



武汉理工大学

# 金属工艺学

## *Metal Technology*

物流工程学院 机械设计与制造系  
《金属工艺学》教学团队

2018年10月14日星期日

# 第20章 零件典型表面加工方法的选择

## 主要内容

**20.1 外圆面的加工**

**20.2 孔的加工**

**20.3 平面的加工**

**20.4 成形面的加工**

**20.5 螺纹的加工**

**20.6 齿轮齿形的加工**

## 重点内容

外圆表面、平面、孔  
的加工方法

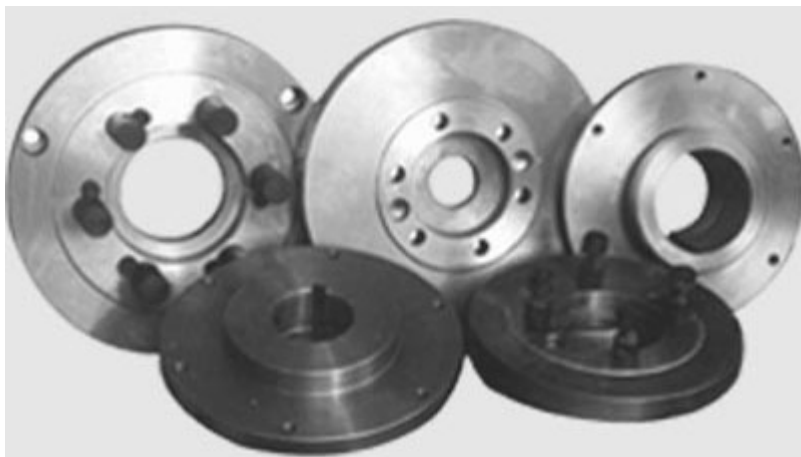
## 要求

根据零件的基本的几何形状，正确  
选择加工方法和加工方案；了解螺  
纹和齿轮齿形的加工方法。

# 20.1 外圆面的加工方法

## ■ 外圆表面的典型零件

- 轴类零件
- 盘类零件
- 套类零件

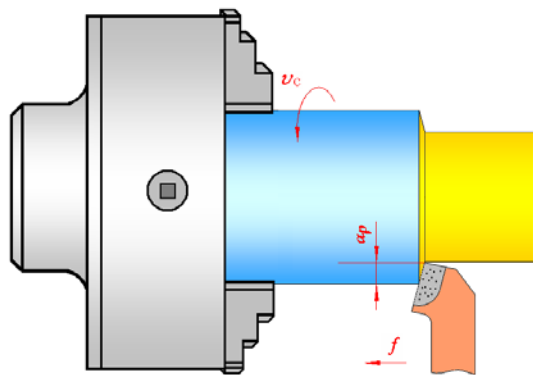


# 外圆表面的技术要求

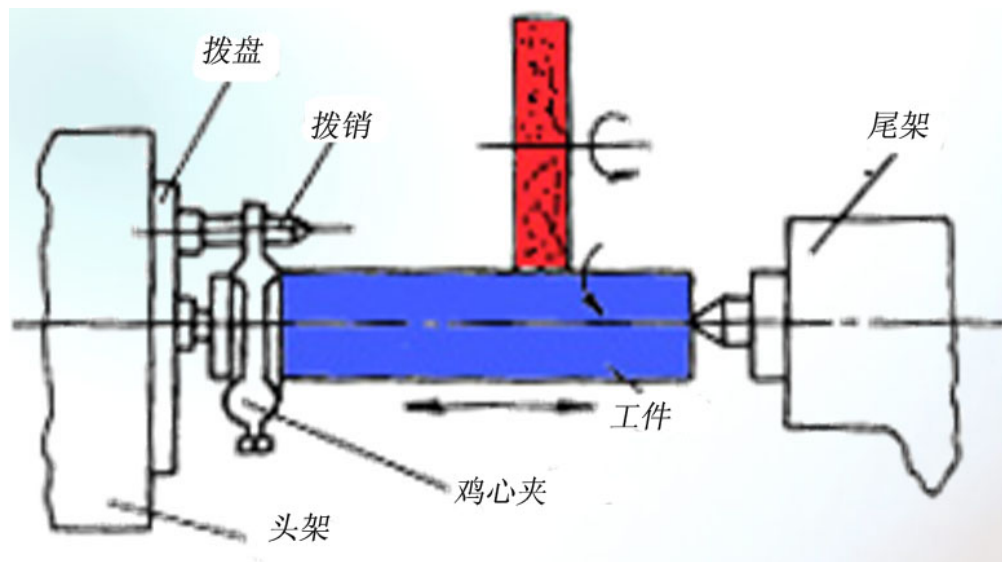
- **尺寸精度**（如轴与轴孔配合尺寸）
- **形状精度**（如圆度、圆柱度等）
- **位置精度**（如与其它外、内圆表面的同轴度，与其它平面的垂直度等）
- **表面质量**（如表面粗糙度、表层硬度、剩余应力、显微组织等）

# 外圆表面的典型加工方法

## ■ 车削



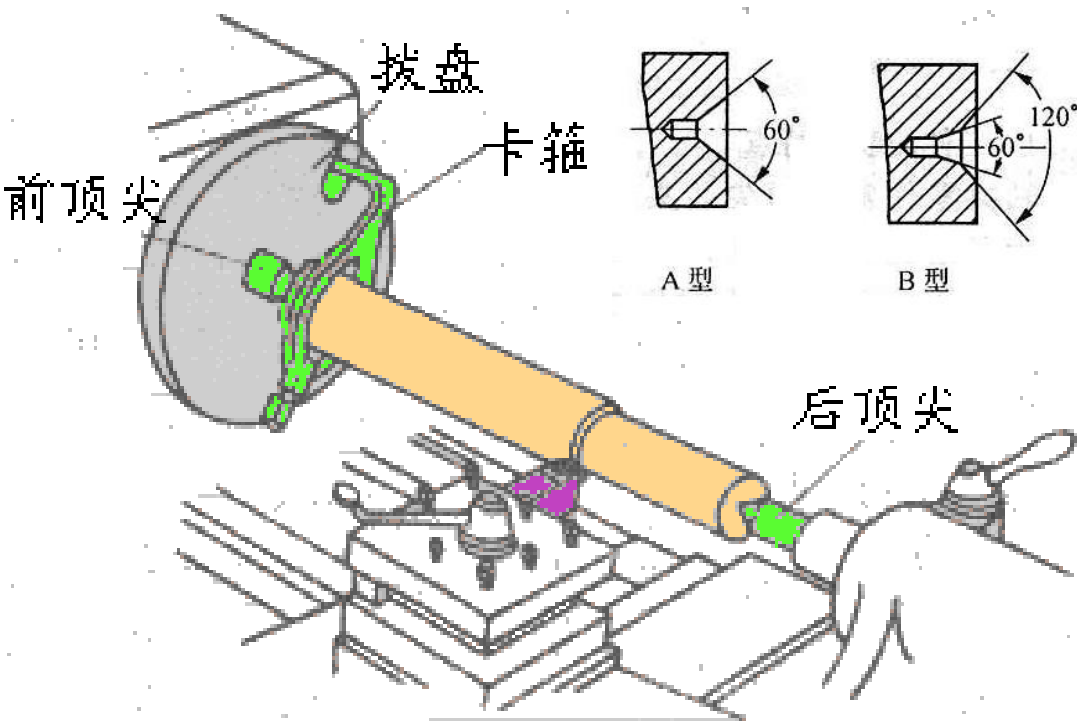
## ■ 磨削



# 20.1.1 外圆表面的车削加工

## 20.1.1.1 轴类零件外圆车削加工

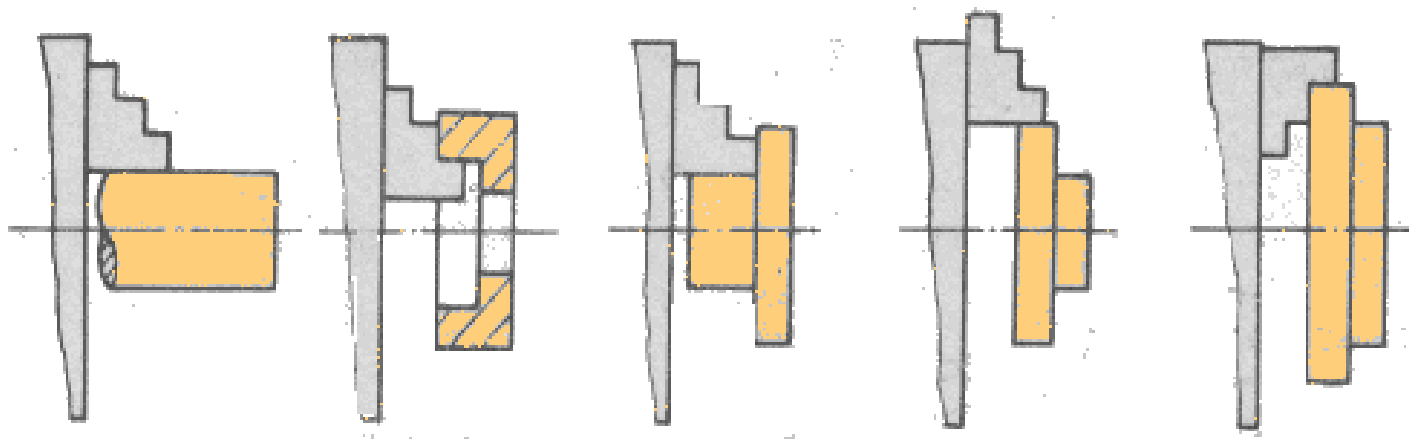
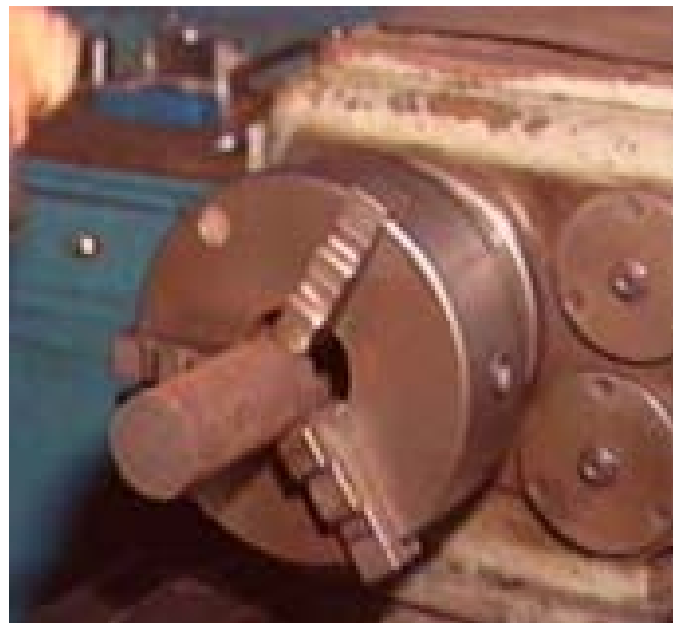
### ① 前后顶尖



## 20.1.1.1 轴类零件外圆车削加工

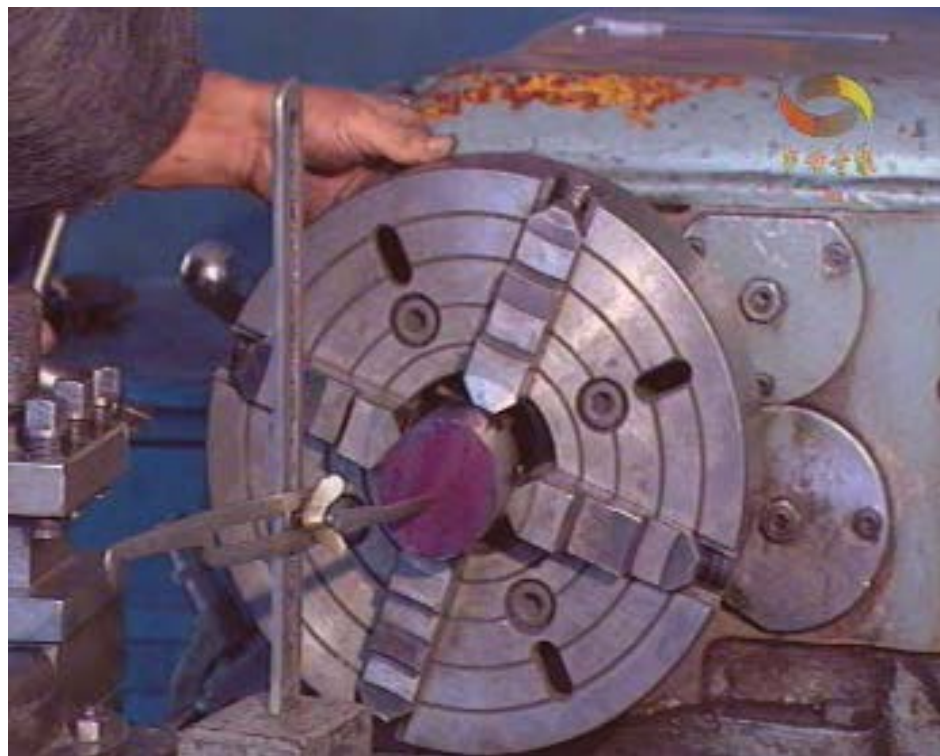
### ■ ②三爪子定心卡盘

- 对于加工较短轴
- 存在定心误差，有位置精度要求的表面应在一次装夹当中加工。



## 20.1.1.1 轴类零件外圆车削加工

### ■ ③四爪单动卡盘

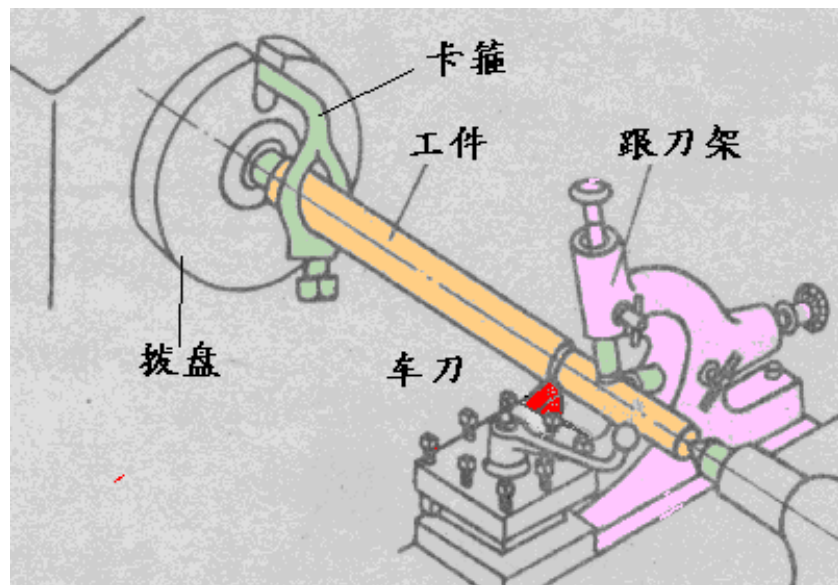
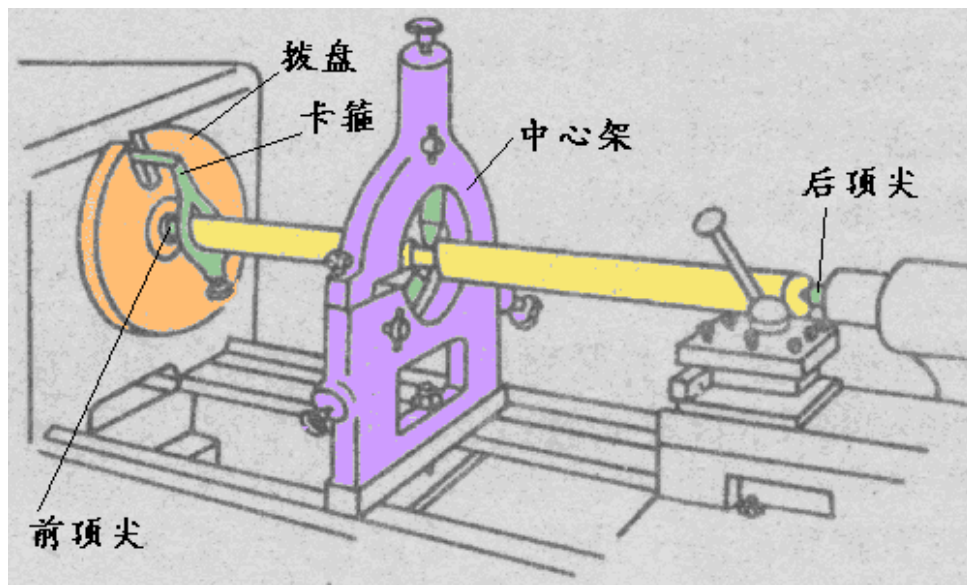




