



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高职高专机电工程类规划教材

# 机械制造工程

(第3版)

吴拓 主编



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”、“金属工艺学”等几门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机械制造专业基础课教材。

全书共七章,主要内容有:金属切削加工基础、金属切削机床及刀具、机械制造过程与工艺规程、机械加工质量的技术分析、机床常用夹具、典型表面与典型零件加工工艺、特种加工工艺与其他新技术新工艺。

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。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 下载。咨询邮箱: [cmpgaozhi@sina.com](mailto:cmpgaozhi@sina.com)。咨询电话:010-88379375。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程/吴拓主编. —3版. —北京:机械工业出版社,2011.5  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材 高职高专机电工程类规划教材

ISBN 978-7-111-34841-2

I. ①机… II. ①吴… III. ①机械制造工艺-高等职业教育-教材  
IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第096914号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
策划编辑:王海峰 责任编辑:王海峰 王德艳 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:乔宇  
北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011年7月第3版第1次印刷

184mm×260mm·20.75印张·512千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34841-2

定价:38.00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

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

## 第 3 版 前 言

《机械制造工程》第 2 版 2005 年 9 月出版，2006 年 8 月被纳入普通高等教育国家级“十一五”规划教材，至 2010 年 2 月已印刷 8 次，发行达 31 000 册。本书受到读者的如此青睐和支持，编者倍感欣慰，在此谨向各位读者和同仁致以深深的谢意！

虽然本书社会反映良好，但出于一种强烈的职业责任，编者在使用过程中仍十分注意发现不足之处，不断总结和积累经验，以期更加完善。这次第 3 版，编者根据自己的教学实践，对本书的结构进行了适当的调整，对有关内容进行了适当的增补和删减，使之更加适合高职高专学生使用。

全书共七章，第一章为金属切削加工基础；第二章为金属切削机床及刀具；第三章为机械制造过程与工艺规程；第四章为机械加工质量的技术分析；第五章为机床常用夹具；第六章为典型表面与典型零件加工工艺；第七章为特种加工工艺与其他新技术新工艺。

本书由吴拓任主编并统稿。第一、二、四、六、七章由吴拓编写，第三章由杨云兰编写，第五章由胡蓉编写。

由于编者水平有限，本书难免仍有不当之处，恳请各位读者和同仁雅正。

编 者

2010 年 6 月

## 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。

《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。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！

由于编者水平有限，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 月 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。为了使学生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。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！

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

2000 年 10 月 15 日

# 目 录

第 3 版前言	
第 2 版前言	
第 1 版前言	
第一章 金属切削加工基础	1
第一节 金属切削加工的基本知识	1
一、切削运动和工件表面	1
二、切削要素	2
三、刀具几何参数	4
第二节 刀具材料及选用	8
一、刀具材料应具备的性能	8
二、高速钢	9
三、硬质合金	10
四、其他刀具材料	13
第三节 金属切削过程及其基本规律	15
一、金属切削的变形过程	15
二、切削力与切削功率	22
三、切削热与切削温度	25
四、刀具磨损与刀具寿命	28
第四节 金属切削基本理论的应用	32
一、切屑控制	32
二、工件材料的切削加工性	37
三、切削液及其选用	39
四、刀具几何参数的合理选择	42
五、切削用量的合理选择	45
思考题与习题	47
第二章 金属切削机床及刀具	49
第一节 金属切削机床概述	49
一、机床的分类及型号的编制方法	49
二、机床的传动原理及运动分析	51
第二节 车床及车刀	56
一、CA6140 型卧式车床	56
二、其他类型车床简介	60
三、车刀	61
第三节 磨床及砂轮	65
一、M1432A 型万能外圆磨床	66
二、其他磨床简介	69
三、磨削砂轮	73
第四节 齿轮加工机床及刀具	76
一、齿轮的加工方法及刀具	76
二、滚齿机	79
三、其他齿轮加工机床	83
第五节 其他机床及刀具	85
一、钻床、镗床及刀具	85
二、铣床及铣刀	89
三、刨床、插床、拉床及刀具	93
四、组合机床	96
五、数控机床及刀具	97
思考题与习题	106
第三章 机械加工过程与工艺规程	108
第一节 机械加工过程与工艺过程	108
一、生产过程与工艺过程	108
二、机械加工工艺规程	111
三、制订工艺规程时要解决的主要问题	115
四、工序尺寸及公差确定	125
五、机械加工生产率和技术经济分析	130
第二节 计算机辅助工艺设计	133
一、成组技术及其在工艺中的应用	133
二、计算机辅助工艺过程设计	144
第三节 装配工艺基础	147
一、概述	147
二、装配尺寸链	148
三、保证装配精度的工艺方法	149
四、装配工艺规程的制订	151
思考题与习题	153
第四章 机械加工质量的技术分析	156
第一节 机械加工精度	156
一、概述	156
二、影响加工精度的因素及其分析	158
三、加工误差的综合分析	167
四、保证和提高加工精度的主要途径	170
第二节 机械加工表面质量	171
一、机械加工表面质量的含义	171

