



高职高专
机电工程类
规划教材

机械制造工程

鄢建国 主 编
吴年美 副主编



机械工业出版社
China Machine Press



高职高专机电工程类规划教材

机械 制 造 工 程

广东省教育厅组 编

主 编 鄢建国

副主编 吴年美

参 编 陈士范 杨云兰 李先武

主 审 邵 明



机 械 工 业 出 版 社

本书是为适应高等职业教育和高等专科教育的机械制造专业教学体系改革的需要,将“金属切削原理与刀具”、“金属切削机床概论”、“机床夹具设计”、“机械制造工艺学”等几门机械制造专业课程中的核心教学内容有机地结合起来,从培养技术应用能力和加强工程素质教育出发,以机械制造工程的基本原理为主线,进行综合编写而成的一门系统的机械制造专业基础课教材。全书共五章,主要内容有:金属切削加工的基本知识,典型机床与刀具,机床常用夹具,机械制造过程与工艺,典型表面加工等。本书注重实际应用,突出基本概念,内容精炼,实例简明,可供高等职业教育和高等专科教育院校机械制造专业使用,也可供普通高等院校师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程/郎建国主编. —北京:机械工业出版社, 2001.5

高职高专机电工程类规划教材

ISBN 7-111-08527-2

I. 机… II. 郎… III. 机械工程-高等学校:技术学校-教材 IV. TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第17462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:高文龙 版式设计:张世琴 责任校对:姚培新

封面设计:姚毅 责任印制:闫焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年7月第1版·第2次印刷

1000mm×1400mm B5·9.625印张·371千字

4 001--7 000册

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

高职高专机电工程类规划教材

编 委 会 名 单

主 任：杨开乔

副主任：谢存禧 高文龙

委 员：杨开乔 谢存禧 高文龙 蔡 敏 邵 明
司待忠 何友义 曾文光 蔡吕荣 卢 勇
龚洵禹 林晓新 吴 勇 程中元 戚长政
刘晓顺 赵小平 卢晓春 姚嘉五 吴念香
郑建辉

秘 书：邵 明 吴念香 郑建辉

序

高等职业教育是我国高等教育改革和发展的新生事物，是我国高等教育不可缺少的重要组成部分。20世纪90年代以来，党中央、国务院十分重视高职高专教育，制定了一系列政策和措施，有效地推动了高职高专教育的改革和发展。中共中央、国务院《关于深化教育改革，全面推进素质教育的决定》中明确指出：“要大力发展高等职业教育，培养一大批具有必要理论知识和较强实践能力，生产、建设、管理、服务第一线和农村急需的专门人才”。为我国高等职业教育的改革和发展指明了方向。近年来，我省全面贯彻国家高职发展的“三改一补”方针，采取“三多一改”的办法（即多形式、多模式、多机制和改革）发展高等职业教育，使高职高专教育出现了生机勃勃的发展势头，到目前为止，全省有独立设置的职业技术学院13所，9所本科院校举办了二级职业技术学院，10多所普通专科学校，20多所成人高校举办了高职专业，全省高职高专在校生10多万人，初步形成了具有一定办学特色的高等职业教育体系，成为我省高等教育的重要组成部分。

由于高等职业教育成规模发展的时间较短，教学体系尚不成熟，许多问题，诸如教学计划、教学内容、实践基地建设、“双师”队伍建设、教材建设等，尚在研究、摸索阶段，尤其是高职高专的教材较少，给教学工作和人才培养造成了一定的困难。解决好这些问题，将有利于高等职业教育的进一步改革和发展。为此，广东省教育厅十分重视高职高专教材建设。我们采取了统筹规划，分步实施的办法，积极组织有关高职院校教师分专业、分系列开展高职高专教材的编写工作。本套高职高专机电工程类规划教材的编写出版，就是我们在高职教材建设方面的一个积极尝试。这套教材共17门，由我厅和国家机械工业局教编室、机械工业出版社联合组织编写，在编写过程中，全体编写人员、责任编辑、编委会成员倾注了大量的心血，本套教材较好地贯彻了职业性、实用性、系统性、超前性、地方性的编写原则，具有较明显的职教特色和地方特色，将有助于学生专业理论的学习和应用技能的训练和提高，适用于高等职业院校、专科学校和成人高校机电类专业使用。

