

金属切削原理

及
刀具

张维纪 编著

浙江大学出版社

金属切削原理及刀具

张维纪 编著

浙江大学出版社

(浙)新登字第10号

内 容 简 介

本书是参照全国高等工业学校机制专业教学指导委员会制订的《金属切削原理与刀具》教学大纲(征求意见稿)、为适应高等学校机制专业成人教育的教学特点而编写的。分切削原理与切削刀具两篇。包括基本定义、刀具材料、切屑的形成、切削力、切削热和切削温度、刀具的磨损及耐用度、已加工表面的形成及其质量、工件材料的切削加工性、切削液、刀具合理几何参数的选择、切削用量的制订、磨削、车刀、铣刀、麻花钻、盘形齿轮铣刀、插齿刀、齿轮滚刀、剃齿刀、成形车刀、铲齿成形铣刀、拉刀、蜗轮滚刀、花键滚刀等共24章。附有专用刀具设计实例和设计所需的参考资料。

本书也可供有关业余大学、电大、中等专业学校教师和学生以及工程技术人员参考。

金属切削原理及刀具

张维纪 编著

责任编辑 涂红

浙江大学出版社出版

萧山东湘印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

开本787×1092 1/16 印张: 17.375 字数: 433千字

1991年8月第1版 1992年6月第2次印刷

印数2301—7000

ISBN 7-308-00777-4

TH·022 定价: 6.95元

前 言

本书是为适应高校机械制造工艺及设备专业成人教育的教学特点编写的。

全书共分两篇。第一篇切削原理，它是机制专业的专业基础理论，是学习专业课必须掌握的基础知识。教材内容是以理论上认识金属切削过程的一般现象和基本规律为主，着重阐述了基本定义、切屑形成、切削力、切削温度、刀具磨损和耐用度；为使学生能以所学的知识，初步解决生产中的一些实际问题，对已加工表面的形成及其质量、刀具合理几何参数的选择、切削用量的制订进行了分析讨论；对刀具材料、工件材料的切削加工性、切削液也作了介绍。还介绍了磨削。

第二篇切削刀具，它对于提高劳动生产率、保证加工精度与表面质量、改进生产技术、降低加工成本都有直接的影响。如何正确选择、合理使用、不断改进刀具，以及设计专用刀具，是机械加工中一项重要工作。

刀具的种类很多，随着生产的不断发展，还会日益增加。按设计、制造、使用可分为：

1. 标准通用工具。如：切刀类中的可转位式刀具；铣刀类中的圆柱平面铣刀、平面端铣刀、槽铣刀、角度铣刀；孔加工刀具类中的钻头、扩孔钻、铰钻、铰刀；螺纹刀具类中的丝锥、扳牙、螺纹梳刀、螺纹铣刀、螺纹切头 etc。

2. 标准专用刀具。如齿轮刀具类中的盘形齿轮铣刀、插齿刀、滚刀、剃齿刀、锥齿轮刀具等。

3. 专用刀具。如成形车刀、成形铣刀、拉刀、蜗轮滚刀、花键滚刀等。

前两类刀具，一般由国家专门机构按标准化设计，让专业厂生产，提供给用户。对标准通用刀具主要是正确选择、合理使用；对标准专用刀具还有使用前的验算问题。

教材内容主要包括：以铣削、麻花钻为典型实例，阐述标准通用刀具的合理使用与革新中的一些问题；对先进的可转位式刀具也作了介绍；对常用的盘形齿轮铣刀、插齿刀、滚刀、剃齿刀等标准专用刀具，着重阐述它们的工作原理、结构特点、应用范围、使用前的验算等。

为使学生初步掌握专用刀具的设计方法，较详细地介绍了常用的成形车刀、成形铣刀、拉刀、蜗轮滚刀等的设计原理，设计、计算方法，列举设计实例，附有相应的设计参考资料。对花键滚刀齿形的求法也作了介绍。