二、表面质量对零件使用性能的影响	172	思考题与习题	235
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	173	<b>第六章 典型表面与典型零件加工</b>	
四、影响表面物理力学性能的工艺 因素	174	<b>工艺</b>	238
五、磨削的表面质量	175	第一节 典型表面加工工艺	238
六、控制表面质量的工艺途径	177	一、外圆加工	238
思考题与习题	181	二、孔(内圆)加工	243
<b>第五章 机床常用夹具</b>	183	三、平面加工	251
第一节 概述	183	四、成形(异型)面加工	256
一、机床夹具的主要功能	183	第二节 典型零件加工工艺过程	262
二、机床夹具的分类	184	一、轴类零件的加工	263
三、机床夹具的组成	185	二、箱体类零件的加工	271
四、机床夹具在机械加工中的作用	186	三、圆柱齿轮加工	278
五、机床夹具的现状与发展方向	186	思考题与习题	282
第二节 工件的定位	187	<b>第七章 特种加工工艺与其他新技术</b>	
一、工件定位的基本原理	187	<b>新工艺</b>	284
二、常用定位元件及选用	190	第一节 特种加工工艺	284
三、定位误差分析	198	一、概述	284
第三节 工件的夹紧	206	二、电火花加工	286
一、夹紧装置的组成和设计要求	206	三、电化学加工	291
二、夹紧力确定的基本原则	207	四、高能束加工	297
三、常用的夹紧机构及选用	208	五、超声波加工	304
四、夹紧动力源装置	210	六、快速成形技术	307
第四节 各类机床夹具	212	第二节 精密加工、超精密加工和细微 加工	310
一、车床夹具	212	一、精密加工和超精密加工的概念	310
二、铣床夹具	215	二、实现精密加工和超精密加工的 条件	310
三、钻床夹具	218	三、精密加工和超精密加工的特点	312
四、典型数控机床夹具	223	四、常用的精密加工、超精密加工和 细微加工方法	312
第五节 现代机床夹具	225	第三节 其他新技术新工艺简介	317
一、组合夹具	225	一、直接成形技术	317
二、模块化夹具	228	二、少、无切削加工	319
三、自动线夹具	229	思考题与习题	322
第六节 专用夹具的设计方法	230	<b>参考文献</b>	323
一、专用夹具设计的方法和步骤	230		
二、夹具设计实例	232		
三、计算机辅助夹具设计简介	234		

# 第一章 金属切削加工基础

一般情况下，通过铸造、锻造、焊接和各种轧制的型材毛坯，精度等级低、表面粗糙度值大，不能满足零件的使用性能要求，必须进行切削加工才能成为零件。

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一种机械加工方法。

金属切削加工通常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、镗削、刨削、拉削、磨削等。钳工也属于金属切削加工，它是使用手工切削工具在钳台上对工件进行加工的，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。

## 第一节 金属切削加工的基本知识

### 一、切削运动和工件表面

#### 1. 切削运动

在金属切削加工中，刀具和工件间必须完成一定的切削运动，才能从工件上切去一部分多余的金属层。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。切削运动按其作用的不同，分为主运动和进给运动，如图 1-1 所示。

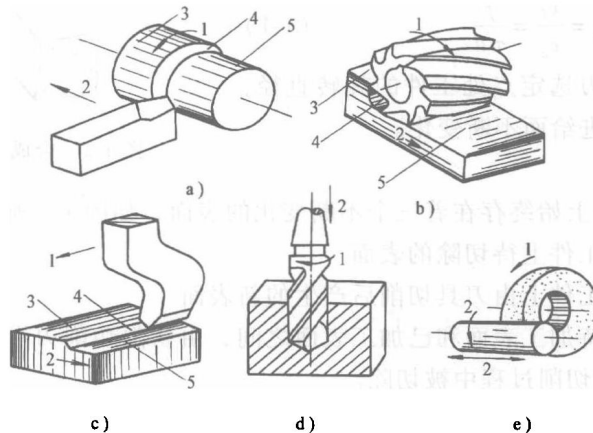


图 1-1 切削运动和加工表面

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

(1) 主运动 主运动是指切除多余金属所需要的刀具与工件之间最主要、最基本的相对运动。切削过程中，必须有且只有一个主运动，它的速度最高，消耗的功率最大。主运动可以是直线运动，也可以是旋转运动。车削的主运动是工件的旋转运动；铣削和钻削的主运动



