



中等专业学校试用教材

机械工业出版社精品教材

# 金属切削原理 与刀具

第2版

韩步愈 主编



中等专业学校试用教材  
机械工业出版社精品教材

# 金属切削原理与刀具

第 2 版

主编 韩步愈  
参编 刘长义  
主审 周志明

机械工业出版社

此修订教材,保持了第1版教材的体系与特色,精简了原教材中部分带“\*”和不太实用的内容,增添了近几年发展的新技术与刀具,使教材更能适应当前教学的需要。

本教材主要内容有基本定义,刀具材料,金属切削的基本规律,提高金属切削效益的途径,以及车刀、铣刀、孔加工刀具、拉刀、螺纹刀具、数控加工用刀具和磨削与砂轮。每章后附有思考与习题。

## 图书在版编目(CIP)数据

金属切削原理与刀具/韩步愈主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2001.5(2015.8重印)

中等专业学校试用教材

ISBN 978-7-111-01806-3

I.金… II.韩… III.①金属切削-专业学校-教材 ②刀具(金属切削)-专业学校-教材 IV.TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第02242号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:崔占军 版式设计:冉晓华

责任校对:孙志筠 责任印制:李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2015年8月第2版第25次印刷

184mm×260mm·15印张·370千字

标准书号:ISBN 978-7-111-01806-3

定价:33.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

## 第 1 版前言

本书是根据 1986 年 8 月国家机械委中等专业学校机械制造专业教材编审委员会通过的“金属切削原理与刀具”教学大纲，为中等专业学校编写的试用教材（必修）。也可供从事机械制造专业的科技人员参考。

本书由“金属切削原理”与“金属切削刀具”两部分组成。原理部分主要以车削为中心，系统地阐明车削过程的基本规律与应用，然后介绍钻削、铣削及磨削过程的特点。刀具部分以常用刀具的类型、结构特点及其选用和常用非标准刀具的设计为主。在各章后附有思考与习题。

本书是按讲课时数 60 学时编写的，对可供课堂讨论、课外阅读的内容用 \* 号表示，各校可根据教学时数灵活安排。在编写过程中，紧紧围绕中专特点，遵循“加强应用，培养能力”和教学的适用性以及便于自学等原则。

本书各章节作者为：绪论、第一、三、四、第六章第一节、第七章第一节、十、十二章咸阳机器制造学校韩步愈；第二、八、九章内蒙古工业学校刘长义；第五、六、七、十一章福建机电学校吴林禅。

本书由韩步愈主编，南京机械专科学校周志明主审。刘长义参与最后统稿工作。参加审稿会议的课程组成员及兄弟学校老师有：刘正言、杨家乐、范荣礼、张兆怀、朱国恒、袁瑞先、姬桂英、王桂荣、华坚、龚荪兰、詹国华、张桂宁、高波、郭开础、袁广、廖仁标、王金祥、赵国明等。

在编写过程中，包头机械工业学校朱国桓老师提出了许多宝贵意见，有关院校、工厂给予大力支持与帮助，咸阳机器制造学校有关同志协助绘图工作，谨此一并表示衷心感谢。

由于编写时间较仓促，水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

1988.7 于咸阳

## 第2版前言

本书是中等专业学校机械制造专业《金属切削原理与刀具》(1989年版)试用教材的第2版。

本书第2版保留了原教材的体系与特点。

本书在修订时根据广大读者的建议,按照中等专业学校机械制造专业的培养目标与要求,对原书作如下修改:

(1) 删减了部分内容。如:切削用量最优化;可转位车刀的几何角度及其验算;用分析法确定钻削、铣削分力,面铣刀几何角度与刀槽位置参数;花键拉刀;螺纹切头等;

(2) 改写了部分内容。如:成形车刀的工作前、后角;麻花钻的几何角度;麻花钻后刀面的锥面磨法;第十一章“数控加工用的刀具与工具”;对用“单位切削力公式”计算切削力的方法,采用了新的资料,可用于车、钻、铣等。

