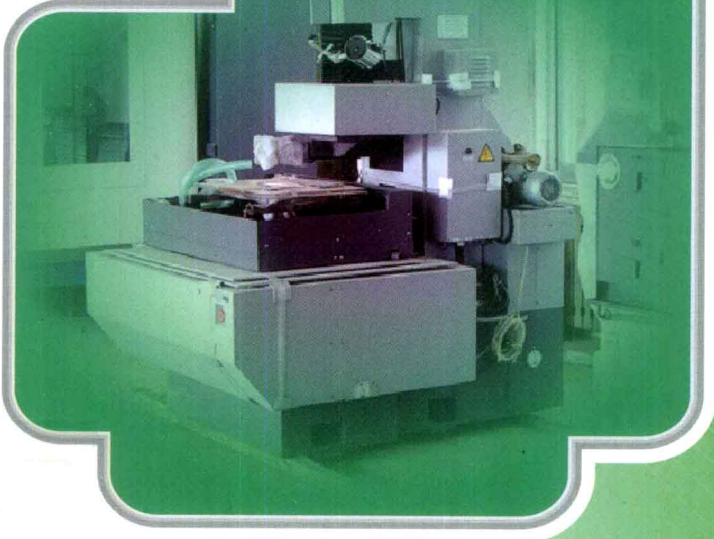




全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

数控加工技术及实训

主 编 姜永成 夏广岚



加工案例 + 编程实例 + 课后实训
三大模块助你提高数控加工技术

实物图 + 加工轨迹示意
两者配合成就点铁成金



北京大学出版社

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

数控加工技术及实训

主 编 姜永成 夏广岚
副主编 范素香 薛泽利 华秀萍



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书的内容全面、系统、重点突出,力求体现先进性、实用性、易懂性。基础理论以“必需、够用”为度,应用实例紧密结合生产实际。全书内容包括数控加工基本知识、数控加工工艺、数控加工程序编制、用户宏程序、数控车床编程、数控铣床编程、加工中心编程、数控自动编程、机械加工质量与维护。

本书适合作为高等工科院校机械工程、机电工程、材料工程等专业的本科教材,还可作为继续工程教育的教材,也适合企事业单位和社会上从事数控的工程技术人员用作参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术及实训/姜永成,夏广岚主编. —北京:北京大学出版社,2011.9

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-19508-6

I. ①数… II. ①姜…②夏… III. ①数控机床—加工—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 189554 号

书 名: 数控加工技术及实训

著作责任者: 姜永成 夏广岚 主编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-19508-6/TH·0264

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 邮编: 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 三河市富华印装厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 402 千字

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 33.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

随着数控技术的发展，数控机床在机械制造业得到了广泛的应用，面向社会，培养掌握数控加工技术的应用型人才已成为当务之急。为适应社会的需要，本书根据教育部高等学校机械制造工艺与设备专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲要求编写。

数控加工技术及实训作为培养机械工程技术人才的一门专业课程，可使学生获得丰富的数控方面的基础知识和综合技能。全书尽可能全面地介绍数控加工技术各方面的内容，既有理论又有实例，并注重内容的先进性、实用性和系统性。

全书共 9 章，主要内容包括数控加工基本知识、数控加工工艺、数控加工的程序编制、用户宏程序、数控车床编程、数控铣床编程、加工中心编程、数控自动编程、机械加工质量与维护等内容。

本书由姜永成、夏广岚担任主编，范素香、薛泽利、华秀萍担任副主编，王占坤、史庆武、梁秋艳为参编，佳木斯大学教授王俊发对全书进行了认真的审阅，并提出了宝贵的意见。本书在编写过程中参考和借鉴了诸多同行的相关资料、文献和参考书，在此一并表示诚挚的感谢！

由于数控加工技术仍有许多理论需要进一步研究和完善，同时由于编者的水平所限，书中难免有欠妥和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2011 年 7 月

目 录

第 1 章 数控加工基本知识	1	3.2 数控编程的基础知识	69
1.1 金属切削运动及形成的表面	1	3.3 零件加工程序的指令代码与 程序结构	74
1.1.1 零件表面的形成	2	3.4 数控车床编程实例	77
1.1.2 金属切削运动	3	思考题与习题	79
1.1.3 切削要素	5	第 4 章 用户宏程序	80
1.2 刀具切削部分的几何角度	6	4.1 概述	80
1.2.1 刀具切削部分的组成	6	4.2 A 类宏程序	81
1.2.2 确定刀具角度的参考平面	7	4.3 B 类宏程序	87
1.2.3 刀具的标注角度	8	思考题与习题	90
1.2.4 刀具的工作角度	10	第 5 章 数控车床编程	92
1.3 刀具材料及其选用	12	5.1 数控车床的加工对象及 加工特点	93
1.3.1 对刀具切削部分材料的 基本要求	12	5.2 数控车床加工工艺分析	97
1.3.2 常用刀具材料	13	5.3 数控车削加工的定位与装夹	101
1.4 金属切削过程中的各种物理现象	16	5.4 数控车削加工中的装刀与对刀	103
1.4.1 切削变形	16	5.5 数控车床加工的编程	105
1.4.2 切削力	20	5.5.1 数控车削加工	105
1.4.3 切削热和切削温度	23	5.5.2 车床数控系统功能	106
1.4.4 刀具磨损与耐用度	25	5.5.3 设定工件坐标系和 工件原点	107
1.4.5 切削用量选择的 一般原则	29	5.5.4 基本功能及其 指令的编程	108
1.4.6 切削液	30	思考题与习题	142
1.5 工件的定位与夹紧	32	第 6 章 数控铣床编程	144
1.5.1 定位基准的选择	32	6.1 数控铣床编程基础	144
1.5.2 工件定位的基本原理	34	6.2 常用功能的编程方法	156
1.5.3 工件的定位方式及定位 元件	35	6.3 编程举例	171
1.5.4 工件的夹紧	41	思考题与习题	180
思考题与习题	43	第 7 章 加工中心编程	181
第 2 章 数控加工工艺	45	7.1 加工中心编程概述	182
2.1 数控加工的工艺特点与内容	45	7.2 部分 G 功能指令的编程	185
2.2 数控加工的工艺分析方法	48	7.3 编程举例	196
2.3 数控加工的工艺路线设计	49	7.4 保证加工精度的方法	202
2.4 数控加工的工序设计	51	思考题与习题	203
2.5 数控加工的工艺文件	56	第 8 章 数控自动编程	205
2.6 计算机辅助工艺设计	57	8.1 数控自动编程简介	206
思考题与习题	62		
第 3 章 数控加工的程序编制	64		
3.1 数控编程概述	64		

