

高等工业专科学校联编试用教材



金属切削原理

上海纺织工业专科学校 刘源灿主编

上海科学技术文献出版社

JINSHUQIEXIAOYUANLI

内 容 简 介

本书根据高等工业专科学校机械制造专业教学要求编写。内容包括基本定义,金属切削过程,切削力,切削热和切削温度,刀具材料,刀具磨损和耐用度,加工表面粗糙度,刀具几何参数的合理选择,切屑的控制,切削用量的优化和选用,磨削加工等十章。

本书可作为高等工业专科学校机械制造专业试用教材,也适用于电视大学、职工大学、业余大学机械制造专业作为教学用书。

高等工业专科学校联编试用教材

金 属 切 削 原 理

上海纺织工业专科学校 刘源灿 主编

责任编辑 龚九峰

*

上海科学技术文献出版社出版

(上海市武康路2号)

新华书店上海发行所发行

上 海 商 务 印 刷 厂 印 刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 10 75 字数 268,000

1985年8月第1版 1985年8月第1次印刷

印数: 1—25,000

书号: 15192·403 定价: 1.80 元

《科技新书目》98-189

前 言

为了适应当前发展高等工业专科教育的需要,解决长期以来没有专科机制专业教材的困难,一九八三年初由上海纺织工业专科学校、扬州工业专科学校、沈阳冶金机械专科学校等发起,联合有关十所工业专科学校共同组织编写《金属切削原理》与《金属切削刀具》两本教材。

在编写以前,各校共同拟订出《金属切削原理》和《金属切削刀具》教学大纲,并在此基础上制订了编写大纲。

本教材力图从专科教学要求出发,在总结多年教学经验的基础上,精选基本内容,努力贯彻“少而精”原则,在保证一定基本理论的基础上,加强了实践性内容,适当地反映现代科学技术成就,并采用了新的标准和单位。

为了便于学生学习和培养学生独立思考能力,每章均附有思考题与习题。

为适应各校不同要求,小字排印内容可以不讲或少讲。

本教材也适合电视大学、职工大学、业余大学机制专业学生使用。

参加本教材编写的有:南通纺织专科学校蒋云如(绪论、第一章)、上海纺织工业专科学校刘源灿、许先绪(第二章)、上海轻工业专科学校何椿(第三章)、居季成(第四章)、沈阳冶金机械专科学校王肇昌(第五章)、上海纺织工业专科学校刘源灿(第六、七、八章)、许先绪(第九章)、郑州纺织专科学校陈剑飞(第十章);由刘源灿同志负责主编。

在本书编审工作中得到扬州工专、盐城工专、湖南湘潭基础大学、湖南邵阳基础大学、湖北农业机械专科学校、上海建筑材料工业专科学校、上海医疗工业专科学校、上海机床公司职工大学、上海纺机公司职工大学等兄弟学校关心、支持,谨此表示感谢。

本书部分照片承上海纺织工业专科学校电化室孙剑、朱卫东两同志协助拍摄,本书的配套挂图,由上海纺机公司职工大学制作供应,在此表示深切感谢。

限于编者水平,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请读者指正。

编 者

1984年7月

目 录

绪论

第一章 基本定义	1
§ 1-1 切削运动和加工表面	1
§ 1-2 车刀切削部分的基本定义	2
§ 1-3 刀具角度换算	7
§ 1-4 车刀的工作角度	10
§ 1-5 切削用量和切削层截面的几何参数	15
§ 1-6 自由切削与不自由切削	16
思考题与习题	17
第二章 金属切削过程	18
概述	18
§ 2-1 切屑的形态	19
§ 2-2 切屑的形成过程	20
§ 2-3 刀-屑接触区	25
§ 2-4 已加工表面形成过程	31
§ 2-5 影响切屑变形的因素	32
思考题与习题	34
第三章 切削力	36
§ 3-1 切削力的定义、影响及其研究目的	36
§ 3-2 切削合力、分力和切削功率	36
§ 3-3 切削力测量和经验公式的建立	38
§ 3-4 影响切削力的因素	48
思考题与习题	54
第四章 切削热和切削温度	55
§ 4-1 切削热的来源和传出	55
§ 4-2 切削区温度分布和测量切削温度的方法	55
§ 4-3 影响切削温度的主要因素	57
§ 4-4 切削热的限制和应用	61
§ 4-5 切削液	62
§ 4-6 计算切削温度的理论公式	65
思考题与习题	68
第五章 刀具材料、刀具磨损和耐用度	70
§ 5-1 刀具材料	70
§ 5-2 刀具磨损	75

§ 5-3 刀具耐用度	80
§ 5-4 刀具的破损	82
思考题与习题	84
第六章 加工表面粗糙度	85
§ 6-1 表面粗糙度的评定参数	85
§ 6-2 影响表面粗糙度的主要因素	86
思考题与习题	89
第七章 刀具几何参数的合理选择	90
§ 7-1 前刀面及前角的选择	90
§ 7-2 后刀面及后角的选择	93
§ 7-3 主偏角、副偏角的作用及其选择	96
§ 7-4 过渡刃与修光刃参数的选择	98
§ 7-5 斜角切削及刃倾角的选择	99
§ 7-6 刀具几何参数选择举例	103
思考题与习题	105
第八章 切屑的控制	106
§ 8-1 切屑的卷曲和分类	106
§ 8-2 断屑原因及切屑折断条件	109
§ 8-3 影响断屑的主要因素	112
§ 8-4 断屑方法	113
思考题与习题	117
第九章 切削用量的优化和选用	118
§ 9-1 切削用量优化的方法	118
§ 9-2 切削用量参数	118
§ 9-3 目标函数	119
§ 9-4 约束条件	120
§ 9-5 切削用量优化的数学模型	123
§ 9-6 单切削变量的优化和选用	124
§ 9-7 二个切削变量的优化	132
§ 9-8 选择切削用量举例	133
思考题与习题	137
第十章 磨削加工	138
§ 10-1 砂轮的特性及选择	138
§ 10-2 磨削运动及磨削要素	145
§ 10-3 磨削机理	147
§ 10-4 砂轮的磨损和修整	156
§ 10-5 磨削发展方向	158
思考题与习题	161
主要参考资料	161

第一章 基本定义

切削加工所得到的工件表面,总是由刀具的切削刃与工件作相对的切削运动而形成。因此,切削加工主要涉及到切削运动、工件和刀具切削部分等方面。为使技术名称得到统一,并有一致的理解,以便在此基础上进一步研究切削加工,必须对上述方面给以基本定义和解释。