这套教材的编写出版，将填补我省高职教育专业教材的空白，并对我省高等职业教育的进一步改革和发展产生积极而深远的影响。同时，我们也希望通过这套教材的出版发行，能为我国高等职业教育的改革和发展尽一份微薄之力，并为我国高职教育教材园地的建设增添一朵绚丽的小花。

广东省教育厅
2000年8月25日

前 言

机械制造工业是在我国国民经济中起着极其重要作用的基础工业。近年来,随着现代科学技术的进步,特别是微电子技术、计算机技术、信息技术等与机械制造技术的深度结合,机械制造工业的面貌发生了深刻的变化,呈现出激烈的国际性竞争的高速发展态势。机械工业的高速发展,对高等工科院校培养工程技术人才提出了新的更高的要求。为了使学生建立与现代机械制造工业发展相适应的系统的知识体系,高等工科院校就必须根据现代机械制造工业的发展调整机械制造专业课程设置的体系结构和教学内容。机械制造专业课程如何进行改革理所当然地成了高等工科院校共同面临和普遍关注的热点问题。

为了适应高等职业技术教育和高等专科教育教学改革的要求,广东省教育厅和国家机械工业局教编室机械工业出版社共同组织了广东省高等工科院校具有高职高专教育教学经验的教师编写了高职高专机电类系列教材,《机械制造工程》是系列教材之一。本教材是基于高等职业教育和高等专科教育的教育目标和教学特点,将“金属切削原理与刀具”、“金属切削机床概论”、“机床夹具设计”、“机械制造工艺学”等几门机械制造专业课程中的核心教学内容有机地结合起来,从培养技术应用能力和加强工程素质教育出发,以机械制造工程的基本原理为主线,进行综合编写而成的一门系统的机械制造专业基础课教材。编者在总结多年教学实践经验的基础上,认真吸取兄弟院校专业教学改革的成功经验,参阅了大量的相关资料和参考书籍,编写过程中十分注重加强基础教育,突出能力培养,同时适当加入一些反映国内外新成果、新技术的内容,以扩大知识面,在内容上尽量将相关内容有机地结合而避免了不必要的重复。

全书共五章,主要内容有:金属切削加工的基本知识,典型机床与刀具概论,机床常用夹具,机械制造过程与工艺,典型表面加工等。其前期课程主要有:《工程制图》、《工程力学》、《金工实训》、《工程材料与加工工程》、《机械设计基础》等。

本教材由韶关学院郎建国任主编,肇庆学院吴年美任副主编,华南理工大学邵明教授任主审。编写分工为韶关学院郎建国编写第一章,肇庆学院吴年美编写第二章,茂名学院杨云兰编写第三章,广东轻工职业技术学院陈士范编写第四章,广州铁路职业技术学院李先武编写第五章。

本教材注重实际应用,突出基本概念,内容精炼,实例简明,可供高等职业教育和高等专科教育院校机械制造专业使用,也可供普通高等院校师生及有关工

程技术人员参考。

本教材在编写过程中得到了有关院校的领导和同行们的大力支持，书中引用了兄弟院校有关编著的珍贵资料，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中如有疏漏之处，恳请各位同仁及读者不吝批评指正。