8.2	Mastercam 自动编程设置	210	9.3.1	表面质量的含义及其对 零件使用性能的影响	247
8.3	Mastercam 自动编程举例	216	9.3.2	影响表面质量的工艺 因素及其控制方法	251
	思考题与习题	234	9.3.3	切削时的振动及其 减小的工艺途径	256
第 9 章	机械加工质量与维护	237	9.4	数控机床的故障分析与处理	259
9.1	基本概念	238	9.4.1	数控机床常见故障分类 ...	259
9.2	机械加工精度	238	9.4.2	数控机床故障的常规 检测方法	261
9.2.1	概述	238	9.4.3	数控机床常见故障处理 ...	262
9.2.2	工艺系统的几何误差	239	9.4.4	数控机床的维护与保养 ...	264
9.2.3	工艺系统力效应产生的 误差	242		思考题与习题	266
9.2.4	工艺系统热变形产生的 误差	244	参考文献		268
9.2.5	工件内应力产生的误差 ...	246			
9.3	机械加工表面质量	247			

第 1 章 数控加工基本知识

教学目标

数控加工基本知识是利用数控机床对金属毛坯进行数控加工，以获得尺寸、形状精度和表面质量都符合预定技术要求的零件的理论基础。为了合理、充分利用数控机床，掌握数控加工基本知识是十分必要的。通过本章的学习，要达到以下目标。

- (1)掌握金属切削运动及形成的表面。
- (2)掌握刀具切削部分的几何角度。
- (3)了解常用刀具材料及其选用。
- (4)了解金属切削过程中的各种物理现象。
- (5)理解掌握工件的定位与夹紧。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
金属切削运动及形成的表面	掌握金属切削过程的一般现象和基本规律	机床的运动、认识和分析机床的方法
刀具的标注角度和工作角度	理解刀具切削部分的几何角度	各类切削刀具
常用刀具材料	掌握刀具材料及其性能	化学成分、成型工艺
切削变形程度及影响因素	理解金属切削过程中的各种物理现象	内应力、热能扩散速率
工件的定位和夹紧方法	掌握零件加工中的定位与夹紧	自由度、夹具类型

引言

对金属切削加工过程的研究，就是寻求其内在的本质与规律，并合理利用这些规律控制切削加工过程，以提高生产率、提高加工质量和降低加工成本。

图 1.1 所示为数控机床上能加工的金属零件，要实现对金属零件的切削加工，必须保证刀具与工件之间要有相对运动，即切削运动；刀具应具有适当的几何参数；刀具材料应具有一定的切削性能；零件毛坯在机床或夹具中占有正确的位置及在外力作用下不发生位移。

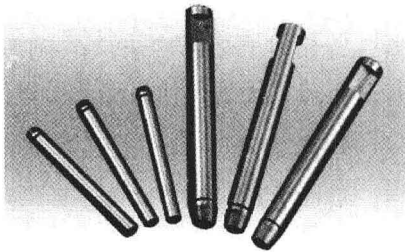


图 1.1 数控机床上能加工的金属零件

1.1 金属切削运动及形成的表面

在机械制造的生产过程中，零件的成形要采用各种不同的制造工艺。金属切削加工是

用金属切削刀具在金属切削机床上,让刀具和零件毛坯按一定的规律作相对运动,通过刀具的刀刃对零件毛坯的切削运动,切除零件毛坯上多余的金属,从而使零件的形状、尺寸和表面质量达到设计要求的工艺方法。

1.1.1 零件表面的形成

任何零件的表面都可以看作一条母线沿着一条导线运动的轨迹。母线和导线统称为形成零件表面的发生线。

发生线是由刀具的切削刃与工件间的相对运动得到的,零件表面的成形与刀具切削刃的形状有着极其密切的关系。由于使用的刀具切削刃的形状和采取的加工方法不同,机床上形成发生线的方法与所需运动也不同,归纳起来,形成发生线的方法有以下4种,以形成图1.2所示的发生线2为例。

1. 轨迹法

轨迹法是利用刀具作一定规律的轨迹运动对工件进行加工的方法,如图1.2(a)所示。刀具切削刃为切削点1,在采用尖头车刀、刨刀等刀具切削过程中,刀刃与被形成表面接触的长度实际上很短,可以看作点接触。刀刃按一定规律作直线或曲线(图为圆弧)运动,从而形成所需的发生线2。因此采用轨迹法形成发生线需要一个成形运动。

