



马福昌 主编

金属切削 原理及应用

山东科学技术出版社

参加编写人员

马福昌	潘敏元	陶端融	姜积中	冯群良
孙升同	徐文友	苏炳昌	李本恕	于秀春
章保民	吴祚威			

责任编辑 原式溶

金属切削原理及应用

马 福 昌 主 编

*

山东科学技术出版社出版

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 23.25印张 3插页 431千字

1982年1月第1版 1982年1月第1次印刷

(精)定价 3.20元 印数: 1—1,000

(平)定价 2.35元 印数: 1—4,000

书号 15195·89

前 言

为适应机械加工工业生产的需要，配合职工工业余教育，我们组织有关人员编写了《金属切削原理及应用》一书。

本书系统地介绍了金属切削的基础理论（包括近年来发展的一些新理论），按加工方法的不同，分别介绍了各种切削加工的原理及应用。本书总结了我省多年推广、使用先进刀具的经验，吸取了国内、外先进的切削技术理论，介绍了国内一些重大革新及研究成果（如山东工学院研究的旋风切削螺纹及高速密齿端铣螺纹；济南第二机床厂的机夹刨刀）以及金属陶瓷刀具材料，细长轴的车削、铣削，齿轮的切削、磨削、滚压加工等。

本书可供从事金属切削的工人、技术人员阅读；可作为高等院校、中等专业学校的教学参考；或作为职工工业余教育的教材。

本书在编写过程中，承蒙山东省机械设计研究院、济南市科学技术协会等单位的支持，在此表示感谢。

山东省科学技术宣传馆

一九八一年二月

目 录

第一章	基本定义和刀具几何角度	1
第一节	切削时的运动与切削用量	1
第二节	刀具的几何角度	4
第三节	刀具的工作角度	11
第四节	刀具各截面中几何角度的换算	17
第五节	切削层横截面的几何参数	18
第六节	车刀的工作图及几种常用车刀	20
第二章	刀具材料与工件材料的切削加工性	23
第一节	对刀具切削部分材料的要求	23
第二节	工具钢	24
第三节	硬质合金	28
第四节	陶瓷刀具材料	36
第五节	超硬刀具材料	38
第六节	工件材料的切削加工性	40
第七节	刀具材料的选择与合理使用	43
第三章	切削过程的变形规律及切削力和切削功率	46
第一节	切屑形成过程及三个变形区	46
第二节	积屑瘤对切削过程的影响及其利用	55
第三节	影响切屑变形的主要因素	62
第四节	切削力与切削功率	65
第五节	切削力的测量	78
第四章	切削热及其对加工精度的影响	81
第一节	切削热的来源与传出	81

第二节	切削时刀具、工件和切屑的温度分布情况	84
第三节	影响切削温度的因素与切削温度公式	85
第四节	切削热对加工精度的影响	93
第五章	刀具磨损和刀具耐用度	95
第一节	刀具磨损方式、过程及原因	95
第二节	刀具磨损限度与耐用度	101
第三节	切削用量对刀具耐用度的影响	102
第四节	提高刀具耐用度的方法	107
第六章	切屑的控制与处理	110
第一节	切屑的形状和断屑的原因	110
第二节	卷屑槽断屑	112
第三节	其它断屑方法	123
第四节	不重磨车刀的断屑范围	124
第五节	自动线中的切屑处理方法	134
第七章	已加工表面质量	140
第一节	表面质量对零件使用性能的影响	140
第二节	提高表面质量的途径	142
第三节	冷却润滑液	154
第八章	斜角切削及其应用	165
第一节	斜角切削概念	165
第二节	斜角切削刀具的实际切削角度	167
第三节	斜角切削的刀具耐用度及表面质量	172
第四节	圆盘滚切刀具斜角切削的特点	176
第五节	斜角切削的应用	178
第九章	刀具几何角度的合理选择	183
第一节	前角的作用与选择	184
第二节	后角的作用与选择	188

第三节	主偏角与副偏角的作用与选择	190
第四节	刃倾角的作用与选择	193
第十章	车削	195
第一节	机械夹固不重磨车刀	195
第二节	机械夹固重磨车刀	202
第三节	难加工材料的车削	204
第四节	细长轴的车削	215
第五节	切断	222
第六节	车削用量的选择	235
第十一章	刨削与插削	240
第一节	刨削与插削的过程及其特点	240
第二节	机夹刨刀	248
第三节	刨削与插削的切削用量	260
第四节	机床导轨面的精刨	269
第十二章	钻削及孔加工刀具	279
第一节	麻花钻	279
第二节	群钻	297
第三节	深孔加工特点及深孔加工刀具	304
第四节	铰刀	313
第五节	镗孔及其刀具	324
第六节	其它孔加工刀具	334
第七节	钻削用量的选择	340
第十三章	铣削	346
第一节	铣削加工范围及其特点	346
第二节	铣刀的种类及其几何角度	348
第三节	铣削要素	360
第四节	铣削力与功率	368

