

金属切削刀具何量计算法



DAOLIXING

YANGLIANGJISUANFA

责任编辑：张晓红

封面设计：王士龙

金属切削刀具向量计算法

陈志杰 编著

安徽科学技术出版社出版

(合肥市跃进路1号)

新华书店经销 安徽新华印刷厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：8.5 字数：217,000

印数：00,001—3,000

1987年5月第1版 1987年5月第1次印刷

统一书号：15200·66 定价：2.20元

ISBN7-5337-0044-9/T·6

前 言

金属切削刀具的向量算法(亦称向量法、向量矩阵法)是计算刀具的一种新方法。它具有直观、简捷等特点,受到同行的关注。它涉及的数学内容不深,容易为初学者掌握。

本书系统讲述了向量法的基本理论,并介绍了向量法在刀具计算中的应用。通过对具体问题的分析和计算,来讲授解题方法;通过对典型问题的解剖,达到触类旁通的目的。为便于在生产中应用,对稍复杂的问题都进行公式小结,即使不了解推导过程,也能按所列公式进行计算。所以,本书除可作教学参考外,亦可供机械工程技术人员自学参考。

本书在撰写过程中,李兰英、胡亚雄、田西文、何明俊和倪兵肖等同志协助进行了大量的公式推导;王思雨同志为第六章提供了初稿;7.4节摘自参考文献[12];马德灵同志帮助描图;董仁扬同志对全文作了认真审阅。对此,本人表示深切的谢意。

由于本人水平所限,书中缺点和错误在所难免,殷切希望读者批评指正。

陈志杰

1986年8月

目 录

第一章 刀具构造要素的向量定义	1
1.1 刀具切削部分的构造要素及经典定义	1
1.2 刀具构造要素的向量表示	8
1.3 四个辅助坐标系及其相互关系	16
1.4 向量法的特点	30
第二章 焊接式车刀几何角度的换算	43
2.1 焊接式车刀几何角度的换算(方法一)	43
2.2 焊接式车刀几何角度的换算(方法二)	50
2.3 车刀副切削刃几何角度的计算	54
2.4 运动状态下车刀几何角度——工作角度的计算	58
2.5 安装对车刀几何角度的影响	61
2.6 斜角切削及其流屑前角的计算	65
2.7 斜角切削的实际工作前角的计算	68
2.8 斜角切削的切削厚度的计算	71
第三章 可转位刀具的计算	74
3.1 可转位车刀几何角度的计算	74
3.2 可转位螺纹车刀几何角度的计算	83
3.3 可转位端铣刀几何角度的计算	90
3.4 可转位车刀刀槽“刀尖” o' 点的坐标计算	97
第四章 车刀加工的调整计算	103
4.1 在三向回转夹具上加工车刀刀槽的调整计算	103
4.2 在双向回转夹具上刃磨车刀的调整计算	122
第五章 插齿刀和滚刀的有关计算	131
5.1 刀具中常见的几种曲线	131

5.2	直纹螺旋面	146
5.3	直齿插齿刀齿形角的修正计算	159
5.4	斜齿插齿刀齿形角的修正计算	166
5.5	正前角螺旋槽阿基米德滚刀轴向齿形角的修正计算	171
5.6	正前角螺旋槽渐开线滚刀轴向齿形角的修正计算	179
5.7	正前角螺旋槽法向直廓滚刀轴向齿形角的修正计算	186
5.8	正前角螺旋槽滚刀理论齿形误差分析	188
第六章	加工圆柱螺旋面的回转刀具的计算	193
6.1	盘形刀具的计算	193
6.2	盘形刀具设计中的一些理论问题	206
6.3	指形刀具的计算	223
第七章	其它计算	234
7.1	普通螺纹车刀刃形角的修正计算	234
7.2	标准麻花钻前角公式的推导	239
7.3	钩接式过规尺寸链的计算	243
7.4	直齿圆锥齿轮齿厚及压力角的钢球测量法	248
常用符号		259
主要参考文献		265

第一章 刀具构造要素的向量定义

1.1 刀具切削部分的构造要素及经典定义

1.1.1 刀具切削部分的构造要素

我们以普通车刀为例,来说明刀具切削部分的构造要素,其它刀具不管其结构多么复杂,一般都可认为是普通车刀的组合。了解了普通车刀切削部分的构造要素,其它刀具也就容易了解了。