2. 相切法

相切法是利用刀具边旋转边作轨迹运动来对工件进行加工的方法,如图1.2(b)所示。刀刃为旋转刀具(铣刀或砂轮)上的切削点1。刀具作旋转运动,刀具中心按一定规律作直线或曲线(图为圆弧)运动,切削点1的运动轨迹如图中的曲线3所示。切削点的运动轨迹与工件相切,形成了发生线2。图中点4就是刀具上的切削点1的运动轨迹与工件的各个切点。由于刀具上有多个切削点,发生线2是刀具上所有的切削点在切削过程中共同形成的。用相切法得到的发生线需要两个成形运动,即刀具的旋转运动和刀具中心按一定规律的运动。

3. 成形法

成形法是利用成形刀具(如成形车刀、盘形齿轮铣刀等)对工件进行加工的方法。在这种情况下,刀具的切削刃为切削线1,它的形状和长短与需要形成的发生线2(母线)完全重合,如图1.2(c)所示。在采用各种成形刀具进行切削加工时,刀刃与被成形的表面作线接触,刀具无须任何运动就可得到所需的发生线形状。

4. 展成法

展成法是利用工件和刀具(如插齿刀、齿轮滚刀和花键滚刀)作展成切削运动的加工方法,如图1.2(d)所示。刀具切削刃为切削线1,图示形状为圆,也可是直线(如齿条刀)或曲线(如插齿刀),它与需要形成的发生线2(母线)的形状不吻合,是一条与发生线2(母线)共轭的切削线。在切削加工时,切削刃与被加工表面相切(点接触),切削线1与发生线2彼此无滑动,所需成形的发生线2就是切削线1在切削过程中连续位置的包络线。曲线3是切削刃上某点A的运动轨迹。用展成法进行切削加工时,刀具(切削刃1)与工件(发生线2)之间的相对运动通常由两个运动(旋转+旋转或者旋转+直线)组合而成,这两个运动必须有严格的运动关系,彼此不能独立,它们共同组成一个复合运动,这种运动被称为展成运动。

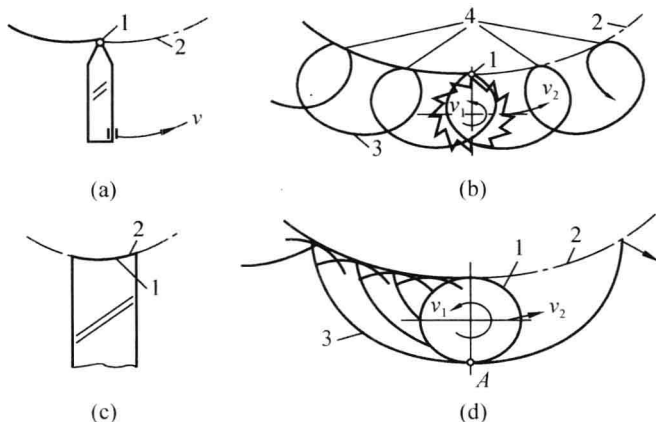


图 1.2 发生线的形成方法

1.1.2 金属切削运动

在机床上,为了获得所需的工件表面形状,必须使刀具和工件按上述4种方法之一完成一定的运动,形成一定形状的母线和导线。而形成母线和导线,除成形法外,都需要刀具和工件作相对运动。这种形成被加工表面的运动称为表面成形运动,简称成形运动,此外,机床还有多种辅助运动。

1. 表面成形运动

表面成形运动是保证得到工件设计要求的表面形状的运动。成形运动按其组成情况,可分为简单表面成形运动和复合表面成形运动。

1) 简单表面成形运动

如果一个独立的成形运动是由单独的旋转运动或直线运动构成的,则称此成形运动为简单成形运动,简称简单运动。这两个运动最简单,也最容易得到。在车床上,用车刀车削外圆柱表面,工件的旋转运动 B_1 产生母线(圆);刀具的纵向直线运动 A_2 产生导线(直线),如图 1.3 所示。运动 B_1 和 A_2 就是两个简单成形运动,下角标表示先后次序。用砂轮磨削外圆柱表面,砂轮和工件的旋转运动 B_1 、 B_2 以及工件的直线运动 A_3 ,也都是简单运动,如图 1.4 所示。简单运动一般以主轴的旋转运动,刀架或工作台的直线运动形式出现。本节用符号 A 表示直线运动,用符号 B 表示旋转运动。

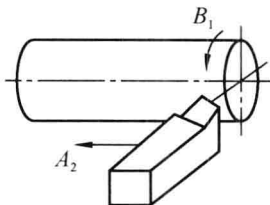


图 1.3 车削外圆柱表面时的成形运动

2) 复合表面成形运动

如果一个独立的成形运动是由两个或两个以上的旋转运动或(和)直线运动,按照某种确定的运动关系组合而成,则称此成形运动为复合成形运动,简称复合运动。

如图 1.5 所示,用螺纹车刀切削螺纹。螺纹车刀是成形刀具,其形状相当于螺纹沟槽的截面,形成螺旋面只需一个运动,即车刀相对于工件作螺旋运动。为简化机床结构和较容易保证精度,通常将螺旋运动分解为工件的等速旋转运动 B_{11} 和刀具的等

