

职工高等工业专科学校机制专业

试用教材

中国机械工程学会职工高等教育专业学会

机械制造委员会编

# 金属切削原理 与刀具

第二版

北京科学技术出版社

## 内 容 简 介

本书是为适应我国职工（业余）大学机械制造专业的教学需要，根据原教育部颁布的职工高等工业专科学校《机械制造工艺及其设备专业教学计划》和机械工业部教育局同意推荐的《金属切削原理与刀具》教学大纲的要求编写的。

全书分两大部分，第一部分为金属切削原理，包括基本概念、刀具材料、切削变形、切削力、切削热及切削温度、切削加工性及切削液、刀具几何参数的合理选择、切削用量的合理选择与优化等内容。第二部分为刀具，介绍了各种刀具的类型和用途，各自的切削原理和刀具的设计等，书中还介绍了某些刀具的计算机辅助设计。本书的编写依照少而精、理论联系实际的原则，并力求体现职工高校的特色。本书的主要特点是，针对性强、概念清晰；重视学生应用能力的培养，反映新技术新成就。

本书可作为职工（业余）大学及成人高校专业教材，也可供普通高校、中专等机械制造专业师生及有关工程技术人员参考。也可作为高级技工班试用教材。

职工高等工业专科学校试用教材

### 金属切削原理与刀具

中国机械工程学会职工高等教育专业学会

机械制造委员会 编

北京科学技术出版社出版

（北京西直门外南路19号）

---

北京市大郊亭印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 17印张 424千字

1988年7月第一版 1988年7月第二版第二次印刷

印数 1—8000册

---

ISBN 7-5304-0318-4/T·55 定价 4.60元

# 第一版前言

为适应我国职工(业余)大学及其他成人高等学校机制专业的教学需要,我会根据原教育部成人教育司于1982年召开的广州会议拟定的职工高等工业专科学校《机械制造工艺及设备专业教学计划》,组织编写了《金属切削原理与刀具》、《液压传动》、《机械制造工艺学》、《机床夹具设计》、《金属切削机床概论与设计》等五门专业课教学大纲,经机械工业部教育局同意,推荐供各职工大学试用。我会根据上述教学大纲,组织有关职工大学有丰富教学经验和实践经验的教师,在总结职工高校多年教学实践的基础上,本着教育要“面向现代化、面向世界、面向未来”的精神,按照“少而精”和理论联系实际的原则,经过多次讨论和审定,编写出这套较适合职工高校教学特点的五门专业课教材。

本套教材,贯彻“重视基础课,加强技术基础课的主干课,学好专业课”的精神,力求体现职工高校的特色,着眼于学生在应用技术方面能力的培养。内容较充分地反映了时代气息,注意引用新技术、新成就,通俗易懂,便于自学。

本套教材供职工(业余)大学及其他成人高等工业专科学校机制专业使用;也可供普通高校、中专机制专业师生以及有关工程技术人员参考。

本套教材的出版得到机械工业部教育局的大力支持。

《金属切削原理与刀具》一书,是按机械工业部教育局推荐的职工大学机制专业教研会制订的《金属切削原理与刀具课程教学大纲》编写的,全书共十七章。前九章重点介绍金属切削原理,后八章介绍各种刀具,部分刀具设计内容配有计算机辅助设计简介及实例,各章均附有习题与思考题。

为加强实践性环节,提高学生综合运用所学知识的能力,与本书配套将相继出版试题、习题与思考题汇编、题解、课程设计(大型作业)任务书、指导书及手册、实验指导书及实验报告等,供各校选用。

本书各章编写者是:第一章李世范(哈尔滨市机械局工学院);第二、十一章桂许达(虹山轴承厂职工大学);第三、十章崔云惠、李安生(第一汽车制造厂职工大学);第四、五、七章刘武光、王伟光(北京市机械局职工大学);第六、八章张振国(哈尔滨兵器工业职工大学);第九、十五章高德凤(第二汽车制造厂职工大学);第十二章范敬宗(苏州市职工业余大学);第十三章陈芝明(上海机电一局职工大学);第十四章陆中一(苏州市机械工业职工大学);第十六章范敬宗、盛俊明(常熟市机械工业职工大学);第十七章陈世忠(哈尔滨市工人业余大学)。

主编范敬宗,副主编崔云惠。主审哈尔滨工业大学袁哲俊教授。

在本书的文字编写及图稿制作过程中,刘武光、沈佶、吴亦佳同志做了很多工作。另外,刘武光、王伟光、盛俊明、陈芝明同志在编校过程中还做了大量具体工作。

本书编写过程中,得到各有关院校,有关科研单位和工厂的大力支持,谨此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,诚恳地希望对本书提出宝贵意见。

职工大学机制专业教学研究会

## 第二版前言

中国机械工程学会职工高等教育专业学会（原职工大学机制专业教学研究会）组织编写的《金属切削原理与刀具》、《液压传动》、《机械制造工艺学》、《机床夹具设计》、《金属切削机床概论与设计》等五门专业课教材，自1986年由北京科学技术出版社出版以来，经广大职工高校试用两年，普遍反映较好，并蒙各校各界同行热忱关心与支持，提出了一些建设性意见，要求修订再版。现经中国机械工程学会职工高等教育专业学会研究决定：由我学会机械制造委员会和编辑出版委员会在广泛征求意见的基础上，组织该套教材的修订再版及其教学辅助资料的配套出版。

此次《金属切削原理与刀具》修订版教材保持并发扬了原版特色，在坚持精炼、实用的前提下，适当地增加了理论阐述，充实了部分实例，更多地注意反映时代气息，并增选了部分表格，对教学更为方便实用，内容上也有了选择余地，适应性更好。

在修订《金属切削原理与刀具》教材的同时，编写了《金属切削原理与刀具习题及实验、课程设计指导书》，合订一册出版，可与教材配套使用。

参加本次教材修订工作的有：哈尔滨市机械局工学院李世范（第一、第二章）；第一汽车制造厂职工大学崔云惠、李安生（第三、四、五、六、七、八、九章）；苏州市职工业余大学范敬宗（第十、十一、十二、十六章）；上海市机电工业局职工大学陈芝明（第十三、十四、十五、十七章）。主编范敬宗、副主编崔云惠。主审哈尔滨工业大学袁哲俊教授。

本次教材修订时，在图稿及校对过程中，刘松泉、韩志宇等同志做了大量工作。

本教材可作为职工（业余）大学及其他成人高校专业教材，还可供有关工程技术人员参考，也可作为高级技工班试用教材。

由于编者水平有限，本教材不足之处，恳请批评指正。

编者

1988年6月

# 目 录

## 第一章 基本概念及定义

- § 1-1 切削运动及形成的表面…………… ( 1 )
- § 1-2 刀具切削部分的组成及定义…………… ( 2 )
- § 1-3 刀具切削部分的几何角度…………… ( 2 )
- § 1-4 切削要素及切削层参数…………… ( 13 )

## 第二章 刀具材料

- § 2-1 对刀具材料的基本要求…………… ( 16 )
- § 2-2 工具钢…………… ( 17 )
- § 2-3 硬质合金…………… ( 19 )
- § 2-4 其他刀具材料…………… ( 24 )

## 第三章 切削变形

- § 3-1 金属切削变形典型模型及第一变形区…… ( 26 )
- § 3-2 切屑种类及其度量方法…………… ( 29 )
- § 3-3 第二变形区…………… ( 32 )
- § 3-4 第三变形区及已加工表面质量…………… ( 37 )
- § 3-5 影响切削变形的因素…………… ( 42 )
- § 3-6 切屑的卷曲和折断… ( 44 )

