



金属工艺学实习

王金学

郑州大学机械工程学院



绪论

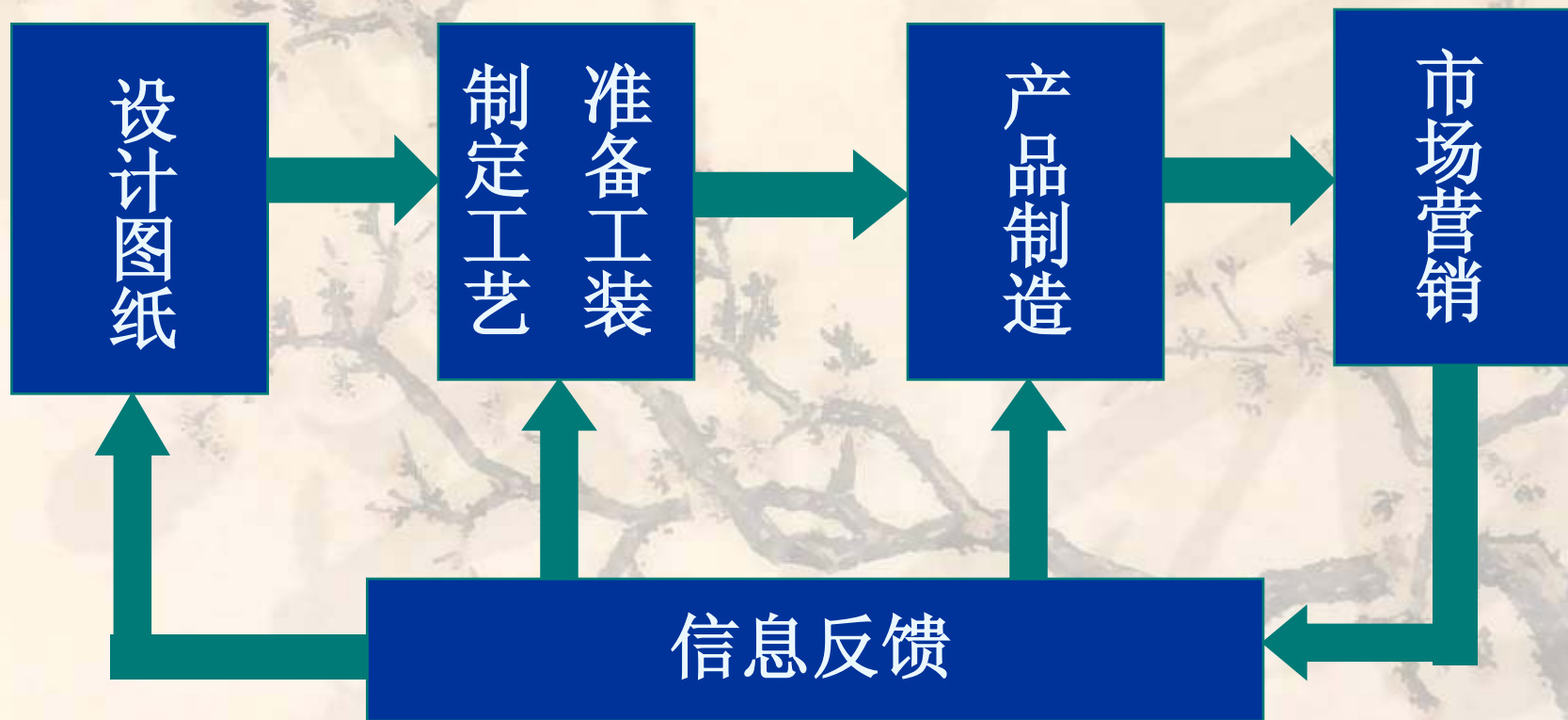
- 0.1 《金工实习》的内容——学什么？
- 0.2 《金工实习》的目的——为什么学？
- 0.3 《金工实习》的要求——怎样学？



0.1 《金工实习》的内容

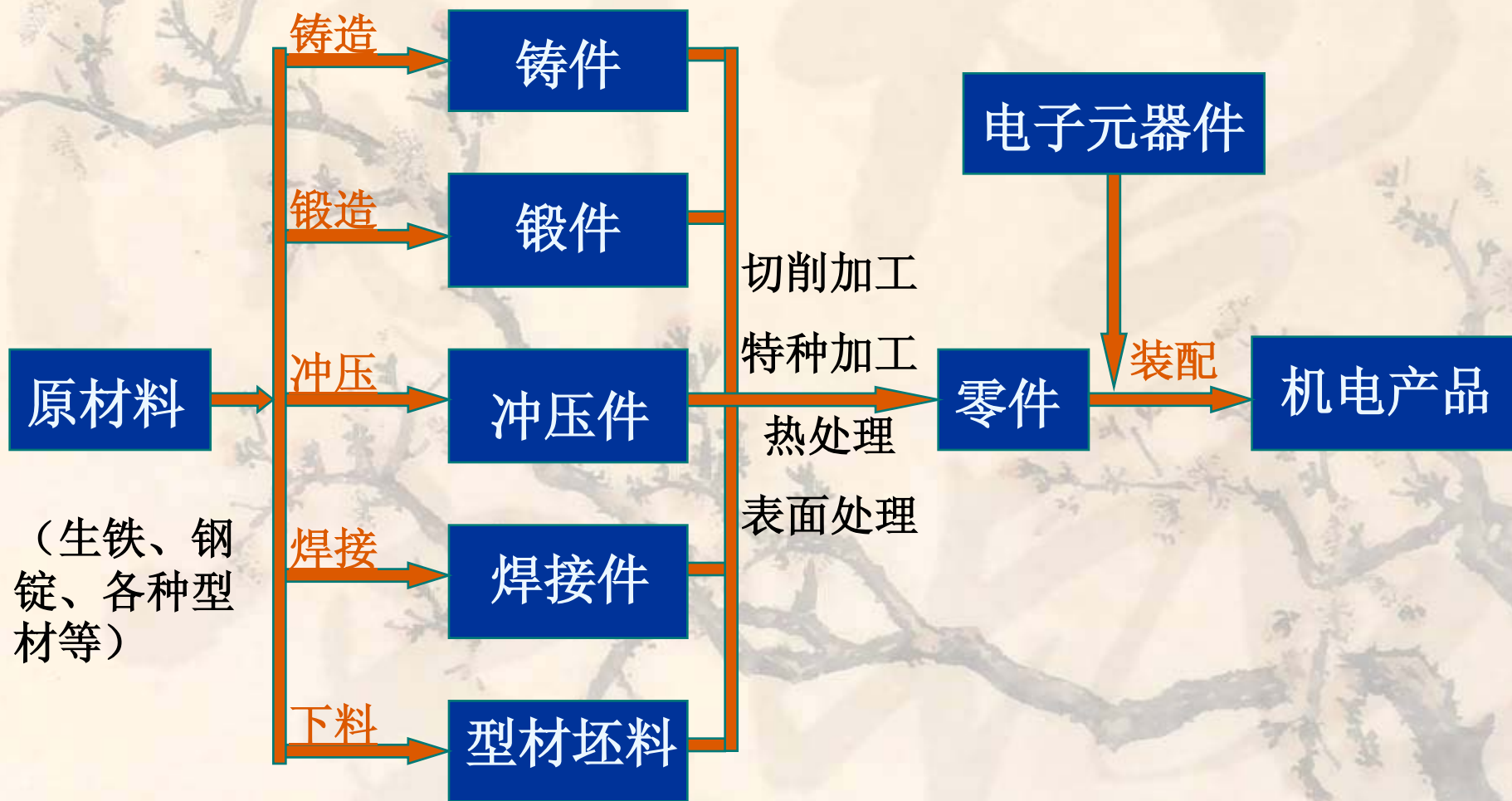
0.1.1 机械制造过程

机械制造的宏观过程





机械制造的具体过程





0.1.2 金工实习的内容

- (1) 常用钢铁材料及热处理的基本知识;
- (2) 冷热加工的主要加工方法及加工工艺;
- (3) 冷热加工所用设备、附件及其工、夹、量、刀具的大致结构、工作原理和使用方法。



0.2 金工实习的目的

- (1) 学习工艺知识
- (2) 增强实践能力
- (3) 提高综合素质
- (4) 培养创新意识和创新能力



0.3 金工实习的要求

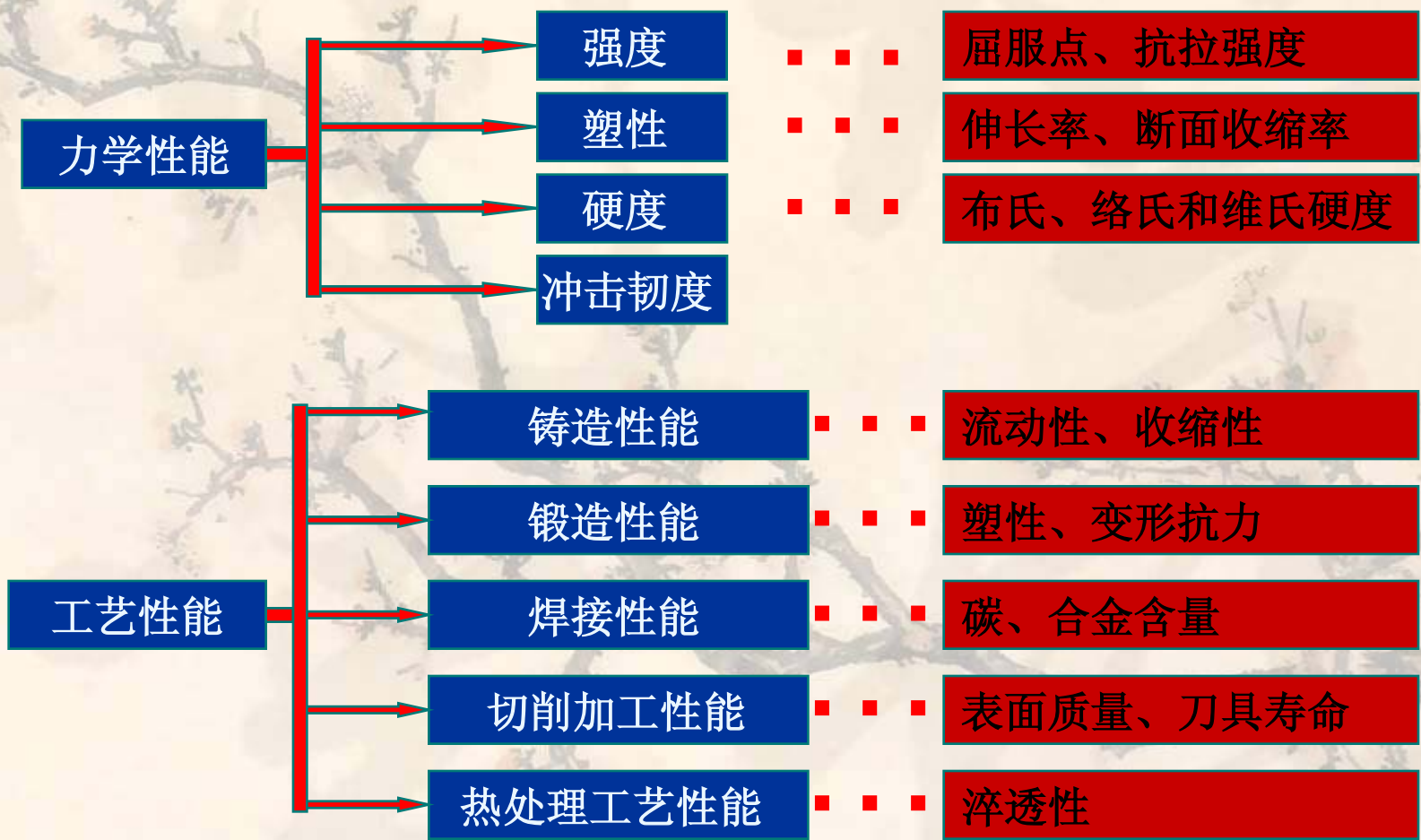
- (1) 牢固树立安全第一的思想意识
- (2) 正确处理虚心学习与主动开创、大胆与
细心、一万与万一三者辩证关系
- (3) 严格遵守厂规厂纪