是刀具的旋转运动；磨削的主运动是砂轮的旋转运动；刨削的主运动是刀具（牛头刨床）或工件（龙门刨床）的往复直线运动等。

刀具切削刃上的选取点相对于工件主运动的瞬时速度称为切削速度，用矢量 $v_c$ 表示。

(2) 进给运动 进给运动是指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。进给运动可以是连续运动，也可以是间断运动；可以是直线运动，也可以是旋转运动。车削的进给运动是刀具的移动；铣削的进给运动是工件的移动；钻削的进给运动是钻头沿其轴线方向的移动；内、外圆磨削的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者多个，切削过程中有时也可以没有单独的进给运动。进给运动的速度较小，消耗的功率也较小。

刀具切削刃上的选定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 $v_s$ 表示， $v_s = v_c + v_f$ 。

$v_c$ 和 $v_f$ 所在的平面称为工作平面，以 $P_{fc}$ 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 $\eta$ 表示，如图1-2所示。

由 $\eta$ 角的定义可知

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

式中  $d$ ——刀具切削刃选定点处工件的旋转直径，  
随着刀具进给而不断变化。

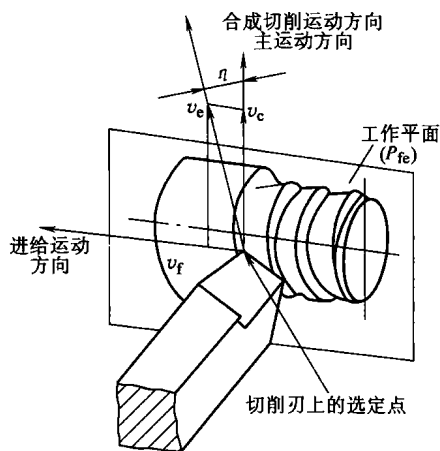


图1-2 合成切削运动速度角

## 2. 工件上的表面

切削过程中，工件上始终存在着三个不断变化的表面，如图1-1所示，即

- 1) 待加工表面：工件上待切除的表面。
- 2) 已加工表面：工件上由刀具切削后产生的新表面。
- 3) 过渡表面：在待加工表面和已加工表面之间，由切削切削刃在工件上作用形成的那个表面，它将在下一次切削过程中被切除。

## 二、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

切削用量是指切削加工过程中切削速度、进给量和背吃刀量（切削深度）三个要素的总称。它表示主运动和进给运动量，用于调整机床的工艺参数。

(1) 切削速度 切削速度 $v_c$ 是指切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时线速度，

单位为  $\text{m/s}$  或  $\text{m/min}$ 。主运动是旋转运动时，切削速度的计算公式如下：

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1-2)$$

式中  $d$ ——完成主运动的刀具或工件的最大直径，单位为  $\text{mm}$ ；

$n$ ——主运动的转速，单位为  $\text{r/s}$  或  $\text{r/min}$ 。

在生产中，磨削速度单位用  $\text{m/s}$ ，其他加工的切削速度单位习惯用  $\text{m/min}$ 。

(2) 进给量 进给量  $f$  是指工件或刀具的主运动每转或每一行程，刀具与工件两者在进给运动方向上的相对位移量，单位是  $\text{mm/r}$ 。主运动是往复直线运动时为每往复一次的进给量。

进给速度  $v_f$  是指刀具切削刃上选定点相对于工件进给运动的瞬时速度。进给量  $f$  与进给速度  $v_f$  之间的关系为

$$v_f = f n \quad (1-3)$$

(3) 背吃刀量 背吃刀量  $a_p$  也写作  $a_{\text{ap}}$ ，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  $\text{mm}$ 。