图1.1.1为一把普通外圆车刀,其切削部分由以下几个因素构成:

前刀面 A_f ——直接作用于被切削的金属层,并控制切屑沿其流出的刀面。

主后刀面 A_p ——同工件的加工表面相对和相互作用的刀面。

副后刀面 A'_p ——同工件已加工表面相对和相互作用的刀面。

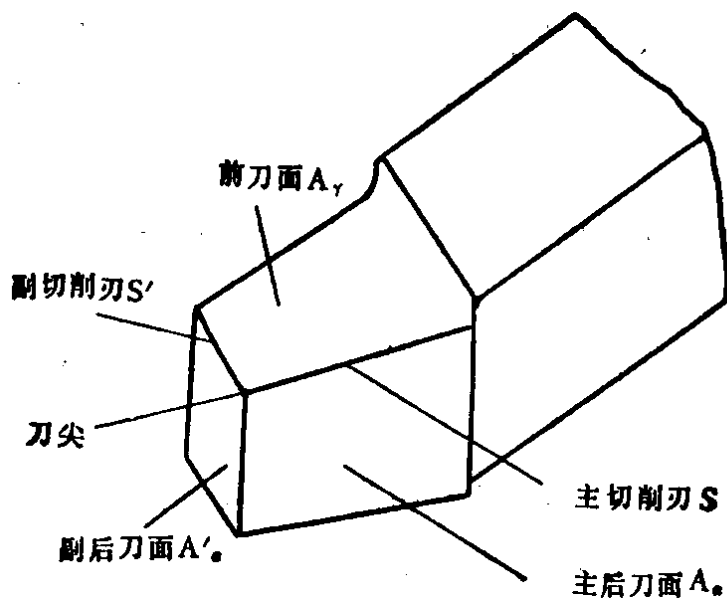


图1.1.1 刀具切削部分的构造要素

主切削刃 S ——前刀面和主后刀面的相交部位，它完成主要的切除和表面形成工作。

副切削刃 S' ——前刀面和副后刀面的相交部位，它配合主切削刃完成切除工作，并最终形成已加工表面。

刀尖——主切削刃和副切削刃的联结部位，或者是切削刃(刃段)之间转折的尖角部分。

1.1.2 刀具角度参考系

决定刀具切削性能的，就刀具几何因素来说，主要是切削刃和几何角度。刀具的切削作用是相对工件来说的，刀具和工件的相对位置通过切削速度联系起来。假定切削刃上被选定点 M 和工件中心等高，切削速度的方向便垂直于刀具底面，其方向向下(规定)。以切削速度 v 为基准，定义两个基准面如下：

