

# 《机械制造基础》学习指导

## 第三部分 金属切削和机床

### 知识内容

涵盖金属切削加工概论和机械加工的教学内容

重点：切削加工的基本概念、切削刀具、切削过程中的物理现象、工件材料的切削加工性

金属切削机床的分类及型号编制方法、机械加工

理解：切削加工的基本概念、常用金属切削机床（车床、钻床、铣床、刨床、磨床）的种类、构造及附件。

掌握：切削刀具的材料、刀具的几何形状及角度。

判断出金属的机械性能的优劣。

常用金属切削机床的工艺范围、加工特点和加工方法。

了解：切削过程中的物理现象。

刀具的耐用度、工件材料的切削加工性的概念。

金属切削机床的分类及型号编制方法。

### 知识要点

#### 切削加工的基本概念

**切削运动：**金属切削加工时刀具和工件之间的相对运动。分为主运动和进给运动，这两个运动的向量和称为合成切削运动。如图 3-1 所示。

**主运动：**直接切除工件上的切削层，使之转变为切屑，从而形成工件新表面的运动。主运动是最基本运动，其特征是速度最高、所消耗的功率最大。

**进给运动：**不断地把切削层投入切削，从而加工出全部已加工表面的运动，称为进给运动。

**合成切削运动。**刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称合成切削运动方向，其速度称合成切削速度。

**工件上的加工表面：**待加工表面、已加工表面和过渡表面

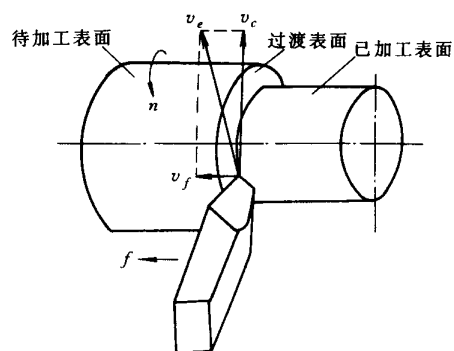


图 3-1 切削运动与工件表面

**待加工表面：**指工件上即将被切除的表面。

**已加工表面：**指工件上被刀具切削后形成的新表面。

**过渡表面：**指工件上由切削刃正在切削着的表面

**切削用量：**切削速度、进给量和背吃刀量三者的总称。切削刃选定点相对于工件的主运动的瞬时速度。

**切削速度  $v_c$ ：**切削刃上各点的切削速度可能是不同的，计算时取最大值。

当主运动为旋转运动（车削加工）时： $v_c = \pi dn/1000$ （ $d$  通常取待加工表面）

**进给量  $f$ ：**工件或刀具每转一转时，两者沿进给方向的相对位移。

**背吃刀量  $a_p$ （切削深度，切深）：**指工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离。

**切削层参数：**切削部分切过工件的一个单程所切除的工件材料层。通常用外圆车削为例说明切削层参数的定义，如图 3-2 所示。

切削层公称厚度  $h_D$  在切削层横剖面内，垂直于过渡表面度量的切削层尺寸称切削层公称厚度。

切削层公称宽度  $b_D$  在切削层横剖面内，沿过渡表面度量的切削层尺寸称切削层公称宽度。

切削层公称横截面积  $A_D$  切削层横剖面的面积，即切削层公称厚度与切削层公称宽度的乘积。

### 切削刀具

**刀具材料：**通常讨论刀具切削部分材料要满足的：高硬度、高耐磨性、有足够的强度和韧性、热硬性。

常用的刀具材料有：

