



河海大学  
HOHAI UNIVERSITY

机电工程学院

# 第一章 切削与磨削过工程

## 1.1.1 切削加工的基本知识

金属切削加工是利用刀具切除工件毛坯上多余的金属，从而使工件达到规定的几何形状、加工精度和表面质量的机械加工方法。

**切削加工必须具备三个条件：**

- ◆ 刀具与工件之间要有相对运动；
- ◆ 刀具具有适当的几何参数，即切削角度等；
- ◆ 刀具材料具有一定的切削性能；

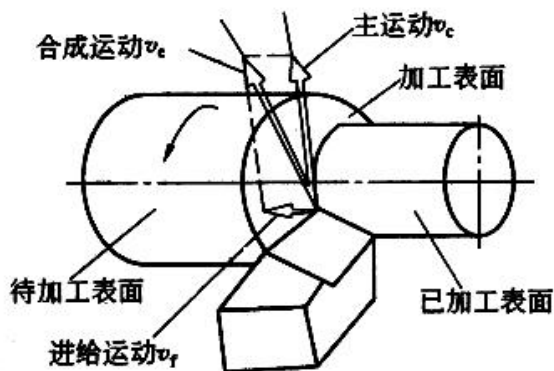
## 1. 切削运动

在切削加工中，为了切除多余材料，刀具和工件之间必须有相对运动，即**切削运动**。

切削运动：**主运动、进给运动**

### (1) 主运动

进行切削的最基本的运动，速度最高，消耗切削功率最大。



数量：一个；

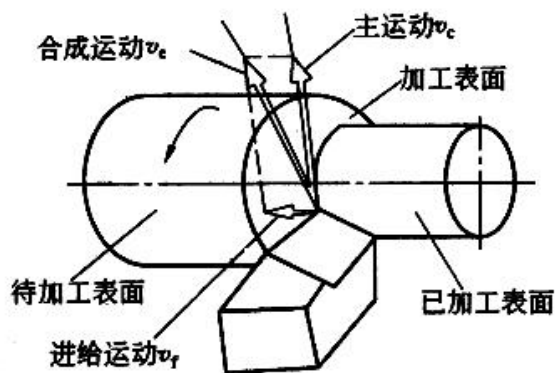
形式：旋转、直线；

实施者：工件、刀具；

外圆车削的切削运动与加工表面

## (2) 进给运动

不断地把切削层投入切削，以便形成整个工件表面所需的运动。  
一般速度较低，功率消耗较少；



外圆车削的切削运动与加工表面

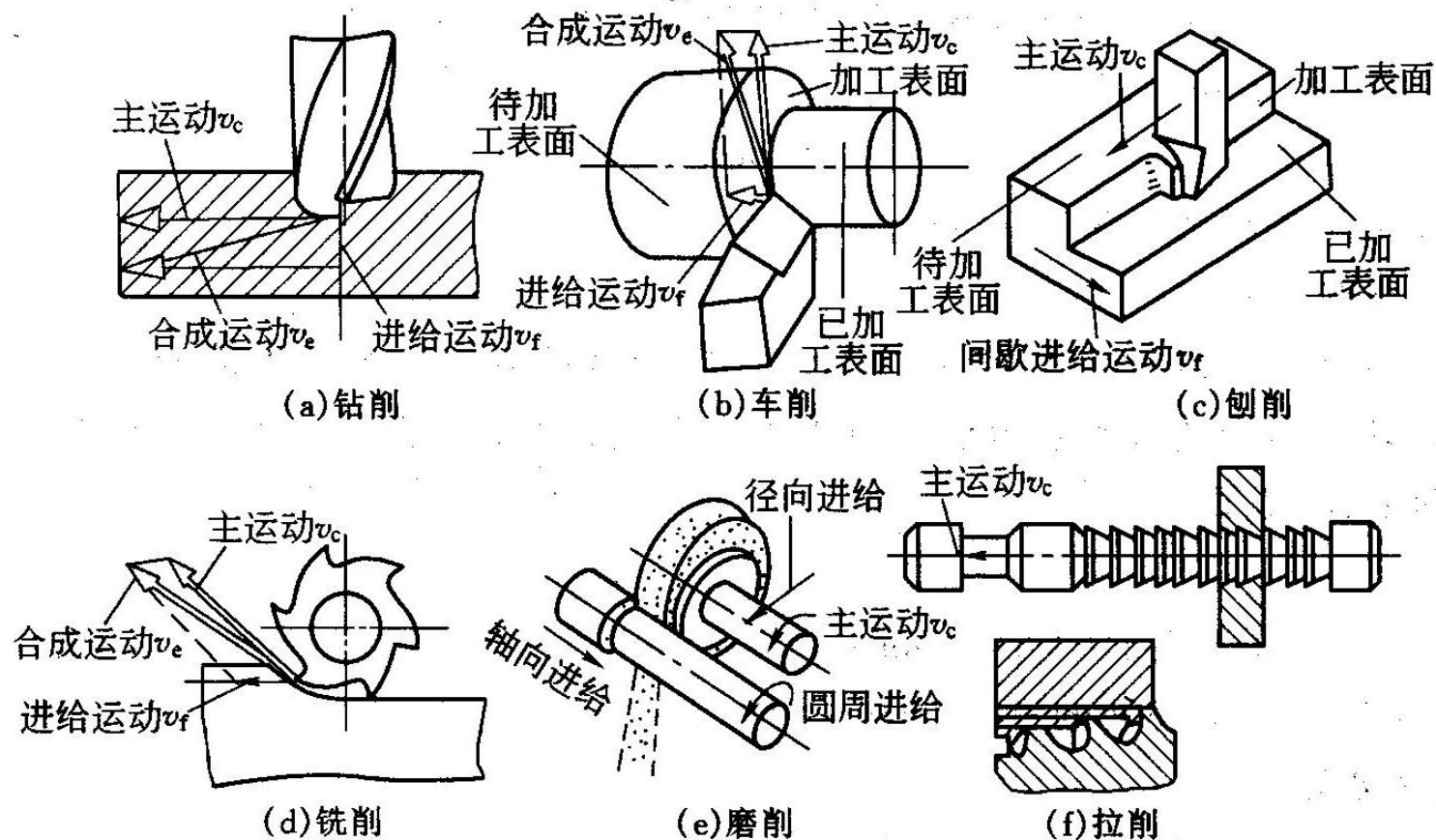
数量：一个或多个；

形式：旋转、直线或二者组合；

实施者：工件、刀具；

连续性：连续、断续

## 各种加工的切削运动



各种加工的切削运动

## 2. 切削时的工件表面

在切削加工中，工件上通常存在三个不断变化的表面。

### (1) 已加工表面

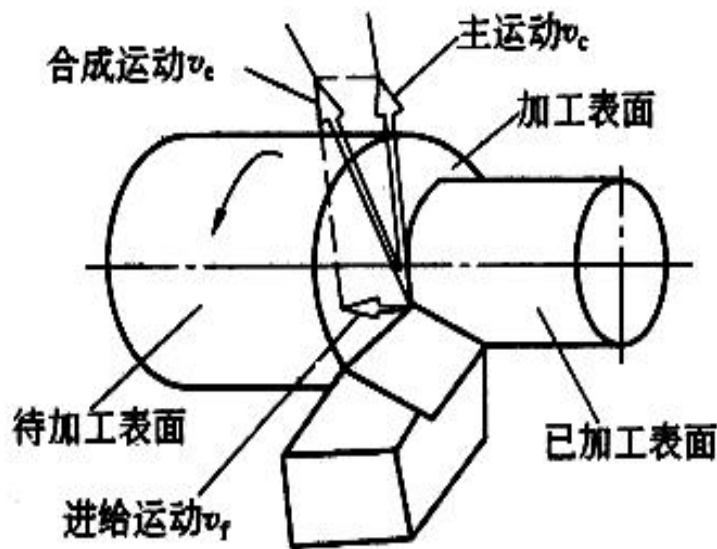
已被切去多余金属而形成的符合要求的工件新表面。

### (2) 待加工表面

加工时即将被切除的工件表面。