(1) 切削平面 P_r ——通过切削刃上被选定点 M ，由 v 和切削刃在该点的切向量 S (称切削刃向量)构成的平面。

(2) 基面 P_r ——通过切削刃上被选定点 M ，并垂直于切削速度 v 的平面。

以上两个基准面，再加上一个测量平面，就构成了刀具角度参考系；它是标注、刃磨、检验和计算刀具角度的基准。

(3) 主剖面 P_o 通过切削刃上被选定点 M ，且垂直 P_r 、 P_r 的平面。

由图1·1·2可以看出， P_r 、 P_r 、 P_o 组成一个正交的坐标系——主剖面系。

主剖面系也可用坐标系 M - XYZ 表示。显然 MXZ 构成切削平面， MXY 构成基面， MYZ 构成主剖面。

(4) 法剖面 P_n ——通过主切削刃上被选定点 M ，与切削刃在该点的切线(或 S)相垂直的平面。

P_r 、 P_r 、 P_n 组成法剖面系，这里 P_n 与 P_r 不垂直。

法剖面系也可用坐标系 M - lmn 表示。它是一个直角坐标系，

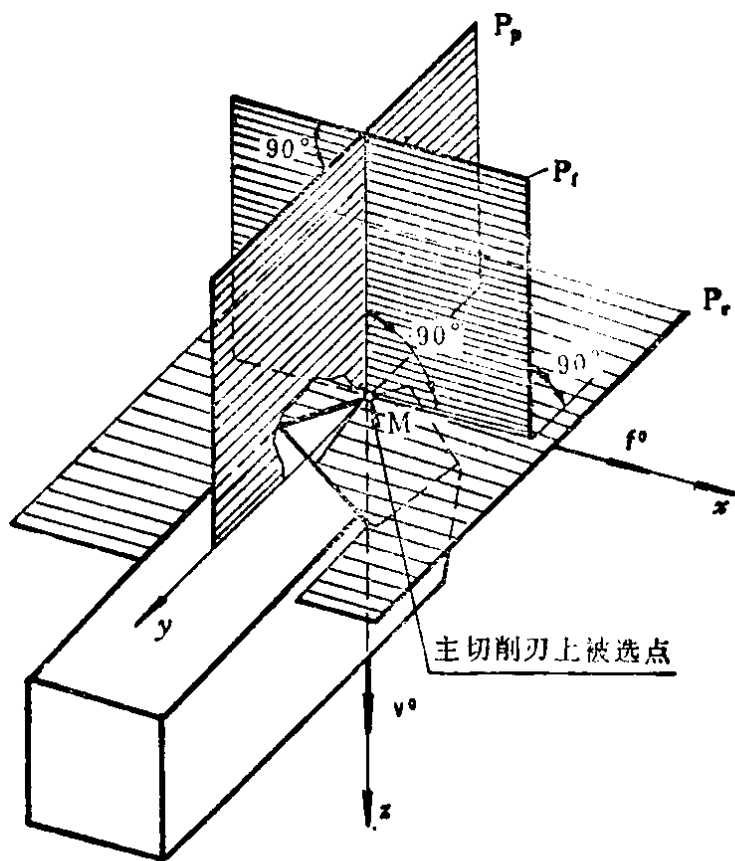


图1·1·3 进给平面系

(8) 最小后角平面 P_b ——通过主切削刃上被选定点 M ，同时垂直于基面和后刀面的平面。

由图1·1·4可知， P_s 既垂直于 P_r 和 A_y ，也必垂直于 P_r 和 A_y 的交线($H-H$)。同样， P_b 必垂直于 P_r 和 A_z 的交线(即后刀面的底边线)。

P_r 、 P_s 、 P_b 构成最大前角、最小后角坐标系。

根据刃磨、检验和计算等需要，还可建立其它坐标系。

以上所讲坐标系，都是以主运动速度 v 为基准建立的，即忽略了进给速度 v_f 对切削速度的影响，所以也称静止坐标系。如果是合成速度 v_c ($v_c = v + v_f$) 为基准建立的坐标系，则称为工作坐标系，而且刀具的安装、定位也会有变化(高于或低于工件中心)，并将引起切削刃上被选定点 M 的合成速度方向的改变，因而影响到刀具坐标平面的变化。这些在后面有关章节再行叙述。

