

机械设计制造及其自动化专业本科系列规划教材

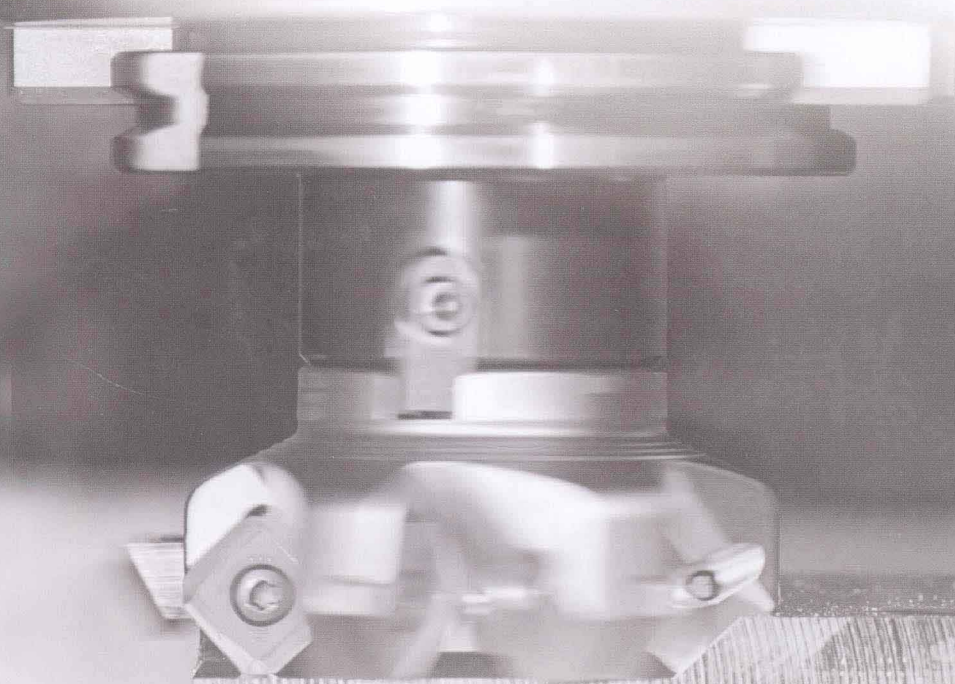
XIANDAI
QIEXIAO DAOJU

现代切削刀具



主 编 周利平

副主编 李玉玲 刘小莹 陈 朴



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

现代切削刀具

主 编 周利平

副主编 李玉玲 刘小莹 陈 朴

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书涵盖金属切削基本理论、现代刀具材料、现代切削刀具设计、数控工具系统等内容,全面采用了GB/T 12204—2010,GB/T 23536—2009等最新国家标准。全书共10章,主要介绍刀具切削部分的基本定义、金属切削过程的基本理论、刀具材料、数控车削刀具、成形车刀、孔加工刀具、铣刀、拉刀、螺纹刀具、齿轮刀具、数控机床工具系统及数控刀具管理系统,每章后附有思考题。

本书可作为高等工科院校机械设计制造及其自动化专业的本科教材,也可作为职业技术学院的同类专业教材,还可供从事金属切削刀具设计、应用及相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代切削刀具/周利平主编. —重庆:重庆大学出版社,2013.12
机械设计制造及其自动化专业本科系列规划教材
ISBN 978-7-5624-7513-2

I. ①现… II. ①周… III. ①刀具(金属切削)—高等学校—教材 IV. ①TG71

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第146493号

现代切削刀具

主 编 周利平
副主编 李玉玲 刘小莹 陈 朴
策划编辑:彭 宁
责任编辑:李定群 高鸿宽 版式设计:彭 宁
责任校对:贾 梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行
出版人:邓晓益
社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号
邮编:401331
电话:(023) 88617190 88617185(中小学)
传真:(023) 88617186 88617166
网址: <http://www.cqup.com.cn>
邮箱: fxk@cqup.com.cn (营销中心)
全国新华书店经销
万州日报印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17.25 字数:431千
2013年12月第1版 2013年12月第1次印刷
印数:1—3 000
ISBN 978-7-5624-7513-2 定价:32.00元