编 者

2001 年元月 1 日

目 录

序

前言

第一章 金属切削加工的基本知识	1
第一节 金属切削加工的基本概念	1
第二节 金属切削过程中的基本规律	14
第三节 提高生产率的途径	33
习题与思考题	45
第二章 典型机床与刀具	47
第一节 金属切削机床概述	47
第二节 车床及车刀	55
第三节 磨床及砂轮	72
第四节 齿轮加工机床及刀具	84
第五节 其它机床及刀具	94
习题与思考题	115
第三章 机床常用夹具	117
第一节 概述	117
第二节 工件的定位	122
第三节 工件的夹紧	135
第四节 常用机床夹具	143
第五节 现代机床夹具	156
第六节 专用夹具的设计方法、步骤及实例	165
习题与思考题	171
第四章 机械制造过程与工艺	174
第一节 工艺系统误差对加工误差的影响	174
第二节 机械加工质量	184
第三节 现代制造技术	193
第四节 机械加工工艺规程	224
习题与思考题	251
第五章 典型表面加工	252
第一节 外圆加工	252
第二节 孔(内圆)的加工	257
第三节 平面加工	265

第四节 螺纹加工	270
第五节 齿面加工	274
第六节 曲面加工	278
第七节 典型表面加工及其应用	284
习题与思考题	293
参考文献	296

第一章 金属切削加工的基本知识

零件金属切削加工是通过刀具与工件之间的相对运动，从毛坯上切除多余的金属，从而获得合格零件的加工方法。

金属切削加工通常又称为机械加工，即通过各种金属切削机床对工件进行切削、加工。切削加工的基本形式有车削、铣削、钻削、刨削等。从加工考虑，钳工也属于金属切削加工。钳工即使用手工切削工具在钳台上对工件进行加工，其基本形式有：鑿削、铰削、锯削、刮削，以及钻孔、铰孔、攻螺纹（加工内螺纹）、套螺纹（加工外螺纹）等。

一般情况下，通过铸造、锻造、焊接和各种轧制的型材毛坯精度低和表面粗糙度大，不能满足零件要求，必须进行切削加工才能成为零件。金属切削加工担负着几乎所有零件的加工任务，在机械制造过程中，处于十分重要的地位。

金属切削加工有很多形式，所用刀具和机床各异，但在它们中间却存在许多共同的现象和基本规律，本章重点介绍这方面的基础知识。

第一节 金属切削加工的基本概念

一、切削运动与切削要素

1. 切削运动

在金属切削加工中，为了要从工件上切去一部分多余的金属层，刀具和工件间必须完成一定的切削运动。切削运动是为了形成工件表面所必需的、刀具与工件之间的相对运动。切削运动按其作用不同，分为主运动和进给运动，如图 1-1 所示。

(1) 主运动 是切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动，它是切除工件多余金属所需要的最基本的运动。车削主运动是工件的旋转运动；铣削和钻削运动是刀具的旋转运动；磨削主运动是砂轮的旋转运动；刨削主运动是刀具（牛头刨床）或工件（龙门刨床）的往复直线运动等。一般切削加工中主运动只有一个。