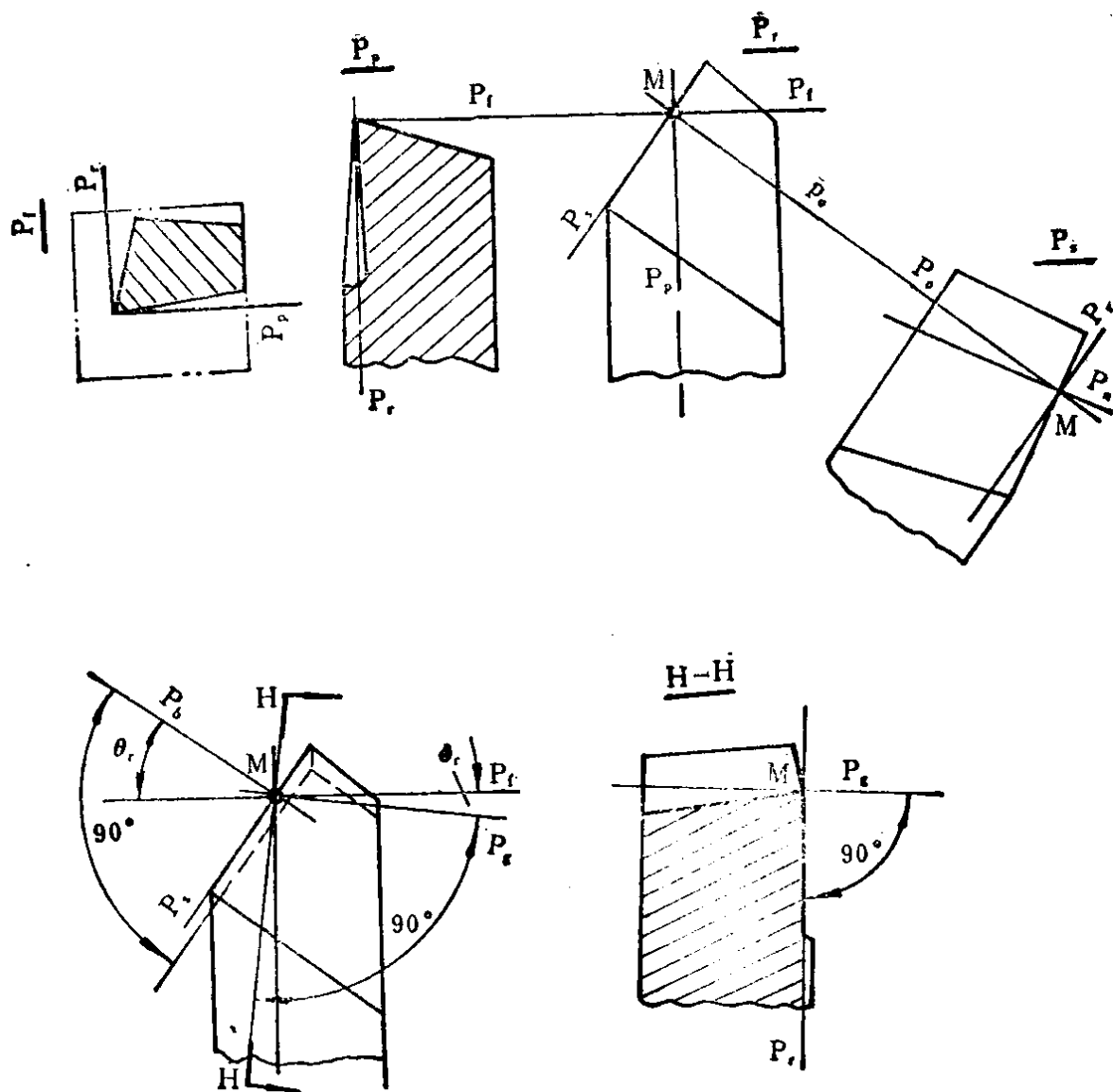


图1.1.4 车刀静止坐标系

1.1.3. 刀具的标注角度

刀具在静止坐标系内的角度称为刀具的标注角度。下面是在各参考系内刀具标注角度的名称和定义(图1.1.5)。

1. 主剖面系

在主剖面 P_o 内测量的角度有：

前角 γ_o ——前刀面 A_f 和基面 P_r 之间的夹角。 A_f 在 P_r 之下 γ_o 为正， A_f 在 P_r 之上 γ_o 为负， A_f 和 P_r 重合 γ_o 为零。

后角 α_o ——主后刀面 A_o 和切削平面 P_s 之间的夹角。图示情况

α_o 为正,一般 α_o 不能为负和零。

楔角 β_o ——前、后刀面之间的夹角。

根据以上定义,有:

$$\gamma_o + \beta_o + \alpha_o = 90^\circ$$

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

在基面 P_r 内测量的角度有:

主偏角 κ_r ——主切削刃在基面上的投影与进给方向之间的夹角, κ_r 不能为负。

副偏角 κ'_r ——副切削刃在基面上的投影与进给方向之间的夹角, κ'_r 不能为负。

刀尖角 ε_r ——主、副切削刃在基面上投影的夹角。显然

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

在切削平面 P_s 内测量的角度有:

刃倾角 λ_s ——主切削刃 S 与基面 P_r 之间的夹角, λ_s 可以为正、负或零。 S 在 P_r 以下 λ_s 为正, S 在 P_r 以上 λ_s 为负, S 与 P_r 重合 λ_s 为零。

