

金属切削加工基础

刘肇发

南京航空航天大学

九五年四月

前 言

本书是根据管理工程专业教学大纲编写，同时也适用于非机械制造工程专业学生。

本书按下列原则确定和处理编写内容：

1. 根据专业培养目标，使学生懂得从毛坯加工成合格零件所需要的主要设备和加工方法，同时为确保零件加工质量，提高生产率和降低成本应采取哪些主要措施。从而不断地增强企业内部的活力和对外竞争能力。

2. 内容处理上注意点面结合，内容的重点是使学生能从经济效益观点出发，正确地选用切削参数及其工艺装备等，同时也懂得影响加工质量、生产效率和加工成本的主要因素。这样在切削过程的许多约束条件下，达到最佳的目标函数。在广度方面，主要是使学生懂得一般知识（如切削机理，及机床结构设计等内容）。另外也适当地反映国内外在金属切削加工方面的先进技术和发展趋势。

本书的内容可分三部分：

第一部分为金属切削原理：其中包括基本概念、刀具材料、切削加工的基本规律、切削用量的合理选择及切削过程的优化等。

第二部分为刀具设计：介绍几种典型专用刀具的类型及其用途，以及一般刀具设计的原则和步骤等基本概念。

第三部分为金属切削机床：介绍机床的分类、编号、传动比等基本概念，同时还介绍了几种典型的机床传动系统、结构特点，加工范围等基本知识。

由于编者水平有限和编写时间比较仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬希读者批评指正。

编 者

1 9 8 8. 1 0

目 录

第一章 基本概念及定义

§ 1—1 切削运动与切削用量	1
一、切削运动	1
二、工件上形成的表面	2
§ 1—2 刀具切削部分的组成及定义	2
一、刀具切削部分的几个表面	2
二、切削刃	2
§ 1—3 刀具切削部分的几何角度	3
一、参考平面	3
二、刀具标注角度的换算	5
三、刀具的工作角度	9
§ 1—4 切削要素及切削层参数	12
一、切削用量三要素	12
二、切削时间	13
三、切削层参数	13

第二章 刀具材料

§ 2—1 概述	15
一、刀具材料应具备的性能	15
二、刀具材料的类型	16
§ 2—2 高速钢	16
一、普通高速钢	16
二、高性能高速钢	16
三、粉末高速钢	19
§ 2—3 硬质合金	20
一、硬质合金的组成	20
二、硬质合金的分类、牌号与使用性能	20
三、新牌号硬质合金	23
四、涂层硬质合金	25
五、钢结构硬质合金	26
§ 2—4 陶瓷	26
一、陶瓷刀特点与应用范围	26
二、陶瓷刀的种类与适用场合	26

§ 2—5 超硬刀具材料	27
一、金刚石	27
二、立方氮化硼	28

第三章 切削变形

§ 3—1 切削变形	29
一、概述	29
二、切屑变形过程中的变形特点	29
§ 3—2 切屑的类型	30
一、带状切屑	30
二、挤裂切屑	31
三、单元切屑	31
四、崩碎切屑	31
§ 3—3 切屑变形程度的度量方法	32
一、相对滑移 ε	32
二、变形系数 ξ	32
三、剪切角 ϕ 的确定	33
§ 3—4 切屑与前刀面间的摩擦和积屑瘤	34
一、切屑与前刀面间摩擦特点	34
二、摩擦区的应力分布	34
三、积屑瘤	35
§ 3—5 已加工表面变形和加工硬化	37
一、已加工表面的变形	37
二、加工硬化	38
§ 3—6 影响切屑变形的因素	38
一、前角	38
二、切削速度	39
三、进给量	39
四、工件材料	40

第四章 切削力

§ 4—1 切削力及切削功率	41
一、切削力的来源	41
二、切削合力与分力	41
三、切削功率	42
§ 4—2 影响切削力的因素	43
一、工件材料对切削力的影响	43