### (3) 过渡表面（加工表面）

加工时由切削刃在工件上正在形成的表面，介于上述两者之间。



外圆车削的切削运动与加工表面

## 3. 切削用量

切削速度、进给量和背吃刀量（切削深度）总称为切削用量，又称为切削用量三要素。

### (1) 切削速度 $v_c$

刀具切削刃上选定点相对于工件的主运动速度。

◆ 当主运动为旋转运动时：

$$v_c = \pi d n / 1000$$

$v_c$ ——切削速度，m/s或m/min；

$d$ ——完成主运动的工件或刀具的直径，mm；

$n$ ——主运动转速，r/s或r/min

## 3. 切削用量

### (2) 进给量 $f$

在主运动每转一转或每完成一个行程时，刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量，表示进给运动速度大小。

进给量：每转或每行程进给量、每齿进给量 $f_z$ （用于铣刀、铰刀等多刃刀具，mm/z）

◆ 当主运动为旋转运动时：

$$v_f = f \times n = f_z \times z \times n \quad (\text{mm/s or mm/min})$$

$n$ ——主轴转速；

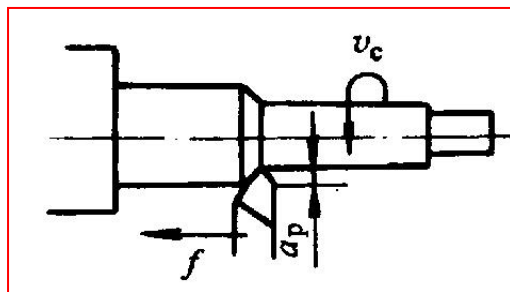
$z$ ——刀具齿数；



## 3. 切削用量

### (3) 背吃刀量 (切削深度) $a_p$

在主运动方向和进给运动方向所组成的平面的法线方向上测量得到切削刃与工件切削表面的接触长度。



◆ 外圆车削:

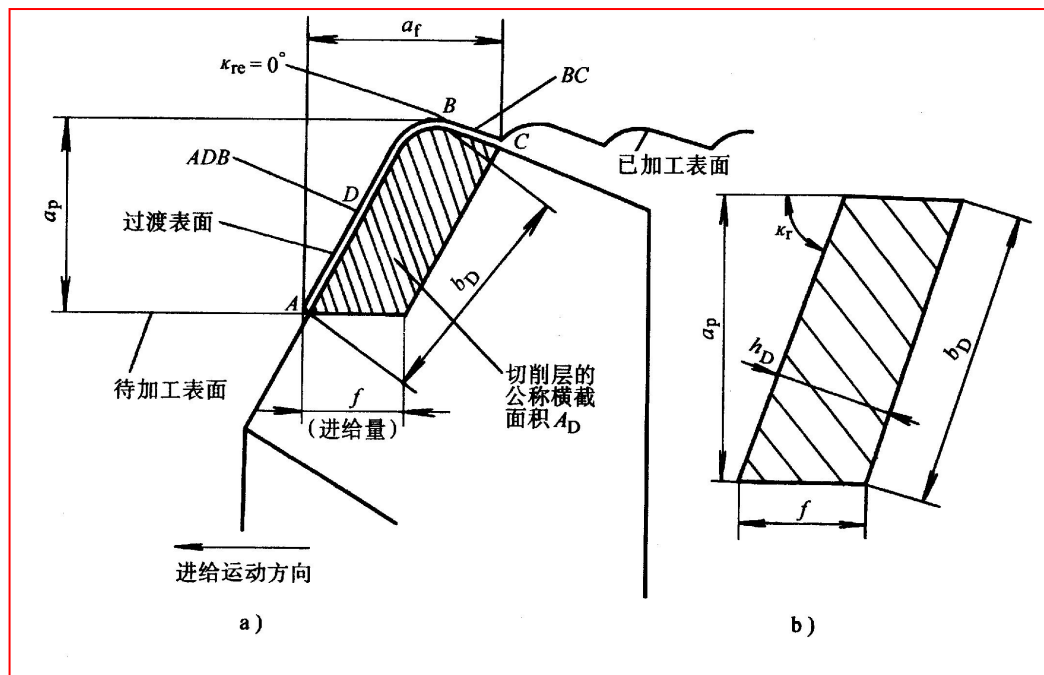
$$a_p = (d_w - d_m) / 2$$

$d_w$ ——工件待加工表面直径, mm;

$d_m$ ——工件已加工表面直径, mm;