(3) 贯彻了 GB/T12204—90 国标规定的金属切削基本术语与符号。

参加此次修订工作的有:主编韩步愈老师,编者刘长义老师,主审周志明老师。

本书自出版以来,受广大教师与读者的关心与爱护,并先后提出了不少宝贵修改意见,在此深表感谢。

由于修订时间仓促,书中难免有错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2000年1月于杭州

## 本书采用的名词、术语和符号

符 号	名 称	符 号	名 称
$A_a$	后刀面	$f$	每转进给量
$A_\gamma$	前刀面	$G$	铰刀制造公差
$A'_a$	副后刀面	$h_D$	切削层公称厚度 (切削厚度)
$A_D$	切削层公称横截面积	$h_a$	齿顶高
$A$	加工余量	$h_f$	齿根高
$A_h$	切削厚度压缩比	$h$	全齿高
$a_p$	背吃刀量 (切削深度)	$h_0$	刀具全齿高
$a_e$	侧吃刀量	$H$	刀杆高度
$a$	中心距	$K$	铲齿量
$a_{10}$	被切齿轮与刀具的中心距	$KT$	前刀面磨损深度
$a_{12}$	被切齿轮与共轭齿轮的中心距	$L$	刀具总长
$B$	刀杆宽度	$L_D$	切削层长度
$b_D$	切削层公称宽度 (切削宽度)	$l_{ch}$	切屑长度
$b_\epsilon$	过渡刃长度	$m_n$	法向模数
$b_{a1}$	后刀面刃带宽度	$n$	工件转数, 刀具转数
$b_{\gamma 1}$	负倒棱宽度	$p_f$	假定工作平面
$C$	工序生产成本	$p_p$	背平面
$C_t$	刀具成本	$p_r$	基面
$C_F$	切削力公式的系数	$p_s$	切削平面
$C_{V_c}$	切削速度公式的系数	$p_o$	正交平面
$d$	刀具直径	$p_n$	法平面
$d_w$	工件待加工表面直径	$p_s$	单位切削力
$d_o$	分圆直径 (分圆柱直径)	$P_c$	切削功率
$d_a$	齿轮刀具外径	$P_E$	机床功率
$d_m$	已加工表面直径	$Q_w$	单位时间切除的金属量
$d_1$	内孔直径	$R_a$	粗糙度算术平均偏差
$F_c$	切削力	$R_{max}$	残留面积高度
$F_f$	进给力 (进给抗力)	$r_\beta$	刃口钝圆半径
$F_p$	背向力 (切深抗力)	$r_\epsilon$	刀尖圆弧半径
$F_h$	水平分力	$T$	刀具寿命
$F_v$	垂直分力	$t_{ct}$	换刀时间
$F_o$	横向分力	$t_m$	切削时间
$F_r$	切削合力	$t_{ot}$	辅助时间
$F_L$	在切削平面内沿切削刃的切削分力	$t_w$	工序时间
$F_M$	在基面内垂直于切削刃的切削分力	$VB$	后刀面平均磨损量
$F_N$	在切削平面内垂直于切削刃的切削分力	$v_c$	切削速度
$F_{f\gamma}$	摩擦力	$v_{ch}$	切屑流出速度
$F_{n\gamma}$	法向力	$v_f$	进给速度
$F_s$	剪切力	$r_{ao}$	齿轮刀具顶圆半径
$F_{ns}$	正压力	$r_{bo}$	齿轮刀具基圆半径