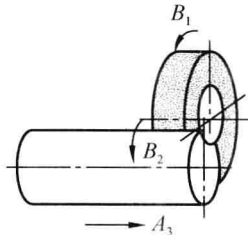


图 1.4 砂轮磨削外圆柱表面时的成形运动

速直线运动 A_{12} ，下角标的第一位数表示第一个运动(也只有一个运动)；后一位数表示第一个运动中的第 1、第 2 两部分。运动的两个部分 B_{11} 和 A_{12} 彼此不能独立，它们之间必须保持严格的相对运动关系，即工件每转 1 转，刀具的直线移动量为螺纹的一个导程，从而 B_{11} 和 A_{12} 这两个单元运动组成一个复合运动。有的复合成形运动可以分解为 3 个甚至更多部分，如图 1.6 所示，当用车刀车削圆锥螺纹时，刀具相对于工件的运动轨迹为圆锥螺旋线。其可分解为 3 部分：工件的旋转运动 B_{11} 、刀具的纵向直线移动 A_{12} 和刀具的横向直线移动 A_{13} 。 B_{11} 和 A_{12} 之间保持严格的相对运动关系，用以保证导程； A_{12} 与 A_{13} 之间也保持严格的相对运动关系，用以保证锥度。

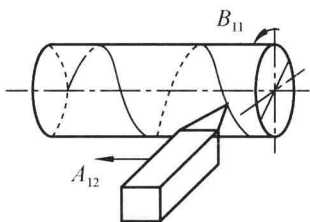


图 1.5 加工螺纹时的表面成形运动

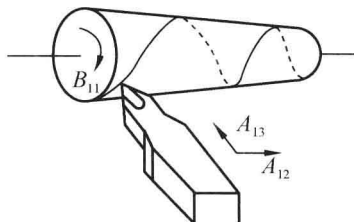


图 1.6 加工圆锥螺纹时的表面成形运动

对于螺旋桨等复杂零件的表面形状，加工它需要十分复杂的表面成形运动。这种成形运动可以分解为更多部分。这只能在多轴联动的数控机床上实现，也就是说运动的每个部分就是数控机床上的一个坐标轴。

复合表面成形运动分解的各个部分，虽然也都是直线运动或旋转运动，与简单运动相像，但本质是不同的。前者是复合运动的一部分，各个部分必须保持严格的相对运动关系，是互相依存，非独立的。而简单运动之间是互相独立的，没有严格的相对运动关系。

2. 主运动和进给运动

表面成形运动按其在切削加工中所起的作用，又可以分为主运动和进给运动。

1) 主运动

主运动是产生切削的运动，可由工件和刀具来实现。主运动可以是旋转运动，也可以是直线往复运动。例如车床上主轴带动工件的旋转；钻、镗、铣以及磨床上主轴带动刀具或砂轮的旋转；龙门刨床工作台带动工件的往复直线运动等。

主运动可能是简单的表面成形运动，也可能是复合的表面成形运动。上面所述的各种机床的主运动都是简单运动，只有车削螺纹的主运动是复合运动。

2) 进给运动

进给运动是维持切削得以继续的运动。进给运动可以是简单运动，也可以是复合运动。在车床上车削圆柱表面时，刀架带动车刀的连续纵向运动；在牛头刨床上加工平面时，刨刀每往复一次，工作台带动工件横向间歇移动一次。以上两个进给运动是简单运动。

在表面成形运动中，必须有而且只能有一个主运动。如果只有一个表面成形运动，则这个运动就是主运动，如用成形刀车削圆柱体。进给运动则可能是一个，也可能没有或多于一个。无论是主运动还是进给运动，都可能是简单运动或复合运动。

3. 辅助运动

机床上除表面成形运动外，还需要辅助运动，以实现机床的各种辅助动作。辅助动作

的种类很多,主要包括以下几种。

1) 各种空行程运动

空行程运动是指进给前后刀具的快速运动。例如,在装卸工件时,为避免碰伤操作者或划伤已加工的表面,刀具与工件应相对退离。在进给开始之前快速引进,使刀具与工件接近。进给结束后应快速退离。例如车床的刀架或铣床的工作台,在进给前后都有快进或快退运动。

2) 切入运动

刀具相对工件切入一定深度,以保证被加工表面获得一定加工尺寸。

3) 分度运动

加工若干个完全相同的均匀分布的表面时,为使表面成形运动得以周期地继续进行的运动称为分度运动。如车削多头螺纹,在车完一条螺纹后,工件相对于刀具要回转 $1/K$ 转 (K 为螺纹头数)才能车削另一条螺纹表面。这个工件相对于刀具的旋转运动就是分度运动。如多工位机床的多工位工作台或多工位刀架的周期性转位或移位都是分度运动。

4) 操纵和控制运动

操纵和控制运动包括启动、停止、变速、部件与工件的夹紧、松开、转位以及自动换刀、自动测量、自动补偿等。

5) 调位运动

加工开始前,把机床的有关部件移到要求的位置,以调整刀具与工件之间的正确相对位置。例如摇臂钻床,为使钻头对准被加工孔的中心,可转动摇臂和使主轴箱在摇臂上移动。又如龙门式机床,为适应工件的不同高度,可使横梁升降。

1.1.3 切削要素

切削速度 v_c 、进给量 f (或进给速度 v_f 、每齿进给量 f_z) 和背吃刀量 a_p , 这3个量的大小不仅对切削过程有着重要的影响,而且也是计算生产率、设计相关工艺装备的依据,故称为切削用量三要素。