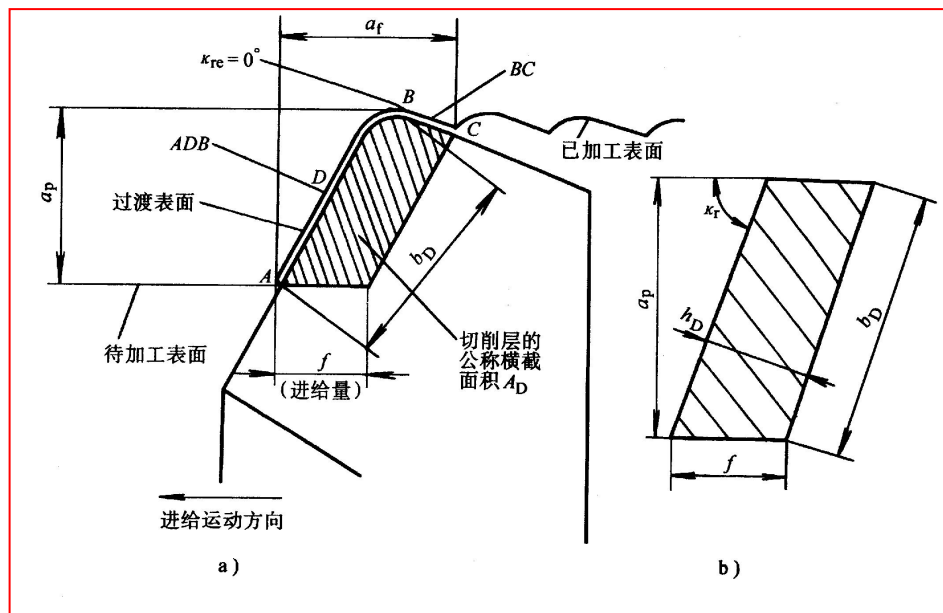
## 4. 切削层参数

指切削过程中，由刀具在切削部分的一个单一动作所切除的工件材料层。



## (1) 切削层公称厚度 $h_D$

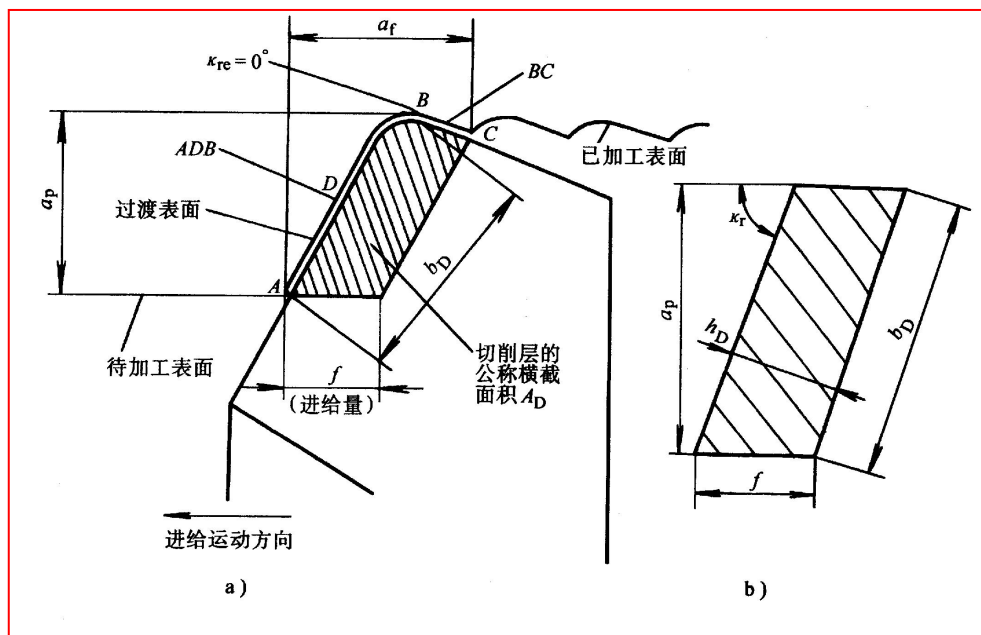
**定义：** 垂直于过渡表面测量的切削层尺寸（相邻两过渡表面之间的距离），用  $h_D$  表示。（反映了切削刃单位长度上的切削负荷）



$$h_D = f \cdot \sin \kappa_r \quad (\text{mm})$$

## (2) 切削层公称宽 $b_D$

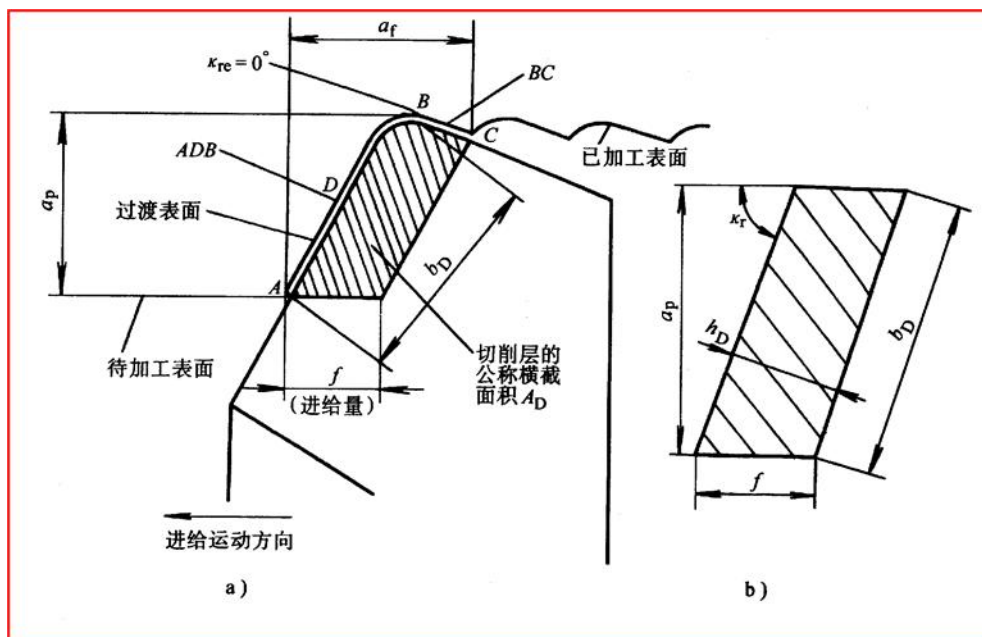
定义：沿过渡表面测量的切削层尺寸，用  $b_D$  表示。（反映切削刃参加切削的工作长度）