主运动只能切除毛坯的部分多余金属材料，欲使被切削层金属连续不断地投入切削，还需要进给运动。

(2) 进给运动 是使新的切削层金属不断地投入切削，从而切出整个工件表面的运动。车削进给运动是刀具的移动；铣削进给运动是工件的移动；钻削进给

运动是钻头沿其轴线方向的移动；内、外圆磨削进给运动是工件的旋转运动和移动等。进给运动可以是一个或多个。

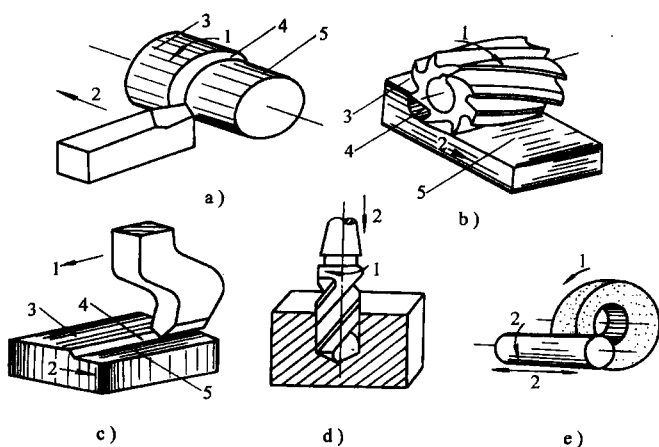


图 1-1 切削运动和加工表面

a) 车削 b) 铣削 c) 刨削 d) 钻削 e) 磨削

1—主运动 2—进给运动 3—待加工表面 4—加工表面 5—已加工表面

切削过程中，主运动、进给运动合理的组合，便可以加工各种不同的工件表面。

切削过程中，工件上形成三个表面，即：

待加工表面——将被切除的表面；

加工表面——正在切削的表面；

已加工表面——切除多余金属后形成的表面。

切削加工过程中，为了实现机械化和自动化，提高生产效率，一些机床除切削运动外，还需要有辅助运动，例如切入运动、空程运动、分度转位运动、送夹料运动以及机床控制运动等。

2. 切削要素

切削要素包括切削用量和切削层横截面要素。

(1) 切削用量三要素

1) 切削速度 v 是主运动的线速度，单位为 m/s 或 m/min 。主运动是旋转运动时，切削速度计算公式如下：

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1-1)$$

式中 d ——工件加工表面或刀具的最大直径，单位为 mm ；

n ——主运动的转速，单位为 r/s 或 r/min 。

在生产中，磨削速度用 m/s ，其他加工的切削速度习惯用 m/min 。

2) 进给速度 v_f 和进给量 f 进给速度 v_f 为单位时间内刀具对工件沿进给方向的相对位移, 单位是 mm/s 或 mm/min。

每转进给量 f (简称进给量) 为工件或刀具每转一周, 刀具对工件沿进给方向的相对位移, 单位是 mm/r。进给量 f 与进给速度 v_f 之间的关系为

$$v_f = fn \quad (1-2)$$

当主运动是往复直线运动时, 进给量为每往复一次的进给量。

3) 背吃刀量 a_p 是工件已加工表面和待加工表面之间的垂直距离, 单位是 mm。

外圆车削背吃刀量 a_p 为:

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-3)$$

钻孔背吃刀量 a_p 为:

$$a_p = \frac{d_m}{2} \quad (1-4)$$

式中 d_m ——已加工表面直径, 单位为 mm;

d_w ——待加工表面直径, 单位为 mm。

主运动与进给运动的合成称为合成切削运动。如车削时主运动速度 v 和进给运动速度 v_f , 则其合成运动速度向量 v_c 为

$$v_c = v + v_f \quad (1-5)$$

(2) 切削层横截面要素 切削层是指刀具与工件相对移动一个进给量时, 相邻两个加工表面之间的金属层, 切削层的轴向剖面称为切削层横截面, 如图 1-2 所示。

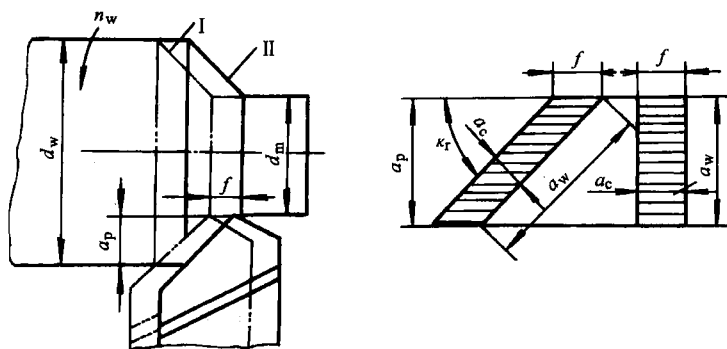


图 1-2 切外圆时的切削层要素

切削层横截面要素包括切削宽度 a_w 、切削厚度 a_c 和切削面积 A_c 三个要素。

1) 切削宽度 a_w 切削宽度是刀具主切削刃与工件的接触长度, 单位是 mm。车削时, 车刀主切削刃与工件轴线之间的夹角即主偏角 κ_r , 则

$$a_w = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (1-6)$$

2) 切削厚度 a_c 切削厚度是刀具或工件每移动一个进给量 f 时, 刀具主切削刃相邻的两个位置之间的垂直距离, 单位是 mm。车外圆时

$$a_c = f \sin \kappa_r \quad (1-7)$$

3) 切削面积 A_c 切削面积即切削层横截面的面积, 单位是 mm, 可以表示为:

$$A_c = a_p f = a_c a_w \quad (1-8)$$

二、刀具切削部分基本定义

1. 刀具切削部分结构要素

任何刀具都由切削部分和夹持部分组成, 虽然刀具种类很多, 形态各异, 但其切削部分(楔部)都有着共性, 切削部分总是近似地以外圆车刀的切削部分为基本形态, 其他各类刀具可看成是它的演变和组合, 故以普通车刀为例, 刀具切削部分的结构要素如图 1-3 所示, 其定义和说明如下:

(1) 前刀面 A_f 切屑沿其流出的表面。如果前刀面是由几个相互倾斜的表面组成的, 则可从切削刃开始, 依次把它们称为第一前刀面、第二前刀面等。

(2) 后刀面 A_a 与工件上新形成的过渡表面相对的表面。也可以分为第一后刀面、第二后刀面等。

(3) 副后刀面 A'_a 与副切削刃毗邻、与工件上已加工表面相对的刀面, 称为副后刀面。同样, 也可以分为第一副后刀面、第二副后刀面等。

(4) 主切削刃 前刀面与后刀面的交线。在切削过程中, 承担主要的切削任务。

(5) 副切削刃 前刀面与副后刀面的交线。它参与部分的切削任务。

(6) 刀尖 指主切削刃和副切削刃的交点或连接部分。

2. 刀具角度的参考系

刀具切削部分必须具有合理的几何形状, 才能保证切削加工的顺利进行。刀具切削部分的几何形状主要由一些刀面和刀刃组成。为了确定刀具表面在空间的相对位置, 可以用一定的几何角度表示。用来确定刀具几何角度的参考系有两类: 一类称为刀具标注角度参考系, 在刀具设计图上所标注的角度, 就是以它为基准的, 所以, 刀具在制造、测量和刃磨时, 均以它为基准。另一类称为刀具工作角度参考系, 它是确定刀具在切削运动中有效工作角度的基准。它们的区别在于: 前

