



第六章

无机非金属材料成型工艺

本章主要内容

6.1 概述

6.2 - 6.12 成型工艺

6.13 成型模具

重点： 注浆成型、塑性成型、
压制成型、玻璃熔体成型

6.1 概述

一、成型的概念

外力或模型 组分均匀 → { 形状、尺寸
强度和密度 } 加工
作业

二、成型步骤

- 1、物料在外力作用下 **流动及变形**
- 2、通过不同机制而 **定形**

三、成型辅助剂

1、稳定剂



2、促凝剂：使粘结剂凝结硬化的外加物。

3、抑制剂：为抑制某些物理化学反应而加入的少量物质。

4、增塑剂：能提高泥料可塑性的物质。

- 5、**减水剂**：降低拌合料用水量的作用，或用水量不变的情况下，起到增大流动性或可塑性的作用
- 6、**发泡剂**：形成微小泡沫，使材料具有闭口（或连通）气孔结构。
- 7、**膨胀剂**：能部分消除制品在高温和冷却过程中由于收缩而造成的裂缝或剥落。
- 8、**分散剂**：促使固体粒子的絮凝团或液滴分散为单体微粒子，并悬浮于液体之中。
- 9、**消泡剂**：排除各种混合料中的气泡。
- 10、**脱模剂**

一、注浆成型概念

坯料吃浆

流动性
的泥浆

石膏模
吸水性

泥浆粘附
在模壁上



泥层增厚

坯体

干燥收缩

与模型相
同形状的
泥层

二、注浆成型对泥浆的要求

首要条件

1、流动性好

流动性好，浆料才能在管道中流动并能充满模型的各个部位。

影响泥浆的流变性质的因素有：

- (1) 固相含量、颗粒尺寸和形状
- (2) 温度
- (3) 粘土及泥浆的处理方法
- (4) 稀释剂（电解质）

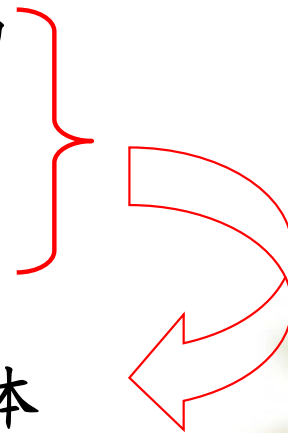
- 2、**稳定性好**：久置各组分颗粒不会沉淀。
- 3、**适当的触变性**：便于泥浆的输送，又要求脱模后的坯体不致受轻微振动就软塌。
- 4、**含水量少**：保证流动性的前提下尽量减少含水量。
- 5、**滤过性好**：使泥浆中的水分能顺利通过模型壁上的泥层被模型吸收。
- 6、形成的坯体要有**足够的强度**

三、注浆成型的物理化学变化

1、物理脱水：毛细管力

2、化学凝聚

形成坯体

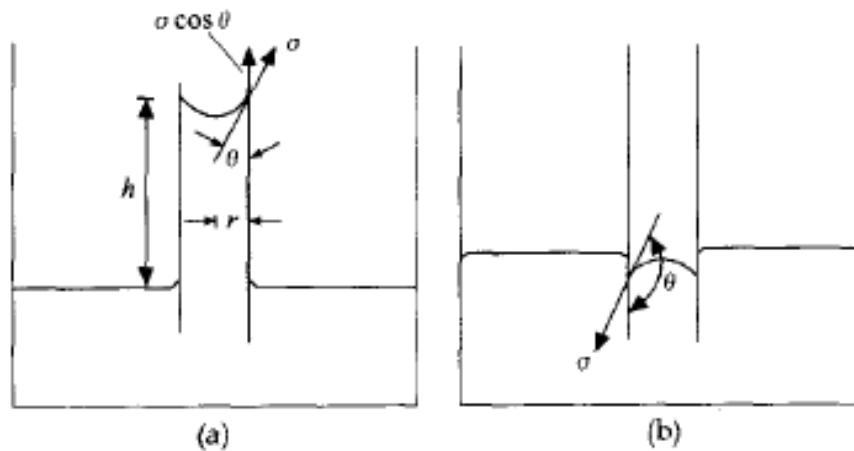


三、注浆成型的物理化学变化

1、物理脱水：毛细管力

毛细管越细，
水表面张力越大

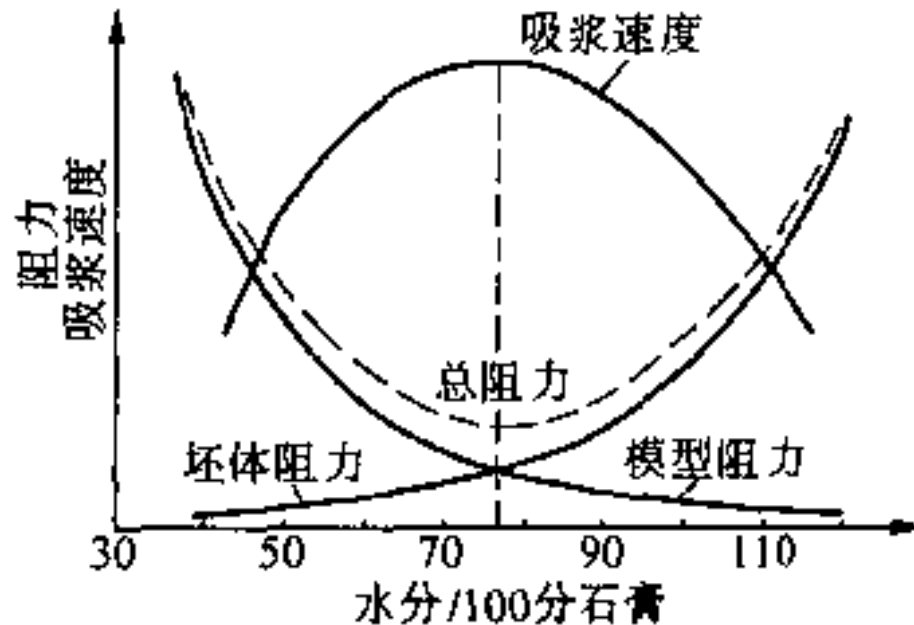
把直径很小的管子插入液体中液体会自动沿着管子上升或下降得比原液面低这种现象称为毛细管作用。



三、注浆成型的物理化学变化

1、物理脱水：毛细管力

吸浆速度：
注浆时泥浆中水分受到模型毛细管力的作用向模型渗入的速度。



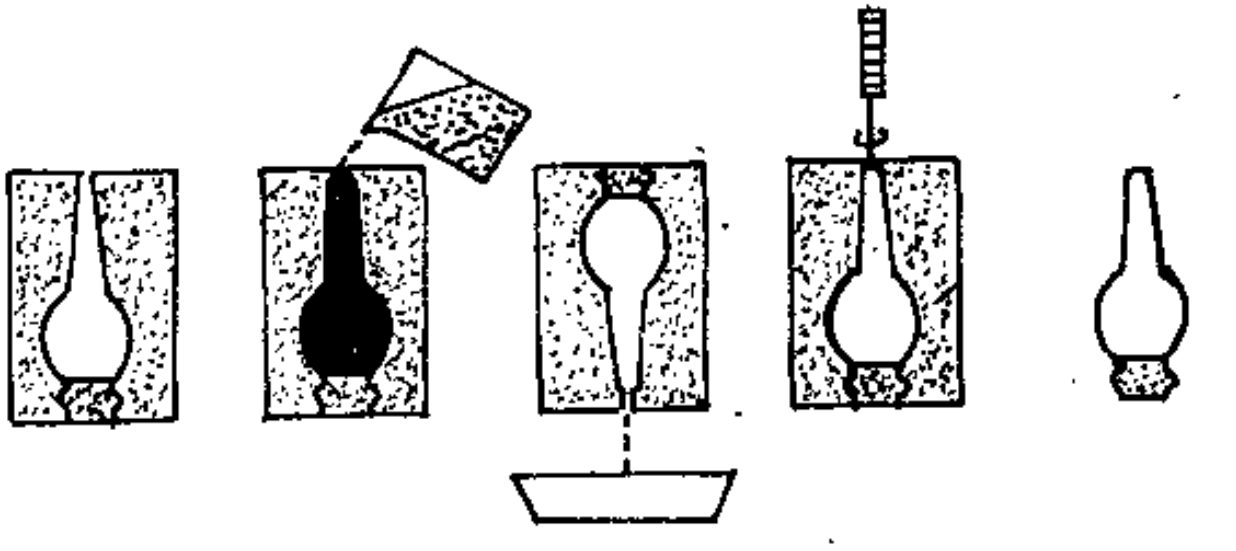
四、成型方法

- 1、基本注浆方法
- ▶ 空心注浆（单面注浆）
 - ▶ 实心注浆（双面注浆）

- 2、加速注浆的方法
- ▶ 压力注浆
 - ▶ 离心注浆
 - ▶ 真空注浆

1、基本注浆方法

➤ 空心注浆（单面注浆）



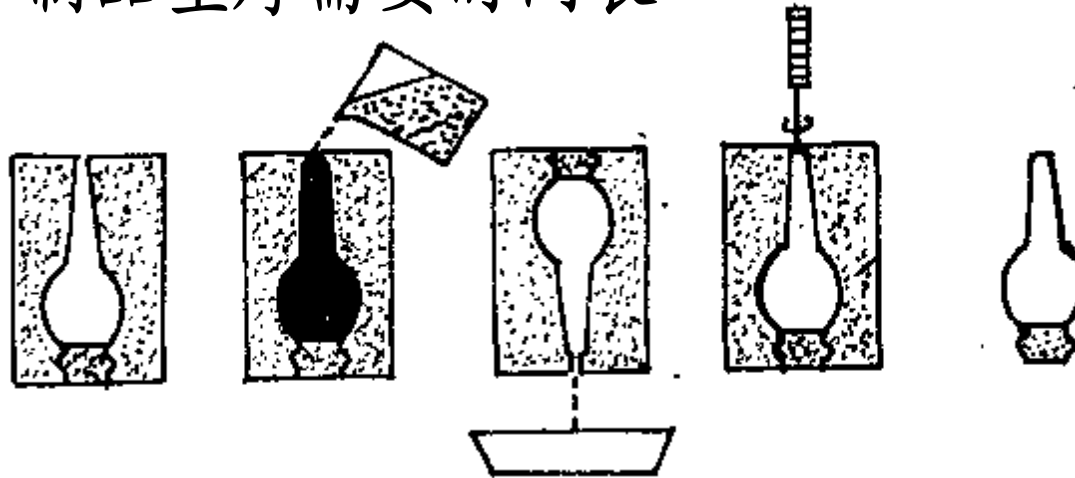
空心浇注花瓶操作示意图

➤ 空心注浆（单面注浆）

壁厚相同的薄胎制品

吃浆缓慢，不能保持制品绝对均一壁厚。

增加制品壁厚需要时间长



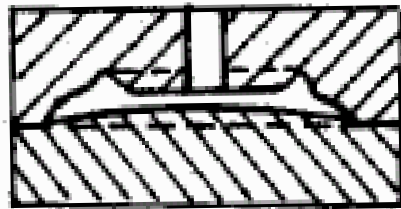
空心浇注花瓶操作示意图

➤ 实心注浆（双面注浆）

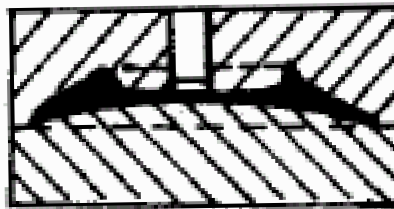
尺寸大而形状复杂制品

没有多余泥浆排出。

水分同时被模型的两个工作面吸收。



(a)