二、切削用量对切削力的影响	44
三、刀具几何角度对切削力的影响	45
四、影响切削力的其他因素	48
§ 4-3 切削力的测量及实验公式的建立	48
一、测力仪	49
二、实验公式建立	50
§ 4-4 切削力的计算公式和例题	54
一、切削力的指数公式	54
二、单位切削力和单位切削功率	54
第五章 切削热与切削温度	
§ 5-1 切削热的产生与传出	61
一、切削热的产生	61
二、切削热的传出	62
§ 5-2 测量切削温度的方法	63
一、自然热电偶法	63
二、人工热电偶法	64
§ 5-3 影响切削温度的主要因素	65
一、切削温度对刀具和工件的影响	66
二、影响切削温度的主要因素	67
第六章 刀具失效及耐用度	
§ 6-1 刀具磨损形式、磨损过程及磨钝标准	73
一、磨损形式	73
二、磨损过程及磨钝标准	74
§ 6-2 刀具磨损原因	75
§ 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	78
一、刀具耐用度	78
二、切削用量与刀具耐用度关系的经验公式	78
三、提高刀具耐用度的措施	80
§ 6-4 刀具的破损	83
一、刀具破损的主要形式	83
二、减少或防止刀具破损的措施	83
第七章 金属切削过程基本规律的应用	
§ 7-1 工件材料的切削加工性	84
一、评定材料加工性的主要指标	84

二、常用材料加工性简述	86
§ 7-2 切削液	87
一、切削液的作用	87
二、常用切削液及其应用	88
§ 7-3 刀具几何参数的合理选择	89
一、刀具几何参数的功用和选用原则	89
二、刀具几何参数选择的综合分析	95

第八章 切削用量合理选择与优化

§ 8-1 切削用量合理选择的原则与合理的刀具耐用度	97
一、切削用量合理选择的原则	97
二、合理的刀具耐用度	98
§ 8-2 切削用量合理选择的方法与步骤	99
一、切削用量合理选择的方法	99
二、切削用量合理选择的步骤	100
三、切削用量选择实例	104
§ 8-3 切削用量优化目标与目标函数	107
一、最大生产率	107
二、最低成本	108
§ 8-4 限制切削用量提高的约束条件	108
一、刀具方面	108
二、机床方面	109
三、工件方面	110
§ 8-5 切削用量优化方法简介	111

第九章 成形车刀

§ 9-1 成形车刀的种类和用途	113
§ 9-2 成形车刀的几何角度	114
一、前角、后角的表面及其形成	114
二、切削刃上各点的前角和后角	115
§ 9-3 成形车刀的截形设计	117
一、截形设计的必要性	117
二、成形车刀的截形设计	119
三、成形车刀加工双曲线误差概念	122
四、成形车刀截形公差	123
§ 9-4 成形车刀的装夹和刀体结构	124
一、成形车刀的装夹	124

二、成形车刀的刀体结构尺寸	126
§ 9—5 棱形成形车刀设计举例	127
一、设计前的准备	127
二、截形深度计算	128
三、截形的标准尺寸及其公差	129
四、设计工作图	129

第十章 拉刀

§ 10—1 拉刀的特点、拉刀的种类和用途	132
一、特点	132
二、拉刀的种类和用途	132
§ 10—2 拉削余量和拉削方式	134
一、拉削余量	134
二、拉削方式	134
§ 10—3 圆孔拉刀设计	137
一、工作部分设计	137
二、其他部分和拉刀总长	147
三、拉削力计算及拉刀工作校验	149
§ 10—4 花键拉刀设计	151
一、花键拉刀	151
二、花键拉刀设计举例	153