$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (\text{mm})$$

## (3) 切削层公称横截面 $A_D$

**定义：**切削层在切削层尺寸平面内的**实际**横截面积，用 $A_D$ 表示。



$$A_D = h_D b_D = f a_p \quad (\text{mm}^2)$$

## 1.1.2 刀具的几何参数

以普通外圆车刀为代表确定刀具切削部分的基本定义。

### 1. 刀具切削部分的组成

(1) 前刀面  $A_f$

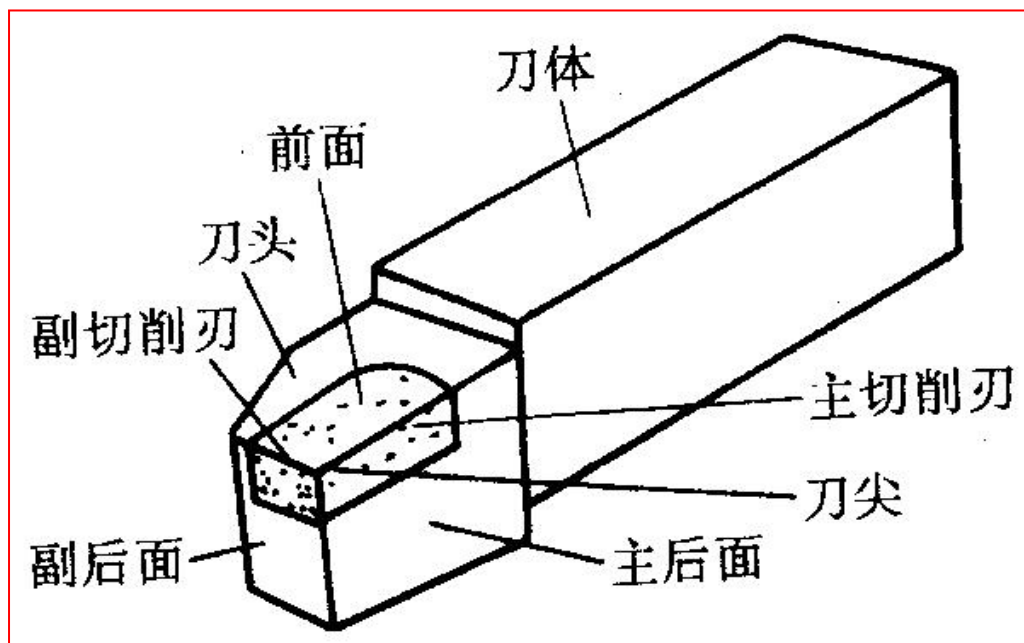
(2) 主后刀面  $A_\alpha$

(3) 副后后面  $A'_\alpha$

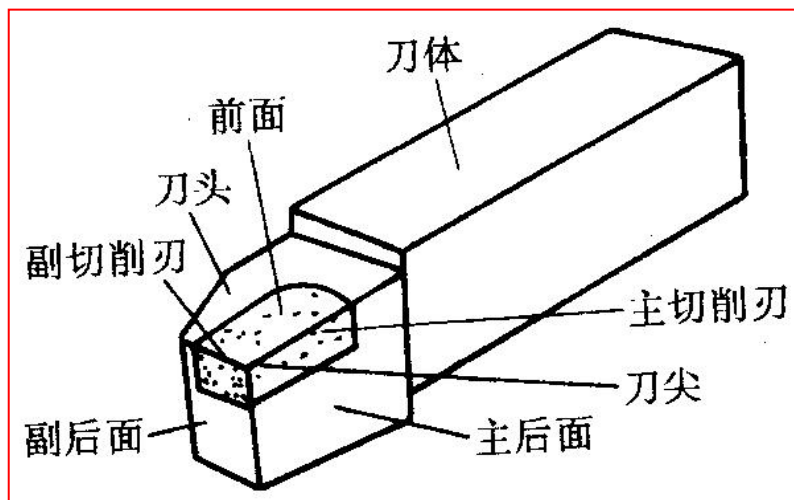
(4) 主切削刃  $s$

(5) 副切削刃  $s'$

(6) 刀尖



- (1) 前刀面 (前面)  $A_\gamma$ : 切屑流过的表面
- (2) 主后刀面  $A_\alpha$ : 与工件上新形成的过渡表面相对的刀具表面
- (3) 副后刀面  $A'_\alpha$ : 与工件上已加工表面相对的刀具表面
- (4) 主切削刃  $S$ : 前刀面与主后刀面的交线
- (5) 副切削刃  $S'$ : 前刀面与副后刀面的交线
- (6) 刀尖: 主切削刃与副切削刃的连接处相当短的一部分切削刃。



## 2. 刀具角度的参考系

要确定和测量刀具角度，必须引入一个空间坐标参考系。

刀具角度参考系：

- ◆ 刀具标注角度参考系：设计、标注、测量、刃磨的基准；
- ◆ 刀具工作角度参考系：实际切削运动中的角度基准；



## 2. 刀具角度的参考系

### (1) 刀具标注角度参考系

#### ◆ 刀具标注角度参考系的三个假设条件

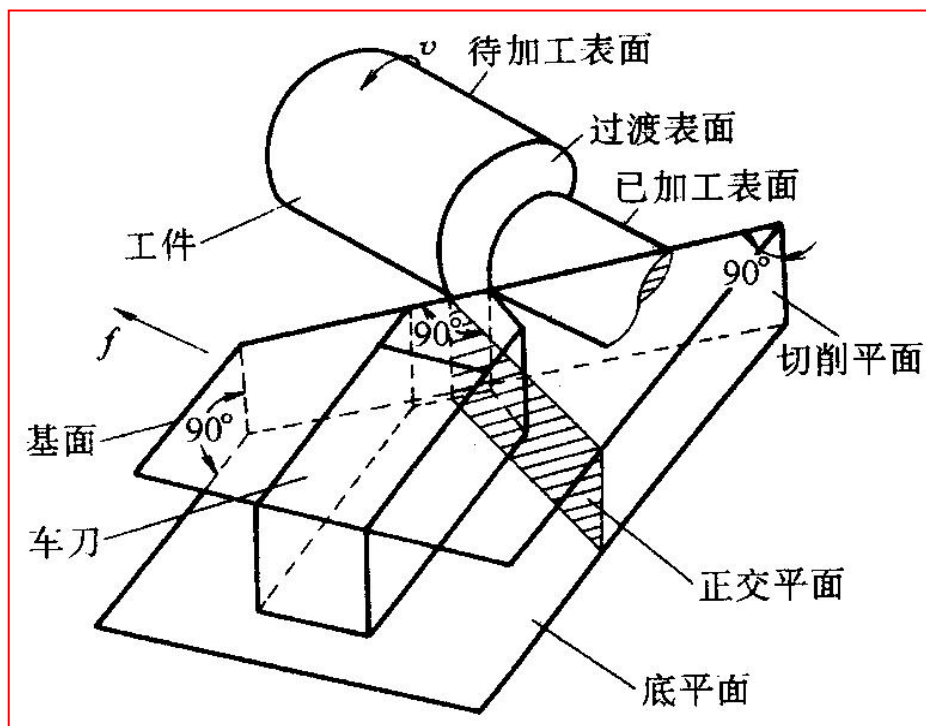
- ① 假定切削刃选定点与工件轴线等高；
- ② 假定主运动方向与刀杆底面垂直(进给速度为零)；
- ③ 假定工件中心轴线与刀杆中心线垂直；