(b)



(c)

实心浇注鱼盘操作示意图

四、成型方法

1、基本注浆方法

- ▶ 空心注浆（单面注浆）
- ▶ 实心注浆（双面注浆）

2、加速注浆的方法

- ▶ 压力注浆
- ▶ 离心注浆
- ▶ 真空注浆

2、加速注浆的方法

(1) 压力注浆：将施有一定**压力**的泥浆通过管道压入模型内，待坯体成型后再取消压力。

- 微压注浆：通过提高泥槽高度，利用泥浆自身的位能提供，对石膏模无特殊要求。
- 中、高压注浆：通过压缩空气引入，需考虑模型的承受能力。

(2) 离心注浆

在模型旋转运动的情况下，将泥浆注入模型中。由于离心力的作用，泥浆紧靠模壁脱水后形成坯体。

(3) 真空注浆

在石膏模外面抽取真空，增大模型内外压力差；在真空室中全部处于负压下注浆。真空注浆可加速坯体形成，提高坯体致密度和强度。

五、注浆成型缺陷分析

1、气孔与针眼

1) 泥浆 水分，陈腐时间，电解质种类及用量

2) 操作 夹有气泡

3) 石膏模 混有杂质或颗粒太粗，
过湿、过干、过旧，
表面沾有灰尘。

六、注浆成型的特点

- ❖ 适用性强，生产成本低，不需复杂的机械
设备，只要简单的石膏模就可成型；
- ❖ 能制出任意复杂外形和大型薄壁注件；
- ❖ 坯体结构均匀。
- ❖ 劳动强度大，操作工序多，生产效率低；
- ❖ 生产周期长，石膏模占用场地面积大；
- ❖ 注件含水量高，烧成时容易变形；
- ❖ 模具损耗大。

6.3 塑性成型

- ✓ 成型工艺原理
- ✓ 影响可塑性的因素
- ✓ 成型方法

塑性成型：

利用**模具或刀具**等运动所造成的压力、剪力等外力对具有**可塑性的**坯料进行加工，迫使坯料在外力作用下发生可塑变形而制成一定规格坯体的方法。

✓ 影响可塑性的因素

1、矿物种类的影响

伊利石 < 高岭石 < 蒙脱石

颗粒较细；矿物明显解理或解理完全，尤其呈片状结构的矿物

2、固体颗粒大小和形状的影响：断键

3、吸附阳离子种类的影响

$Al^{3+} > Ba^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > NH_4^+ > K^+ > Na^+ > Li^+$

4、液体介质数量和性质的影响

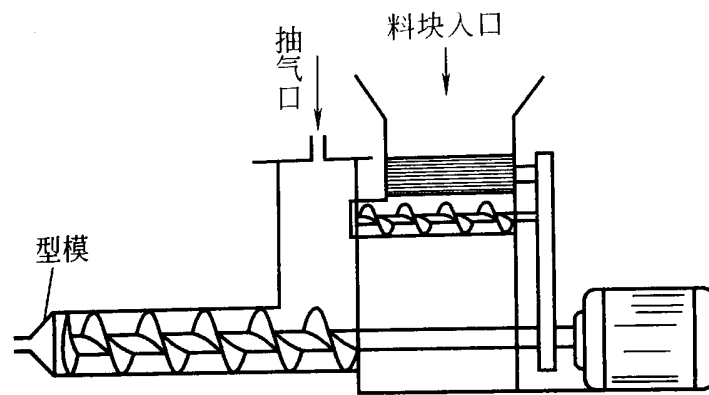
成型方法

- 1、挤压成型
- 2、车坯成型
- 3、湿压成型
- 4、旋转成型 { 旋坯法
滚压法
- 5、其他

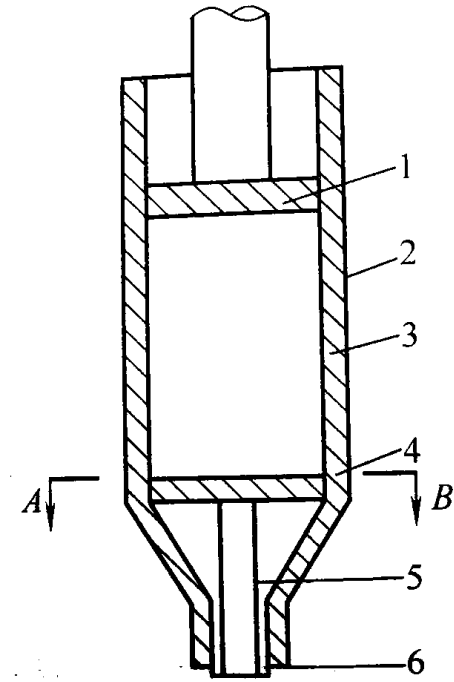
设备:

真空练泥机

螺旋或活塞式挤坯机



卧式真空挤压机



A—B

立式真空挤压机

2、车坯成型

车床上将挤压成型的泥段再加工成**外形复杂的柱状制品**。

- **干车**，泥段含水6%-11%。干车坯体尺寸精确，但粉尘大，效率低，刀具磨损大，已逐渐由湿车替代。
- **湿车**，泥段含水16%-18%。精度低，有变形。



3、湿压成型

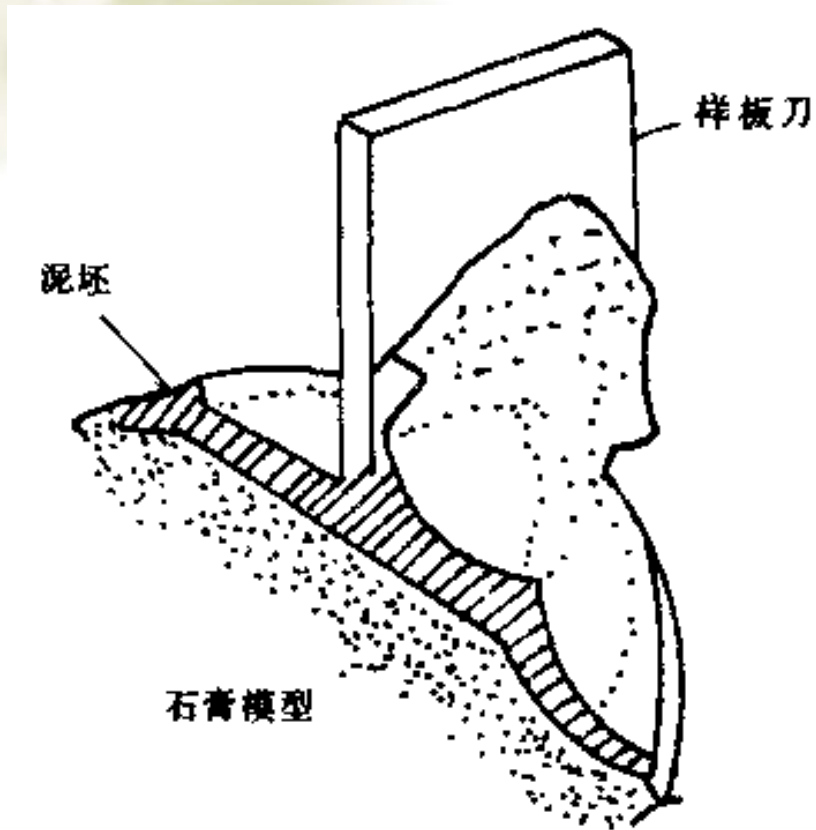
含水率20% 经挤压机与切割成块状坯料，
经金属模型再压成型为坯体。

润滑 → 瓦

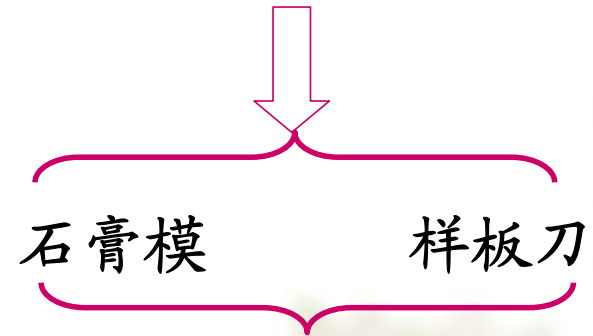
真空 → 浅型制品

加热 → 电瓷中的绝缘子

旋坯成型



真空练泥的塑性泥料



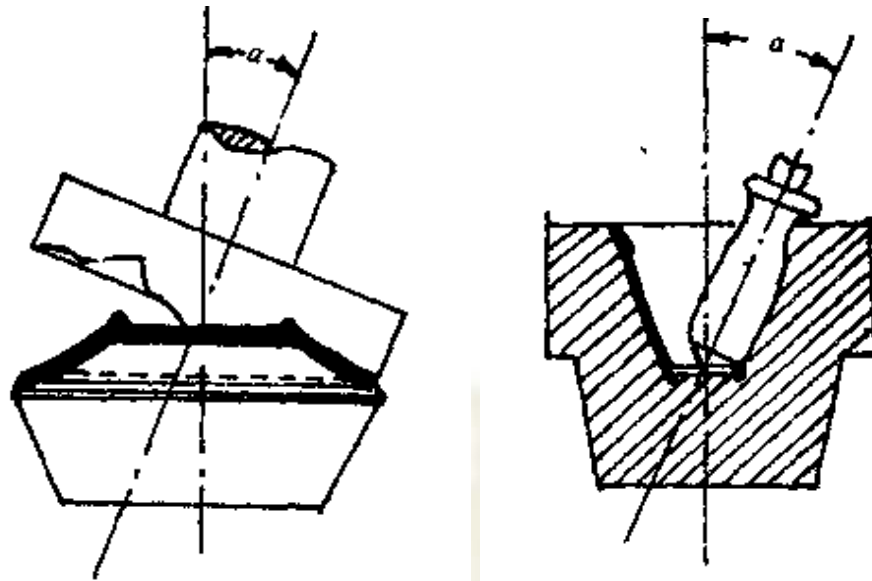
泥料均匀布于
模型内表面

余泥贴在样板
刀向上爬

滚压成型

由旋坯法发展而得，把扁平的型刀改变成尖锥形或圆柱形的回转体—滚压头。

圆柱形滚压头，模型分别绕自己轴线同方向旋转




6.4 压制成型

- ✓ 压制成型：将粉状坯料置于金属模具中，施加一定压力而制得所需的形状、尺寸和致密度的产品（坯体）。
- ✓ 应用：砖瓦、耐火材料、建筑陶瓷、磨具及部分特种陶瓷等。

6.4 压制成型

- 一、工艺原理
 - 粉料的工艺性质
 - 压制过程中坯体的变化
 - 影响坯体质量（密度）的因素
- 二、成型方法
 - 干压或半干压成型
 - 等静压成型
 - 辊压成型
 - 挤压成型