符 号	名 称	符 号	名 称
$s$	齿厚	$\gamma_o$	前角
$W$	公法线长度	$\gamma_n$	法前角
$z_k$	容屑槽数	$\gamma_{opt}$	合理前角
$z$	齿数	$\gamma_{oe}$	有效前角
$z_e$	同时工作齿数	$\gamma_{zo}$	刀具分圆柱螺纹升角
$\alpha$	齿形角	$\delta$	接触角
$\alpha_f$	侧后角	$\epsilon$	相对滑移
$\alpha_p$	背后角	$\epsilon_r$	刀尖角
$\alpha_o$	后角	$\eta$	机床效率
$\alpha_n$	法后角	$\kappa_r$	主偏角
$\alpha_{xo}$	齿轮滚刀轴向剖面齿形角	$\kappa_{re}$	过渡刃主偏角
$\alpha_{1o}$	被动齿轮与刀具啮合时的啮合角	$\kappa'_r$	副偏角
$\alpha_{12}$	被动齿轮与共轭齿轮的啮合角	$\lambda_s$	刃倾角
$\beta$	前刀面的摩擦角; 螺旋角	$\mu$	摩擦因数
$\beta_o$	刀具分圆柱螺旋角	$\rho$	曲率半径
$\beta_k$	容屑槽螺旋角	$\tau_\phi$	剪切区切应力
$\beta_{bo}$	刀具基圆柱螺旋角	$\phi$	剪切角; 切入角; 安装角
$\gamma_f$	侧(进给)前角	$\psi_\lambda$	切屑流出方向角
$\gamma_p$	背(切深)前角	$\phi'$	切出角



# 目 录

第1版前言	
第2版前言	
本书采用的名词、术语和符号	
绪论	1
<b>第一章 基本定义</b>	<b>3</b>
第一节 切削运动及形成的表面	3
第二节 刀具切削部分的几何角度	4
第三节 切削用量与切削层参数	14
思考与习题	16
<b>第二章 刀具材料</b>	<b>17</b>
第一节 刀具材料应具备的性能	17
第二节 高速钢	18
第三节 硬质合金	20
第四节 其他刀具材料或超硬度刀具材料	24
思考与习题	24
<b>第三章 金属切削的基本规律</b>	<b>25</b>
第一节 切削变形	25
第二节 切削力	38
第三节 切削温度	52
第四节 刀具磨损	55
思考与习题	62
<b>第四章 提高金属切削效益的途径</b>	<b>63</b>
第一节 改善工件材料的切削加工性	63
第二节 合理选择切削液	65
第三节 刀具合理几何参数的选择	67
第四节 切削用量的合理选择	77
思考与习题	82
<b>第五章 车刀</b>	<b>84</b>
第一节 焊接车刀	84
第二节 机夹车刀	90
第三节 可转位(刀片)车刀	91
第四节 成形车刀	94
思考与习题	103
<b>第六章 钻削与孔加工刀具</b>	<b>105</b>
第一节 钻削与麻花钻	105
第二节 深孔钻	119
第三节 扩孔钻与铰钻	122
第四节 铰刀	124
第五节 孔加工复合刀具	128
第六节 镗刀	130
思考与习题	132
<b>第七章 铣削与铣刀</b>	<b>133</b>
第一节 铣削	133
第二节 尖齿铣刀	148
第三节 硬质合金面铣刀	152
第四节 成形铣刀	153
思考与习题	159
<b>第八章 拉刀</b>	<b>160</b>
第一节 拉刀的组成	160
第二节 拉削概述	161
第三节 圆孔拉刀的结构要素	163
第四节 拉刀的刃磨	168
思考与习题	168
<b>第九章 螺纹刀具</b>	<b>170</b>
第一节 加工外螺纹的刀具	170
第二节 丝锥	171
第三节 螺纹滚压工具	175
思考与习题	176
<b>第十章 齿轮刀具</b>	<b>177</b>
第一节 成形齿轮铣刀	177
第二节 齿轮滚刀	179
第三节 蜗轮滚刀	190
第四节 插齿刀	193
第五节 剃齿刀简介	199
思考与习题	201
<b>第十一章 数控加工用刀具与工具</b>	<b>202</b>
第一节 数控加工用刀具的工具系统	202
第二节 模块式车刀	206
第三节 刀具预调、尺寸控制和 破损检测	208
第四节 数控加工用刀具的管理与 合理使用	211
思考与习题	214





# 绪 论

金属切削加工,是利用金属切削刀具,从工件表面上切除一层多余的金属层(这层金属称为加工余量),以获得所要求的尺寸、几何形状精度和表面质量的一种加工技术。在机械制造业中,凡精度和表面质量要求较高的机械零件,一般都要经过切削加工。因此,金属切削加工是机械制造业中应用最为广泛的一种主要加工方法。