第十一章 齿轮刀具

§ 11—1 齿轮刀具的种类	159
一、成形法齿轮刀具	159
二、展成法齿轮刀具	160
§ 11—2 盘形齿轮铣刀的选用	160
§ 11—3 齿轮滚刀	161
一、齿轮滚刀的工作原理与切削图形	161
二、滚刀的基本蜗杆	163
§ 11—4 阿基米德齿轮滚刀参数的设计计算	164
一、齿轮滚刀的切削参数	164
二、齿轮滚刀的齿形参数	168
三、齿轮滚刀的结构参数	168
§ 11—5 齿轮滚刀的设计步骤及举例	171

第十二章 组合刀具、自动线刀具和数控机床刀具

§ 12-1 组合刀具	175
一、组合刀具的类型	175
二、组合刀具设计特点	177
三、刀齿与刀体连接特点	178
四、足够的强度、刚性和抗振性	178
五、刀齿的排列原则等	180
§ 12-2 自动线刀具	182
一、自动线刀具的特点	182
二、自动线刀具的快换和预调等	182
§ 12-3 数控机床用刀具简介	186
一、对数控机床用刀具的要求、配置及使用	186
二、数控刀具的工具系统	188

第十三章 磨削与砂轮

§ 13-1 磨削运动	190
§ 13-2 砂轮	191
一、砂轮的组成要素	191
二、砂轮要素的选择、形状、尺寸和标志	194
三、人造金刚石与立方氮化硼砂轮	196
§ 13-3 磨削过程	197
一、砂轮外轮的形貌	197
二、磨削过程分析和磨削厚度分析	198
三、磨削力和磨削阶段	201
四、恒压力磨削与恒功率磨削	202
五、砂轮的磨削与修整	204
§ 13-4 磨削表面质量	205
一、表面粗糙度	205
二、表面烧伤和表面残余应力	205
§ 13-5 先进磨削方法	208
一、高速磨削和缓进磨削	208
二、超精密磨削与镜面磨削	210

第十四章 机床概论

§ 14-1 金属切削机床及其在国民经济中的地位	214
§ 14-2 机床的运动与传动	214
一、表面的成形运动	214

二、机床的传动形式	216
§ 14-3 机床的分类和型号	217

第十五章 车床

§ 15-1 概述	220
一、车床的用途、工作方法和分类	220
二、普通车床的工艺范围和组成部件	220
§ 15-2 普通车床的传动系统	221
一、主运动传动键	223
二、车螺纹传动键	225
三、纵向和横向进给传动键	229
§ 15-3 普通车床结构	231
一、主轴箱和进给箱	231
二、溜板箱和刀架	238

第十六章 齿轮加工机床

§ 16-1 概述	241
一、齿轮加工机床的类型	241
二、齿轮加工机床的工作原理	241
§ 16-2 滚齿机	242
一、滚齿原理	243
二、加工直齿圆柱齿轮	243
§ 16-3 Y3150E型滚齿机	244
§ 16-4 滚齿机的发展方向	249

第十七章 镗床和铣床

§ 17-1 镗床	252
一、卧式镗床	253
二、座标镗床	256
§ 17-2 铣床	259
一、概述	259
二、升降台式铣床	260

第十八章 数字控制机床

§ 18-1 概述	264
§ 18-2 数控系统简介	268
§ 18-3 数控机床的伺服系统	275

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符合预定要求的加工。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。掌握这些内容，并深刻理解，就得达到学会分析各类刀具的目的。本章是学习金属切削原理、刀具设计的重要基础。

§ 1-1 切削运动与切削表面

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，刀具与工件之间必须有相对运动。如图 1-1 所示。

工件作回转运动，刀具作直线运动。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是直线运动时，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 来表示。

2. 进给运动

使新的切削层不断投入切削，以便能切完工作表面上加工余量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 表示。如图 1-1 中工件回转运动为主运动，车刀沿工件轴线移动为进给运动。

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运动称为合成切削运动。可以用合成速度向量 \vec{V}_c 来表示。由图 1-1