本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

机械制造,特别是现代制造业的主要加工方法是切削加工,刀具是实现切削加工的工具,又称切削工具。在生产实践中,由于变革刀具相对于变革机床、夹具,其投入少、见效快,善于有效使用和改革刀具的企业家,往往能取得事半功倍的效果。重视刀具,首先体现在刀具的选型,其次是要优化加工程序,以充分发挥刀具的内在潜力,达到优质、高产、高寿命。重视刀具,归根结底体现在刀具的人才培养上,即培养既懂刀具选型又熟悉刀具设计应用的工程师。随着切削加工进入现代切削技术新阶段,新型刀具、新材料、新工艺的蓬勃发展,新知识、新的设计方法的广泛应用,在机械制造领域我国现代切削刀具的产量、功能和技术水平都有了长足进步,产业部门急需熟悉、掌握现代切削刀具设计及应用技术的人才。

本书围绕机械设计制造及其自动化专业应用型人才培养以“工艺—装备—控制”为专业课程主线的课程设置模式,在实施新世纪教改项目工程基础上,结合国家特色专业人才培养模式和课程体系的改革,重组课程教学内容,总结多年教学经验及西华大学数控刀具研究所的实际工作经验,充分结合最新科技成果,采用 GB/T 12204—2010, GB/T 23536—2009 等最新国家标准,由西华大学、陕西理工学院长期从事现代切削刀具课程教学的一线骨干教师编著。本书以现代切削刀具的设计方法为主线,以切削加工基本理论、刀具材料选用、各类典型刀具结构设计、数控工具系统应用为重点,注重学生分析问题和解决问题能力的培养,使学生系统掌握现代切削刀具设计与应用的基本理论、基本知识和基本方法。

全书共 10 章,主要介绍刀具切削部分的基本定义、金属切削过程的基本理论、刀具材料、数控车削刀具、成形车刀、数控机床用孔加工刀具、铣刀、拉刀、螺纹刀具、齿轮刀具、数控机床工具系统及数控刀具管理系统,每章后附有思考题,使读

者了解数控刀具及其工具系统的基本结构,熟悉专用刀具的设计原理及方法,具有正确选用标准刀具的能力。

本书可作为高等工科院校机械设计制造及其自动化专业的本科教材,也可作为职业技术学院的同类专业教材,还可供从事金属切削刀具设计、应用及相关工程技术人员参考。

本书由西华大学周利平教授担任主编,陕西理工学院李玉玲、西华大学刘小莹、陈朴担任副主编。各章编写分工为陈朴编写第1、第2章,刘小莹编写第3、第4、第7、第8章,李玉玲编写第6、第9章,周利平编写第5章,邓远超编写第10章。

在本书编写中,得到了西华大学、陕西理工学院两校教务处、机械工程与自动化学院的大力支持,西华大学研究生张海生、刘兰兰参与了部分资料整理及图形制作等工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者和同仁不吝指正。

编 者
2013 年 3 月

目 录

第1章 切削加工基础	1
1.1 切削过程与刀具几何参数的基本定义	1
1.1.1 切削运动和切削用量	1
1.1.2 刀具切削部分的几何形状	3
1.1.3 切削层与切削方式	11
1.2 金属切削过程的基本理论	14
1.2.1 切屑的形成	14
1.2.2 积屑瘤与鳞刺	18
1.2.3 切削力与切削功率	20
1.2.4 切削热与切削温度	24
1.2.5 刀具磨损和破损	28
1.3 切削条件的合理选择	34
1.3.1 工件材料的切削加工性	34
1.3.2 刀具合理参数的选择	38
1.3.3 切削用量的选择	44
1.3.4 切削液	47
1.4 磨削	49
1.4.1 砂轮	49
1.4.2 磨削过程	54
思考题	56
第2章 刀具材料	58
2.1 刀具材料应具备的性能	58
2.2 刀具材料的种类	59
2.2.1 高速工具钢	59
2.2.2 硬质合金	61
2.2.3 陶瓷材料	64
2.2.4 金刚石	65
2.2.5 立方氮化硼	65
2.2.6 涂层刀片	65
2.3 刀具材料的选用	66
思考题	68