编 者

1990年12月

目 录

第一篇 切削原理

第一章 基本定义	1
§1-1 切削运动.....	1
§1-2 刀具切削部分的组成要素.....	2
§1-3 刀具角度.....	3
一、刀具切削角度的坐标平面	3
二、刀具标注角度的坐标系（主剖面坐标系）	3
§1-4 切削层要素.....	8
§1-5 刀具角度的换算.....	11
一、法剖面坐标系	11
二、切深和进给剖面坐标系	12
§1-6 车刀刃磨时转动角度的修正计算.....	17
练习题 1	18
第二章 刀具材料	19
§2-1 刀具材料应具备的性能.....	19
§2-2 常用的刀具材料.....	19
一、高速钢	19
二、硬质合金	20
§2-3 其它刀具材料.....	21
练习题 2	22
第三章 切屑的形成	23
§3-1 切屑的形成过程.....	23
§3-2 第二变形区的变形.....	23
一、变形区内金属的剪切变形	23
二、变形程度的表示方法	24
§3-3 前刀面的挤压、摩擦及其对切屑变形的影响.....	26
一、作用在切屑上的力	26
二、 ϕ 与 β 的关系.....	27
三、前刀面上的摩擦	28
四、影响前刀面摩擦系数的主要因素	28
§3-4 积屑瘤的形成及其对切削过程的影响.....	30
一、现象	30
二、产生	30

三、影响	30
四、控制	30
§3-5 切屑变形的变化规律	31
练习题 3	32
第四章 切削力	33
§4-1 切削力的来源、合力、分解	33
§4-2 计算切削力的经验公式	34
一、切削力的测量	34
二、经验公式的建立步骤	34
§4-3 切削功率、单位切削力、单位切削功率	37
一、切削功率	37
二、单位切削力和单位切削功率	37
§4-4 影响切削力的因素	38
一、工件材料	38
二、切削用量	39
三、几何参数	39
四、其它	41
练习题 4	41
第五章 切削热和切削温度	42
§5-1 切削热的产生和传出	42
§5-2 切削温度的测量方法	42
§5-3 影响切削温度的主要因素	43
一、切削用量	44
二、几何参数	44
三、工件材料	45
四、其它	45
§5-4 切削温度的分布	45
§5-5 切削温度对工作、刀具和切削过程的影响	46
练习题 5	47
第六章 刀具的磨损和耐用度	48
§6-1 刀具磨损的形式	48
§6-2 刀具磨损的原因	49
§6-3 刀具磨损过程及磨钝标准	50
一、磨损过程	50
二、刀具的磨钝标准	50
§6-4 刀具耐用度及其与切削用量的关系	51
一、切削速度与刀具耐用度的关系	51
二、进给量、切削深度与刀具耐用度的关系	52
§6-5 刀具的破损	53

练习题 6	53
第七章 已加工表面的形成及其质量	54
§7-1 已加工表面的形成过程 (第三变形区)	54
§7-2 已加工表面质量	54
§7-3 已加工表面粗糙度	55
一、几何因素所造成的粗糙度	55
二、切削过程中不稳定因素所产生的粗糙度	55
§7-4 表面层材质变化	57
一、加工硬化	57
二、残余应力	58
练习题 7	59
第八章 工件材料的切削加工性	60
§8-1 切削加工性的概念和标志方法	60
一、概念	60
二、常用衡量加工性的标志	60
§8-2 工件材料的物理机械性能、化学成分及金相组织对切削加工性的影响	61
一、物理机械性能	61
二、化学成分	62
三、金相组织	62
§8-3 改善材料切削加工性的措施	62
一、调整化学成分	62
二、材料加工前进行合适的热处理	63
三、选择加工性好的材料状态	63
四、其它	63
练习题 8	63
第九章 切削液	64
§9-1 切削液的作用	64
§9-2 切削液添加剂	64
§9-3 常用的切削液及其选用	65
一、切削液的类型	65
二、切削液的选用	65
§9-4 切削液的使用方法	63
练习题 9	67
第十章 刀具合理几何参数的选择	68
§10-1 前角和前刀面形状的选择	68
一、前角 γ_o	68
二、倒棱	69
三、带卷屑槽的前刀面形状	70
§10-2 主、副后角的选择	71