本章的技术名称、定义和符号尽量按《ISO》的规定,其中没有规定的符号,则考虑我国沿用习惯,并参考国外有关著作,酌情选定。本章以车刀为代表,叙述有关名称和符号。

§1-1 切削运动和加工表面

一、切削运动

为加工工件表面使之成形,刀具的切削刃与工件必须作相对的运动,以便从工件上切下切屑,通常称此相对运动为切削运动。当然,要完成切削工作,除切削运动外,有时还需做调整刀具切削刃与工件相对位置的运动及其它的辅助运动(如进刀、退刀等)。

切削运动可由刀具单独完成,如在钻床上钻孔时,工件不动,切削运动由钻头的旋转运动和沿其轴向的直线运动组合而成。切削运动也可由工件和刀具分别完成,如车外圆,切削运动由工件的旋转运动和刀具平行于工件轴向的直线移动组合而成。图 1-1 表示钻、车、铣、刨、磨、拉削的切削运动。根据在切削过程中所起的作用,切削运动可分为主运动和进给运动。

1. 主运动 所谓主运动,就是切除工件上的切削层,使之转变为切屑的基本运动。它

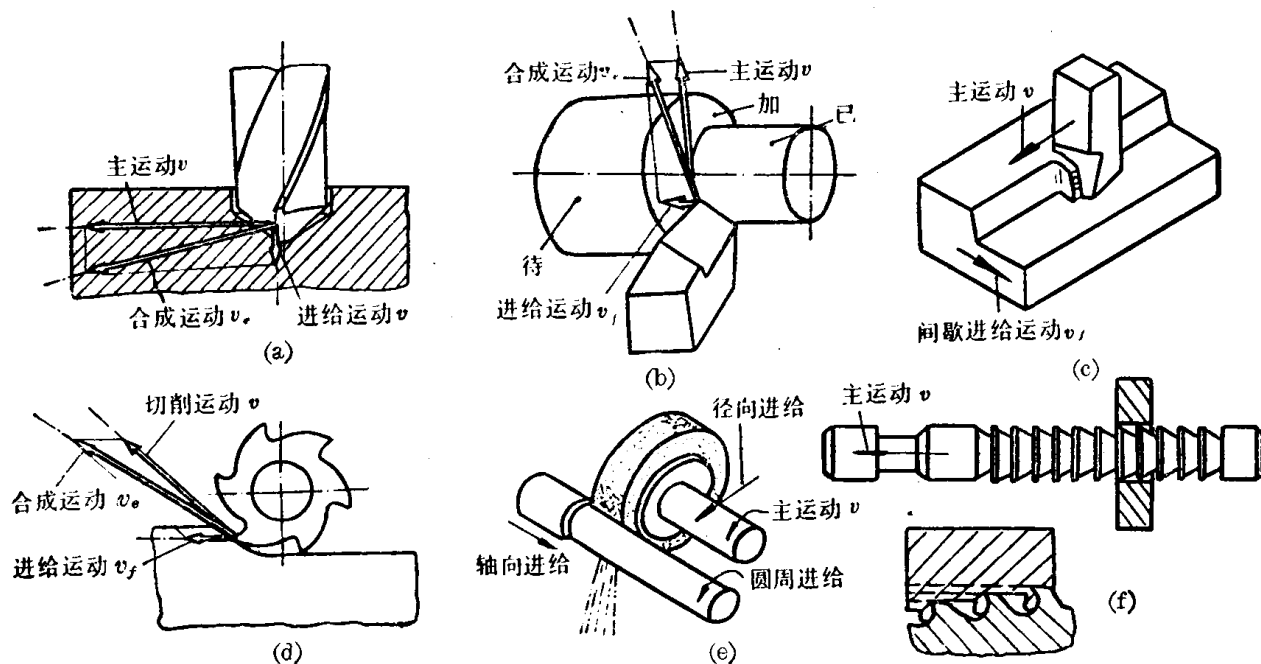


图 1-1 钻、车、刨、铣、磨、拉削的切削运动

是切削运动中速度最高、消耗功率最多的运动。在切削运动中主运动只有一个,如车削时工件的旋转运动、刨削时刀具(或工作台)的往复直线运动、钻削和铣削时刀具的旋转运动等(见图 1-1)。主运动的速度称为切削速度,用符号 v 表示。切削速度 v 的方向称为主运动方向,当主运动为旋转运动时,主运动方向为圆周上选定点的切线方向。

2. 进给运动(也称走刀运动) 所谓进给运动,就是不断地把切削层投入切削的运动。它在切削运动中速度较低、消耗功率较少。进给运动可以是间歇的(如刨削),也可以是连续的(如车削)运动。进给运动可以是一个,或几个(如磨削等)。拉削加工中,它的进给运动由拉刀上刀齿的齿升量来完成(见图 1-1)。进给运动的速度称为进给速度,用符号 v_f 表示。进给速度 v_f 的方向称为进给运动方向。进给运动方向常平行于所形成的工件表面。

3. 主运动与进给运动的合成 由于有些加工方法的主运动与进给运动是同时进行的,因此刀具切削刃上一点与工件的相对运动是上述二运动的合成。其合成速度向量 v_e 应为主运动速度 v 与进给运动速度 v_f 之向量和(见图 1-1a、b、d)。

$$\text{即} \quad v_e = v + v_f \quad (1-1)$$

显然,沿切削刃各点的合成速度向量不一定相等。由于 v_f 常比 v 小得多,在讨论某些问题时常用 v 代替 v_e 。

二、车削中的加工表面

在车削过程中,工件上有三个不断变化着的表面(参看图 1-1b):

已加工表面:工件上已经切去切屑而形成的新表面。

待加工表面:工件上即将被切去切屑的表面。

加工表面:切削刃正在切削着的表面,也就是已加工表面和待加工表面间的过渡表面。

§1-2 车刀切削部分的基本定义

切削刀具的种类繁多,形状复杂,但却有共同的特征:具有楔形的切削部分,称为楔形刀头。车刀是最典型的具有楔形刀头的简单刀具,其它刀具可认为是车刀的演变和组合,多刃刀具的每个刀齿都相当于一把车刀(参看图 1-2)。现代刀具的切削部分大都采用刀片经焊接或用机械夹固的方法制成,特别是可转位刀片出现以后,使许多刀具的切削部分更趋于统一和规格化,这就大大促进了切削刀具的发展。车刀是各种刀具的基础,为便于统一认识起见,下面以普通外圆车刀为代表来确定切削部分的基本定义,这些基本定义也必然适合于其它刀具。

一、车刀的组成

车刀由刀杆和刀头两部分组成(见图 1-3)。车刀切削部分构造要素的名称及定义如下:

前刀面(A_γ)——切屑沿其流出的刀面。

主后刀面(A_α)——与工件加工表面相对的刀面。

副后刀面($A_{\alpha'}$)——与工件已加工表面相对的刀面。

主刀刃——前刀面与主后刀面的交线,它担任主要切削工作。

副刀刃——前刀面与副后刀面的交线,它配合主刀刃最终形成已加工表面。

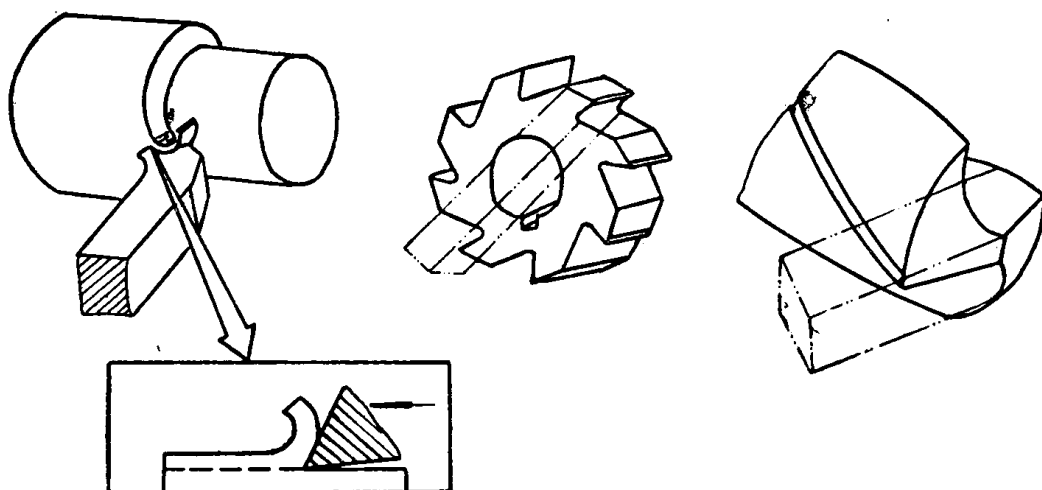


图 1-2 楔形刀头及多刃刀具由车刀组成示意图

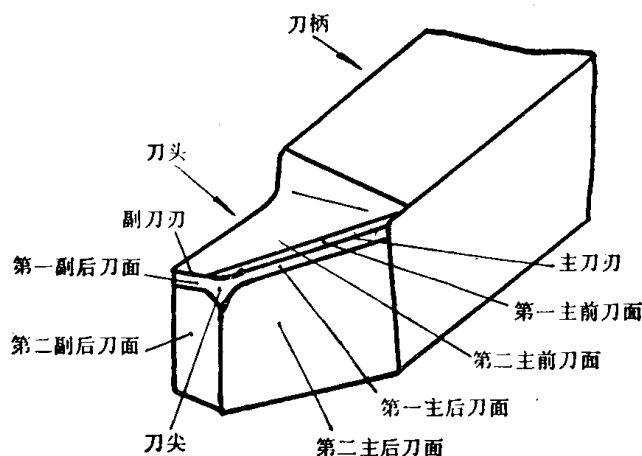


图 1-3 车刀的组成

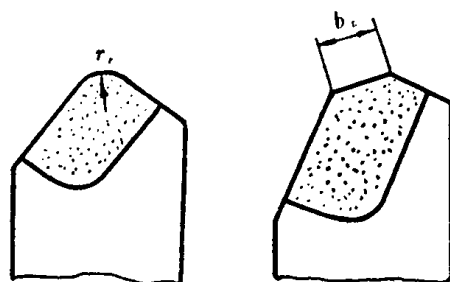


图 1-4 刀尖过渡刃形式

刀尖——主切削刃与副切削刃的连接处。为了加强刀尖的强度，一般将刀尖做成圆弧（圆弧半径为 r_e ）或折线过渡刃（过渡刃长度 b_e ），见图 1-4。

前、后刀面不一定是一个完整的平面，可以由几个相互倾斜的平面或圆弧槽组成。依次把它们叫做第一前刀面（ $A_{\gamma 1}$ ）、第二前刀面（ $A_{\gamma 2}$ ）……第一主后刀面（ $A_{\alpha 1}$ ）、第二主后刀面（ $A_{\alpha 2}$ ）……通常把第一前刀面和第一主、副后刀面称为棱面。

二、刀具角度

1. 刀具角度的参考系 为了确定定义和确定刀具的角度，仅靠刀头上的几个面是不够的，还需人为地在刀具上再建立平面参考系，以便利用平面参考系与刀具的切削刃和刀面组成相应的角度。

由于刀具的制造与刀具的使用这两种情况不同，因而平面参考系需采用两种体系：静止参考系（简称静止系）和工作参考系（简称工作系）。静止系用在刀具的设计、制造和检验时，工作系用在刀具进行切削加工时。

静止系与工件不发生联系，只在刀具上假定一个主运动方向和进给运动方向，不考虑运动速度大小和刀具相对于工件的安装情况；而工作系要与工件联系，要考虑合成运动速度 v_e 的方向和刀具相对于工件的安装情况。

由于大多数加工表面都不是平面，而是空间曲面，不便于直接用来做参考平面；在工作

系中,主切削刃上每点的切削速度可各不相同。所以,在建立参考系时,应通过切削刃上某一选定点来建立平面参考系。

2. 静止系中的坐标平面和刀具角度

(1) 静止系中的坐标平面(参看图 1-5)