## 第四章 切削力

- § 4-1 切削力及切削功率… ( 48 )
- § 4-2 切削力的理论公式… ( 50 )
- § 4-3 影响切削力的因素… ( 52 )
- § 4-4 切削力的测量及实验公式的建立…………… ( 57 )
- § 4-5 切削力的计算公式和例题…………… ( 62 )

## 第五章 切削热与切削温度

- § 5-1 切削热的产生与传出…………… ( 69 )

- § 5-2 测量切削温度的方法…………… ( 70 )
- § 5-3 影响切削温度的主要因素…………… ( 72 )

## 第六章 刀具的失效及耐用度

- § 6-1 刀具磨损形式、磨损过程及磨钝标准…… ( 79 )
- § 6-2 刀具磨损的原因…… ( 80 )
- § 6-3 刀具耐用度及刀具耐用度与切削用量关系的经验公式…………… ( 83 )
- § 6-4 刀具的破损…………… ( 87 )

## 第七章 切削加工性与切削液

- § 7-1 工件材料的切削加工性…………… ( 89 )
- § 7-2 切削液…………… ( 95 )

## 第八章 刀具几何参数的合理选择

- § 8-1 前角及前刀面的选择…………… ( 102 )
- § 8-2 后角及后刀面的选择…………… ( 105 )
- § 8-3 主偏角及副偏角的选择…………… ( 107 )
- § 8-4 斜角切削及刃倾角的选择…………… ( 109 )
- § 8-5 刀具几何参数选择的综合分析…………… ( 111 )

## 第九章 切削用量的合理选择与优化

- § 9-1 切削用量合理选择的原则与合理的刀具耐用度…………… ( 115 )
- § 9-2 切削用量合理选择的方法与步骤…………… ( 118 )
- § 9-3 切削用量优化目标与目标函数…………… ( 126 )
- § 9-4 限制切削用量提高的约束条件…………… ( 127 )

§ 9-5	切削用量优化方法简介..... (129)	§ 13-2	麻花钻与钻削原理... (188)
<b>第十章 车刀</b>		§ 13-3	铰刀..... (197)
§ 10-1	硬质合金焊接式车刀..... (133)	§ 13-4	孔加工复合刀具..... (201)
§ 10-2	机夹车刀..... (134)	<b>第十四章 螺纹刀具</b>	
§ 10-3	可转位车刀..... (135)	§ 14-1	螺纹刀具的类型与用途..... (204)
§ 10-4	可转位车刀的计算机辅助设计..... (141)	§ 14-2	丝锥..... (208)
<b>第十一章 成形车刀</b>		<b>第十五章 拉削与拉刀</b>	
§ 11-1	成形车刀的类型、用途和装夹..... (143)	§ 15-1	拉削特点, 拉刀的种类和用途..... (212)
§ 11-2	成形车刀的前角和后角..... (145)	§ 15-2	圆孔拉刀设计..... (214)
§ 11-3	径向成形车刀廓形设计及廓形设计误差分析..... (147)	§ 15-3	花键拉刀及键槽拉刀..... (233)
§ 11-4	成形车刀的结构设计和技术条件..... (153)	<b>第十六章 磨削与砂轮</b>	
§ 11-5	成形车刀的计算机辅助设计..... (154)	§ 16-1	砂轮的特性及其选择 (236)
<b>第十二章 铣削与铣刀</b>		§ 16-2	磨削运动、磨削要素、磨削过程及磨削力..... (239)
§ 12-1	铣削原理..... (156)	§ 16-3	砂轮的磨损、耐用度及修整..... (243)
§ 12-2	成形铣刀..... (172)	§ 16-4	磨削表面质量..... (245)
§ 12-3	盘状铲齿成形铣刀的计算机辅助设计..... (180)	§ 16-5	高效磨削..... (247)
<b>第十三章 孔加工刀具</b>		<b>第十七章 齿轮刀具</b>	
§ 13-1	孔加工刀具的种类及用途..... (184)	§ 17-1	齿轮刀具的种类与选用..... (250)
		§ 17-2	插齿刀..... (254)
		§ 17-3	齿轮滚刀..... (259)
		§ 17-4	盘形剃齿刀..... (262)

# 第一章 基本概念及定义

所谓金属切削加工，即用金属切削刀具从工件上切除多余的金属，从而获得在形状与尺寸精度及表面质量上都合乎预定要求的加工。为了实现切削加工，除了要有被加工零件外，还应有刀具和切削运动。本章主要以外圆车刀为例，讲述切削过程中的切削运动、切削用量、刀具切削部分的组成要素、刀具几何角度的基本定义、工作角度、切削层要素、刀具几何角度之间的相互关系及换算方法。因为其它刀具基本上是车刀小刀头的演变，故这些基本概念也适用于其它刀具。这些概念也是选用、革新、设计刀具的基本内容之一。

## § 1-1 切削运动及形成的表面

### 一、切削运动

以外圆车削为例，在金属切削加工中，为了实现从工件上切除多余的金属，刀具与工件之间必需有相对运动，如图 1-1 所示。

工件作回转运动，刀具作直线运动。直线运动和回转运动，即是基本运动单元。由这两个基本运动单元，按不同的数目、不同大小的比值、不同的相对位置与方向就能够组成各种切削加工的切削运动。

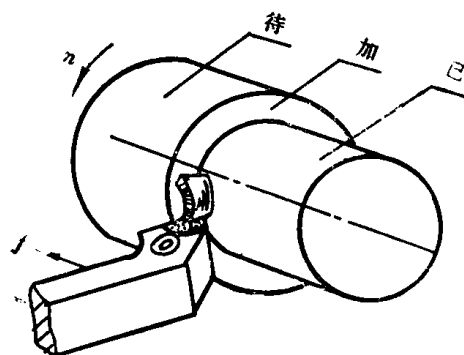


图 1-1 车削时的切削运动

在相对运动中包括主运动和进给运动。

#### 1. 主运动

直接切除工件上的切削层，使之转变为切屑，以形成工件新表面的运动。

判别主运动的方法：

- 1) 凡有回转运动，一般以回转运动为主运动。
- 2) 如有几个回转运动，或者切削运动中没有回转运动只有直线运动时，一般以速度最高、消耗功率最大的运动为主运动。

主运动只有一个，主运动的速度即是切削速度，用  $v$  表示。如图 1-1 中，工件回转运动即为主运动。

#### 2. 进给运动

使新的切削层不断投入切削，切削过程得以进行的运动称为进给运动。进给运动可能是一个或数个，用进给量  $f$  或进给速度  $v_f$  来表示。如图 1-1 中，车刀沿工件轴线方向的移动。

#### 3. 主运动与进给运动的合成

主运动与进给运动可以由刀具单独完成，也可以由刀具与工件分别来完成。

在切削过程中，主运动与进给运动既可以同时进行，也可以交替进行，如果是交替进行时，就不存在两者的合成问题。只有在主运动和进给运动同时进行时，刀具切削刃上某一点相对于工件的运动称为合成切削运动。可用合成速度向量  $\vec{v}_c$  来表示。由图 1-2 可知，合成速度向量  $\vec{v}_c$  等于主运动速度  $\vec{v}$  与进给速度  $\vec{v}_f$  的向量和，即  $\vec{v}_c = \vec{v} + \vec{v}_f$  (1-1)

因为切削刃上各点的工件直径不同，切削刃上各点的合成速度向量都不相等。

## 二、工件上形成的表面

在整个切削过程中，在工件上形成有三个不断变化着的表面：

1. 待加工表面：指工件上即将被切去金属层的表面。
  2. 已加工表面：指工件上已经切去多余的金属而形成的新表面。
  3. 加工表面：指工件上切削刃正在切削着的表面，亦即上述两个表面间的过渡表面。
- 上述三个表面在图 1-1 中分别以“待”、“已”、“加”表示。