1、粉料的工艺性质

- (1) 粒度和粒度分布
- (2) 粉料的流动性
- (3) 粉料的含水率
- (4) 粉料的拱桥效应

2、压制过程中坯体的变化

(1) 密度变化

(2) 强度变化

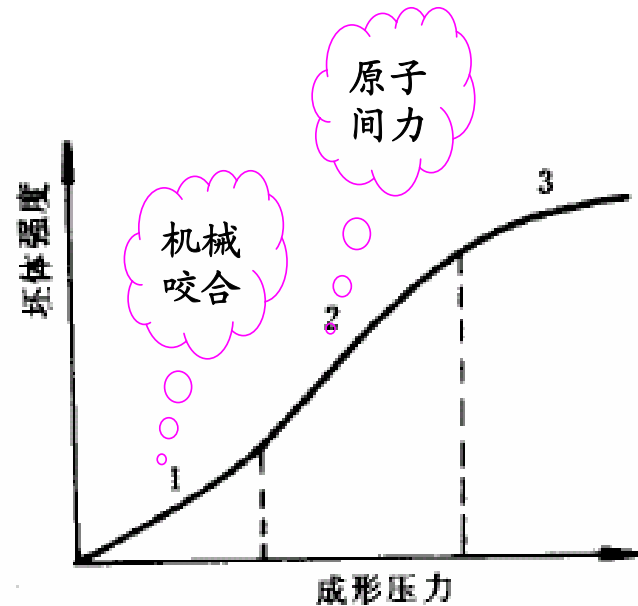
(3) 坯体中压力的分布

(2) 强度变化

第一阶段：压力较低，颗粒接触面积小，强度来自于颗粒之间的**机械咬合**作用，强度不大；

第二阶段：压力增加，颗粒发生变形，接触面积增加，**原子间力**的相互作用，强度直线增加；

第三阶段：强度变化平坦。



坯体强度与成形压力的关系

3. 影响坯体质量（密度）的因素

- 成型压力
- 加压方式
- 加压速度
- 添加剂的选用

成型压力

- **净压力**：克服粉料的阻力 P_1 。包括内摩擦力和变形所需的力。
- **消耗压力**：克服颗粒与模壁摩擦所消耗的力 P_2 。
- **成型压力**： $P_1 + P_2$ 的总和。

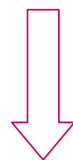
• 加压方式

单面加压 不适于压制厚件制品

双面加压 { 同时加压 空气易挤压到模型的中部，
生坯中部密度减小
先后加压 压制厚件坯体的好方法

• 加压速度

成形时加压速度不能过快，开始加压时不能过重。否则，由于粉料中的气体没有充分的时间排出，容易造成坯体开裂。



多次加压（2~3次），一轻、二重、慢提起

• 添加剂的选用

减少摩擦，增加颗粒间粘结作用，从而提高坯体强度、密度，减少密度分布不均匀的现象。

润滑剂：减少颗粒间及颗粒与模壁间的摩擦

胶粘剂：增加颗粒间的粘结作用

表面活性剂：促进颗粒的吸附、湿润和变形

提高压制成型坯体密度的途径:

- (1) 减少粉料装模时自由堆积的孔隙率。
- (2) 增加压制压力，减少坯体孔隙率。
- (3) 延长加压时间，提高坯体的致密度，降低坯体的气孔率。
- (4) 添加润滑剂，减小颗粒间内摩擦力，降低坯体气孔率。

1、干压或半干压成型：以坯料含水量划分

- ▶ 干压成型：压力较大，要求粉料含水率低；
- ▶ 半干压成型：压力较小，要求粉料含水率高。

成型时将坯料置于钢模中，由压机加压。

2、等静压成型

利用液体、气体或弹性体等**均匀传递压力**的特性来实现均匀施压成型。

热等静压成型——热压烧结

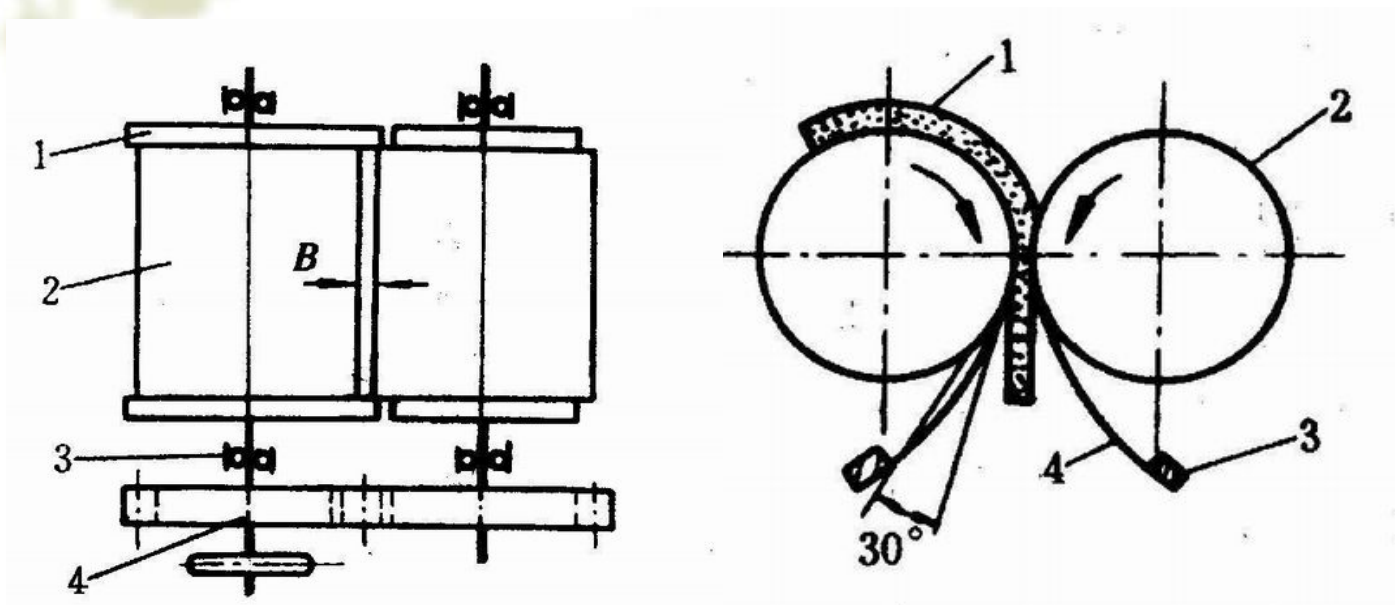
冷等静压成型：包括湿式和干式等静压

等静压成型工艺特点

- 基本无宏观缺陷，压力和密度分布均匀，显微结构具有各向同性，
- 实现大规模的自动化生产，
- 投资大，操作较复杂，
- 成型在高压下操作，容器及其它高压部件需要特别防护。

3、辊压成型

采用对辊挤压的方式生产**板状**制品的方法。



4、挤压成型—挤出成型

将拌合料在压力作用下，通过规定形状的模具窗口连续挤出的成型工艺

成型方法的选择

1) 产品形状、大小和厚薄等。一般形状复杂，尺寸精度要求不高的产品或一些薄胎、厚壁产品可采用注浆法成形。简单的

2) 应在保证产品产量、质量的前提下，选用工艺可行、设备简单，生产周期短和塑性的
3) 经济效益好的成形方法。

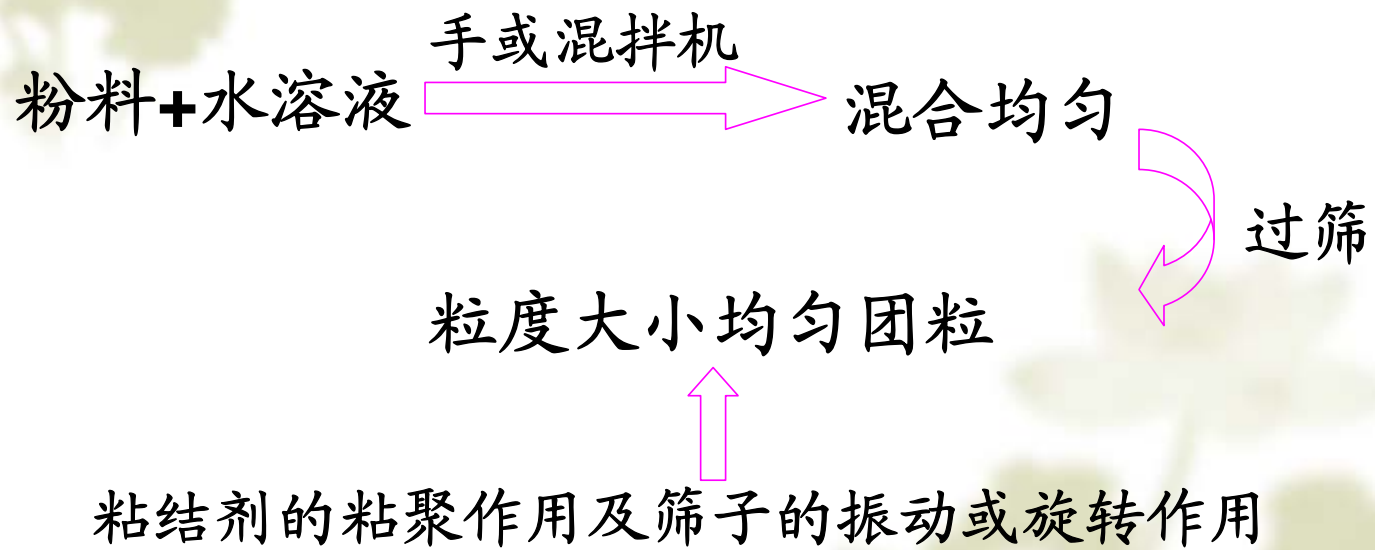
成形。产品批量小的产品可采用注浆法成形。产量小及质量要求不高的可采用手工可塑法成形。

4) 其它。选择成形方法还应考虑生产的技术经济指标、工厂的设备条件和工人的操作技能及劳动强度等。

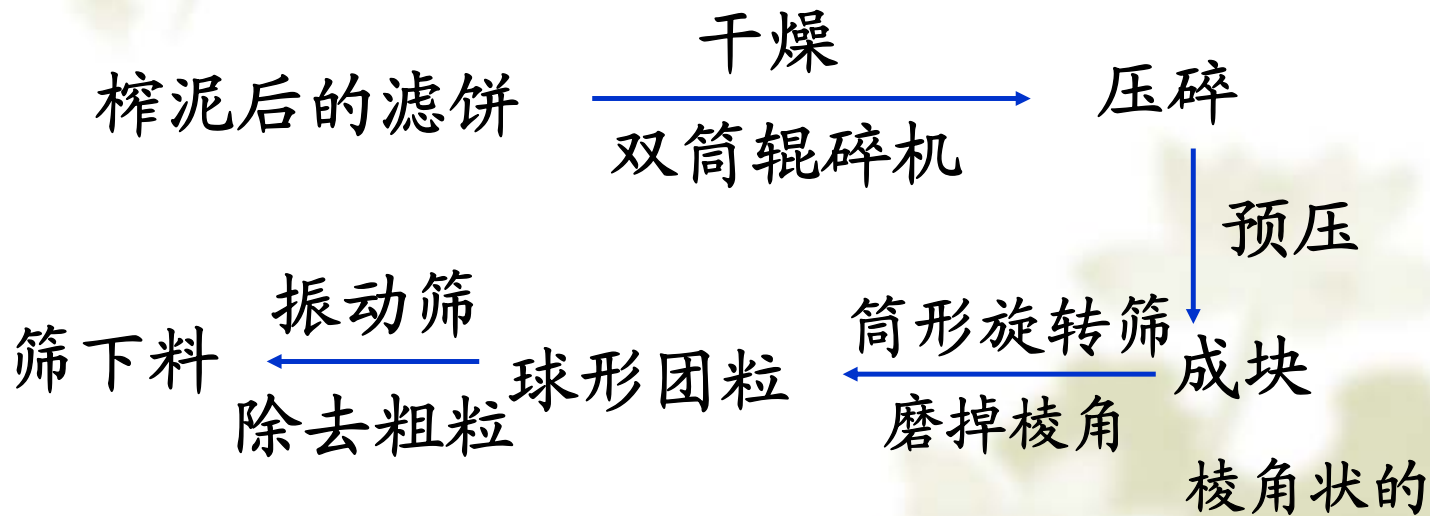
6.11 造粒成型法

- ❖ 造粒，颗粒团聚的方法，将细颗粒加工成较大实体的工艺方法。流动性，由几种大小不同的球状颗粒组成的粒团。
- ❖ 常用方法 {
 - 普通造粒法
 - 加压造粒法
 - 喷雾造粒法

