

高职高专机电工程类规划教材

机械制造工程

(第2版)

吴 拓
鄢建国

主 编



第2版

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,将机械制造原《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》、《金属工艺学》等几门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,金属切削机床及刀具,机械制造过程与工艺,机床常用夹具,典型表面加工与特种加工工艺等。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/吴拓, 郎建国主编. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2005.7
高职高专机电工程类规划教材
ISBN 7-111-08527-2

I. 机... II. ①吴...②郎... III. 机械制造工艺—高等学校: 技术学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 085971 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: 王海峰 版式设计: 霍永明 责任校对: 李秋荣
封面设计: 马精明 责任印制: 杨 曦
北京机工印刷厂印刷
2005 年 9 月第 2 版第 1 次印刷
787mm × 1092mm ¹/₁₆ · 18.5 印张 · 454 千字
定价: 26.00 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) 68326294
封面无防伪标均为盗版

第2版前言

《机械制造工程》是原来广东省教育厅和机械工业出版社为了适应高等职业教育的需要联合组织编写的高职高专规划教材。该教材自2001年出版以来,受到了高职高专各院校的普遍欢迎,得到了较为广泛的使用。近几年来,高等职业教育有了长足的发展,人们对高等职业教育有了较为深刻的认识,各编委通过对原来组编的高职高专教材的使用,获得了不少经验,找到了一些规律,发现了一些问题。2004年6月,机械工业出版社会同广东省教育厅再次召集主编工作会议,在充分总结经验的基础上,认真分析了各教材存在的问题,决定将部分教材进行修订。《机械制造工程》一书即被本次会议列为修订的对象。为此,我们决定组织有关编委,认真对原作进行修改,以使其更加符合高等职业教育的特点和要求,并使新编教材更加完善、准确。

修订后的《机械制造工程》(第2版)在结构上做了更加合理的调整,对有关内容做了必要的增删,对原教材中出现的错误做了准确的更正,使之内容更加完整、表达更加准确、结构更加合理、文字更加精炼,既能满足三年制高职高专教育的要求,又能适应二年制高职高专教育的需要。

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

本教材由广东轻工职业技术学院吴拓教授、韶关学院郎建国教授任主编,全书由吴拓教授统稿和校改。编写分工为:韶关学院郎建国教授编写第一章,广东轻工职业技术学院吴拓教授编写第二章,广东松山职业技术学院胡蓉老师编写第三章,茂名职业技术学院杨云兰副教授编写第四章,广东轻工职业技术学院高级工程师朱派龙博士编写第五章。

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学校教育院校机械类或近机类相关专业使用,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!

囿于编者水平有限,书中仍有疏漏之处,恳请各位同仁及读者不吝批评指正。

编者

2005年3月28日

第1版前言

机械制造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,为高等工科院校培养工程技术人才提出了新的更高的要求。为了使建立与现代机械制造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业的发展调整机械制造专业课程设置的结构和教学内容。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学校教育教学改革的要求,广东省教育厅和机械工业出版社组织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学校教育的教育目标和教学特点,将机械制造原《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:《机械制图》、《工程力学》、《金工实训》、《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,肇庆学院吴拓任副主编,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,肇庆学院吴拓编写第二章,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学校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!