**碳素工具钢：**牌号有 T10、T10A、T12、T12A 等，常用于制作低速、不受冲击载荷、需要高硬度和耐磨性的各种手工刀具。

**合金工具钢：**常用的牌号有 CrWMn、9SiCr 等，常用于制作低速，复杂的刀具。

**高速工具钢：**应用的牌号是 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 和 W9Mo3Cr4V。特别适用于制作各种结构复杂的孔加工刀具和成形刀具。

**硬质合金：**为三类：P 类相当于我国的 YT 类、K 类相当于我国的 YG 类；M 类相当于我国的 YW 类。主要用于制作简单刀具。

**其它刀具材料：**有陶瓷材料、涂层硬质合金、人造金刚石、立方氮化硼 (CBN)。

**刀具的几何形状及角度：**切削部分（承担切削工作，刀头），对于外圆车刀主要由三个刀面、两个切削刃，一个刀尖组成。

**前刀面  $A_f$ ：**刀具上切屑流过的表面。

**主后刀面  $A_a$ ：**与工件上过渡表面相对的刀面。

**副后刀面  $A'_a$ ：**与工件上已加工表面相对的刀面。

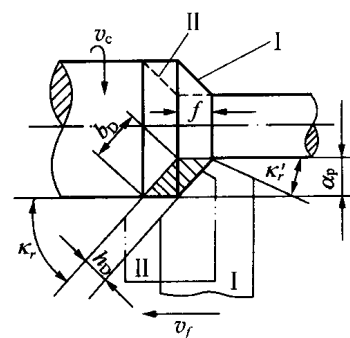


图 3-2 切削层参数

**主切削刃  $S$**  刀具前刀面与主后刀面的交线，它担负着主要的切削工作。

**副切削刃  $S'$**  刀具前刀面与副后刀面的交线，它配合主切削刃担负着一定切削工作。

**刀尖** 指主切削刃与副切削刃的连接处相当少的一部分切削刃，它可以是直线、曲线或实际交点。

对于切断车刀有两个刀尖、两个副切削刃。

**刀具标注角度的正交平面参考系**，正交平面参考系由以下三个平面组成，如图 3-3 所示，

**基面  $P_r$**  过切削刃上选定点垂直于主运动方向的平面；它平行或垂直于刀具在制造、刃磨及测量时适合于安装的平面或轴线。

**切削平面  $P_s$**  过切削刃上选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面。

**正交平面  $P_0$**  过切削刃上选定点并同时垂直于切削平面与基面的平面。

**刀具的标注角度**

**前角  $\gamma_0$**  在正交平面内度量的前刀面与基面之间的夹角。

**后角  $\alpha_0$**  在正交平面内度量的后刀面与切削平面之间的夹角。

**楔角  $\beta_0$**  在正交平面内度量的前刀面与后刀面之间的夹角。

**主偏角  $\kappa_r$**  主切削刃在基面上的投影与进给方向的夹角，只有正值。

**副偏角  $\kappa'_r$**  副切削刃在基面上的投影与进给方向的夹角，只有正值。

**刀尖角  $\varepsilon_r$**  在基面内度量的主切削刃与副切削刃之间的夹角，只有正值。

**副后角  $\alpha'_0$**  在副切削刃上选定点的副正交平面  $P'_0$  内，副后面与副切削平面间的夹角。

**刀倾角  $\lambda_s$**  在切削平面内度量的主切削刃与基面之间的夹角。

**刀具磨损的过程。** 刀具磨损过程可分

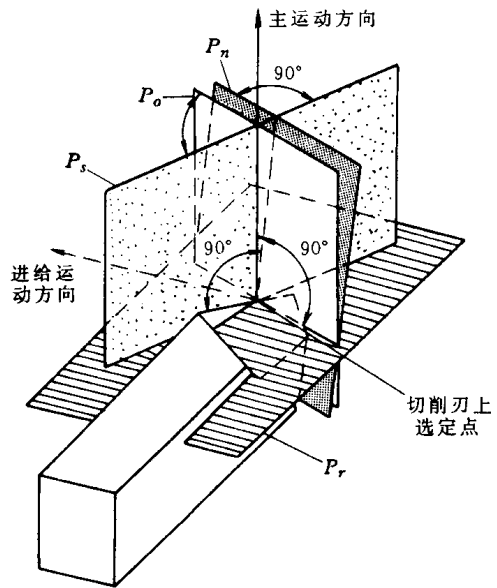
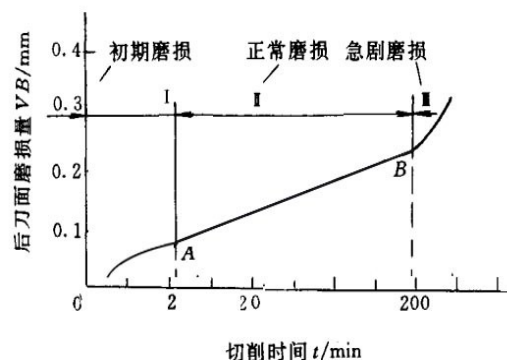


