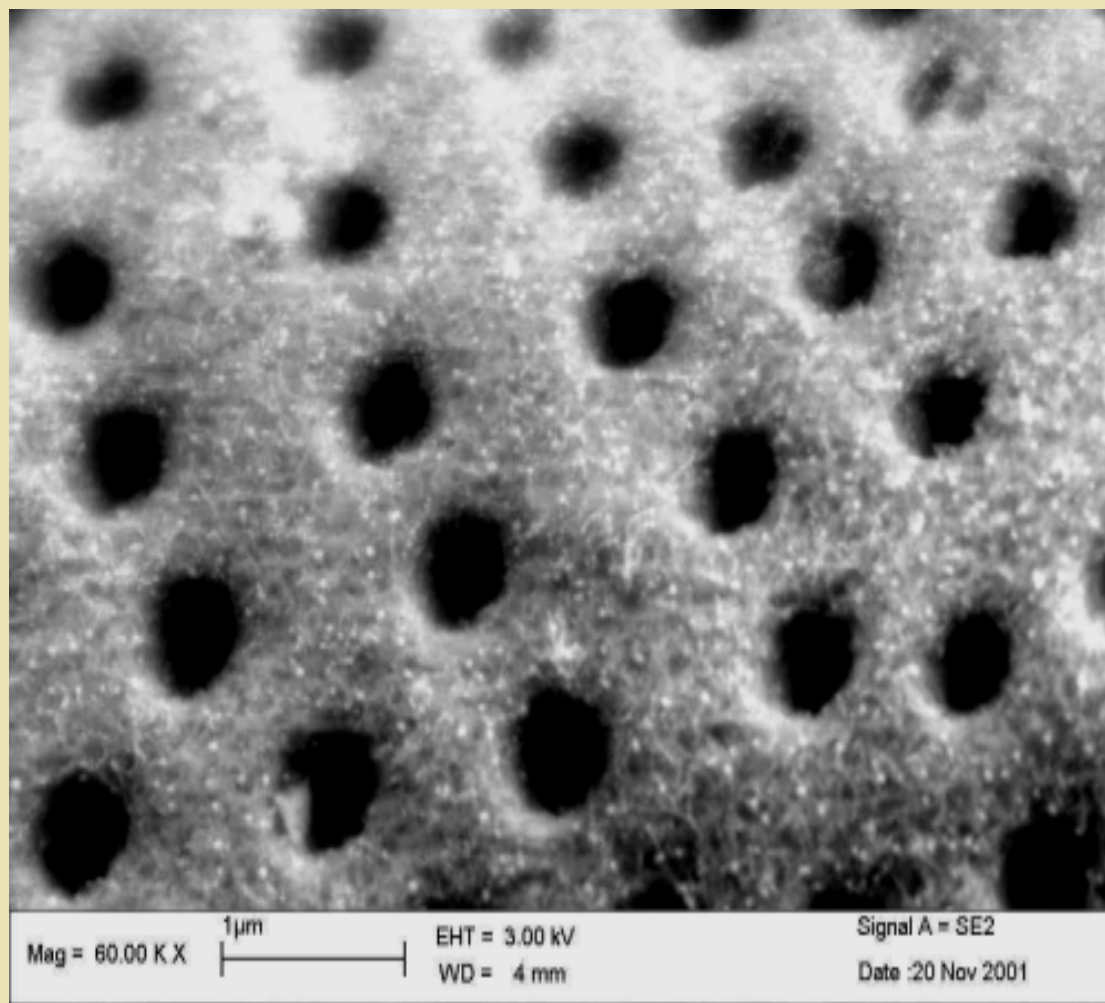
首先配置含可溶性金属离子的盐溶液, 然后加入过量沉淀剂形成不溶性化合物沉淀, 生成胶体尺寸(1 ~ 100nm) 的颗粒。经分离和干燥可制得纳米粉末。