囿于编者水平有限,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

2000年10月15日

目 录

第2版前言

第1版前言

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

一、切削运动与切削要素 1

二、刀具切削部分基本定义 4

三、刀具材料及选用 8

第二节 金属切削过程中的基本规律 11

一、切削变形 11

二、切削力与切削功率 17

三、切削热和切削温度 21

四、刀具磨损和刀具寿命 22

第三节 金属切削参数的选择及优化 27

一、工件材料的切削加工性 27

二、切削液 29

三、刀具几何参数的合理选择 32

四、切削用量的合理选择 35

思考题与习题 37

第二章 金属切削机床及刀具 39

第一节 金属切削机床概述 39

一、机床的分类及型号的编制方法 39

二、机床的传动原理及运动分析 41

第二节 车床及车刀 46

一、CA6140型卧式车床 46

二、其他类型车床简介 50

三、车刀 51

第三节 磨床及砂轮 55

一、M1432A型万能外圆磨床 56

二、其他磨床简介 59

三、磨削砂轮 63

第四节 齿轮加工机床及刀具 66

一、齿轮的加工方法及刀具 66

二、滚齿机 69

三、其他齿轮加工机床 73

第五节 其他机床及刀具 75

一、钻床、镗床及刀具 75

二、铣床及铣刀 79

三、刨床、插床、拉床及刀具 83

四、组合机床 86

五、数控机床及刀具 87

思考题与习题 96

第三章 机械制造过程与工艺 98

第一节 机械加工过程与工艺规程 98

一、生产过程与工艺过程 98

二、机械加工工艺规程 101

三、制定工艺规程时要解决的主要

问题 105

四、工序尺寸及公差确定 115

五、机械加工生产率和技术经济

分析 120

第二节 机械加工精度 123

一、获得零件加工精度的方法 124

二、影响加工精度的因素及其分析 125

三、加工误差的综合分析 133

四、保证和提高加工精度的主要途径 136

第三节 机械加工表面质量 138

一、机械加工表面质量的含义 138

二、表面质量对零件使用性能的影响 138

三、影响机械加工表面粗糙度的因素

及降低表面粗糙度的工艺措施 140

四、影响表面物理、力学性能的工艺

因素 141

五、磨削的表面质量 142

六、控制表面质量的工艺途径 144

第四节 计算机辅助工艺设计 148

一、成组技术及其在工艺中的应用 148

二、计算机辅助工艺过程设计 158

第五节 装配工艺基础 161

一、概述 161

二、装配尺寸链 162

三、保证装配精度的工艺方法 163

四、装配工艺规程的制定 165

思考题与习题 167

第四章 机床常用夹具 170

第一节 概述	170
一、机床夹具的主要功能	170
二、机床夹具的分析	171
三、机床夹具的组成	172
四、机床夹具在机械加工中的作用	173
五、机床夹具的现状与发展方向	173
第二节 工件的定位	174
一、工件定位的基本原理	174
二、常用定位元件及选用	177
三、定位误差分析	185
第三节 工件的夹紧	193
一、夹紧装置的组成和设计要求	193
二、夹紧力确定的基本原则	194
三、常用的夹紧机构及选用	195
四、夹紧动力源装置	197
第四节 各类机床夹具	199
一、车床夹具	199
二、铣床夹具	202
三、钻床夹具	206
四、典型数控机床夹具	210
第五节 现代机床夹具	212
一、组合夹具	212
二、模块化夹具	215
三、自动线夹具	216
第六节 专用夹具的设计方法	217
一、专用夹具设计的方法和步骤	217
二、夹具设计实例	219
三、计算机辅助夹具设计简介	221

思考题与习题	222
--------	-----

第五章 典型表面加工与特种加工

工艺	225
第一节 典型表面加工	225
一、外圆加工	225
二、孔(内圆)加工	231
三、平面加工	240
四、曲(异型)面加工	245
第二节 典型零件加工工艺过程	248
一、轴(杆)类零件的加工	248
二、箱体类零件的加工	254
三、圆柱齿轮加工	256
第三节 特种加工工艺	260
一、电火花加工	262
二、电火花线切割加工	264
三、电化学加工	265
四、高能束加工	270
五、超声波加工	274
六、快速成形技术	276
第四节 精密、超精密加工和细微加工	278
一、精密加工和超精密加工的概念	278
二、实现精密和超精密加工的条件	279
三、精密加工和超精密加工的特点	280
四、常用的精密、超精密加工和细微加工方法	280
思考题与习题	285
参考文献	286

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：錾削、锉削、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高，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. 切削运动和工件加工表面

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 使工件与刀具产生相对运动以进行切削的最基本的运动，称为主运动。主运动是切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动。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。

切削刃上选取点相对于工件的主运动的瞬时速度称为切削速度，用矢量 v_c 表示。

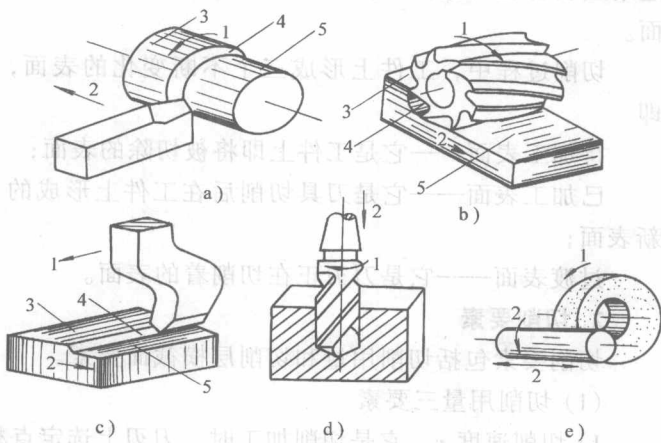


图 1-1 切削运动和加工表面

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—过渡表面 5—已加工表面

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 使主运动能够继续切除工件上多余的金属, 以便形成工件表面所需的运动, 称为进给运动。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。