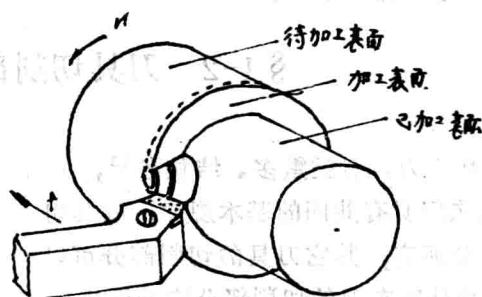


图 1-1 车削运动和加工表面

2 可知, 合成速度向量 \vec{V}_e 等于主运动速度 \vec{V} 与进给速度 \vec{V}_f 的向量和, 即 $\vec{V}_e = \vec{V} + \vec{V}_f$ 。

因为切削刃上各点的工件直径不同, 则切削刃上各点的合成速度向量也不相等。

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: 指工件上即将被切除金属层的表面。

2. 已加工表面: 指工件上已切去多余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, 亦即是上述两表面间的过渡表面。上述三个表面在图 1-1 中分别以“待”“已”、“加”表示。

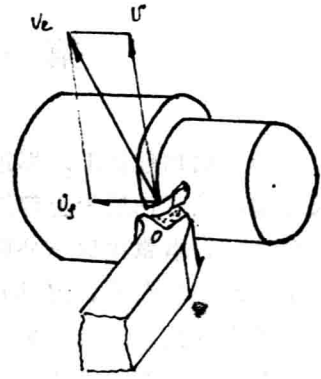


图 1-2 车削时的合成速度向量

§ 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切削部分的组成和基本定义。

一、刀具切削部分的几个表面 (图 1-3)

1. 前刀面 (A_r): 刚形成切屑在流出时与刀具相接触的表面。

2. 主后刀面 (A_α): 刀具上和工件加工表面相对的表面。

3. 付后刀面 (A'_α): 刀具上与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的。

2. 付切削刃: 是指前刀面与付后刀面的交线。

3. 刀尖: 如图指主、付切削刃的交点

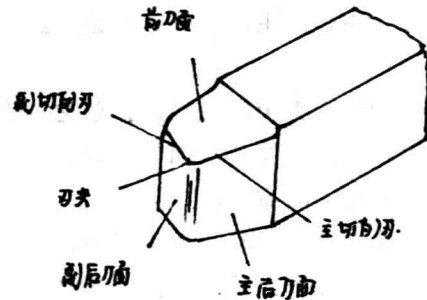


图 1-3 刀具切削部分的组成要素

§ 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，因此为了建立刀具的空间角度，必须建立参考平面。此外，刀具的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}_c 来建立。再者，加工表面往往不是平面，而是空间面，不宜作为参考平面，故采用通过切削刃上某一点作加工表面的切削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_s ：即通过切削刃上某一选定点，切于加工表面的平面。