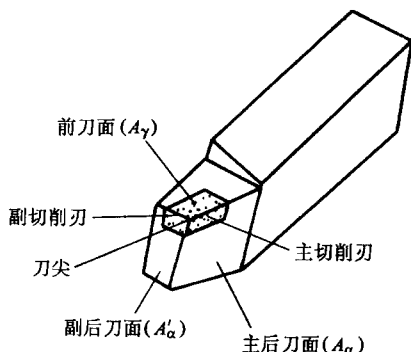


图 1-3 车刀切削部分的结构要素

者由主运动方向确定，而后者则由合成切削运动方向确定。由于通常情况下，进给速度远小于主运动速度，所以，刀具工作角度近似地等于刀具标注角度。

构成刀具标注角度参考系的参考平面有：基面、切削平面、主剖面、切削刃法剖面、进给剖面和切深剖面，如图 1-4 和图 1-5 所示。

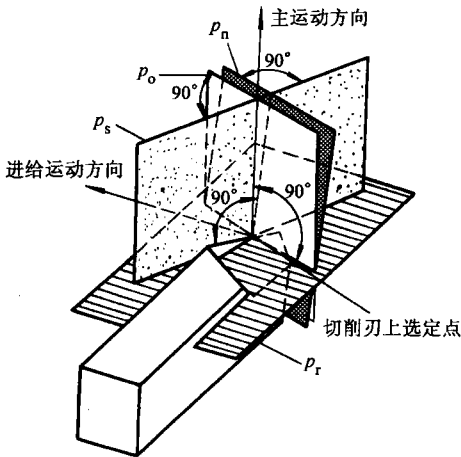


图 1-4 主剖面与法剖面参考系

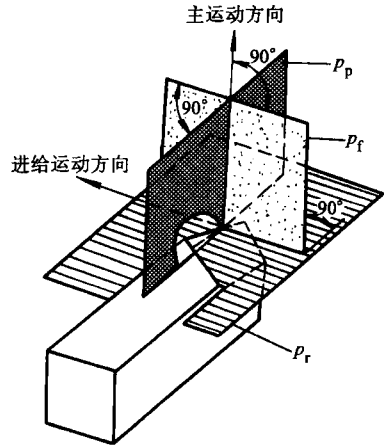


图 1-5 进给剖面与切深剖面参考系

(1) 基面 p_r 通过切削刃选定点，垂直于主运动方向的平面。通常，它平行或垂直于刀具在制造、测量、刃磨时适合于安装或定位的一个平面或轴线。例如，普通车刀的基面 p_r ，它平行于刀具底面（假设切削刃选定点与工件旋转轴线等高；刀杆中心线垂直于进给方向）。

(2) 切削平面 p_s 通过切削刃选定点、与切削刃相切、并垂直于基面 p_r 的平面，如图 1-4 所示。它也就是切削刃与切削速度方向构成的平面。

基面和切削平面是刀具标注角度参考系中两个基本的参考平面，由这两个平面作基准，再加上以下所述的任一剖面，便构成各种不同的刀具标注角度参考系。

(3) 主剖面 p_o 和主剖面参考系 主剖面 p_o 是通过切削刃选定点，同时垂直于基面 p_r 和切削平面 p_s 的平面。它必然垂直于切削刃在基面上的投影。图 1-4 中 p_r — p_s — p_o 组成一个正交的主剖面参考系，这是目前生产中最常用的刀具标注角度参考系。

(4) 切削刃法剖面 p_n 和法剖面参考系 法剖面 p_n 是通过切削刃选定点，并垂直于切削刃的平面。在图 1-4 中，由 p_r — p_s — p_n 组成一个法剖面参考系。该图将两个参考系画在一起，而实际使用时，是分别使用某一个参考系。

(5) 进给剖面 p_f 和切深剖面 p_p 及其组成的进给、切深剖面参考系 进给剖面 p_f 是通过切削刃选定点、平行于进给运动方向、并垂直于基面 p_r 的平面，如图 1-

5 所示。例如，普通车刀的 p_t 面垂直于刀柄底面；钻头、切断刀等的 p_t 面平行于刀具轴线。切深剖面 p_p 是通过切削刃选定点，同时垂直于 p_r 和 p_t 的平面。在图 1-5 中，由 p_t — p_t — p_p 组成一个进给、切深剖面参考系。

近年来，我国主要采用主剖面参考系，兼用法剖面参考系。这两种参考系内所标注的角度能更好地反映切削过程的物理意义。但在有些刀具（如成形车刀、插齿刀等）的设计中，需要在切深剖面或进给剖面中表明前、后面位置的角度，此时，就要使用进给、切深剖面参考系。