## § 1-2 刀具切削部分的组成及定义

切削刀具种类繁多，结构各异，但它们之间具有共同的基本规律，就其切削部分而言，其它刀具的切削部分可以看成由外圆车刀的切削部分演变而成，因此为了讲述方便起见，以外圆车刀为例来研究刀具的切削部分的组成和基本定义。

### 一、刀具切削部分的几个表面（如图 1-3）

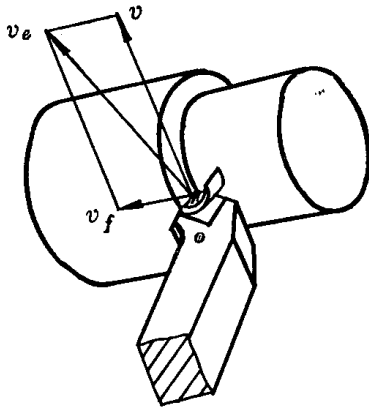


图 1-2 车削时的合成速度向量

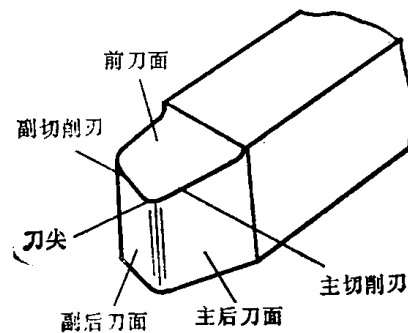


图 1-3 刀具切削部分的组成要素

1. 前刀面 ( $A_r$ )：切屑沿其流出且与刀屑发生相互作用的刀具表面。
2. 主后刀面 ( $A_o$ )：刀具上和工件加工表面相对的表面。
3. 副后刀面 ( $A'_o$ )：刀具上和工件已加工表面相对的表面。

### 二、切削刃

1. 主切削刃：指前刀面与主后刀面的交线。大部分的切削工作是由主切削刃完成。
2. 副切削刃：指前刀面与副后刀面的交线。

### 三、刀尖

如图 1-3，指主切削刃与副切削刃的交接部分，它可以是圆弧，也可以是直线，通常称为过渡刃。

## § 1-3 刀具切削部分的几何角度

### 一、参考平面、测量平面及坐标系

#### 1. 参考平面

各种刀具切削部分的几何角度只靠上述刀面与刀刃来表达还不够。由于各刀面的空间位置不同（角度不同），影响着刀具的切削性能，因此为了决定刀面的空间角度，必需建立参考平面。此外，刀具切削角度是在刀具与工件的相对运动中来描述的，因此参考平面应相对



合成切削速度向量 $\vec{v}_s$ 来建立。再者，加工表面往往不是平面，而是空间曲面，不宜作为参考平面，故采用通过切削刃某一点作工件加工表面的切平面和法平面来组成刀具角度的参考平面，它们的定义如下：

(1) 切削平面 $P_c$ ：即通过切削刃某一选定点，包含合成切削速度方向。切于加工表面的平面。

(2) 基面 $P_r$ ：即通过切削刃某一选定点，垂直于合成速度向量 $\vec{v}_s$ 的平面。

可见，切削平面与基面互相垂直，见图 1-4。

## 2. 测量平面

以横车为例，如图 1-4 中的基面与切削平面，分别与前刀面、后刀面组成夹角，当所取的测量平面不同时，其夹角亦不同。为了测量出唯一的夹角，就必需规定出测量平面。

其中有主剖面 $P_0$ ：所谓主剖面，即指过切削刃选定点，垂直于主切削刃在基面上投影的平面，如图 1-4 所示。

副切削刃的主剖面 $P_0'$ ：指过切削刃选定点，垂直于副切削刃在基面上投影的平面。

还规定其它测量平面，下面逐步介绍。

## 3. 刀具标注角度的坐标系

### (1) 假设条件

- 1) 装刀时，刀尖与工件中心线等高；
- 2) 刀杆的轴线垂直工件的轴线；
- 3) 不考虑进给运动，即用主运动向量 $\vec{v}_s$ 近似代替合成速度向量 $\vec{v}_s$ 。

### (2) 主剖面坐标系及其标注角度

根据上述假设条件，以外圆车刀为例，当主切削刃处于水平线上，则过主切削刃上任意一点 $M$ 的基面、切削平面及主剖面如图 1-5 所示。图中，切削平面( $P_c$ )是切于主切削刃某一点并垂直刀杆底面的平面。基面( $P_r$ )是过主切削刃某一点并平行刀杆底面的平面。主剖面( $P_0$ )是垂直切削平面又垂直基面的平面。可见这三个坐标平面互相垂直，构成一个空间的直角坐标系，即主剖面坐标系。

坐标平面确定后，就可以确定刀具切削刃上某一选定点的角度。这些角度的定义如下：  
在主剖面 $P_0$ 中，测量的角度有：

- 1) 前角 $\gamma_0$ ：前刀面与基面之间的夹角；
- 2) 后角 $\alpha_0$ ：主后刀面与切削平面之间的夹角；
- 3) 楔角 $\beta_0$ ：前刀面与后刀面之间的夹角。

$$\text{三者的关系是：} \beta_0 = 90^\circ - (\gamma_0 + \alpha_0) \quad (1-2)$$

在基面 $P_r$ 中，测量的角度有：

- 4) 主偏角 $\kappa_r$ ：进给方向与主切削刃在基面上投影之间的夹角；
- 5) 副偏角 $\kappa_r'$ ：进给方向与副切削刃在基面上投影之间的夹角；
- 6) 刀尖角 $\epsilon_r$ ：主切削刃与副切削刃在基面上投影之间的夹角。

$$\text{三者之间的关系是：} \epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa_r') \quad (1-3)$$