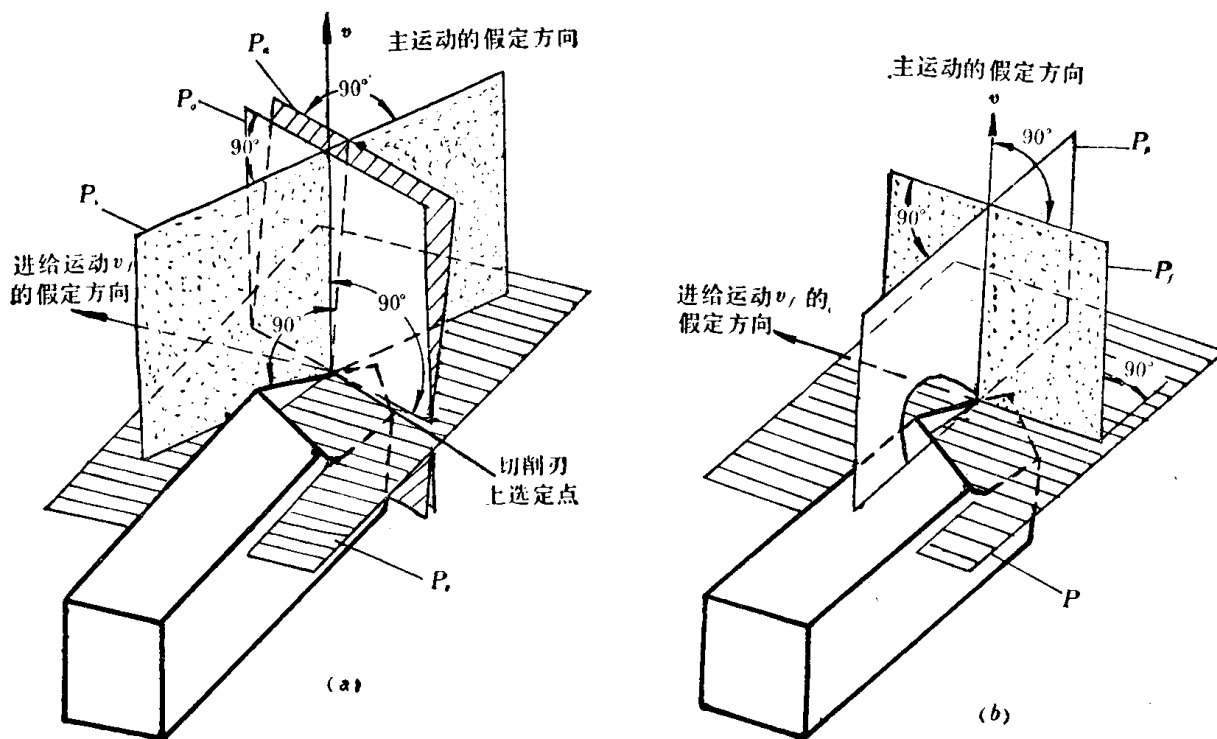


图 1-5 静止系中的诸平面

① 基面 P_r : 通过切削刃上被选点, 而又垂直于主运动的假定方向 v 的平面称为基面 P_r 。它应与刀具的定位基准平面或基准轴线有紧密联系, 如普通的车刀、刨刀, 其基面是平行于刀具底面(定位基准平面)的平面; 拉刀, 其基面是垂直于拉刀轴线的平面; 凡是作旋转运动的刀具, 如钻头、铰刀、丝攻、铣刀等, 其基面都是通过刀具轴线的平面。

② 切削平面 P_s : 在切削刃的被选点上与工件加工表面相切的平面; 也就是主运动方向与切削刃被选点的切线所组成的平面称为切削平面 P_s 。因此, 切削平面 P_s 必然垂直于基面 P_r 。

这样, 所建立的两个互相垂直的参考平面就分别与车刀的前刀面、后刀面形成了夹角。此夹角是二个平面之间的夹角, 称为二面角。二面角的角度值随测量剖面的位置不同而不同。因此, 还得按实际需要规定测量剖面。

③ 测量剖面: 目前常用下列四种:

a. 主剖面: 通过切削刃上被选点, 且垂直于切削刃在基面 P_r 上投影的平面称为主剖面。因此, 它必然同时垂直于基面 P_r 和切削平面 P_s 。主、副切削刃上均有主剖面, 其代号分别为 P_o 和 P'_o (见图 1-5, a 和图 1-6)。

b. 法剖面 P_n : 通过切削刃上被选点, 且垂直于切削刃的平面称为法剖面 P_n 。若前刀面为平面时, 则法剖面 P_n 垂直于前刀面(见图 1-5, a)。

c. 横向剖面 P_f : 通过切削刃上被选点, 且垂直于基面 P_r , 同时平行于进给运动的假定方向的平面(也就是由主运动假定方向与进给运动假定方向所组成的平面)称为横向剖面

P_r (见图 1-5, b)。

d. 纵向剖面 P_o : 通过切削刃上被选点, 且同时垂直于基面 P_r 和横向剖面 P_f 的平面称为纵向剖面 P_o (见图 1-5, b)。

上述四种剖面所测得的角度是不同的, 所以, 存在着一定的换算关系, 详见 § 1-3。

(2) 刀具的标注角度

在设计、制造和测量刀具时, 采用静止系来标注刀具的角度, 称为标注角度。

在主剖面 P_o 中测量的角度有 (见图 1-6):