第一章 金属材料的基本知识



1.1 金属材料的性能





1.2 常用钢铁的分类和编号

1.2.1 钢的分类和编号

钢的分类

分类方法	分类	备注
按化学成分	碳素钢 $C < 2.11\%$	低碳钢: $C < 0.25\%$; 中碳钢: $C: 0.25 \sim 0.60\%$; 高碳钢: $C > 0.60\%$
	合金钢	低合金钢: 合金 $< 5\%$; 中合金钢: 合金 $5 \sim 10\%$; 高合金钢: 合金 $> 10\%$
按用途	结构钢	渗碳钢、调质钢、弹簧钢、滚动轴承钢等; 碳素结构钢、低合金结构钢等
	工具钢	刃具钢、模具钢、量具钢
	特殊性能钢	不锈钢、耐热钢、耐磨钢、磁钢等
按品质	优质钢	按钢中硫、磷质量分数多少区分
	高级优质钢	
	特级优质钢	



常用钢材的编号

类别	牌号	说明
碳素结构钢	Q215-A Q235-A.F	屈服点为 215MPa 的 A级 镇静钢 屈服点为 235MPa 的 A级 沸腾钢
优质碳素结构钢	08F 20g 45	平均碳质量分数为 0.08% 的沸腾钢 平均碳质量分数为 0.20% 的锅炉钢 平均碳质量分数为 0.45% 的优质碳素结构钢
碳素工具钢	T8 T10A	平均碳质量分数为 0.8% 的碳素工具钢 平均碳质量分数为 1.0% 的高级优质碳素工具钢
低合金高强钢	Q345A	屈服点为 345MPa 的 A级 低合金高强度结构钢
合金结构钢	20CrMnTi 40Cr 60Si2MnA	平均碳质量分数为 0.20% ，铬、锰和钛的平均质量分数均小于 1.50% 的合金结构钢 平均碳质量分数为 0.40% ，平均铬质量分数小于 1.50% 的合金结构钢 平均碳质量分数为 0.60% ，平均硅质量分数为 2% ，平均锰质量分数均小于 1.50% 的高级优质合金结构钢
合金工具钢	9SiCr W18Cr4V	平均碳质量分数为 0.9% ，硅和铬的平均质量分数均小于 1.50% 的低合金工具钢 平均钨质量分数为 18% ，平均铬质量分数为 4% ，平均钒质量分数小于 1.50% 的高速工具钢（高速工具钢的碳质量分数数字在牌号中不标出）
特殊性能钢	2Cr13 4Cr9Si2	平均碳质量分数为 0.2% ，平均铬质量分数为 13% 的铬不锈钢 平均碳质量分数为 0.4% ，平均铬质量分数为 9% ，平均硅质量分数为 2% 的耐热钢



1.2.2 常用铸铁

分类	特性	应用
白口铸铁	碳以化合物状态 (Fe_3C) 存在, 断口呈银白色, 性能硬而脆, 切削加工难	制造表面有高耐磨性要求的机件和工具
灰铸铁	碳主要以片状石墨形式存在, 断口呈灰色, 有良好的铸造性能和切削加工性能	广泛应用
可锻铸铁	碳主要以团絮状石墨形态存在, 强度较高, 塑性和韧性较好	适于制造形状复杂、工作中承受冲击、震动、扭转载荷的薄壁零件
球墨铸铁	碳主要以球状石墨形态存在, 强度高, 具有一定的塑性和韧性	用于制造某些受力复杂、承受载荷大的零件



1.3 有色金属

1.3.1 铝及铝合金

1.纯铝： 导电、导热性良好，强度很低，不适于制造承受载荷的结构零件，主要用于电器工业和热传导机械中及配制铝合金。

2.铝合金： 在纯铝中加入Cu、Mg、Zn、Si、Mn、稀土等合金元素，以提高强度，满足工程应用。根据成分和工艺特点，分为**变形铝合金**和**铸造铝合金**两类。

变形铝合金： 合金元素含量低，可压力加工。

铸造铝合金： 铸造性能好，塑性低，适于铸造，不适于压力加工。



1.3.2 铜及铜合金

1.纯铜：具有良好的导电、导热性、抗磁性及抗大气腐蚀性，塑性好，易于进行冷、热加工。可用于电工导体和抗磁仪器仪表零件。

2.铜合金：在纯铜中加入锌、锡、铝、锰、铁、铍、钛、铬等合金元素，以提高其力学性能和某些物理、化学性能。

种类		主要合金元素
黄铜	普通黄铜	纯铜中仅加入锌
	特殊黄铜	在普通黄铜基础上加入铅、铝、硅、锰、锡、镍等一种或多种
青铜	早期青铜指 Cu-Sn 合金，现泛指除黄铜、白铜之外的铜合金。有锡青铜、铝青铜、铍青铜、硅青铜、钛青铜、铅青铜等	
白铜	普通白铜	纯铜中仅加入镍
	特殊白铜	在普通白铜基础上加入锌、铝、铁、锰等一种或多种



1.4 热处理基本概念

1.4.1 退火与正火

名称	方法	目的
退火	将钢件加热到适当温度，保温一段时间后缓慢冷却（常随炉冷却）	降低硬度，改善切削加工性能；细化晶粒、改善组织，提高力学性能；消除内应力
正火	将钢件加热到某一温度，保温后在空气中冷却	获得比退火更细的组织。同样的钢件，正火后的强度、硬度比退火后高，但清除内应力部不如退火彻底



1.4.2 淬火与回火

名称	方法	目的
淬火	将钢件加热到某一温度，保温一定时间，然后在水或油中快速冷却，以获得高硬度组织	提高硬度和强度
回火	将淬火钢重新加热到适当的温度，经保温一段时间后冷却下来	减小淬火钢的脆性，消除内应力，获得所需性能

回火	低温	加热温度为150~250℃	降低钢中的内应力和脆性，保持钢在淬火后得到的高硬度和高耐磨性
	中温	加热温度为350~500℃	提高钢的弹性和屈服点
	高温	加热温度为500~650℃	获得强度、塑性和韧性都较好的综合力学性能



1.4.3 表面热处理

表面淬火：快速加热，将钢件表面迅速加热到淬火温度，然后快速冷却下来。

化学热处理：将钢件置于某些化学介质中加热、保温，使一种或几种元素渗入钢件表面，改变其化学成分，以改变钢的表面组织和性能。常用的有渗碳、渗氮和氰化。



第二章 铸造



2.1 概述

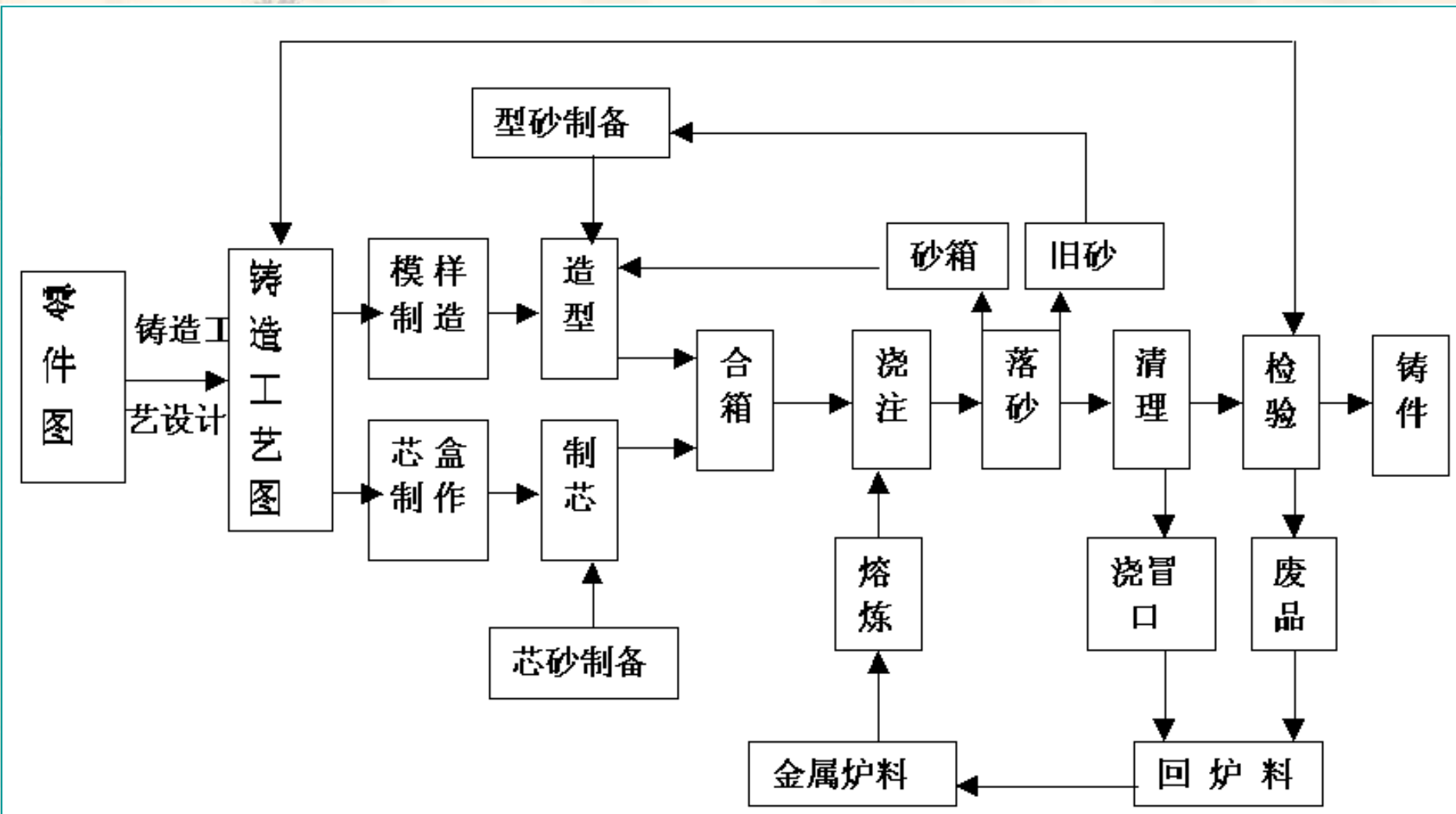
● **铸造：**是一种液态金属成形的方法，即将金属加热到液态，使其具有流动性，然后浇入到具有一定形状型腔的铸型中，液态金属在重力场或外力场（压力、离心力、电磁力等）的作用下充满型腔，冷却并凝固成具有型腔形状的铸件。

● **铸造的两大基本要素** { **熔融金属：**铸铁、铸钢及有色合金等
铸型：砂型、金属型及其他材料铸型

● **铸造方法** { **砂型铸造：**铸型用砂型
特种铸造：金属型铸造、压力铸造、熔模铸造、离心铸造、低压铸造、此型铸造、消失模铸造等



●砂型铸造过程





优点:

能生产形状复杂制件，成本低廉，工艺灵活，适应范围广，采用材料广泛。

缺点:

力学性能低于同种材质的锻件，工作条件较差，废品率较高。



2.2砂型的制造

2.2.1型砂

造型过程中，型砂在外力作用下成形并达到一定的紧实度或密度。型砂质量直接影响铸件质量

1. 湿型砂的组成

原砂、粘接剂、附加物

2. 对湿型砂的性能要求

工作性能：砂型经受自重、外力、高温金属液烘烤和气体压力等作用的能力（湿强度、透气性、耐火度和退让性等）

工艺性能：便于造型、修型和起模的性能（流动性、韧性、起模性和紧实率等）



●主要湿型砂性能

- (1) 湿强度：湿型砂：抵抗外力破坏的能力
- (2) 透气性：型砂间的孔隙透过气体的能力
- (3) 耐火度：型砂经受高温热作用的能力
- (4) 退让性：铸件凝固和冷却过程中产生收缩时，型砂能被压缩、退让的性能
- (5) 溃散性：型砂浇注后容易溃散的性能
- (6) 流动性：型砂在外力或本身重量作用下，砂粒间相对移动的能力
- (7) 韧性：型砂在外力作用下变形，去除外力后仍保持所获得形状的能力
- (8) 水分、最适宜的干湿度和紧实率：为得到所需的是强度和韧性，湿型砂必须含有适量水分，使型砂具有最适宜的干湿程度