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  $\text{mm}$ ；

$d_w$ ——待加工表面直径，单位为  $\text{mm}$ 。

## 2. 切削层横截面要素

切削层是指在切削过程中，刀具的切削刃在一次进给中所切除的工件材料层。切削层的轴向剖面称为切削层横截面，如图 1-3 所示。

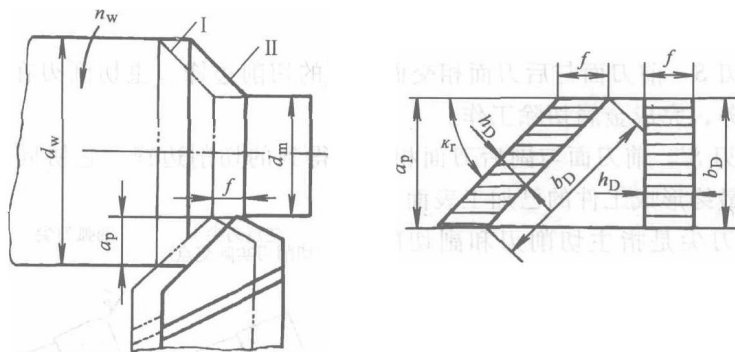


图 1-3 纵车外圆时的切削层要素

切削层的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  $b_D$ 、切削层公称厚度  $h_D$  和切削层公称横截面积  $A_D$  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  $\text{mm}$ 。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  $\kappa_r$ ，则

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \tag{1-6}$$

(2) 切削层公称厚度  $h_D$  切削层公称厚度是指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

$$h_D = f \sin \kappa_r \tag{1-7}$$

(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  $\text{mm}^2$ ，可以表示为

$$A_D \approx b_D h_D = a_p f \tag{1-8}$$

### 三、刀具几何参数

#### 1. 刀具切削部分的结构要素

金属切削刀具的种类很多，但任何刀具都是由切削部分和夹持部分组成的，虽然刀具形态各异，但其切削部分（楔部）都有一定的共性，切削部分总是近似地以外圆车刀的切削部分为基本形态，其他各类刀具都可看成是它的演变和组合，故可以普通车刀为例对刀具切削部分的结构要素作出定义。现以图 1-4 所示说明如下。

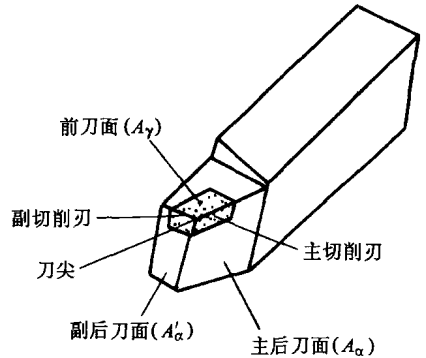


图 1-4 车刀切削部分的结构要素

(1) 前刀面  $A_\gamma$  前刀面是切下的切屑流过的刀面。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（有时称为倒棱）、第二前刀面等。

(2) 后刀面  $A_\alpha$  后刀面是与工件上新形成的过渡表面相对的刀面。也可以分为第一后刀面（有时称刃带）、第二后刀面等。

(3) 副后刀面  $A'_\alpha$  与副切削刃毗邻、与工件上已加工表面相对的刀面。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  $S$  前刀面与后刀面相交而得到的切削边锋。主切削刃在切削过程中，承担主要的切削任务，完成金属切除工作。

(5) 副切削刃  $S'$  前刀面与副后刀面相交而得到的切削边锋。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 刀尖是指主切削刃和副切削刃的连接处相当短的一部分切削刃。常用的刀尖有三种形式：交点（点状）刀尖、圆弧（修圆）刀尖和倒棱（倒角）刀尖，如图 1-5 所示。

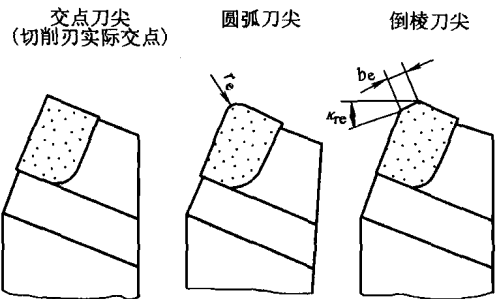


图 1-5 刀尖的形状

#### 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切削刃在空间的相对

位置，必须建立用以度量各切削刃、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，标注角度即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，下面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 为了方便理解，不妨对刀具和切削状态作出如下假设：

- 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) 切削刃平直，切削刃选定点的切削速度方向与切削刃各处的切削速度方向平行。