第五节	铣削方式及其选用	372
第六节	密齿硬质合金端铣刀及其应用	377
第七节	高效大走刀精铣平面及其所用铣刀	386
第八节	高生产率铣刀	388
第九节	铣削用量的选用	394
第十四章	拉削	400
第一节	拉削加工及其特点	400
第二节	拉刀的构造与拉削图形	403
第三节	拉刀设计中的主要问题	412
第四节	拉削力与拉刀强度计算	420
第五节	拉削表面光洁度及其提高方法	425
第六节	拉刀的刃磨与重磨	429
第七节	硬质合金拉刀及其它先进拉刀	432
第十五章	螺纹切削	439
第一节	螺纹车削	440
第二节	精密丝杠车削	446
第三节	丝锥	448
第四节	旋风切削螺纹	458
第五节	用密齿硬质合金端铣刀高速铣螺纹	487
第六节	先进螺纹刀具介绍	498
第十六章	齿轮切削	503
第一节	概述	503
第二节	渐开线齿轮的啮合	504
第三节	滚齿	508
第四节	插齿	519
第五节	剃齿	532
第六节	螺旋锥齿轮的切削加工	540
第十七章	磨削加工	560

第一节	砂轮	560
第二节	磨削过程特性与磨削运动	574
第三节	磨削力	578
第四节	磨削热及表面烧伤	582
第五节	高光洁度磨削与磨削时产生的表面缺陷	591
第六节	高速磨削和强力磨削	600
第七节	硬质合金刀具的刃磨	606
第八节	金刚石砂轮磨削	612
第九节	电解磨削	622
第十节	磨削用量的选择与冷却润滑	628
第十八章	组合机床及自动线刀具	638
第一节	概述	638
第二节	组合机床刀具	638
第三节	复合刀具	646
第四节	自动线刀具	667
第十九章	滚压加工	682
第一节	概述	682
第二节	外圆滚压	684
第三节	内孔滚压	714
第四节	平面滚压	730
第五节	特形表面的滚压	731

第一章 基本定义和刀具几何角度

金属切削加工是从工件上切去多余的金属，使被加工零件符合一定的技术要求。它是生产中最常用的加工方法。刀具和机床是切削加工中应用的主要工具和设备，为了合理地设计、制造及使用刀具和机床，应当了解切削加工中切削运动、切削用量、切削层截面积以及刀具几何角度等方面的基本定义。掌握和应用这些基本定义，对于研究和分析切削过程的基本规律以及生产中的实际问题等是很有帮助的。

第一节 切削时的运动与切削用量

在切削加工中，为了从工件上切去一层金属，刀具与工件之间必须有相对的切削运动，这种运动包括主运动和走刀运动（也称进给运动或辅助运动）。

主运动是切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动，如车削中工件的旋转运动（图1—1）。主运动也是从工件上切去切屑必需的运动，它的快慢用切削速度来表示。