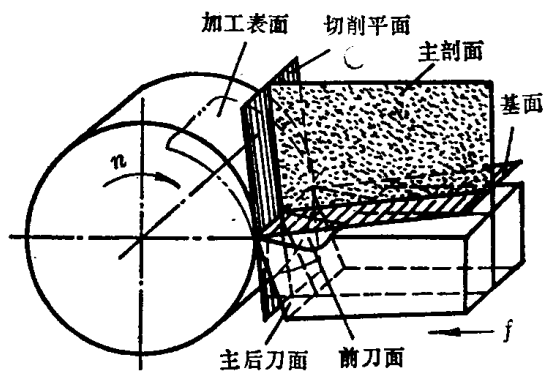


图1-4 横车的基面，切削平面和主剖面

在切削平面 $P_s$ 中，测量的角度有：  
 7) 刃倾角 $\lambda_s$ ：主切削刃与基面之间的夹角。  
 上述各角见图1-6。

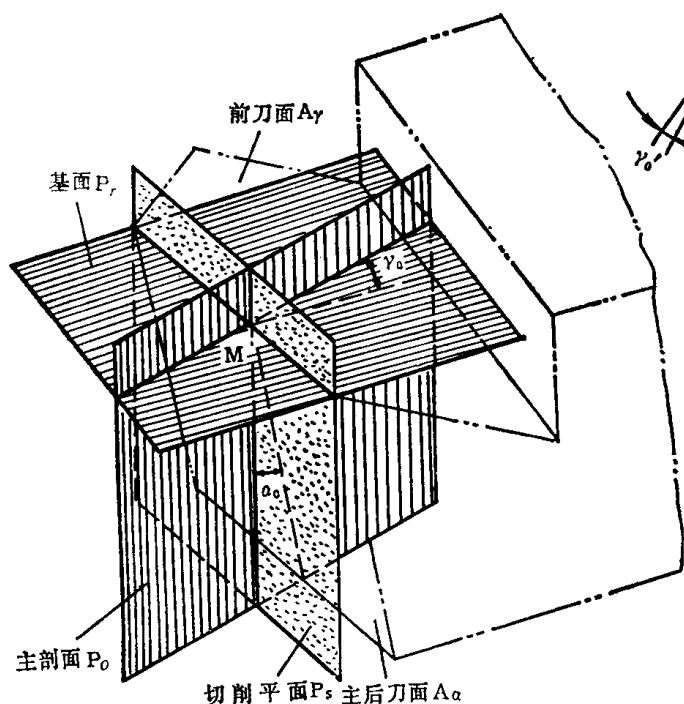


图 1-5 刀具标注角度坐标系（主剖面）

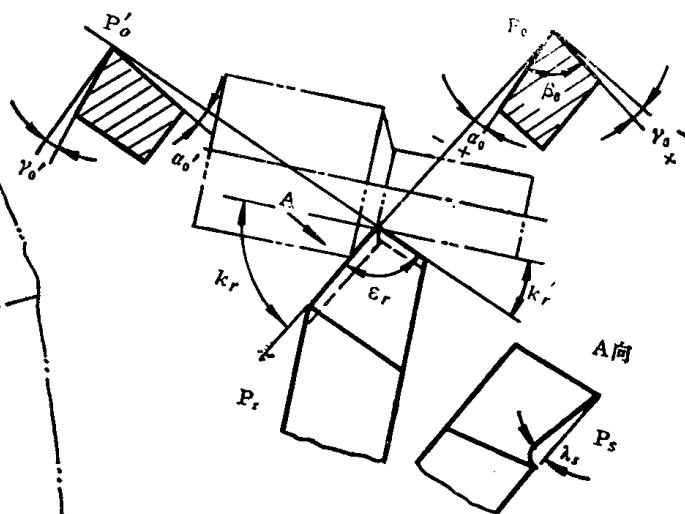


图 1-6 车刀的标注角度

按ISO规定，当刀尖位于主切削刃的最低点时， $\lambda_s$ 为负值，当刀尖位于切削刃最高点时 $\lambda_s$ 为正值，如图1-7所示（在以前的书刊中，关于刃倾角 $\lambda_s$ 的正负值与此相反。）。

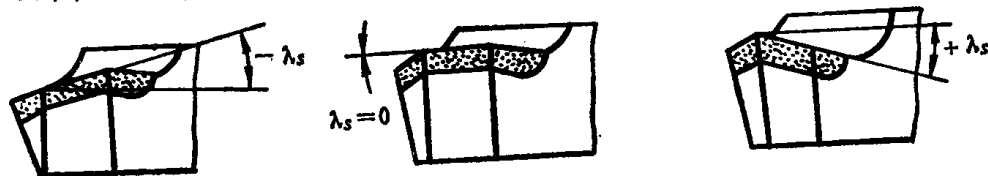


图 1-7 刃倾角的符号

当 $\lambda_s = 0$ 时的切削，称为直角切削或正切削。此时，切削刃垂直切削速度方向，如图1-8(a)所示。

当 $\lambda_s \neq 0$ 时的切削，称为斜角切削或斜切削。此时，切削刃不垂直切削速度方向，如图1-8(b)所示。

### (3) 法剖面坐标系及其标注角度

#### 1) 法剖面坐标系

根据ISO标准，采取兼用主剖面参考系和法剖面参考系（用于大刃倾角刀具，并需要标注法剖面角度时）。

所谓法剖面，即过切削刃选定点且垂直于主切削刃的剖面。当 $\lambda_s = 0^\circ$ 时，主剖面与法剖面互相重合，当 $\lambda_s \neq 0$ 时，主剖面与法剖面相交成 $\lambda_s$ 角，如图1-9。

#### 2) 法剖面内标注角度

当 $\lambda_s \neq 0$ 时，在法剖面内所标注的角度有：法向前角 $\gamma_n$ 、法向后角 $\alpha_n$ 、法向楔角 $\beta_n$ ，如图1-10所示。