❖ 普通造粒法:



❖ **加压造粒法**：将混合好粘结剂的粉料预压成块，然后再粉碎过筛。



❖ 喷雾造粒法

优点：球状团粒流动性好。

产量大，可连续生产，劳动强度低。

缺点：团粒质量与料浆的粘度及喷嘴的压力有关，粘度与压力不当，会使造出的团粒中心出现空洞。

6.12 玻璃熔体成型

- 一. 玻璃熔体的主要成型性质
- 二. 成型制度的制定
- 三. 成型方法
- 四. 玻璃退火

一. 玻璃熔体的主要成型性质

1. 粘度

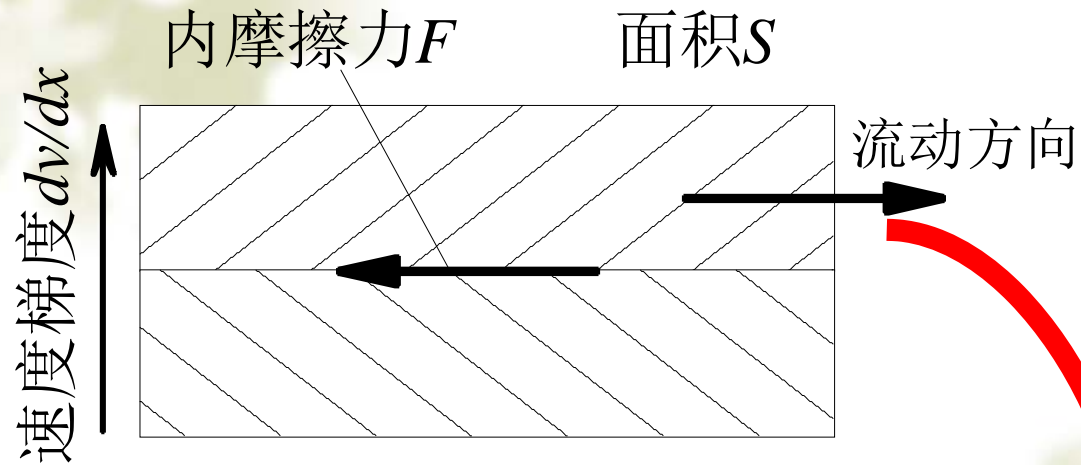
2. 表面张力

3. 弹性

4. 比热、热导率、热膨胀系数、

表面辐射和透热性

粘度

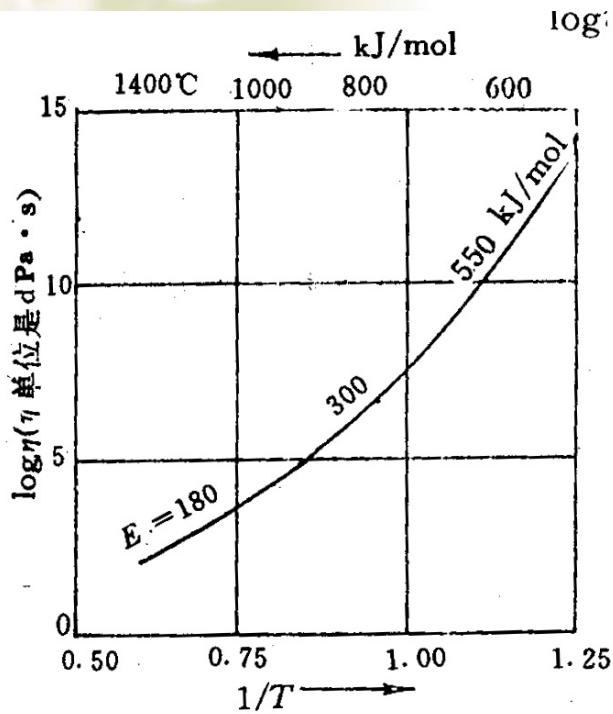


液体流动时内摩擦力

粘度 η : 使相距一定距离的两个平行平面以一定速度相对移动所需的力。

$$\sigma = F/S = \eta dv/dx$$

• 温度

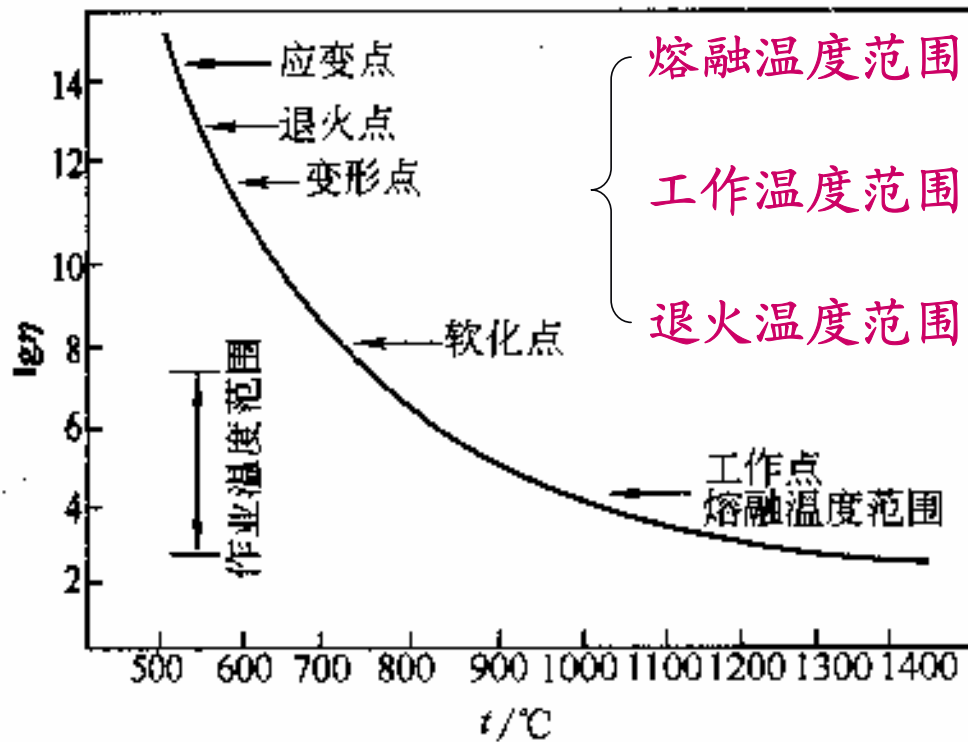


钠硅酸盐玻璃 $\log \eta - 1/T$ 关系曲线

$$\log \eta \sim \frac{1}{T} \text{ 关系}$$

一些熔体的粘度

熔体	温度(°C)	粘度(Pa·s)
水	20	0.001006
熔融 NaCl	800	0.00149
钠长石	1400	17780
80% 钠长石 + 20% 钙长石	1400	4365
瓷 釉	1400	1585



熔融温度范围: 50~500PaS

工作温度范围: $10^2 \sim 10^7$

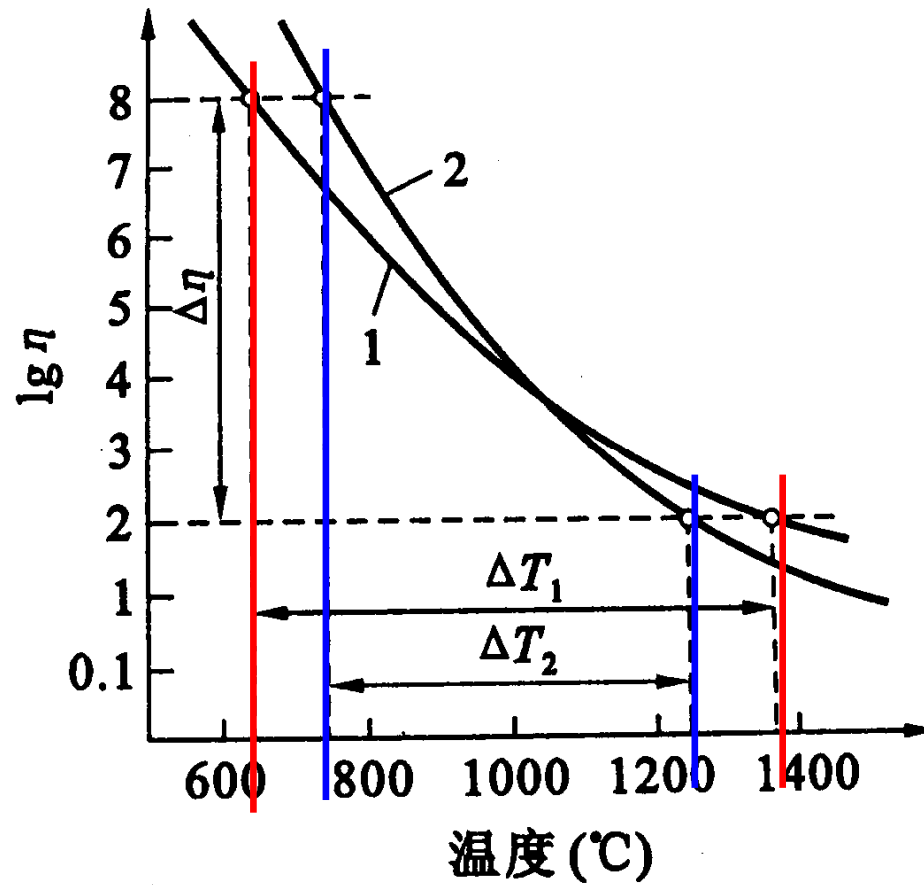
退火温度范围: $10^{12.5} \sim 10^{13.5}$

工作点
熔融温度范围

硅酸盐熔体的黏度-温度曲线

长性玻璃：较
长的操作时间

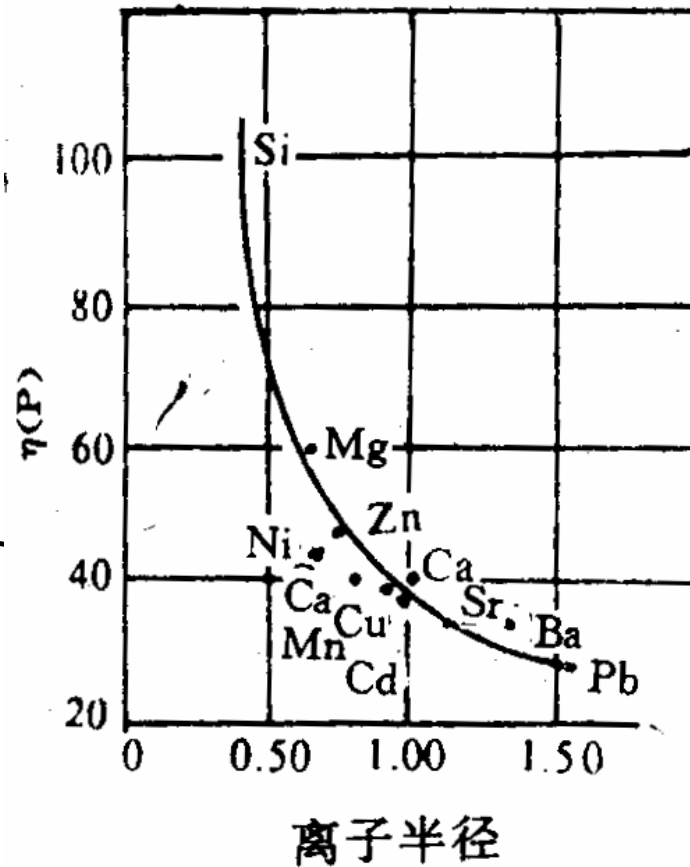
短性玻璃：要
求快速成型



• 组成

- 改变了熔体结构
- 影响到 η : 由 $[\text{SiO}_4]$ 网络连接程度所决定

硅酸盐熔体粘度大小的主要因素时 $[\text{SiO}_4]$ 网络的连接程度



二价阳离子对硅酸盐熔体粘度的影响

表面张力与表面能

温度的关系

$$\gamma = \gamma_0(1 - b\Delta T)$$

T升高, γ 降低

与组成的关系

提高表面张力的组分: Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、
 Na_2O 、 Li_2O 、 SiO_2