一、主后角 α_0	71
二、副后角 α_0'	72
§10-3 主、副偏角及刀尖形状的选择	72
一、主偏角 κ_r	72
二、副偏角 κ_f	73
三、刀尖形状	73
§10-4 刀倾角 λ_s 的选择	74
练习题10	77
第十一章 切削用量的制订	78
§11-1 制订切削用量的原则	78
§11-2 刀具耐用度的确定	79
一、最高生产率耐用度	80
二、最低成本耐用度(经济耐用度)	80
§11-3 a_p 、 f 、 v 的确定	81
§11-4 切削用量最佳化的设计	87
§11-5 提高切削用量的途径	90
练习题11	90
第十二章 磨削	91
§12-1 砂轮特性及其选择	91
一、磨料	91
二、粒度	91
三、结合剂	92
四、硬度	92
五、组织	92
六、形状及用途	93
§12-2 砂轮表面形貌	94
§12-3 磨削过程	95
一、磨削运动	95
二、磨粒切除切屑的几何图形	95
三、磨粒切除切屑时与工件的接触状态	97
四、磨削中各参数的关系	97
§12-4 磨削力及功率	99
一、磨粒受力情况	99
二、磨粒的负前角对磨屑形成的影响	99
三、砂轮上的磨削力	100
四、磨削力对磨削过程的影响	101
五、磨削功率消耗	101
六、磨削用量及单位时间磨除量	101
§12-5 磨削温度	102
一、来源	102

二、影响因素	103
§12-6 磨削表面质量	104
一、粗糙度	104
二、表面烧伤	104
三、残余应力	104
四、磨削裂纹	105
§12-7 砂轮磨损与耐用度	105
一、磨损的基本形态及恶化型式	105
二、表示砂轮磨损的参数	106
三、砂轮耐用度	106
四、砂轮的修整	107
§12-8 高效磨削	108
一、高精度、高光洁表面磨削	108
二、高效率磨削	108
练习题12	110

第二篇 切削刀具

第一部分 标准通用刀具

第十三章 车刀	111
第十四章 铣刀	11 ³
§14-1 铣刀的几何角度	113
§14-2 铣削参数	114
一、铣削要素	114
二、切削层参数	114
§14-3 铣削力和功率	116
一、铣削力	116
二、铣削功率	117
§14-4 铣削方式	117
练习题14	119
第十五章 麻花钻	120
§15-1 麻花钻的几何参数	120
§15-2 钻削要素	123
§15-3 钻削力、扭矩	124
§15-4 麻花钻的修磨	125
一、麻花钻几何参数存在的缺点	125
二、麻花钻常见的修磨方法	125
三、群钻	127
§15-5 麻花钻的刃磨	128

一、钻削时的实际切削角度	128
二、麻花钻的刃磨方法	128
练习题15	130

第二部分 标准专用刀具

第十六章 盘形齿轮铣刀	131
§16-1 盘形齿轮铣刀的分组	131
§16-2 盘形齿轮铣刀加工斜齿圆柱齿轮	132
练习题16	132
第十七章 插齿刀	133
§17-1 插齿刀的工作原理及用途	133
§17-2 直齿插齿刀的切削刃及其前、后刀面	134
§17-3 正前角插齿刀的齿形误差及其修正方法	135
一、齿形误差	135
二、齿形误差的修正方法	136
§17-4 插齿刀加工齿轮时的验算	137
一、被切齿轮过渡曲线干涉的验算	137
二、被切齿轮根切的验算	139
三、被切齿轮顶切的验算	139
§17-5 插齿刀的刃磨及变位系数 X_0 的测定	139
一、刃磨	139
二、重磨后变位系数的测定	140
练习题17	140
第十八章 齿轮滚刀	141
§18-1 齿轮滚刀的工作原理	141
§18-2 滚刀与插齿刀的比较	142
§18-3 滚刀的合理使用	143
一、滚刀的选用和合理安装	143
二、滚刀的刃磨	143
三、重磨后的齿形误差及检验	144
练习题18	146
第十九章 剃齿刀	147
§19-1 剃齿刀的用途和工作原理	147
§19-2 剃齿刀使用前的验算	149
练习题19	150