图 3-3 正交平面与法平面参考系



为三个阶段，如图 3-4 所示：

初期磨损阶段（OA 段），在切削时间短时后刀面磨损得比较快。

正常磨损阶段（AB 段），磨损随时间增长而增加，但比较缓慢。

急剧磨损阶段（B 点后曲线），刀具与工件之间接触状况恶化，切削力、摩擦力及切削温度急剧上升，磨损急剧增加。

**刀具耐用度：**指刀具由开始切削一直到磨钝标准为止的切削时间。影响刀具耐用度的因素主要有工件材料，刀具材料和切削用量等。

**切屑形成过程：**经历了“挤压、滑移、挤裂、切离”四个阶段。切屑的类型有带状切屑、节状切屑、单元切屑和崩碎切屑。

其中带状切屑容易缠绕在刀具或工件上，损伤已加工表面，也危害操作者安全，应采取适当的断屑措施。

**积屑瘤：**在中速切削塑性材料时，接近刀具前刀面处的切屑底层金属层与刀具前刀面产生粘结、硬化、堆积形成了积屑瘤。积屑瘤发生局部断裂或脱落而周期性的时生时灭。

控制积屑瘤产生的措施：精加工时要消除积屑瘤，粗加工时可利用积屑瘤。防止、抑制积屑瘤产生的措施有多种：降低切削速度，或采用高速切削、采用润滑性能好的切削液、增加刀具前角、通过热处理适当提高工件材料的硬度。

**切削力：**切削力的来源有两个方面：一是切削层金属、切屑和工件表面层金属的弹性变形、塑性变形所产生的抗力；二是刀具与切屑、工件表面间的摩擦阻力。包括主切削力  $F_c$ 、进给力  $F_f$  和背向力  $F_p$ 。

**影响切削力的因素：**工件材料的强度、硬度越高，切削力也就越大；背吃刀量增大切削力  $F_c$  也成倍增大；进给量增大一倍切削力  $F_c$  增大不到一倍；切削速度影响通常讨论中速和高速切削，一般切削力一般随着  $v_c$  的增大而减小。还包括刀具几何参数的影响、切削液、刀具材料等因素。

**切削热与切削温度：**是一个热平衡的过程，如公式所述

$$Q = Q_e + Q_t + Q_w + Q_m) :$$

式中  $Q_e$ ——单位时间内传给切屑的热量（J / s）；

$Q_t$ ——单位时间内传给刀具的热量（J / s）；

$Q_w$ ——单位时间内传给工件的热量（J / s）；

$Q_m$ ——单位时间内传给周围介质的热量（J / s）。

**工件材料的切削加工性：**良好的切削加工性一般包括：

- 在相同的切削条件下刀具有较高的耐用度；能够采用较高的切削速度；
- 在相同的切削条件下，切削力或切削功率小，切削温度低；
- 容易获得良好的表面加工质量；
- 容易控制切屑的形状或容易断屑。

影响材料切削加工性的主要因素

- 硬度和强度。工件材料的硬度、强度越高，切削加工性能差。
- 塑性和韧性。强度相同，塑性和韧性大的材料，切削加工性也好。
- 热处理。钢中的珠光体有较好的切削加工性，而铁素体和渗碳体则较差。

改善材料切削加工性的基本方法：选择材料中适当的化学元素、采用适当的热处理、采用新的切削加工技术。

**机械加工：**常用的加工方法有车削、铣削、刨削、钻削与镗削、磨削和特种加工。

**车削：**主运动为主轴的回转运动，进给运动通常为刀具的直线运动。

**铣削：**主运动是刀具的旋转运动，进给运动是工件的直线运动、回转运动或曲线运动。

铣削有逆铣和顺铣两种方式：逆铣时摩擦严重，切削温度升高，已加工表面粗糙度增大；易产生振动而影响表面粗糙度。

顺铣时切削平稳。但工作台进给丝杠与螺母之间存在间隙突然窜动出现爬行啃刀、引起刀杆弯曲、刀齿折断。

**刨削：**刀具的直线往复运动为主运动，工作台的横向间歇移动为进给运动。在龙门刨床上，工作台的直线往复运动为主运动，刀具的间歇移动为进给运动，

**钻削与镗削：**钻头旋转和轴向移动为主运动。在实体材料上加工出孔的方法，称为钻削。镗削中镗刀作旋转的主运动，

**磨削：**用砂轮或其它磨具对工件表面进行切削加工的方法称为磨削。

**特种加工：**指电火花加工、电解加工、超声波加工、激光加工、电子束加工等非传统加工方法的总称。

金属切削机床型号的型号构成：

类代号，用大写的汉语拼音字母表示。见表 3-1。

表 9-1 机床的类别和分类代号

| 类别 | 车床 | 钻床 | 镗床 | 磨床 |    |    | 齿轮加工机床 | 螺纹加工机床 | 铣床 | 刨插床 | 拉床 | 锯床 | 其它机床 |
|----|----|----|----|----|----|----|--------|--------|----|-----|----|----|------|
| 代号 | C  | Z  | T  | M  | 2M | 3M | Y      | S      | X  | B   | L  | G  | Q    |
| 读音 | 车  | 钻  | 镗  | 磨  | 二磨 | 三磨 | 牙      | 丝      | 铣  | 刨   | 拉  | 割  | 其    |