降低表面张力的组分: K_2O 、 PbO 、 B_2O_3 、
 Sb_2O_3 、 Cr_2O_3 、 P_2O_5

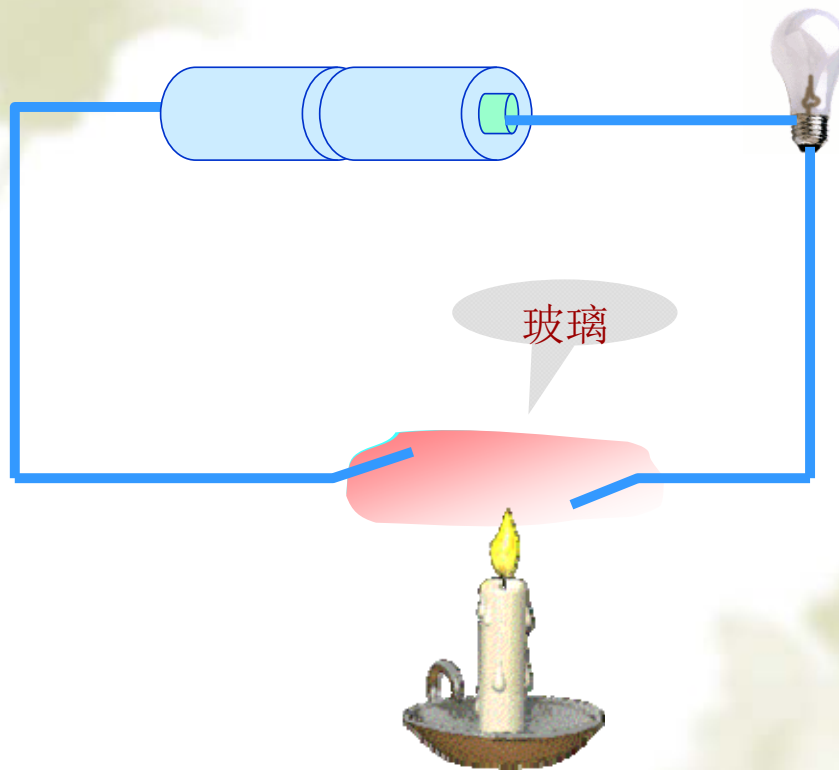
弹性

在成型的低温阶段，弹性的作用明显
弹性大的玻璃（即较小的应力能产生
较大的应变）能抵抗较大的温度差，可减少缺陷的发生。

玻璃熔体的主要成型性质

1. 粘度
2. 表面张力
3. 弹性
4. 比热、热导率、热膨胀系数、
表面辐射和透热性

在高温下玻璃成为导体。



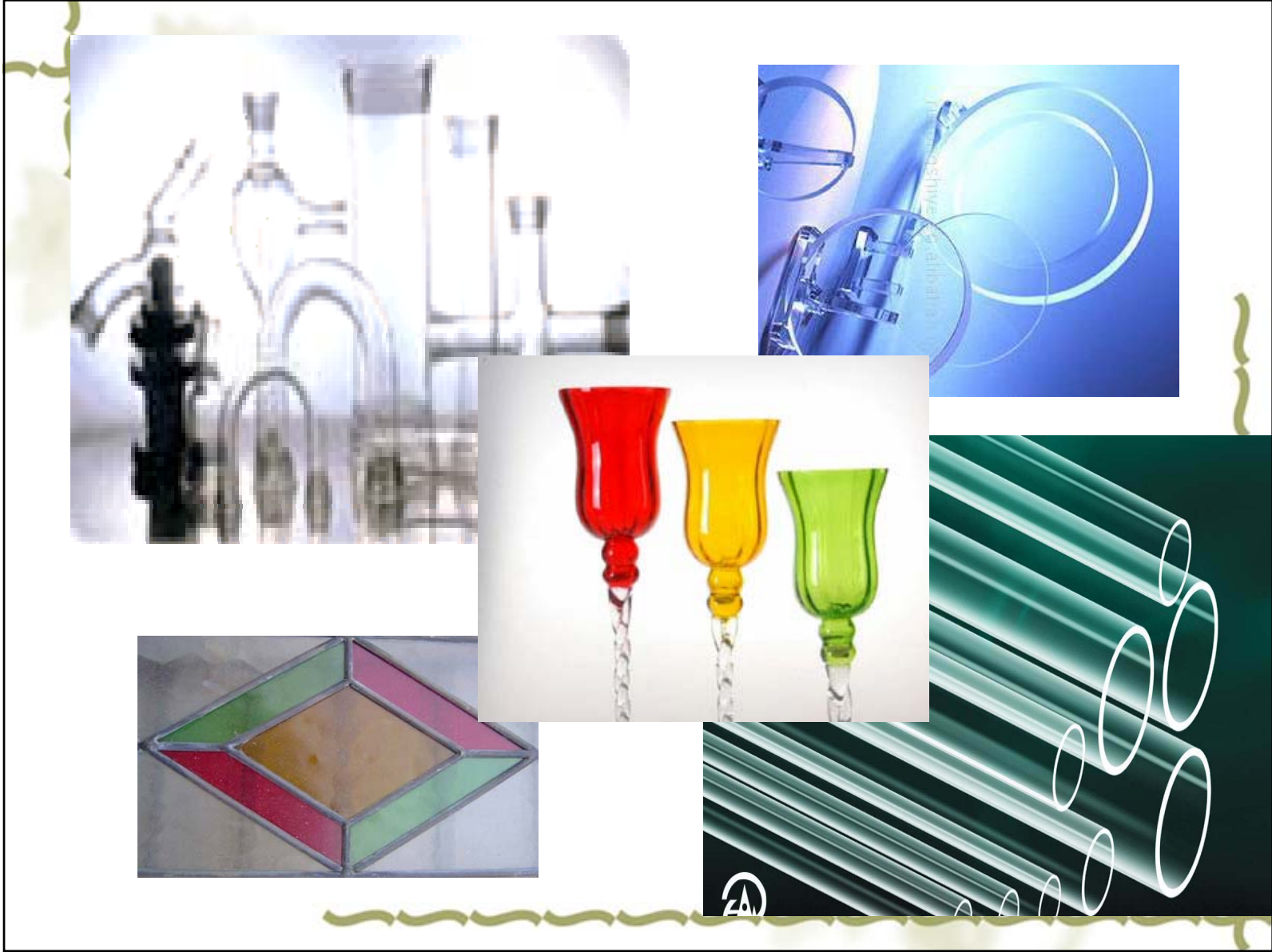
二. 成型制度的制定

温度的确定

成型粘度范围

模型的温度制度

成型各阶段的持续时间



三. 成型方法

1. 压制法

2. 吹制法

3. 浇注法

4. 压延法

5. 拉制法

6. 浮法

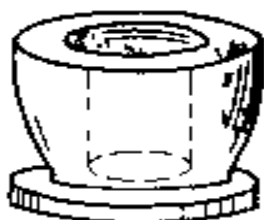
1. 压制法:

人工压制

机械压制



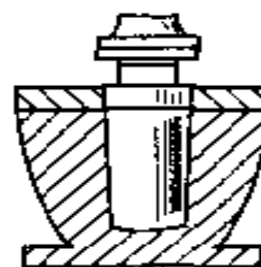
人工压制



模型



加料



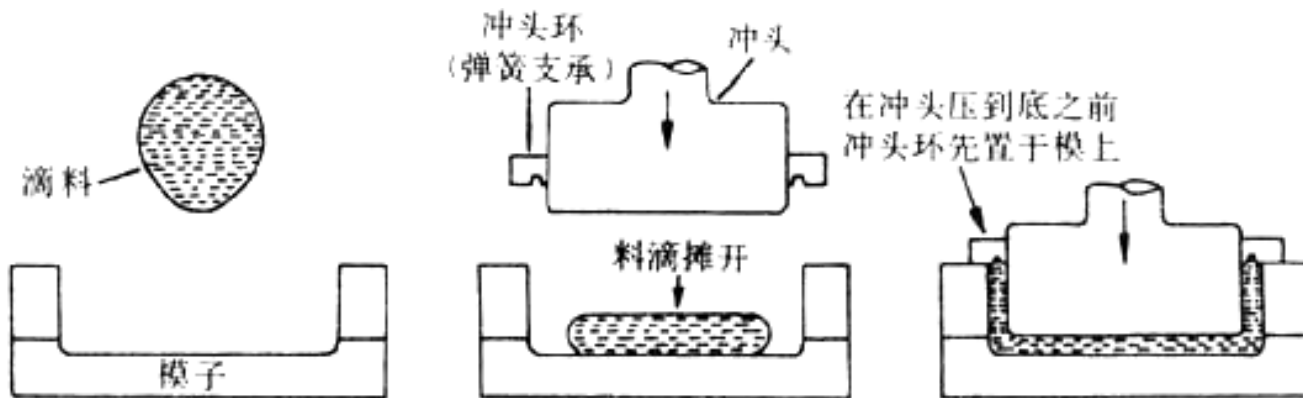
压制



制品

以铁杆取料，按设定量剪落入模，模芯（冲头）压下将玻璃液挤满模腔压成制品。

机械压制：将玻璃液剪入多模压制机的模中，落下模芯成型。



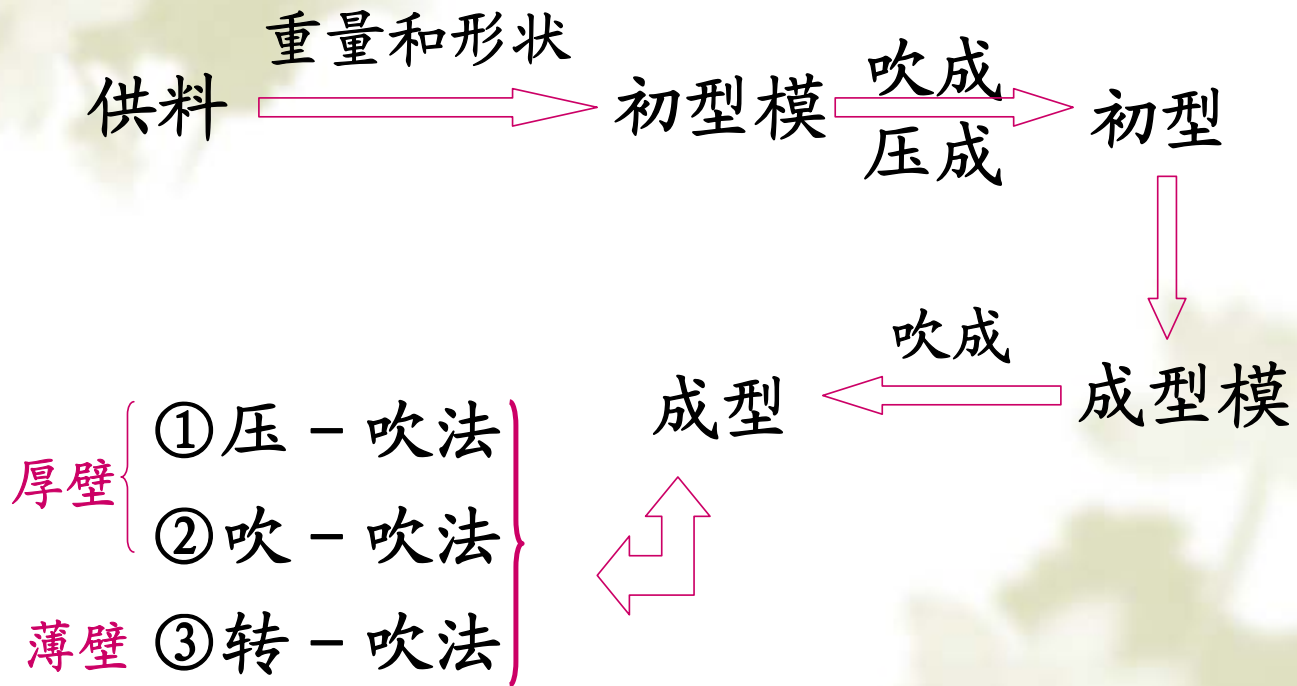
2. 吹制法

人工吹制

机械吹制

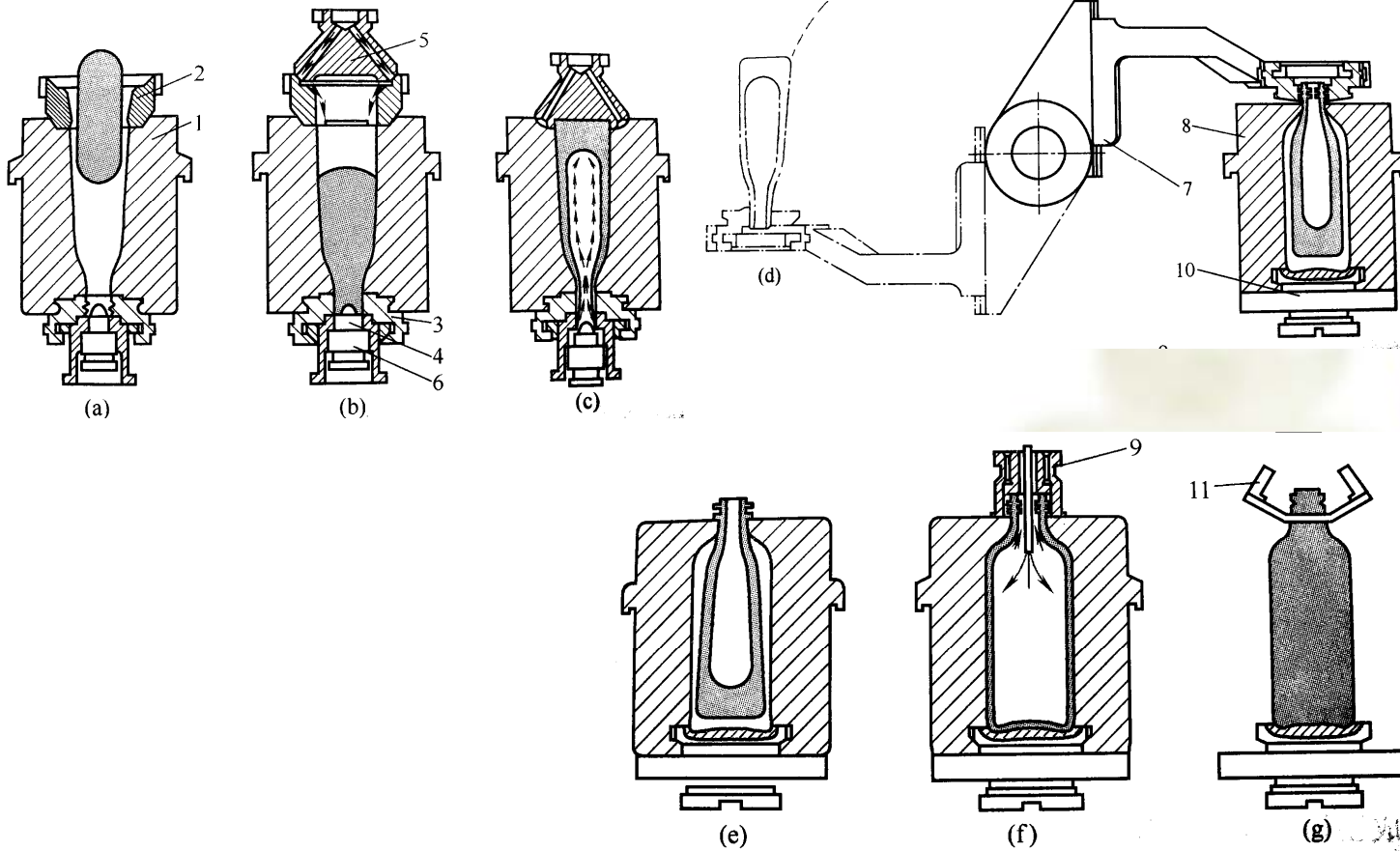


机械吹制:



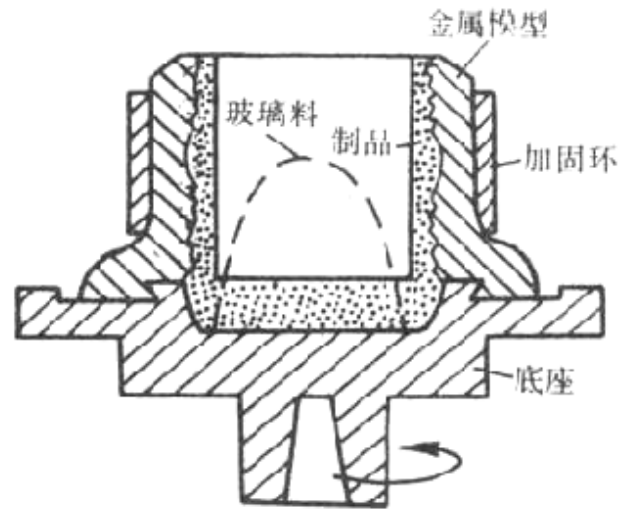
IS制瓶机

36-39只/min



3. 浇注法

玻璃液
↓
注入
↓
模
↓
高速旋转
↓
紧贴模壁
↓
固化成型



用于浇注的玻璃液粘度要小，在模子中凝固成型。

压花玻璃

火焰



树皮



七巧板

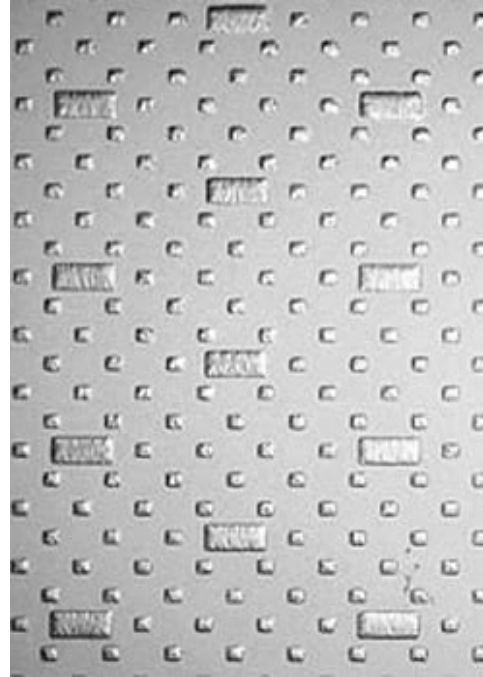


甲骨文





早春

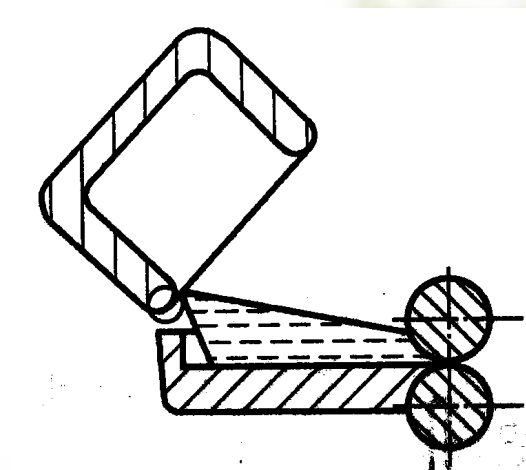
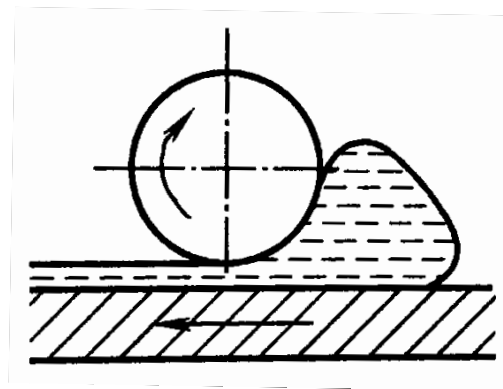