“金属切削原理与刀具”是讨论金属切削加工过程中主要物理现象的变化规律、控制与应用,和常用金属切削刀具的选择、使用与常用非标准刀具的设计的一门专业课。它也是学习“机械制造”专业中有关金属切削加工工艺及其设备等专业课的基础。

本书主要由两大部分内容组成:

## 一、金属切削原理

1. 基本定义(第一章) 主要阐明切削运动、刀具几何形状、切削用量和切削层参数的基本定义。由于金属切削加工是依赖具有一定几何形状的刀具与被切削工件间产生相对切削运动来实现的,因此,掌握这些基本定义,是学习本课程的基础。

2. 金属切削的基本规律(第三章) 切削变形、切削力、切削温度和刀具磨损等是金属切削过程中的主要物理现象。讨论和揭示这些现象的本质和各因素间的联系,以获得其变化规律,作为控制和应用金属切削加工这一加工技术的理论依据。

3. 提高金属切削效益的途径(第四章) 学习切削理论并掌握其规律的目的在于应用,在于提高金属切削的效益。从控制金属切削过程中的各因素来看,提高金属切削效益的途径,通常是改善工件材料的可加工性,合理选择刀具几何参数和切削用量等。

4. 钻削(第六章第一节)、铣削(第七章第一节)和磨削(第十二章)

这部分内容是以车削为主,系统地阐明了有关问题,而对钻削、铣削及磨削则侧重于特殊性方面的说明。有关共同性的问题采用概略提示(几何角度、切削力等)或省略(切削温度、刀具磨损等)的方法,需要学生应用车削有关定义、原理和方法去理解与掌握。之所以这样做,是希望学生在掌握车削的基本知识与分析问题的方法之后,能很容易去适应其它切削加工方法。这在当前课程时数较少,要培养学生能力方面来说,无疑是十分重要的。

这部分内容,理论较多。要注意与实验课密切配合,并要引导学生面向生产实际,重视应用。

## 二、金属切削刀具

1. 常用刀具的合理选择与使用 车刀(第五章)、孔加工刀具(第六章)、铣刀(第七章)、螺纹刀具(第九章)及齿轮刀具(第十章)等是生产中常用的刀具。本书在介绍这些刀具的种类、结构特点与应用的同时,并着重阐明其切削刃(或前、后刀面)的形成方法和刃磨方法,使学生对该刀具的合理选择与使用有较具体的理解。也介绍了相应的先进刀具。

2. 常用非标准刀具的设计 对成形车刀(第五章)、机用铰刀(第六章)、成形铣刀(第七章)和拉刀(第八章)等非标准刀具,本书在介绍它们的设计时,以该刀具的主要结构要素为基点,阐明它们在设计时应考虑的主要问题。至于设计顺序、所需的资料及举例,

则由有关辅助教材去解决。这对培养学生查阅资料、设计方法等独立工作能力，是会有益的。

3. 数控加工用刀具介绍（第十一章）随着数控技术的飞速发展，数控车床，加工中心（铣、镗）已日益广泛使用。本章对数控加工用刀具与工具的标准化、模块化的结构体系；予调等作了扼要介绍。

这些内容较实际。在教与学时，要多与生产实际相结合，使学生在直观上能体会到该刀具的结构与用途。不可停留在书本上，要做好练习，完整地 完成所要求设计的刀具。

研究金属切削的历史还不长。但当人们将所得的规律，应用于生产实际之后，就已发现其强大作用。正如国际生产技术研究会（CIRP）在一项研究报告中指出：“由于刀具材料的改进，刀具允许的切削速度，每隔十年，几乎提高一倍；由于刀具结构和几何参数的改进，刀具寿命，每隔十年，几乎提高二倍”。向高效率（或高切削速度）（图0-1）和高精度（图0-2）方向发展趋势，表明了金属切削加工发展的历史与未来。