1. 切削速度 v_c

指在单位时间内,工件与刀具沿主运动方向的相对位移,单位为 m/min 或 m/s 。

若主运动为回转运动(如车、铣、内外圆磨削、钻、镗),其切削速度 v_c 为工件或刀具最大直径处的线速度,计算公式为

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

式中 d —— 刀具切削刃处的最大直径或工件待加工表面处的直径(mm);

n —— 刀具或工件的转速(r/min)。

若主运动为往复直线运动(如刨削、插削),切削速度 v_c 的平均值为

$$v_c = \frac{2L n_r}{1000} \quad (1-2)$$

式中 L —— 往复运动的行程长度(mm);

n_r —— 主运动每分钟的往复次数(str/min)。

2. 进给量 f

即每转进给量,指主运动每转一转(即刀具或工件每转一转)时,刀具与工件间沿进给

运动方向上的相对位移, 单位为 mm/r 。

进给量还可以用进给速度 v_f 或每齿进给量 f_z 来表示。

进给速度 v_f : 单位时间内, 刀具与工件沿进给运动方向上的相对位移, 单位为 mm/min 或 mm/s 。

每齿进给量 f_z : 对于多齿刀具而言(如麻花钻、铰刀、铣刀等), 当刀具转过一个刀齿时, 刀具与工件沿进给运动方向上的相对位移, 单位为 mm/z 。

上述三者关系为

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

式中 n —— 主运动转速(r/min);

Z —— 刀具的圆周齿数。

3. 背吃刀量 a_p

指已加工表面与待加工表面之间的垂直距离(周铣法除外), 单位为 mm 。

对于外圆车削

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

式中 d_w —— 工件待加工表面处直径(mm);

d_m —— 工件已加工表面处直径(mm)。

对于钻孔

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

式中 d_o —— 麻花钻直径(mm)。

1.2 刀具切削部分的几何角度

刀具的种类繁多, 尽管它们的外形与结构不同, 但切削部分具有共性, 外圆车刀结构简单、应用广泛, 具有代表性。现在以外圆车刀为例, 说明刀具几何角度的相关定义

1.2.1 刀具切削部分的组成

外圆车刀由刀头和刀杆两部分组成, 如图 1.7 所示。刀杆是刀具的夹持部分, 安装在机床的刀架上, 其下表面为车刀的安装基准面, 水平放置。刀头是刀具的切削部分, 担负切削工作。刀具切削部分的结构要素如下。

(1) 前刀面 A_f : 切屑流经的刀面。

(2) 主后刀面 A_o : 与工件的过渡表面相对的刀面, 简称后刀面。

(3) 副后刀面 A'_o : 与工件的已加工表面相对的刀面。

(4) 主切削刃 S : 前刀面与主后刀面的交线, 它担负主要的切削工作。

(5) 副切削刃 S' : 前刀面与副后刀面的交线, 它配合主切削刃工作并最终形成已加工表面。

(6) 刀尖: 主切削刃与副切削刃的交接部分, 可分为尖点刀尖、圆弧刀尖和倒角刀尖, 如图 1.8 所示。

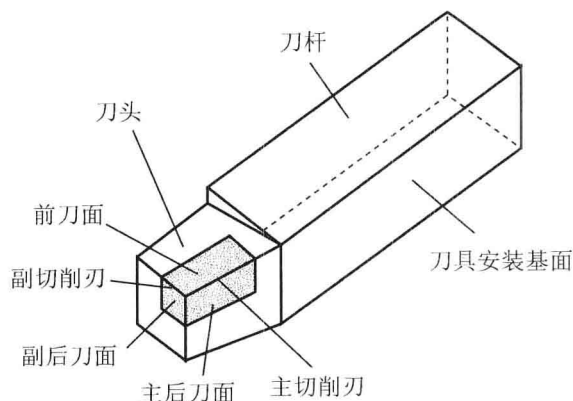


图 1.7 外圆车刀的结构

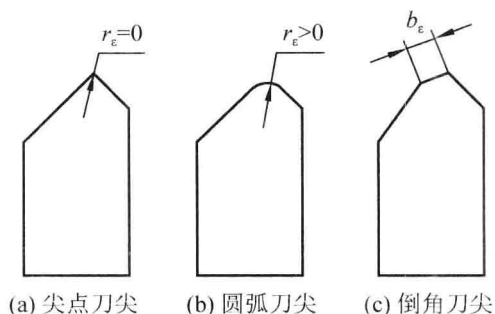


图 1.8 刀类的形状

1.2.2 确定刀具角度的参考平面

为了定义刀具的角度，引入若干假想的参考平面，由这些参考平面组成刀具角度参考系。刀具角度参考系可分为标注参考系和工作参考系。

1. 刀具标注参考系

又称为刀具静态参考系，是在两个假定条件下建立的。

(1) 假定运动条件。不考虑进给运动的大小，即假设进给速度等于零。这样，可以用主运动的方向近似代替合成切削运动方向。

(2) 假定安装条件。假定切削刃选定点与工件的中心线等高，并假定刀杆的中心对称线与进给运动方向垂直。

由于刀具切削刃上各点的运动情况可能不同，因此，在建立刀具角度参考系时，以切削刃上的某一指定点作为研究对象，这一点称为切削刃选定点。

刀具标注参考系由以下几个参考平面组成，如图 1.9 所示。

(1) 基平面 P_r 。通过主切削刃选定点，与该点主运动方向垂直的平面，简称基面。它与车刀的安装基准面平行。

(2) 切削平面 P_s 。通过主切削刃选定点，与切削刃 S 相切，并与基面 P_r 垂直的平面。也就是主运动方向与切削刃在选定点处的切线所构成的平面。因此切削平面 P_s 必垂直于基面 P_r 。

(3) 正交平面 P_o 。通过主切削刃选定点，同时垂直于基面 P_r 和切削平面 P_s 的平面。因此，正交平面 P_o 必垂直于主切削刃 S 在基面 P_r 上的投影。同样，刀具副切削刃 S' 上的正交平面也如此定义，记为 P'_o 。