2.2.2 模样

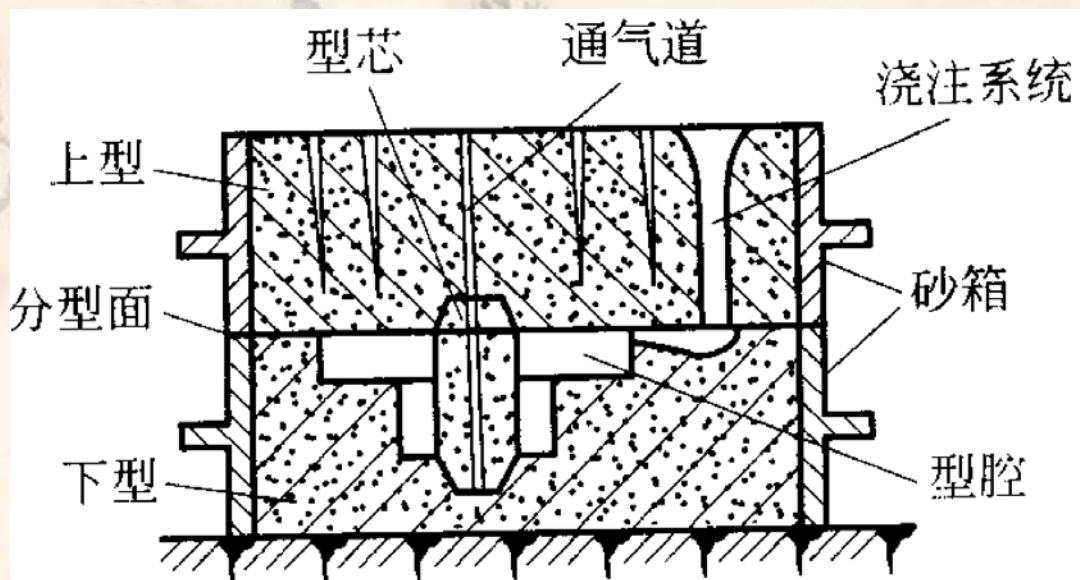
用木材、金属或其他材料制成，用来形成铸型型腔

制造模样时应考虑便于取模，有足够的收缩余量和加工余量，对有内腔的铸件，应有支撑型芯的芯头

2.2.3 造型

用型砂及模样等工艺装备制造铸型（砂型）的过程

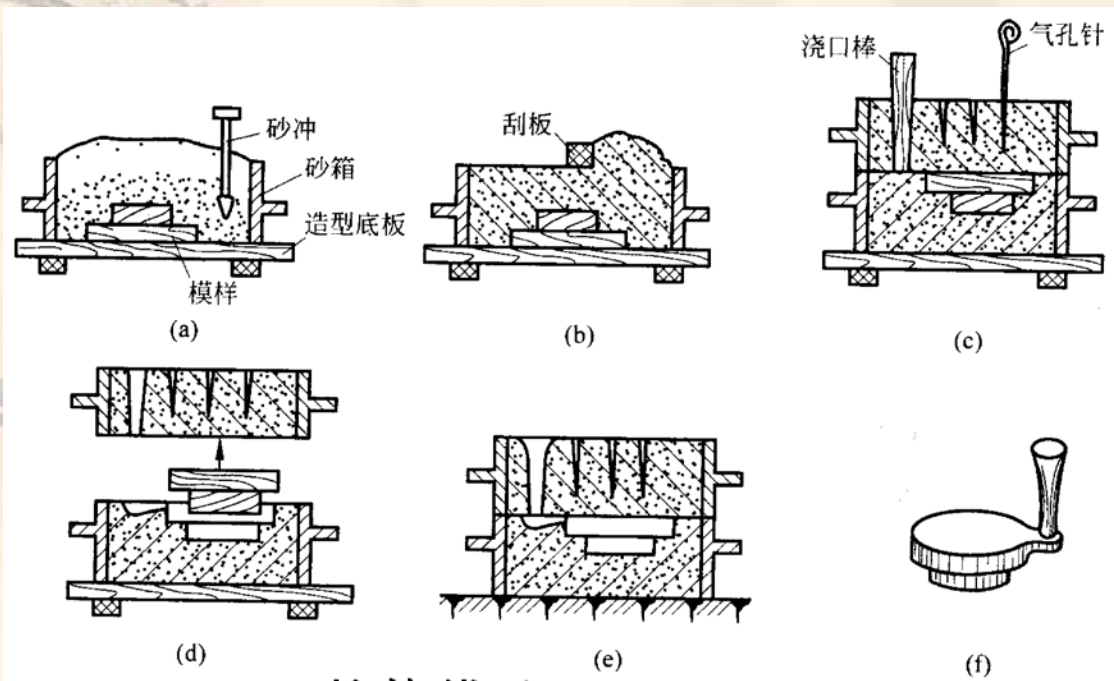
铸型由上砂型、下砂型、型腔、砂芯、浇注系统和砂箱等组成



●基本手工造型方法

(1) 整模造型：用整体模样造型。

特点：模样为整体，最大截面在模样的一端且是平面；分形面位于模样的一端；模样放置在一个砂箱内，操作简单。

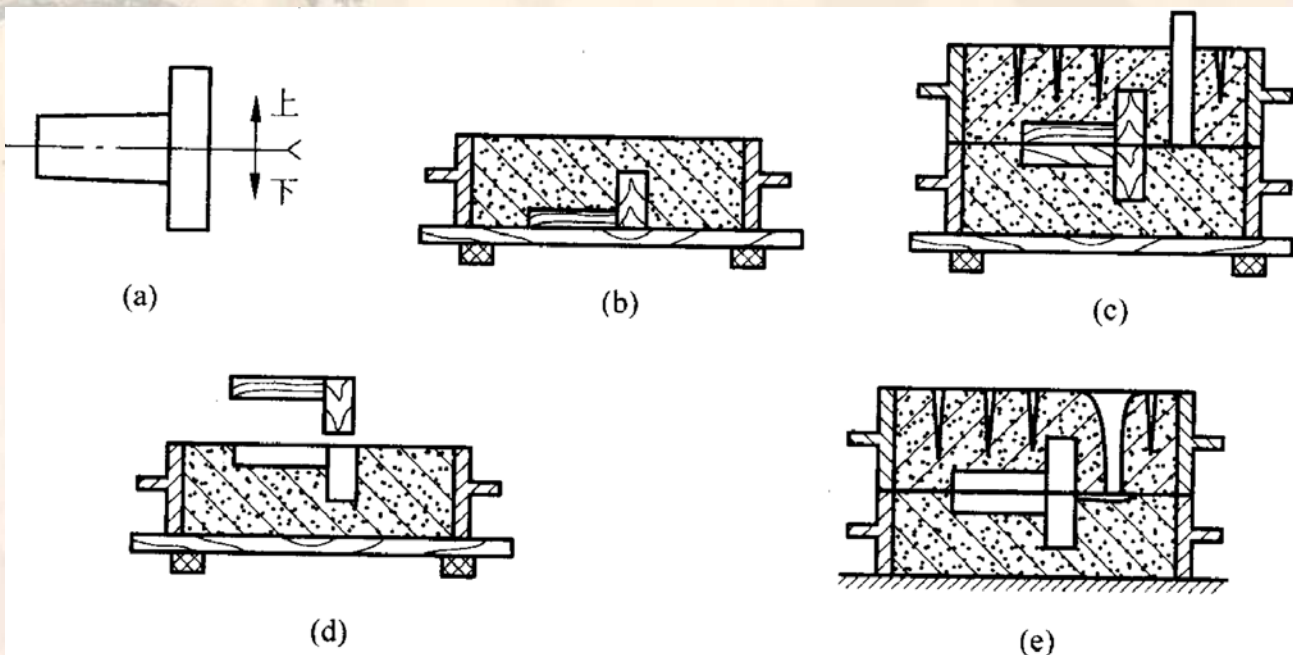


整体模造型过程

(a) 填砂舂砂、造下箱；(b) 刮平；(c) 翻转下箱、造上箱；
(d) 敞箱、起模；(e) 合箱；(f) 带浇口的铸件

(2) 分模造型：用分块模样造型 □

特点：模样为分体结构，模样的分开面（模面）必须是模样的最大截面；模样位于两个砂箱内，铸件尺寸精度较差，操作较简便

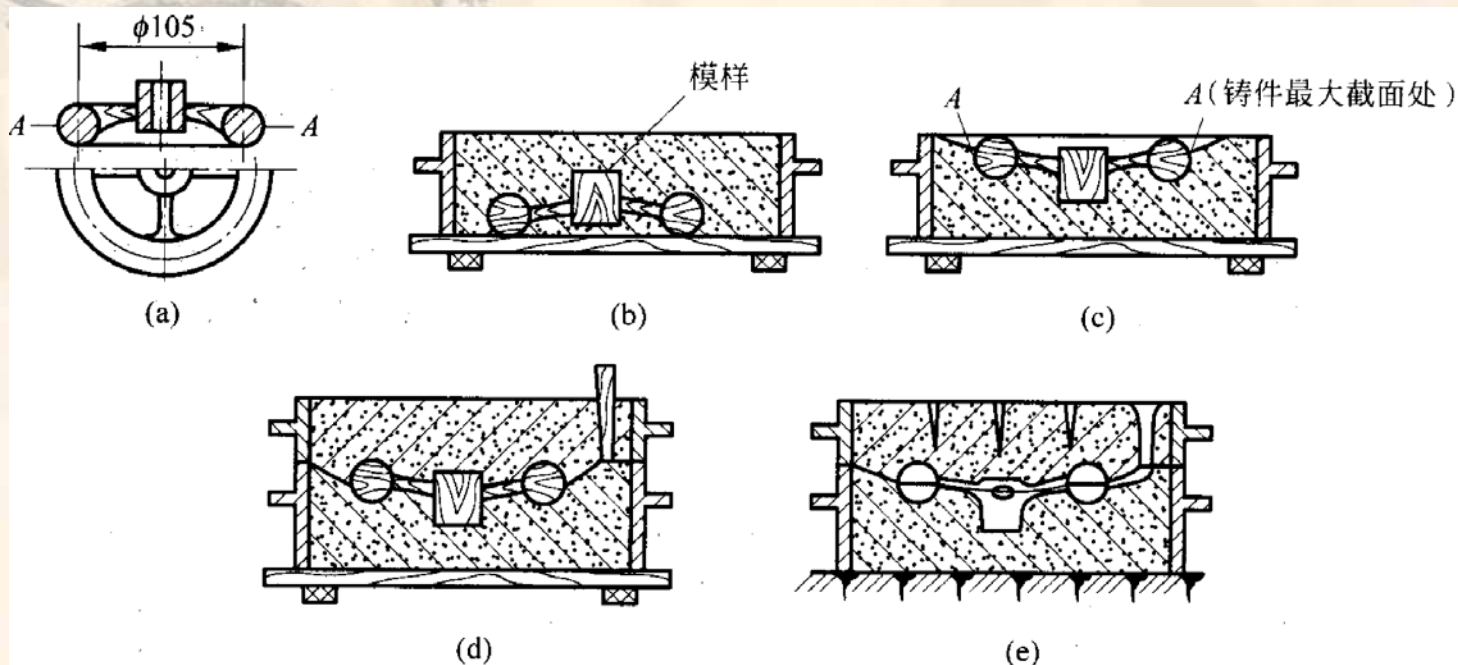


分开模造型过程

(a) 模样；(b) 造下箱；(c) 造上箱；(d) 敞箱、起模；(e) 合箱

(3) 挖砂造型：需对分型面进行挖修才能取出模样的造型

特点：模样为整体；分型面为不平分型面；操作技术高，生产效率低。



手轮铸件的挖砂造型过程

(a) 手轮零件；(b) 造下箱；(c) 翻转下箱，修挖分型面；(d) 造上箱；(e) 合箱

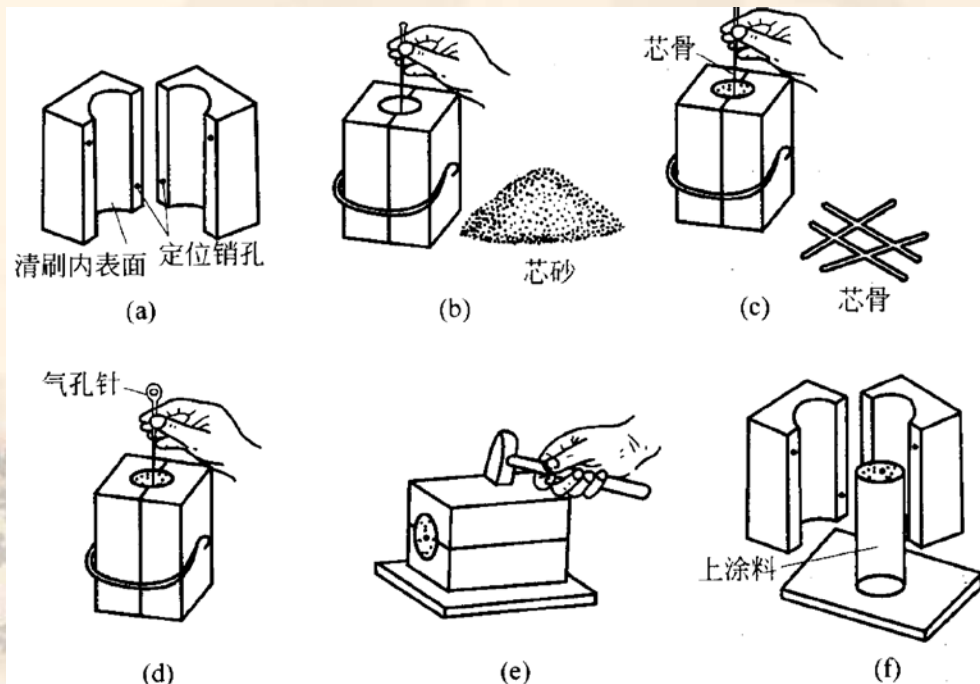
2.2.4 造芯

●**型芯**：为获得铸件的内腔或局部外形，用芯砂或其他材料制成的安放在型腔内部的组元。**绝大部分型芯用芯砂制成，称砂芯**

砂芯的表面被高温金属液所包围，受到的冲刷及烘烤比砂型厉害，因此砂芯必须具有比砂型更高的**强度、透气性、耐火性及退让性**

●制芯方法