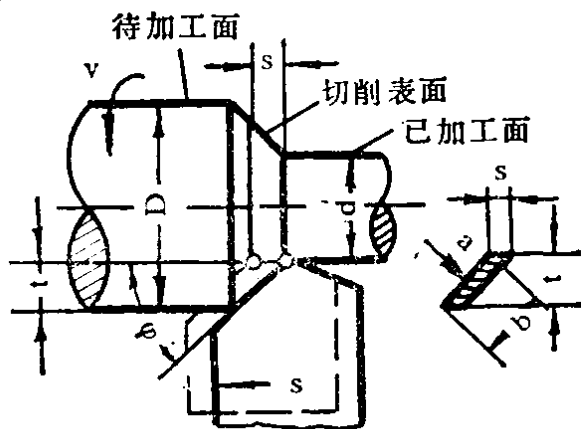


图 1—1 车削时的运动

走刀运动是使新的金属层连续投入切削，以便切出整个已

加工表面的运动，如外圆车削中车刀沿工件轴向的直线运动（见图1—1）。走刀运动的快慢用走刀量（又称进给量或送进量）来表示。

在切削过程中，主运动只有一个，走刀运动在一般情况下可以有一个或几个（如铣削螺纹、磨削等）。

切削速度、走刀量及切削深度被称为切削用量，分别用 v 、 s 和 t 来表示。

一、切削速度 v

主运动的线速度称为切削速度。当主运动为旋转运动时，切削速度用下式计算：

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ (米/分)} \quad (1-1)$$

式中：

D ——工件或刀具的旋转直径（毫米）；

n ——工件或刀具每分钟的转数（转/分）。

磨削时因速度较高， v 用米/秒表示，因而由（1—1）式计算的结果应除以60。

二、切削深度 t

切削深度（或称吃刀深度）是指已加工表面和待加工表面的垂直距离，即每次走刀切入的深度，单位为毫米。在车削中

$$t = \frac{D-d}{2} \text{ (毫米)} \quad (1-2)$$

式中：

D ——工件待加工表面的直径（毫米）；

d ——工件已加工表面的直径（毫米）。

三、走刀量 s

走刀量表示刀具与工件间沿走刀方向相对运动的速度。对于车削、镗削、钻削而言，走刀量是指工件（或刀具）每转一转，刀具（或工件）沿走刀方向移动的距离（毫米/转），用 S 或 $S_{\text{转}}$ （多刃刀具）表示。

对于车削来说，当切削深度 t 及走刀量 S 为一定值时，切去金属层的面积也为一定值。对于多刃刀具，为了研究切削过程的现象及规律，还需要知道每个刀齿切去的金属层尺寸，即需要计算每齿走刀量 $S_{\text{齿}}$ （毫米/齿）和每分钟走刀量 $S_{\text{分}}$ （毫米/分）。

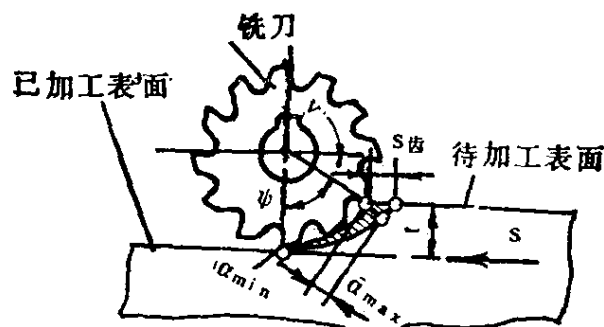


图1—2 铣刀的每齿走刀量 $S_{\text{齿}}$

$S_{\text{齿}}$ 、 $S_{\text{转}}$ 及 $S_{\text{分}}$ 有如下关系（图1—2）：

$$S_{\text{分}} = S_{\text{转}} \times n = S_{\text{齿}} \times Z \times n \quad (\text{毫米/分}) \quad (1-3)$$

式中：

n ——刀具或工件每分钟转数（转/分）；

Z ——刀具的刀齿数。

上述走刀量是以一个走刀运动来说明的。对于较复杂的走刀运动（如铣削螺纹时有两个走刀运动，一个是工件旋转的圆周走刀运动；另一个是沿工件轴向的直线走刀运动），为了保证加工质量及提高生产率，应选用合适的切削用量，特别是合适的圆周走刀运动。

在车削加工中，需要从工件上切出所需要的新表面。在新表面形成过程中，有以下三个不断变化的表面：

待加工表面——即将被切去金属层的表面；

切削表面——切削刃正在切削的表面；

已加工表面——已切去多余金属而形成的新表面。

以上三个表面的定义也适用于其它切削加工。

第二节 刀具的几何角度

切削加工时，刀具是否耐用、加工表面光洁度的高低以及加工时是否轻快、省力、不产生振动等，都与刀具的几何角度有直接的关系。而刀具的几何角度和刀刃是由刃磨刀具切削部分（刀头部分）的几个表面形成的。

一、切削部分的几个表面与切削刃

刀具的种类很多，但就其切削部分来讲，基本上相当于一把车刀刀头。因此，了解了车刀的几何角度，也就容易搞清其它刀具的几何角度。车刀切削部分一般是由三个（或四个）表面及三个切削刃组成的（图1—3）。