(2) 建立正交平面参考系 刀具设计、刃磨、测量角度，最常用的是正交平面参考系。建立一个如图 1-6 所示的正交平面参考系。

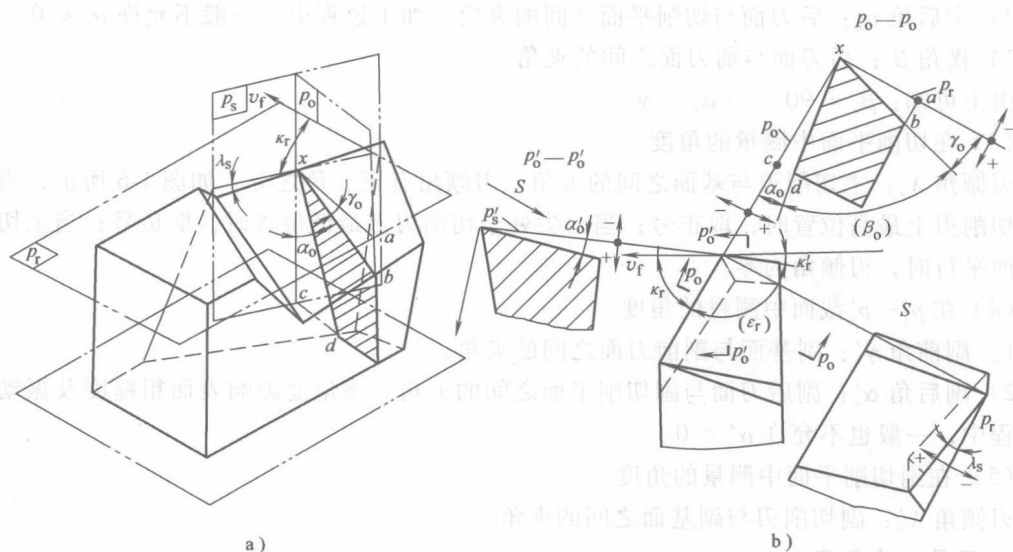


图 1-6 正交平面参考系与刀具角度

正交平面参考系由以下三个两两互相垂直的平面组成：

1) 切削平面  $p_s$ 。切削平面是指通过切削刃上的选定点，包含该点假定主运动方向和切削刃的平面，即切于工件过渡表面的平面。

2) 基面  $p_r$ 。基面是指通过切削刃上的选定点，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 1-6 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。

### 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定义各标注角度并加以说明。这些定义具有普遍性，也可以用于其他类型的刀具。

(1) 在基面中测量的角度

- 1) 主偏角  $\kappa_r$ ：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  $\kappa'_r$ ：副切削刃在基面上的投影与进给运动反方向之间的夹角。
- 3) 刀尖角  $\varepsilon_r$ ：主切削刃、副切削刃在基面上投影的夹角。

由上可知： $\kappa_r + \kappa'_r + \varepsilon_r = 180^\circ$

(2) 在  $p_0-p_0$  截面中测量的角度

1) 前角  $\gamma_0$ ：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  $\gamma_0 > 0$ ；当前刀面高于基面时，前角为负，即  $\gamma_0 < 0$ ，如图 1-6 所示。

2) 主后角  $\alpha_0$ ：后刀面与切削平面之间的夹角。加工过程中，一般不允许  $\alpha_0 < 0$ 。

3) 楔角  $\beta_0$ ：后刀面与前刀面之间的夹角。

由上可知： $\beta_0 = 90^\circ - (\alpha_0 + \gamma_0)$

(3) 在切削平面中测量的角度

刃倾角  $\lambda_s$ ：主切削刃与基面之间的夹角。刃倾角有正、负之分，如图 1-6 所示，当刀尖处在切削刃上最高位置时，取正号；当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  $p'_0-p'_0$  截面中测量的角度

1) 副前角  $\gamma'_0$ ：副基面与副前刀面之间的夹角。

2) 副后角  $\alpha'_0$ ：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  $\alpha'_0 < 0$ 。

(5) 在副切削平面中测量的角度

刃倾角  $\lambda'_s$ ：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，刀具角度也会发生变化。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 以横向进给切断工件为例，如图 1-7 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  $p_{s0}$  为过切削刃而切于螺旋线的平面，而实际基面  $p_{s0}$  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  $\gamma_{oe}$  和工作后角  $\alpha_{oe}$ ，其大小为

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \eta \quad (1-9)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \eta \quad (1-10)$$