砂芯一般用芯盒制成，**芯盒的空腔形状和铸件的内腔相适应**



对分式芯盒造芯过程

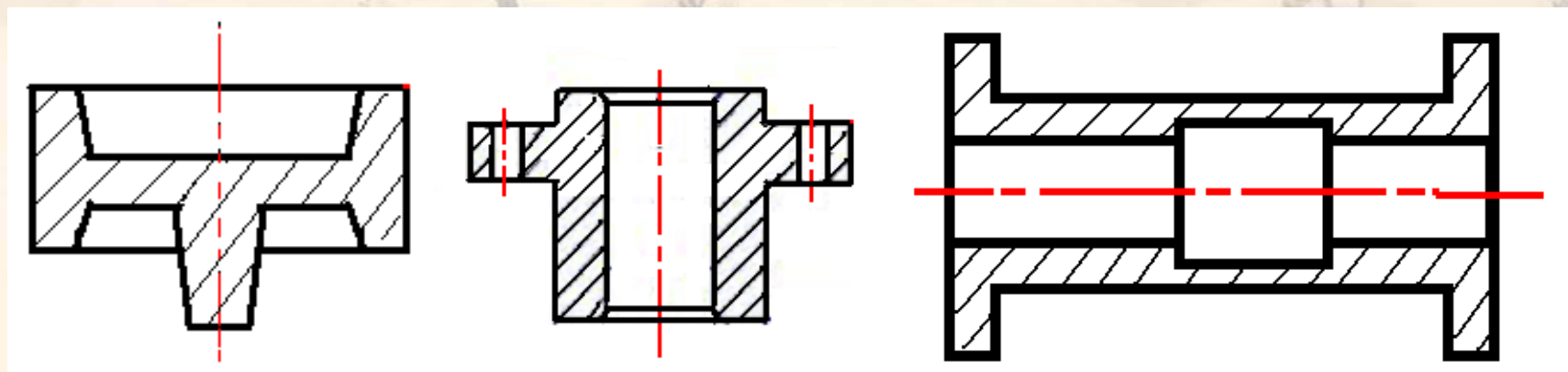
- (a) 芯盒；(b) 夹紧两半芯盒、紧实芯砂；(c) 放入芯骨；
(d) 扎通气孔；(e) 松动芯盒；(f) 取出芯子刷涂料

2.2.5 铸造工艺设计要点

(1) 造型方法选择

依据：铸件形状、尺寸、技术要求、批量、实际生产条件

原则：保证质量、降低成本、条件可能





(2) 确定浇注位置和分型面

浇注位置：浇注时铸件在铸型中所处的空间位置。关系到铸件的质量能否得到保证，也涉及铸件尺寸精度及造型工艺过程。

确定原则

- 铸件重要面朝下或处于侧面
- 大平面朝下
- 薄壁朝下或处于侧面，厚大部位置于上部或侧面
- 尽量减少砂芯数量



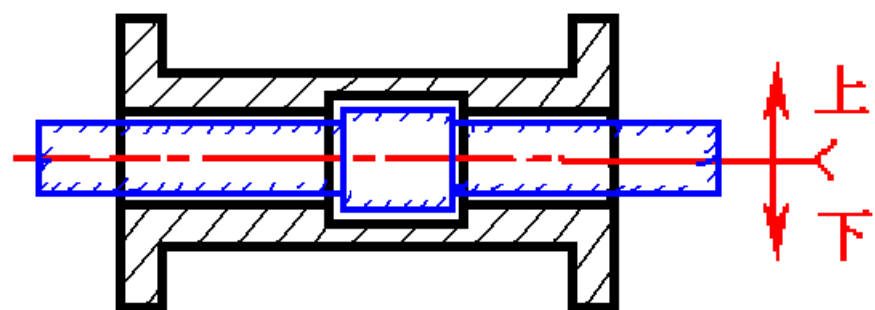
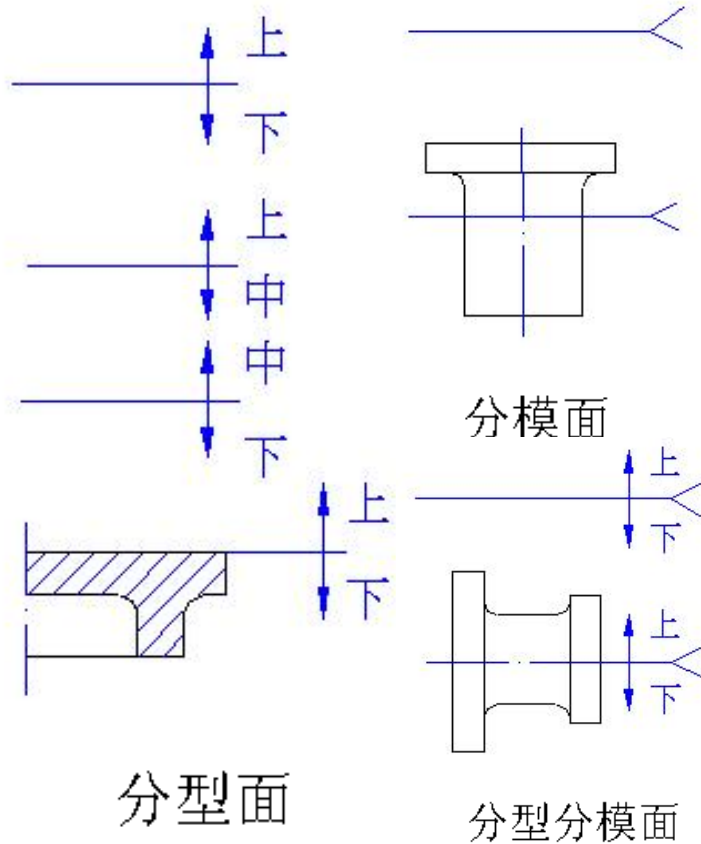
分型面：铸型组元间的结合面，对两箱造型即上、下两半铸型相互接触的表面。在很大程度上影响铸件的尺寸精度、成本和生产率。

确定原则

- ❖ 少用砂芯
- ❖ 分型面少
- ❖ 少挖砂
- ❖ 少用活块
- ❖ 便于清理
- ❖ 便于合箱



分型面和浇注位置表示





(3) 确定主要铸造工艺参数

模样与铸件

铸件与零件

尺寸

铸造收缩余量

加工余量

形状

芯头

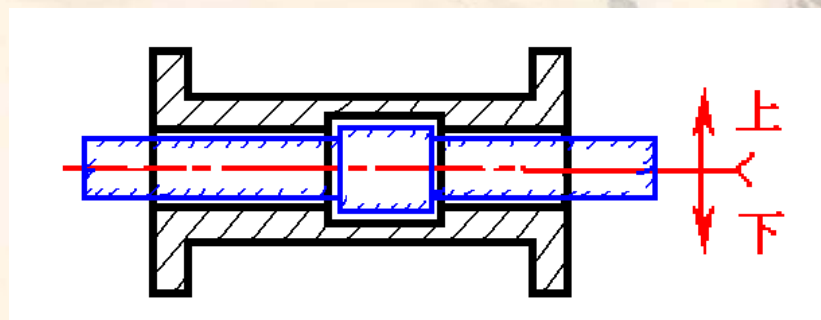
起模斜度

不铸孔槽,铸造圆角

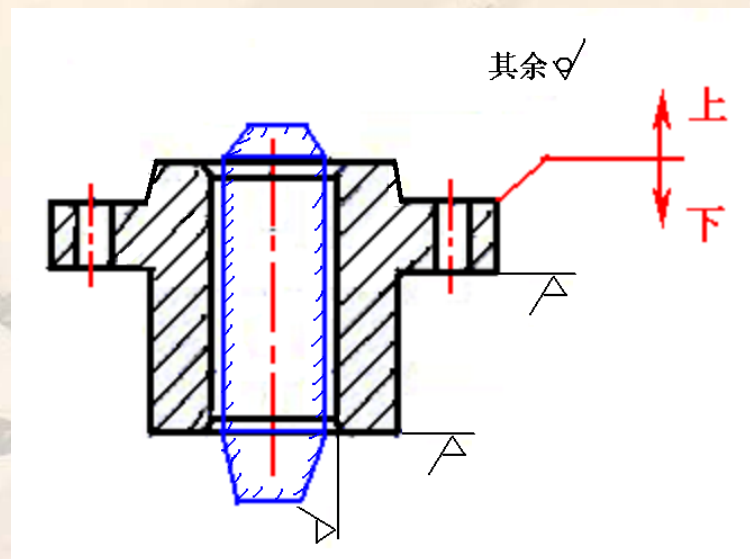
(4) 型芯设计

砂芯： 形成铸件的内腔,有时用于组成铸件外形。

- 芯体：** 形成铸件形状
- 芯头：** 定位和支撑芯子



水平芯头

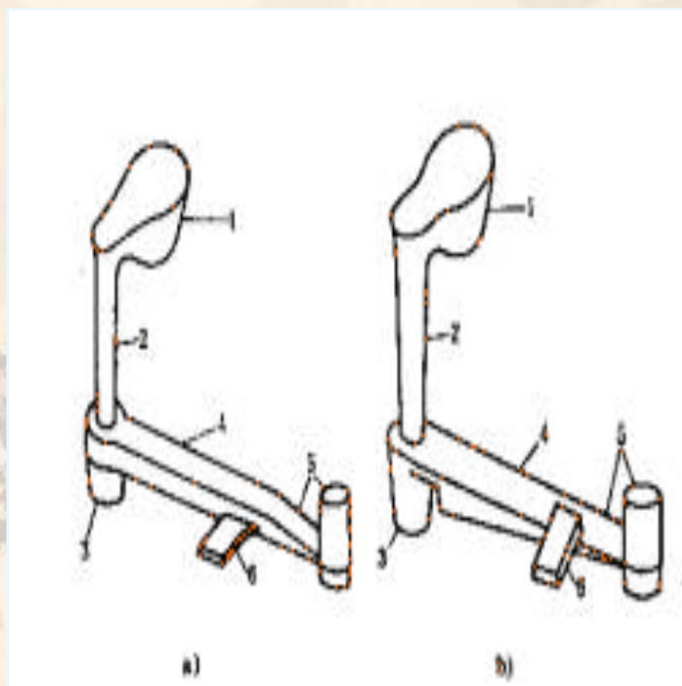
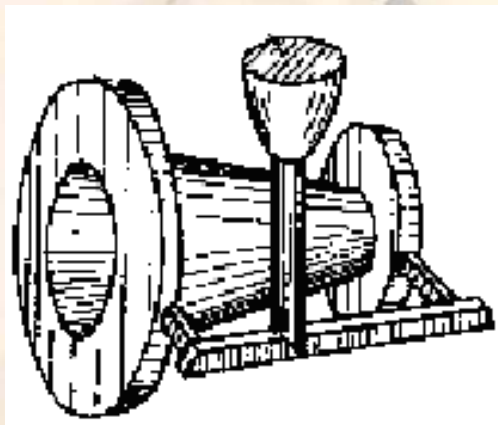