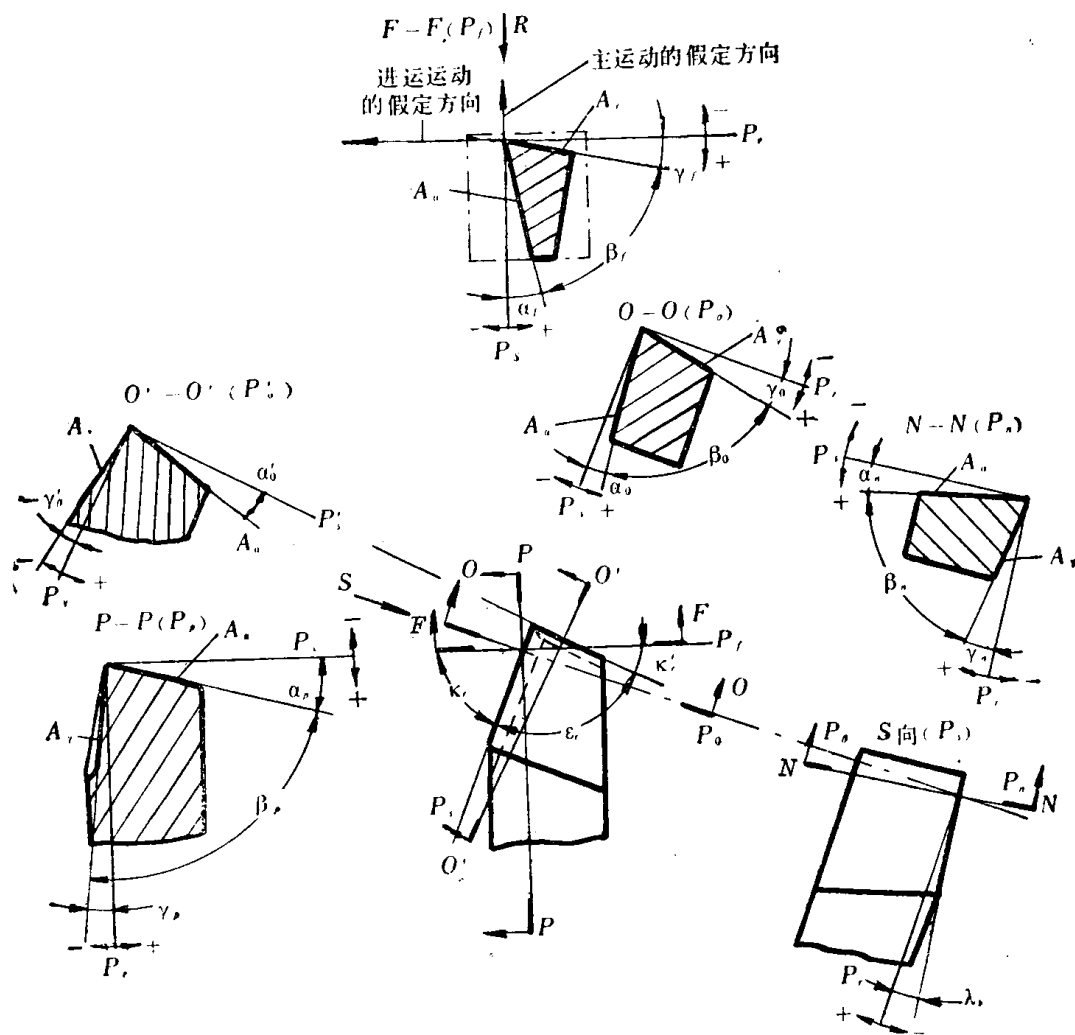


图 1-6 车刀的标注角度

① 前角 γ_o : 前刀面与基面之间的夹角。在图示情况, 通过选定点的基面位于楔形刀头的实体之外, 前角定为正值。若通过选定点的基面位于楔形刀头的实体之内时, 则前角定为负值 ($-\gamma_o$)。

② 后角 α_o : 后刀面与切削平面之间的夹角。在图示情况, 通过选定点的切削平面位于楔形刀头的实体之外, 后角定为正值。若通过选定点的切削平面位于楔形刀头的实体之内时, 则后角定为负值 ($-\alpha_o$)。

③ 楔角 β_o : 前刀面与后刀面之间的夹角。

由上列定义可知:

$$\gamma_o + \beta_o + \alpha_o = 90^\circ \quad (1-2)$$

α_o 与 β_o 之和叫切削角 δ_o :

$$\alpha_o + \beta_o = \delta_o \quad (1-3)$$

在法剖面、横向和纵向剖面中均有上述三个角度, 即:

法向前角 γ_n , 法向后角 α_n , 法向楔角 β_n 。

横向前角 γ_f , 横向后角 α_f , 横向楔角 β_f 。

纵向前角 γ_p , 纵向后角 α_p , 纵向楔角 β_p 。其定义和在主剖面中的一样。

在基面的投影上测量的角度有(见图 1-6):

④ 主偏角 κ_r : 主切削刃在基面上的投影与进给运动的假定方向之间的夹角(或横向剖面与切削平面之间的夹角)。

⑤ 副偏角 κ'_r : 副切削刃在基面上的投影与进给运动假定方向的反方向之间的夹角。

⑥ 刀尖角 ε_r : 主、副切削刃在基面上的投影之间的夹角。于是有:

$$\kappa_r + \varepsilon_r + \kappa'_r = 180^\circ \quad (1-4)$$

在切削平面 P_s 内测量的角度有(见图 1-6):

⑦ 刃倾角 λ_s : 主切削刃与基面 P_r 之间的夹角。刃倾角 λ_s 正负值的规定见图 1-7。

当刀尖是切削刃上最低点时, λ_s 定为负值;

当刀尖是切削刃上最高点时, λ_s 定为正值。

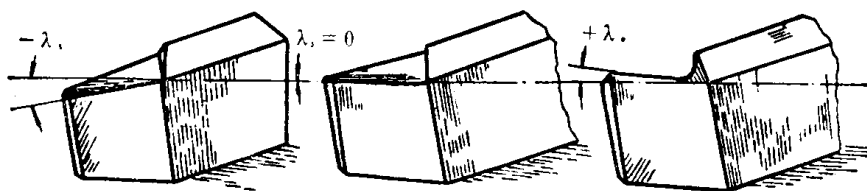


图 1-7 刃倾角的符号

$\lambda_s = 0^\circ$ 的切削称为正切削或直角切削;

$\lambda_s \neq 0^\circ$ 的切削称为斜切削或斜角切削。

表 1-1 车刀标注角度及其参考平面

切削刃	基本角度		参考平面	派生角度
主 刀 刃	前 角	γ_o	P_o	
		γ_n	P_n	
		γ_p	P_p	
		γ_f	P_f	
主 刀 刃	后 角	α_o	P_o	
		α_n	P_n	
		α_p	P_p	
		α_f	P_f	
副 刀 刃	刃倾角	λ_s	P_s	
	主偏角	κ_r	P_r	
	副偏角	κ'_r	P_r	
	副后角	α'_o	P'	

在副切削刀的主剖面 P'_0 中, 同样有副前角 γ'_0 和副后角 α'_0 , 也同样的副切削刀的刀倾角 λ'_s , 其定义均同主切削刀。其中 γ'_0 、 λ'_s 在主副切削刀共一个平面型前刀面时, 当 κ_r 、 κ'_r 、 λ_s 、 γ_0 为已定值, 则副前角 γ'_0 和副刀倾角 λ'_s 都随之而确定(见式 1-14、式 1-15), 图纸上也就不必标注。仅副后角 α'_0 需要标注。这样, 上述七种角度中, β_0 、 ε_r 是派生角度, 故一把外圆车刀的标注角度只有六个, 即主切削刀的四个基本角度 γ_0 、 α_0 、 κ_r 、 λ_s 和副切削刀的两个基本角度 α'_0 、 κ'_r 。

将上述角度及其所在的参考平面进行归类列于表 1-1。

§1-3 刀具角度换算

在设计、制造和使用刀具时, 常需要对不同剖面内的标注角度进行换算, 即主剖面、法剖面、纵(横)向剖面之间的角度换算。换算方法有几种, 此处采用解析法。

一、主、法剖面之间角度换算

在刀具设计、制造和检验中, 常常需要知道主切削刀在法剖面内的角度; 许多斜角切削刀具, 特别是大刀倾角刀具, 必须标注法剖面角度。图 1-8 表示主、法剖面中的前角 γ_0 和 γ_n 及其几何关系。图中刀倾角 λ_s 为正值。它们的计算公式推导如下:

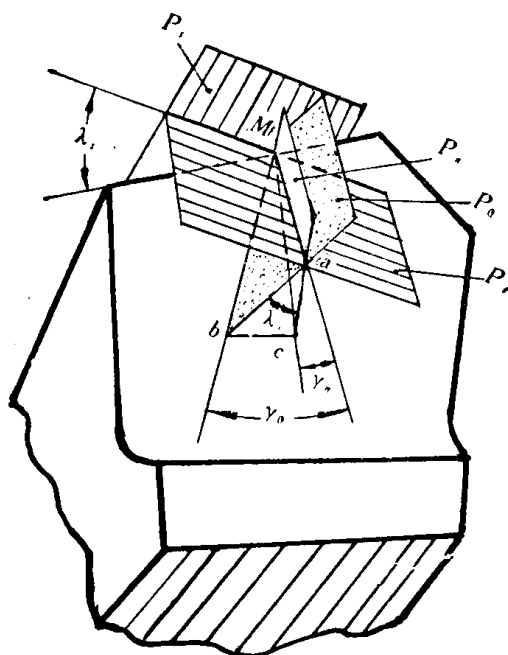


图 1-8 法向前角

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

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{\overline{ab}}{\overline{Ma}}$$

$$\frac{\operatorname{tg} \gamma_n}{\operatorname{tg} \gamma_0} = \frac{\overline{ac}}{\overline{Ma}} \cdot \frac{\overline{Ma}}{\overline{ab}} = \frac{\overline{ac}}{\overline{ab}} = \cos \lambda_s$$

$$\therefore \operatorname{tg} \gamma_n = \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \cos \lambda_s \quad (1-5)$$

当 $\lambda_s = 0^\circ$ 时(主、法剖面重合), $\gamma_n = \gamma_0$; 当 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 时, $\gamma_0 > \gamma_n$ 。

将式中 γ_n 、 γ_0 换为 α_n 、 α_0 的余角函数*, 即得法剖面的后角与主剖面后角的关系:

* 用向量法证明如下:

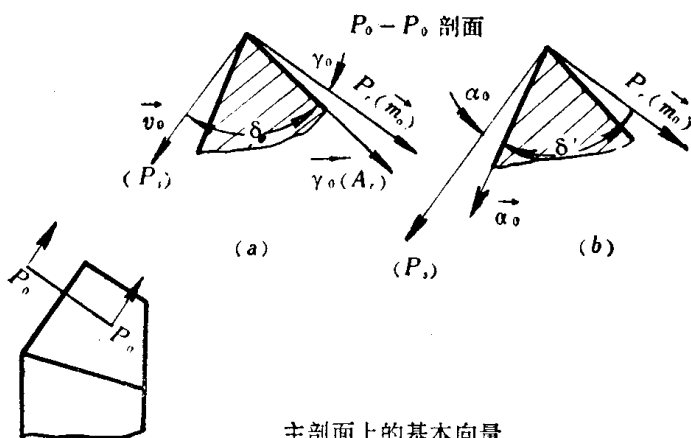
首先在车刀主剖面图上确定几个基本向量—— $\mathbf{v}_0$ 、 $\mathbf{m}_0$ 、 γ_0 和 α_0 。

1. 切削速度单位向量 $\mathbf{v}_0$ 。根据基面 P_r 的定义, 基面 P_r 的法向量就是 $\mathbf{v}_0$ 。图中所示 $\mathbf{v}_0$ 为正向。

2. 切削平面的单位法向量 $\mathbf{m}_0$ 。在图中与基面 P_r 重合。

3. 主前角单位向量 γ_0 ——为主剖面与前刀面的交线。(a) 图所示 γ_0 为正向。

4. 主后角单位向量 α_0 ——为主剖面与主后刀面的交线。(b) 图所示 α_0 为正向。



主剖面上的基本向量

$$\operatorname{ctg} \alpha_n = \operatorname{ctg} \alpha_o \cdot \cos \lambda_s \quad (1-6)$$

二、主剖面 and 纵、横剖面之间的角度换算

刀具标注角度常采用主剖面(或法剖面)参考系统,但有时也需要知道纵、横向剖面内的刀具角度,如利用三向旋转磨刀夹具进行刃磨时等。因此,须进行主、纵、横剖面之间的角度换算。

先求出垂直于基面 P_r 的任意剖面 $P_\theta-P_\theta$ 的前角 γ_θ 与主剖面 P_o-P_o 的前角 γ_o 之间的关系。在图 1-9 中,过主刀刃上一点 a 作基面 P_r 、主剖面 P_o-P_o 和垂直于基面的任意剖面 $P_\theta-P_\theta$ 。 P_o-P_o 剖面与切削平面(在图上为主刀刃在基面上的投影)之间的夹角为 θ 。刃倾角 λ_s 此处为正。 ef 、 db 线段垂直于基面。 $bfed$ 平面平行于切削平面。从图 1-9 中可得:

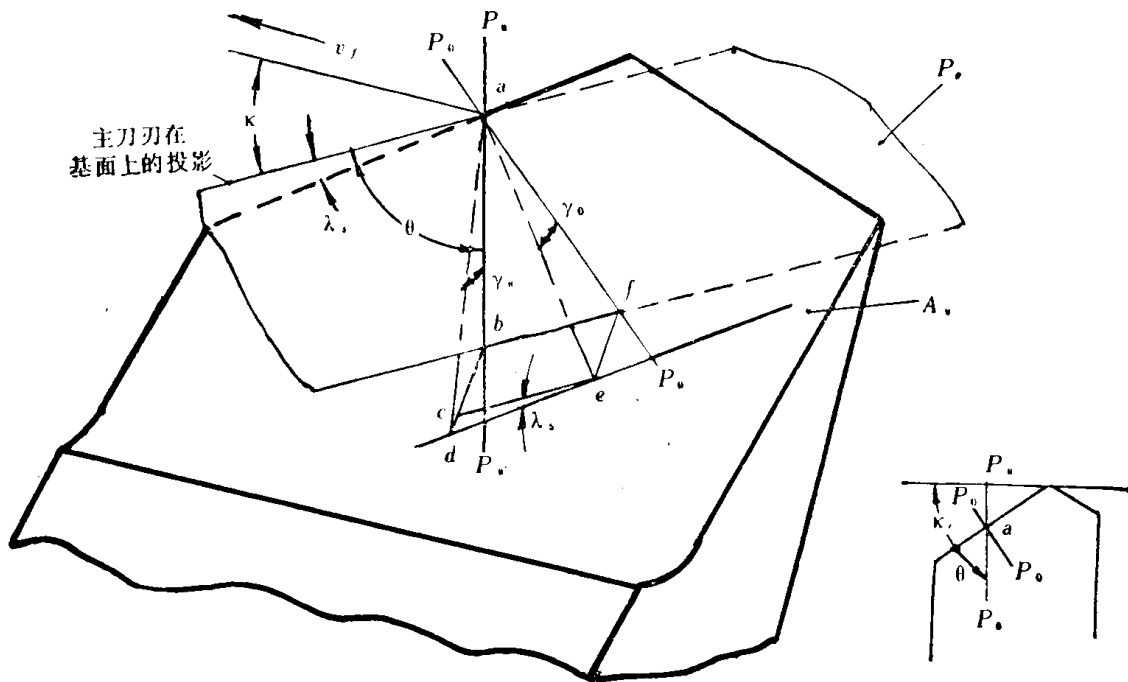


图 1-9 角度换算解析法

$$\operatorname{tg} \gamma_\theta = \frac{\overline{bd}}{\overline{ab}} = \frac{\overline{ef} + \overline{cd}}{\overline{ab}} = \frac{\overline{af} \cdot \operatorname{tg} \gamma_o + \overline{ce} \cdot \operatorname{tg} \lambda_s}{\overline{ab}}$$