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

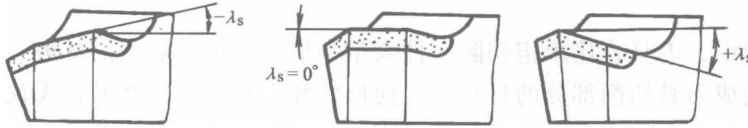


图 1-7 横向进给对工作角度的影响

同理，纵车时刀具角度也有类似的变化，不过一般车削外圆时， $\eta$  可以忽略不计，但车螺纹时则必须考虑  $\eta$  值，如图 1-8 所示。

(2) 刀具安装情况对工作角度的影响 如图 1-9 所示，车刀车外圆时，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  $p_{rc}$ ，在背平面内刀具角度也随之变为工作前角  $\gamma_{pc}$  和工作后角  $\alpha_{pc}$ ，这两个角度的变化值  $\theta_p$  为

$$\sin \theta_p = \frac{2h}{d_w} \quad (1-11)$$

式中  $h$ ——刀尖高于工件中心线的数值；

$d_w$ ——工件直径。

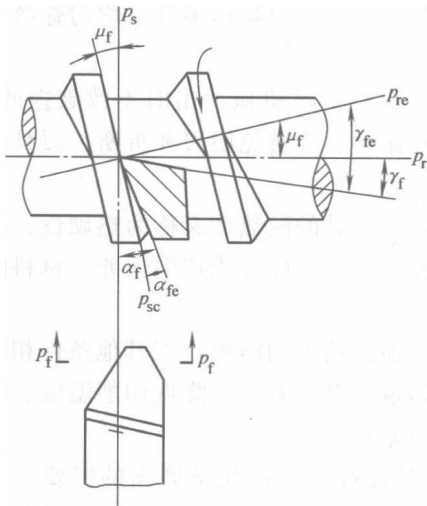


图 1-8 纵向进给对工作角度的影响

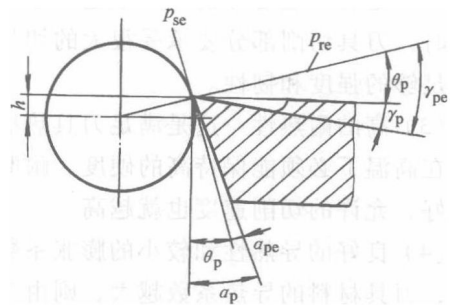


图 1-9 刀具安装高低对工作角度的影响

则工作角度为

$$\gamma_{pc} = \gamma_p + \theta_p \quad (1-12)$$

$$\alpha_{pc} = \alpha_p - \theta_p \quad (1-13)$$

在正交平面内，前、后角的变化情况与背平面内相类似，即

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \theta_o \quad (1-14)$$

$$\alpha_{or} = \alpha_o - \theta_o \quad (1-15)$$

式中,  $\theta_o$  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

$$\tan \theta_o = \tan \theta_p \cos \kappa_r \quad (1-16)$$

当刀尖低于工件中心线时, 上述计算公式的符号相反。

## 第二节 刀具材料及选用

在切削过程中, 刀具直接承担切除工件余量和形成已加工表面的任务。刀具切削性能的优劣, 取决于构成刀具切削部分的材料、几何形状和刀具结构。然而, 无论刀具结构如何先进, 几何参数如何合理, 如果刀具材料选择不当, 都将不能正常工作, 由此可见刀具材料的重要性。它对刀具的使用寿命、加工质量、加工效率和加工成本影响极大。新型刀具材料的出现和采用, 常常使刀具寿命成倍、几十倍地提高, 而且使一些难加工材料的切削加工成为可能。因此, 应当重视刀具材料的正确选择和合理使用, 重视新型材料的研制。

### 一、刀具材料应具备的性能

在切削加工时, 刀具切削部分与切屑、工件相互接触, 承受着很大的压力和强烈的摩擦, 刀具在高温下进行切削的同时, 还承受着切削力、冲击和振动, 工作条件十分恶劣, 因此, 刀具材料必须满足以下基本要求。

(1) 高的硬度和耐磨性 这是满足刀具抵抗机械摩擦、磨损的需要。刀具切削部分的硬度, 一般应在 60HRC 以上。耐磨性则是材料硬度、强度、化学成分、显微组织等的综合效果, 组织中碳化物、氮化物等硬质点的硬度越高、颗粒越小、数量越多且呈均匀弥散状态分布, 则耐磨性越高。

(2) 足够的强度和韧性 这是满足切削刃在承受重载荷及机械冲击时不致破损的需要。切削时, 刀具切削部分要承受很大的切削力、冲击和振动, 为避免崩刃和折断, 刀具材料应具有足够的强度和韧性。