$\lambda_s = 0^\circ$ 时的切削称为直角切削, $\lambda_s \neq 0^\circ$ 时的切削称为斜角切削。

上述七个角度中, β_o 、 ε_r 是派生角度,故基本的角度只有五个,即主切削刃的 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 λ_s 和副切削刃的 κ'_r 。

2. 法剖面系

在法剖面系中同样有七个角度,即法前角 γ_n 、法后角 α_n 、法楔角 β_n 、主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 、刀尖角 ε_r 和刃倾角 λ_s 。其基本角度与派生角度的关系和主剖面系相同。

3. 进给平面系

在该系中,由于通过主切削刃被选定点 M 有 P_p 和 P_f 两个剖面,故有切深方向前角 γ_p 、切深方向后角 α_p 、切深方向楔角 β_p 及进给方向前角 γ_f 、进给方向后角 α_f 、进给方向楔角 β_f 两套角度,加上基面内的角度和切削平面内的角度共10个角度,它们中的基

本角度和派生角度的关系与主剖面系相同。

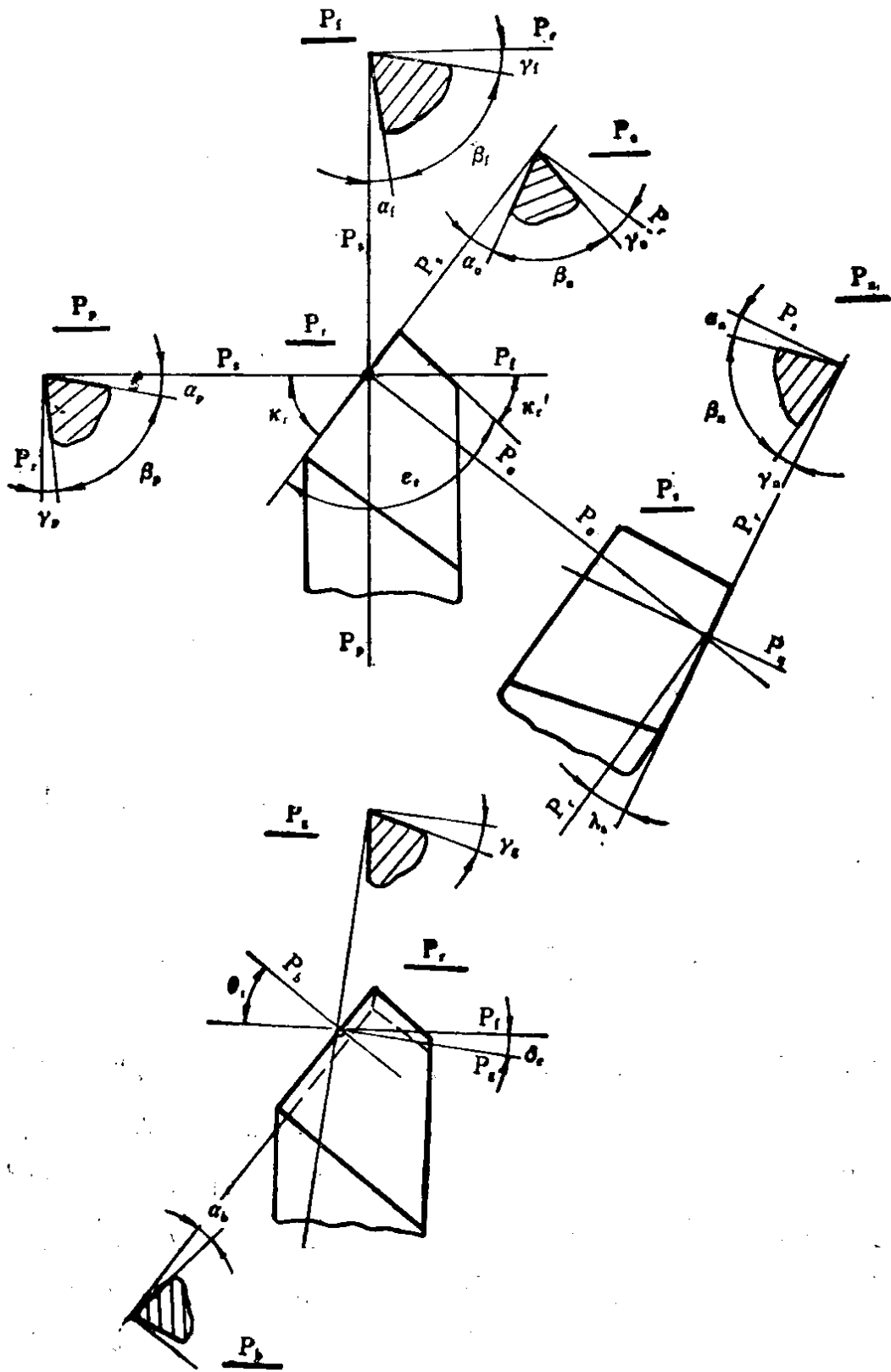


图1.1.5 车刀的标注角度

4. 最大前角和最小后角系

在该系中，有特殊意义的角度有：