垂直芯头

(5) 浇注系统

浇注系统（浇口）：为使液态金属填充型腔和冒口而开设于铸型中的一系列通道。

由**外浇道（外浇口）、直浇道、直浇道窝、横浇道和内浇道**等部分组成。



典型浇注系统的结构

1外浇口 2直浇道 3直浇道窝 4横浇道 5末端延长段 6内浇道



❖ 外浇道

☞ 承接金属液，减少冲击，使金属液平稳流入直浇道，部分分离熔渣。

❖ 直浇道

☞ 提供必要的**充型压力**，保证铸件轮廓、棱角清晰。

❖ 横浇道

☞ **挡渣**，阻止夹杂物进入型腔。

❖ 内浇道

☞ 控制**流速和方向**，使金属液在规定的浇注时间内充满型腔，避免飞溅、冲刷型壁或砂芯。

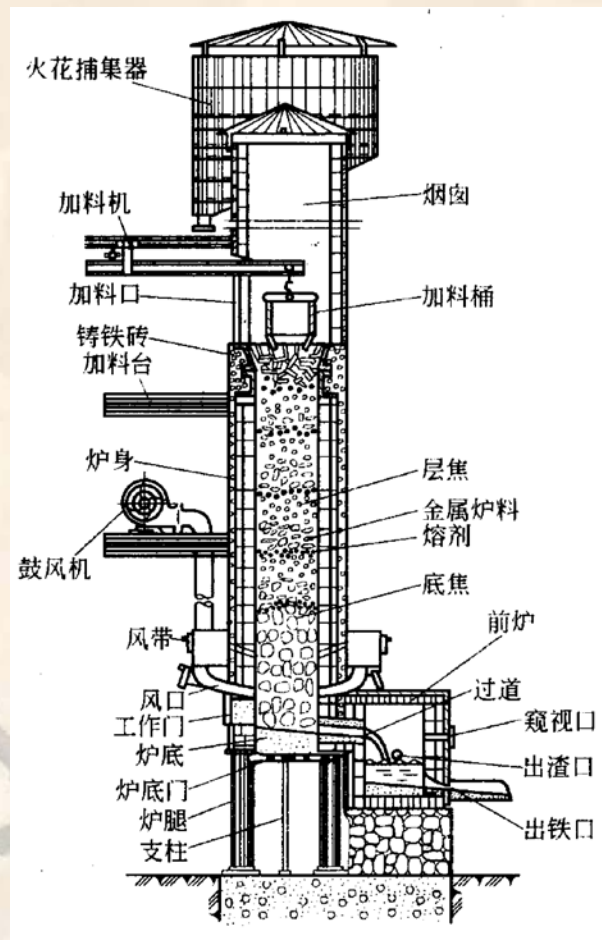
2.3 合金的熔炼与浇注

2.3.1 铸造合金种类

铸造用金属材料种类繁多，常用有**铸铁、铸钢、铸造铜合金、铸造铝合金、铸造镁合金**。

2.3.2 合金的熔炼

(1) **冲天炉熔炼**：熔炼铸铁，利用对流换热原理工作，金属料与燃料直接接触熔炼。



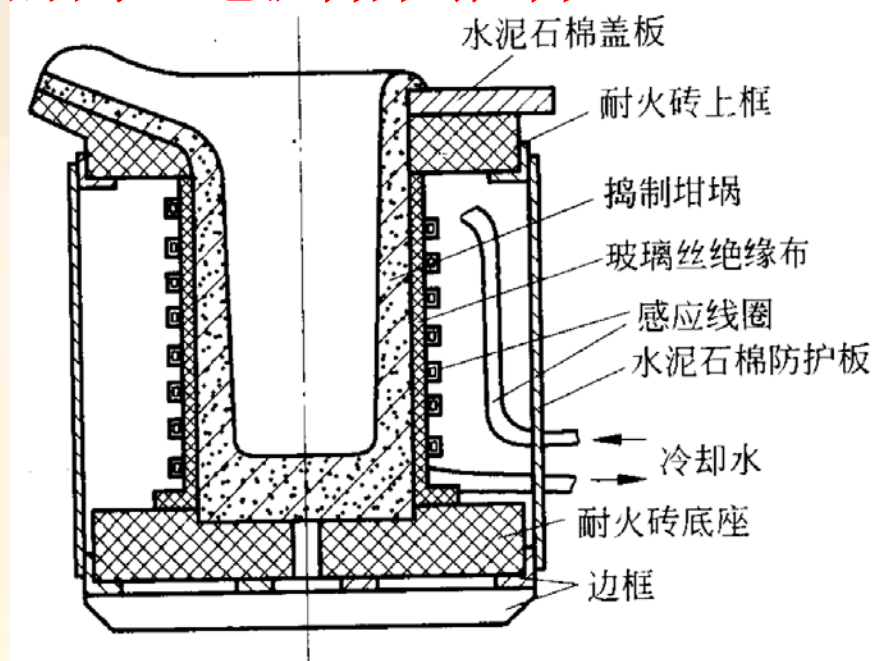
冲天炉的构造



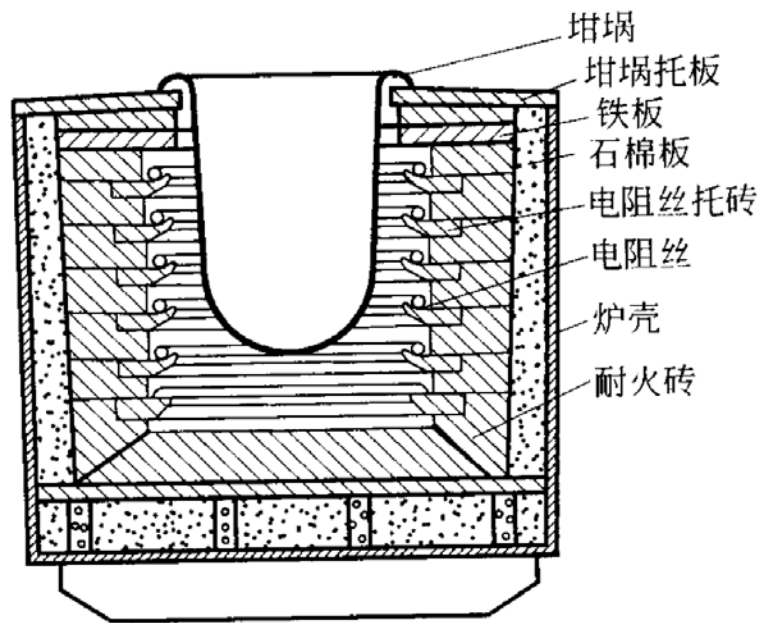
(2) 感应电炉熔炼: 熔炼各种铸造合金, 根据电磁感应原理, 利用炉料内感生的电流加热和熔化炉料。

(3) 坩埚炉熔炼: 熔炼非铁合金, 利用传导和辐射原理进行熔炼。

(4) 电弧炉熔炼: 熔炼铸铁和铸钢, 利用电极与金属炉料间形成的高温电弧熔化炉料。



感应电炉结构示意图



电阻坩埚炉构造简图



2.3.3 浇注

把金属液浇入铸型的过程。

注意事项：

- 浇注前：准备浇包；清理通道；烘干用具
- 浇注时：控制温度；控制速度；掌握技术（扒渣、挡渣、引火）



2.4铸件的落砂、清理及缺陷分析

浇注、冷却后的铸件必须经过落砂、清理、检验，合格后才能进行机械加工或适用。

- 落砂：用手工或机械式铸件和型砂、砂箱分开。
- 清理：去除浇冒口，清除砂芯，清除粘砂，铲除、打磨披缝和毛刺，表面精整。



常见铸件缺陷的名称、特征及产生原因

▶孔洞类

缺陷名称及特征		产生主要原因
气孔	铸件内部或表面有呈圆形、梨形、椭圆形的光滑孔洞，孔的内壁较光滑	<ol style="list-style-type: none"> 1. 舂砂太紧或型砂透气性差 2. 型砂太湿，起模刷水过多 3. 砂芯通气孔堵塞或砂芯未烘透 4. 浇口开设不正确，气体排不出去
缩孔和缩松	缩孔:在铸件最后凝固的部位出现形状极不规则、孔壁粗糙的孔洞 缩松:铸件截面上细小而分散的缩孔	<ol style="list-style-type: none"> 1. 浇注温度过高 2. 合金成分不对，收缩过大 3. 浇口、冒口设置不正确 4. 铸件设计不合理，金属收缩时，得不到金属液补充



➤ 夹杂类

缺陷名称及特征		产生主要原因
砂眼	铸件表面或内部带有砂粒的孔洞	<ol style="list-style-type: none"> 1. 型腔或浇口内散砂未吹净 2. 型砂强度不高或局部未舂紧，掉砂 3. 合箱时砂型局部挤坏 4. 浇口开设不正确，冲坏砂型或砂芯
夹杂物	铸件内或表面上存在的和金属成分不同的质点，如渣、涂料层、氧化物、硅酸盐等	<ol style="list-style-type: none"> 1. 浇注时没有挡住熔渣 2. 浇口开设不正确，挡渣作用差 3. 浇注温度低，熔渣不易浮出 4. 浇包中熔渣未清除



➤表面缺陷

缺陷名称及特征		产生主要原因
机械粘砂	铸件的部分或整个表面上，粘附着一层金属与砂料的机械混合物，使铸件表面粗糙	<ol style="list-style-type: none"> 1.砂型舂得太松 2.浇注温度过高 3.型砂耐火性差
夹砂结疤	铸件表面产生疤状金属突起物。其表面粗糙，边缘锐利，有一小部分疤片金属和铸件本体相连，在疤片和铸件间有型砂	<ol style="list-style-type: none"> 1.浇注温度太高，浇注时间过长 2.铁水流动方向不合理，砂型受铁水烘烤时间过长 3.型砂含水量太高，粘土太多



► 裂纹冷隔类

缺陷名称及特征		产生主要原因
冷隔	在铸件上穿透或不穿透、边缘呈圆角状的缝隙	<ol style="list-style-type: none"> 1.铁水浇注温度低 2.浇注时断流，浇注速度过慢 3.浇口开设不当，截面积小，内浇道数目少或位置不当 4.远离浇口的铸件壁太薄
裂纹	<p>热裂：铸件开裂，裂纹断面严重氧化，呈现暗蓝色，外形曲折而不规则</p> <p>冷裂：裂纹断面不氧化并发亮，有时轻微氧化。呈现连续直线状</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.砂型(芯)退让性差，阻碍铸件收缩而引起过大的内应力 2.浇注系统开设不当，阻碍铸件收缩 3.铸件设计不合理，薄厚差别大



► 残缺或差错类

缺陷名称及特征		产生主要原因
浇不到	铸件残缺或轮廓不完整，或可能完整，但边角圆且光亮	<ol style="list-style-type: none"> 1. 浇包中铁水量不够 2. 浇注温度太低 3. 铸件壁太薄 4. 浇口太小或未开出气口
错型（错箱）	铸件的一部分与另一部分在分裂面处相互错开	<ol style="list-style-type: none"> 1. 合箱时上、下箱未对准 2. 分开模造型时，上半模和下半模未对好 3. 模样定位销损坏或松动太大
偏芯（漂芯）	砂芯在金属液作用下漂浮移动，铸件内孔位置偏错，使形状、尺寸不符合要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 下芯时砂芯放偏 2. 浇注时砂芯被冲偏 3. 芯座形状、尺寸不对 4. 砂芯变形



2.5特种铸造

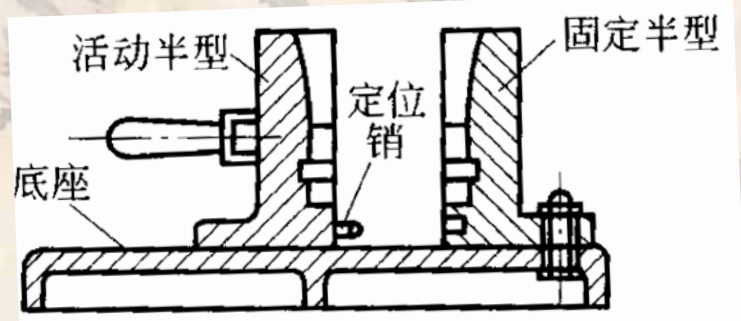
除普通砂型铸造以外的其他铸造方法。

常用有：金属型铸造、压力铸造、低压铸造、熔模铸造、离心铸造、消失模铸造等。

2.5.1 金属型铸造

在重力下把金属液浇入金属铸型而获得铸件。适用于大批量生产中小型有色金属铸件及铸铁件。

优点	缺点
铸型可反复使用	铸型成本高，加工周期长
生产效率高	不宜生产形状复杂铸件
冷却速度快，铸件组织致密，力学性能较好	铸件易产生裂纹
铸件表面质量和尺寸精度高	