(2) 基面 P_r ：即通过切削刃上某一选定点，垂直于合成速度向量 \vec{V}_c 的平面。

可见，切削平面和基面互相垂直。见图 1-4。

2. 测量平面

以上以横车为例，如图 1-4 的基面与切削平面，它们与前刀面、后刀面组成夹角，当所取的测量平面不同时，其夹角也不同。为了测量出唯一的夹角，就必须规定出测量平面。

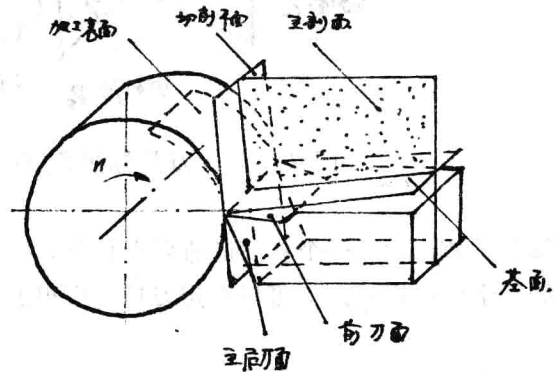


图 1-4 横车的基面、切削平面和主剖面

其中有主剖面 P_o 。所谓主剖面，即指垂直主切削刃在基面上投影的平面。如图 1-4 所示。

付切削刃的主剖面 P_o' ：指垂直于付切削刃在基面上投影的平面。

3. 刀具标注角度的坐标系

(1) 假设条件：

A. 装刀时，刀尖处于工件中心线上

B. 刀杆的轴线垂直于工件的轴线；

C. 不考虑进给运动，即用主运动向量 \vec{V} 近似代替合成速度向量 \vec{V}_c 。

(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_s ）是切于主切削刃某一选定点并垂直刀杆底面的平面。基面（ P_r ）是过主切削某一选定点并平行于刀杆底面的平面。主剖面（ P_o ）是垂直切削平面又垂直基面的平面。可见该三个坐标

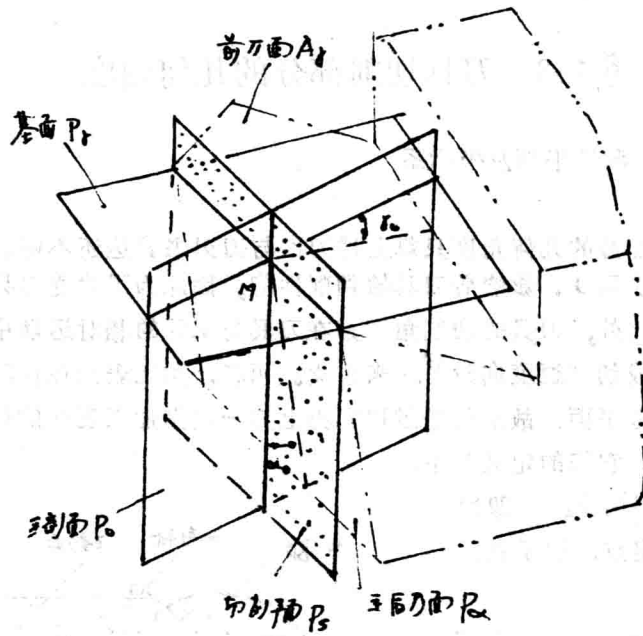


图 1-5 刀具标注角度坐标系 (主剖面)

平面互相垂直, 构成一个空间的直角坐标系。

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:

• 在主剖面中:

- 1) 前角 γ_0 : 前刀面与基面之间的夹角;
- 2) 后角 α_0 : 后刀面与切削平面之间的夹角;
- 3) 楔角 β_0 : 前刀面与后刀面之间的夹角。

三者的关系是: $\beta_0 = 90^\circ - (\gamma_0 + \alpha_0)$

• 在基面 P_r 中:

- 4) 主偏角 x_r : 进给方向与主切削刃在基面上投影之间的夹角;
- 5) 付偏角 x_r' : 进给方向与付切削刃在基面上投影之间的夹角;
- 6) 刀尖角 ϵ_r : 主切削刃与付切削刃在基面上投影之间的夹角。

三者之间的关系是: $\epsilon_r = 180^\circ - (x_r + x_r')$

• 在切削平面 P_s 中:

- 7) 刃倾角 λ_s : 主切削刃与基面之间夹角。

上述各角度见图 1-6 所示。

按 ISO 规定, 当刀尖位于主切削刃的最低点时, λ_s 为负值; 当刀尖位于切削刃最高点时, λ_s 为正值; 如图 1-7 所示。

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

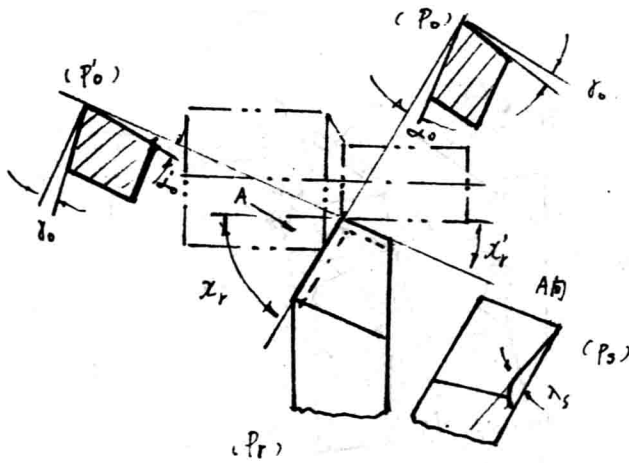


图 1—6 车刀的标注角度

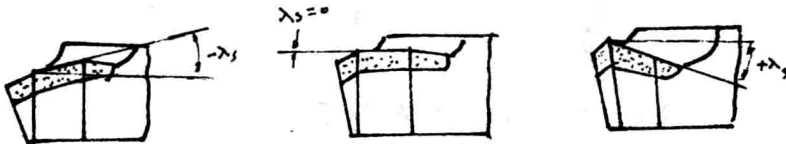


图 1—7 刃倾角 λ_s 的符号

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。

所谓法剖面，即垂直于主切削刃的剖面。

当 $\lambda_s = 0$ 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 λ_s 角，如图 1—9 所示。

2) 法剖面内标注角度

当 $\lambda_s \neq 0$ 时，在法剖面所标注的角度有：法向前角 γ_n 、法向后角 α_n ，如图 1—10 所示。

二、刀具标注角度的换算

1. 法剖面坐标系的角度换算

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，故要进行角度换算。当刃倾角为正值时，车刀主切削刃在主剖面和法剖面的角度关系如图 1—11 所示。