于是有:

$$\operatorname{tg} \gamma_\theta = \sin \theta \cdot \operatorname{tg} \gamma_o + \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \lambda_s \quad (1-7)$$

当 $\theta=0^\circ$ 时,则 $P_\theta-P_\theta$ 剖面与切削平面重合:

由(a)图可得向量数积:

$$\cos \delta = \gamma_o \cdot \mathbf{v}_o$$

即

$$\cos (90^\circ - \gamma_o) = \gamma_o \cdot \mathbf{v}_o$$

即

$$\sin \gamma_o = \gamma_o \cdot \mathbf{v}_o$$

同时又有

$$\cos \gamma_o = \gamma_o \cdot \mathbf{m}_o$$

(I)

由(b)图可得向量数积:

$$\cos \delta' = \alpha_o \cdot \mathbf{m}_o$$

即

$$\cos (90^\circ - \alpha_o) = \alpha_o \cdot \mathbf{m}_o$$

即

$$\sin \alpha_o = \alpha_o \cdot \mathbf{m}_o$$

同时又有

$$\cos \alpha_o = \alpha_o \cdot \mathbf{v}_o$$

(II)

比较 I、II 两组公式就可发现,前、后角的正弦、余弦公式正好颠倒。从数学观点看,前刀面与后刀面没有本质差别,若把后刀面也看成前刀面,则后角是前角的余角。所以前、后角的研究可以归结为前角一种情况的研究,从导出的前角的公式中,把包含有前角的三角函数,换成后角相应的余角函数,即得后角的计算公式。公式 1-6 就是这样从公式 1-5 变换来的。

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \operatorname{tg} \lambda_s$$

$$\gamma_0 = \lambda_s$$

当 $\theta = 90^\circ - K_r$ 时, 则 $P_\theta - P_\theta$ 剖面与纵向剖面 P_p 重合, γ_0 即为 γ_p , 故可得纵向前角 γ_p 为:

$$\operatorname{tg} \gamma_p = \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \cos \kappa_r + \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \sin \kappa_r \quad (1-8)$$

当 $\theta = 180^\circ - \kappa_r$ 时, 则 $P_\theta - P_\theta$ 剖面与横向剖面 P_f 重合, γ_0 即为 γ_f , 故可得横向前角 γ_f 为:

$$\operatorname{tg} \gamma_f = \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \sin \kappa_r - \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \cos \kappa_r \quad (1-9)$$

将前角 γ_p (或 γ_f) 换成后角 α_p (或 α_f) 的余角函数, 则可得纵向后角 α_p 、横向后角 α_f 的计算公式:

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

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

对于副后刀面的纵、横向副后角 (α'_p 、 α'_f) 也可求得为:

$$\operatorname{ctg} \alpha'_p = \operatorname{ctg} \alpha'_0 \cdot \cos \kappa'_r + \operatorname{tg} \lambda'_s \cdot \sin \kappa'_r \quad (1-12)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha'_f = \operatorname{ctg} \alpha'_0 \cdot \sin \kappa'_r - \operatorname{tg} \lambda'_s \cdot \cos \kappa'_r \quad (1-13)$$

当主、副刀刃在同一个平面型公共前刀面上时, 副前角 γ'_0 和副刀刃的刃倾角 λ'_s 也可利用公式 1-7 求得。

当 $\theta = 90^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r)$ 时, 则 $P_\theta - P_\theta$ 剖面与副刀刃的主剖面重合, γ_0 即为 γ'_0 , 故可得副前角 γ'_0 为:

$$\operatorname{tg} \gamma'_0 = \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \cos(\kappa_r + \kappa'_r) + \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \sin(\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-14)$$

当 $\theta = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r)$ 时, 则 $P_\theta - P_\theta$ 剖面与副刀刃的切削平面重合, γ_0 即为 λ'_s , 故可得副刀刃的刃倾角 λ'_s 为:

$$\operatorname{tg} \lambda'_s = \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \sin(\kappa_r + \kappa'_r) - \operatorname{tg} \lambda_s \cdot \cos(\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-15)$$

将公式 1-8 等号两边各乘以 $\cos K_r$; 公式 1-9 等号两边各乘以 $\sin K_r$, 并相加可得前角 γ_0 的计算公式:

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \operatorname{tg} \gamma_p \cdot \cos \kappa_r + \operatorname{tg} \gamma_f \cdot \sin \kappa_r \quad (1-16)$$

将公式 1-8 等号两边各乘以 $\sin \kappa_r$; 公式 1-9 等号两边各乘以 $\cos \kappa_r$, 并相减可得刃倾角 λ_s 的计算公式:

$$\operatorname{tg} \lambda_s = \operatorname{tg} \gamma_p \cdot \sin \kappa_r - \operatorname{tg} \gamma_f \cdot \cos \kappa_r \quad (1-17)$$

对式 1-7 利用微商求极值, 可得最大前角 $\gamma_{\max}$:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\max} = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma_0 + \operatorname{tg}^2 \lambda_s} \quad (1-18)$$

$$\text{或} \quad \operatorname{tg} \gamma_{\max} = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma_p + \operatorname{tg}^2 \gamma_f} \quad (1-19)$$

最大前角所在剖面同主刀刃在基面上投影之间的夹角 $\theta_{\gamma_{\max}}$ 为:

$$\operatorname{tg} \theta_{\gamma_{\max}} = \frac{\operatorname{tg} \gamma_0}{\operatorname{tg} \lambda_s} \quad (1-20)$$

还可求出最小后角 $\alpha_{\min}$:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\min} = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_0 + \operatorname{tg}^2 \lambda_s}} = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_f + \operatorname{ctg}^2 \alpha_p}} \quad (1-21)$$

§1-4 车刀的工作角度

在切削过程中,由于受合成运动和刀具安装位置的影响,真正起作用的刀具角度已不是静止系的标注角度,而是由工作系(即考虑了合成运动和刀具安装位置影响的平面参考系)确定的刀具角度。用工作系确定的刀具角度称为工作角度。工作系中的参考平面和刀具角度要加“工作”二字,其符号要加注下标“e”,如工作基面用 P_{re} 、工作主前角用 γ_{oe} 来表示,以区别于静止系。

刀具的工作角度和标注角度可以换算,在切削加工时,要使刀具的工作角度处于最佳值,并据此推算出刀具的标注角度,以便制造刀具。

工作系中的坐标平面的定义如下(见图 1-10):