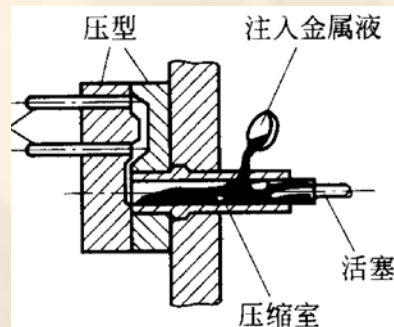


垂直分型的金属型

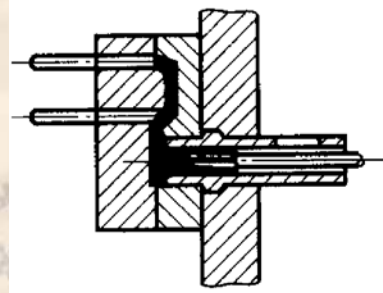
2.5.2 压力铸造

将金属液在高压下高速充型，并在压力下凝固获得铸件。铸型一般用耐热合金钢制造，压铸在压铸机上进行。**压铸适用于有色金属薄壁小件大量生产。**

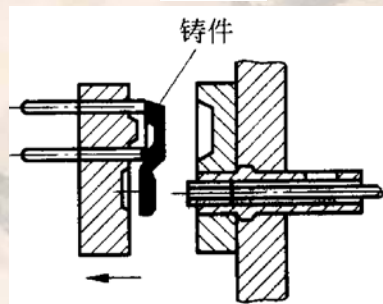
优点	缺点
可铸造形状很复杂的薄壁铸件	铸型结构复杂，成本很高
铸件组织致密，力学性能好	不适于压铸铸铁、铸钢等
铸件表面质量和尺寸精度高	压铸件易产生皮下气孔缺陷，不宜进行机加工和热处理
生产效率很高	



合型并注入金属液



加压



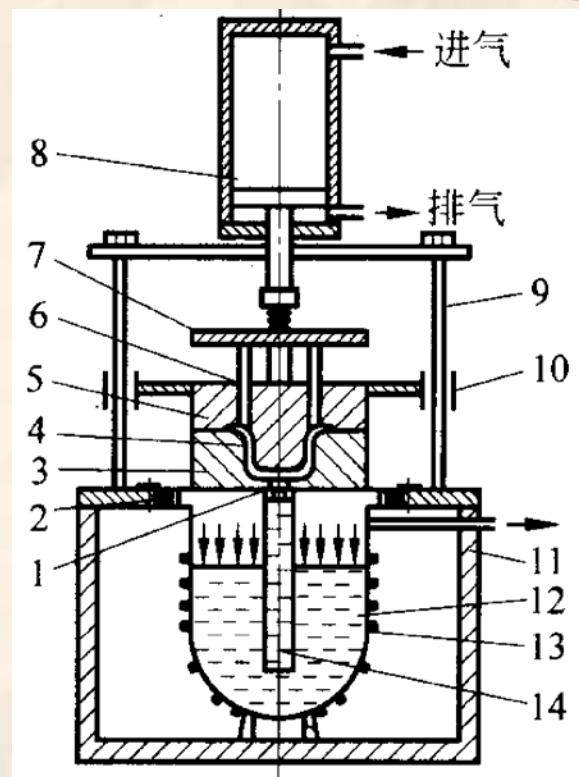
开型、顶出铸件

2.5.3 低压铸造

用较低的压力使金属液自下而上充填型腔，并在压力下结晶获得铸件。**低压铸主要用于生产质量要求高的铝、镁合金铸件。**

特点：

1. 金属液充型平稳，速度可控，不易产生夹砂、砂眼、气孔等缺陷；
2. 铸件轮廓清晰，组织致密，力学性能高；
3. 对合金牌号适用范围较宽（非铁合金、铸铁、铸钢）；
4. 易于实现机械化和自动化。



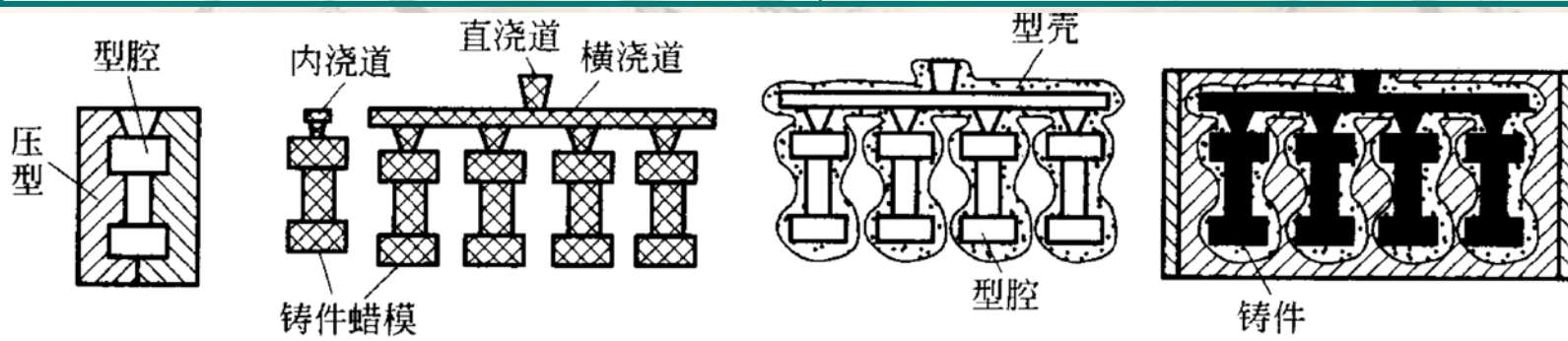
低压铸造工作原理示意图

- 1.浇注系统；2.密封垫；3.下型；4.型腔；5.上型；6.顶杆；7.顶板；8.汽缸；9.导柱；10.滑套；11.保温炉；12.液态金属；13.坩埚；14.升液导管

2.5.4 熔模铸造（失蜡铸造）

用易熔材料（如蜡料）制成模样（称蜡模），在易熔模样上涂敷若干层耐火材料，硬化干燥后熔化蜡模使模样流出，从而获得无分型面、形状准确的型壳，经浇注获得铸件。广泛用于航空、汽车、电器、仪器和刀具等制造部门。

优点	缺点
铸件表面质量和尺寸精度高	工艺过程复杂，成本高
适用于各种铸造合金	不适于生产大型铸件
可铸造形状很复杂、薄壁及质量很小的铸件	



压制蜡模

组合蜡模

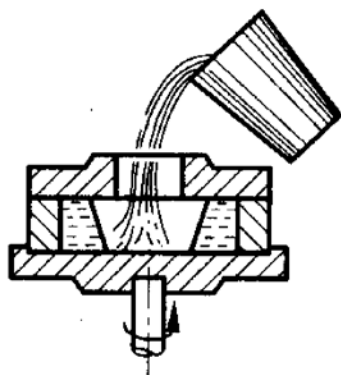
制壳、脱蜡、焙烧

填砂、浇注

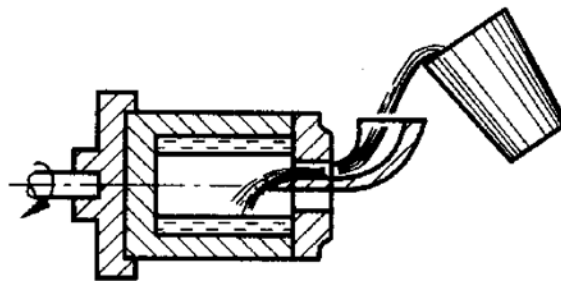
2.5.5 离心铸造

将金属液浇入旋转的铸型中，在离心力的作用下填充铸型而凝固成型。**常用于铸管、铜套和双金属复合铸件的生产。**

优点	缺点
便于生产中空铸件、筒、套类复合金属铸件	不能用于有成分偏析的合金
铸件致密，力学性较好	铸件内孔粗糙，尺寸不易控制
可生产薄壁铸件	异型铸件生产受局限



立式离心机



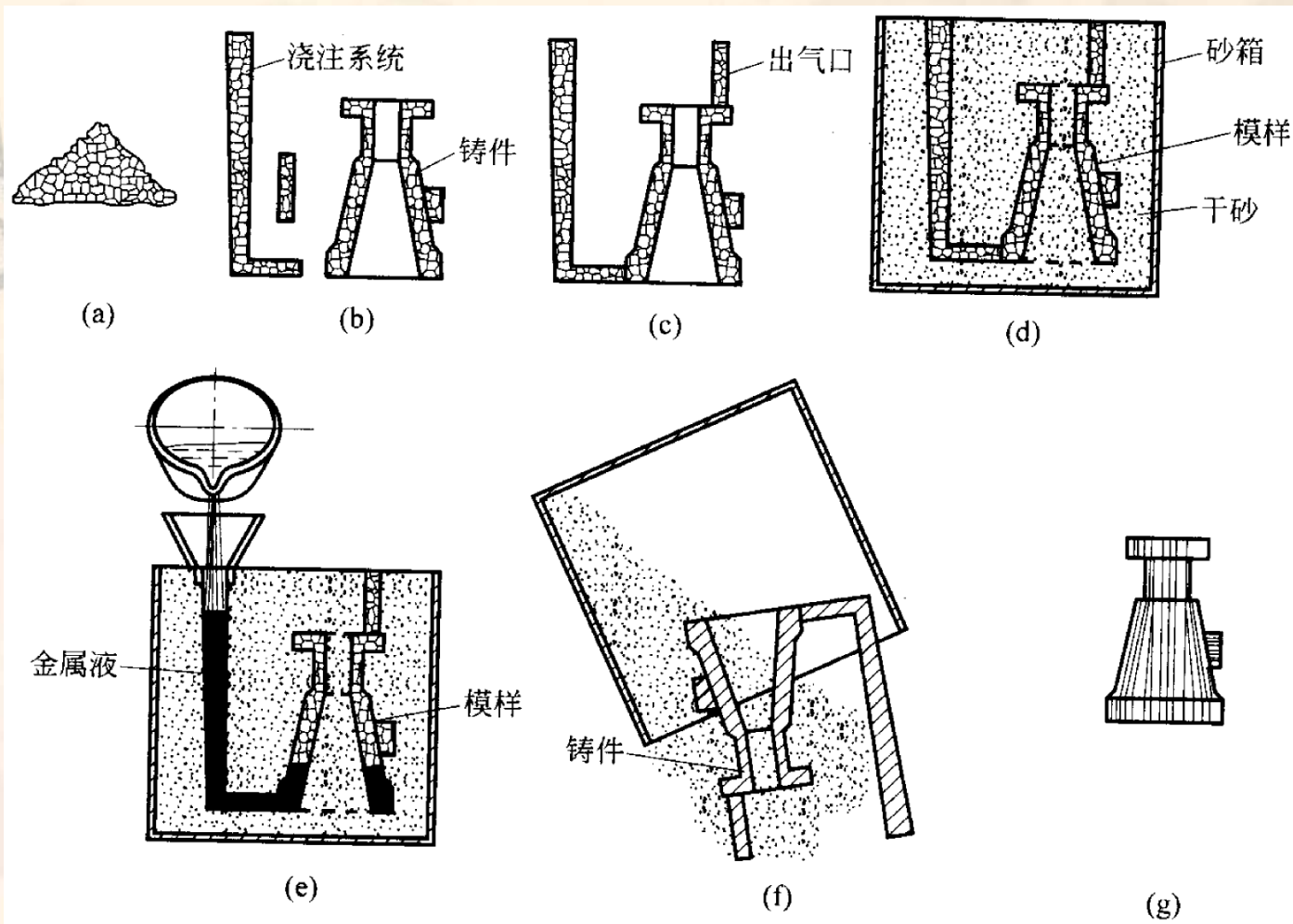
卧式离心机



2.5.6 消失模铸造（实型铸造）

将高温金属液浇入包含**泡沫塑料模样**在内的铸型内，模样受热逐渐气化燃烧，从铸型中消失，金属液铸件取代模样所占型腔的位置，从而获得铸件。**应用范围广泛。**

优点	缺点
铸件质量好	泡沫塑料模一次性，报废铸件成本大大提高
生产效率	易产生与泡沫塑料模有关的缺陷，如黑渣、皱纹、增碳、气孔等
生产成本低	有一定环境污染
适用范围广	



消失模铸造工艺过程示意图

(a)制备EPS珠粒; (b)制模样; (e)粘合模样组、刷涂料; (d)加干砂、振紧;
 (e)放浇口杯、浇注;(f)落砂;(g)铸件



2.6 铸件结构特点

铸件的外形	铸件的内腔	铸件的壁厚及壁的连接
外形尽量由简单几何形状组成，避免曲面、内凹形状	尽量少用和不用型芯	根据铸造合金特点设计壁厚
凸台、肋等结构应便于起模	利于型芯的固定和排气	壁厚尽可能均匀
顺着起模方向的非加工表面应有结构斜度	利于型芯清除	壁的连接或转角应设置结构圆角