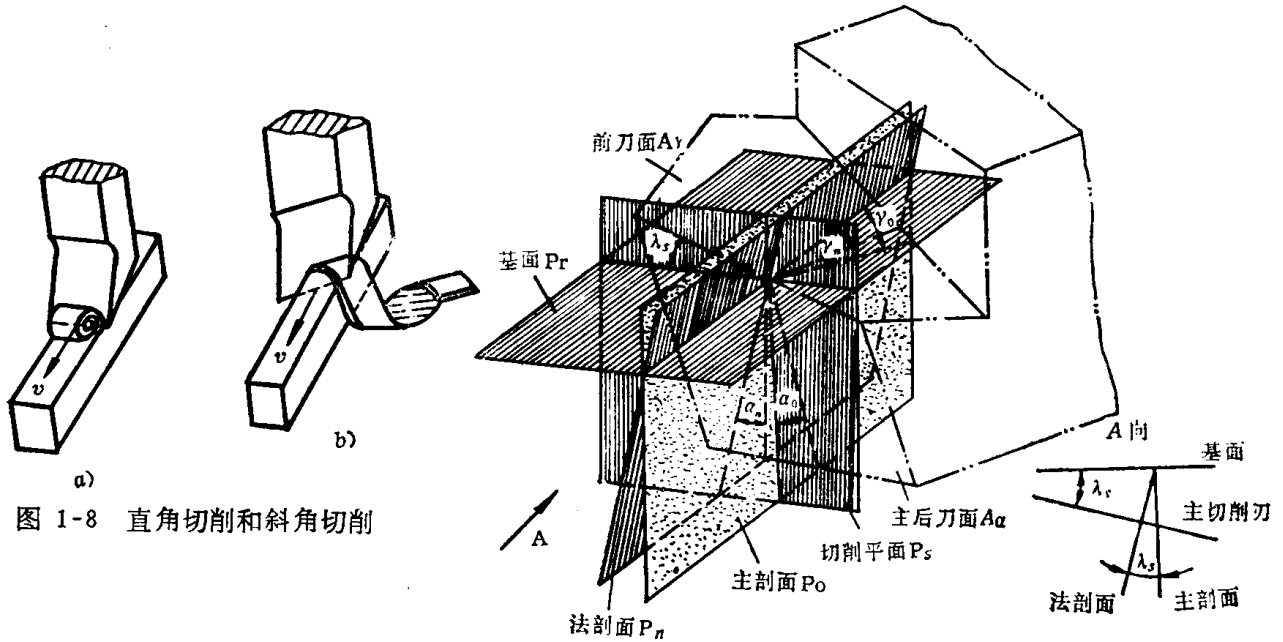


图 1-8 直角切削和斜角切削

图 1-9 主、法剖面坐标系

## 二、刀具标注角度的换算

### 1. 法剖面坐标系的角度的换算

在刀具设计、制造、刃磨和检验中，往往需要主切削刃在法剖面的角度。

如斜角切削，特别是大刃倾角刀具要求标注法剖面角度，故要进行角度的换算。车刀主切削刃在主剖面和法剖面的角度关系如图 1—11 中所示（图中刃倾角为正）。

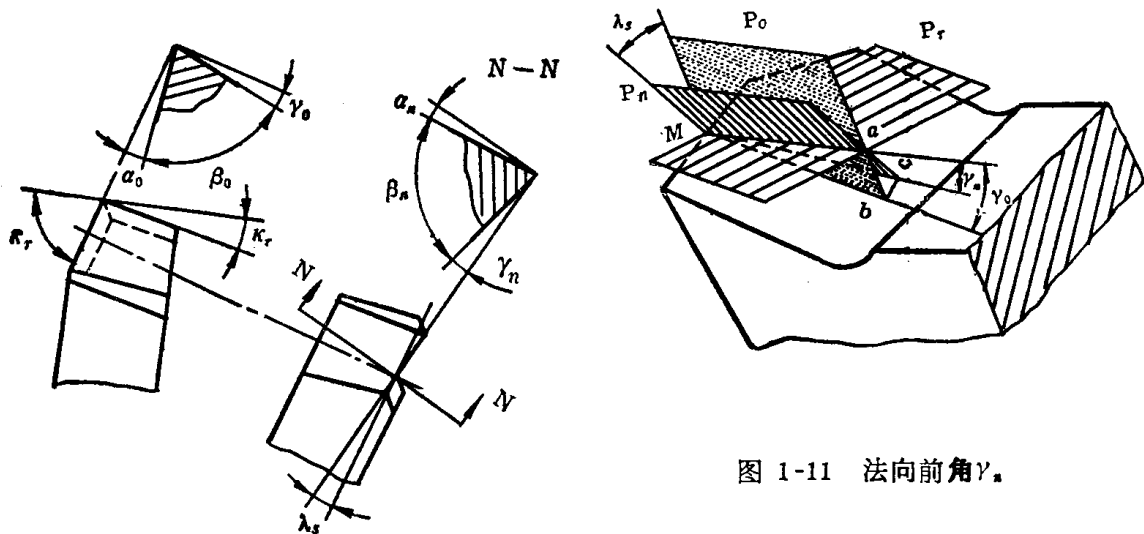


图 1-10 法剖面内的角度

图 1-11 法向前角 \$\gamma\_n\$

为了直观起见，采用解析法建立 \$\gamma\_o\$ 与 \$\gamma\_n\$ 的关系如下：

$$\operatorname{tg} \gamma_n = \frac{\overline{ac}}{Ma}; \operatorname{tg} \gamma_o = \frac{\overline{ab}}{Ma}$$

两式相除后得

$$\frac{\operatorname{tg} \gamma_n}{\operatorname{tg} \gamma_o} = \frac{\overline{ac}}{\overline{ab}} = \frac{\overline{ac}}{\overline{ab}} = \cos \lambda_s$$

$$\therefore \operatorname{tg} \gamma_n = \operatorname{tg} \gamma_o \cdot \cos \lambda_s$$

(1-4)

同理  $\text{ctg}\alpha_n = \text{ctg}\alpha_0 \cdot \cos\lambda_s$  (1-5)

该换算式适用于各种斜角切削刀具。

2. 切深剖面、进给剖面坐标系及角度的换算

(1) 切深剖面、进给剖面坐标系

往往在刀具刃磨时所用的磨刀夹具只能分别绕刀具的横向轴线X、纵向轴线Y和垂直轴线Z转动如图1-12。常常不能直接用主剖面、法剖面内的角度进行刃磨，故需要建立切深、进给剖面坐标系及刀具在该系内的角度。并通过切深、进给坐标系和主、法剖面坐标系的角度换算，从而保证获得主、法剖面内所需的角

切深剖面 ( $P_d$ )：过切削刃某一选定点，平行切深方向并垂直基面的平面称为切深剖面。

进给剖面 ( $P_f$ )：过切削刃某一选定点，平行进给方向并垂直基面的平面称为进给剖面。切深、进给剖面坐标系见图1-13；切深、进给剖面的角度见图1-14；

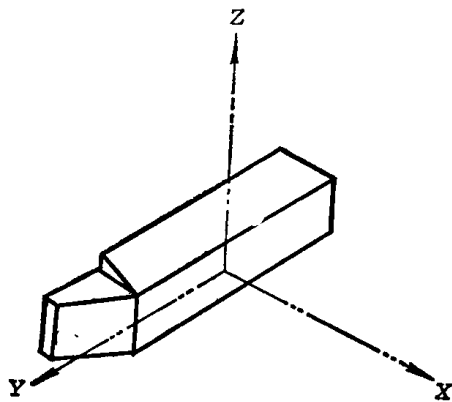


图 1-12 车刀刃磨时转动角度坐标系。

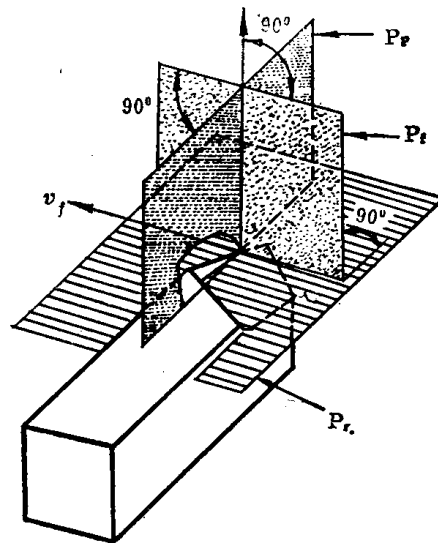


图 1-13 切深(进给)剖面坐标系

(2) 切深、进给剖面坐标系的角度换算

为了求得切深、进给剖面的前、后角与主剖面角度之间的关系式，首先推导出任意剖面内的角度公式。再把任意剖面内的任意角用所求剖面的角度代入，就可以求出该剖面的角度公式。以下用两种不同的计算方法进行推导。

1) 解析法：如图1-15所示。

求任意剖面  $P_0-P_0$  内前角  $\gamma_0$  与主剖面  $O-O$  中前角  $\gamma_0$  的关系式，由图1-15(a)可知：

$$\begin{aligned} \text{tg}\gamma_0 &= \frac{ad}{ab} = \frac{bc+cd}{ab} = \frac{ef+cd}{ab} \\ &= \frac{af \cdot \text{tg}\gamma_0 + ce \cdot \text{tg}\lambda_s}{ab} \\ &= \text{tg}\gamma_0 \cdot \sin\theta + \text{tg}\lambda_s \cdot \cos\theta \end{aligned} \quad (1-6)$$

当  $\theta = 0^\circ$  时，则  $\gamma_0 = \lambda_s$

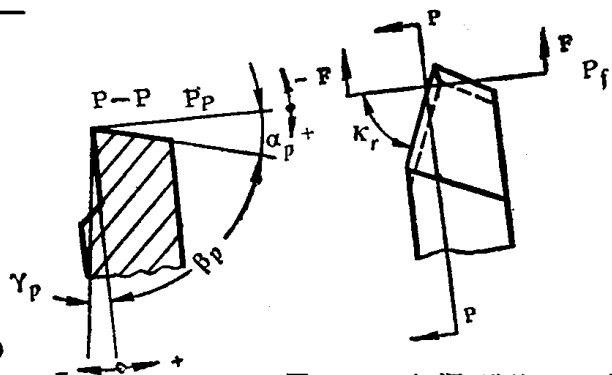
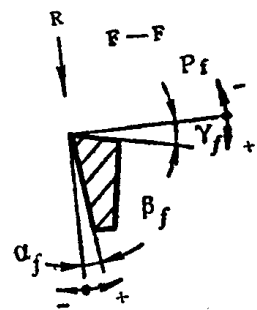


图 1-14 切深(进给)剖面的标注角度

当 $\theta = 90^\circ - \kappa_r$ 时, 则得出切深剖面的前角 $\gamma_f$ , 见图1-15(b)。并将上式中 $\theta$ 值换为 $90^\circ - \kappa_r$ , 即得

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_f &= \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \sin(90^\circ - \kappa_r) + \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \cos(90^\circ - \kappa_r) \\ &= \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \cos \kappa_r + \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \sin \kappa_r \end{aligned} \quad (1-7)$$