(3) 高的耐热性 这是满足刀具热稳定性的需要。刀具的耐热性又称为热硬性, 即刀具材料在高温下必须能保持高的硬度、耐磨性、强度和韧性, 才能完成切削任务。材料的耐热性越好, 允许的切削速度也就越高。

(4) 良好的导热性和较小的膨胀系数 这是提高加工精度的需要。在其他条件相同的情况下, 刀具材料的导热系数越大, 则由刀具传出的热量越多, 有利于降低切削温度、提高刀具寿命。线膨胀系数小, 则刀具的热变形小, 加工误差也小。

(5) 稳定的化学性能和良好的抗粘结性能 这是提高刀具抗化学磨损的需要。刀具材料的化学性能稳定, 在高温、高压下才能保持良好的抗扩散、抗氧化的能力。刀具材料与工件材料的亲和力小, 则刀具材料的抗粘结性能好, 粘结磨损小。

(6) 良好的工艺性能和经济性 这是为了便于使用和推广的需要。若刀具材料具有良好的工艺性能, 可以进行锻、轧、焊接、切削加工和磨削、热处理等, 则方便制造加工, 满足各种加工的需要。同时, 刀具材料还应具备良好的综合经济性, 即材料价格及刀具制造成本不高, 资源丰富, 寿命长, 则使分摊到每个工件的刀具成本不高, 从而有利于推广应用。

常用的刀具材料主要有工具钢 (包括碳素工具钢、合金工具钢和高速钢)、硬质合金、

陶瓷和超硬刀具材料（金刚石、立方氮化硼）等四大类。目前使用量最大的刀具材料是高速钢和硬质合金。碳素工具钢和合金工具钢是早期使用的刀具材料，由于耐热性较差，现在已较少使用，主要用于手工工具或低速切削刀具，如锉刀、拉刀、丝锥和板牙等。

## 二、高速钢

### 1. 高速钢的特点

高速钢是加入了 W、Mo、Cr、V 等合金元素的高合金工具钢，其合金元素 W、Mo、Cr、V 等与 C 化合形成高硬度的碳化物，使高速钢具有较好的耐磨性。W 和 C 的原子结合力很强，提高了马氏体受热时的分解稳定性，使钢在 550 ~ 600℃ 时仍能保持高硬度，增加了钢的热硬性。Mo 的作用与 W 基本相同，并能细化碳化物晶粒，提高钢中碳化物的均匀性，从而提高钢的韧性。V 与 C 的结合力比 W 的更强，以稳定的 VC 形式存在，且 VC 晶粒细小、分布均匀，硬度很高，V 使钢的热硬性提高的作用比 W 更强烈。W 和 V 的碳化物在高温时可有效地起到阻止晶粒长大的作用。Cr 在高速钢中的主要作用是提高淬透性，也可提高回火稳定性和抑制晶粒长大。

高速钢具有高的强度和高的韧性，具有一定的硬度（热处理硬度在 62 ~ 66HRC）和良好的耐磨性，其热硬温度可达 600 ~ 660℃ 左右。它具有较好的工艺性能，可以制造刃形复杂的刀具，如钻头、丝锥、成形刀具、铣刀、拉刀和齿轮刀具等。刃磨时切削刃易锋利，故又名锋钢。

高速钢根据切削性能的不同，可分为普通高速钢和高性能高速钢；根据化学成分的不同，可分为钨系、钨钼系和钼系高速钢；根据制造方法的不同，可分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

### 2. 普通高速钢

普通高速钢工艺性能好，切削性能可满足一般工程材料的常规加工要求。常用的品种有如下几种。

(1) W18Cr4V 钨系高速钢 也称 18-4-1，W、Cr、V 的含量分别为 18%、4%、和 1%。它具有较好的综合性能和刃磨工艺性，可制造各种复杂刀具，但强度和韧性不够，精加工寿命不太高，且热塑性差，因此现在应用正在减少。

(2) W6Mo5Cr4V2 钨钼系高速钢 也称 6-5-4-2，W、Mo、Cr、V 的含量分别为 6%、5%、4% 和 2%。它具有较好的综合性能和刃磨工艺性。由于 Mo 的作用，其碳化物呈细小颗粒且均匀分布，故刀具抗弯强度和冲击韧度都高于钨系高速钢，并具有较好的热塑性，适于制作热轧刀具，如麻花钻头，也可用于制造大尺寸刀具。但有脱碳敏感性大和淬火温度窄、热处理工艺较难掌握等缺点。