切削刃上选取点相对于工件的进给运动的瞬时速度称为进给速度, 用矢量 v_f 表示。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。

(3) 合成切削运动 主运动和进给运动的合成运动, 称为合成切削运动。合成切削运动的瞬时速度用矢量 v_c 表示,

$$v_c = v_o + v_f$$

v_o 和 v_f 所在的平面称为工作平面, 以 P_{fe} 表示。

在工作平面内, 同一瞬时主运动方向与合成切削运动方向之间的夹角称为合成切削速度角, 以 η 表示。如图 1-2 所示。

由 η 角定义可知

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

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。

(4) 工件上的加工表面 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, 工件上形成三个不断变化的表面, 即

待加工表面——它是工件上即将被切除的表面;

已加工表面——它是刀具切削后在工件上形成的新表面;

过渡表面——它是刀刃正在切削着的表面。

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 它是切削加工时, 刀刃上选定点相对于工件的主运动的线速度, 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:

$$v = \frac{\pi dn}{1000} \quad (1-2)$$

式中 d ——完成主运动的刀具或工件的最大直径, 单位为 mm;

n ——主运动的转速, 单位为 r/s 或 r/min。

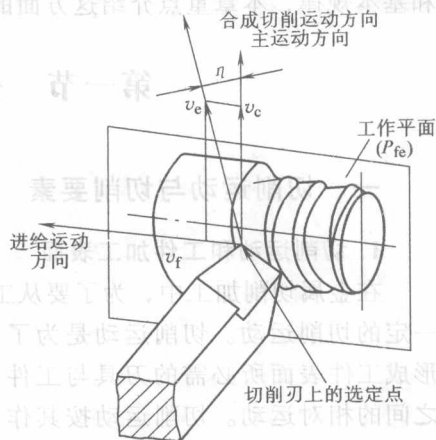


图 1-2 合成切削运动速度角

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 是刀刃上选定点相对于工件的进给运动的速度,单位是 mm/s 或 mm/min 。进给量 f 是工件或刀具的主运动每转或每一行程时,刀具与工件两者在进给运动方向上的相对位移量,单位是 mm/r 。进给量 f 与进给速度 v_f 之间的关系为

$$v_f = fn \quad (1-3)$$

主运动是往复直线运动为每往复一次的进给量。

3) 背吃刀量 a_p 背吃刀量 a_p 也写作 a_{sp} ,是指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

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

钻孔背吃刀量 a_p 为

$$a_p = \frac{d_m}{2} \quad (1-5)$$

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,主运动速度为 v ,进给运动速度为 v_f ,则其合成运动速度向量 v_e 为

$$v_e = v + v_f \quad (1-6)$$

(2) 切削层横截面要素 在切削过程中,刀具的刀刃在一次走刀中从工件待加工表面切下的金属层,称为切削层。切削层的轴向剖面称为切削层横截面。如图 1-3 所示。

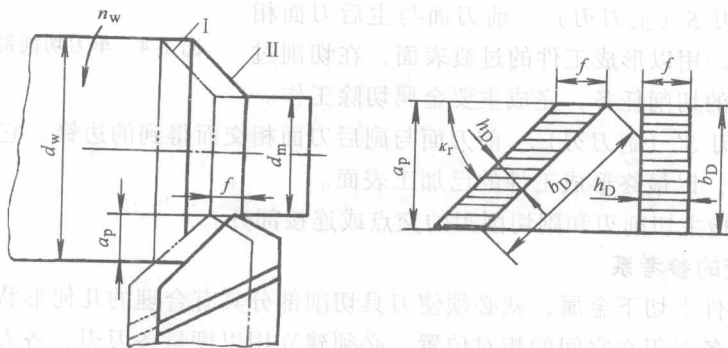


图 1-3 车外圆时的切削层要素

切削层横截面要素是指切削层的横截面尺寸,包括切削层公称宽度、切削层公称厚度和切削层公称横截面积三个要素。

1) 切削层公称宽度 b_D 。切削层公称宽度是指刀具主切削刃与工件的接触长度,单位是 mm 。车削时,设车刀主切削刃与工件轴线之间的夹角即主偏角为 k_r ,则