#### ◆ 刀具标注角度参考系的三个参考平面

- ① 基面；
  - ② 切削平面；
  - ③ 正交平面；
- } 正交平面参考系

## ◆ 刀具标注角度参考系——正交平面参考系

- ① 基面  $P_r$ ——通过主切削刃上选定点，垂直于该点切削速度方向相垂直的平面。
- ② 切削平面  $P_s$ ——通过主切削刃选定点，与主切削刃相切，并垂直于该点基面  $P_r$  的平面。
- ③ 正交平面  $P_o$ ：  
通过主切削刃上选定点，  
同时垂直于该点基面和切削平面的平面。

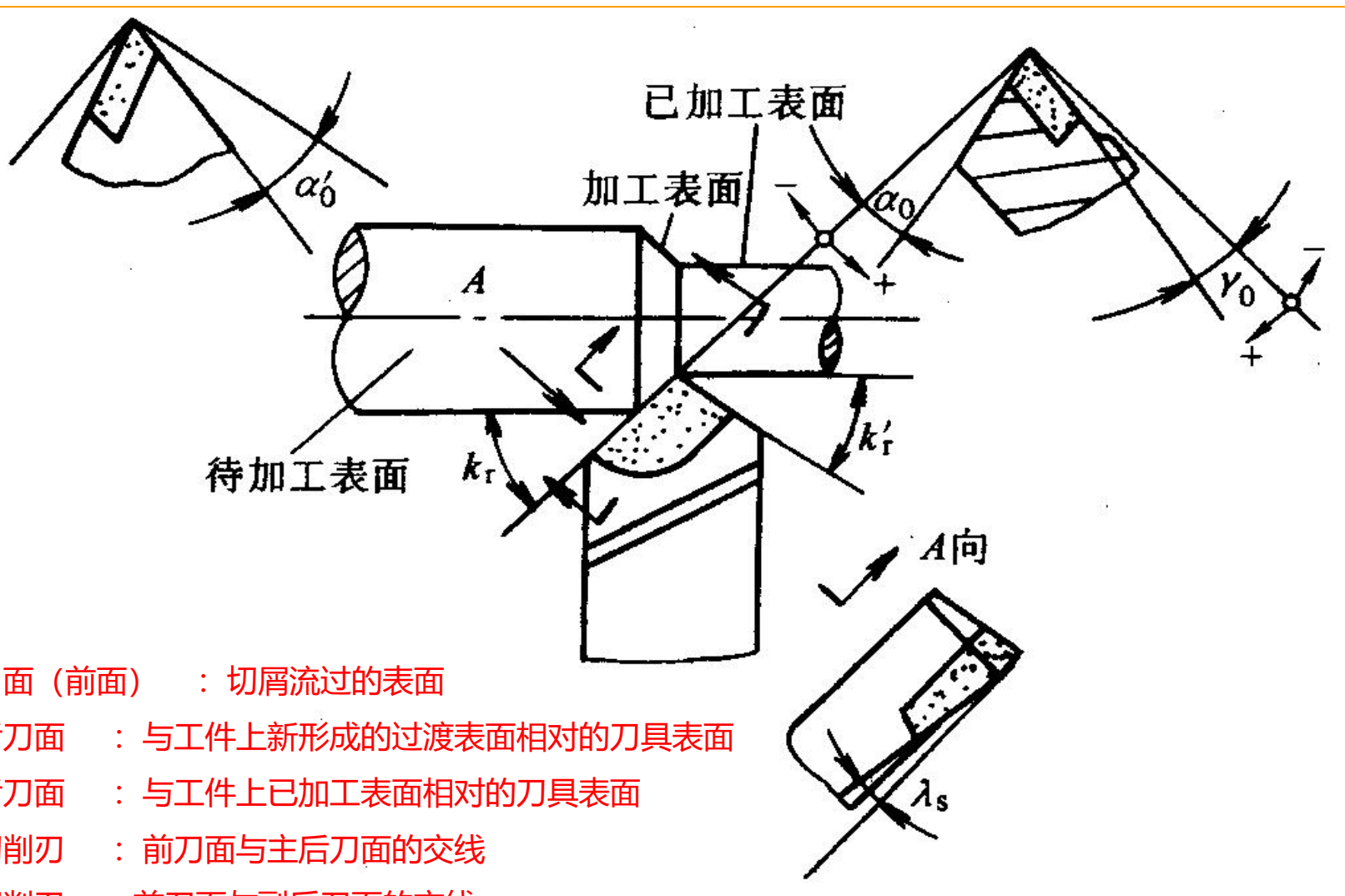


## 3. 刀具的标注角度

在刀具标注角度参考系中确定的切削刃和各刀面的方位角度称为刀具标注角度。

在正交平面参考系里的标注角度

- (1) 前角  $\gamma_0$  : 在正交平面内测量的前刀面与基面的夹角。
- (2) 后角  $\alpha_0$  : 在正交平面内测量的主后刀面与切削平面的夹角。
- (3) 主偏角  $\kappa_r$  : 在基面内测量的主切削刃S在基面上的投影与进给运动方向的夹角。
- (4) 副偏角  $\kappa_r'$  : 在基面内测量的副切削刃S在基面上的投影与进给运动反方向的夹角。
- (5) 刃倾角  $\lambda_s$  : 在切削平面内测量的主切削刃与基面的夹角。



- (1) 前刀面 (前面) : 切屑流过的表面
- (2) 主后刀面 : 与工件上新形成的过渡表面相对的刀具表面
- (3) 副后刀面 : 与工件上已加工表面相对的刀具表面
- (4) 主切削刃 : 前刀面与主后刀面的交线
- (5) 副切削刃 : 前刀面与副后刀面的交线
- (6) 刀尖: 主切削刃与副切削刃的连接处相当短的一部分切削刃。