(3) W9Mo3Cr4V 钨钼系高速钢 也称 9-3-4-1，W、Mo、Cr、V 的含量分别为 9%、3%、4% 和 1%。这是根据我国资源研制的牌号，其抗弯强度与韧性均比 6-5-4-2 好，高温热塑性也好，而且淬火过热、脱碳敏感性小，有良好的切削性能。

### 3. 高性能高速钢

高性能高速钢是在普通型高速钢中增加 C、V，添加 Co、Al 等合金元素的新钢种。其常温硬度可达 67 ~ 70HRC，耐磨性和耐热性有显著提高，能用于不锈钢、耐热钢和高强度钢等难加工材料的切削加工。下面介绍其中主要的几种。



(1) W6Mo5Cr4V3 高钒高速钢 由于将含 V 量提高到 3% ~ 5%，从而提高了钢的耐磨性；一般用于切削高强度钢，但其刃磨性能比普通高速钢差。

(2) W2Mo9Cr4VCo8 钴高速钢 它具有良好的综合性能，加入钴后可提高钢的高温硬度和抗氧化能力，因此可以提高切削速度；可用于切削高温合金、不锈钢等难加工材料，但含钴量高，故价格昂贵（约为 W18Cr4V 的 8 倍）。

(3) W6Mo5Cr4V2Al 铝高速钢 铝高速钢是我国独创的新型高速钢种，它是在普通高速钢中加入了少量的铝，提高了高速钢的耐热性和耐磨性，具有良好的切削性能，寿命比 W18Cr4V 大 1 ~ 4 倍，价格低廉，与普通高速钢的价格接近。但其磨削性差，淬火温度范围窄，氧化脱碳倾向大，热处理工艺要求较严格。

#### 4. 粉末冶金高速钢

粉末冶金高速钢是把高频感应炉熔炼好的高速钢钢水置于保护气罐中，用高压惰性气体（如氩气）雾化成细小的粉末，然后用高温（1 100℃）、高压（100MPa）压制、烧结而成。它克服了一般熔炼方法产生的粗大共晶偏析，热处理变形小，韧性、硬度较高，耐磨性好。用它制成的刀具，可切削各种难加工材料。和熔炼高速钢比较，粉末冶金高速钢具有如下优点：

1) 由于可获得细小而均匀的结晶组织，完全避免了碳化物的偏析，从而提高了钢的硬度和强度。

2) 由于物理力学性能各向同性，可减少热处理变形与应力，因此可用于制造精密刀具。

3) 由于钢中的碳化物细小均匀，使磨削加工性得到显著改善。

4) 粉末冶金高速钢提高了材料的利用率。

粉末冶金高速钢目前应用较少，其原因主要在于其成本较高，其价格相当于硬质合金。因此主要用来制成各种精密刀具和形状复杂的刀具，如拉刀、切齿刀具，以及加工高强度钢、镍基合金、钛合金等难加工材料用的刨刀、钻头、铣刀等刀具。

#### 5. 高速钢刀具的表面涂层

高速钢刀具表面涂层处理的目的是为了在刀具表面形成硬度高、耐磨性好的表面层，以减少刀具磨损，提高刀具的切削性能。高速钢刀具表面涂层的方法有蒸气处理、低温气体氮碳共渗、辉光离子渗氮等。此外，还可采用真空溅射的方法在刀具表面沉积一层 TiC 或 TiN（约 10 $\mu$ m），使刀具表面形成一层高硬度的薄膜，以提高刀具的寿命。这种工艺要求在高真空、500℃的环境下进行。

涂层高速钢是一种复合材料，基体是强度、韧性好的高速钢，而表层是具有高硬度、高耐磨性的其他材料。涂层高速钢刀具的切削力小、切削温度下降约 25%，切削速度、进给量可提高一倍左右，刀具寿命显著提高。

几种常用高速钢的牌号与物理力学性能参见表 1-1。

### 三、硬质合金

#### 1. 硬质合金的组成与性能

硬质合金是由高硬度、高熔点的金属碳化物和金属粘结剂，经过粉末冶金工艺制成的。硬质合金刀具中常用的碳化物有 WC、TiC、TaC、NbC 等，粘结剂有 Co、Mo、Ni 等。

常用的硬质合金中含有大量的 WC、TiC，因此其硬度、耐磨性、耐热性均高于高速钢。