$$b_D = \frac{a_p}{\sin k_r} \quad (1-7)$$

2) 切削层公称厚度 h_D 。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

$$h_D = f \sin k_r \quad (1-8)$$

3) 切削层公称横截面积 A_D 。切削层公称横截面积即切削层横截面的面积, 单位是 mm², 可以表示为

$$A_D \approx b_D h_D = a_p f \quad (1-9)$$

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 1-4 所示, 其定义和说明如下:

(1) 前刀面 A_γ 切下的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_α 与工件上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'_α 与副切削刃毗邻、与工件上已加工表面相对的表面。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 S (主刀刃) 前刀面与主后刀面相交而得到的边锋。用以形成工件的过渡表面, 在切削过程中, 承担主要的切削任务, 完成主要金属切除工作。

(5) 副切削刃 S' (副刀刃) 前刀面与副后刀面相交而得到的边锋。它协同主切削刃完成金属切除工作, 以最终形成工件的已加工表面。

(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

刀具要从工件上切下金属, 就必须使刀具切削部分具有合理的几何形状。为了确定和测量刀具各表面和各刀刃在空间的相对位置, 必须建立用以度量各刀刃、各刀面空间位置的参考系。

建立参考系, 必须与切削运动相联系, 应反映刀具角度对切削过程的影响。参考系平面与刀具安装平面应平行或垂直, 以便于测量。

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, 即静止参考系, 在刀具设计图上所标注的角度, 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参考系。它们的区别在

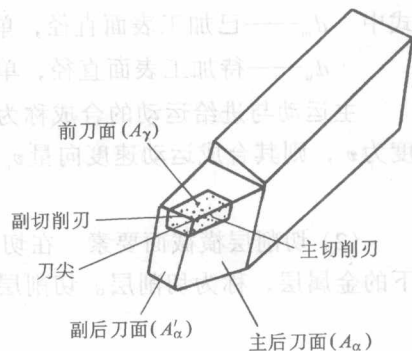


图 1-4 车刀切削部分的结构要素

于：前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。

为了方便理解，我们以车刀为例建立静止参考系。

(1) 建立车刀静止参考系的假设：

- 1) 不考虑进给运动的影响。
- 2) 车刀安装绝对正确，即刀尖与工件中心等高，刀杆轴线垂直工件轴线。
- 3) 刀刃平直，刀刃选定点的切削速度方向与刀刃各处的平行。

(2) 建立参考平面，如图 1-5 所示：

刀具标准角度参考系的参考平面有：

1) 切削平面 p_s 。是指通过刀刃上选定点，包含该点假定主运动方向和刀刃的平面，即切于工件过渡表面的平面。

2) 基面 p_r 。是指通过刀刃上选定点，垂直于该点假定主运动速度方向的平面。由假设可知，它平行于安装底面和刀杆轴线。

3) $p_o - p_o$ 平面（又称为正交平面）。它是过主切削刃上选定点，同时垂直于基面和切削平面的平面。在图 1-4 中，由 p_s 、 p_r 、 $p_o - p_o$ 组成一个正交平面参考系。这是目前生产中最常用的刀具标注角度参考系。