学好本门课，以便能运用金属切削加工的基本理论，去观察、分析和解决金属切削加工中的实际生产问题；学会如何根据具体条件选择刀具材料、刀具几何参数和切削用量；以及按工艺要求合理选用刀具和设计刀具。以提高金属切削效益，为改革服务、为生产建设服务。

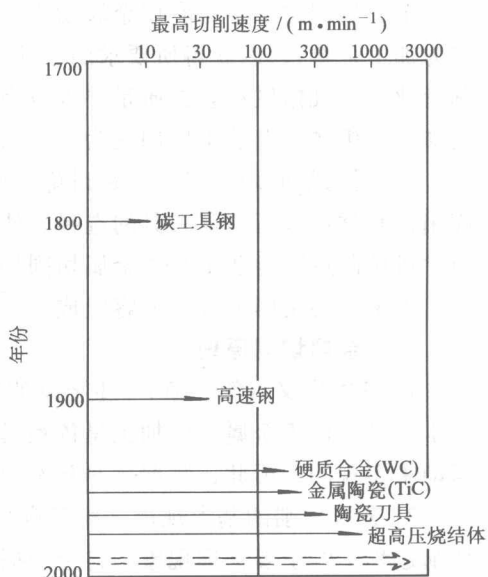


图 0-1 最高切削速度和刀具材料

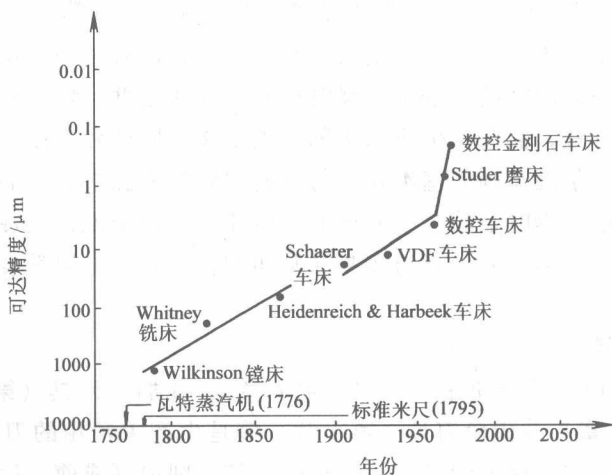


图 0-2 各种切削加工机床的可达精度及发展情况

# 第一章 基本定义

金属切削加工是使用具有一定几何形状的刀具，切入工件一定深度，使刀具和工件间产生相对切削运动来实现的。因此，掌握切削运动、刀具几何角度、切削用量和切削层参数等的基本定义，是学习本课程的基础。本章主要以外圆车削为对象来讨论这些问题，但其定义也适于其他切削加工方法。

## 第一节 切削运动及形成的表面

### 一、切削运动

金属切削时，刀具和工件间的相对切削运动，按其作用可分为主运动和进给运动。

1. 主运动 切削时最主要的运动称为主运动。这个运动的速度最高，消耗功率最大。外圆车削时工件的旋转运动就是主运动。主运动速度即切削速度  $v_c$  (单位为  $m/min$ )。

2. 进给运动 使新的金属层不断投入切削，以便切除工件表面上全部余量的运动称为进给运动。用进给速度  $v_f$  (单位为  $mm/min$ ,  $mm/s$ ) 或进给量  $f$  (单位为  $mm/r$ ) 表示。

3. 合成切削运动 切削时，主运动与进给运动同时进行。这时，刀具切削刃上一点相对于工件的合成运动称为合成切削运动，可用合成切削运动方向  $v_c$  表示。由图 1-1b 可知： $v_c = v_c + v_f$ 。