优点：制得的纳米粉末纯度高、成分均一可控, 且粒度小分布窄。

缺点：是易形成硬团聚。



# 沉淀法制备纳米氧化镍





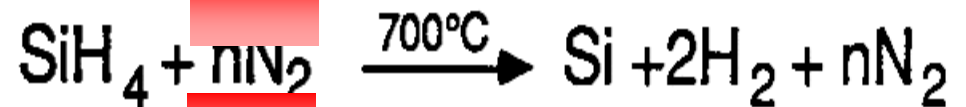
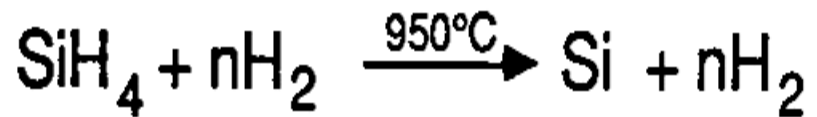
# 化学气相沉积法(CVD)

## Chemical Vapor Deposition

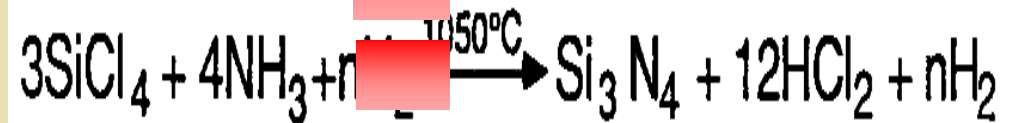
化学气相沉积是利用气体原料在气相中经化学反应形成薄膜颗粒晶须等固体材料的工艺过程



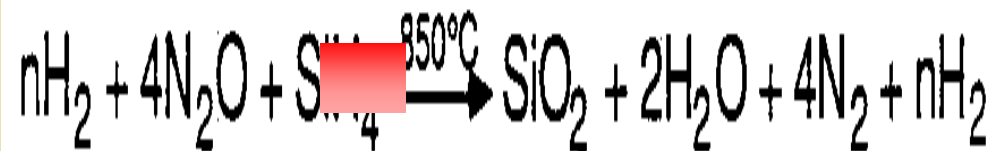
Polysilicon:  
(多晶硅)