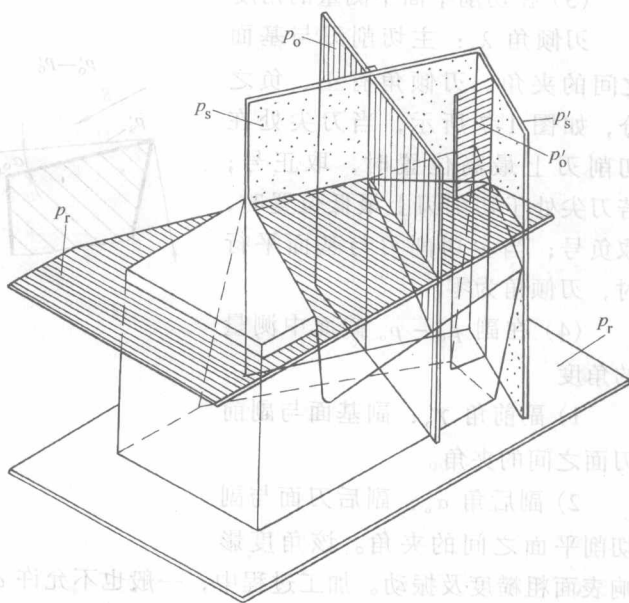


图 1-5 车刀上的参考平面

3. 刀具的标注角度

刀具在设计、制造、刃磨和测量时，都是用刀具标注角度参考系中的角度来标明切削刃和刀面的空间位置的，故这些角度称为刀具的标注角度。

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。

下面通过普通外圆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，也可以用于其他类型的刀具。如图 1-6 所示为车刀的标注角度。

(1) 在基面中测量的角度

1) 主偏角 k_r ：主切削刃在基面上的投影与进给运动方向之间的夹角。

2) 副偏角 k'_r ：副切削刃在基面上投影与进给运动反方向之间的夹角。

3) 刀尖角 ϵ_r ：主切削刃、副切削刃在基面上投影的夹角。

由上可知：

$$k_r + k'_r + \epsilon_r = 180^\circ$$

(2) 在 $p_o - p_o$ 截面中测量的角度

1) 前角 γ_o : 基面与前刀面之间的夹角。它有正、负之分, 当前刀面低于基面时, 前角为正, 即 $\gamma_o > 0$; 当前刀面高于基面时, 前角为负, 即 $\gamma_o < 0$ 。

2) 主后角 α_o : 后刀面与切削平面之间的夹角。加工过程中, 一般不允许 $\alpha_o < 0$ 。

3) 楔角 β_o : 后刀面与前刀面之间的夹角。

由上可知:

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

(3) 在切削平面中测量的角度

刃倾角 λ_s : 主切削刃与基面之间的夹角。刃倾角有正、负之分, 如图 1-7 所示, 当刀尖处在切削刃上最高位置时, 取正号; 若刀尖处于切削刃上最低位置时, 取负号; 当主切削刃与基面平行时, 刃倾角为零。

(4) 在副 $p_o - p_o$ 截面中测量的角度

1) 副前角 γ'_o : 副基面与副前刀面之间的夹角。

2) 副后角 α'_o : 副后刀面与副切削平面之间的夹角。该角度影响表面粗糙度及振动。加工过程中, 一般也不允许 $\alpha'_o < 0$ 。

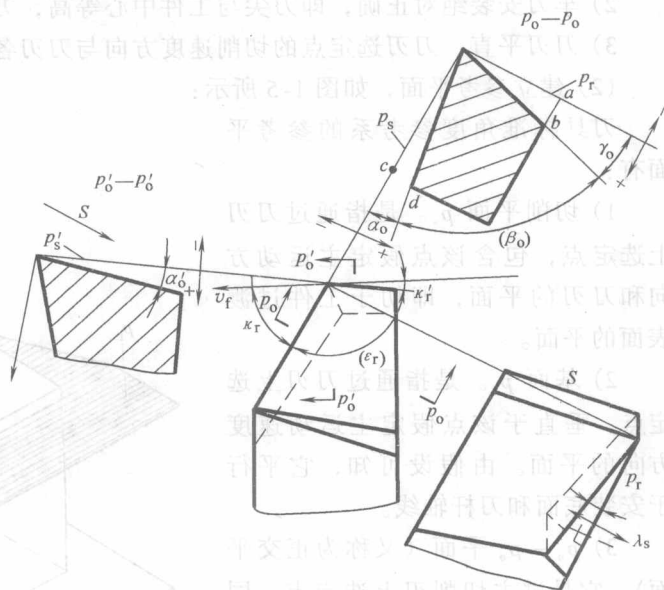


图 1-6 车刀的标注角度

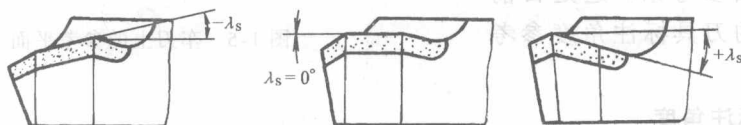


图 1-7 车刀的刃倾角

(5) 在副切削平面中测量的角度

刃倾角 λ'_s : 副切削刃与副基面之间的夹角。

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_{so} 为过切削刃而切于螺旋线的平面, 而实际的

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

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \eta \quad (1-10)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \eta \quad (1-11)$$