## 20.1.1.1 轴类零件外圆车削加工

### ■ ④加工细长轴 ( $L/D \geq 20$ )

- 中心架——用于加工阶梯轴
- 跟刀架——用于加工光轴



## 20.1.1.1 轴类零件外圆车削加工

### ■ ⑤加工锥面

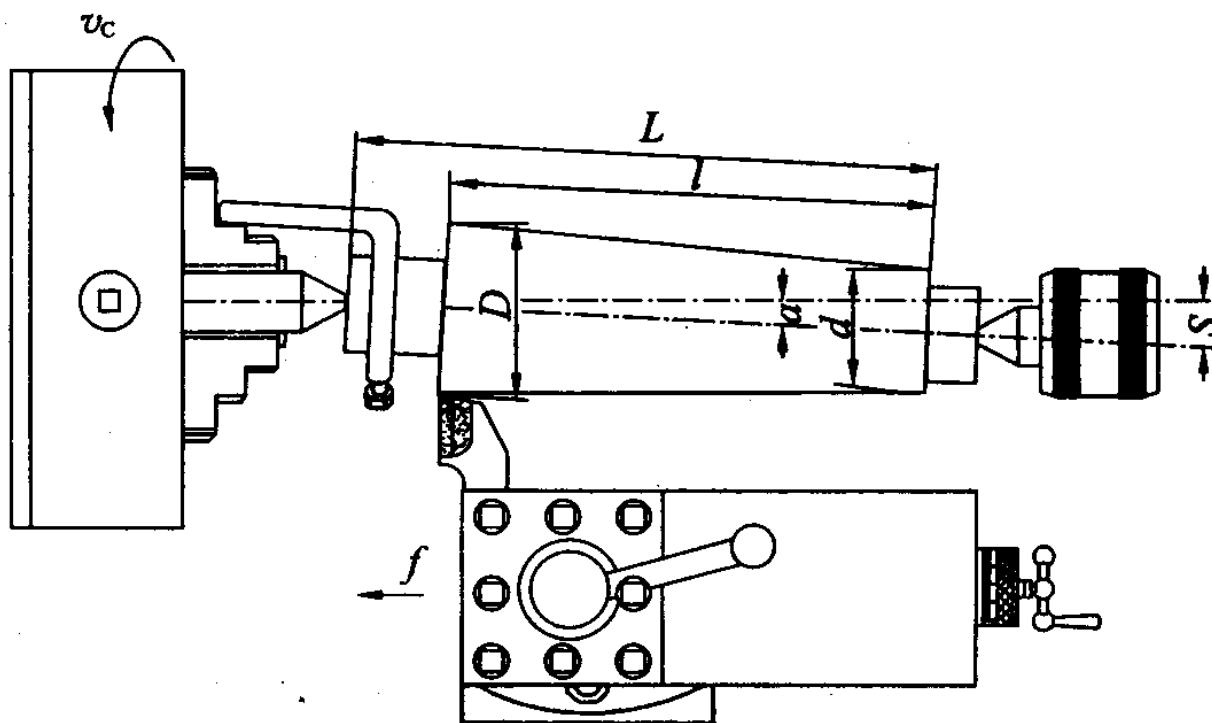


图 20-2 车锥面

## 20.1.1.2 盘类、套类零件外圆车削加工

### ■ 盘套类零件一般要保证

- 外圆对轴线的同轴度
- 端面对轴线的垂直度

### ■ 通常用卡盘装夹零件

- 最好一次装夹：外圆、内圆、端面一次加工完成
- 不能一次装夹：先加工内圆，安装在心轴上定心，再加工外圆和端面

### ■ 大批量生产：用六角车床、半自动车床

### ■ 大型盘类、环类零件：立式车床

# 外圆表面的车削加工特点

- 车削加工的**工艺范围**
  - 粗车、半精车、精车、精细车
- 外圆表面车削**加工设备及工艺特点**
  - 生产率高，应用广泛，加工材料范围较广
- 车削外圆时工件的**装夹特点**
  - 装夹方便快捷，易于保证位置精度

# 外圆表面的车削加工方法比较

		粗车	半精车	精车
切削用量	背吃刀量 $a_p$	大		很小
	进给量 $f$	较大		很小
	切削速度 $v_c$	低		高速或低速
刀具角度	前角 $\gamma_o$	小		大
	后角 $\alpha_o$	小		大
	刃倾角 $\lambda_s$	负		正
加工质量	精度	IT13~IT11	IT10~IT9	IT8~IT6
	$R_a(\mu\text{m})$	25~12.5	6.3~3.2	1.6~0.8

## 20.1.2 外圆表面的磨削加工

外圆表面的磨削加工，可采用的方法有：

- **外圆磨削法：** 外圆磨削通常在外圆磨床上进行。外圆磨削可采用**纵磨法、横磨法、综合磨法和深磨法**，也可在无心中磨床上进行，称为**无心外圆磨削法**。
- **高速磨削：** 高速磨削是使用高强度砂轮，磨削砂轮线速度从一般的**30m/s**提高到**50m/s**以上，可以提高生产率。
- **细粗糙度磨削：** 使工件表面获得粗糙度为**Ra 0.1~0.01**微米的磨削工艺，通称为细粗糙度磨削。细粗糙度磨削包括精密磨削、超精密磨削和镜面磨削。

## 20.1.3 外圆表面的光整加工

外圆表面光整加工的主要作用：是改善零件的**表面质量**，有些光整加工还可以提高零件的**尺寸精度和形状精度**。

### 1. 研磨

在磨具和工件之间置以**研磨剂**，并使研具和工件产生复杂的相对运动，磨料从工件上切除很薄金属的光整加工过程。

### 2. 超级光磨

用磨粒极细的**磨条**对工件表面进行的一种光整加工方法。也叫超精加工。超级光磨适用于轴类零件圆柱表面的光整加工

### 3. 抛光

工件经过抛光表面粗糙度可达**Ra 0.01~0.02**，从而显出光泽的表面，但切除金属不均匀，工件尺寸精度不易控制。



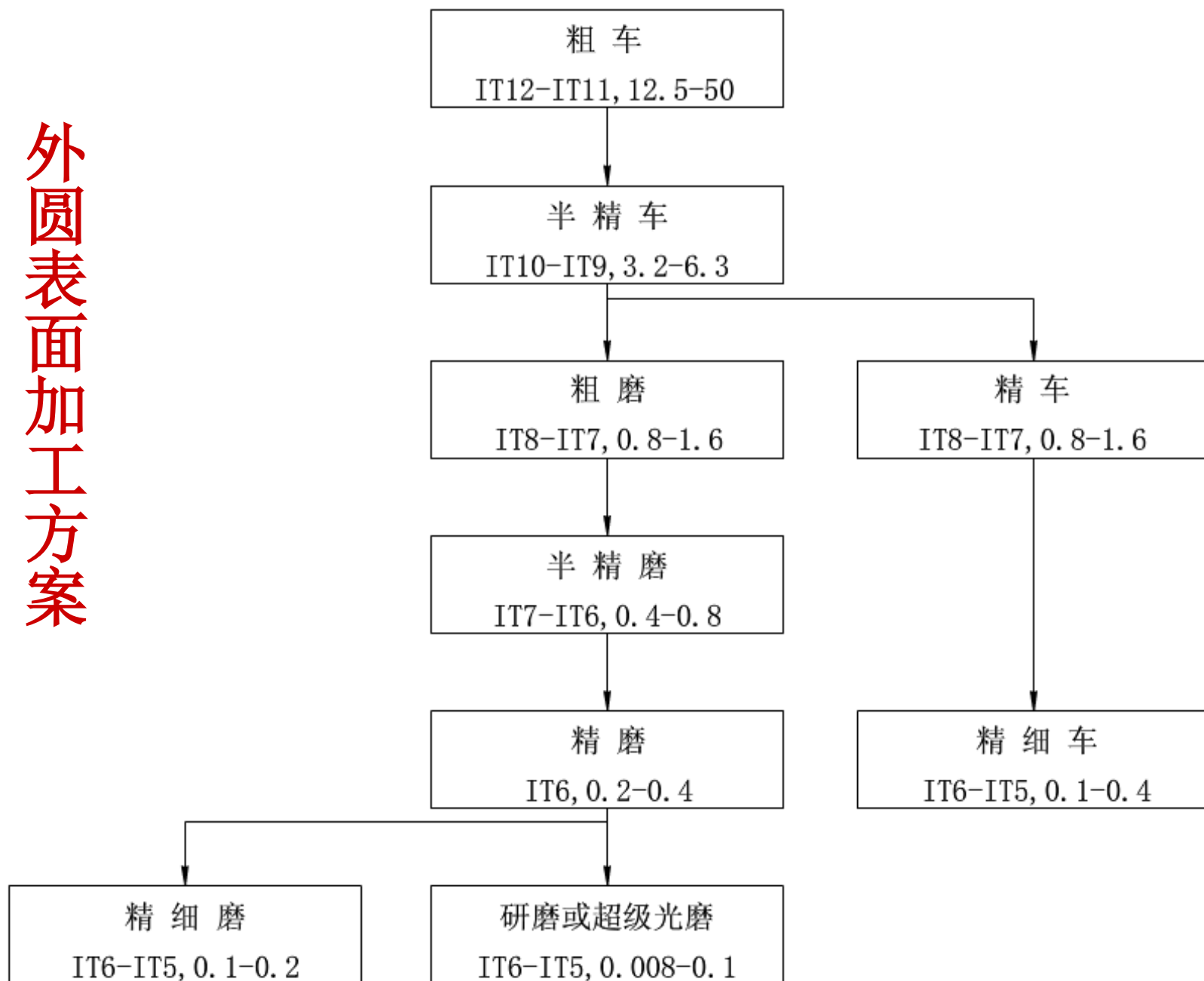
# 20.1.4 外圆加工方案的制订

**影响因素：**表面的精度和表面粗糙度 $R_a$ 值、工件材料、热处理要求、生产批量、零件结构形状、该表面处于零件的位置

加工方案	尺寸公差等级	表面粗糙度 $R_a(\mu\text{m})$	适用范围
粗车	IT12~IT11	25~12.5	除淬火钢外各种金属
粗车-半精车	IT10~IT8	6.3~1.6	
粗车-半精车-精车	IT8~IT6	1.6~0.8	
粗车-半精车-精车-精细车	IT6~IT5	0.4~0.2	
粗车-半精车-磨	IT8~IT7	0.8~0.4	淬火钢和未淬火钢，不易加工有色金属
粗车-半精车-粗磨-精磨	IT6~IT5	0.4~0.2	
粗车-半精车-粗磨-研磨	IT6~IT5	0.1~0.01	



# 外圆表面加工方案



## 20.2 孔的加工方法

### ■ 孔的种类

- **紧固孔**——精度要求不高。如螺栓、螺钉孔
- **回转体零件上的孔**——要求精度和表面粗糙度，还要求同轴度和垂直度等。如轴套、法兰盘、齿轮的轴孔
- **箱体零件上的孔**——要求精度和表面粗糙度，还要求“孔系”平行度、垂直度、同轴度等。如齿轮箱
- **深孔**（ $L/D > 5$ ）——加工困难。如汽缸体深油道孔

# 20.2.1 钻、扩、 铰、镗、拉孔

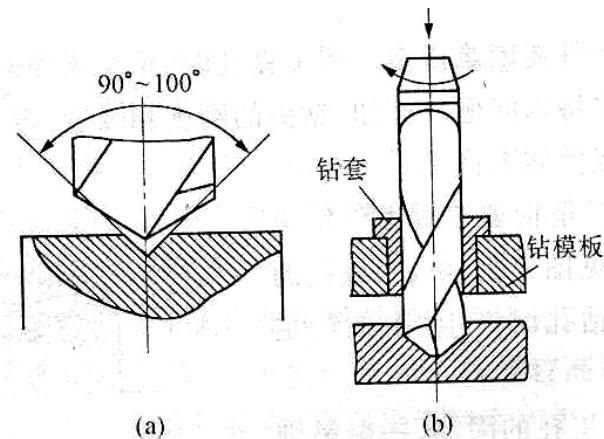
## ■ 1. 钻孔

- 尺寸公差等级  
IT13~IT11、表面粗  
糙度Ra值25~12.5  
 $\mu\text{m}$

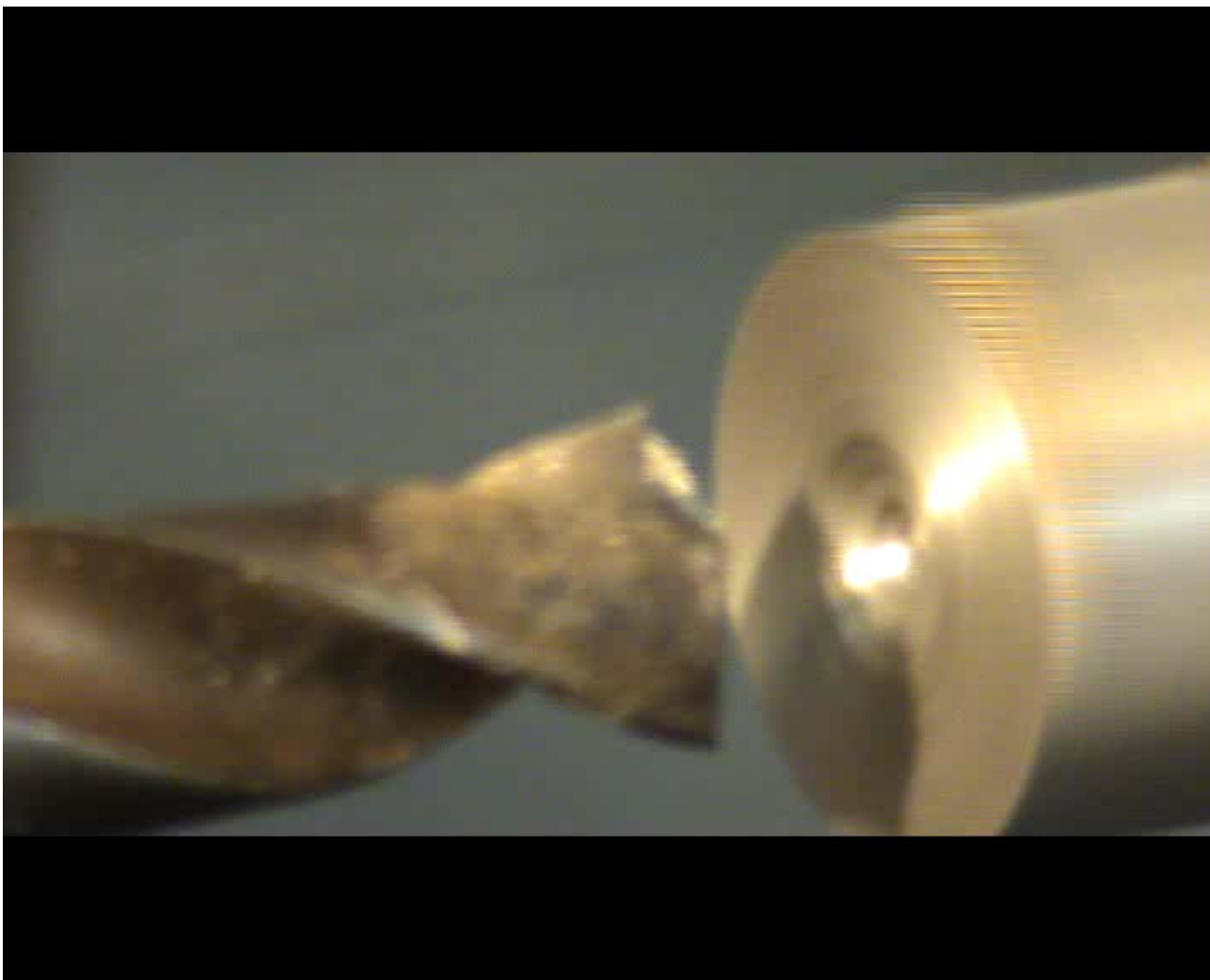


# 钻孔的工艺特点

- 容易产生“引偏”
- 排屑困难
- 切削热不易分散



# 1. 钻孔

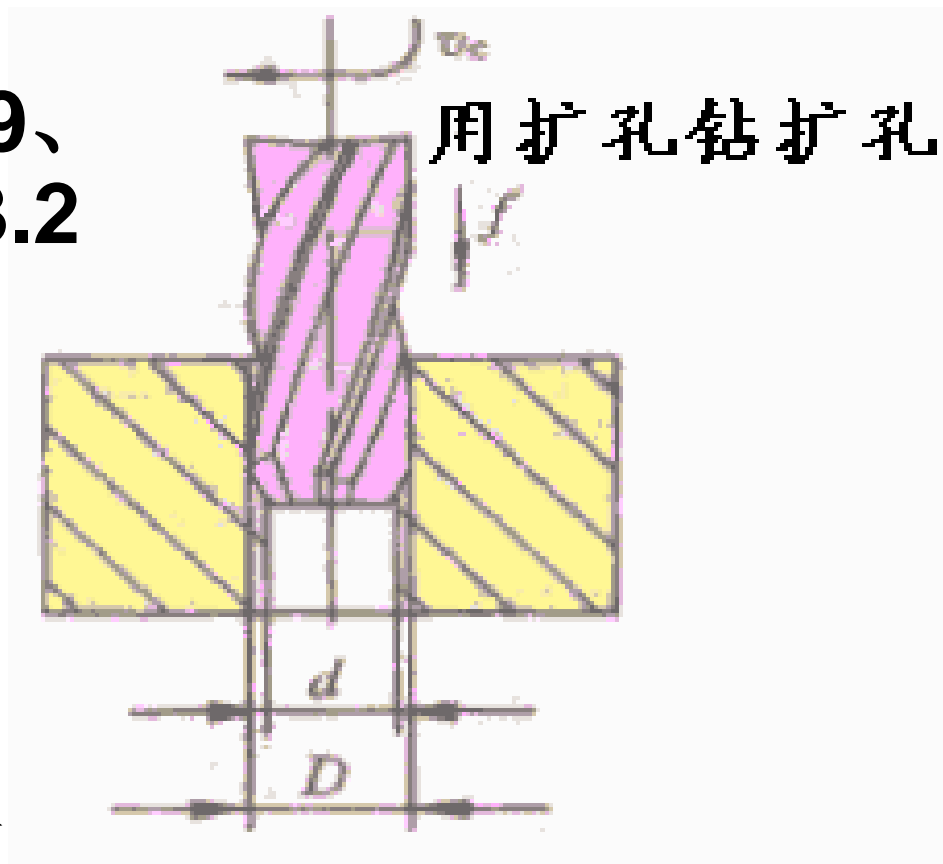


## 2. 扩孔

- 尺寸公差等级IT10~IT9、  
表面粗糙度Ra值6.3~3.2  
 $\mu\text{m}$

- 与钻孔相比的特点：

- ☐ 刚性较好
- ☐ 导向性好
- ☐ 切削条件好
- ☐ 能纠正钻孔的轴线偏斜





# 3. 铰孔

■ 尺寸公差等级IT8~IT6、  
表面粗糙度Ra值1.6~0.4  
 $\mu\text{m}$

■ 铰孔的工艺特点:

- 铰刀是定径精加工工具，  
易保证孔的尺寸、形状精度，  
生产率高。但适应性较差。
- 铰刀与机床浮动连接，不能校正孔的位置误差。
- 孔的精度和表面粗糙度主要取决于铰刀的精度和装夹方式以及加工余量、切削用量和切削液等



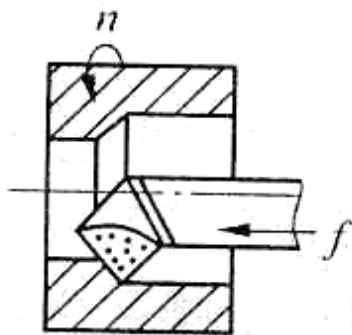
# 扩孔，铰孔



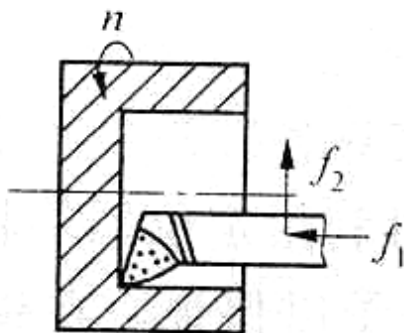


# 4. 镗孔

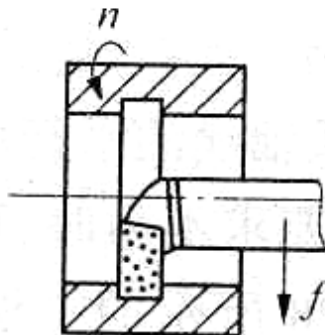
- 尺寸公差等级IT10~IT7、表面粗糙度Ra值6.3~0.8  $\mu\text{m}$
- 镗孔工艺特点
  - 适应性广
  - 可以校正圆孔的轴线位置误差
  - 生产效率低
  - 适合加工箱体、支架上的孔系，保证其位置精度



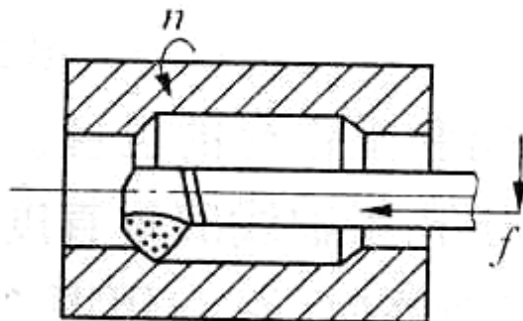
(a) 镗通孔



(b) 镗不通孔

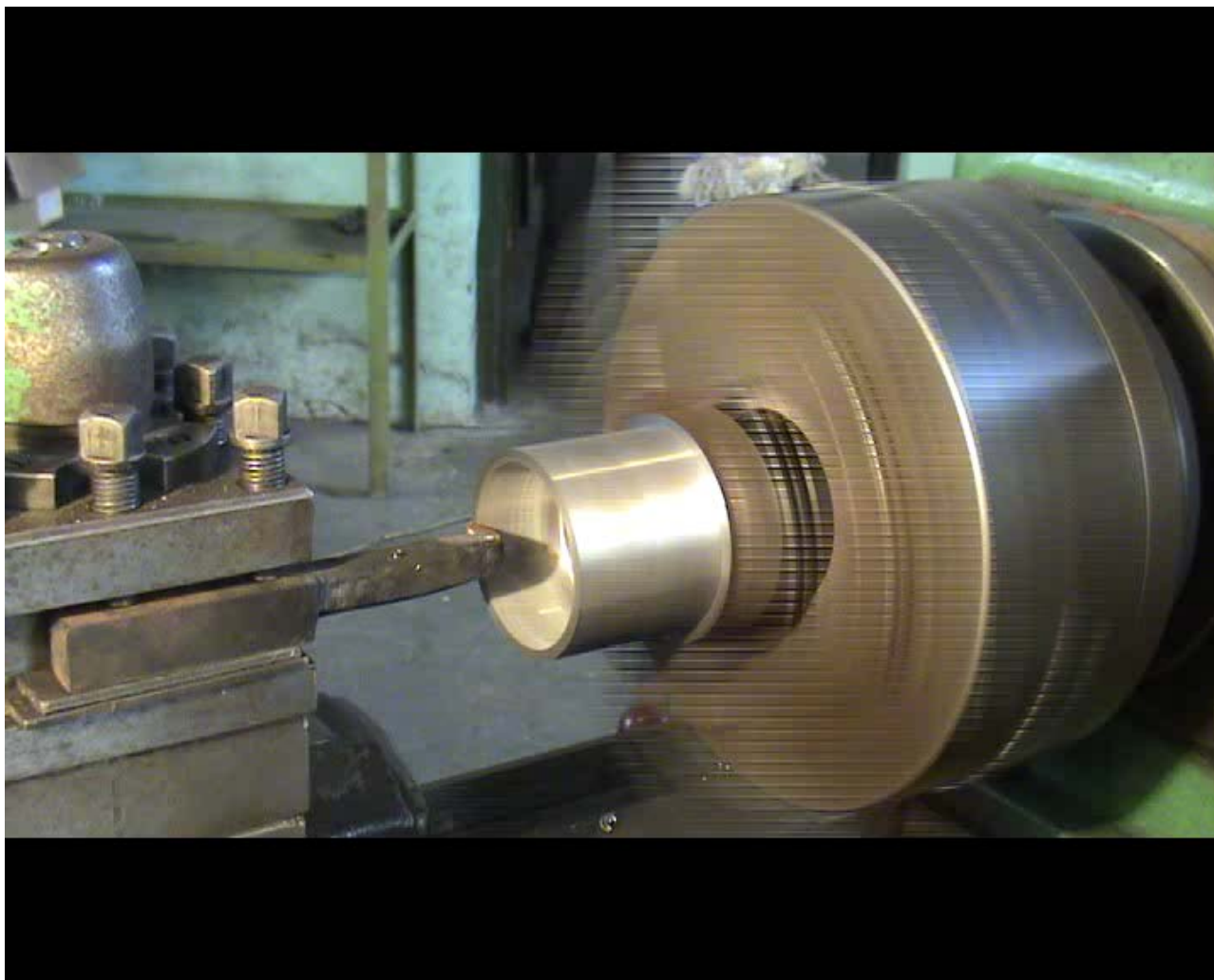


(c) 镗槽



(d) 镗内凹槽

# 4. 镗孔



# 5. 拉孔

- 尺寸公差等级  
IT8~IT7、表面粗糙度Ra值1.6~0.8  $\mu\text{m}$
- 拉孔工艺特点
  - 生产率高
  - 加工质量高
  - 拉床简单，操作方便
  - 拉刀寿命长
  - 不能加工台阶孔和盲孔



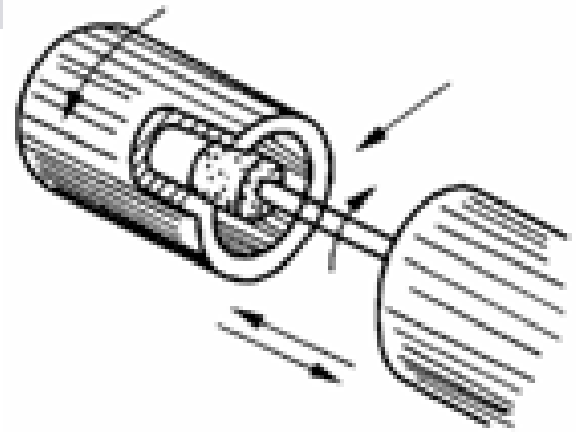
# 5. 拉孔



## 20.2.2 磨孔

- 磨削孔主要用于加工淬硬工件，精度要求较高和表面粗糙度较细的通孔，盲孔或带断续表面的孔（如带有键槽的孔）等。
- 尺寸公差等级IT6~IT8、表面粗糙度Ra值1.6~0.4  $\mu\text{m}$
- 与磨外圆相比的特点：
  - 表面粗糙度Ra值较大
  - 精度控制不如磨外圆方便
  - 生产率低
  - 主要用于：不适合镗、铰或拉削的高精度以及淬硬的孔

在磨床上磨内孔远不如外圆磨削应用那么普遍，其原因是：



(b) 磨内孔

- 磨孔用的**砂轮直径小**（为孔径的**0.6~0.9倍**），砂轮磨损快，需要修正和更换，因而增加了辅助时间。
- 砂轮直径小而且受到机床主轴转速的限制，通常很难达到正常的磨削速度（约为 **$30\text{m/s}$** ）。由于**磨削速度低**，所以磨孔的**表面质量不高**。
- 磨内孔时，由于砂轮轴细，而且是悬臂安装，所以**刚性差**，影响了磨孔的质量和生产率。



## 20.2.3 孔的光整加工

- 为了进一步提高孔的精度，得到更细的表面粗糙度，通常在精加工之后还要采用研磨,珩磨等光整加工方法。
- **1.研磨**
  - 孔的研磨和外圆研磨一样，也是用研具和工件的相对运动，利用其间的研磨剂磨去工件表面很薄的一层余量（**0.01~0.03mm**）来进行光整加工。
- **2.珩磨**
  - 珩磨是用磨粒很细的磨条（也叫油石）来进行加工的。多用于圆柱孔的加工。
  - 珩磨头工作时有两种运动，即旋转运动和轴向往复运动。为了使整个工件表面能均匀的加工到，磨条在孔的两端都要露出约**25mm**的越程。