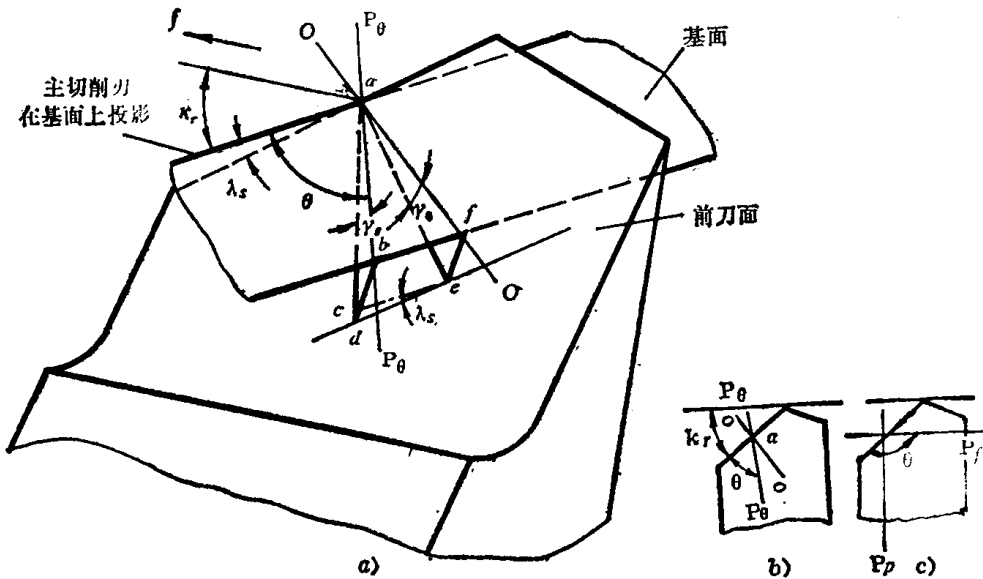


图 1-15 角度换算解析法

当 $\theta = 180^\circ - \kappa_r$ 时, 则得进给剖面中的前角 $\gamma_f$ , 见图1-15(c)。同理 将 $\theta$ 值换为 $180^\circ - \kappa_r$ 即得

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_f &= \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \sin(180^\circ - \kappa_r) + \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \cos(180^\circ - \kappa_r) \\ &= \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \sin \kappa_r - \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \cos \kappa_r \end{aligned}$$

任意剖面内的后角 $\alpha_\theta$ 不再证明, 可以直接用任意剖面内的前角 $\gamma_\theta$ 的余角函数代入后得出:

$$\operatorname{ctg} \alpha_\theta = \operatorname{ctg} \alpha_0 \cdot \sin \theta + \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \cos \theta \quad (1-8)$$

当 $\theta = 90^\circ - \kappa_r$ 时, 将其值代入上式即得出切深后角 $\alpha_p$ , 公式如下:

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \alpha_p &= \operatorname{ctg} \alpha_0 \cdot \sin(90^\circ - \kappa_r) + \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \cos(90^\circ - \kappa_r) \\ &= \operatorname{ctg} \alpha_0 \cdot \cos \kappa_r + \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \sin \kappa_r \end{aligned} \quad (1-9)$$

当 $\theta = 180^\circ - \kappa_r$ 时, 同理得出进给后角 $\alpha_f$ , 公式如下:

$$\operatorname{ctg} \alpha_f = \operatorname{ctg} \alpha_0 \cdot \sin \kappa_r - \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \cos \kappa_r \quad (1-10)$$

切深剖面副后角 $\alpha_p'$ 及进给剖面副后角 $\alpha_f'$ , 也可求出。

$$\operatorname{ctg} \alpha_p' = \operatorname{ctg} \alpha_0' \cdot \cos \kappa_r' + \operatorname{tg} \lambda_s' \cdot \sin \kappa_r' \quad (1-11)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_f' = \operatorname{ctg} \alpha_0' \cdot \sin \kappa_r' - \operatorname{tg} \lambda_s' \cdot \cos \kappa_r' \quad (1-12)$$

式中 $\lambda_s'$ 系指副切削刃上的刃倾角。可按公式

$$\operatorname{tg} \gamma_\theta = \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \sin \theta + \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \cos \theta$$

当 $\theta = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa_r')$ 时可得 $\lambda_s'$ 值。因为该剖面的 $\gamma_\theta = \lambda_s'$ , 见图1-16, 故得下式:

$$\operatorname{tg} \lambda_s' = \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \sin(\kappa_r + \kappa_r') - \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \cos(\kappa_r + \kappa_r') \quad (1-13)$$

当 $\theta = 90^\circ - (\kappa_r + \kappa_r')$ 时, 如图1-16, 则该剖面即是 $O'-O'$ 剖面。 $\gamma_\theta = \gamma_0'$ 。得 $\gamma_0'$ 值的公式:

$$\operatorname{tg}\gamma_0' = \operatorname{tg}\gamma_0 \cdot \cos(\kappa_r + \kappa_r') + \operatorname{tg}\lambda_s \sin(\kappa_r + \kappa_r') \quad (1-14)$$

求 $\gamma_0$ 与 $\lambda_s$ 的计算式:

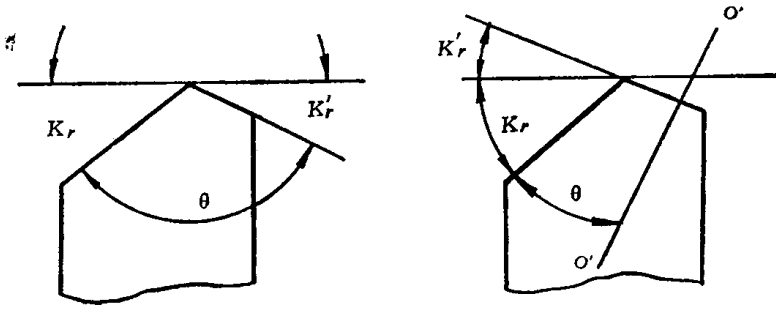


图 1-16  $\lambda_s'$ 及 $f_s'$ 值

将 $\operatorname{tg}\gamma_r = \operatorname{tg}\gamma_0 \cdot \cos\kappa_r + \operatorname{tg}\lambda_s \cdot \sin\kappa_r$ 等式的左、右项同时乘以 $\cos\kappa_r$ ,与 $\operatorname{tg}\gamma_f = \operatorname{tg}\gamma_0 \cdot \sin\kappa_r - \operatorname{tg}\lambda_s \cdot \cos\kappa_r$ 等式的左、右项同时乘以 $\sin\kappa_r$ 后,两式相加则得下式:

$$\operatorname{tg}\gamma_0 = \operatorname{tg}\gamma_r \cdot \cos\kappa_r + \operatorname{tg}\gamma_f \cdot \sin\kappa_r \quad (1-15)$$

如果将 $\operatorname{tg}\gamma_r = \operatorname{tg}\gamma_0 \cdot \cos\kappa_r + \operatorname{tg}\lambda_s \cdot \sin\kappa_r$ 左、右同乘以 $\sin\kappa_r$ ,与 $\operatorname{tg}\gamma_f = \operatorname{tg}\gamma_0 \cdot \sin\kappa_r - \operatorname{tg}\lambda_s \cdot \cos\kappa_r$ 左、右同乘以 $\cos\kappa_r$ 后,两式相减则得

$$\operatorname{tg}\lambda_s = \operatorname{tg}\gamma_r \cdot \sin\kappa_r - \operatorname{tg}\gamma_f \cdot \cos\kappa_r \quad (1-16)$$