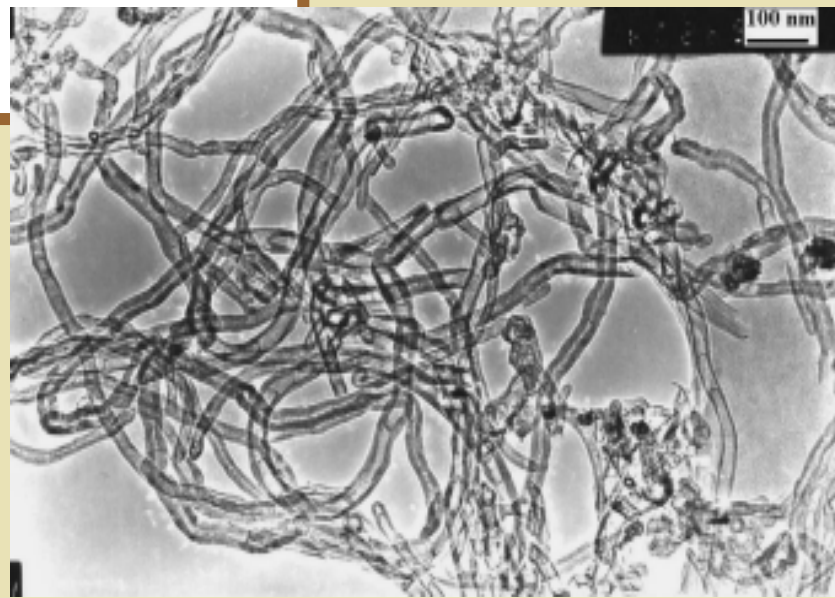
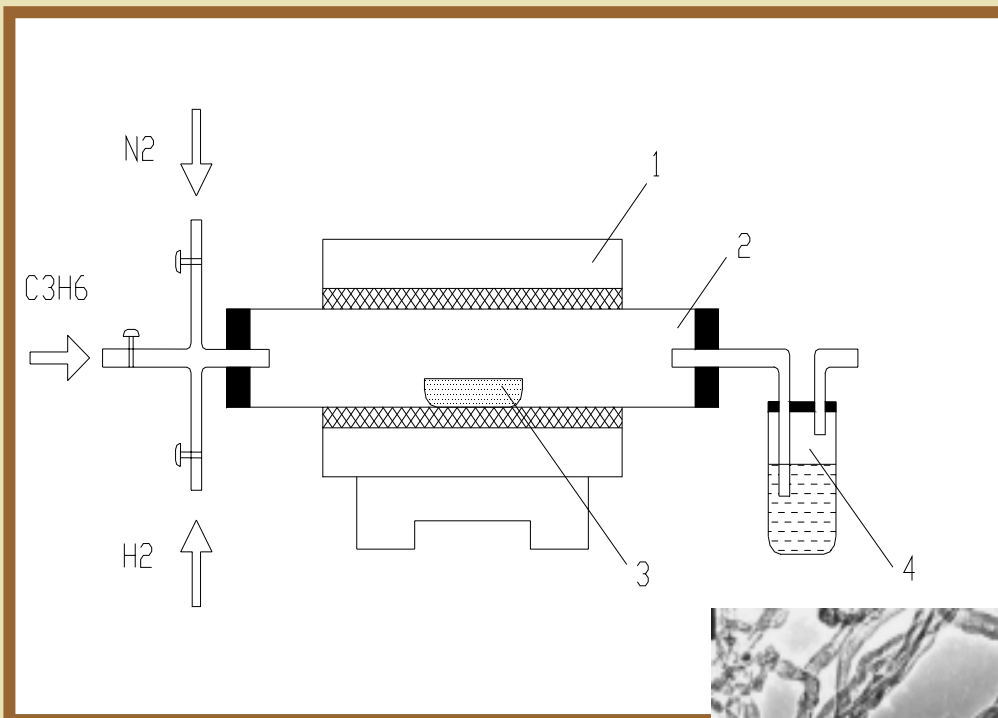
Silicon Nitride:

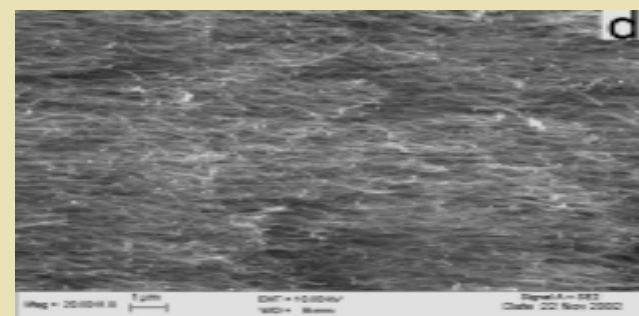
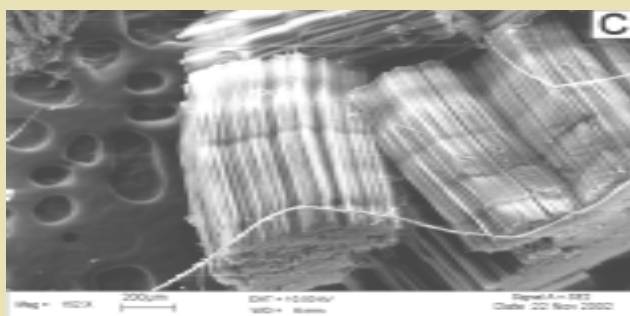
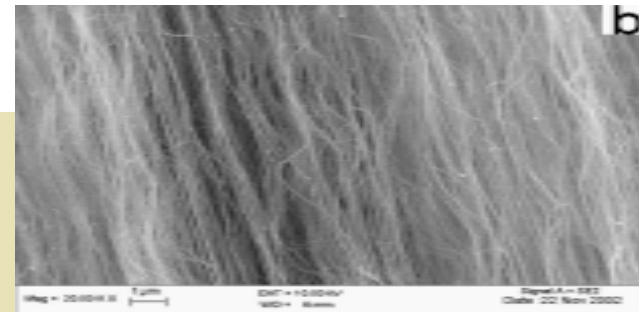
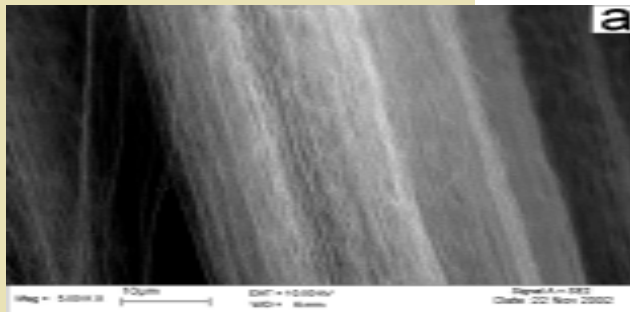
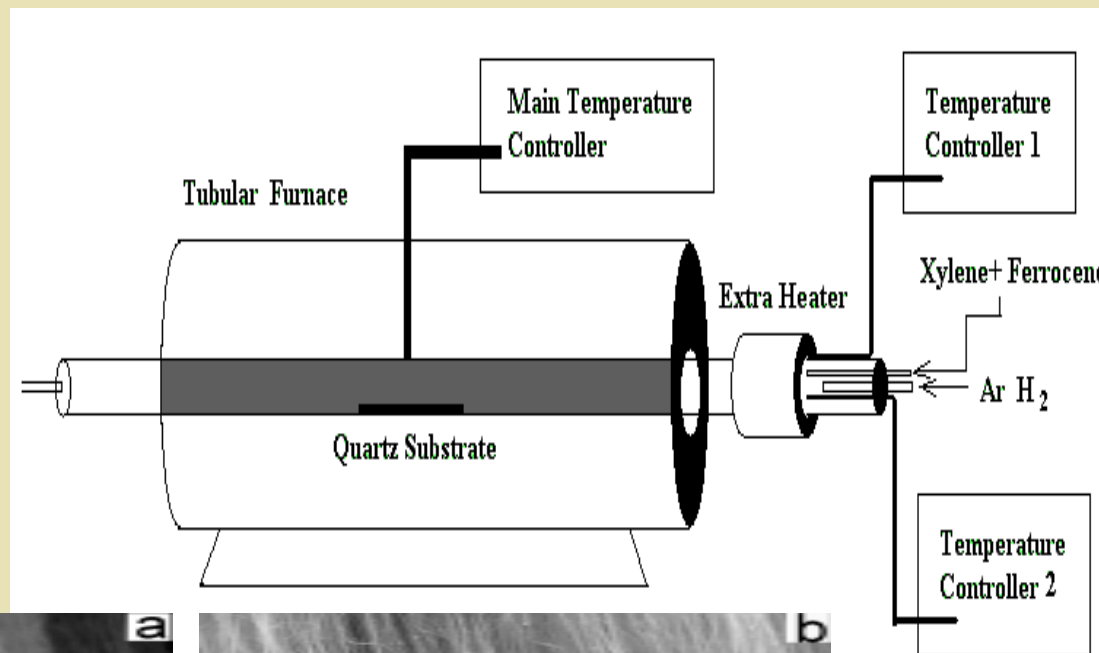


Silicon Dioxide:



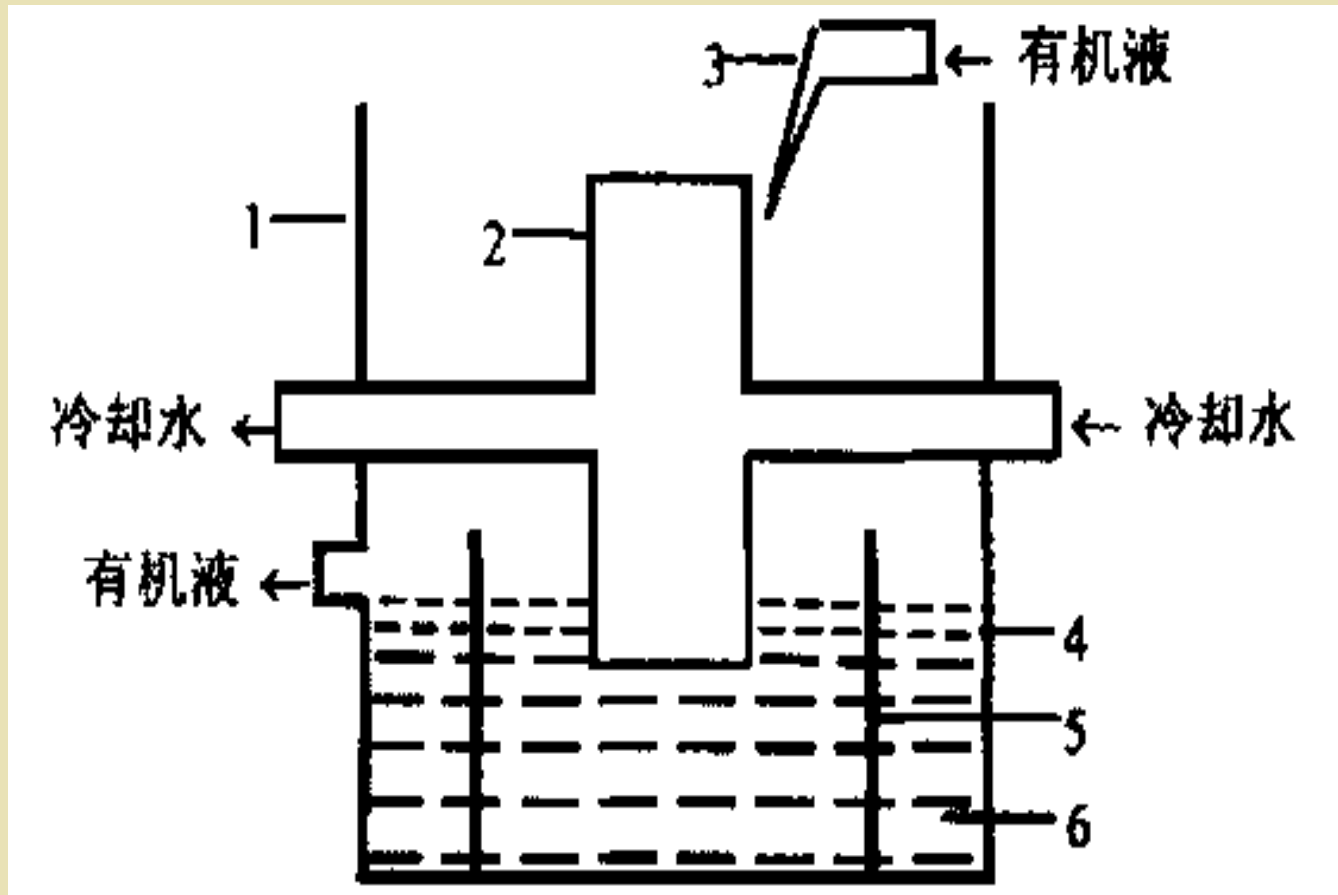
# CVD法制备碳纳米管







# 新型电解法



1. 电解槽 2. 阴极圆筒 3. 喷嘴 4. 有机液 5. 阳极 6. 电解液

## 新型电解法的装置原理图



作业：

1. 金属粉末的制备方法分为哪几类？简述各类方法的基本原理。

2. 何谓粉末的成形性与压缩性？  
如何表征？