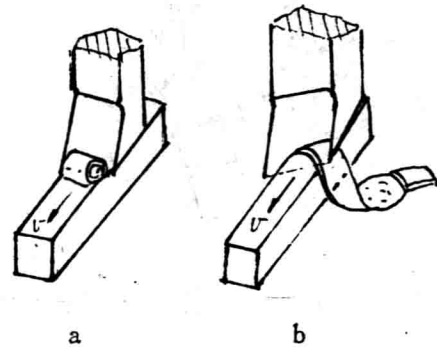


图 1—8 直角切削和斜角切削

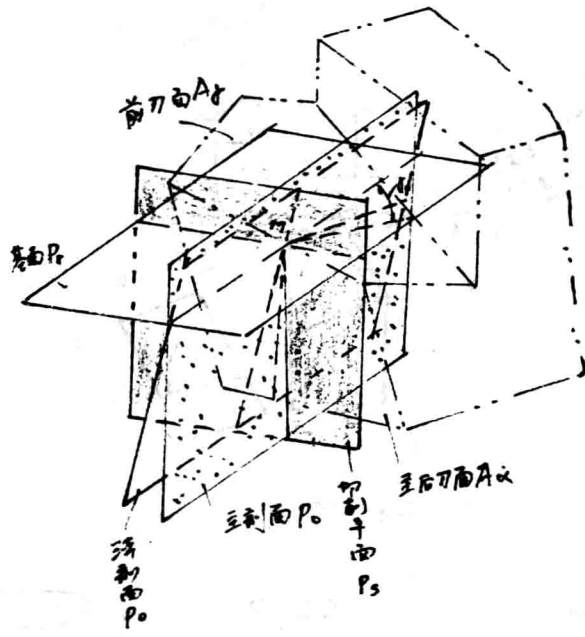


图 1-9 法剖面坐标系

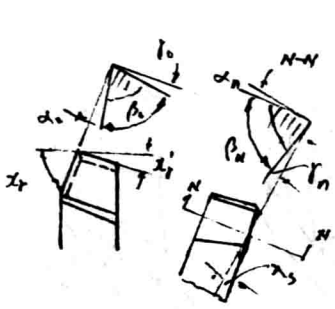


图 1-10 法剖面内的角度

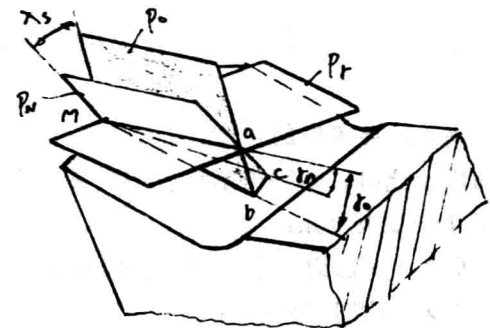


图 1-11 法向前角

为了直观起见，采用解析法建立 γ_o 与 γ_n 的关系如下：

$$\text{tg} \gamma_n = \frac{\overline{ac}}{\overline{Ma}}, \quad \text{tg} \gamma_o = \frac{\overline{ab}}{\overline{Ma}}$$

两式相除后得：

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

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

同理： $\text{ctg}\alpha_n = \text{ctg}\alpha_o \cdot \cos\lambda_s$

该换算式适用于各种斜角切削刀具。

2. 切深剖面 and 进给剖面坐标系

往往在刀具刃磨时所用的磨刀夹具只能绕刀具的横向轴线 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，故要建立切深、进给剖面坐标系及刀具坐标系内的角度。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、法剖面内的所需的角度的。

切深剖面 (P_p)：过切削刃某一选定点，平行切深方向垂直于基面的平面称为切深平面。

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，图 1-14 所示。

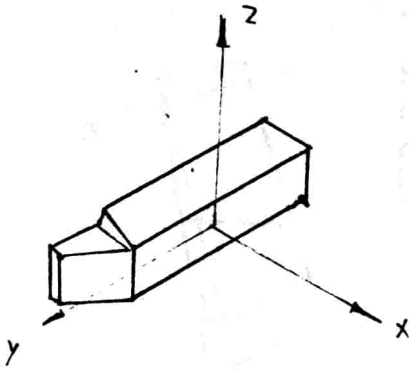


图 1-12 车刀刃磨转动角度坐标系

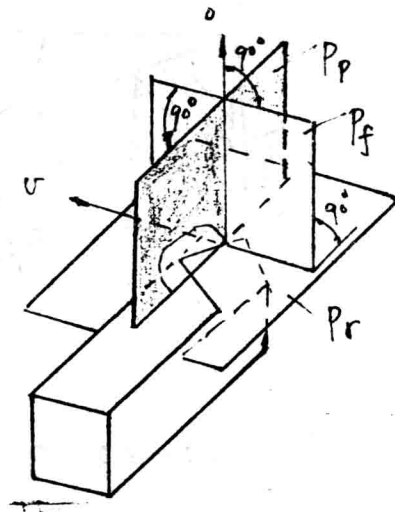


图 1-13 切深 (进给) 剖面坐标系

3. 典型车刀的几何角度及图示方法

典型车刀的标注角度如图 1-15 所示。这是按国际标准化组织 (ISO 3002/1) 的规定给出的。其中三个坐标为：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五个，即前角，后角，主偏角，付偏角和刃倾角。而一条主刀刃上只有四个基本角度 (γ 、 α 、 λ_s 、 κ_r)。因此可按刃 (一刃四角) 为单位来进行研究多刃或复杂刀具角度的问题。

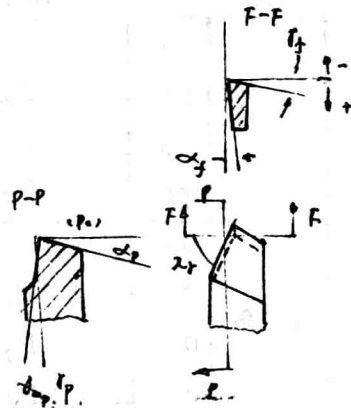


图 1-14 切深 (进给) 剖面的标注角度