## 20.2.4 孔的加工方案的选择

### 孔的加工方法

钻,扩,铰,镗

拉

磨,珩磨,研磨

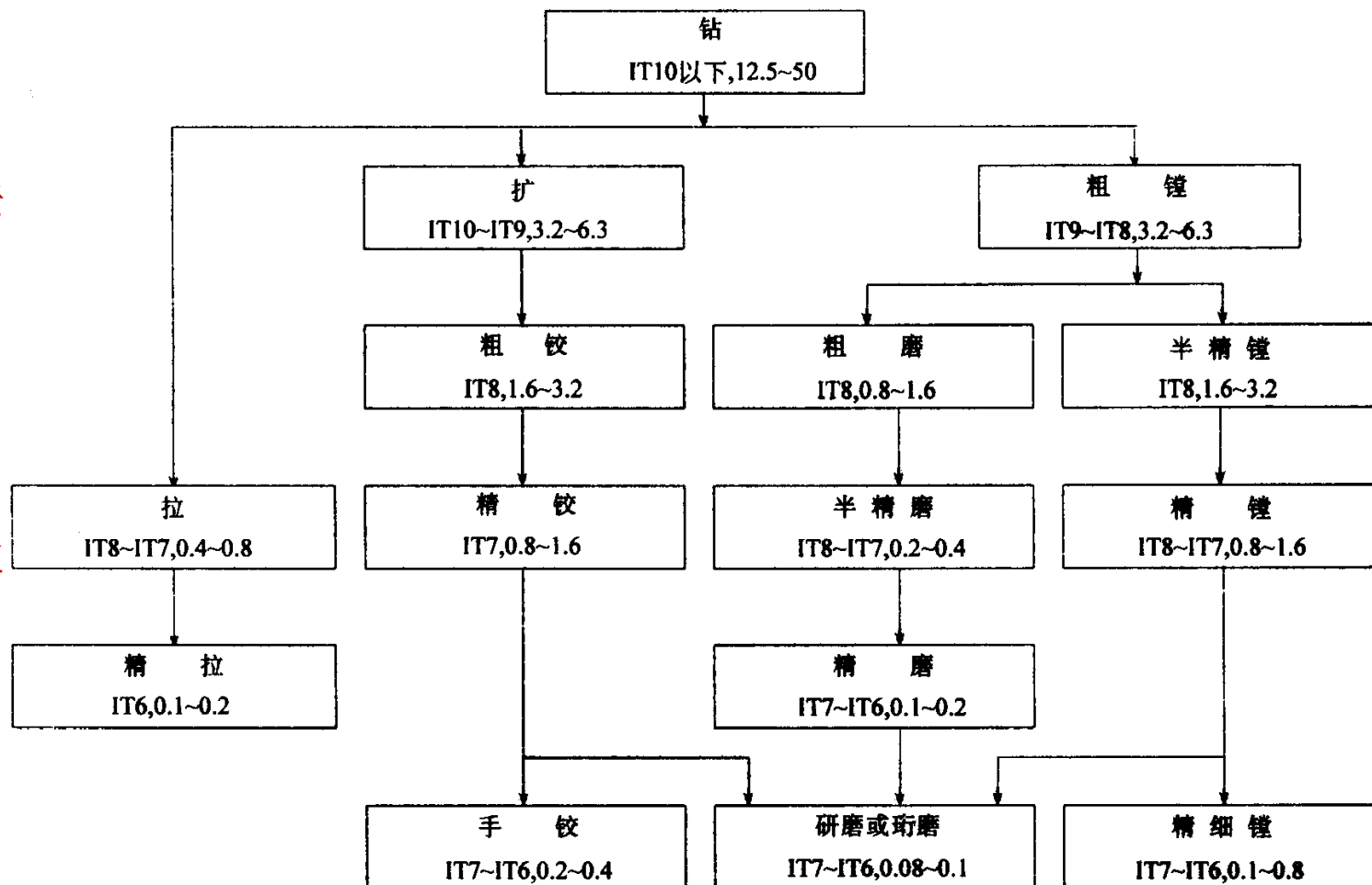
### 孔的技术要求

尺寸精度

形状精度

位置精度

表面质量



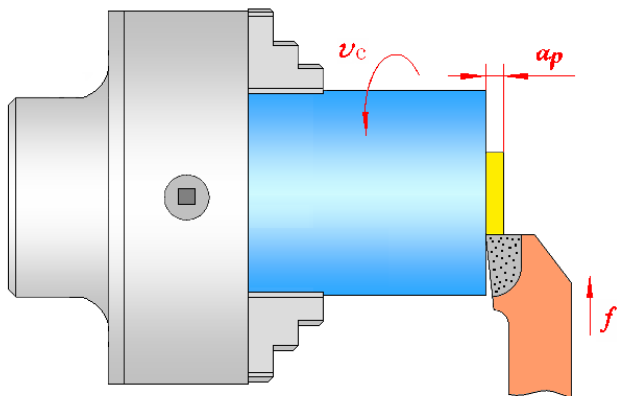


## 20.2.4 孔的加工方案的选择

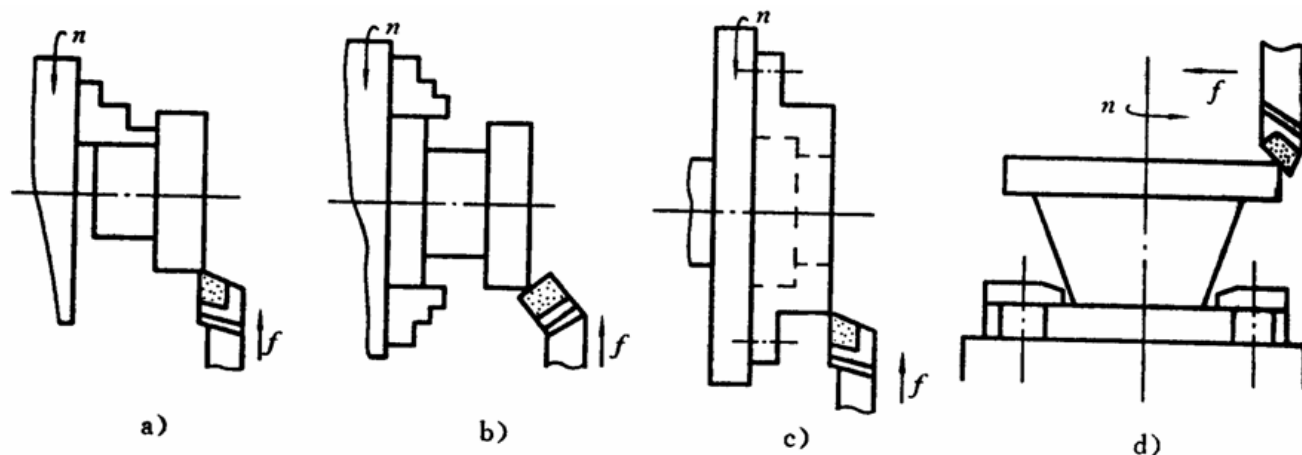
序号	加工方案	加工精度	表面粗糙度 Ra/ $\mu\text{m}$	适用范围
1	钻孔	IT11—T13	12.5-25	任何批量,实体工件
2	钻—铰	IT7—IT8	1.6-3.2	不淬火钢件,铸铁件 和非铁合金件小孔, 细长孔
3	钻—扩—铰	IT6—IT8	0.4-1.6	
4	钻—扩—粗铰—精铰	IT6—IT7	0.4-0.8	
5	粗镗—半精镗—铰	IT7—IT8	0.8-1.6	$\Phi 30-100$ 铸锻孔
6	(钻)粗镗—拉	IT7—IT8	0.4-1.6	成批,大量生产
7	(钻)粗镗—半精镗	IT9—IT10	3.2-6.3	除淬火件外各种零 件小批生产
8	(钻)粗镗—半精镗—精镗	IT7—IT8	0.8-1.6	
9	粗镗—半精镗—浮动镗	IT7—IT8	0.8-1.6	成批,大量生产
10	(钻)粗镗—半精镗—磨	IT7—IT8	0.8-1.6	钢及铸铁件孔的精 加工
11	(钻)粗镗—半精镗—粗磨—精磨	IT6—IT7	0.4-0.8	

## 20.3 平面的加工方法

### 20.3.1 平面的车削加工



尺寸精度  
**IT10~IT8,**  
表面粗糙度 $R_a$   
值 $6.3\sim 1.6\ \mu\text{m}$

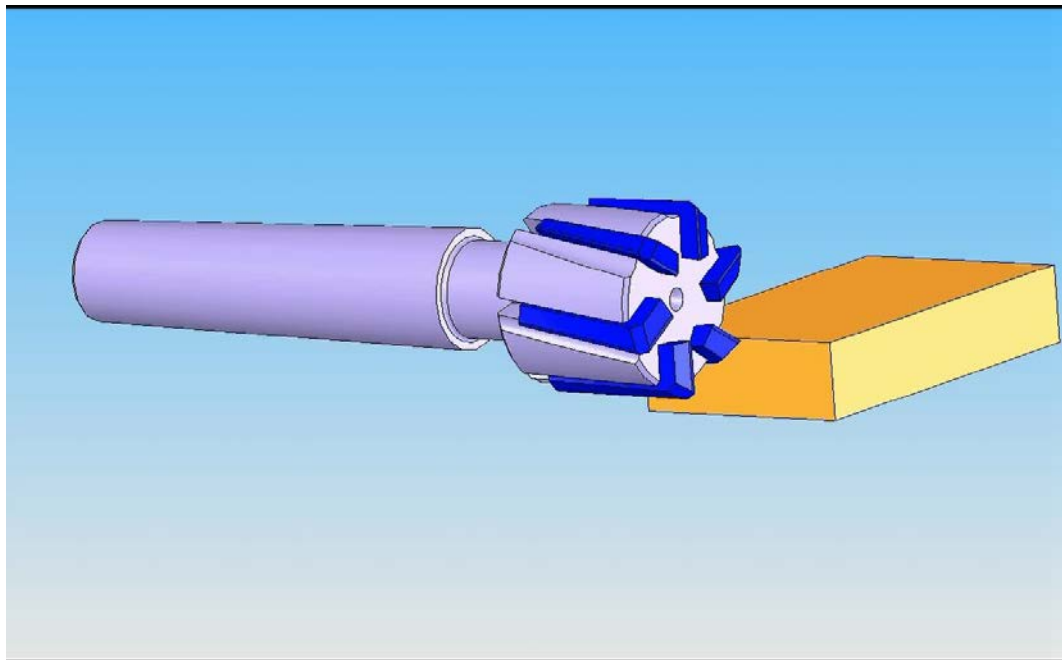
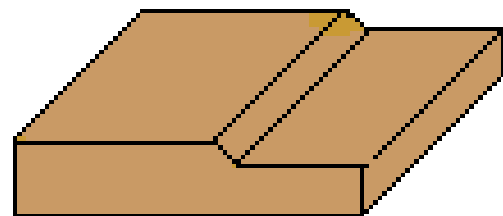
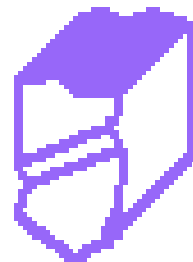


a) 三爪卡盘， b)四爪卡盘， c)花盘， d)立车

## 20.3.2 平面的铣、刨加工

铣和刨是平面加工的两种基本方法。在多数情况下，刨削的生产率虽然比铣削的生产率低，但由于刨刀结构简单，刨床便宜，调整简便，所以在单件小批生产中具有较好的经济效益。

尺寸精度IT10~IT8，表面粗糙度Ra值  
6.3~1.6  $\mu\text{m}$



## 20.3.3 平面的拉削加工

拉削平面是一种**高生产率**的加工方法。在汽车、拖拉机制造业中，拉削平面得到广泛应用。如发动机气缸体和连杆的平面都用拉削加工。



## 20.3.4 平面磨削

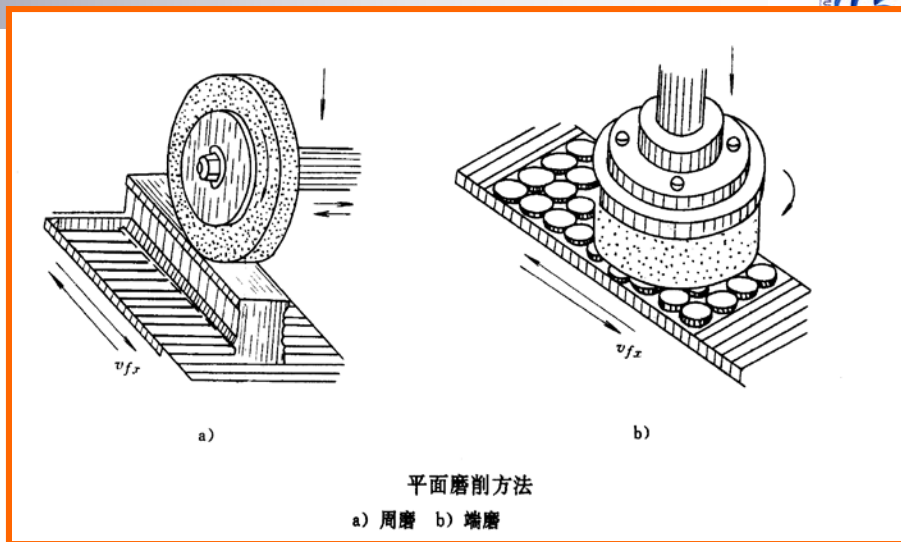
### 1. 平面磨削方法

#### ■ (1) 周磨

- 砂轮与工件接触面积小,磨削热少,排屑和冷却条件好
- 加工精度高
- 生产率低
- 适用于批量生产磨削精度较高的中小型零件

#### ■ (2) 端磨

- 接触面积大,磨削热多,排屑和冷却条件差
- 磨削精度低
- 生产率高
- 适用于成批大量生产



## 2.平面磨削工艺特点

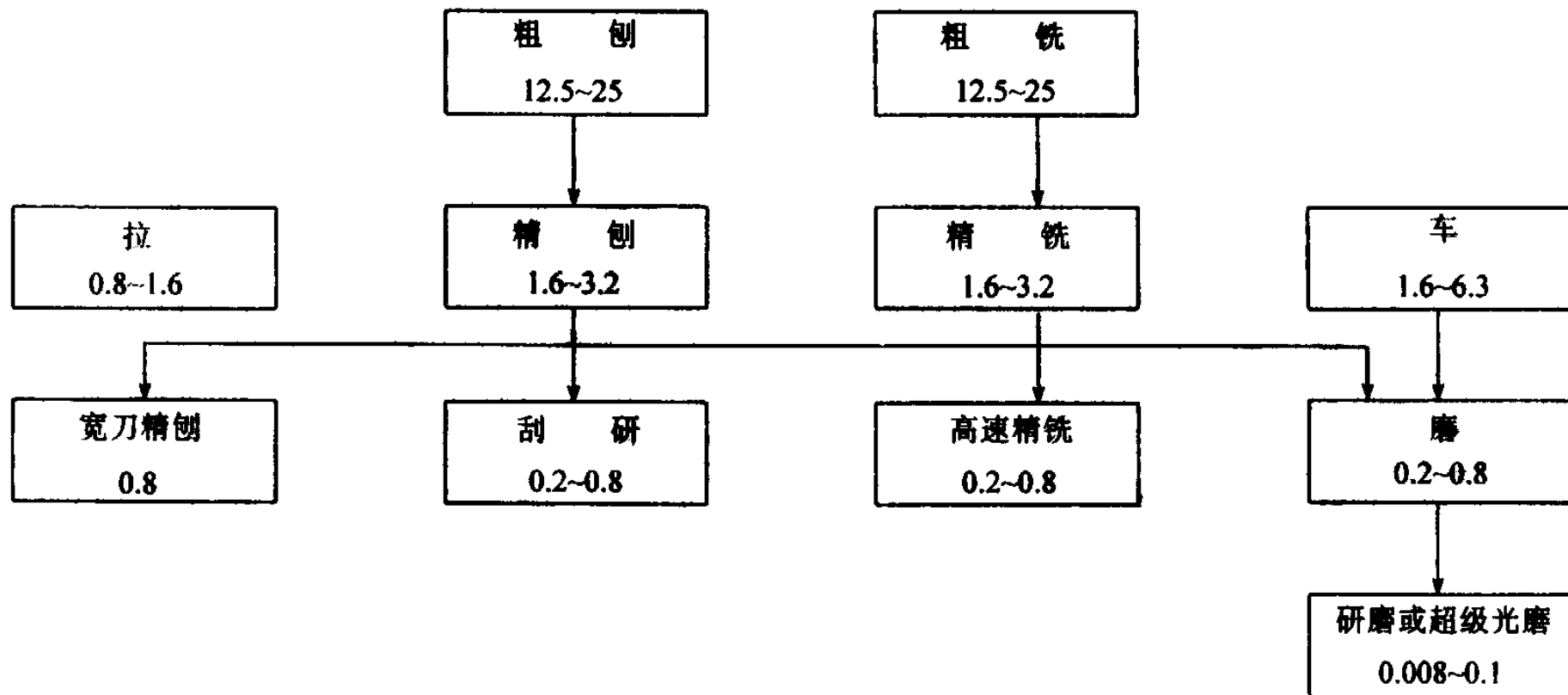
- 机床系统刚性较强，加工**质量高**
- 机床结构**简单**，工件装夹**方便**，**生产率高**
- 成批，大量生产中可以磨削代替铣削与刨削**去掉**毛坯表面上的**硬皮**，既能提高生产率，又能有效保证加工质量



## 20.3.5 平面研磨

- 研磨平面多用于加工中小型工件
- 平面研磨的原理和研磨外圆相同。加工的尺寸精度可达IT5或更高，表面粗糙度可达Ra 0.1~0.01 $\mu$ m
- 如果两个平面的平行度不符合要求时，可在较厚的部位加大压力，研磨时间延长一些，以便多去一些金属，直到符合要求为止。
- 当工件尺寸大而被研磨的平面较小时，可手持研具进行研磨。
- 机械研磨平面的加工方法与研磨外圆类似，可以同时加工工件的两个平行平面。

## 20.3.6 平面加工方法的选择





## 20.3.6 平面加工方法的选择

序号	加工方案	加工精度	表面粗糙度 Ra $\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车——精车	IT8-IT11	1.6-12.5	车削工件的端面
2	粗铣(或粗刨)	IT11-IT13	12.5-25	不淬火钢,铸铁和非铁金属件的平面
3	粗铣——精铣	IT7-IT10	1.6-6.3	
4	粗刨——精刨	IT7-IT10	1.6-6.3	
5	粗铣(刨)——拉	IT6-IT7	0.4-0.8	
6	粗铣(刨)-精铣(刨) - 磨	IT5-IT6	0.2-0.8	钢,铸铁的中小零件的平面

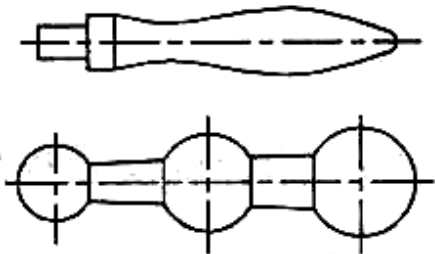
## 20.4 成形面的加工方法

成形面的种类

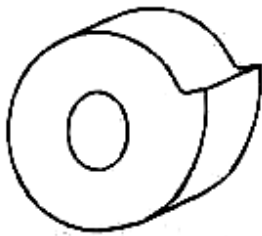
- 回转成形面
- 直线成形面
- 立体成形面

成形面的技术要求

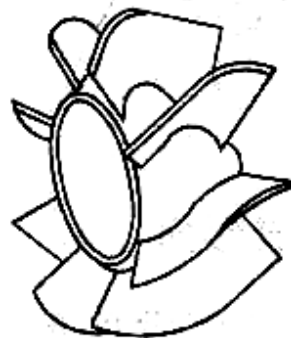
- a. 尺寸精度
- b. 形状精度
- c. 位置精度
- d. 表面质量



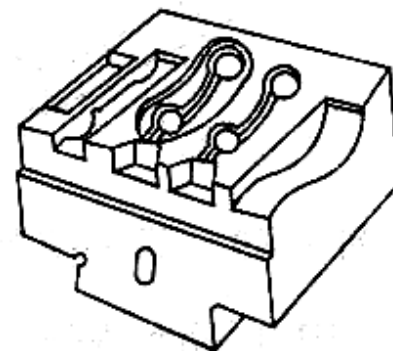
(a) 手柄



(b) 凸轮



(c) 叶轮



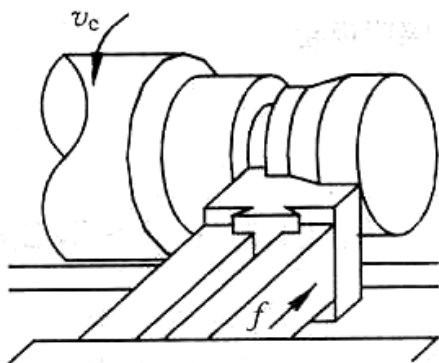
(d) 多模膛锻模

成形面的加工方法:

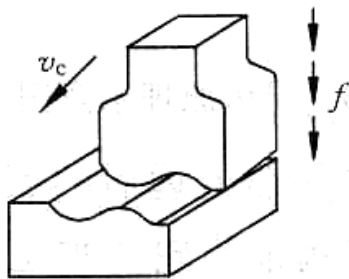
(1) 成形刀具加工

(2) 利用刀具与工件间的特定相对运动

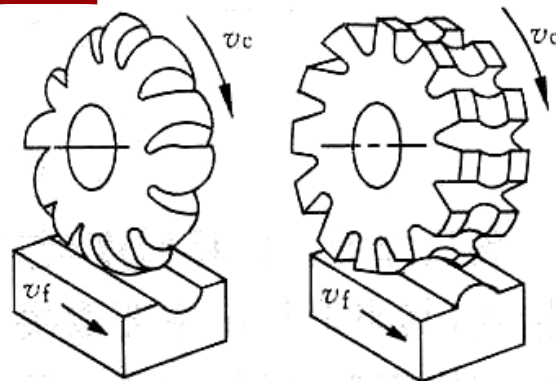
## 20.4.1 用成形刀具加工



(a) 成形车刀加工成形面



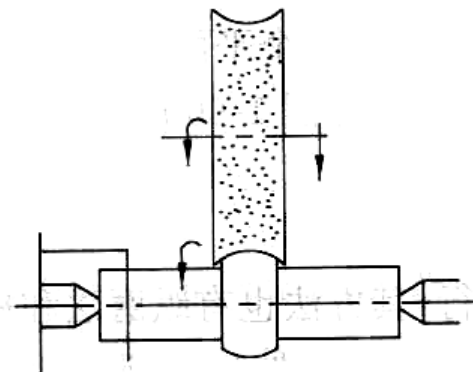
(b) 成形刨刀加工成形面



(c) 成形铣刀加工成形面

### 工艺特点:

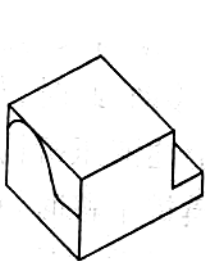
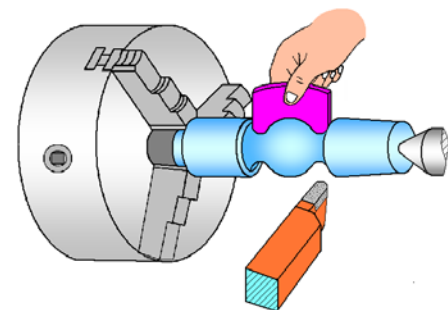
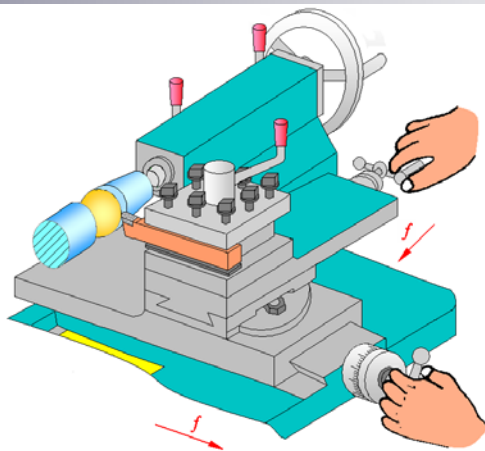
- 可以车、铣、刨、拉、磨加工成型面
- 加工精度主要取决于刀具精度
- 易于保证同一批零件形状及尺寸的一致性和互换性
- 生产率高
- 刀具重磨次数多,使用寿命长
- 刀具设计制造复杂,成本高



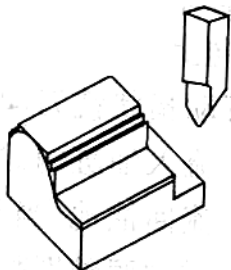
(d) 磨成形面

# 20.4.2 按运动轨迹法加工成形面

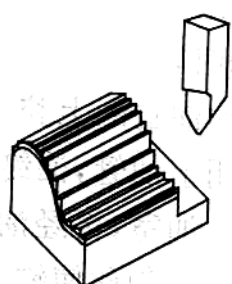
## (1) 按画线或样板加工



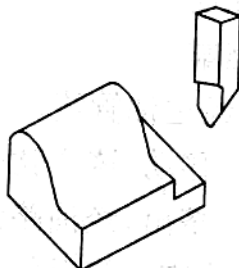
(a) 画线



(b) 粗刨



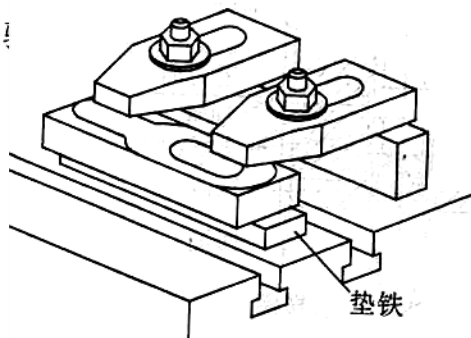
(c) 半精刨



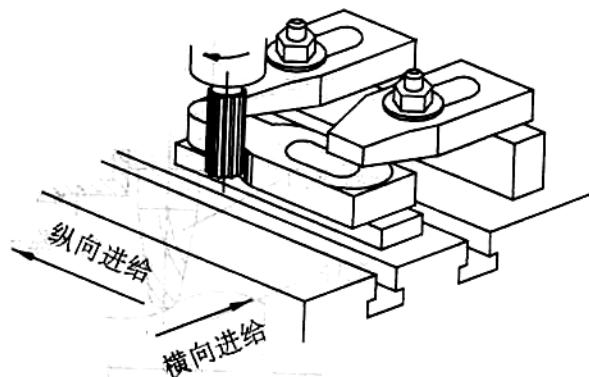
(d) 精刨

- 精度低
- 生产率低
- 工人劳动强度大
- 灵活性大
- 用于单件、小批量生产

手动控制法刨削成形面的方法和步骤



(a) 将划线的工件装在工作台上

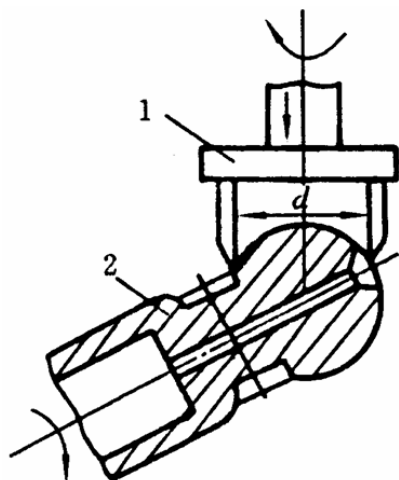


(b) 用立铣刀铣削

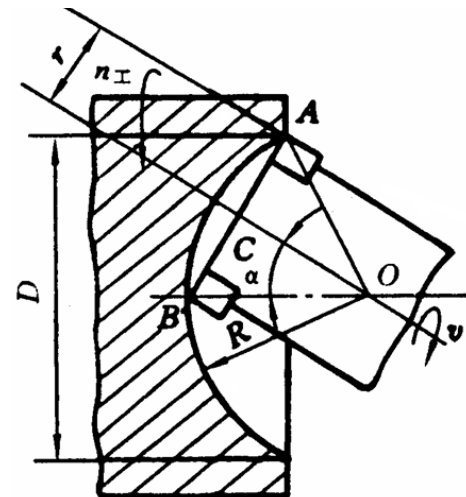
手动控制法铣削成形面

## (2)按运动轨迹法加工成形面

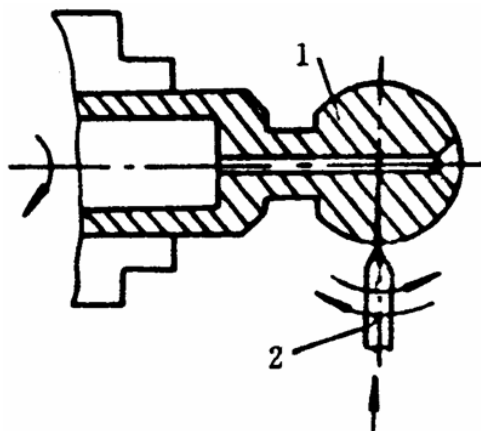
外球  
面的  
铣削



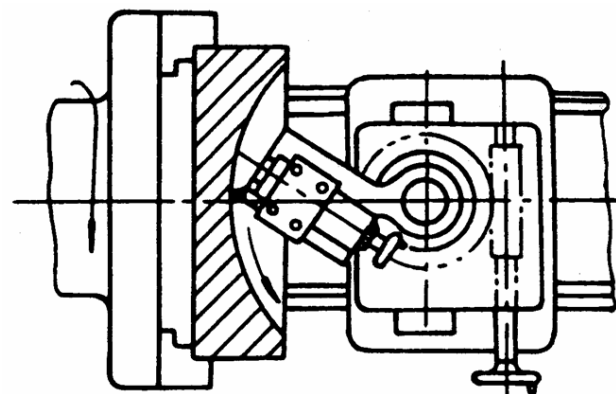
内球  
面的  
铣削



外球  
面的  
车削



内球  
面的  
车削



## (2)按运动轨迹法加工成形面

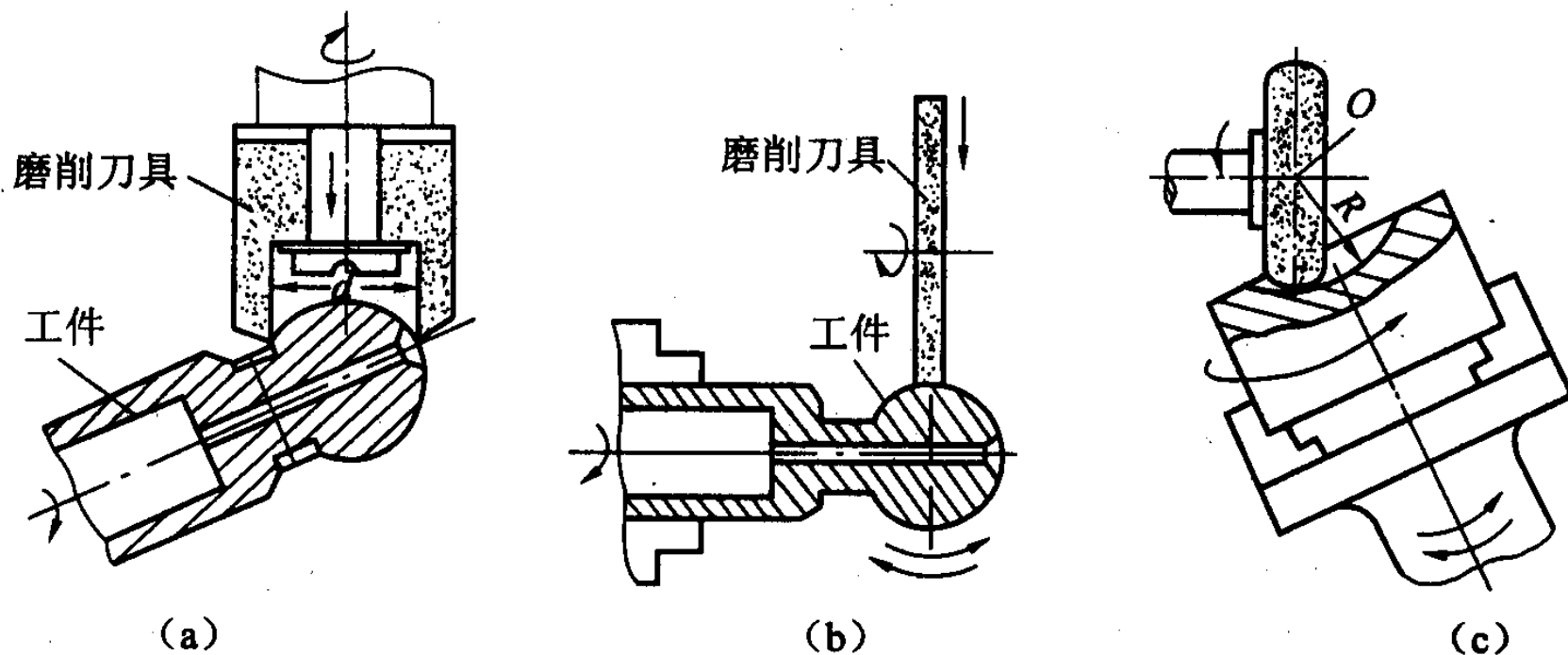


图 20-17 球面的磨削

(a)、(b)外球面的磨削；(c)内球面的磨削

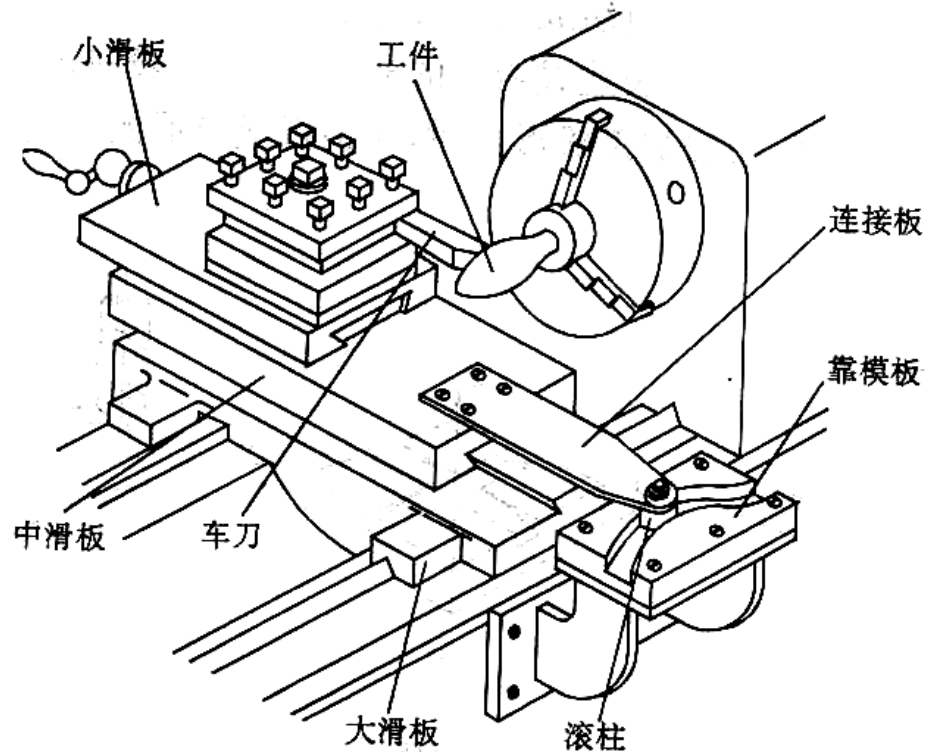
## ■ (2)按运动轨迹法加工成形面

铣削	外球面的铣削	铣削头结构简单，操作方便 生产率高，刀尖易损
	内球面的铣削	生产率高，表面粗糙度小 ( $Ra\ 1.6\mu m$ )
车削	外球面的车削	加工精度，生产率较高，适合于大批量生产
	内球面的车削	球面直径不宜过小
磨削	外球面的磨削	加工精度高，表面粗糙度小，生产率低，适合小批生产
	内球面的磨削	精度高粗糙度小，球磨机上磨直径大，深度小的零件