由 P_r 、 P_s 及 P_o 组成正交平面参考系，三者相互垂直，如图 1.9(a) 所示。

(4) 法平面 P_n 。通过主切削刃选定点，垂直于主切削刃 S 的平面。

由 P_r 、 P_s 、 P_n 组成法平面参考系，如图 1.9(b) 所示。

(5) 假定工作平面 P_f 。通过主切削刃选定点，与基面 P_r 垂直且与进给运动方向平行的平面，也就是主运动方向与进给运动方向所构成的平面。

(6) 背平面 P_p 。通过主切削刃选定点，同时垂直于基面 P_r 和假定工作平面 P_f 的平面。

由 P_r 、 P_s 和 $P_t(P_p)$ 组成假定工作平面(背平面)参考系,如图 1.9(c)所示。

需要说明的是,由于假定了运动和安装条件,在标注角度参考系中确定的刀具角度,往往不能确切地反映切削加工的真实情况。为此,还需建立刀具工作参考系。

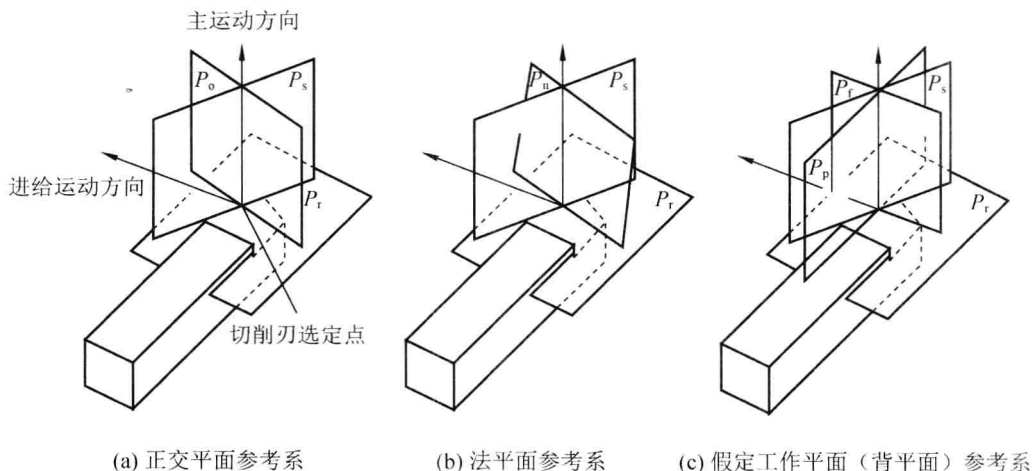


图 1.9 正交平面与法平面参考系

2. 刀具工作参考系

又称刀具动态参考系,是考虑了刀具与工件之间的实际运动情况和实际安装条件下建立的参考系。刀具工作参考系中的参考平面要加“工作”二字,其符号要加注下标“e”,如工作基面用“ P_{re} ”表示,工作切削平面用“ P_{se} ”表示,以区别于刀具标注参考系。

刀具工作参考系的建立方法与刀具标注参考系一样,唯一的区别在于:前者以合成运动方向为依据,而后者以主运动方向为依据。

(1)工作基面 P_{re} 。通过切削刃选定点,垂直于合成运动方向的平面。

(2)工作切削平面 P_{se} 。通过切削刃选定点,与切削刃相切,并垂直于工作基面 P_{re} 的平面。该平面包含合成运动方向。

其他参考平面,如 P_{oe} 、 P_{fe} 、 P_{pe} 和 P_{ne} 的定义与刀具标注参考系下的相应参考平面相同或相似。

1.2.3 刀具的标注角度

在刀具标注参考系中确定的刀具角度称为标注角度,亦称刀具的静态角度。刀具的标注角度是在设计、制造和刃磨刀具时使用的角度。

1. 在正交平面参考系($P_r - P_s - P_o$)内标注的角度

(1)前角 γ_o 。在正交平面 P_o 中测量的前刀面 A_y 与基面 P_r 之间的夹角。

(2)后角 α_o 。在正交平面 P_o 中测量的后刀面 A_x 与切削平面 P_s 之间的夹角。

刀具的前角和后角是有正负之分的,如图 1.10 所示。若基面 P_r 位于刀具实体之外,前角为正值;若基面 P_r 位于刀具实体之内,前角为负值;若基面 P_r 与前刀面 A_y 重合,则前角为零度。后角 α_o 的正负判别方法与前角相同。