第三部分 专用刀具设计

第二十章 成形车刀	151
§20-1 成形车刀的特点、类型和装夹	151

一、特点	151
二、类型	151
三、装夹	152
§20-2 成形车刀的前、后角	153
§20-3 成形车刀的廓形设计	156
一、廓形设计的必要性	156
二、棱体成形车刀	156
三、圆体成形车刀	157
§20-4 成形车刀加工圆锥面时的误差	159
一、棱体成形车刀	159
二、圆体成形车刀	159
三、避免或减少误差的措施	160
§20-5 成形车刀的附加刀刃及宽度、样板	161
一、附加刀刃及宽度	161
二、样板	162
§20-6 成形车刀设计举例	162
练习题20	171
附录 成形车刀设计参考资料(部分)	172
第二十一章 铲齿成形铣刀	177
§21-1 齿背曲线的铲齿加工	177
一、对铣刀后刀面的要求	177
二、铲齿过程	177
§21-2 铲齿量及后角	178
一、铲齿量 κ 及端面顶刃后角 α_f	178
二、法向后角及其改善	179
§21-3 $r_f > 0^\circ$ 时刀齿廓形的计算	180
§21-4 铣刀的结构参数	182
§21-5 成形铣刀设计举例	186
练习题21	190
附录 铲齿成形铣刀设计参考资料(部分)	192
第二十二章 拉刀	198
§22-1 拉削特点	198
§22-2 拉刀的结构	199
§22-3 拉削图形	199
一、同廓拉削图形	199
二、分块(轮切)拉削图形	200
三、综合拉削图形	200
§22-4 圆孔拉刀设计	201
一、切削部	201

二、校准部	205
三、其它部分与总长度	206
四、强度与拉床拉力的校验	208
§22-5 圆孔拉刀设计举例	208
练习题22	213
附录 圆孔拉刀设计参考资料(部分)	216
第二十三章 蜗轮滚刀	226
§23-1 工作原理和切削方式	226
一、工作原理	226
二、切削方式	226
§23-2 径向进给的蜗轮滚刀设计	227
一、结构设计	227
二、齿形设计	234
§23-3 蜗轮飞刀	238
§23-4 径向进给蜗轮滚刀设计举例	240
练习题23	243
附录 径向进给蜗轮滚刀设计参考资料(部分)	245
第二十四章 花键滚刀齿形的求法	252
§24-1 花键滚刀法向齿形的求法	252
一、作图法	252
二、计算法	253
§24-2 工件节圆半径 r 的确定	254
一、 r 最小值的确定	254
二、过渡曲线高度及带角花键滚刀	256
§24-3 用近似圆弧代替理论齿形	258
一、三点共圆法	258
二、最小二乘法	259
三、代用圆弧引起的齿形误差	260
练习题24	260
参考资料	261

第一篇 切削原理

第一章 基本定义

金属切削过程是工件和刀具相互作用的过程。刀具要从工件上切去一部分金属，并在保证高生产率和低成本的前提下，使工件得到符合技术要求的形状、尺寸精度和表面质量；为了实现这一过程，必须具备以下三个条件：工件与刀具之间要有相对运动，即切削运动；刀具材料必须具有一定的切削性能；刀具必须具有适当的几何参数，即切削角度等。

本章主要以外圆车刀为对象，叙述了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、切削层要素和残留面积，并且分析了刀具几何角度之间的相互关系及其换算方法。