第三章 锻压



3.1 概述

- ❖ ● **锻压**：是锻造与冲压的总称。对坯料施加外力，使其产生塑性变形，改变尺寸、形状，改善性能，用以制造机械零件、工件或毛坯的成形加工方法。
- ❖ ● **锻造**：将金属坯料放在锻压设备的铁砧或模具之间，在锻压力的作用下，使坯料或铸锭产生局部或全部的塑性变形，以获得一定的几何形状、尺寸和质量的锻件的加工方法。
- ❖ ● **冲压**：通过装在压力机上的模具对板料施压，使之产生分离或变形，从而获得一定形状、尺寸和性能的零件或毛坯。



● **锻造性能**：**塑性**与**变形抗力**是金属的重要状态属性，它决定了金属锻压成形的工艺性能和使用性能。

● **塑性**：金属产生塑性变形而不破坏的能力。可以用最大变形程度来表示塑性的高低。

● **变形抗力**：金属对于产生塑性变形的外力的抵抗能力。通常用流变应力来表示。

3.2 锻造

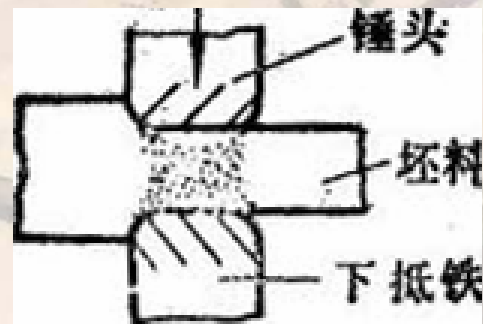
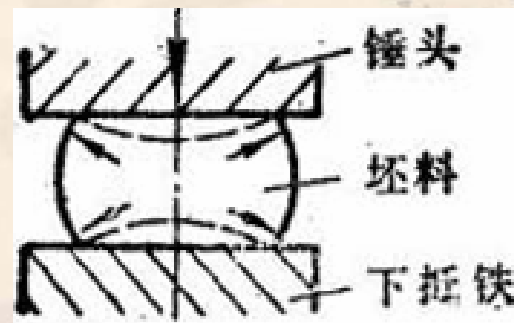
3.2.1 锻造方法

● **自由锻**：只用简单的通用性工具，或在锻造设备的上下砧间对坯料施加外力，使坯料产生变形而获得所需的几何形状及内部质量的锻件。

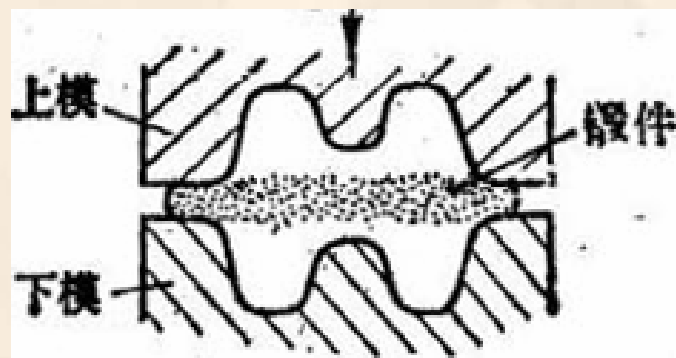
特点：

- 1) 金属坯料在抵铁间受压变形时，可朝各个方向自由流动，不受限制；
- 2) 工艺灵活，所用工具简单，设备和工具的通用性强，成本低；
- 3) 自由锻锻件精度较低，加工余量较大，生产率低；
- 4) 其形状和尺寸主要由操作者的技术来控制。

应用：一般只适合于单件、小批量生产。



● **模锻**:将坯料放在固定于模锻设备的锻模模膛内, 利用模具使坯料变形而获得锻件。




特点:

- 1) 生产效率高。
- 2) 锻件成形靠模膛控制, 可锻出形状复杂、尺寸准确, 更接近于成品的锻件, 且锻造流线比较完整, 有利于提高零件的力学性能和使用寿命。
- 3) 锻件表面光洁, 尺寸精度高, 加工余量小, 节约材料和切削加工工时。
- 4) 操作简便, 质量易于控制, 生产过程易实现机械化、自动化。
- 5) 模锻需要专门的模锻设备, 要求功率大、刚性好、精度高, 设备投资大, 能量消耗大。另外, 锻模制造工艺复杂, 制造成本高、周期长。

应用: 适用于大批量或较大批量生产



● **胎模锻**：在自由锻设备上利用简单的非固定模具（胎膜）生产锻件。

特点：

- 1) 生产效率较高。
- 2) 锻件表面光洁，加工余量较小。
- 3) 每锻一个锻件，胎膜要搬上、搬下一次，劳动强度大。

应用：适用于小型锻件中、小批量生产



3.2.2 坯料的加热

● 锻造温度范围

- **始锻温度**：材料适于锻造的最高温度。
- **终锻温度**：材料允许锻造的最低温度。
- **锻造温度范围**：始锻温度到终锻温度的温度区间。

常见材料的锻造温度范围

材料	始锻温度/°C	终锻温度/°C
低碳钢	1200-1250	800
中碳钢	1150-1200	800
合金结构钢	1100-1180	850
铝合金	450-500	350-380
铜合金	800-900	650-700

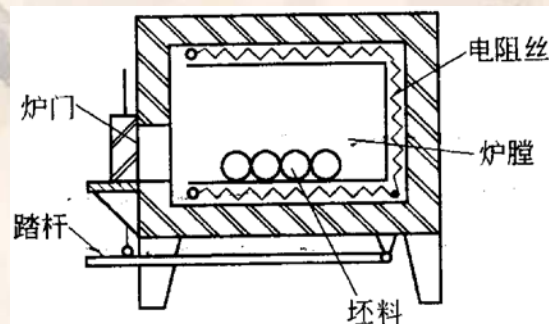
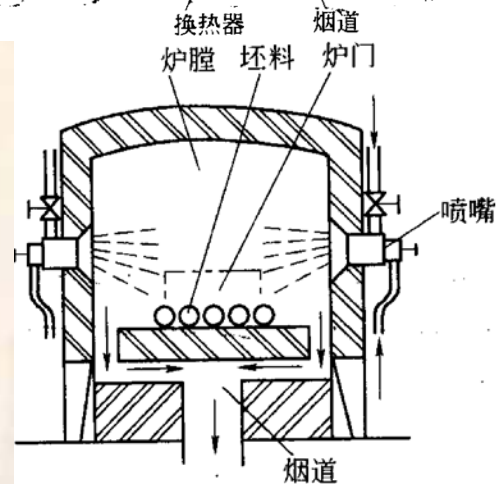
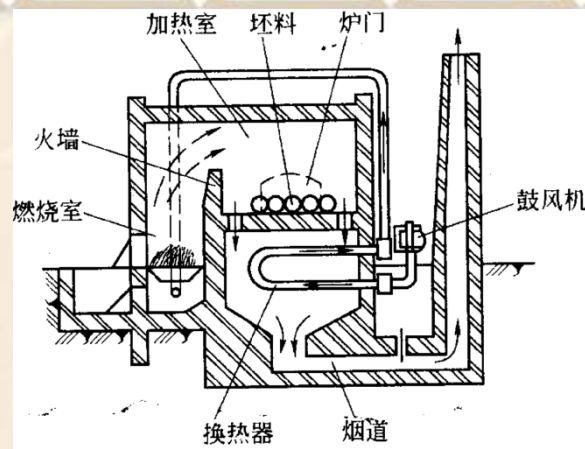


● 加热方法

➤ **反射炉**：燃料在燃烧室中燃烧，高温炉气（火焰）通过炉顶反射到加热室中加热坯料。以煤为燃料，环境污染严重，逐步被淘汰。

➤ **室式炉**：炉膛三面是墙一面有门，以重油、天然气、煤气为燃料，对环境较小。

➤ **电阻炉**：以电阻加热器通电时产生热量为热源，以辐射方式加热坯料。操作简便，温控准确，无环境污染，为坯料的主要加热设备。





● 加热缺陷

- **氧化与脱碳：**坯料加热过程中，表层铁原子和碳原子在高温下极易与炉气中的 O_2 、 CO_2 、 H_2O （水蒸气）作用，生成氧化皮（ FeO 、 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 等），并造成脱碳层（碳与氧结合生成 CO ）。
- **过热：**坯料加热温度超过始锻温度，或在始锻温度附近保温过久，引起坯料晶粒粗大。
- **过烧：**坯料加热超过始锻温度过高，或将过热的坯料长时间高温停留，造成晶粒间低熔点杂质熔化和晶粒边界氧化。坯料过烧，锻打必碎，成为废品。
- **加热裂纹：**尺寸较大的坯料，尤其是高碳钢和一些合金钢锭料，如果加热速度过快，或装炉温度过高，则可能由于加热过程中，坯料内外层间的温差较大而产生较大的温度应力，从而导致产生裂纹。



3.2.3 自由锻

● 自由锻设备和工具

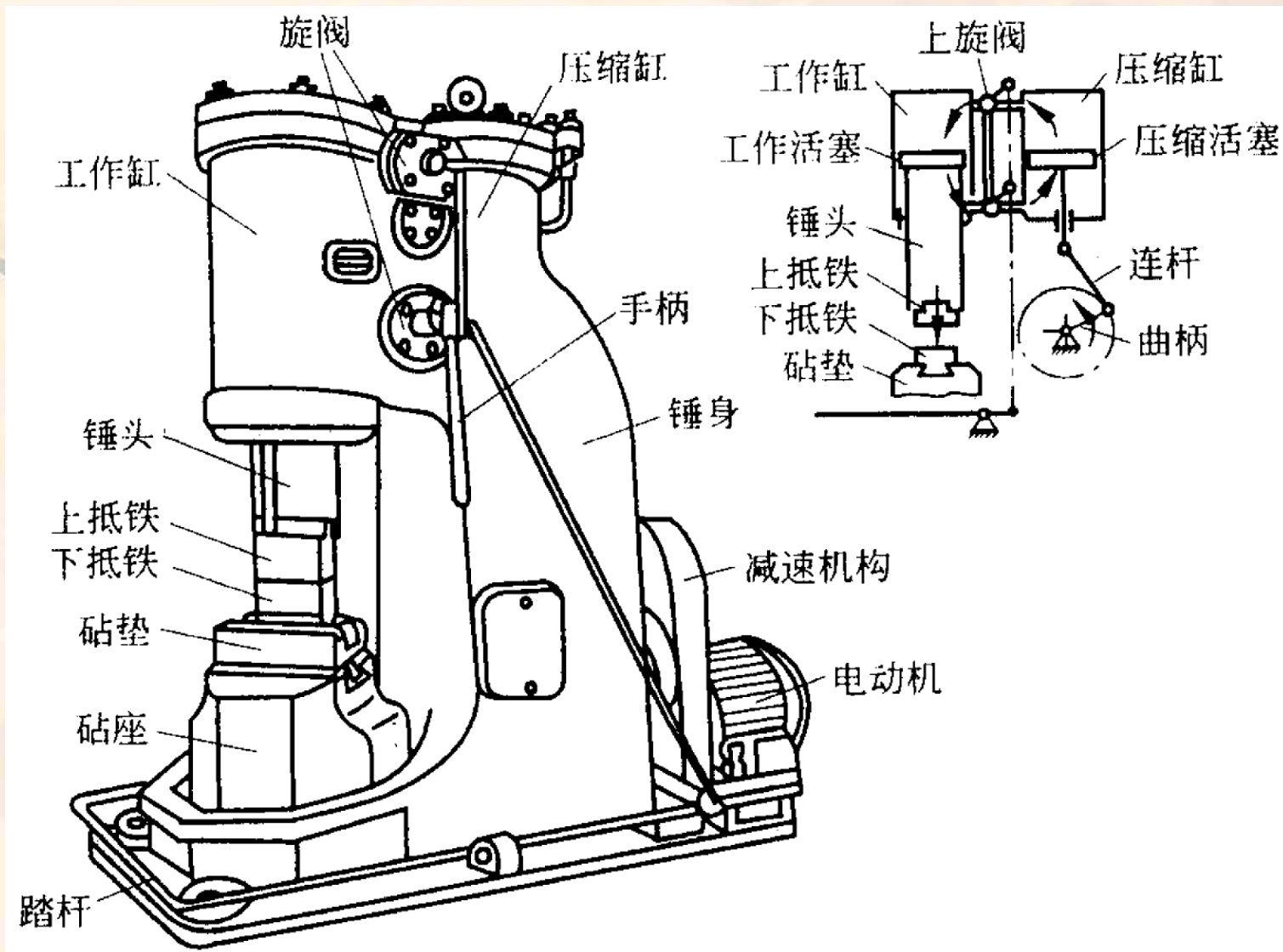
自由锻设备有**空气锤、蒸气-空气自由锻锤和自由锻水压机**等

➤ 空气锤

以压缩空气为动力，自身带动力装置。

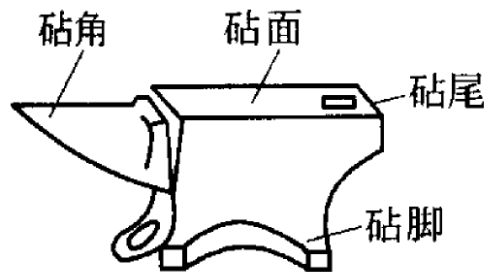
结构：包括锤身、压缩缸、工作缸、传动机构、操纵机构、落下部分和砧座等。**落下部分的重量是空气锤的主要规格参数。**