3. 刀具的标注角度

刀具在设计、制造、刃磨和测量时，用刀具标注角度参考系中的角度来标明切削刃和刀面在空间的位置，故这些角度称为刀具标注角度。

由于刀具角度的参考系沿切削刃上各点可能是变化的，因此，所定义的角度均应指明切削刃选定点处的角度；凡未指明者，则一般是指切削刃上与刀尖毗邻的那一点的角度。

下面通过普通车刀给诸标注角度下定义，并加以说明。这些定义具有普遍性，也可以用于其它类型的刀具。图 1-6 所示为车刀的标注角度。

(1) 主剖面参考系内的标注角度

1) 在主剖面 p_p 内的标注角度

①前角 γ 。在主剖面内度量的基面与前刀面间的夹角。它有正、负之分，当前刀面与切削平面间的夹角小于 90° 时，取正号；大于 90° 时，则取负号。

②后角 α 。在主剖面内度量的后刀面与切削平面间的夹角。它也有正、负之分，当后刀面与基面夹角小于 90° 时，取正号；大于 90° 时取负号。

③楔角 β 。在主剖面内度量的后刀面与前刀面间的夹角。

显然，

$$\gamma_0 + \alpha_0 + \beta_0 = 90^\circ \quad (1-9)$$

2) 在基面 p_r 内的标注角度

①主偏角 κ_r 。在基面内度量的切削平面与进给平面间的夹角。它也是主切削刃在基面上投影与进给运动方向的夹角。

②副偏角 κ'_r 。在基面内度量的副切削刃与进给运动方向在基面上投影间的夹角。

③刀尖角 ϵ_r 。在基面内度量的切削平面和副切削平面间的夹角。它也是主切削刃和副切削刃在基面上投影间的夹角。由图 1-6 可知

$$\kappa_r + \epsilon_r + \kappa'_r = 180^\circ \quad (1-10)$$

④余偏角 ϕ_r 。在基面内度量的切削平面与切深剖面间的夹角，也是主偏角的余角。

3) 在切削平面 p_s 内的标注角度

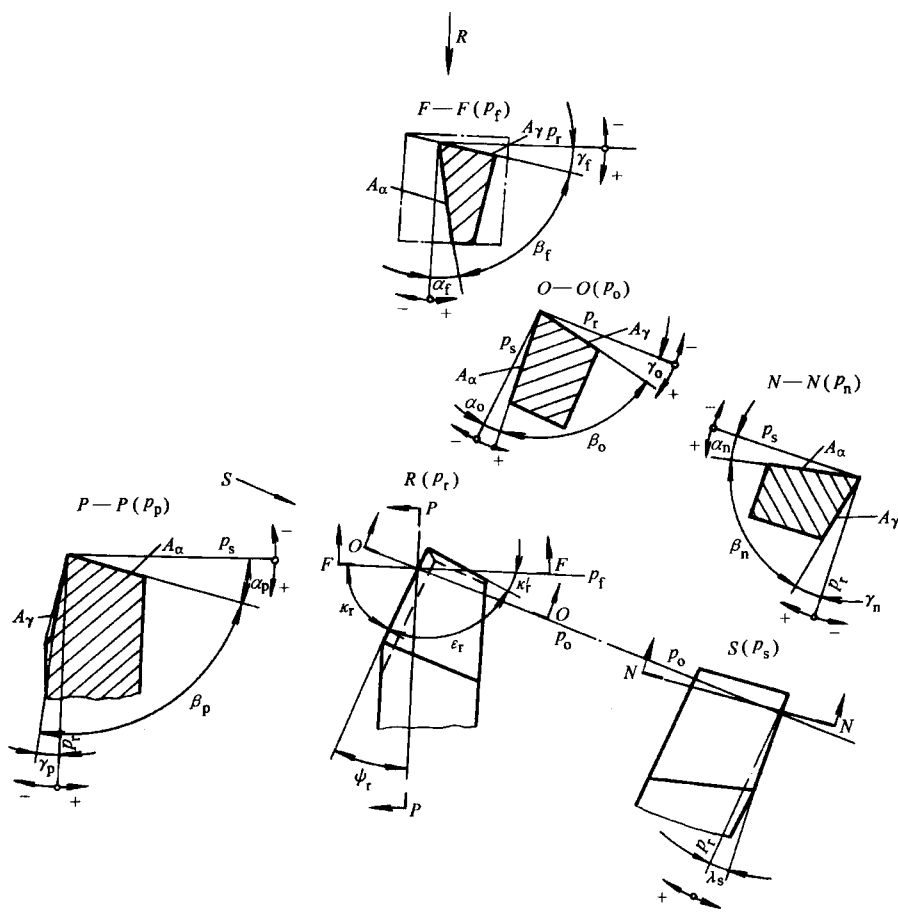


图 1-6 车刀的标注角度

刃倾角 λ_s 在切削平面内度量的主切削刃与基面间的夹角。刃倾角有正、负之分，如图 1-7 所示。当刀尖处在切削刃最高位置时，取正号；若刀尖处于切削刃最低位置时，取负号；当主切削刃与基面平行时，刃倾角为零。