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

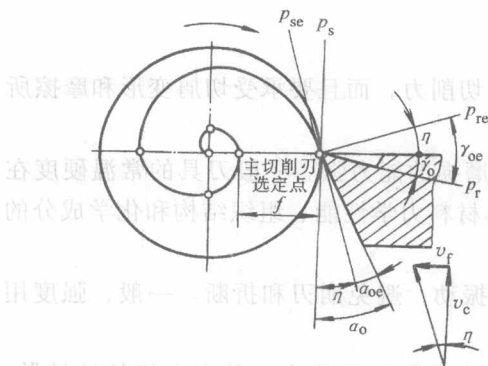


图 1-8 进给运动对工作角度的影响

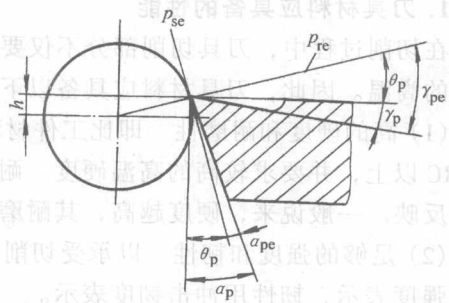


图 1-9 刀具安装高低对工作角度的影响

(2) 刀具安装情况对工作角度的影响

1) 刀具安装高度对工作角度的影响。如图 1-9 所示为车刀车外圆, 当刀尖安装得高于工件中心线时, 则切削平面变为 p_{sc} , 基面变为 p_{re} , 刀具角度也随之变为工作前角 γ_{pe} 和工作后角 α_{pe} , 在背平面内这两个角度的变化值 θ_p 为

$$\sin \theta_p = \frac{2h}{d_w} \quad (1-12)$$

式中 h ——刀尖高于工件中心线的数值;

d_w ——工件直径。

则工作角度为

$$\gamma_{pe} = \gamma_p + \theta_p \quad (1-13)$$

$$\alpha_{pe} = \alpha_p - \theta_p \quad (1-14)$$

在正交平面内, 前、后角的变化情况与背平面内相类似, 即

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \theta_o \quad (1-15)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \theta_o \quad (1-16)$$

式中, θ_o 为正交平面内前角增大和后角减小时的角度变化值, 由下式计算

$$\tan \theta_o = \tan \theta_p \cos k_r \quad (1-17)$$

当刀尖低于工件中心线时, 上述计算公式符号相反。

2) 刀杆中心线与进给方向不垂直时也会对工作角度产生影响。当车刀刀杆中心线与进给方向不垂直时, 主偏角和副偏角将发生变化, 其增大和减小的角度增量为 G 。工作主偏角和工作副偏角计算如下:

$$k_{re} = k_r \pm G \quad (1-18)$$

$$k'_{re} = k'_r + G \quad (1-19)$$

式中 G ——是刀杆中心线的垂线与进给运动方向之间的夹角。

三、刀具材料及选用

刀具材料主要是指刀具切削部分的材料。在切削过程中，刀具的切削能力，直接影响着生产率、加工质量和加工成本。而刀具的切削性能，主要取决于刀具材料；其次是刀具几何参数和刀具结构的选择与设计是否合理。因此，应当重视刀具材料的正确选择和合理使用。

1. 刀具材料应具备的性能

在切削过程中，刀具切削部分不仅要承受很大的切削力，而且要承受切屑变形和摩擦所产生的高温。因此，刀具材料应具备以下性能：

(1) 高的硬度和耐磨性 即比工件材料硬和抵抗磨损的能力强。一般刀具的常温硬度在 62HRC 以上，并要求较高的高温硬度。耐磨性是刀具材料力学性能、组织结构和化学成分的综合反映。一般说来，硬度越高，其耐磨性越好。