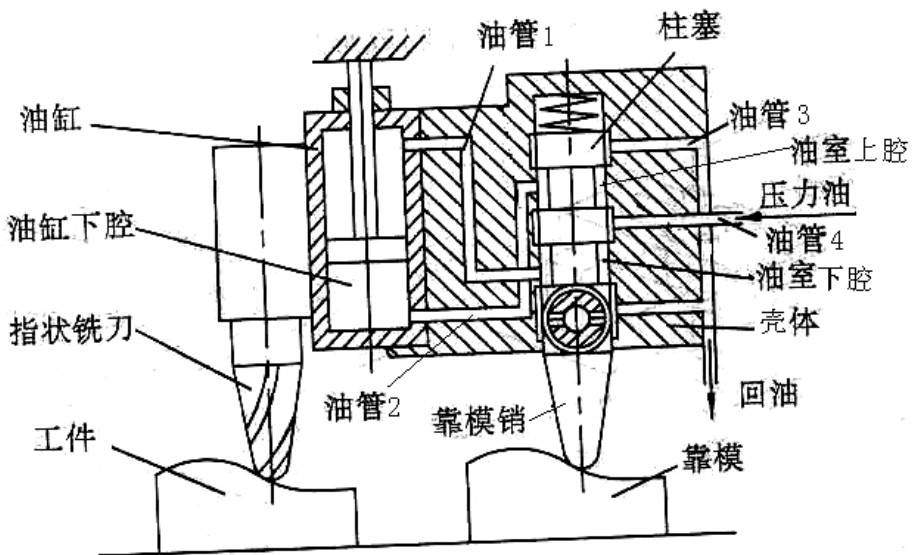


# (3) 用靠模装置加工成形面

- 生产效率高
- 加工精度由靠模决定
- 靠模形状复杂,成本高
- 适合成批生产中应用
- 靠模易磨损



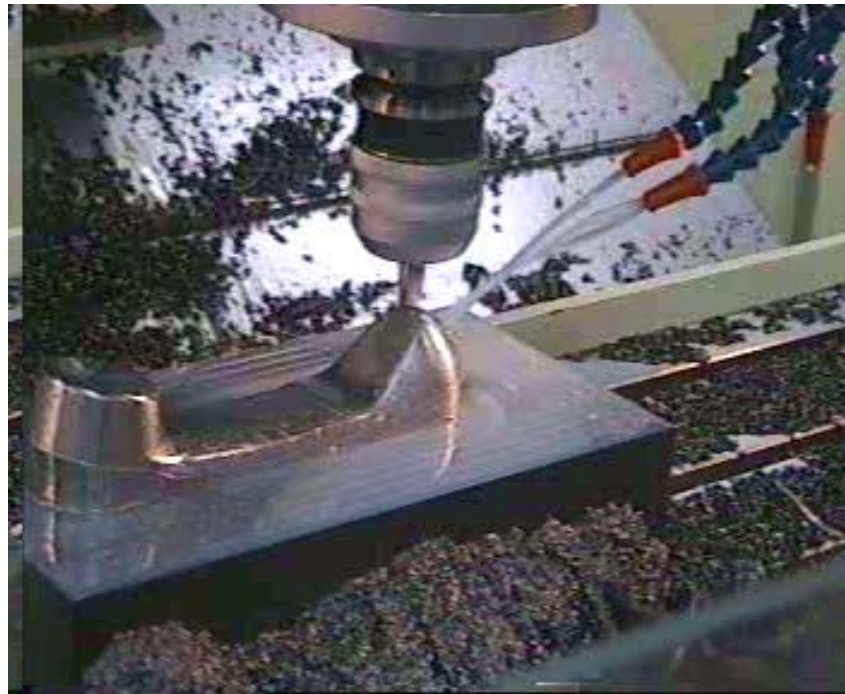
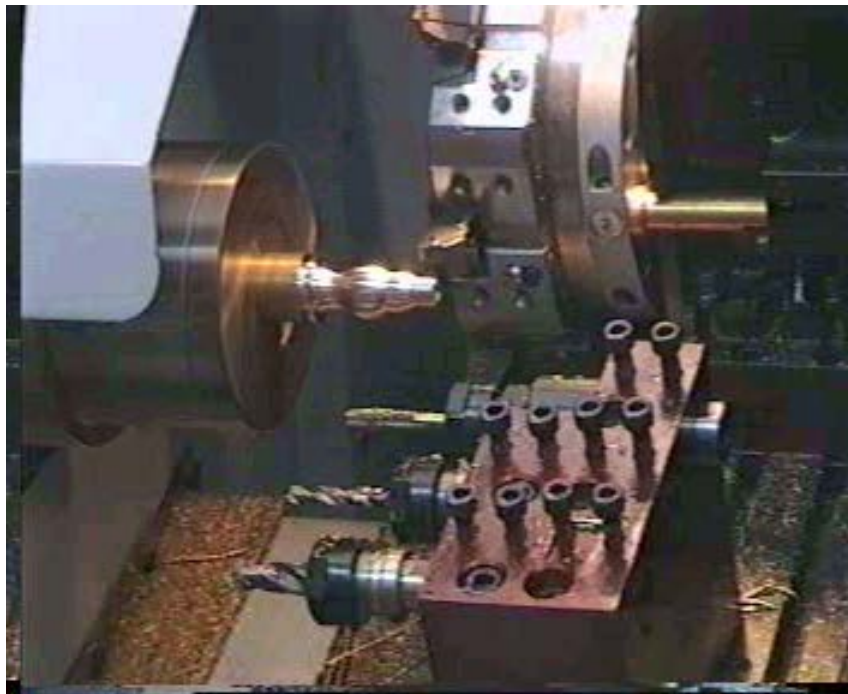
靠模法车成形面



液压仿形铣床工作原理



## (4) 数控加工



## 20.4.3 成形刀具与运动轨迹复合成形法加工成型面

### ■ 齿轮加工

- 用插刀（成形刀具）
- 刀具和工件之间要有啮合运动



## 20.4.1 成形面加工方法分析

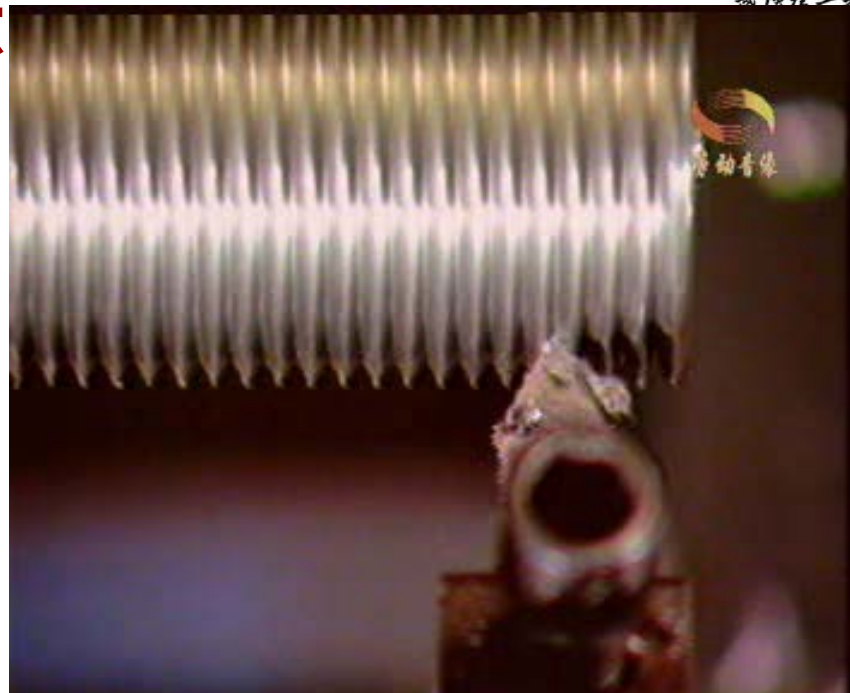
加工方法			加工精度	表面粗糙度	生产率	机床	适用范围
成形面的切削加工	成形刀具加工	车削	较高	较小	较高	车床	成批,小尺寸回转面
		铣削	较高	较小	较高	铣床	成批,外直线成形面
		刨削	较低	较大	较高	刨床	成批,外直线成形面
		拉削	较高	较小	高	拉床	成批,大量生产各种小型直线成形面
	简单刀具加工	手动进给	较低	较大	低	普通机床	小批,各种成形面
		靠模装置	较低	较大	较低	普通机床	成批,各种直线成形面
		仿形装置	较高	较大	较低	仿形机床	小批,各种成形面
		数控装置	高	较小	较高	数控机床	中小批,各种成形面

## 20.4.1 成形面加工方法分析

加工方法		加工精度	表面粗糙度	生产率	机床	适用范围
成形面的磨削加工	成形砂轮磨削	较高	较小	较高	平面磨, 工具磨, 外圆磨	成批加工回转成形面, 外直线成形面
	成形夹具磨削	高	小	较高	成形磨床, 平面磨床	单件, 小批生产各种外直线成形面
	砂带磨削	高	小	较低	砂带磨床	加工各种批量外直线成形面和回转成形面
	连续轨迹数控坐标磨削	很高	很小	较高	坐标磨床	单件小批加工各种内外直线成形面.(主要是模具型腔)

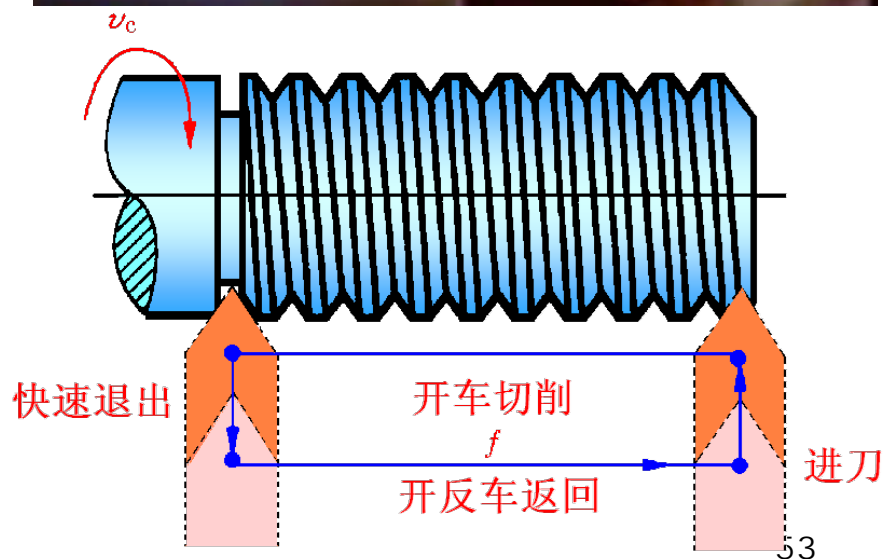
## 20.5 螺纹的加工方法

螺纹的加工方法很多，主要有车、铣、攻丝，套丝、磨削、滚压等。它们各有不同的特点，必须根据零件的形状，尺寸、产量及技术要求等因素来选择。



### 20.5.1 车螺纹

车削螺纹是用螺纹车刀加工螺纹的传统加工方法。这种方法所用的刀具、设备的通用性大，可加工各种形状、尺寸及不同精度的内、外螺纹，特别适用于加工大尺寸的螺纹。适用于单件小批生产。



## 20.5.2 铣螺纹

铣螺纹是在专门的螺纹铣床上用螺纹铣刀加工螺纹的方法。由于铣刀齿多、转速快、切削量大，故比车螺纹生产率高。螺纹铣削的加工精度可达7级， $Ra$ 可达 $1.6\mu m$ 。

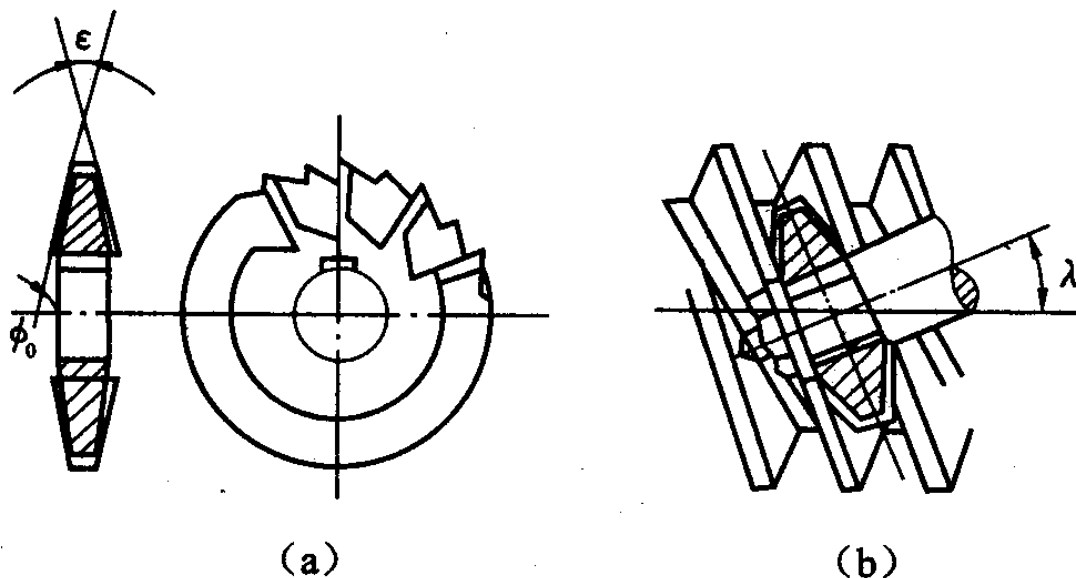


图 20-21 盘状螺纹铣刀铣螺纹

(a) 盘状螺纹铣刀；(b) 铣刀的安装图

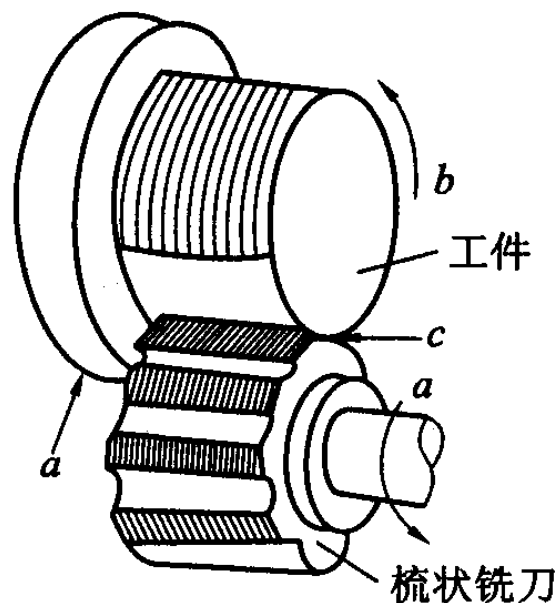
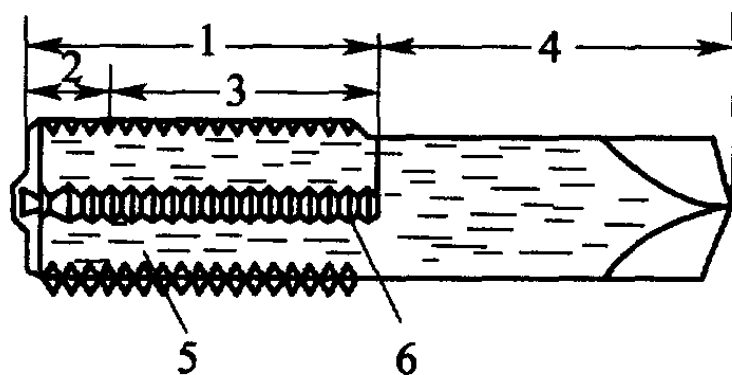


图 20-22 梳状铣刀铣螺纹

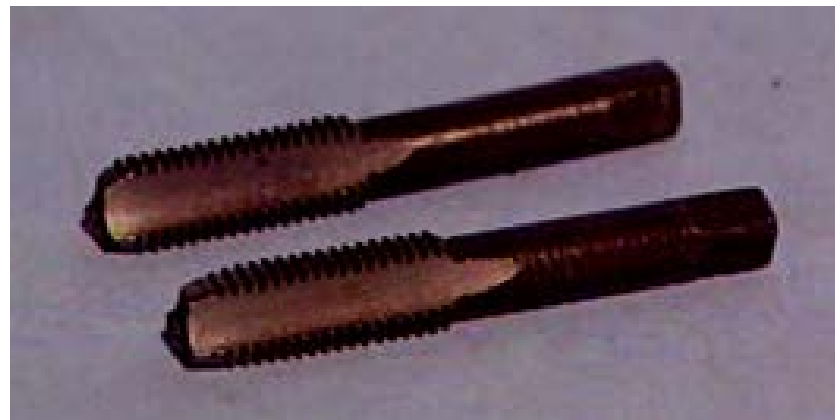


## 20.5.3 用丝锥、板牙加工螺纹

用丝锥加工内螺纹称为攻丝，从外形看丝锥似纵向开有沟槽（形成切削刃和容屑槽）、头部带有锥度（切削部分）的螺杆。攻丝前需按要求尺寸加工出螺纹底孔。



丝锥结构图



丝锥



# 攻丝

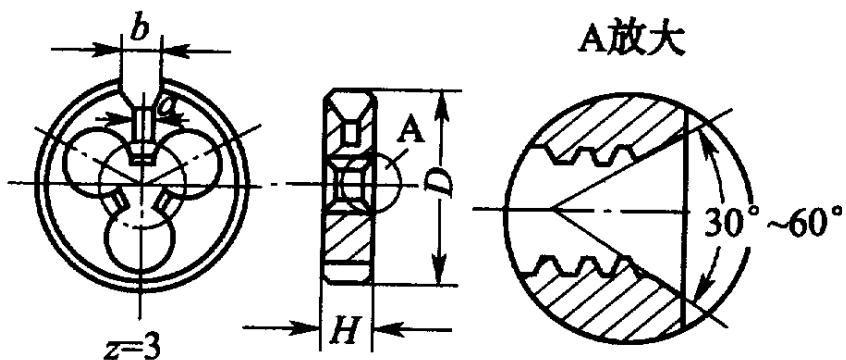


# 板牙

板牙是加工或校正外螺纹用的刀具，板牙外形像钻有三孔（形成切削刃和容屑槽）的螺母，且孔的端部具有 $30^{\circ}$ — $60^{\circ}$ 锥角，以起到切削前引导定位作用。用板牙加工螺纹又称套扣。