如果对 $\operatorname{tg}\gamma_0 = \operatorname{tg}\gamma_0 \cdot \sin\theta + \operatorname{tg}\lambda_s \cdot \cos\theta$ 等式利用微分求极值,即 $\frac{d\gamma_0}{d\theta} = 0$ ,可求出最大前角 $\gamma_{\max}$ 如下式:

$$\operatorname{tg}\gamma_{\max} = \sqrt{\operatorname{tg}^2\gamma_0 + \operatorname{tg}^2\lambda_s} \quad (1-17)$$

或,

$$\operatorname{tg}\gamma_{\max} = \sqrt{\operatorname{tg}^2\gamma_r + \operatorname{tg}^2\gamma_f} \quad (1-18)$$

最大前角所在剖面同主切削刃在基面投影之间夹角 $\theta_{\max}$ 值如下式:

$$\operatorname{tg}\theta_{\max} = \frac{\operatorname{tg}\gamma_0}{\operatorname{tg}\lambda_s} \quad (1-19)$$

最小后角 $\alpha_{\min}$ 值如下式:

$$\operatorname{tg}\alpha_{\min} = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2\alpha_0 + \operatorname{tg}^2\lambda_s}} = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2\alpha_f + \operatorname{ctg}^2\alpha_r}} \quad (1-20)$$

## 2) 向量法

主要是计算出任意剖面内的角度换算公式,其余同前。

如图1-17所示的坐标系 $[i \cdot j \cdot k]$ 分别为三个坐标基准面(主剖面、切削平面、基面)的单位法向量。

**A**为单位切削刃向量;**B**为主剖面与前刀面交线的单位向量;**C**为任意剖面与前刀面交线的单位向量。而向量**A**与*i*之间夹角为刃倾角 $\lambda_s$ ;**B**与*j*之间夹角为前角 $\gamma_0$ ;**C**与基面之间夹角为任意剖面内的前角 $\gamma_0$ 。**A**、**B**、**C**三向量的投影表达式如下:

$$\mathbf{A} = \cos\lambda_s \cdot \mathbf{i} + 0 \cdot \mathbf{j} - \sin\lambda_s \cdot \mathbf{k}$$

$$\mathbf{B} = 0 \cdot \mathbf{i} + \cos\gamma_0 \cdot \mathbf{j} - \sin\gamma_0 \cdot \mathbf{k}$$

$$\mathbf{C} = \cos\theta \cdot \cos\gamma_0 \cdot \mathbf{i} + \cos\gamma_0 \cdot \sin\theta \cdot \mathbf{j} - \sin\gamma_0 \cdot \mathbf{k}$$

由于A, B, C为不共线的三个向量, 其共面条件为混合积 $[ABC]=0$

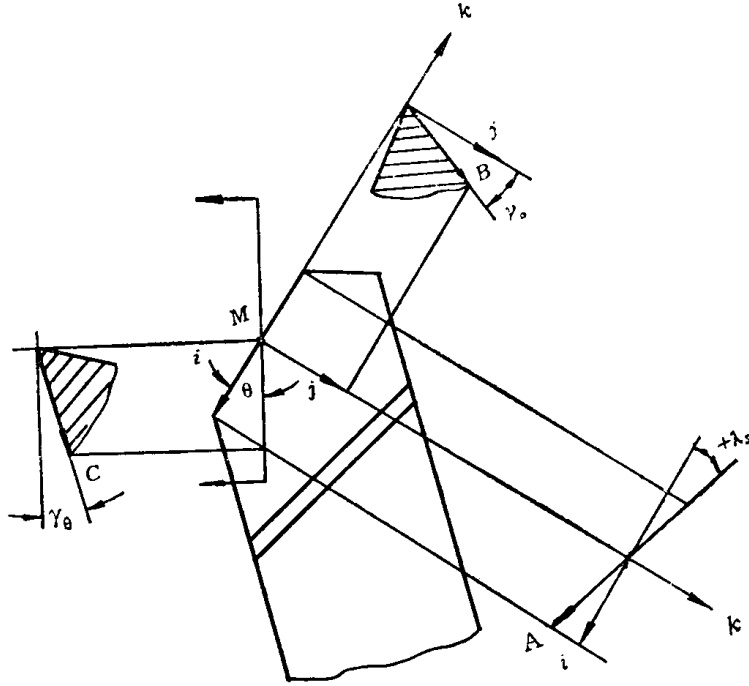


图 1-17 任意剖面角度变换的向量计算

$$\begin{vmatrix} A_i & A_j & A_k \\ B_i & B_j & B_k \\ C_i & C_j & C_k \end{vmatrix} = 0$$

如图知A, B, C在同一个前刀面上, 故得以下等式:

$$\begin{vmatrix} \cos\lambda_s & 0 & -\sin\lambda_s \\ 0 & \cos\gamma_0 & -\sin\gamma_0 \\ \cos\gamma_0\sin\theta & \cos\gamma_0\cdot\sin\theta & -\sin\gamma_0 \end{vmatrix} = 0$$

即

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & -\text{tg}\lambda_s \\ 0 & 1 & -\text{tg}\gamma_0 \\ \cos\theta & \sin\theta & -\text{tg}\gamma_0 \end{vmatrix} = 0$$

展开为

$$1 \begin{vmatrix} 1 & -\text{tg}\gamma_0 \\ \sin\theta & -\text{tg}\gamma_0 \end{vmatrix} - 0 \begin{vmatrix} 0 & -\text{tg}\gamma_0 \\ \cos\theta & -\text{tg}\gamma_0 \end{vmatrix} - \text{tg}\lambda_s \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ \cos\theta & \sin\theta \end{vmatrix} = 0$$

$$-\text{tg}\gamma_0 + \text{tg}\gamma_0 \cdot \sin\theta + \text{tg}\lambda_s \cdot \cos\theta = 0$$

得

$$\text{tg}\gamma_0 = \text{tg}\gamma_0 \cdot \sin\theta + \text{tg}\lambda_s \cdot \cos\theta$$

其余各式同理可证。

### 3. 典型车刀的几何角度及图示方法

综上所述, 典型车刀的标注角度如图 1-18所示。这是按国际 标准组织 (ISO 3002/1) 的规定给出的。其中三个坐标系为: 主剖面坐标系, 法剖面坐标系; 切深 (进给) 剖面坐标系。共17个角度, 把这些角度及所在坐标平面列于表 1-1 中。由表中得知, 车刀的基本角

度只有5种，即前角、后角、刃倾角，主偏角和副偏角。而一条主切削刃上只有四个基本角度 ( $\gamma, \alpha, \lambda, \kappa$ )。因此可以按刃（一刃四角）为单位来进行研究多刃或复杂刀具角度的问题。