显然，沿切削刃各点的合成切削运动方向各不相同。

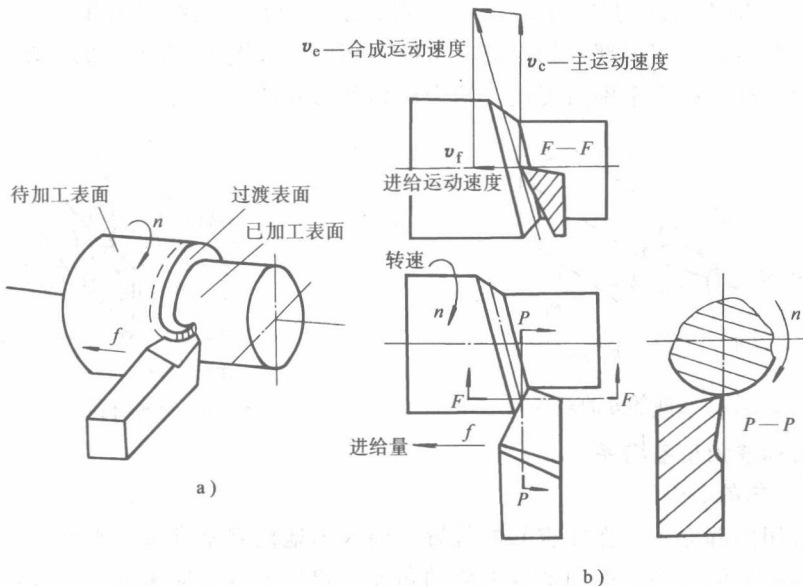


图 1-1 车削时的相对切削运动和形成的表面

切削时，由主运动速度  $v_c$  和进给运动速度  $v_f$  所组成的平面叫工作平面（合成运动速度

$v_c$  也在此平面内)。通常认为切削工作是在此平面内完成的。

## 二、工件上的几个表面

在切削过程中，工件上有三个不断变化的表面（图 1-1a）：

1. 待加工表面 即将被切除的表面；
2. 过渡表面 切削刃正在切削的表面；
3. 已加工表面 切削后形成的新表面。

## 第二节 刀具切削部分的几何角度

切削刀具的种类繁多，形状各异。但从切削部分的几何特征上看，却具有共性。外圆车刀切削部分的形态，可作为其它各类刀具切削部分的基本形态。其它各类刀具是在此基本形态上，按各自的切削特点演变而来。另外，切削加工是依靠刀具的切削刃进行的，若以切削刃为单元，各类刀具都是切削刃的不同组合。

### 一、车刀切削部分的组成

图 1-2 所示是常见的直头外圆车刀，它由刀杆和刀头（刀体和切削部分）组成。切削部分包括以下部分：

1. 前刀面 ( $A_r$ ) 切屑流经的刀面；
2. 后刀面 ( $A_a$ ) 与过渡表面相对的表面；
3. 副后刀面 ( $A_a'$ ) 与已加工表面相对的刀面；
4. 切削刃 ( $S$ ) 前、后刀面的交线，它担负主要切削工作，也叫主切削刃或主刀刃；
5. 副切削刃 ( $S'$ ) 前刀面与副后刀面的交线，它配合切削刃完成切削工作，并形成已加工表面；
6. 刀尖 切削刃与副切削刃的交点，它可以是一个点、直线或圆弧。

不同类型车刀，其切削部分的组成，可能不相同，如图 1-3 所示的切断刀，除前刀面、后刀面、切削刃外，有两个副后刀面，两个副切削刃和两个刀尖。

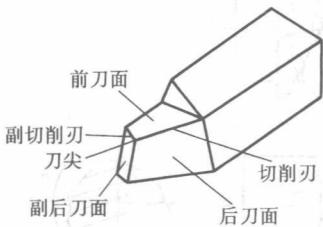


图 1-2 车刀切削部分的组成

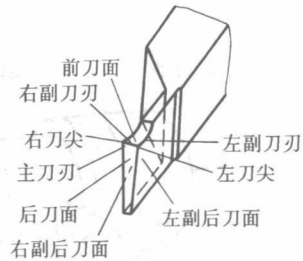


图 1-3 切断刀切削部分的组成

## 二、刀具标注角度参考系

### (一) 基准参考平面

为了确定切削部分各刀面在空间的位置，要人为地建立基准参考平面，作为组成参考系的基准。用参考平面与各刀面间形成相应的角度，定出刀具几何角度，以确定各刀面在空间的位置。