方套方



飘

4. 压延法



5. 拉制法

人工拉制

机械拉制

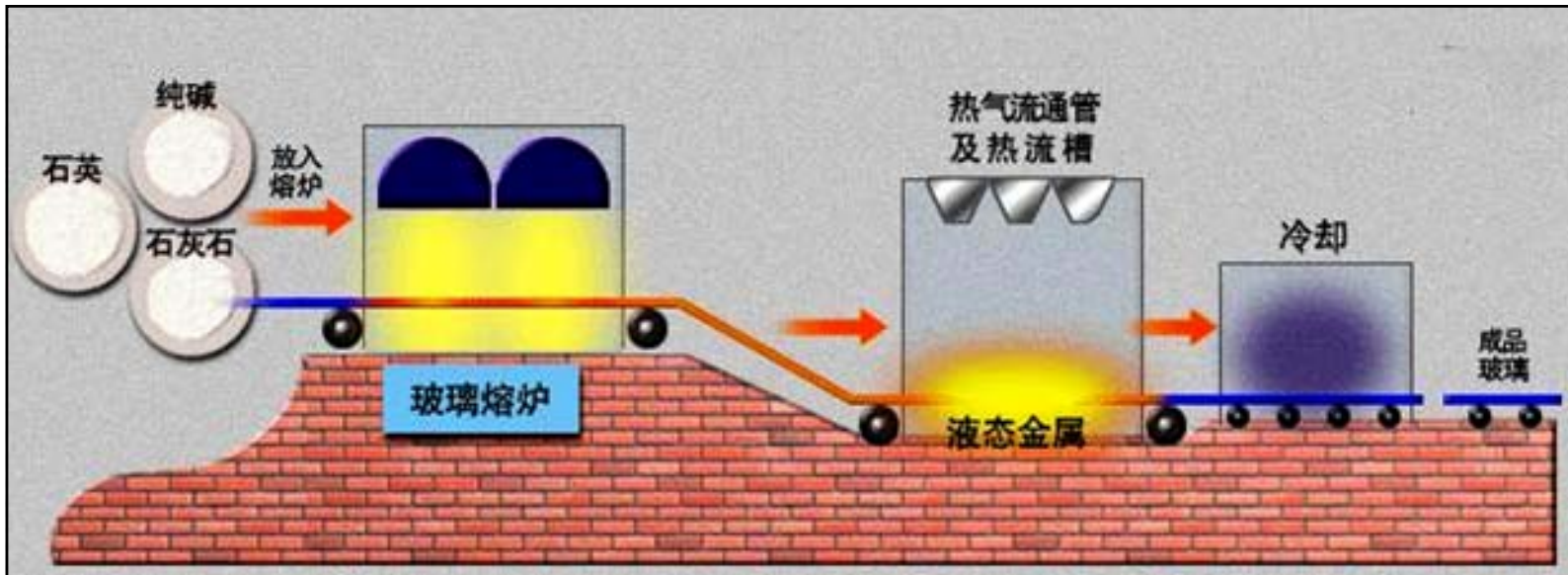
机械拉制玻璃管

机械拉制纤维

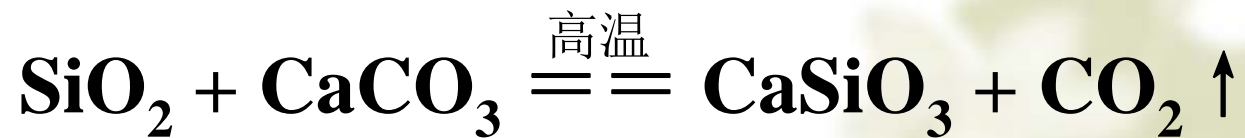
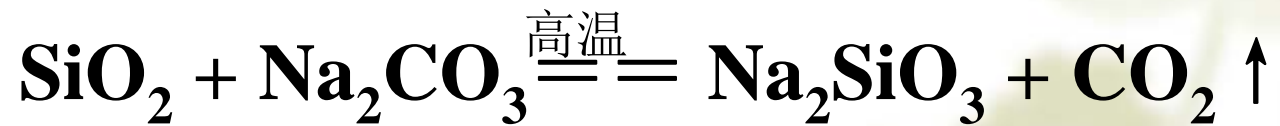
机械拉制平板

6、**浮法**：熔融的玻璃液流入锡槽后在熔融金属锡液的表面上漂浮形成平板玻璃的方法。

➤ **成型原理**：让处于高温熔融状态的玻璃液浮在比它重的金属液表面上，受**表面张力**作用使玻璃具有光洁平整的表面，并在冷却硬化过程中加以保持，生产出接近**抛光表面**的平板玻璃。



玻璃生产的主要反应：



(1) 浮抛介质的选择

- 具有较低的熔点和较高的沸点，即在**600~1000℃**温度范围内呈液态；
- 蒸汽压要小，以免大量挥发；
- 密度要大，以保证玻璃也能漂浮在其上面；
- 容易还原，在还原气氛中能以单质金属存在；
- 在**1000℃**左右下，不与玻璃发生化学反应。

锡液的性质

性 质	单 位	数 值
密 度	g/cm^3	7.298
熔 点	$^{\circ}\text{C}$	231.96
沸 点	$^{\circ}\text{C}$	2 270
导热率(20 $^{\circ}\text{C}$)	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	65.73
熔化潜热	J/g	60.3
蒸发潜热	J/g	3 018
固 - 液相体积变化	%	2.7
表面张力(232 $^{\circ}\text{C}$)	N/m	531×10^{-3}

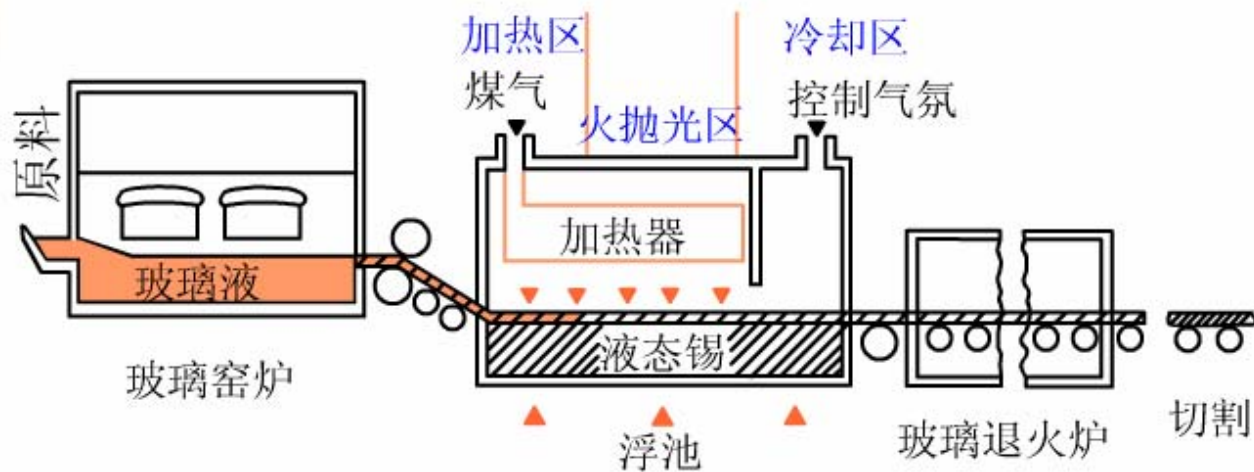
锡液密度、表面张力与温度间的关系

温度(℃)	600	700	800	900	1 000	1 050	1 100
密度(g/cm ³)	6.711	6.643	6.574	6.505	6.437	6.403	6.368
表面张力($\times 10^{-3}$ N/m)	502	494	486	478	470	466	462

锡液蒸气压与温度间关系

温度(℃)	730	880	940	1 010	1 130	1 270	1 440
蒸气压(Pa)	1.94×10^{-4}	2.3×10^{-2}	4.13×10^{-2}	0.133	1.33	13.3	133

(2) 玻璃的摊平和抛光

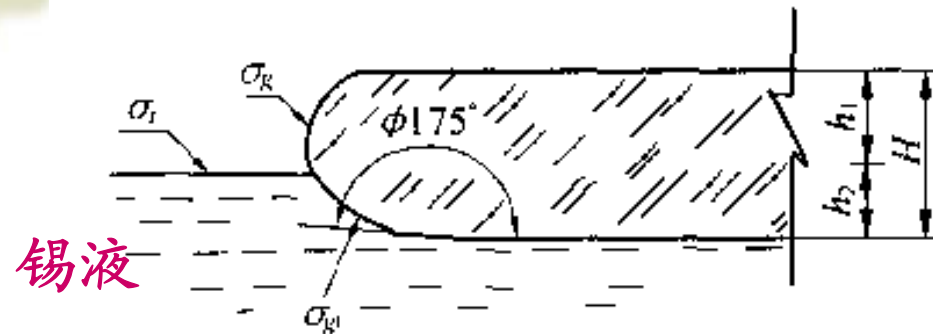


抛光时间：处于高温状态下的玻璃液由于**自身重力和表面张力**的作用，使其具有平整的表面，达到抛光的目的，其过程所需要的时间。

(3) 玻璃厚度的控制

6-7mm

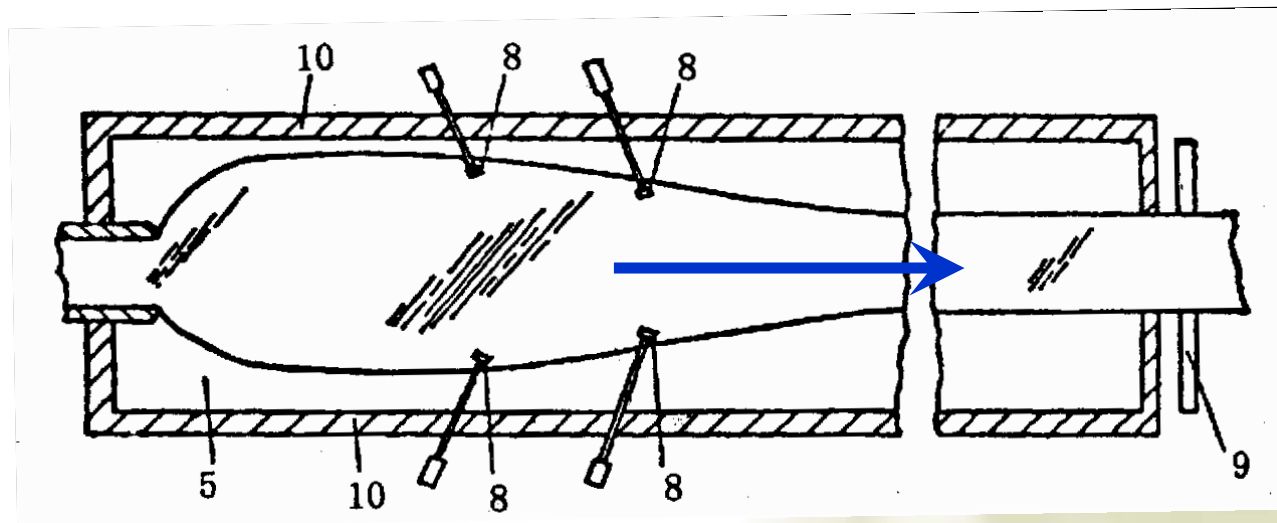
① 静置玻璃液的平衡厚度



平衡厚度： 漂浮锡液面上的玻璃液，在没有外力作用的条件下，所受**重力**和**表面张力**达到平衡时，玻璃带的厚度有一固定值。

②拉薄玻璃的阻力分析

- 玻璃表面张力增厚作用显著
- 玻璃横断面受力不够



③拉薄措施:

表面张力增厚作用

摊平之后，充分降低温度，即冷却玻璃带

横断面受力不够

设置拉边机

T



表面张力



粘度



③拉薄措施:

设置拉边机

冷却玻璃带

低温拉薄---高温拉薄

徐冷拉薄---急冷拉薄

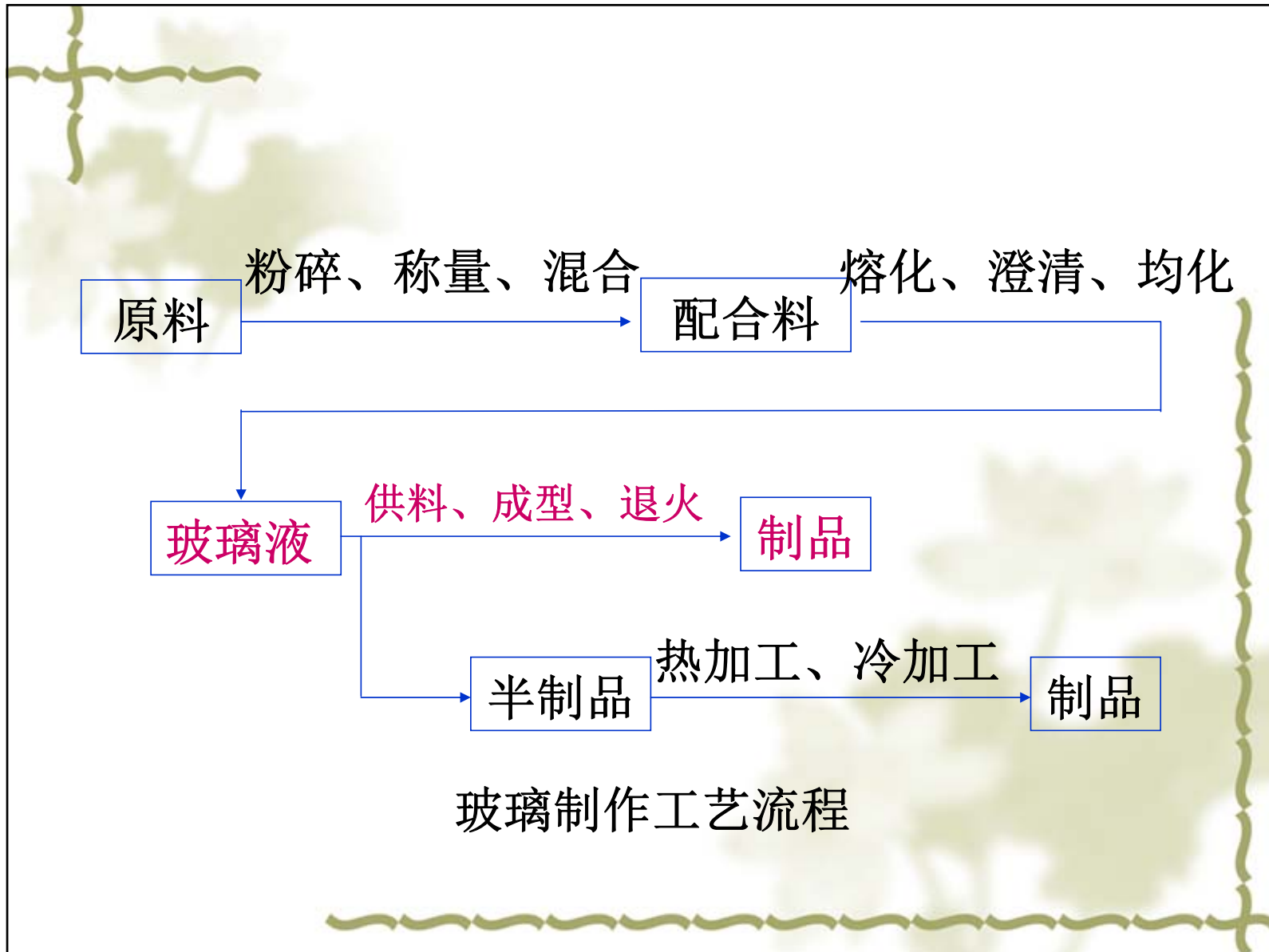
拉引速度、拉边机对数、收缩率与玻璃厚度关系

厚度/mm	<1	2	3	4	5	6
拉引速度/(m/h)	1200~1600	900~1200	570~730	400~600	250~450	200~400
拉边机对数	>10	6~8	4~5	3~4	0~2	0
收缩率/%	50~60	40~50	28~35	15~20	10~15	



➤ 玻璃的成型

从熔融的玻璃液转变为具有固定几何形状的制品的过程。



四.玻璃的退火

热应力

玻璃中由于温差而产生的内应力。


暂时应力：温度梯度消失，应力也消失

永久应力：温度梯度消失，表面与内部温度皆为常温时，内部残留的热应力

退火

✓退火：消除玻璃制品在成型或热加工后残留在制品内的永久应力的过程。

✓目的：防止玻璃炸裂，提高玻璃的机械强度。

- 
- ✓退火温度范围
 - ✓退火工艺过程
 - ✓退火设备
 - ✓玻璃的强化

(1) 退火温度范围

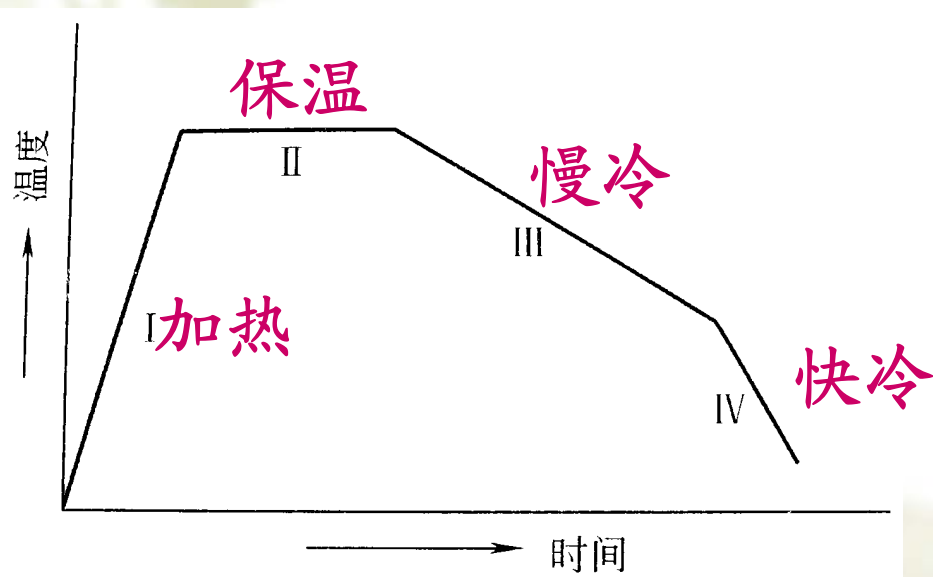
* **退火温度**: 将玻璃加热到 $<$ 玻璃转温度 T_g 附近的某一温度使应力松弛。

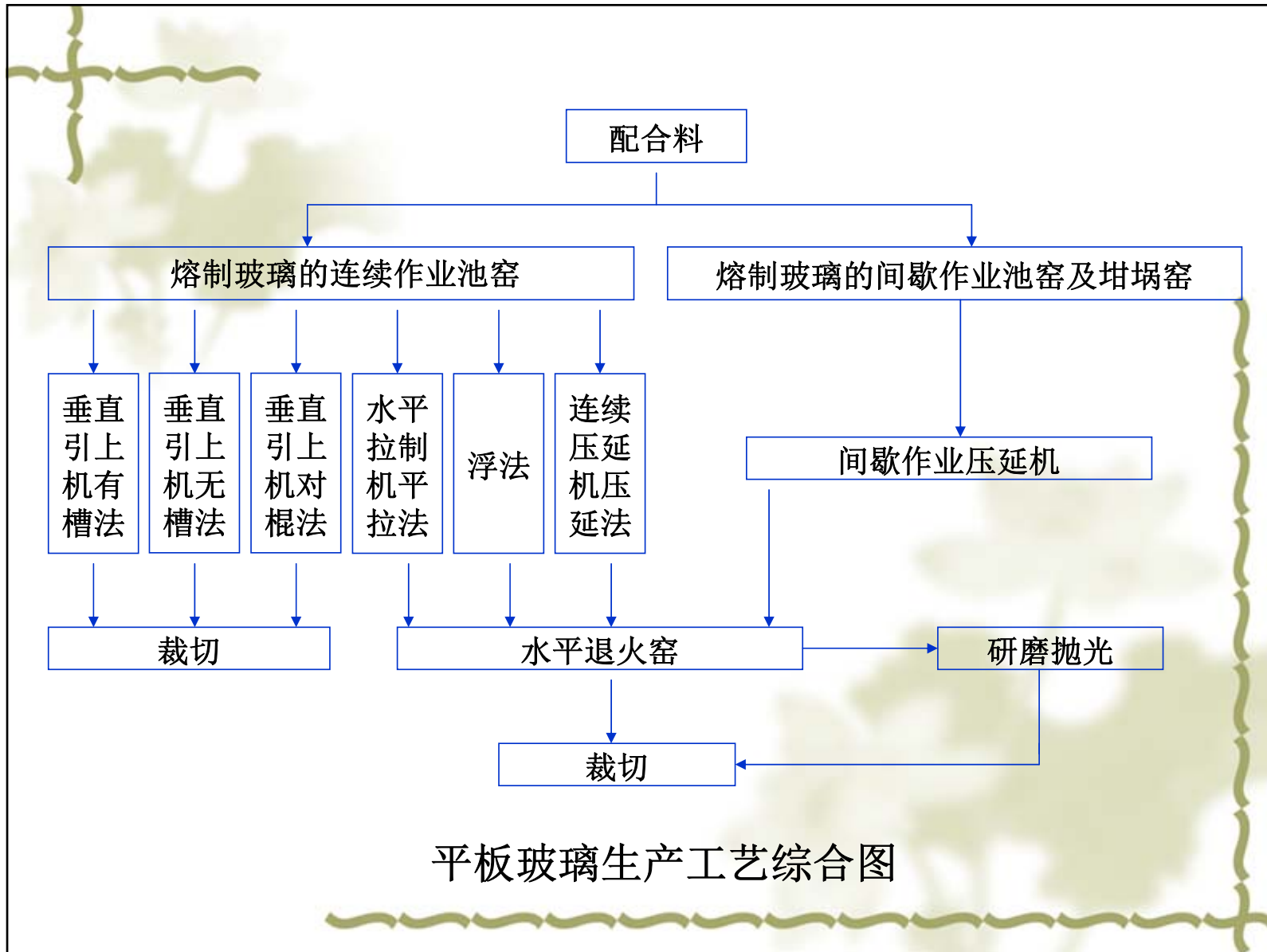
* **退火上限温度**: 经过 3 min 能消除应力 95%。

* **退火下限温度**: 经 3 min 只能消除应 5%。

* **退火温度范围**: 最高退火温度~
最低度退火温度

(2) 退火工艺过程





6.13 成型模具

1. 石膏模具
2. 弹性模具
3. 金属模具

1. 石膏模具

主要用于注浆成型及可塑成型（湿压、旋坏、滚压等方法）。

作用： 确定坯体形状；

利用其多孔性吸收坯料中的水分，使坯体有一定强度。石膏和粘土成分有离子交换，促进水分向石膏模渗透和扩散。

半水石膏

由于加热条件不同，半水石膏有两种晶型

- α -半水石膏：水蒸气存在下加热加压脱水
- β -半水石膏：干燥空气中，常压下炒制

2. 弹性模具

用于常温等静压成型。要求模具能均匀伸长和展开，不易撕裂，比较柔软，长期耐液体介质作用。

3. 压制成型用的金属模具:

由各种金属材料及合金材料制成。

阳模和芯杆可用碳素工具钢等材料制造。模套、垫板顶杆可用碳素钢等。压制硬度较大的坯料（如高铝瓷）时，模具要用硬质合金制造才耐用。

第六章 无机非金属材料成型工艺

6.1 概述

6.2 注浆成型

6.3 塑性成型

6.4 压制成型

6.11 造粒成型

6.12 玻璃熔体成型

6.13 成型模具

思考题

- 1、名词解释：粉料的流动性、拱桥效应、造粒。
- 2、简述压制成型过程中坯体的变化。
- 3、比较注浆成型、塑性成型和压制成型的工艺特点
- 4、玻璃的退火过程分为几个阶段，各阶段的作用
- 5、浮法生产玻璃为什么难以拉薄，如何解决？
- 6、浮法成型对浮抛介质的要求有哪些？为什么？