刀具标注角度的内容主要包括：

- (1) 确定切削刀的位置（主切削刀、副切削刀）的角度；
- (2) 确定前刀面，后刀面（主、副后刀面）的位置的角度；

◆ 确定主切削刀位置的角度： $\kappa_r$  和  $\lambda_s$

◆ 确定前刀面位置的角度： $\gamma_o$

◆ 确定主后刀面位置的角度： $\alpha_o$



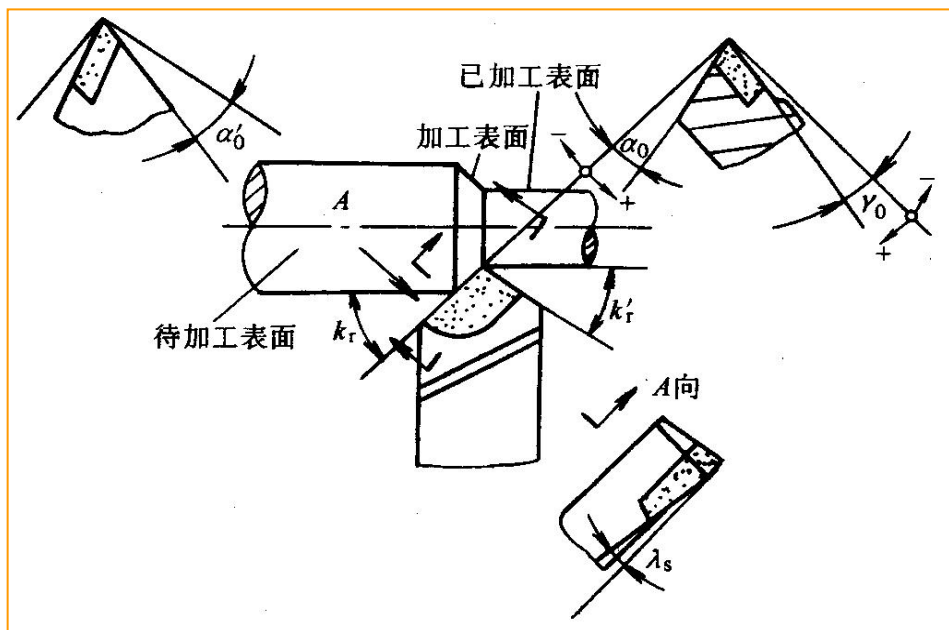
◆ 确定副切削刀和副后刀面位置的角度： $\kappa_r'$  和  $\alpha_o'$

以上是普通外圆车刀主、副切削刃上所必须标注的六个角度。

派生角度：

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

**刀尖角 $\varepsilon_r$** ：主、副切削刃在基面上的投影的夹角。



$$\gamma_0 + \beta_0 + \alpha_0 = 90^\circ$$

$$K_r + \varepsilon_r + K'_r = 180^\circ$$

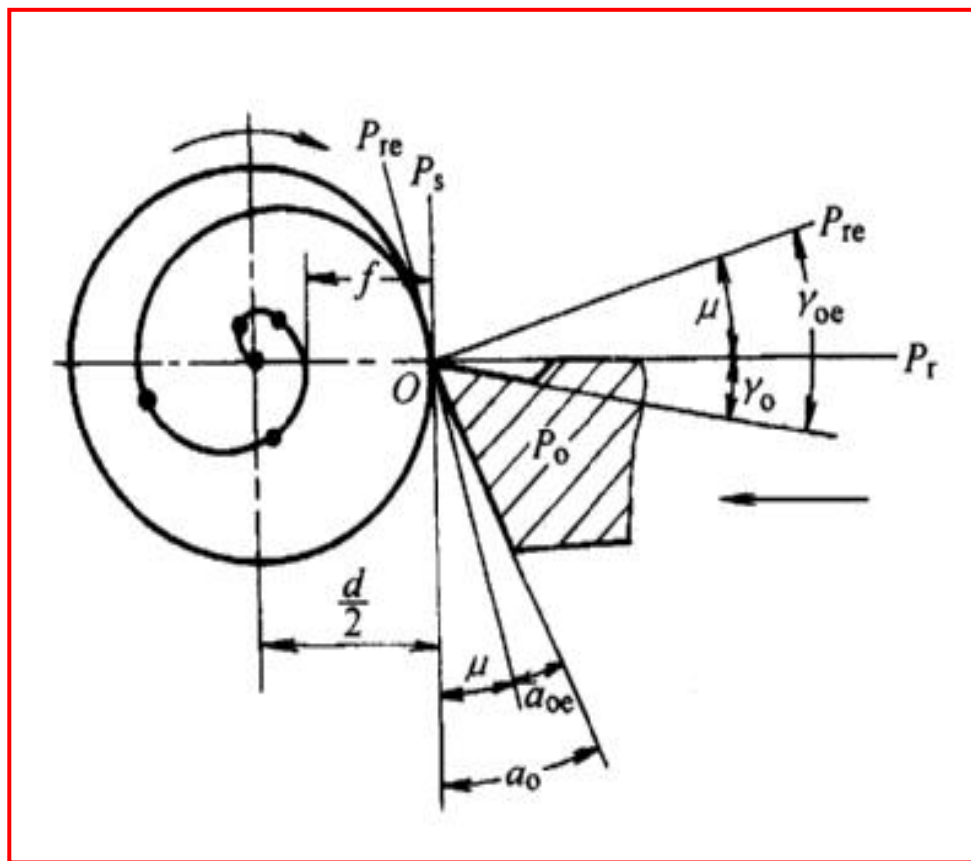
## 4. 刀具的工作角度

实际切削加工中，由于刀具安装位置和进给运动的影响，上述标注角度会发生一定的变化。

角度变化的根本原因是参考平面的位置发生了变化。

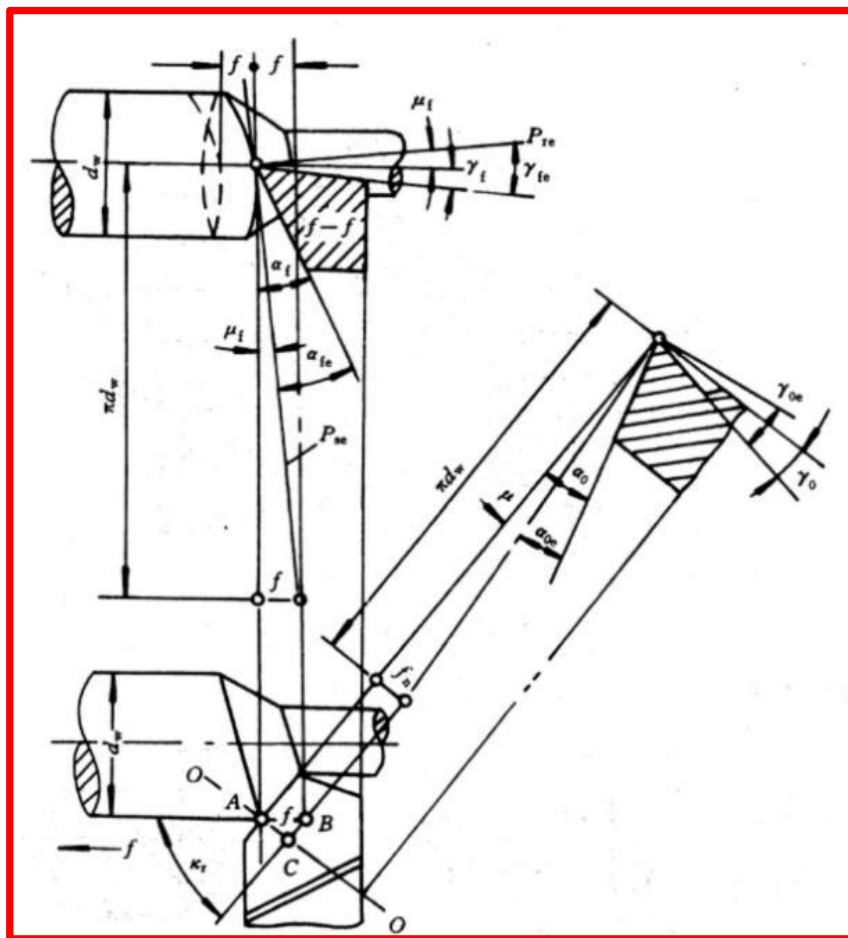
以切削过程中，实际的基面、切削平面和正交平面为参考平面所确定的刀具角度称为刀具的工作角度，又称实际角度。