刀具的几何角度是要在切削过程中起作用，因而基准参考平面的建立应以切削运动为依

据。

刀具标注角度参考系是设计刀具时，为标注刀具几何角度而采用的参考系，也是制造、刃磨刀具时采用的参考系。这时，刀具虽无切削运动，也要结合刀具的定位情况，判定出刀具的假定运动方向，以此为依据建立基准参考平面。

### 1. 假定运动方向

(1) 假定主运动方向 以切削刃上选定点，位于工件中心高上时的主运动方向作为假定主运动方向。假定主运动方向垂直于车刀刀杆底面（图 1-4）。

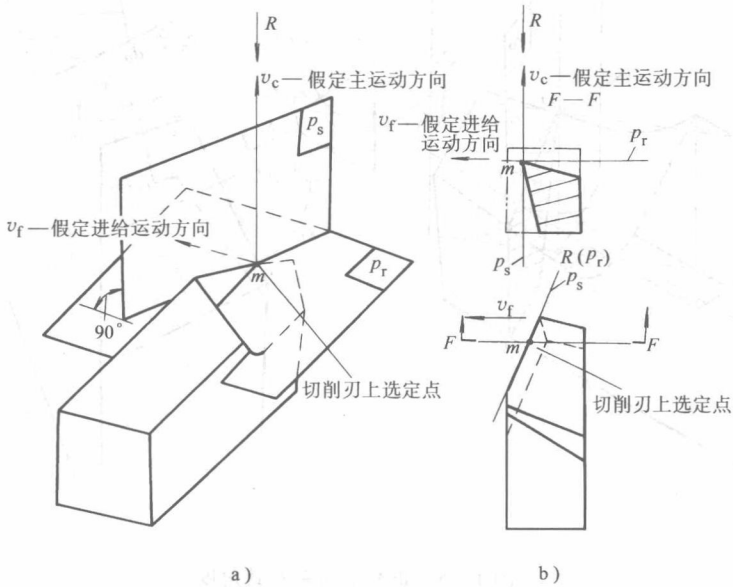


图 1-4 假定主运动方向和进给运动方向与基准参考平面

(2) 假定进给运动方向 以切削刃上选定点的进给运动方向，作为假定进给运动方向。假定进给运动方向平行于车刀刀杆底面（图 1-4）。

2. 基准参考平面 以假定主运动方向 ( $v_c$ ) 为依据，建立基准参考平面，所组成的参考系，称为刀具标注角度参考系。基准参考平面包括：基面  $p_r$  和切削平面  $p_s$ （图 1-4）。

(1) 基面  $p_r$  过切削刃上选定点垂直于假定主运动方向的平面。车刀的基面  $p_r$  平行于刀杆底面。假定进给运动方向在基面  $p_r$  内。

(2) 切削平面  $p_s$  过切削刃上选定点，包括切削刃或切于切削刃（曲线刃）且垂直于基面  $p_r$  的平面。车刀的切削平面  $p_s$  垂直于刀杆底面，假定主运动方向在切削平面  $p_s$  内。

由图 1-4 可见，由于建立了相互垂直的基面  $p_r$  和切削平面  $p_s$ ，它们各自与前刀面和后刀面间形成了相应的角度。但是两平面间夹角的大小，随所选用测量平面而不同。为了测量出两平面间的夹角，还应规定出用于测量前、后刀面角度大小的“测量平面”。由基面  $p_r$ 、切削平面  $p_s$  和“测量平面”组成空间参考系。从下面的讨论中将会看出，各参考系所采用的“测量平面”各不相同，但无论选用哪一个“测量平面”组成相应的参考系，基面  $p_r$  和切削平面  $p_s$  都是共同的，固定不变的。