(2) 足够的强度和韧性 以承受切削中的冲击和振动，避免崩刃和折断。一般，强度用抗弯强度表示，韧性用冲击韧度表示。

(3) 高的耐热性 即高温下保持高硬度、高强度和高韧性的能力，并有良好的抗扩散、抗氧化的能力。这就是刀具材料的耐热性。

(4) 稳定的化学性能和抗粘结性能 刀具材料的化学性能稳定，其与工件材料的亲和性小，则氧化磨损、扩散磨损、粘结磨损小。

(5) 良好的工艺性 即要求刀具材料有较好的可加工性、可磨削性和热处理性。

(6) 好的导热性和小的膨胀系数 在其他条件相同时，刀具材料的热导率（导热系数）越大，则由刀具传出去的热量就越多，有利于降低切削温度和提高刀具的使用寿命。线膨胀系数小，可减少刀具的热变形。

另外，还应考虑刀具材料的经济性。性能良好的刀具材料，如价格较低，则有利于推广应用。

刀具材料的种类很多，常用的有工具钢（包括碳素工具钢、合金工具钢和高速钢）、硬质合金、陶瓷、金刚石和立方氮化硼等。碳素工具钢和合金工具钢，因耐热性很差，仅用于手工工具。陶瓷、金刚石和立方氮化硼，由于质脆、工艺性差及价格昂贵等原因，仅在较小范围内使用。目前最常用的刀具材料是高速钢和硬质合金。

2. 高速钢

高速钢是加入了钨（W）、钼（Mo）、铬（Cr）、钒（V）等合金元素的高合金工具钢。它具有较高的耐热性，可在 500 ~ 650℃ 的温度下进行切削加工。还具有高的强度和冲击韧度，所以刃磨时能获得锋利的刃口，故有“锋钢”之称。

按用途不同，高速钢分为普通高速钢和高性能高速钢。按制造方法不同，则有熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

1) 普通高速钢。按化学成分不同，普通高速钢可分为钨系和钨钼系两类：

① 钨系高速钢。钨系高速钢的典型牌号是 W18Cr4V。W、Cr、V 的质量分数分别为

18%、4%、和 1%，可用于制造各种复杂刀具。缺点是碳化物分布不均匀，影响薄刃刀具或小截面刀具的耐用度。

② 钨钼系高速钢。钨钼系高速钢的典型牌号是 W6Mo5Cr4V2。W、Mo、Cr、V 的质量分数分别为 6%、5%、4% 和 2%。这种高速钢碳化物细小并且分布均匀，抗弯强度和冲击韧性均超过 W18Cr4V。由于钼的存在，热塑性特别好，常用于轧制和扭制麻花钻，也可用于制造大尺寸刀具。其主要缺点是热处理时脱碳倾向较大，较易氧化，淬火温度范围较窄。

2) 高性能高速钢。在普通高速钢中加入一些其他合金元素（如钴、铝等）。以提高其耐热性和耐磨性，这就是高性能高速钢。这类高速钢主要用于加工高强度钢、高温合金、钛合金等难加工材料，生产率与刀具使用寿命都比普通高速钢高。高速钢的种类很多，主要有钴高速钢和铝高速钢，典型牌号是 W2Mo9Cr4VCo8 (M42) 和 W6Mo5Cr4V2Al (501)。

3) 粉末冶金高速钢。碳化物偏析是影响熔炼高速钢制造质量的主要原因之一，采用粉末冶金法可完全消除碳化物偏析，提高刀具质量。粉末冶金法的基本原理是用高压惰性气体（如氩气）将熔融的钢液雾化成粉末，然后将粉末在高温、高压下制成刀坯或制成钢坯，再经轧制或锻造成材。

粉末高速钢比熔炼高速钢有很多优点，如韧性与硬度较高，耐磨性有显著改善，材质均匀，热处理变形小，质量稳定可靠，刀具使用寿命长。可以切削各种难加工材料，适合于制造各种精密刀具和形状复杂的刀具。

3. 硬质合金

硬质合金是由高硬度、高熔点的金属碳化物（WC、TiC、NbC、TaC 等）粉末，用钴或镍等金属作粘结剂烧结而成的粉末冶金制品。由于硬质合金高硬度、高熔点的金属碳化物含量高，故其硬度、耐热性和耐磨性都超过高速钢，允许切削温度高达 800 ~ 1000℃。因此，切削速度远高于高速钢。硬质合金是当今主要的刀具材料之一，大多数车刀、端铣刀和部分立铣刀等均已采用硬质合金制造。