这些基本概念也适用于其它刀具。是选用、革新、设计刀具必须首先掌握的内容之一。

§1-1 切削运动

在金属切削中，为了要从工件上切去一部分金属，刀具和工件间必须完成一定的切削运动。以图1-1所示的外圆车削的情况，工件旋转，刀具连续纵向直线进给，于是形成工件外圆柱表面。

切削运动包括：主运动和进给运动。

主运动 切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动称主运动。是切下金属所必须的基本运动，如车削中工件的旋转或铣削中刀具的旋转等。主运动速度即切削速度 v ，外圆车削或用旋转刀具进行切削时，以下式计算：

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \quad (\text{m/s 或 m/min}) \quad (1-1)$$

式中 d ——工件或刀具直径(mm)；

n ——工件或刀具转速(r/s 或 r/min)

进给运动 使新的金属层不断投入切削，以便切完工件表面上全部余量的运动。进给运动的大小可用**进给量** $f(\text{mm/r})$ 表示。对于外圆车削，进给量指工件转一转，刀具沿工件

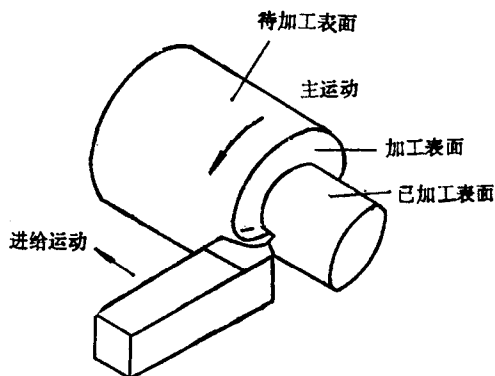


图1-1 车削时的切削运动

轴向的移动距离；对多刃旋转刀具常用到每齿进给量 $a_f(\text{mm/z})$ 及每秒进给量 $v_f(\text{mm/s})$ 。

在整个切削过程中，工件上有三个表面：

- (1) 待加工表面：即将被切去金属层的表面；
- (2) 加工表面：切削刃正在切削的表面；
- (3) 已加工表面：已经切去一部分金属而形成的新表面。

这些定义也适用于其它切削。图1-2, a)、b)、c)分别表示了刨削、钻削、铣削时的切削运动。

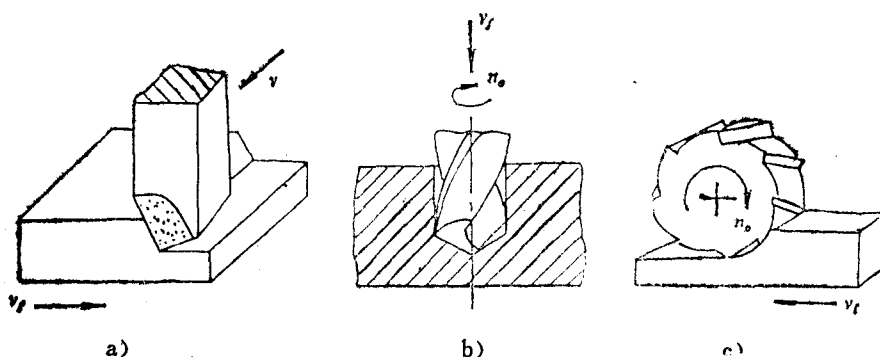


图1-2 刨、钻、铣的切削运动

主运动和进给运动的合成 车削时主运动和进给运动同时进行，刀具上切削刃某一点相对于工件的合成运动称合成切削运动。可用合成速度向量 v_s 表示。由图1-3可知，合成速度向量 v_s 等于主运动速度 v 与进给速度 v_f 的向量和，即