### (二) 刀具标注角度参考系及其角度

在刀具标注角度参考系中，按选用的“测量平面”不同，可分为三个（常用的）参考







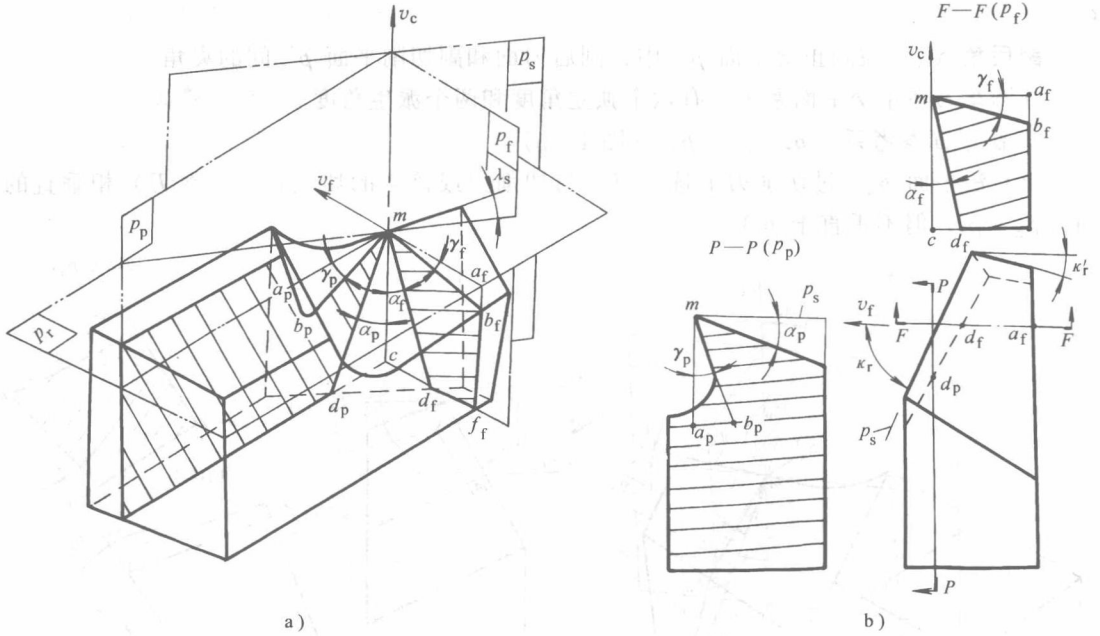


图 1-7 假定工作（进给）平面、背（切深）平面参考系及其角度

侧（进给）前角  $\gamma_f$  前刀面与基面  $p_r$  间的夹角；

侧（进给）后角  $\alpha_f$  后刀面与切削平面  $p_s$  间的夹角。

3) 背（切深）平面内测量的角度（ $P-P$  剖面、 $p_p$ ）

背（切深）前角  $\gamma_p$  前刀面与基面  $p_r$  间的夹角；

背（切深）后角  $\alpha_p$  后刀面与切削平面  $p_s$  间的夹角。

以上讨论了正交平面等三个参考系及其角度。我国主要采用正交平面系，即在图样上标注  $\kappa_r$ 、 $\kappa'_r$ 、 $\lambda_s$ 、 $\gamma_o$ 、 $\alpha_o$  和  $\alpha'_o$  等 6 个角度，有时应补充标注  $\gamma_n$ 、 $\alpha_n$ 。

由以上讨论可知，确定刀具几何角度的步骤为：以切削刃为单元，定出切削刃上选定点，判定出选定点的假定主运动方向和假定进给运动方向，作出基面和切削平面，选取测量平面以建立参考系，从而确定其相应的角度。

### （三）车刀工作图的画法

\*1. 切削部分的投影作图法（图 1-8）用投影法画车刀切削部分的几何形状，是学习和理解刀具几何形状的重要方面。下面讨论刀具正交平面系，几何形状的投影作图法。已知： $\kappa_r$ 、 $\kappa'_r$ 、 $\lambda_s$ 、 $\gamma_o$ 、 $\alpha_o$ 、 $\alpha'_o$ 。

(1) 基面  $p_r$  投影图（ $R$  向）

1) 作进给运动方向  $v_f$  或  $f$ ；

2) 作刀杆宽度  $B$ ；

3) 作刀尖位置  $l$ ；

4) 根据定义作  $\kappa_r$ 、 $\kappa'_r$ ；

5) 确定切削刃上选定点  $m_r$ 。

(2) 切削平面  $p_s$  投影图（ $S$  向）