最大前角 γ_o ——在最大前角平面 P_o 内，基面和前刀面之间的夹角。

最大前角平面 P_o 的位置角 δ_r ——在基面内测量的 P_o 与 P_f 之间的夹角，偏向刀体一方 δ_r 为正。

最小后角 α_o ——在最小后角平面 P_o 内，切削平面与后刀面之间的夹角。

最小后角平面 P_o 的位置角 θ_r ——在基面内测量的 P_o 和 P_f 之间的夹角， P_o 偏向刀体一方 θ_r 为正。

基面内的其它角度和切削平面内的角度等，均与主剖面系相同。

如果按切削刃来认识角度，则更加简单明了。一条切削刃（以主切削刃为例）只有四个基本角度，即前角 γ_o 、后角 α_o 、主偏角 κ_r 和刃倾角 λ_s 。以后当我们用向量定义角度时，主要定义这四个基本角度。

为了将上述角度的定义与角度的向量定义相区别，我们称前者为标注角度的经典定义。

1.2 刀具构造要素的向量表示

向量即矢量，有两个方面的含义：一表示有向线段；二是代表平面，即平面可由其法向量表示。把刀具的切削部分，抽象为一个纯几何体（在研究角度及其相互关系时，这种抽象是允许的，也是必要的），这样切削刃、刀面、辅助基准面以及面与面之间的交线等都可用向量表示。代表几何因素的向量和代表运动因素的向量，再加上必要的辅助向量，就构成了研究刀具切削部分的全部向量。由此给出刀具几何角度的向量定义，引入坐标系，即可进行角度换算，从而建立起几何角度之间的关系。