$$v_s = v + v_f \quad (1-2)$$

显然，沿切削刃各点的合成速度向量并不相等。

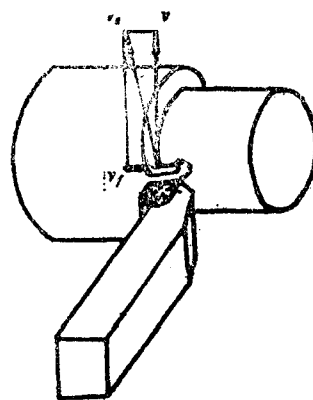


图1-3 车削时的合成速度向量

§1-2 刀具切削部分的组成要素

切削刀具的种类繁多、形状各异，但就其切削部分而言，则都可以看成是外圆车刀刀头的演变。

图1-4所示的为常见的普通车床上所使用的外圆车刀。它由刀杆（用来把车刀固定在刀坐上）和刀头（切削部分）所组成。

刀头直接担负切削工作，它由下列要素组成：

刀面、

前刀面(A_r)：刚形成的切屑沿其上流出的表面；

主后刀面(A_a)：和工件加工表面相对的表面；

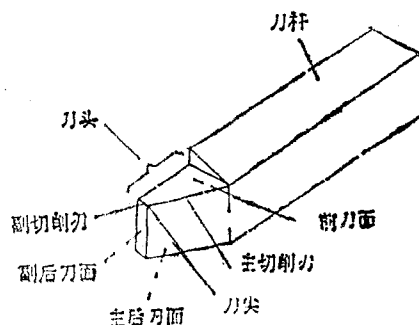


图1-4 刀具切削部分组成要素

面,

副后刀面(A_p): 和工件已加工表面相对的表面,

切削刃: 两个面相交形成了切削刃。

主切削刃: 前刀面和主后刀面的交线, 它担任主要切削工作,

副切削刃: 前刀面和副后刀面的交线。

刀尖: 主切削刃和副切削刃的交点。

§1-3 刀具角度

在表达刀具几何角度时, 仅靠刀头上的几个面是不够的, 要人为地再建立几个坐标平面, 以便与刀具刀头上的各个面组成相应的角度。

一、刀具切削角度的坐标平面

刀具的切削角度, 是刀具在同工件和切削运动相联系的状态下确定的角度, 所以刀具的角度的坐标系应该以合成切削速度向量 v_c 来说明。

由于大多数加工表面都不是平面, 而是空间曲面, 不便于直接用来做为坐标平面, 因此需通过切削刃某一选定点, 做工件加工表面的切削平面和法平面, 以构成刀具角度的坐标系, 它们的定义如下(见图1-5):

切削平面: 通过切削刃某选定点, 切于加工表面的平面。

基面: 通过切削刃某选定点, 垂直于合成切削速度向量 v_c 的平面。

显然, 切削平面与基面互相垂直。

图1-5所示为横车时的基面和切削平面, 它们分别是运动轨迹面(加工表面为阿基米德螺旋面)的法平面和切平面, 并相应的与刀头的前刀面和主后刀面组成了夹角。

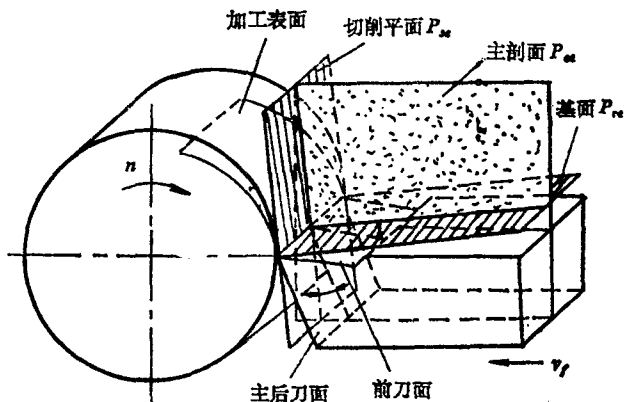


图1-5 横车的基面、切削平面和主剖面

但如所共知, 两平面间的夹角, 当采取的测量平面不同时, 其值亦异。因此为了正确的测量出两平面间的夹角, 还必须规定其测量平面。

主剖面: 垂直于主切削刃在基面上的投影的平面。

这样, 在主剖面内量得的两平面间的夹角值就是唯一的了。

同理有副切削刃的主剖面: 垂直于副切削刃在基面上的投影的平面。

二、刀具标注角度的坐标系(主剖面坐标系)