前刀面——切屑流出时，
刀具与切屑相接触的刀面。

后刀面——刀具与工件切削表面相对的刀面。

副后刀面——面对着工件
的已加工表面的刀面。

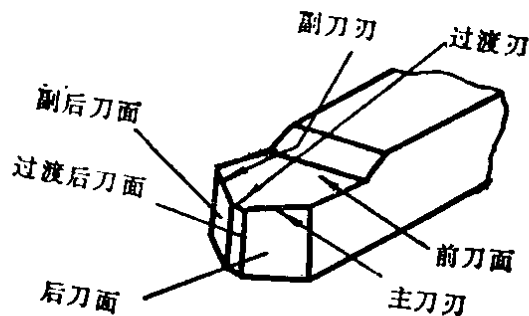


图1—3 车刀刀头

过渡后刀面——后刀面与副后刀面之间的刀面。

以上几个刀面相交，就形成了主刀刃、副刀刃及过渡刃。

主刀刃——前刀面与后刀面的交线。主刀刃参与切削的部分较长，大部分切削工作由它完成。

副刀刃——前刀面与副后刀面的交线。副刀刃参与切削的

部分较短，完成一部分切削工作。

过渡刃——前刀面与过渡后刀面的交线。过渡刃是介于主刀刃与副刀刃之间的一段刀刃(图1—4)，有了它之后，可提高刀尖的强度。硬质合金外圆车刀的过渡刃常做成小圆弧的形式(圆弧半径 r 约为0.5~2.0毫米)。

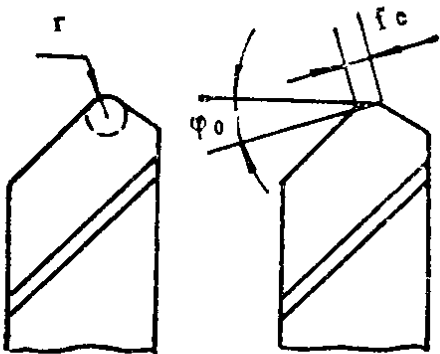


图1—4 过渡刃

二、刀具的几何角度

1. 测量刀具角度的几个辅助平面

要测量和规定刀具几何角度的大小及在空间的位置，首先应确定几个基准面(或称辅助平面)。一般有四个辅助平面，即切削平面、基面、主截面和副截面。

在确定刀具切削部分几个刀面的名称时，为了表明各刀面的作用，是和刀具的切削状态联系起来考虑的。因此，在确定刀具的几何角度及辅助平面时，也要和刀具的切削运动联系起来考虑。

(1) 切削平面：主刀刃上任一点的切削平面，是指通过该点并与切削表面相切的平面。图1—5为刨刀刀刃的宽度大于工件宽度的加工情况。刨刀是直线刀刃，它切出的切削表面是一平面，因而切削平面与切削表面相