## ◆ 横向进给运动对工作角度的影响

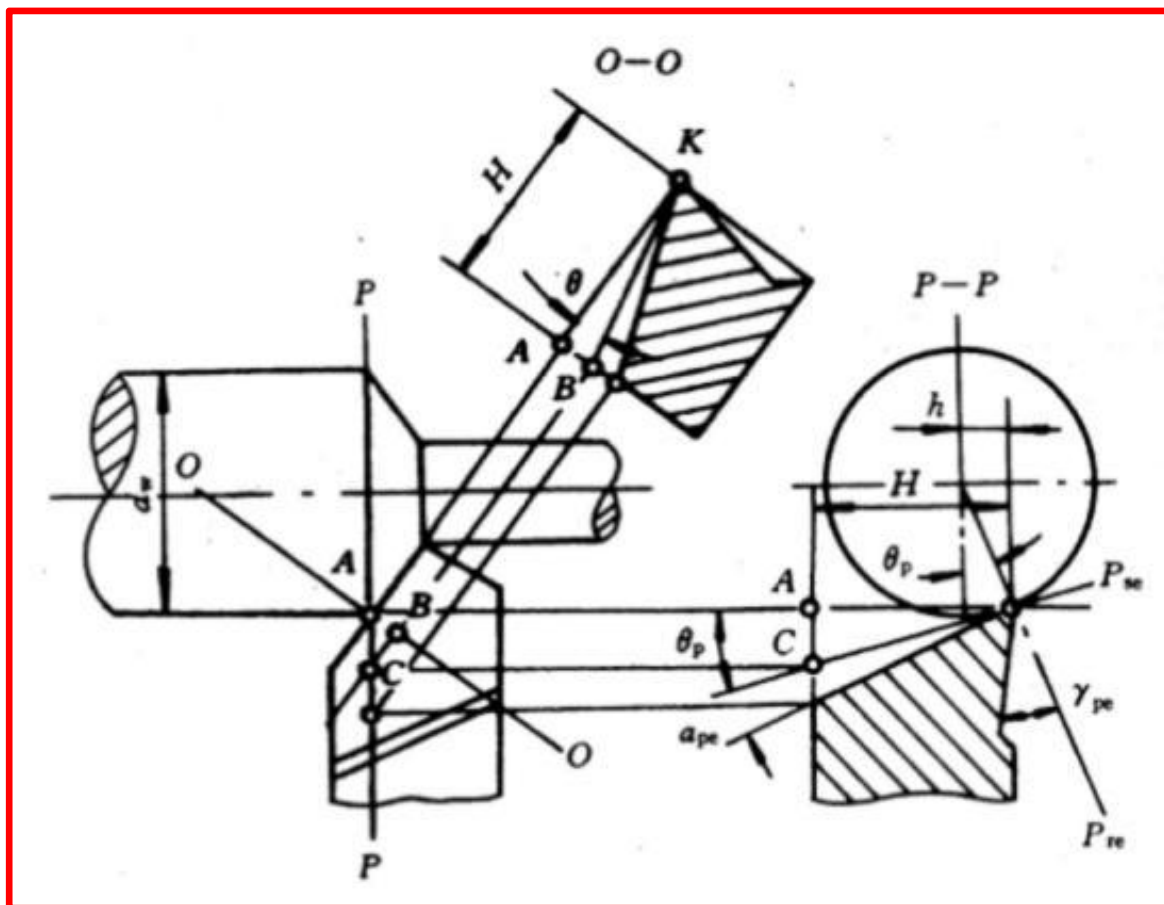




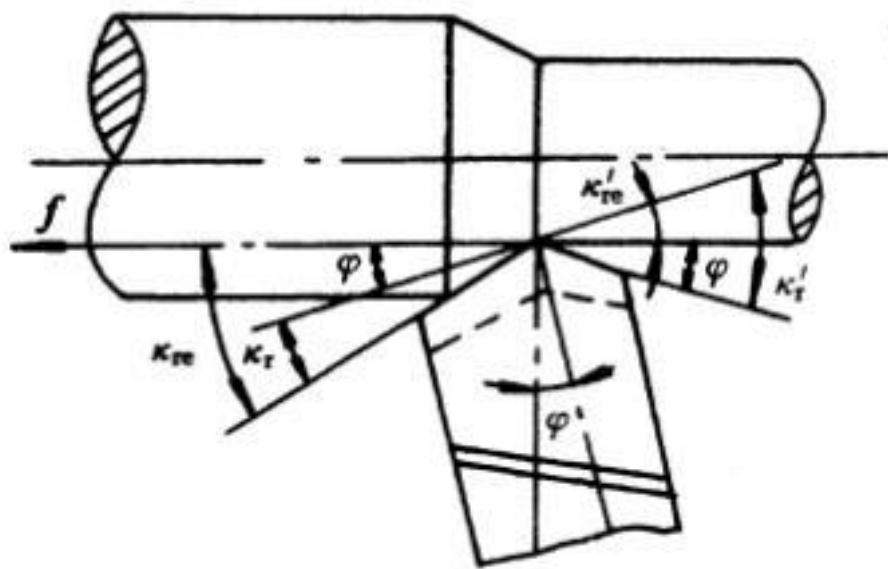
## ◆ 轴向进给运动对工作角度的影响



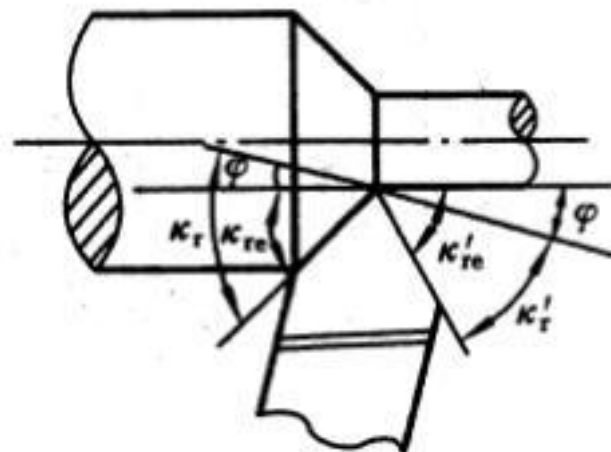
## ◆ 刀具安装高低对工作角度的影响



## ◆ 刀柄中心线偏斜对工作角度的影响



(a)