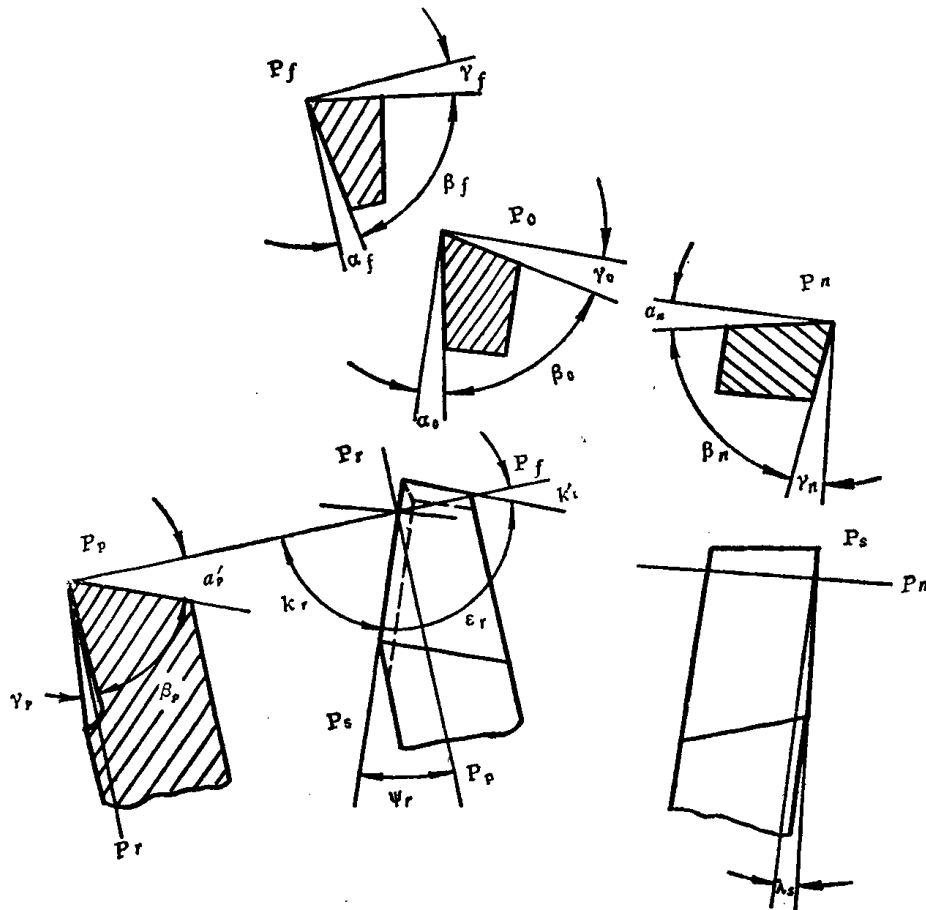


图 1-18 典型车刀的标注角度

图示方法:

(1) 画出基面 ( $P_r$ ) 上的投视图, 标注  $\kappa_r, \kappa_r'$  及  $\epsilon_r$ ;

表 1-1 刀具标注角度及其坐标平面

切削刃	基本角度		坐标平面	派生度角
主切削刃	前角	$\gamma_o$	$P_o$	
		$\gamma_n$	$P_n$	
		$\gamma_p$	$P_p$	
		$\gamma_f$	$P_f$	
主切削刃	后角	$\alpha_o$	$P_o$	
		$\alpha_n$	$P_n$	
		$\alpha_p$	$P_p$	
		$\alpha_f$	$P_f$	
	刃倾角	$\lambda_r$	$P_r$	$\psi_r$
	主偏角	$\kappa_r$	$P_r$	$\epsilon_r$
副切削刃	副偏角	$\kappa_r$	$P_r$	$\epsilon_r$

注:  $\psi_r$ 称为余偏角: 是进给方向的垂线与主切削刃在基面上投影之间的夹角。即  $\psi_r = 90^\circ - \kappa_r$ 。



- (2) 画出切削平面投视图 ( $P_s$ )，标注 $\lambda_s$ ;
- (3) 画出主剖面 ( $P_0$ )，标注 $\gamma_0, \alpha_0, \beta_0$ ;
- (4) 画出法剖面 ( $P_n$ )，标注 $\gamma_n, \alpha_n, \beta_n$ ;
- (5) 画出切深剖面 ( $P_r$ )，标注 $\gamma_r, \alpha_r, \beta_r$ ;
- (6) 画出进给剖面 ( $P_f$ )，标注 $\gamma_f, \alpha_f, \beta_f$ 。

一般车刀工作图中，应有六个标注角度，即 $\gamma_0, \alpha_0, \kappa_r, \kappa_r', \lambda_s$ 及 $\alpha'_0$ 。其它角度均可通过换算得到。为制造需要，标注其它角度时，应加括号。

### 三、刀具工作的角度

以前所讲的是在假定运动条件及安装条件下的标注角度。如果考虑合成运动 and 实际安装情况，则刀具的坐标要有所变化。该坐标系所确定的角度称为刀具的工作角度。在一般情况下（如普通车削、镗孔、端铣、周铣等）角度变化不超过 $1^\circ$ 时，不进行工作角度的计算。如角度变化大时（车螺纹、丝杆、铲背、钻孔以及刀具特殊安装等），才计算工作角度。

#### 1. 进给运动对工作角度的影响

(1) 横车：以切断车刀为例，如图1-19所示。

当不考虑进给运动时，切削刃上某一选定点相对工件的运动轨迹为一圆周。基面 $P_r$ 是平行刀杆底面的平面。切削平面 $P_s$ 是过选定点沿切削速度的平面。其前角为 $\gamma_0$ ，后角为 $\alpha_0$ 。

当考虑进给运动时，切削刃上选定点相对工件的运动轨迹为一阿基米德螺旋线，切削平面是过该选定点，沿合成切削速度方向的平面 $P_{r,e}$ 。基面为垂直 $P_{r,e}$ 的平面 $P_{r,e}$ 。角度变化值为 $\mu$ 。

$$\text{则} \quad \gamma_{e,e} = \gamma_0 + \mu \quad \alpha_{e,e} = \alpha_0 - \mu$$

式中， $\mu$ 角称为合成切削速度角，它是主运动方向与合成切削速度之间的夹角，在工作进给剖面 $P_{f,e}$ 内度量。由图1-19，可得

$$\text{tg}\mu = \frac{f}{\pi d} \tag{1-21}$$

式中  $f$ ——进给量(mm/r);  
 $d$ ——工件外径(mm)。

该式说明 $\mu$ 值是随着 $d$ 值的减小而增大。在常用进给量条件下，当切削刃距工件中心1mm时， $\mu = 1^\circ 40'$ 。如再靠近中心时， $\mu$ 值则急剧增大，使刀具工作时的后角变为负值，说明已不能进行切削，工件不是被切断，而是被挤断。因此在切断时，工件中心处常留有 $d = 1\text{mm}$ 左右的凸台。

(2) 纵车：以外圆车刀为例。

道理同上，由于工作中基面和切削平面的变化，则引起工作角度的变化。如图1-20所示，假定 $\lambda_s = 0^\circ$ ，如不考虑进给运动时，切削平面 $P_s$ 垂直于刀杆底面，基面 $P_r$ 平行于刀杆底面，标注角度为 $\gamma_0, \alpha_0$ 。当考虑进给运动后，则切削平面 $P_{s,e}$ 为切于螺旋面的平面，基面 $P_{r,e}$ 为垂直螺旋面的平面，则刀具工作角度的参考系 $[P_{s,e}, P_{r,e}]$ 倾斜了一个 $\mu$ 角。

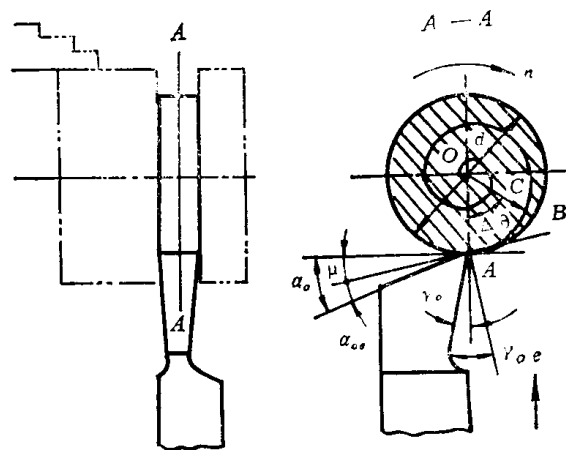


图 1-19 横向进给运动对工作角度的影响