(3)楔角 P_o 。在正交平面 P_o 中测量的前刀面 A_y 与后刀面 A_x 之间的夹角。

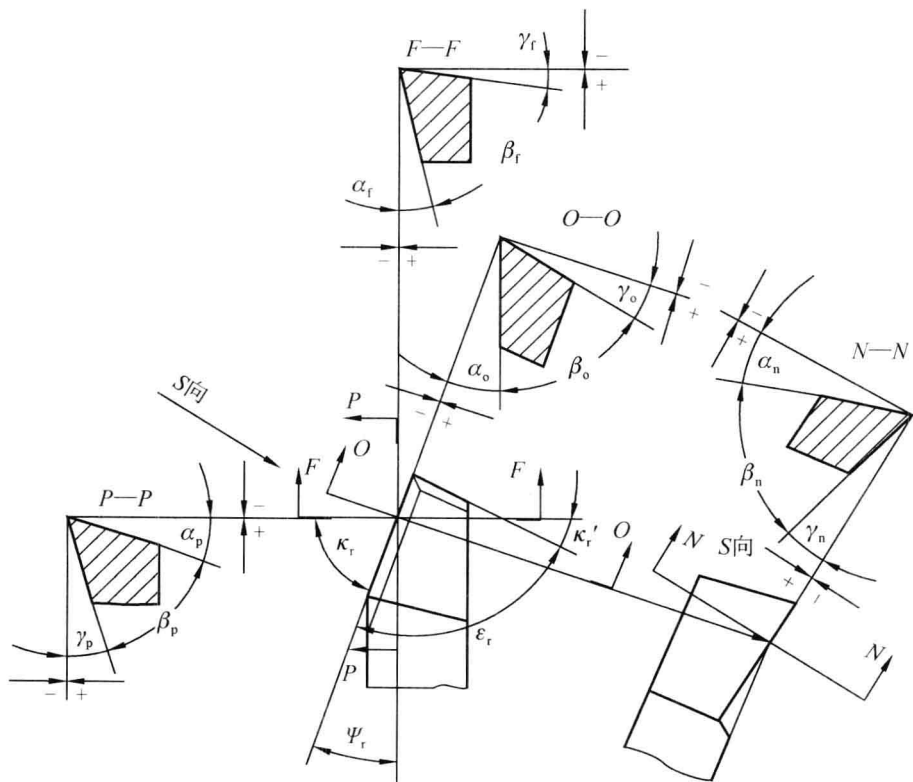


图 1.10 车刀的标注角度

由上述定义可知

$$\gamma_o + \alpha_o + \beta_o = 90^\circ \quad (1-6)$$

(4) 主偏角 K_r 。在基面 P_r 中测量的主切削刃 S 与进给方向之间的夹角。

(5) 副偏角 K'_r 。在基面 P_r 中测量的副切削刃 S' 与进给方向之间所夹的锐角。

(6) 刀尖角 ϵ_r 在基面 P_r 中测量的主切削刃 S 与副切削刃 S' 之间的夹角。

由图 1.10 可以看出

$$k_r + k'_r + \epsilon_r = 180^\circ \quad (1-7)$$

(7) 余偏角 Ψ_r 。在基面 P_r 中测量的主切削刃 S 与背平面 P_p 之间的夹角。

则应有

$$\kappa_r + \Psi_r = 90^\circ \quad (1-8)$$

(8) 刃倾角 λ_s 。在切削平面 P_s 中测量的主切削刃 S 与基面 P_r 之间的夹角。

刃倾角也有正负之分, 如图 1.11 所示。判断方法是: 将刀具水平放置, 若刀尖位于切削刃最高点, 则刃倾角为正值; 若刀尖位于切削刃最低点, 则刃倾角为负值。

2. 在法平面参考系 ($P_r - P_s - P_n$) 内标注的角度

(1) 前角 γ_n 。在法平面 P_n 中测量的前刀面 A_y 与基面 P_r 之间的夹角。

(2) 后角 α_n 。在法平面 P_n 中测量的后刀面 A_a 与切削平面 P_s 之间的夹角。

(3) 楔角 β_n 。在法平面 P_n 中测量的前刀面 A_y 与后刀面 A_a 之间的夹角。

如图 1.10 所示, 不难得出

$$\gamma_n + \alpha_n + \beta_n = 90^\circ \quad (1-9)$$

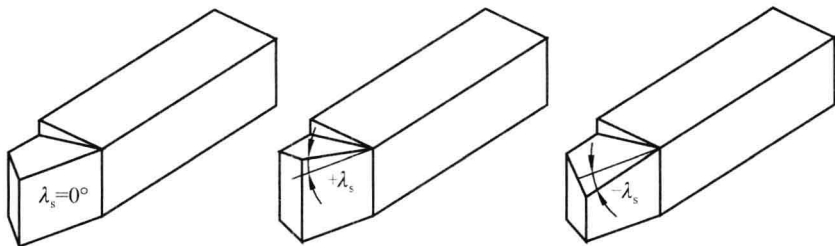


图 1.11 刃倾角的正负

同样,在假定工作平面参考系($P_r - P_s - P_f$)及背平面参考系($P_r - P_s - P_p$)中也可分别测量出 γ_f (侧前角)、 α_f (侧后角)、 β_f (侧楔角)及 γ_p (背前角)、 α_p (背后角)、 β_p (背楔角)等。

可见,在不同的测量平面中(也就是测量方向不同),可测得不同的前角和后角,在数值上也可根据相关公式进行换算。不同测量平面的前角和后角应用的场合也不同,如在刀具设计时,应用正交平面前、后角;在刀具检验和刃磨时,可以应用法平面前、后角;对于某些成形刀具,如成形车刀,其名义前、后角在侧平面中测量等。

在副切削刃的正交平面 P_o 中,同样也可测量出副前角 γ_o 和副后角 α_o 。对于平面型前刀面的刀具,若已知 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 κ'_r 、 λ_s 和 α_o ,则刀具的刀面和切削刃在空间的方位就能够确定。因此,将上述6个角度称为刀具的基本角度,设计刀具时需要在图样上标注。而其他角度,如 ϵ_r 、 ψ_r 、 γ_n 、 α_n 、 β_n 、 γ_f 、 α_f 、 β_f 、 γ_p 、 α_p 、 β_p 等,可根据基本角度通过计算求得,这些角度称为派生角度。