第3章 数控车削刀具	69
3.1 数控车削刀具的类型与用途	69
3.1.1 按用途分类	69
3.1.2 按结构分类	70
3.2 机夹可转位车刀	71
3.2.1 可转位车刀的组成	71
3.2.2 可转位车刀的夹紧方式	71
3.2.3 可转位车刀及刀片的 ISO 代码	73
3.2.4 车刀角度的换算	75
3.2.5 可转位车刀几何角度的设计计算	80
3.2.6 可转位车刀的合理使用	83
3.3 数控车床用车刀综合分析	84
思考题	87
第4章 成形车刀	88
4.1 成形车刀的种类	88
4.2 成形车刀的前角与后角	90
4.3 径向成形车刀的廓形设计	93
4.3.1 廓形设计的必要性	93
4.3.2 棱体成形车刀的廓形设计	94
4.3.3 圆体成形车刀的廓形设计	95
4.4 成形车刀加工圆锥表面的双曲线误差	97
4.4.1 双曲线误差产生的原因	97
4.4.2 消除(或减小)双曲线误差的措施	98
4.5 成形车刀样板	99
思考题	100
第5章 孔加工刀具	101
5.1 孔加工刀具的种类	101
5.1.1 用于实体工件上的孔加工刀具	101
5.1.2 对已有孔进行再加工的刀具	102
5.2 麻花钻	103
5.2.1 麻花钻结构要素	103
5.2.2 麻花钻的几何角度	106
5.2.3 钻头顶角对钻削加工的影响	109
5.2.4 钻削原理	111
5.2.5 麻花钻的磨损	114
5.2.6 麻花钻的结构缺陷与改进措施	114
5.3 可转位浅孔钻	117
5.3.1 结构特点	117

5.3.2	设计原则	118
5.3.3	几何参数	121
5.4	镗刀	121
5.4.1	单刃镗刀	121
5.4.2	双刃镗刀	122
5.5	铰刀	124
5.5.1	高速钢铰刀	124
5.5.2	硬质合金铰刀	126
5.6	孔加工复合刀具	128
5.6.1	孔加工复合刀具的特点	128
5.6.2	常用孔加工复合刀具	128
	思考题	129
第6章	数控铣削刀具	131
6.1	铣削要素与切削层参数	131
6.1.1	铣削要素	131
6.1.2	切削层参数	132
6.1.3	铣削力及功率	134
6.2	铣刀几何角度	136
6.2.1	圆柱铣刀的几何角度	136
6.2.2	面铣刀(端铣刀)的几何角度	138
6.3	铣削方式	138
6.3.1	端削的铣削方式及其特点	139
6.3.2	圆周铣削的铣削方式及其特点	139
6.4	数控铣刀的种类	141
6.5	可转位铣刀	145
6.5.1	可转位铣刀刀片的夹紧方式	145
6.5.2	可转位铣刀刀片的 ISO 代码	146
6.6	铣刀与铣削用量的选择	149
6.6.1	数控铣刀的选择	150
6.6.2	铣削用量的选择	152
	思考题	154
第7章	拉刀	155
7.1	拉刀的结构	155
7.1.1	概述	155
7.1.2	拉刀种类与用途	155
7.1.3	拉刀的结构组成	158
7.2	拉削图形	159
7.2.1	分层式	159