用向量研究刀具，具有直观、简单、明了等特点，是一种行之有效的方法。

1.2.1 两个基本向量

切削刃向量 s 是刀具几何因素的代表向量，切削速度向量 v 则是运动因素的代表向量。它们是研究刀具几何角度的一对重要因素，称为两个基本向量(图1.2.1)。

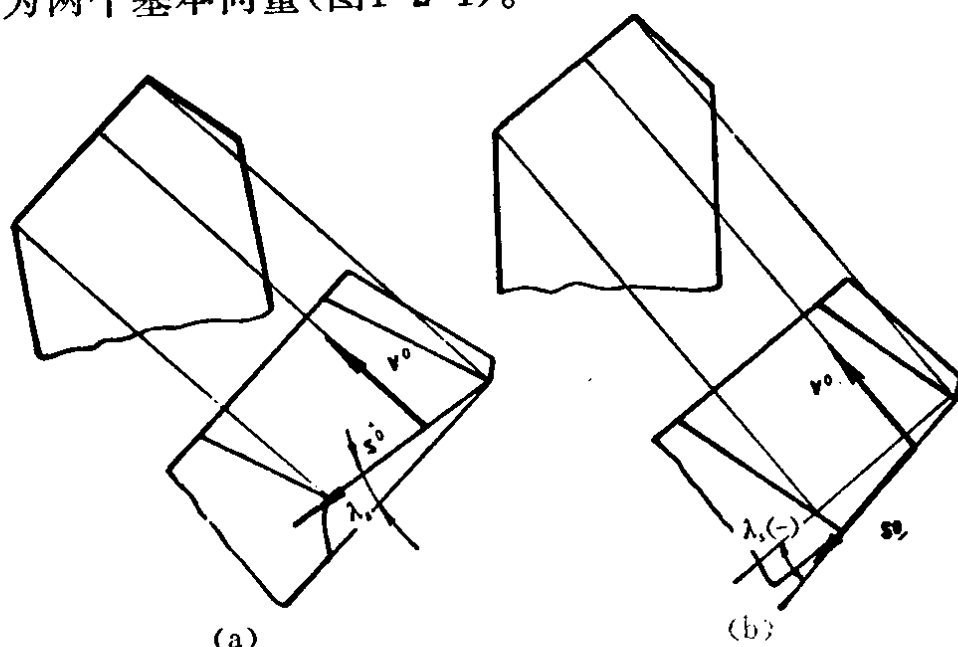


图1.2.1 两个基本向量 s^0 和 v^0

1. 切削刃单位向量 s^0

s^0 是单位向量，模为1，即 $|s^0| = 1$ 。如果切削刃为直线， s^0 即为切削刃本身，若切削刃为曲线，则 s^0 为过某点的切向量。方向指向刀体〔图(a)中 λ_s 为正时，图(b)中 λ_s 为负时〕，过切削刃上被选定点且垂直于切削刃的平面，称为切削刃在该点的法剖面。因此， s^0 是法剖面的法向量， s^0 代表法剖面。

从几何意义说，切削刃是前、后刀面的交线。切削刃单位向量 s^0 是前、后刀面交线向量，它和主偏角、刃倾角都有关系。所以，解题时往往首先确定的就是 s^0 。

2. 切削速度单位向量 v^0

v^0 为单位向量， $|v^0| = 1$ 。其方向规定：设刀具不动，工件相对

刀具的运动方向即为 v^0 的方向。有两种情况：一是当忽略了进给运动的影响时， v^0 的方向即为主运动方向（图1·2·1）。根据这个向量确定的是静止状态的刀具几何角度或标注角度。二是若考虑进给运动的影响时，切削速度向量为合成速度向量，以 v_c 表示。 v_c 是 v 和 v_f 的合成向量（图1·2·2），即

$$v_c = v + v_f \tag{1·2·1}$$

或 $v_c v_c^0 = v v^0 + v_f f^0 \tag{1·2·1}'$

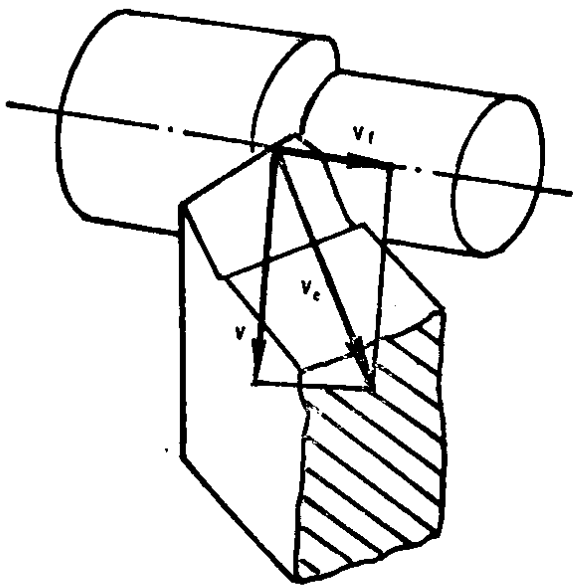


图1·2·2 合成速度向量

式中 v_c^0 、 v^0 和 f^0 均为单位向量； v_c 、 v 和 v_f 为它们的大小。 f^0 的方向是：仍设刀具不动，工件相对刀具进给运动的方向。

根据 v_c^0 确定的是运动状态的刀具几何角度或称工作角度。

在定义刀具几何角度时， v^0 与 v_c^0 不加区别，统一用 v^0 表示，即把上述两种情况统一为一种情况来研究，可使问题大为简化。 v^0 是基面法向量，所以 v^0 代表基面。