(b)

## 1.1.3 刀具材料

### 1. 刀具材料应具备的性能

- (1) 高的硬度和耐磨性
- (2) 足够的强度和韧性
- (3) 高的耐热性
- (4) 良好的热物理性能和耐热冲击性能
- (5) 良好的工艺性能

- ◆ **硬度**：刀具材料硬度必须高于工件材料；
- ◆ **耐磨性概念**：表示刀具抵抗磨损的能力，它是刀具机械性能（力学性能）、组织结构和化学性能的综合反映；
- ◆ **强度和韧性**：能承受切削力、冲击和振动，不至于产生崩刃和折断；
- ◆ **热硬性（耐热性）**：刀具材料应在高温下保持较高的硬度、强度、韧性和耐磨性，并有良好的抗扩散、抗氧化的能力；
- ◆ **导热性和膨胀系数**：在其它条件相同的条件下，刀具材料的导热系数越大，刀具传热能力越强，可降低刀具温度，提高使用寿命。
- ◆ **工艺性与经济性**

## 2. 常用刀具材料

### (1) 高速钢

#### ① 特点:

- ◆ 较高的硬度和耐热性;
- ◆ 强度和韧性较好;
- ◆ 制造工艺性好 (用于制造各类复杂刀具, 钻头、拉刀、滚刀等) ;

## (2) 硬质合金

### ① 特点:

- ◆ 硬度和耐磨性较高;
- ◆ 强度和韧性比高速钢差;
- ◆ **制造工艺性不高:** 用于制造车刀、面铣刀和钻头的头部;

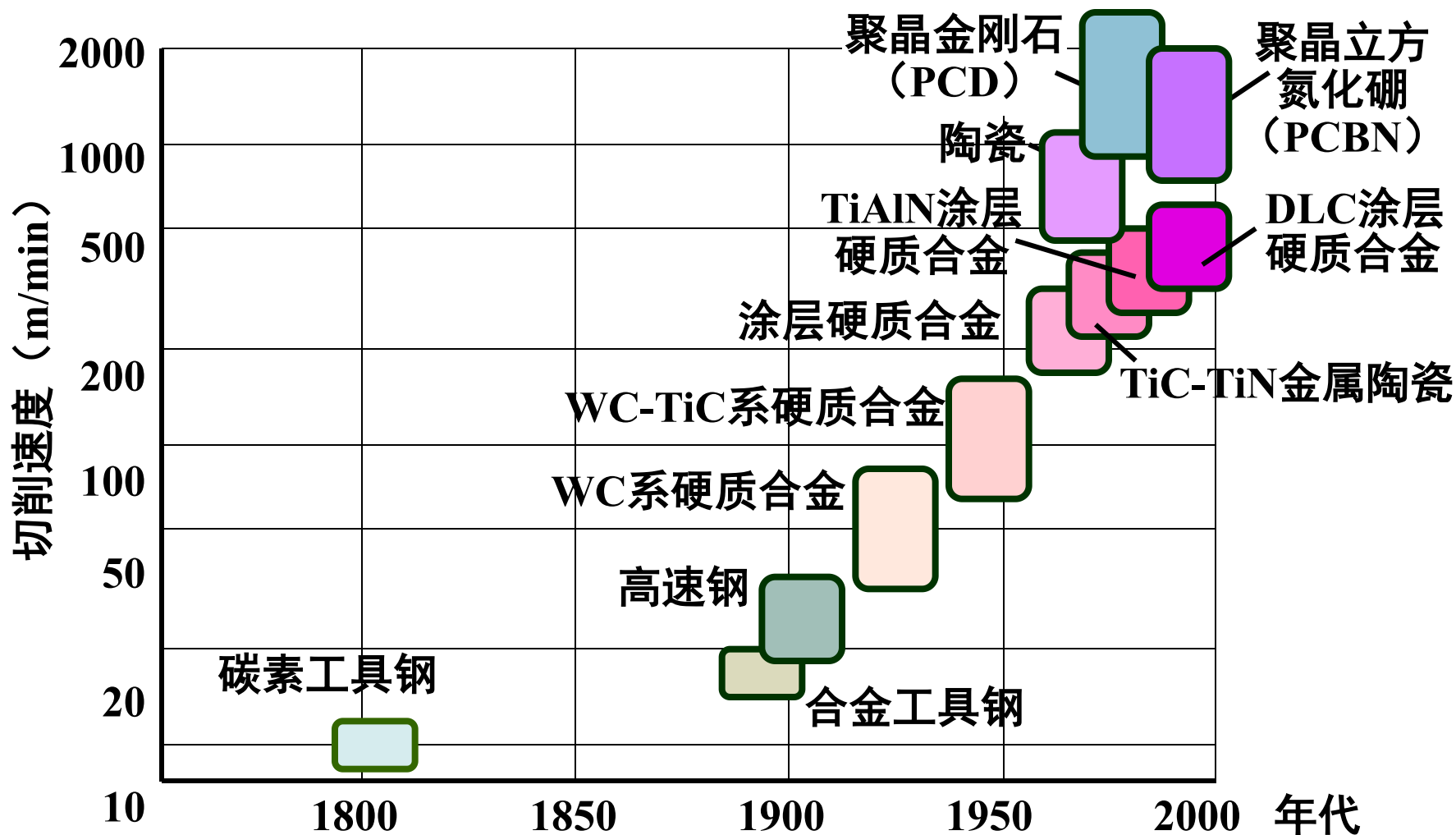


序号	国际标准	国内标准	类别	加工材料
1	P 类	YT 类	钨钛钴类硬质合金	碳钢、合金钢等
2	K 类	YG 类	钨钴类硬质合金	铸铁类黑色金属、有色金属、高温合金，不锈钢
3	M 类	YW 类	钨钛钽钴类硬质合金	通用

## (3) 其它刀具材料

- ① 涂层刀具：韧性好的基体材料+耐磨性较高的难熔金属化合物
- ② 陶瓷刀具：氧化铝或氮化硅压制、烧结形成；  
耐磨，抗冲击韧性差；
- ③ 立方氮化硼（CBN）：硬度高，化学稳定性好，加工精度高
- ④ 人造金刚石：6、8、12面体，是碳的同素异构体（高温、高压）
  - ◆ 有单晶和聚晶（人工合成）之分；
  - ◆ 金刚石性能各项异性；
  - ◆ 不能加工黑色金属（高温条件下，脱碳）





刀具材料的发展与切削加工高速化的关系