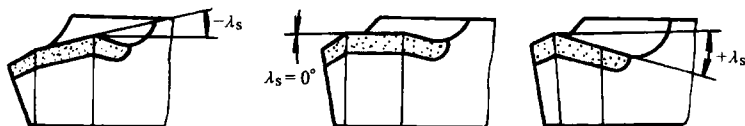


图 1-7 车刀的刃倾角

以上所述八个角度中， β_o 、 ϵ_r 和 ϕ_r 是派生角度，基本角度只有五个，即 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 κ'_r 和 λ_s ，这些基本角度的名称、符合和定义必须牢记。

(2) 法剖面参考系内的标注角度 刀具在法剖面参考系内的标注角度，基本

上和在主剖面参考系内的标注角度相类似，区别仅在于以法剖面代替主剖面作为测量前角、后角和楔角的平面。因此，只有法剖面的标注角度和主剖面的标注角度不相同，而其余角度完全相同。在法剖面内的标注角度：法前角 γ_n 、法后角 α_n 与法楔角 β_n ，如图 1-6 所示。

(3) 进给、切深剖面参考系内的标注角度 同样在基面和切削平面内的标注角度不变，在进给、切深剖面参考系中的标注角度：进给前角 γ_f 、进给后角 α_f 、进给楔角 β_f 及切深前角 γ_p 、切深后角 α_p 和切深楔角 β_p ，如图 1-6 所示。

4. 刀具工作角度

以上所讲的刀具标注角度，是在假定运动条件和假定安装条件下的标注角度。如果考虑合成运动和实际安装情况，则刀具的参考系将发生变化，刀具角度也发生了变化。按照刀具工作中的实际情况，在刀具工作角度参考系中确定的角度，称为刀具工作角度。

由于通常进给运动在合成切削运动中所起的作用很小，所以，在一般安装条件下，可用标注角度代替工作角度。这样，在大多数场合下，不必进行工作角度的计算。只有在进给运动和刀具安装对工作角度产生较大影响时，才需计算工作角度。

(1) 进给运动对工作角度的影响 以切断工件为例，如图 1-8 所示。切削刃相对于工件的运动轨迹为阿基米德螺旋线，实际切削平面 p_{se} 为过切削刃而切于螺旋线的平面，而实际基面 p_{re} 又恒与之垂直，因而就引起了实际切削时前、后角的变化，分别称为工作前角 γ_{oe} 和工作后角 α_{oe} 其大小为

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \eta \quad (1-11)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \eta \quad (1-12)$$

η 角称为合成切削速度角。它是主运动方向与合成切削运动方向的夹角。

由 η 角定义可知

$$\tan \eta = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f}{\pi d} \quad (1-13)$$

式中 d ——随着车刀进给而不断变化着的切削刃选定点处工件的旋转直径。

由式 (1-13) 可以看出，工件直径减小或进给量增大都将使值增大，工作后角减小。在一般情况下（如普通车削、镗削、端铣）， η 值很小，故可略去不计。但在车螺纹或丝杠、铲背时， η 值很大，它是不可忽略的。

同理，车外圆时，刀具角度也有类似的变化。

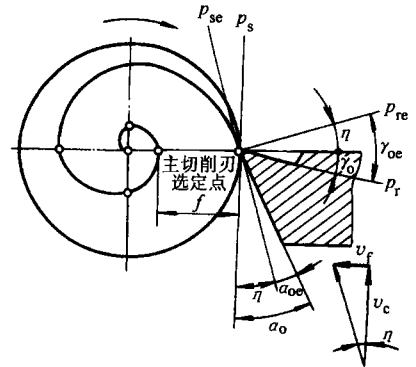


图 1-8 进给运动对工作角度的影响