1·2·2 三个辅助向量

1. 切削平面单位法向量 m^0 （图1·2·3）

切削平面由 s^0 和 v^0 构成， s^0 和 v^0 的叉积，就是切削平面法向量，以 m 表示，即

$$\mathbf{m} = \mathbf{s}^0 \times \mathbf{v}^0$$

$\mathbf{m}$ 的方向，根据叉积定义，用右手法则应是垂直于切削平面指向刀体的方向。

$\mathbf{m}$ 不是单位向量，根据单位向量的定义有

$$\mathbf{m}^0 = \frac{\mathbf{m}}{|\mathbf{m}|}$$

式中 $|\mathbf{m}| = |\mathbf{s}^0| |\mathbf{v}^0| \sin(90^\circ - \lambda_s) = \cos \lambda_s$

所以，切削平面单位法向量为

$$\mathbf{m}^0 = \frac{\mathbf{m}}{|\mathbf{m}|} = \frac{1}{\cos \lambda_s} \mathbf{s}^0 \times \mathbf{v}^0 \quad (1.2.2)$$

$\mathbf{m}^0$ 代表切削平面。

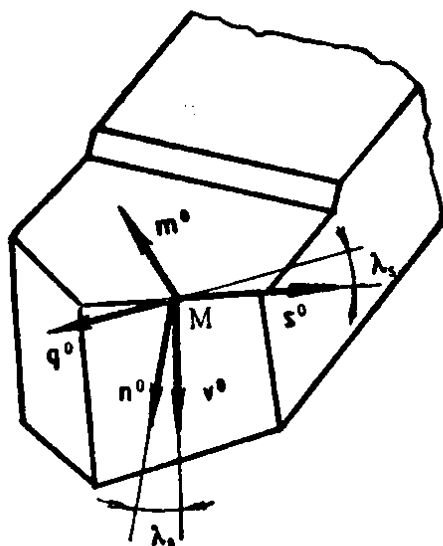


图1.2.3 三个辅助向量

2. 主剖面单位法向量 $\mathbf{q}^0$ (图1.2.3)

主剖面是既垂直于切削平面又垂直于基面的平面，也就是由 $\mathbf{m}^0$ 和 $\mathbf{v}^0$ 构成的平面。其法向量 $\mathbf{q}^0$ 为 $\mathbf{m}^0$ 和 $\mathbf{v}^0$ 的叉积，因为 $\mathbf{m}^0 \perp \mathbf{v}^0$ ，其夹角为 90° ，叉积仍为单位向量，故

$$\mathbf{q}^0 = \mathbf{m}^0 \times \mathbf{v}^0$$

由右手法则知， $\mathbf{q}^0$ 的方向指向刀尖。

将式(1.2.2)代入上式得

$$\begin{aligned}
q^0 &= \frac{1}{\cos\lambda_s} (s^0 \times v^0) \times v^0 \\
&= \frac{1}{\cos\lambda_s} [v^0(s^0 \cdot v^0) - s^0(v^0 \cdot v^0)] \\
&= \frac{1}{\cos\lambda_s} (v^0 \sin\lambda_s - s^0) \quad (1.2.3)
\end{aligned}$$

q^0 也是切削平面和基面的交线向量，它和切削刃在基面上的投影重合，但方向相反。

当 $\lambda_s=0^\circ$ 时，由式(1.2.3)得

$$q^0 = -s^0$$

负号表示方向相反， q^0 代表主剖面。

3. 切削平面与法剖面交线单位向量 n^0 (图1.2.3)

两平面的交线等于这两平面法向量的叉积。由于切削平面法向量为 m^0 ，法剖面法向量为 s^0 ，所以

$$n^0 = m^0 \times s^0$$

因为 m^0 与 s^0 垂直，所以叉积结果仍为单位向量。

将式(1.2.2)代入上式得

$$\begin{aligned}
n^0 &= \frac{1}{\cos\lambda_s} (s^0 \times v^0) \times s^0 \\
&= \frac{1}{\cos\lambda_s} [v^0(s^0 \cdot s^0) - s^0(v^0 \cdot s^0)] \\
&= \frac{1}{\cos\lambda_s} (v^0 - s^0 \sin\lambda_s) \quad (1.2.4)
\end{aligned}$$

当 $\lambda_s=0^\circ$ 时， $n^0=v^0$ ，即 n^0 与 v^0 重合。

以上所讲三个辅助向量 m^0 、 q^0 和 n^0 都可由两个基本向量来表示。

1.2.3 前、后角单位向量

它是根据确定需要的前、后刀面上的一条线，方向由切削刃