1.2.4 刀具的工作角度

在切削过程中,由于受合成切削运动和刀具安装的影响,真正起作用的不是刀具的标注角度,而是由工作参考系下确定的刀具角度,这个角度称为刀具的工作角度。

下面针对进给运动和刀具安装情况两方面来叙述对刀具工作角度的影响。

1. 进给运动的影响

1) 横向进给的影响

横向进给时,刀具的进给方向与工件的轴线垂直,以切断刀为例,如图1.12所示。

当不考虑进给运动时,切削刃选定点相对于工件的运动轨迹为一圆周,此时基面 P_r

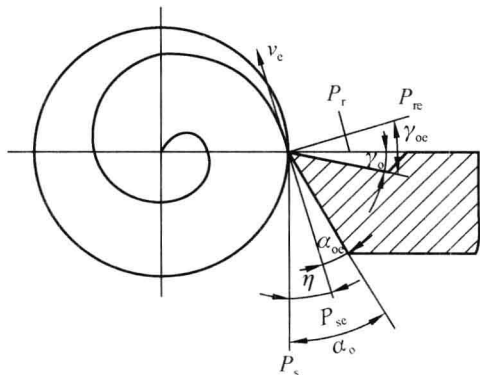


图 1.12 横向进给运动对工作角度的影响

与刀具的安装基面(刀杆底平面)平行,切削平面 P_s 与刀具的安装基面垂直,此时的前角 γ_o 和后角 α_o 为刀具的标注角度。当考虑进给运动后,切削刃选定点相对于工件的运动轨迹为一螺旋线,合成切削速度 v_c 方向为切削刃选定点所对应螺旋线处的切线方向,工作基面 P_{re} 应与该切线方向垂直,而工作切削平面 P_{se} 与工作基面 P_{re} 垂直。于是, P_{re} 、 P_{se} 均相对于 P_r 、 P_s 逆时针转动了一个 η 角。可见,刀具的实际工作前角 γ_{oe} 增大,实际工作后角 α_{oe} 减小。刀具的实际工作前角和后角与标注角度的关系为

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

$$\tan \eta = v_f / v_c = f / \pi d \quad (1-11)$$

式中 η —— 合成切削速度角($^\circ$);

d —— 切削刃选定点处的工件直径(mm)。

由上式可知, η 随着 d 的减小而增大, 当切断刀切至靠近工件轴线时, 刀具的工作后角 α_{oe} 是较小的负数, 此时, 工件不是被刀具切断, 而是被刀具的后刀面挤断。

2) 纵向进给的影响

纵向进给时, 以外圆车削为例, 刀具的进给方向与工件的轴线平行, 如图 1.13 所示。

同上述分析一样, 当不考虑进给运动时, 基面 P_r 与刀杆底平面平行, 切削平面 P_s 与刀杆底平面垂直, 此时侧前角 γ_f 和侧后角 α_f 为刀具的标注角度。当考虑进给运动后, 工作基面 P_{re} 应与合成切削速度 v_c 方向垂直, 而工作切削平面 P_{se} 与工作基面 P_{re} 垂直。在假定工作平面 P_f 中, P_{re} 、 P_{se} 均相对于 P_r 、 P_s 逆时针转动了一个 η_i 角。可以看出, 刀具的实际工作前角 γ_{fe} 增大, 实际工作后角 α_{fe} 减小, 和标注角度的关系为

$$\gamma_{fe} = \gamma_f + \eta_i \quad \alpha_{fe} = \alpha_f - \eta_i \quad (1-12)$$

$$\tan \eta_i = f / \pi d \quad (1-13)$$

式中 η_i —— 假定工作平面中测量的合成切削速度角($^\circ$);

d —— 切削刃选定点处的工件直径(mm)。

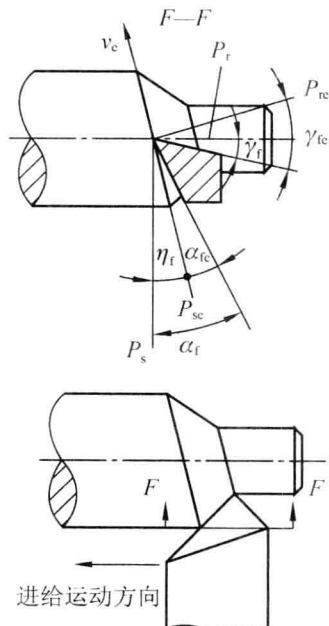


图 1.13 纵向进给运动对工作角度的影响

2. 刀具安装的影响

1) 切削刃选定点安装高低的影响

以切断刀为例, 如图 1.14 所示, 若切削刃选定点高于工件中心线, 工作基面 P_{re} 应与切削刃选定点处的主运动方向垂直(不考虑进给运动), 而工作切削平面 P_{se} 与该点主运动方向平行, 工作参考系相对于标注参考系转动了一个 μ 角。可见, 刀具的实际工作前角 γ_{oe} 增大, 实际工作后角 α_{oe} 减小。刀具的实际工作前角和后角与标注角度的关系为

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu \quad \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu \quad (1-14)$$

$$\sin \mu = 2h/d \quad (1-15)$$

式中 h —— 切削刃选定点高于工件中心线的距离(mm);

d —— 切削刃选定点处的工件直径(mm)。

若切削刃选定点低于工件中心线, 上式中 μ 的符号相反。对于圆孔加工(如镗削), 上式中 μ 的符号与外圆车削相反。

2) 刀杆中心线与进给方向不垂直的影响

如图 1.15 外圆车削所示, 此时, 主要影响刀具

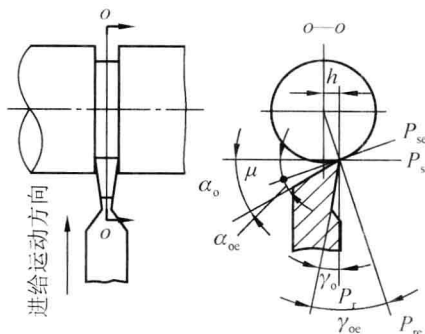


图 1.14 切削刃选定点安装高低对工作角度的影响