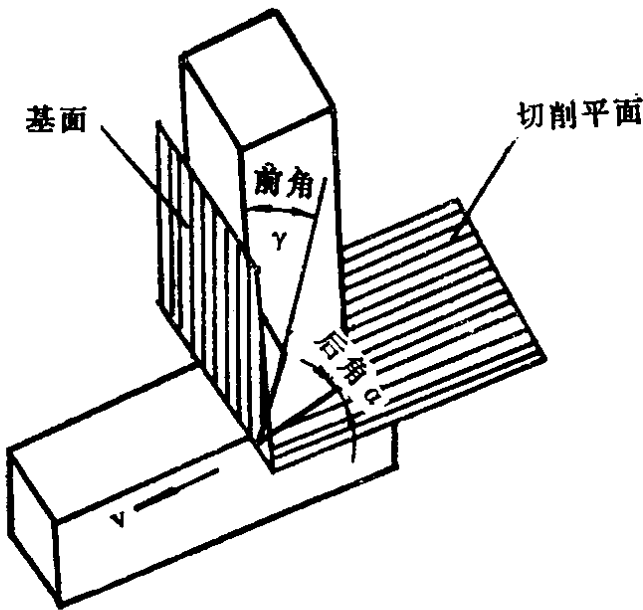


图1—5 刨刀的切削平面和基面

重合。从图1—5中还可以看出，刀刃上任一点的切削平面也包括该点切削速度方向。车刀的切削平面和基面，如图1—6所示。

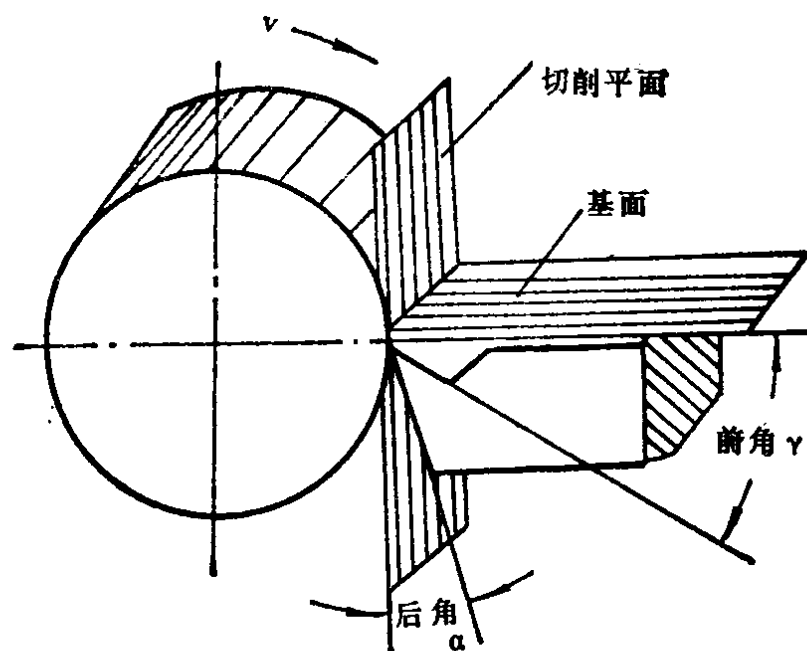


图1—6 车刀的切削平面和基面

(2) 基面：刀刃上任一点的基面，是指通过该点并垂直于该点切削速度方向的平面。因为切削平面包括该点切削速度方向，所以基面与切削平面互相垂直（见图1—5、图1—6）。