硬质合金的性能，主要取决于金属碳化物的种类、性能、数量、粒度和粘结剂的份量。

(1) 硬质合金的种类、牌号和性能 目前常用的硬质合金是以碳化钨（WC）为基体，并分为 WC—Co、WC—TiC—Co、WC—TaC (NbC) —Co 以及 WC—TiC—TaC (NbC) —Co 四类。YG 类合金，ISO（国际标准化组织）称为 K 类，主要用于加工短切屑的黑色金属、有色金属和非金属材料；YT 类合金，ISO 称为 P 类，主要用于加工长切屑的黑色金属；YW 类合金，ISO 称为 M 类，可覆盖 K 类、P 类合金的应用范围。

TiC 基硬质合金。这类硬质合金是以 TiC 为主要成分，用 Ni 和 Mo 作粘结剂，代号为 YN，相当于 ISO 中的 P 类。

(2) 硬质合金的选用 正确选用硬质合金牌号对于发挥其效能具有重要意义。WC—Co 类硬质合金一般用于加工铸铁、有色金属及其合金，WC—TiC—Co 硬质合金则用于高速切削钢料。各种硬质合金的应用见表 1-1。

4. 其他刀具材料

(1) 涂层硬质合金 涂层硬质合金是在韧性较好的硬质合金基体上，涂一层硬度、耐磨性极高的难熔金属化合物而获得的。它较好地解决了刀具的硬度、耐磨性与强度、韧性之间的矛盾，具有良好的切削性能。与未涂层刀具相比，涂层刀具能降低切削力、切削温度，并能提高已加工表面质量，在相同的刀具使用寿命下，能提高切削速度。

表 1-1 各种硬质合金的应用范围

牌 号	应 用 范 围
YG3X	铸铁、有色金属及其合金的精加工、半精加工、不能承受冲击载荷
YG3	铸铁、有色金属及其合金的精加工、半精加工、不能承受冲击载荷
YG6X	普通铸铁、冷硬铸铁、高温合金的精加工、半精加工
YG6	铸铁、有色金属及其合金的半精加工和粗加工
YG8	铸铁、有色金属及其合金、非金属材料的粗加工，也可用于断续切削
YG6A	冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工，亦可用于高锰钢、淬硬钢的半精加工和精加工
YT30	碳素钢、合金钢的精加工
YT15	碳素钢、合金钢在连续切削时的粗加工、半精加工，亦可用于断续切削时精加工
YT14	
YT5	碳素钢、合金钢的粗加工，可用于断续切削
YW1	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的半精加工和精加工
YW2	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的粗加工和半精加工

涂层硬质合金一般采用化学气相沉积法 (CVD)，即在温度 1000℃ 左右利用钛蒸气和碳蒸气之间的化学反应，在刀具表面上形成 TiC 的涂层。常用的涂层材料除 TiC 还有 TiN、Al₂O₃ 等。其晶粒尺寸在 0.5μm 以下，而涂层的厚度为 5~10μm。

涂层可分为单涂层（如 TiC、TiN）、双涂层（如 TiC—Al₂O₃）、和多涂层（如 TiC—Al₂O₃—TiN）等。各种涂层材料的性能不同，可用于不同的生产场合。

TiC 涂层呈灰色，硬度高、耐磨性好，线膨胀系数与基体比较接近，结合比较牢固，切削普通钢不易产生粘结和扩散磨损，但较脆、不耐冲击，一般用于刀具磨损严重的场合。

TiN 涂层呈金黄色，硬度稍低于 TiC 涂层，与基体结合力稍差，但它与金属亲和力小，抗粘结性优于 TiC 涂层。

Al₂O₃ 涂层在高温下有良好的热稳定性，适用于更高速度下的切削。

由于涂层硬质合金刀具具有高的耐磨性和抗月牙洼磨损的能力，摩擦系数小，耐热性高，通用性好等优点，故可用于各种钢和铸铁的粗加工、半精加工、精加工和高速精加工。同时，一种涂层刀片可代替几种非涂层刀片的使用，故使刀具的管理也简单化。

涂层刀片不适于切削高温合金、钛合金、有色金属及某些非金属，不能采用焊接结构，不能重磨使用。目前，在工业发达国家使用涂层刀片已占可转位硬质合金刀片的 50%~60% 以上，随着涂层技术的发展和工艺的改进，涂层硬质合金刀具的应用范围将会得到迅速