扳牙

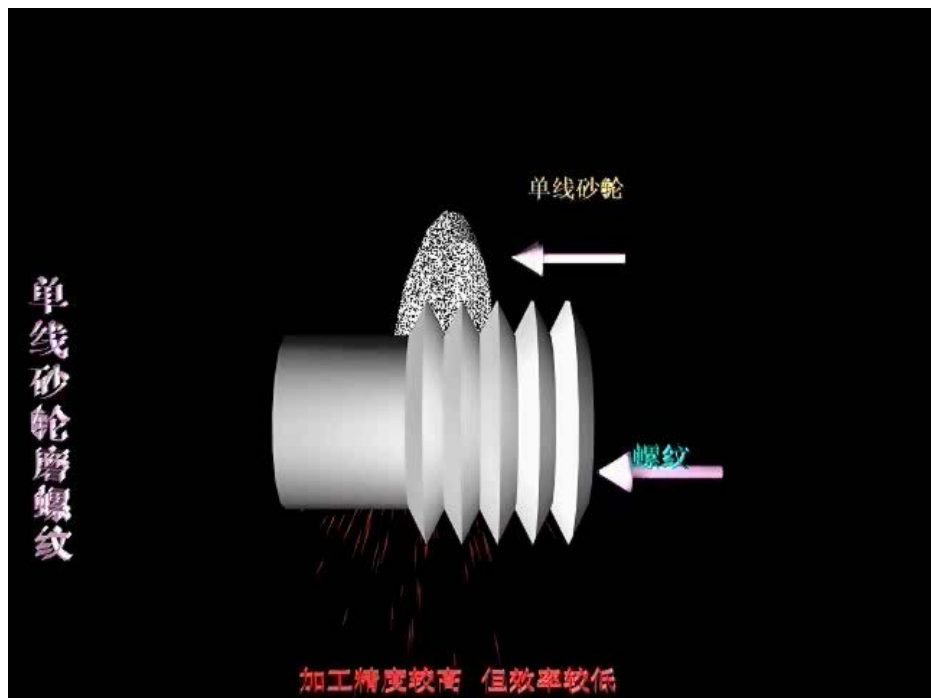


板牙结构

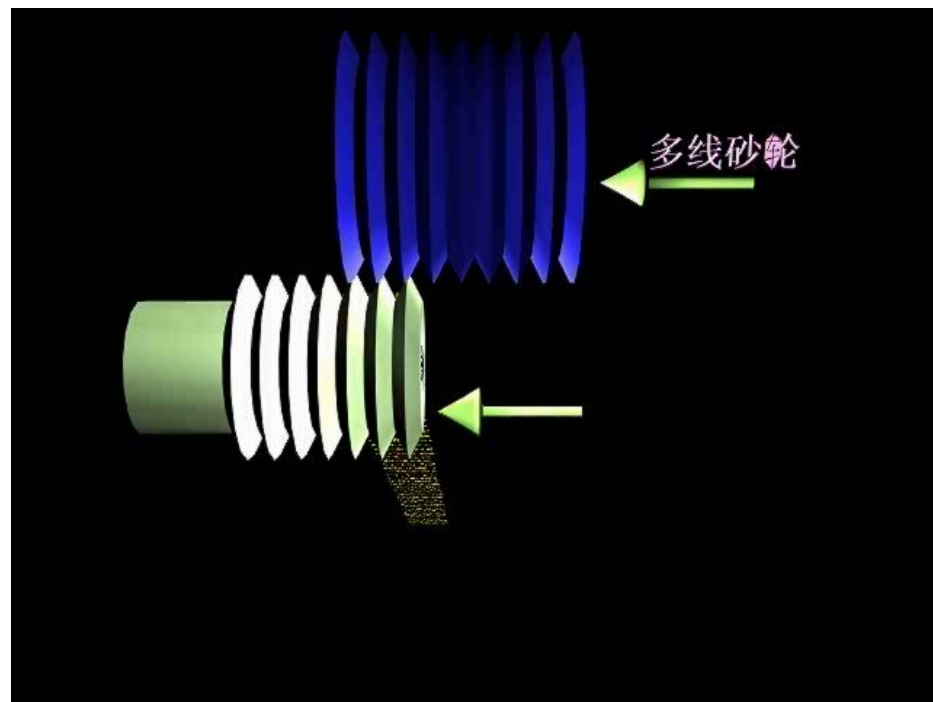
# 板牙



## 20.5.4 磨削螺纹



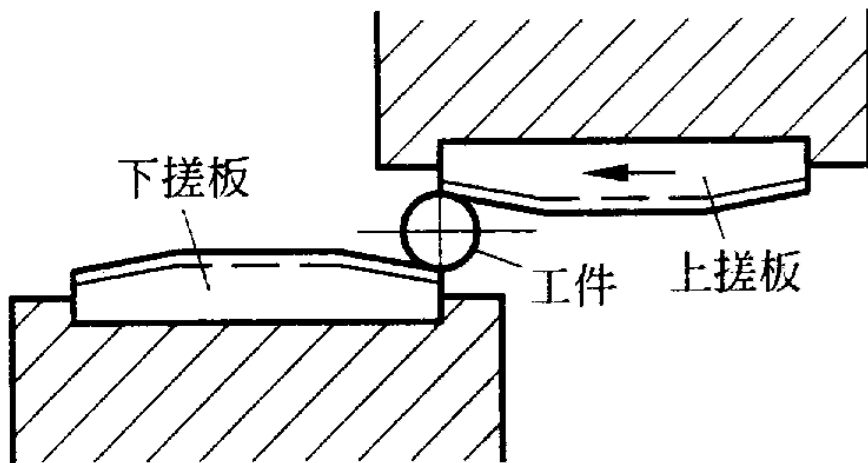
(a) 单片砂轮磨螺纹



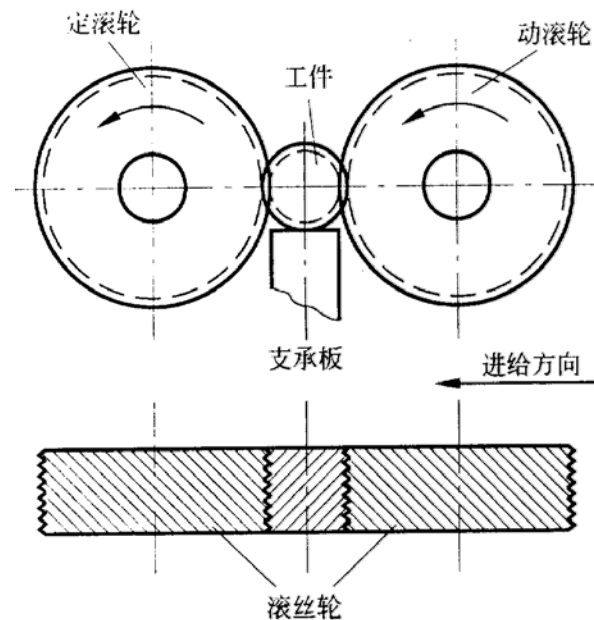
(b) 多片组合砂轮磨螺纹

## 20.5.5 滚压螺纹

螺纹的滚压加工是在室温条件下，利用金属的塑性变形的一种无屑加工方法。

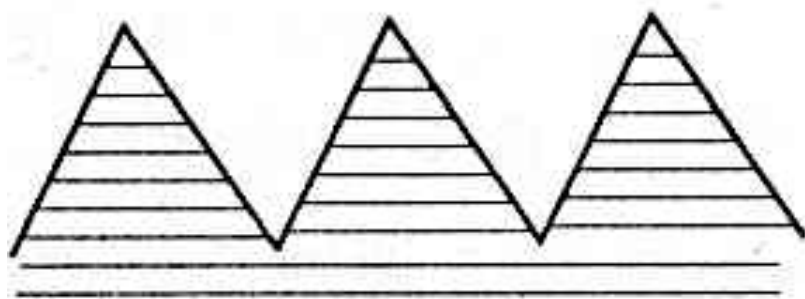


搓板滚压螺纹

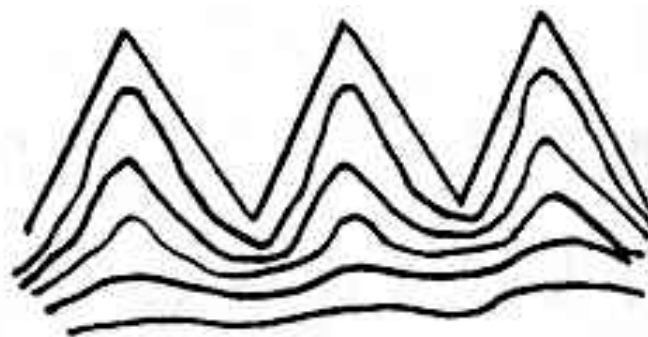


滚丝轮滚压螺纹

# 滚压螺纹与切削螺纹的比较



切削的



滚压的

图 2.3.6 切削和滚压的螺纹断面纤维状态

## 20.6 齿轮加工(齿轮齿形加工)方法

### 20.6.1 概述

- 齿轮齿形的加工，按齿形的形成原理可分为两种类型：
  - 一种为**仿形法**。采用与被切齿轮齿槽形状完全相同的成形刀具，直接切出齿形的加工方法叫做仿形法（或成形法）。最常用的是铣齿法。
  - 另一种为**展成法**（或创成法）。它是利用一对渐开线齿轮，或齿轮齿条相互啮合运动的原理来加工齿形的。展成法加工有滚齿和插齿两种。

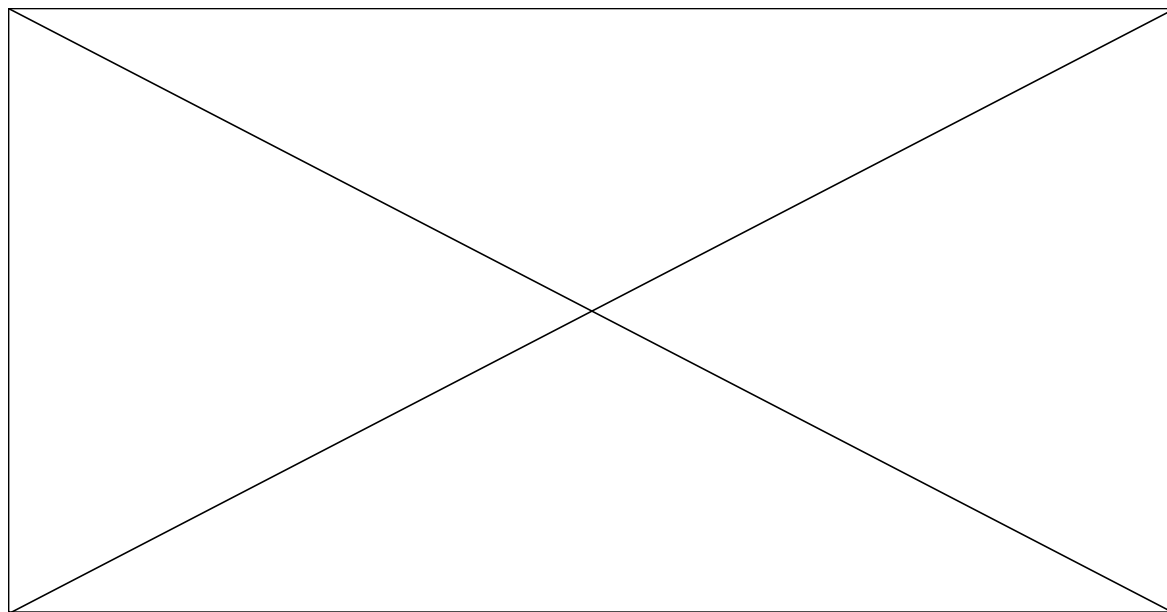


# 仿形法

仿形法是用渐开线齿形的成形铣刀直接切出齿形。常用的刀具有盘形铣刀(图a)和指状铣刀(图b)两种。加工时,铣刀绕本身轴线旋转,同时轮坯沿齿轮轴线方向直线移动。铣出一个齿槽以后,将轮坯转过 再铣第二个齿槽,其余依此类推。

## 特点:

- 精度较低
- 加工效率低
- 适用于修配



## 齿轮加工实例



冲压齿轮

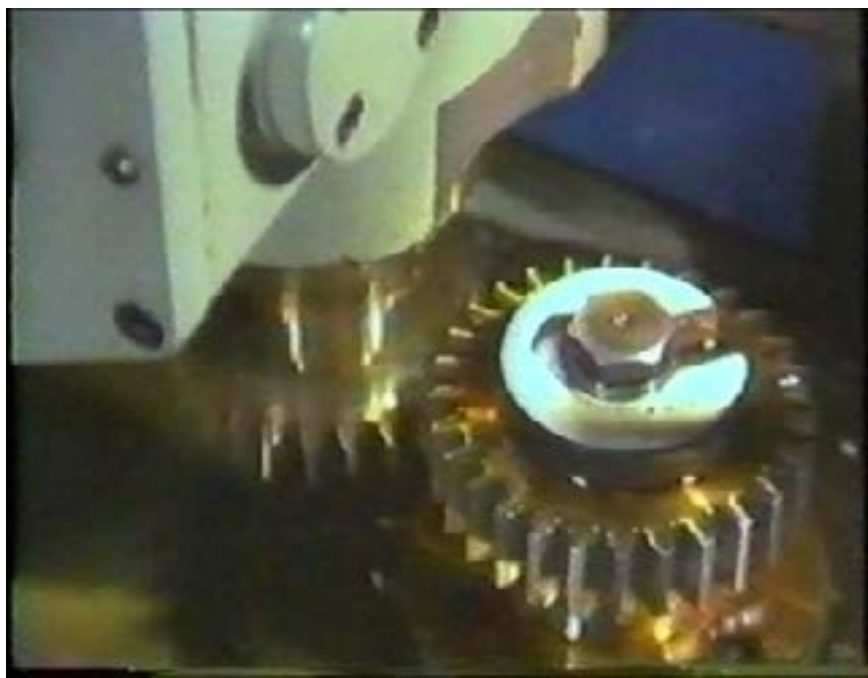
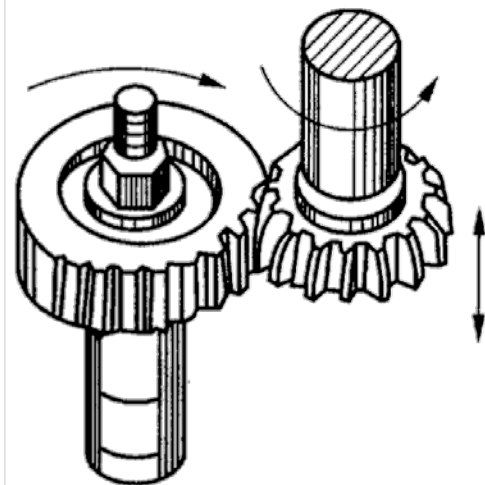


拉刀拉齿

## 20.6.2 滚齿法和插齿法

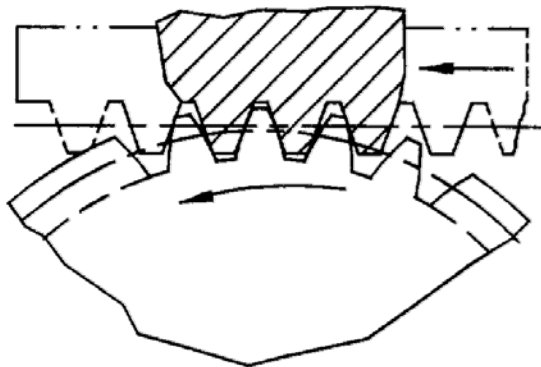
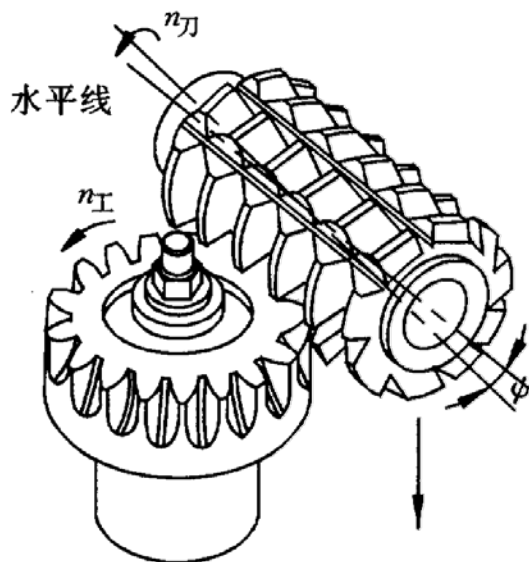
### 20.6.2.1 插齿的加工原理

插齿过程相当于一对圆柱齿轮作啮合运动，其中一个齿轮是工件；另一个齿轮是在每一个齿上磨出前角和后角，这个具有刀刃的齿轮叫插齿刀。切削时插齿刀作上下往复运动，从工件上切除切屑。



## 20.6.2.1 滚齿的加工原理

- 齿轮滚刀可以看成是由很多排齿条装成的。这些齿条的齿形，由于是在螺旋表面上，所以各排之间彼此错开一个距离。这样，滚刀旋转相当于齿条在移动。像齿条与齿轮啮合一样，这个移动着的齿条，其模数、齿形角等都与被加工的齿轮相同。因此能与正在旋转的被加工齿轮相啮合而将齿轮加工出来。