(3) 主截面：主刀刃上任一点的主截面，是指通过该点并垂直于主刀刃在基面上投影的截面，如图1—7中的 $N-N$ 截面。

(4) 副截面：副刀刃上任一点的副截面，是指通过该点并垂直于副刀刃在基面上投影的截面，见图1—7中的 N_1-N_1 截面。

规定上述四个辅助平面，可以分别在不同平面上测量刀具的几何角度。

2. 刀具的几何角度

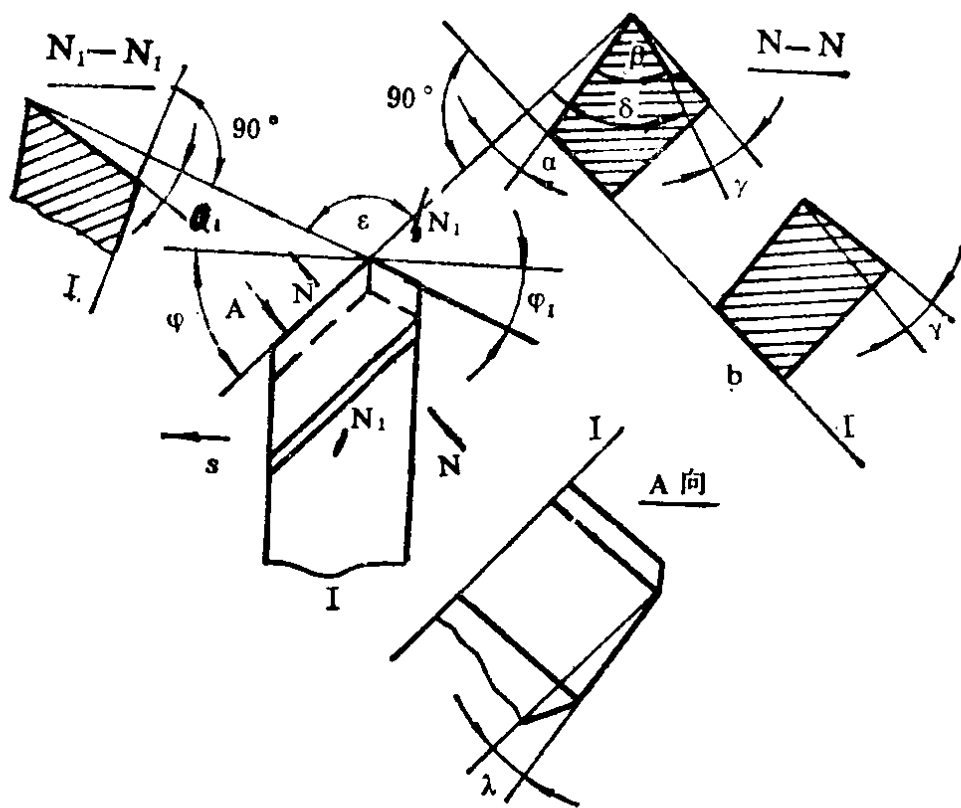


图1—7 车刀的几何角度

在主截面上测量的角度有：

(1) 前角 γ ：主刀刃上任一点的前角，是指在主截面内测量的该点基面与前刀面的夹角。

切削时，若刀尖的高度与工件中心线等高，且不考虑走刀运动，则其切削速度方向垂直于车刀刀杆的底面。因基面是垂直于切削速度方向的，所以刀尖那点的基面，就是通过刀尖且又平行于车刀底面的平面。在设计和制造刀具时，刀具工作图上所标注的基面就是上述基面。而在制造及刃磨刀具角度时，也用上述基面来测量整个刀刃上各点的前角。此时所测得的主刀刃上各点的前角，已是通过刀尖并平行于刀杆底面的平面（基面）与前刀面之间的夹角。此角为刃磨前角，又称标注前角（或静止前角）。

前角可以是正值也可以是负值（或零度），由加工情况决定。当前刀面与基面重合时，前角等于零；当前刀面高于基面时，前角为负值，此时切削费力。

（2）后角 α ：主刀刃上任一点的后角，是指在主截面内测量的该点切削平面与后刀面的夹角。

后角 α 能减小切削时刀具与工件之间的摩擦。后角越大，摩擦就越小，但后角过大时降低刀具的强度。

在基面上测量的角度有：

（1）主偏角 φ ：主刀刃在基面上的投影与走刀方向之间的夹角。增大主偏角，能减小径向切削力，从而减小切削时工件的弯曲变形。改变主偏角 φ ，还能改变切削金属层的形状与厚薄，并影响刀具耐用度。

（2）副偏角 φ_1 ：副刀刃在基面上的投影与走刀方向之间的夹角。减小副偏角（用尖刀切削时），能减小刀花的深度，提高已加工表面光洁度。

（3）刀尖角 ϵ ：主刀刃和副刀刃在基面上的投影所形成的夹角。刀尖角大时，刀尖的强度较大。从图 1—7 可以看出刀尖角与主偏角和副偏角的关系：

$$\epsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1) \quad (1-4)$$

在切削平面内测量的角度有：

刃倾角 λ ：在切削平面内测量的主刀刃与基面间的夹角。如图 1—8 所示，当刀尖位置处于主刀刃上最低点时（AB 刀刃

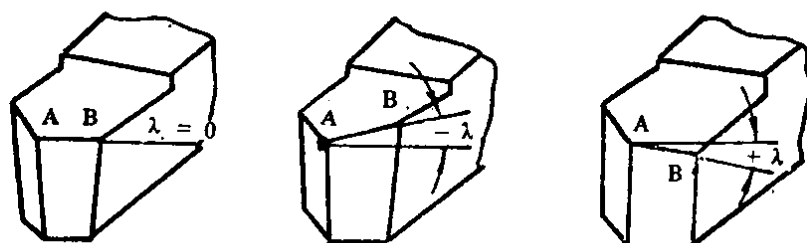


图 1—8 刃倾角

在 A 点的基面以上)， λ 为负值；当刀尖位置处于主刀刃上最高点时， λ 为正值*；整个主刀刃等高时（主刀刃与基面重合）， λ 为零。

在副截面上测量的角度有：

副后角 α_1 ：副切削刃上任一点的后角，是指在副截面内测量的该点切削平面与副后刀面的夹角。它能减少副后刀面与工件之间的摩擦。

前角 γ 、后角 α 、主偏角 φ 、副偏角 φ_1 、刃倾角 λ 及副后角 α_1 是在刀具工作图中必须标注的角度，也是刃磨时必须磨出的角度，因而称为标注角度或刃磨角度。由（1—4）式知，当主偏角 φ 及副偏角 φ_1 确定后，刀尖角 ε 也就确定了。象 ε 这样的角度，称为派生角度。除刀尖角 ε 外，还有以下三个派生角度：

（1）楔角 β ：在主截面内测量的前刀面与后刀面的夹角。

（2）切削角 δ ：在主截面测量的切削平面与前刀面之间的夹角。

（3）副前角 γ_1 ：副截面中测量的前刀面与基面之间的夹角。

前角 γ 、后角 α 、楔角 β 、切削角 δ 之间有以下关系：

$$\beta = 90^\circ - (\gamma + \alpha) \quad (1-5)$$

$$\delta = 90^\circ - \gamma \quad (1-6)$$

上述刀头的形状及几何角度都是最基本的，也是最常见的。在生产实践中，刀头的形状是多种多样的，如有的外圆车

* 以前金属切削学中所用刃倾角符号，很多与此相反。