工作原理：电动机通过传动机构带动压缩缸内的压缩活塞作上下往复运动，将空气压缩，通过手柄或踏杆控制上、下旋阀，使压缩空气进入工作缸的上部或下部，或与大气相通，使工作活塞运动，实现空转、锤头上悬、下压、单击、连击、断续打击等动作。

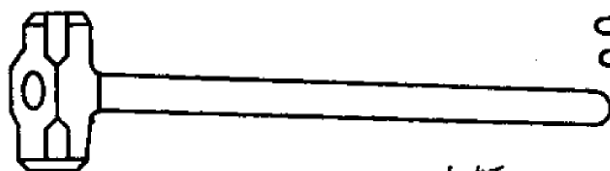


空气锤的结构原理

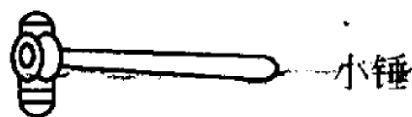
常用工具



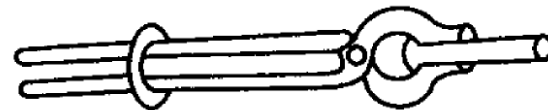
铁砧



大锤



手锤



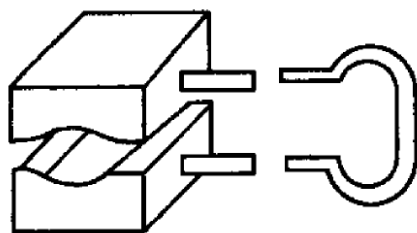
圆夹钳



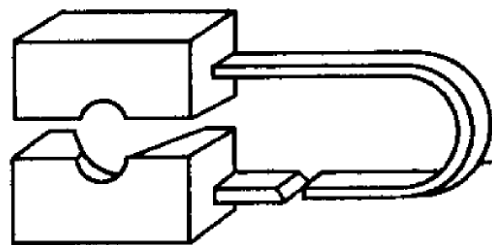
方夹钳



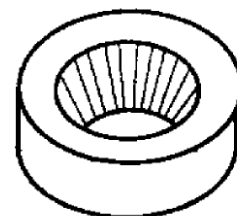
扁夹钳



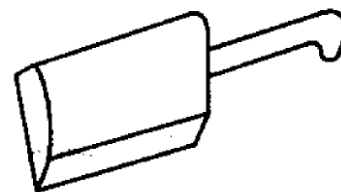
棒子



压肩棒子



漏盘



剃刀



● 自由锻基本工序及操作

自由锻变形工序

基本工序：实现锻件基本成形（镦粗、拔长、冲孔、弯曲、扭转、错移等）

辅助工序：为方便基本工序的操作而对坯料预加少量变形的工序（压肩、压钳口、倒棱等）

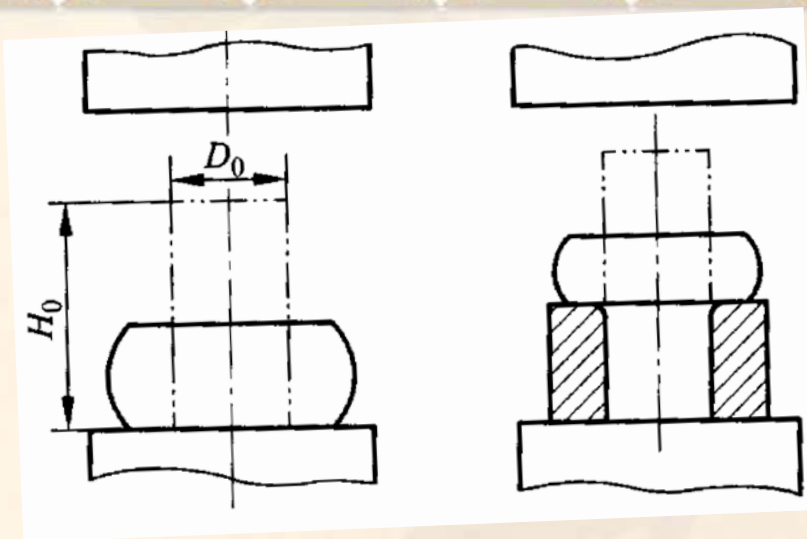
精整工序：基本工序完成后，对锻件进行整形，使锻件形状尺寸满足技术要求，并降低表面粗糙度（调直、矫正、滚圆、摔圆等）

常用自由锻基本工序

➤ **镦粗**：使坯料横截面增大，高度减小（整体镦粗、局部镦粗）

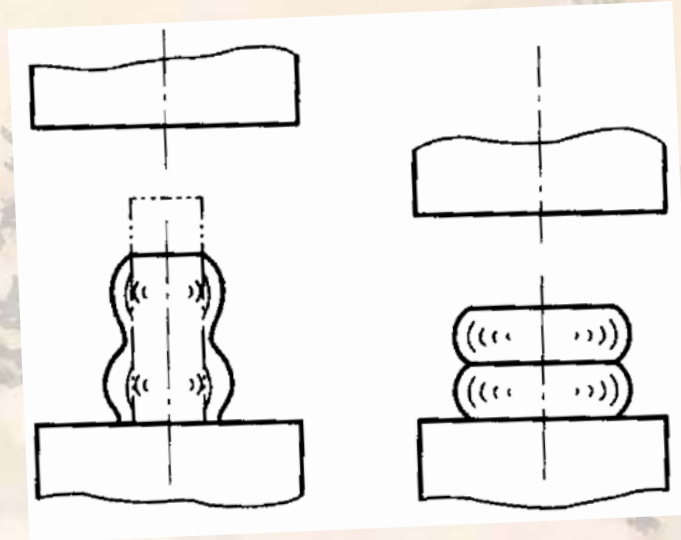
操作工艺要点：

1. 坯料高径比应小于**2.5~3**。
2. 坯料端面应平整，并与坯料中心线垂直。
3. 及时矫正镦粗过程中出现的镦歪、镦弯或双鼓形。
4. 局部镦粗时要采用相应尺寸的漏盘。



整体镦粗

局部镦粗



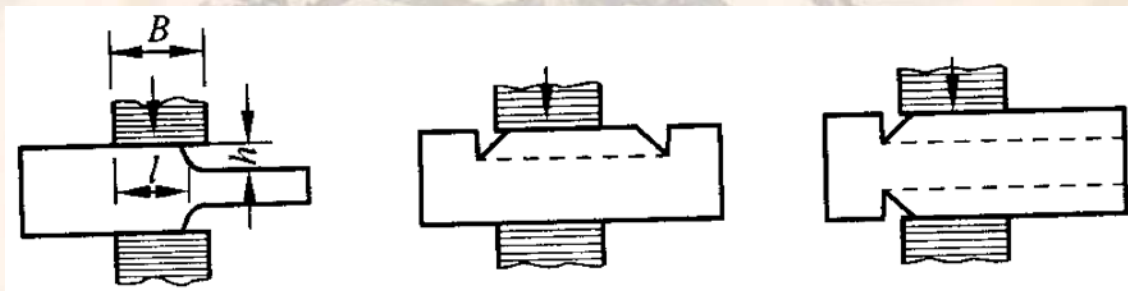
双鼓行

折叠

➤拔长：使坯料长度增加，横截面减小

操作工艺要点：

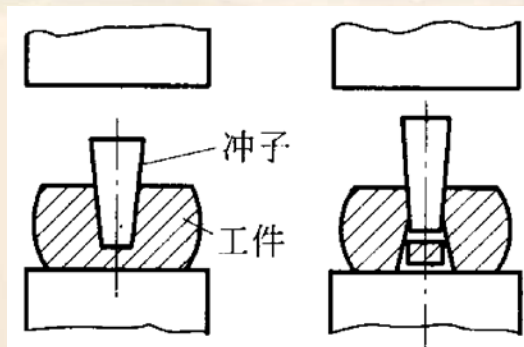
- 坯料沿抵铁宽度方向送进，每次送进量 L 应为抵铁宽度 B 的0.3~0.7倍。
- 拔长过程中要不断翻转坯料，每次下压量应保持坯料的宽厚比不超过2.5。
- 锻制台阶或凹档时，要先在截面分界处压出凹槽（压肩）。
- 拔长后须进行调平、校直等修整，使锻件表面光洁，尺寸准确。修整时，坯料沿抵铁长度方向送进。



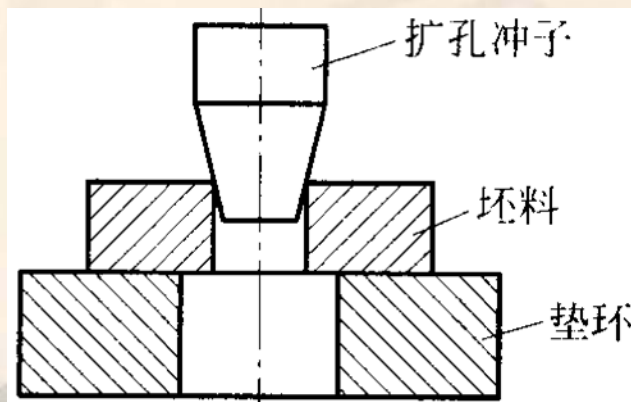
冲孔：在坯料上冲出透孔或盲孔。

操作工艺要点：

- 冲孔前坯料须先**镟粗**，并使端面平整，尽量减小冲孔深度，防止将孔冲斜。
- 为保证孔位正确，应先**试冲**。
- 冲孔过程中应保持冲子的轴线与砧面垂直，以防冲斜。
- 一般锻件的透孔采用双面冲孔法冲出。较薄的坯料可采用单面冲孔。
- 为防止坯料胀裂，冲孔的直径应小于坯料直径的**1/3**。超过这一限制时，要先冲出一较小的孔，然后扩孔至要求。常用扩孔方法有冲子扩孔和心轴扩孔。



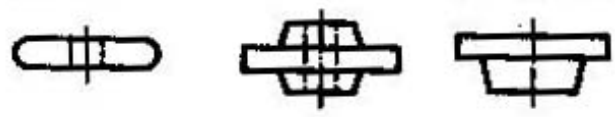

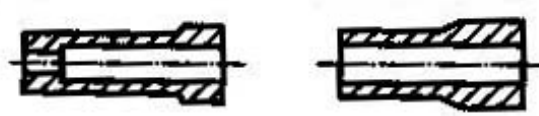

双面冲孔的过程



冲头扩孔



● 自由锻的变形工艺

序号	类别	图 例	变形工序方案	实 例
1	盘类 锻件		① 镦粗 或局部镦粗 ② 冲孔	法兰、齿轮 叶轮、模块等
2	轴类 锻件		① 拔长—切肩— 锻台阶 ② 镦粗—拔长	传动轴、齿 轮轴、连杆
3	筒类件		① 镦粗 ② 拔长 ③ 心轴拔长	圆筒、套、 空心轴
4	环类件		① 镦粗 ② 冲孔 ③ 心轴上扩孔	圆环、齿圈、 法兰等



● 自由锻操作安全规程

1. 操作前要穿戴好劳保用品。
2. 启动锻锤前做好设备润滑，并确认手柄在“空转”位置。
3. 正确握钳，不要把火钳把对准腹部，不要将手指放在钳把中间。
4. 锤击时将火钳平放并夹紧工件，防止工件飞出伤人。
5. 翻转工件时停止锤击，防止工件飞出。
6. 非操作人员不要离锻锤太近，站立位置避开工件可能飞出方向。
7. 尽量将工件放在砧铁中部，避免偏心锻击。
8. 控制锻造温度，达到终锻温度及时停锻，严禁锻打冷坯料，避免锻打过薄工件。
9. 停锤后再将工件取出，防止上、下砧铁直接对击。
10. 锤头上悬时间不宜过长，减少工作缸发热。
11. 不要用手刚锻后的工件，以防烧伤。
12. 发现异常立即停锤，检查原因。
13. 工作完毕，及时拉闸断电，清理现场。