为便于刀具设计者在设计刀具时的标注, 一般先合理地规定一些条件。在车削时, 这些条件是:

- (1) 装刀时，刀尖恰在工件的中心线上；
- (2) 刀具的轴线垂直工件的轴线；
- (3) 没有进给运动；
- (4) 工件已加工表面的形状是圆柱表面。

基于这些条件，以常见的普通外圆车刀为例，当主切削刃处在水平线上，没有进给运

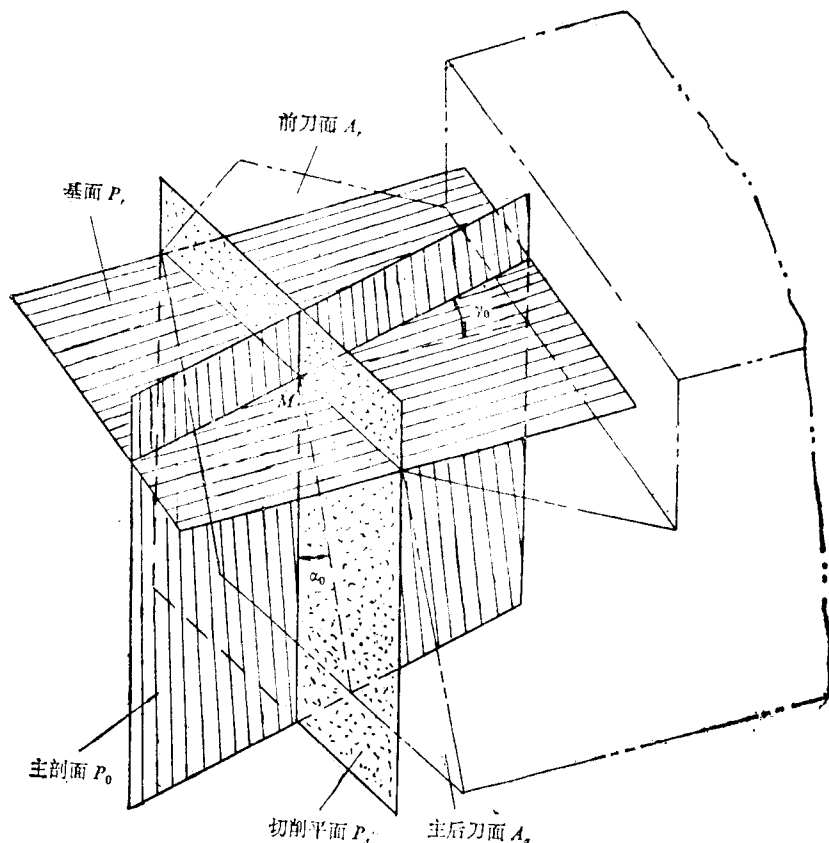


图1-6 刀具标注角度坐标系(主剖面)

动时，则主切削刃任一点 M 的基面、切削平面、主剖面如图1-6所示。此时，切削平面(P_s)包含了主切削刃并垂直于刀杆支承面；基面(P_r)包含了主切削刃并垂直于切削平面，即与刀杆支承面平行；主剖面(P_0)是垂直于主切削刃在基面上的投影的平面（在图1-6中主切削刃与主切削刃在基面上的投影相互平行）。因此，主剖面坐标系内三个坐标平面互相垂直，构成一个空间直角坐标系。