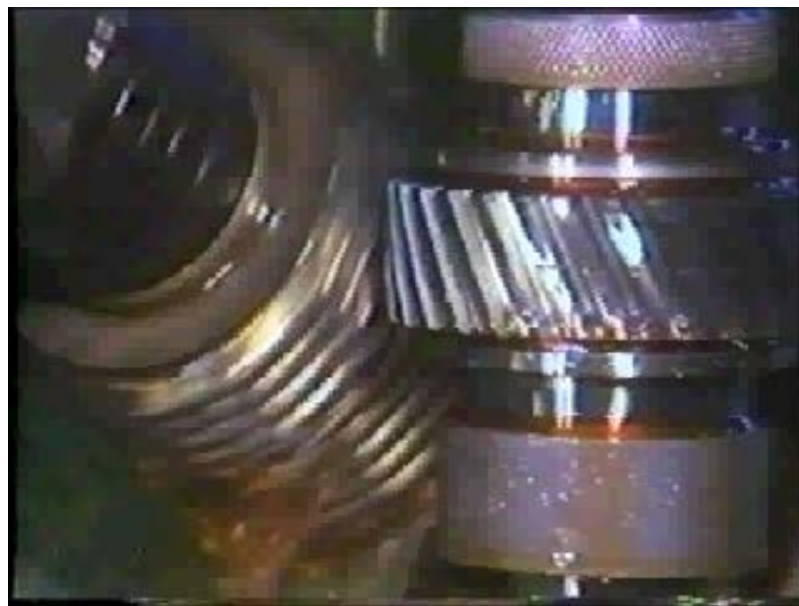




# 滚直齿轮、滚斜齿轮

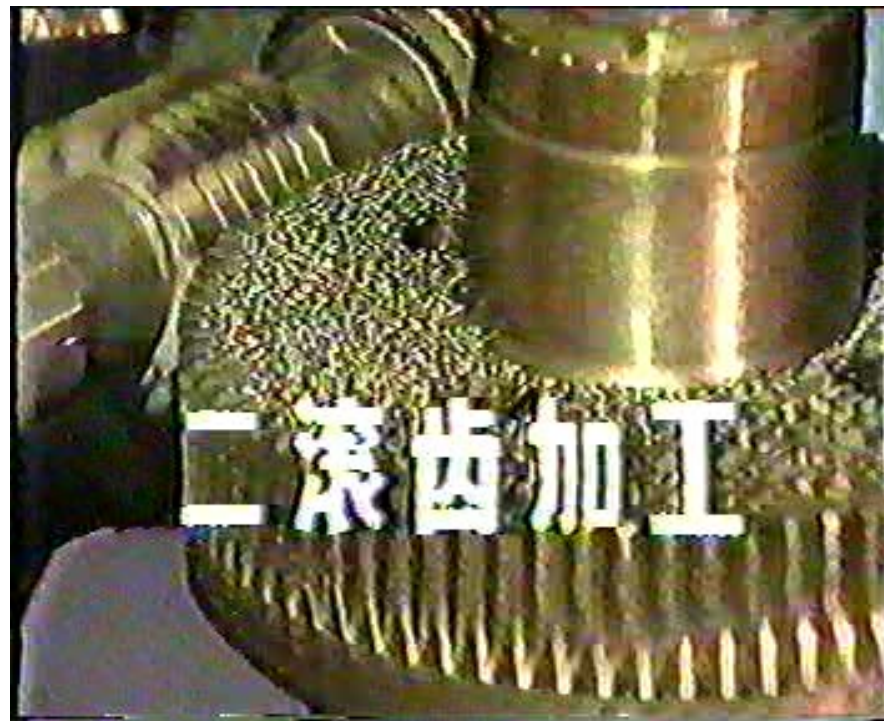


滚直齿轮



滚斜齿轮

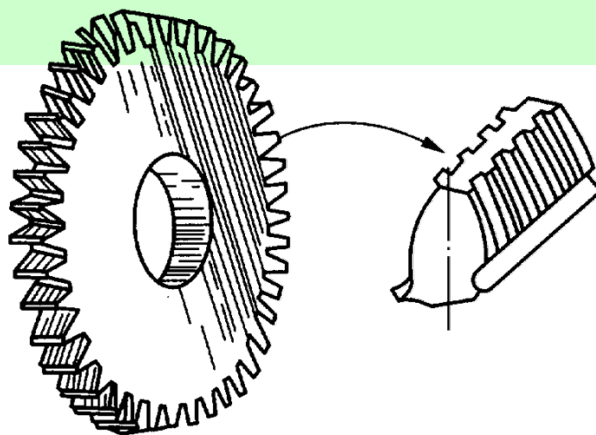
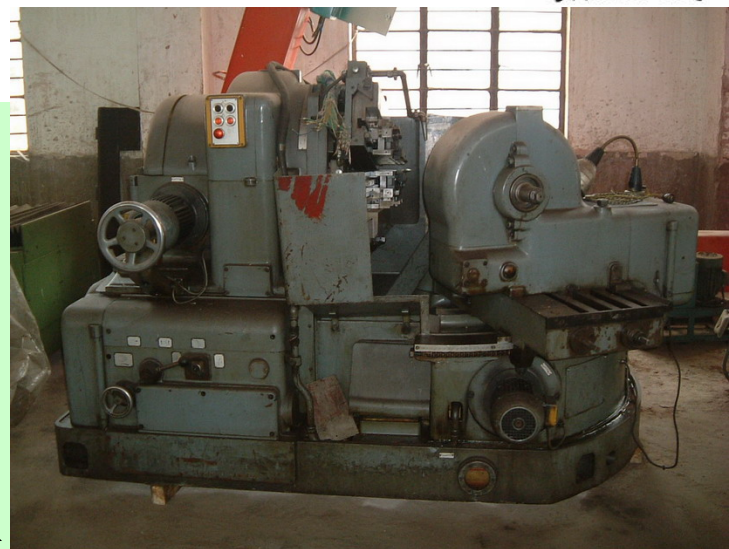
# 插齿、滚齿加工



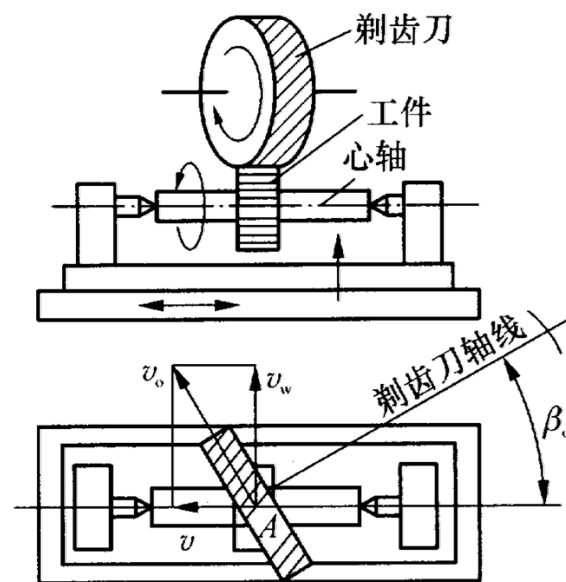
## 20.6.2.3 剃齿原理

剃齿是**精加工未淬火齿轮**的一种方法。经剃齿加工的齿轮，精度可达到6~7级，齿面粗糙度值Ra可达0.8~0.2 $\mu\text{m}$ 。

剃齿时，剃刀与工件是一对无侧隙的螺旋齿轮啮合，盘形剃齿刀可看成是一个高精度的螺旋齿轮，在齿面上沿渐开线方向上做出许多槽，以形成切削刃。



(a) 剃齿刀



(b) 剃齿原理



## 20.6.2.4 齿轮磨削原理

磨齿是齿形加工中精度最高的一种方法。适用于淬硬齿轮的精加工，其精度可达4~6级，表面粗糙度值Ra可达0.8~0.2 $\mu\text{m}$ 。磨齿按加工原理分为仿形法和展成法两类，前者精度较差，应用较少。

- 1 成形砂轮磨削
- 2 利用两个碟形砂轮按展成法磨削
- 3 利用双锥面砂轮按展成法磨削磨齿时，砂轮一面旋转，一面沿齿面快速往复运动。



# 1 成形砂轮磨削

## 2 利用两个碟形砂轮按展成法磨削

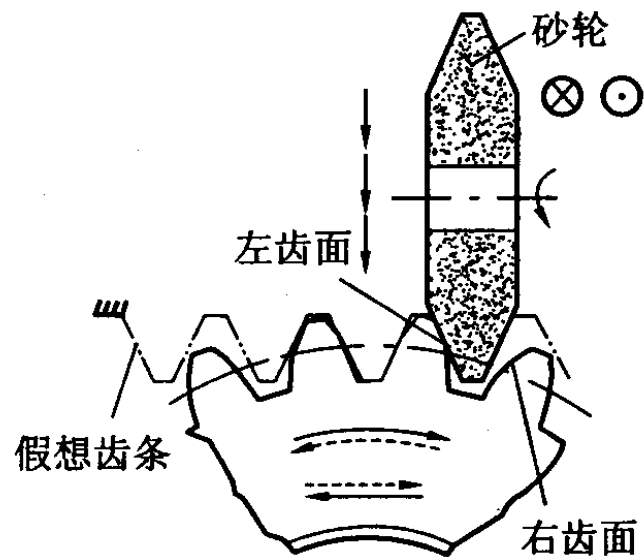
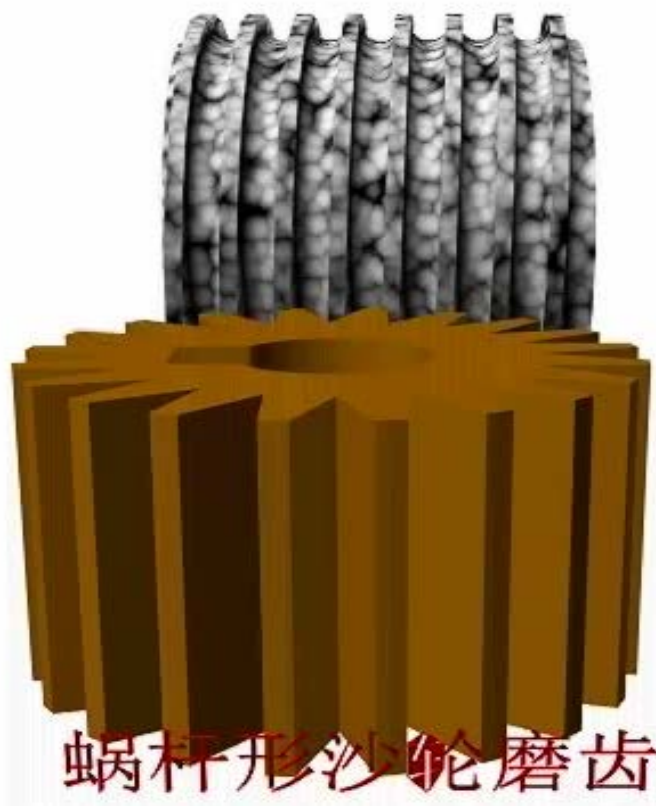


图 20-33 成形砂轮磨齿

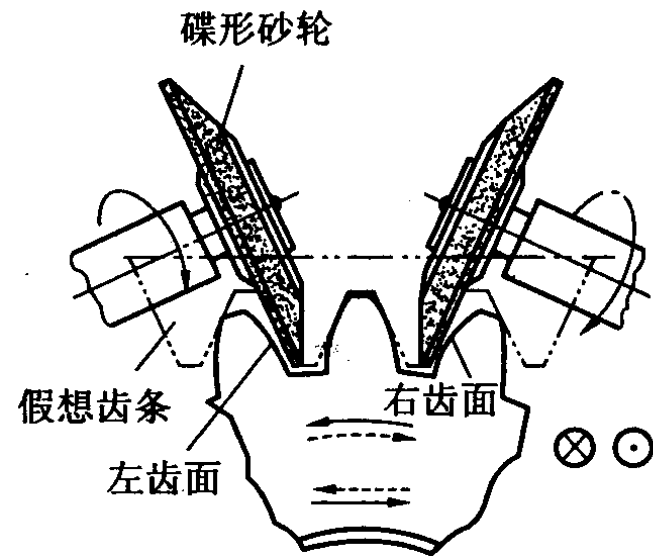


图 20-34 碟形砂轮磨齿

3 利用双锥面砂轮按展成法磨削磨齿时，砂轮一面旋转，一面沿齿面快速往复运动。

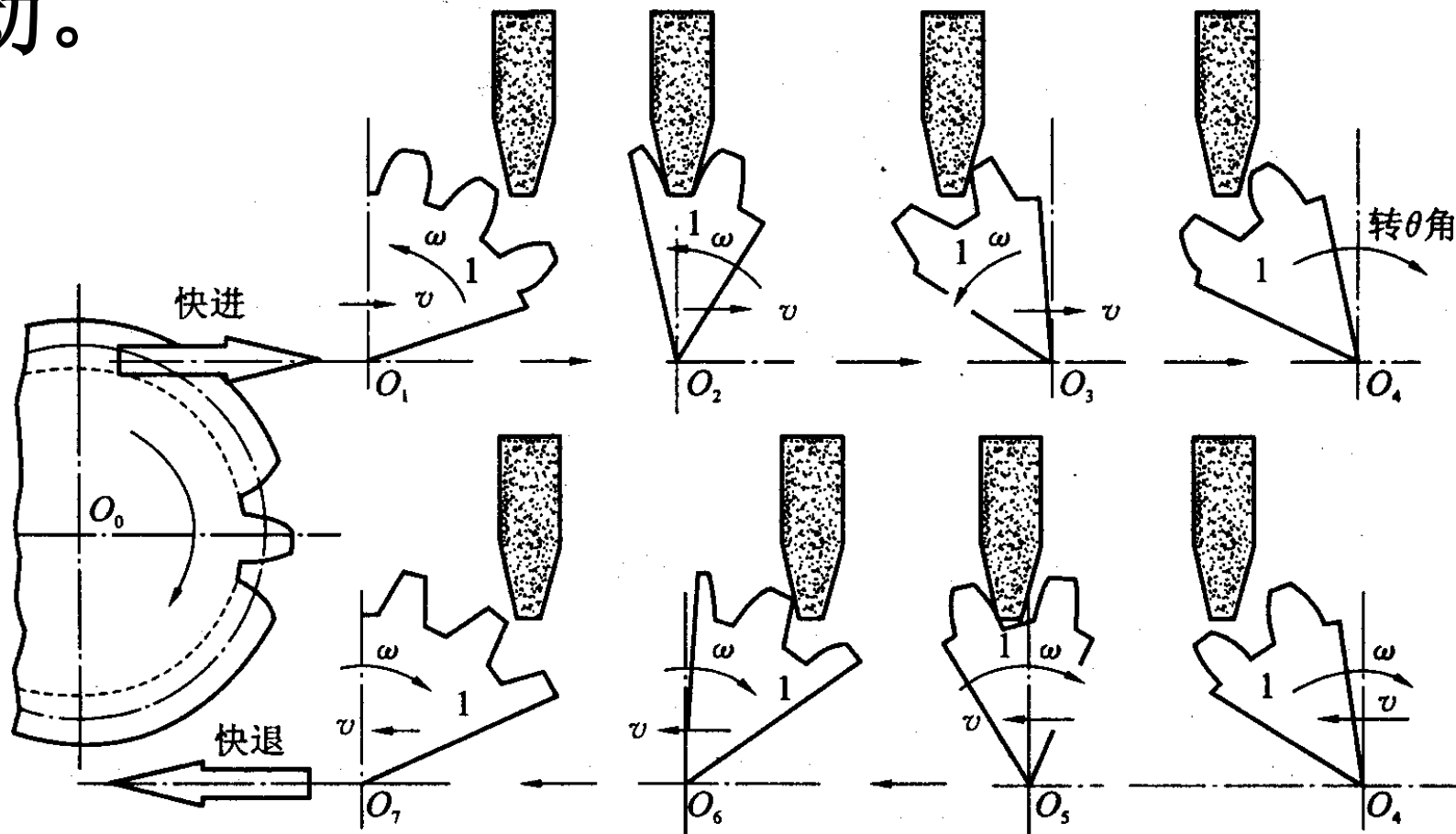


图 20-35 双锥面砂轮磨齿

## 20.6.2.5 研齿

研齿在研齿机上进行，其加工原理如图所示。被研齿轮安装在3个研轮中间，并相互啮合，在啮合的齿面加入研磨剂，电机驱动被研齿轮，带动三个略带负载（或轻微制动状态）的研轮，作无间隙的自由啮合运动。

研齿一般只能降低齿面粗糙度，（ $Ra1.6 \sim 0.2\mu m$ ），不能提高齿形精度。