工作基面 P_{re} ——通过切削刃上被选点,且垂直于合成运动方向的平面。

工作切削平面 P_{se} ——在切削刃的被选点上切于加工表面,并垂直于工作基面 P_{re} 的平面。该平面包含合成运动方向。

工作主剖面 P_{oe} ——通过切削刃上被选点,且同时垂直于工作基面 P_{re} 和工作切削平面 P_{se} 的平面。

工作横向剖面 P_{fe} ——通过切削刃上被选点,且包含主运动和进给运动方向的平面。该平面垂直于工作基面 P_{re} 。

工作纵向剖面 P_{pe} ——通过切削刃上被选点,且同时垂直于工作基面 P_{re} 和工作横向剖面 P_{fe} 的平面。

工作法剖面 P_{ne} 与静止系中的法剖面 P_n 相同,因它与合成运动无关,只垂直于切削刃,故不会有变化。

下面就进给运动和刀具安装情况两方面来叙述工作角度的计算。

一、考虑进给运动影响时工作角度的计算

1. 横车 以切断车刀为例(见图 1-11),在不考虑进给运动时,刀刃上选定点相对于工件的运动轨迹为一圆周,主运动方向为过该点的圆周切线方向,于是,静止系的基面 P_r 、切削平面 P_s 、前角 γ_o 和后角 α_o 均被确定如图 1-11 所示。在考虑进给运动之后,刀刃上选定点相对于工件的运动轨迹为一阿基米德螺旋线,其合成运动方向 v_e 为过该点的阿基米德螺旋线的切线方向。根据定义,工作基面 P_{re} 应垂直于 v_e , 其工作切削平面 P_{se} 应切于阿基米德螺旋线。于是 P_{re} 、 P_{se} 均相对于 P_r 、 P_s 相应地转动了一个 μ 角,从而使切断刀前角增加,后角减小。工作系中的前、后角计算公式为:

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu \quad \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu \quad (1-22)$$

角度变化值 μ 可以从图 1-11 中求得:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{v_f}{v} \quad (1-23)$$

由于车削中

$$v_f = n \cdot f \text{ (mm/s)} \quad (1-24)$$

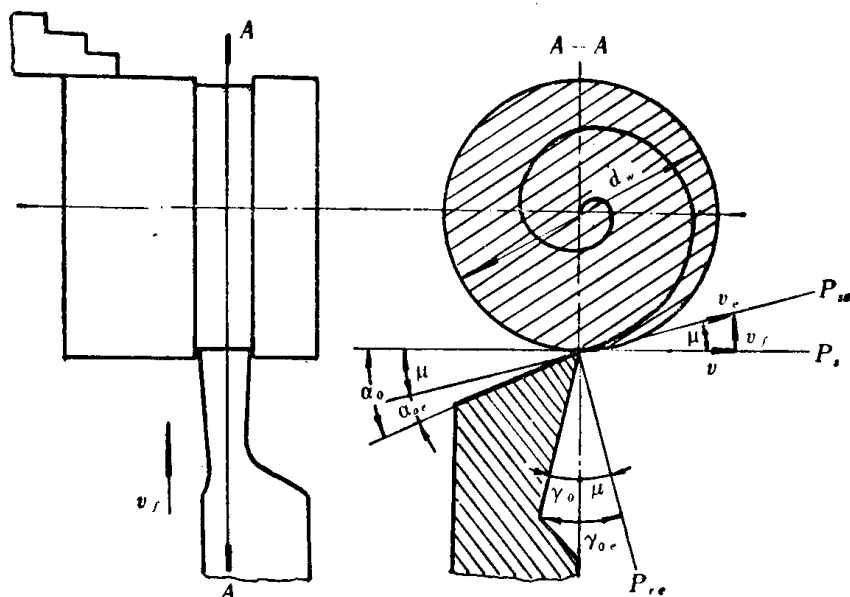


图 1-11 切断刀的工作角度

$$v = \frac{\pi d_w n}{1000} \text{ (m/s)} \quad (1-25)$$

式中 n ——工件的转速(r/s)

f ——进给量(工件每转一周,车刀沿进给方向移动的距离, mm/r)

d_w ——工件加工直径(mm)

代入 1-23 式中得:

$$\tan \mu = \frac{n \cdot f}{\pi d_w n} = \frac{f}{\pi d_w} \quad (1-26)$$

由 1-26 式可知: μ 值随加工直径的减小而增加,当直径为 1 mm 左右时, α_{oe} 接近零度,工件常被挤断; μ 值随进给量 f 的增大而增大,故铲齿加工时应考虑 μ 对 α_{oe} 和 γ_{oe} 的影响。

2. 纵车 图 1-12 为 $\lambda_s = 0^\circ$ 的普通外圆车刀纵车时的情况。现以主刃上的 O 点为选定点,设主运动方向 v 为 Z 轴,主刀刃方向即切削平面 P_s 方向(因 $\lambda_s = 0^\circ$)为 X 轴,主剖面 P_o 方向为 Y 轴,直角坐标系 $OXYZ$ 为静止系。且 XY 、 YZ 和 ZX 平面分别为静止系中的基面 P_r 、主剖面 P_o 和切削平面 P_s 。在横剖面 P_f 内,由于有进给运动(进给量为 f),则合成运动方向 v_s 相对于主运动方向 v 转动了一个 μ_f 角。于是,工作基面 P_{re} 、工作切削平面 P_{se} 也相对于静止系基面 P_r 、切削平面 P_s 转动了一个 μ_f 角。在静止系主剖面 P_o 内,工作基面 P_{re} 与基面 P_r (或 P_{se} 与 P_s) 之间的夹角为 μ 。上述原因造成工作刃倾角 $\lambda_{se} \neq 0^\circ$, 工作主偏角 $K_{re} \neq K_r$, 工作主剖面 $P_{oe} \neq P_o$ 。设合成运动方向 v_s 为 Z' 轴,主刀刃在工作基面 P_{re} 上的投影方向即工作切削平面方向为 X' 轴,工作主剖面 P_{oe} 方向为 Y' 轴,直角坐标系 $OX'Y'Z'$ 为工作系。且 $X'Y'$ 、 $Y'Z'$ 和 $Z'X'$ 平面分别为工作系中的工作基面 P_{re} 、工作主剖面 P_{oe} 和工作切削平面 P_{se} 。

在 $OXYZ$ 静止系中可求得 μ_f 和 μ 角:

$$\tan \mu_f = \frac{f}{\pi d_w} \quad (1-27)$$

$$\tan \mu = \frac{fn}{\pi \cdot d_w} = \frac{f \cdot \sin K_r}{\pi \cdot d_w} = \tan \mu_f \cdot \sin K_r \quad (1-28)$$