例如 C6140 型卧式车床型号表示卧式车床，“61”说明它属于车床类 6 组（卧式）、1 型，主参数“40”表示最大车削直径为 400mm。

机床的传动：最常见的是机械传动和液压传动。机床上的回转运动多为机械传动。

机床上常用的传动副（用来传递运动和动力的装置）有带传动、齿轮传动、齿轮齿条传动、蜗轮蜗杆传动及螺杆传动。若已知带轮直径，齿轮齿数等具体数值，则可确定传动链中任何一轴的转速。

机床的传动系统 参考教材图 9-4 的 C6132 型卧式车床的传动系统图，它是反映机床全部运动传递关系的示意图。图中：罗马数字表示传动轴的编号，阿拉伯数字表示齿轮齿数或带轮直径，字母 M 表示离合器等

（1）主运动传动链 C6132 车床的主运动传动链的两末端件是电动机和主轴，主运动传动链为：

$$\left\{ \begin{array}{c} \frac{33}{22} \\ \frac{19}{34} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{c} \frac{34}{32} \\ \frac{28}{39} \\ \frac{22}{45} \end{array} \right\} \frac{\phi 176}{\phi 200} \left\{ \begin{array}{c} M_1 \\ -V- \end{array} \right\}$$

5

电动机-I-

--II--III-IV-

-主轴VI (1440r/min)

主轴可获得  $2 \times 3 \times 2 = 12$  级转速，其反转是通过电动机反转实现的。

(2) 进给运动传动链 进给运动传动链是使刀架实现纵向或横向运动的传动链。传动链的两末端件主轴和刀架，其进给运动传动链为：

$$\begin{aligned}
 & \text{主轴 VI} - \left\{ \begin{array}{l} \frac{55}{55} \\ \frac{55}{35} - \text{VII} - \frac{35}{55} \end{array} \right\} - \text{VIII} - \frac{29}{58} - \text{IX} - \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \text{XI} - \left\{ \begin{array}{l} \frac{27}{24} \\ \frac{21}{24} \\ \frac{27}{36} \\ \frac{30}{48} \\ \frac{26}{52} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \frac{39}{39} \cdot \frac{52}{26} \\ \frac{26}{52} \cdot \frac{52}{26} \\ \frac{39}{39} \cdot \frac{26}{52} \\ \frac{26}{52} \cdot \frac{26}{52} \end{array} \right\} - \text{XVI} - \left\{ \begin{array}{l} \frac{39}{39} \cdot \frac{52}{26} \\ \frac{26}{52} \cdot \frac{52}{26} \\ \frac{39}{39} \cdot \frac{26}{52} \\ \frac{26}{52} \cdot \frac{26}{52} \end{array} \right\} \\
 & \quad \quad \quad \text{(变向机构)} \quad \quad \quad \text{(交换齿轮)} \quad \quad \quad \text{(增倍机构)} \\
 & \frac{39}{39} - \text{XIV} - \text{光杠} - \frac{2}{45} - \left\{ \begin{array}{l} \frac{24}{60} - \text{XVII} - M_{\text{左}} - \frac{25}{55} - \text{XVIII} - \text{齿轮、齿条} - \text{刀架} \\ M_{\text{右}} - \frac{38}{47} \cdot \frac{47}{13} - \text{横进给丝杠} - \text{刀架} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(} z=14, m=2 \text{)} \text{ (纵向进给)} \\ \text{(} P=4 \text{)} \text{ (纵向进给)} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{具铣} \\ \text{床} \end{array}
 \end{aligned}$$

刨床有牛头刨床如 B665 和龙门刨床等。刨削的工艺特点是加工成本低，通用性好、生产率较低。

钻床（类别代号 Z）主要类型有台式钻床、立式钻床、摇臂钻床、数控钻床和专门化钻床。工艺特点：钻头的刚性差、定心作用也很差，易导致钻孔时的孔轴线歪斜、出现孔径扩大现象、排屑困难，使得已加工表面质量不高。

镗床（类别代号 T）的主要类型有普通卧式镗床、坐标镗床、金刚镗床和镗加工中心等。工艺特点：镗孔质量高、镗孔的生产率多变、镗孔适应性广、镗床设备及其调整、操作难度较大复杂。

磨床（类别代号 M）主要类型有外圆磨床、内圆磨床、平面磨床、工具磨床等。工艺特点：精度高、可磨削硬度高的材料、磨削径向力大使得轴类工件呈腰鼓形状、工件表面易烧伤。