有了这些坐标平面之后就可以确定刀具上的角度了，这些角度及其定义有(见图1-7)；在主剖面 P_0 中：

前角 γ_0 ：前刀面与基面之间的夹角；前刀面在基面之下称正前角，前刀面在基面之上时称负前角。

后角 α_0 ：后刀面与切削平面之间的夹角；

楔角 β_0 ：前刀面与主后刀面之间的夹角；

当 γ_0 、 α_0 已定， β_0 可按式求得：

$$\beta_0 = 90^\circ - (\gamma_0 + \alpha_0) \quad (1-3)$$

在基面 P_r 中：

主偏角 κ_r ：进给方向与主切削刃在基面上的投影之间的夹角；

副偏角 κ'_r ：进给方向与副切削刃在基面上的投影之间的夹角；

刀尖角 ϵ_r ：主切削刃与副切削刃在基面上的投影之间的夹角，有：

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

在切削平面 P_s 中：

刃倾角 λ_s ：主切削刃与基面之间的夹角。

根据ISO规定，当刀尖是主切削刃上最低点时， λ_s 为负值（见图1-8b）；当刀尖是主切削刃上最高点时， λ_s 为正值（图1-8c）。

$\lambda_s = 0^\circ$ （见图1-8a）的切削称**直角切削**或**正切削**（图1-9a），这时主切削刃与切削速度方向相垂直；

$\lambda_s \neq 0$ 的切削称**斜角切削**或**斜切削**（图1-9b），这时主切削刃与切削速度方向不垂直。

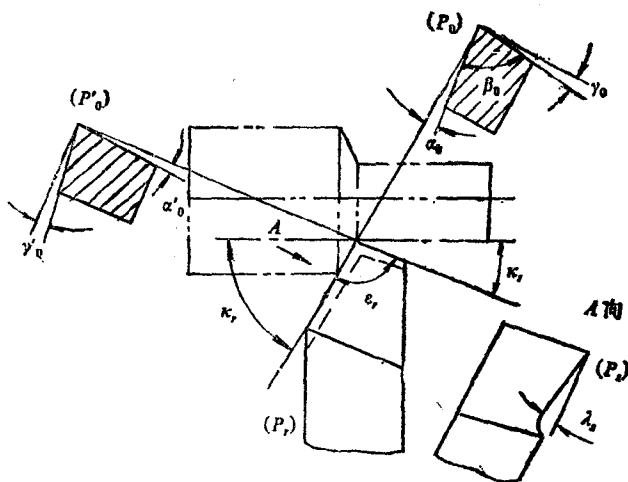


图1-7 车刀的标征角度

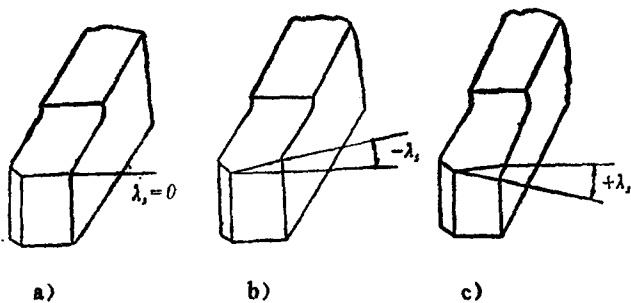


图1-8 刃倾角的符号

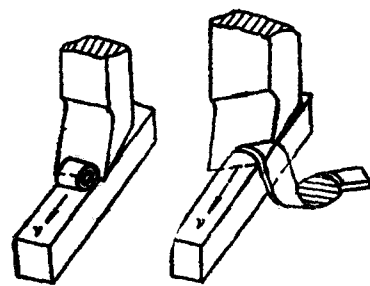


图1-9 直角切削和斜角切削

在副切削刃的主剖面 P'_0 中：

副后角 α'_0 ：副后面与切削平面之间的夹角；

副前角 γ'_0 ：在副切削刃的主剖面中前刀面与基面之间的夹角。

当 κ_r 、 κ'_r 、 λ_s 、 r_0 为已定值，主、副切削刃共前面时， r'_0 即被唯一决定了。

但应指出，在切削中，随着切削条件的变化，这些角度也将发生变化。例如：