7.2.2 分块式	160
7.2.3 综合式	161
7.3 圆孔拉刀设计	161
7.3.1 工作部分设计	161
7.3.2 拉刀其他部分设计	168
7.3.3 拉刀强度及拉床拉力校验	169
7.3.4 综合式圆孔拉刀设计举例	169
思考题	174
第8章 螺纹刀具	175
8.1 螺纹刀具的种类	175
8.1.1 切削螺纹刀具	175
8.1.2 滚压螺纹刀具	178
8.2 丝锥	179
思考题	182
第9章 齿轮刀具	183
9.1 齿轮刀具的主要类型	183
9.1.1 按被加工齿轮的类型分类	183
9.1.2 按加工原理分类	183
9.1.3 齿轮刀具的选用	185
9.2 齿轮滚刀和蜗轮滚刀	186
9.2.1 齿轮滚刀	186
9.2.2 蜗轮滚刀	195
9.2.3 蜗轮飞刀	200
9.3 插齿刀	202
9.3.1 插齿刀的工作原理、类型和应用	202
9.3.2 插齿刀的前、后刀面及前角、后角	205
9.3.3 外啮合直齿插齿刀的设计和计算	208
9.4 剃齿刀	215
9.4.1 剃齿刀的类型及应用	215
9.4.2 剃齿刀的工作原理	216
9.4.3 剃齿刀主要结构参数的确定	218
9.4.4 剃前刀具	221
9.5 非渐开线齿轮刀具	223
9.5.1 非渐开线齿形刀具的种类与工作原理	224
9.5.2 展成滚刀齿形的设计原理	225
思考题	226

第 10 章 数控工具系统	228
10.1 概述	228
10.1.1 对数控刀具的要求	229
10.1.2 数控刀具的更换和预调	229
10.2 镗铣类数控工具系统	231
10.2.1 TMG 工具系统	231
10.2.2 TSG 工具系统	235
10.2.3 新型工具系统	238
10.3 数控车削工具系统	246
10.3.1 通用型数控车削工具系统的发展	246
10.3.2 更换刀具头部的数控车削工具系统的发展	248
10.4 刀具管理系统	249
10.4.1 刀具管理系统的含义	250
10.4.2 刀具管理的意义	250
10.4.3 刀具管理系统的职能	250
10.4.4 典型刀具管理系统介绍	252
10.4.5 国内外刀具管理系统的研究及应用现状	259
思考题	261
参考文献	262

第 1 章

切削加工基础

1.1 切削过程与刀具几何参数的基本定义

1.1.1 切削运动和切削用量

(1) 工件上的加工表面

如图 1.1 所示,在切削加工中,工件上通常存以下 3 个表面:

1) 待加工表面

它是工件有待切除之表面。随着切削过程的进行,它将逐渐减小,直至全部切去。

2) 已加工表面

它是工件上经刀具切削后形成的表面。随着切削过程的进行,它将逐渐扩大。

3) 过渡表面(加工表面)

它是工件上由切削刃形成的那部分表面,它在下一切削行程,刀具或工件的下一转里被切除,或者由下一切削刃切除。它总是处在待加工表面与已加工表面之间。

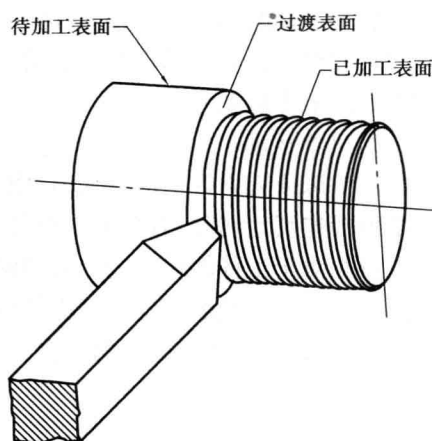


图 1.1 工件表面

(2) 切削运动

在金属切削机床上切削工件时,工件与刀具之间要有相对运动,这个相对运动即称为切削运动。

如图 1.2 所示为外圆车削时的情况。工件的旋转运动形成母线(圆),车刀的纵向直线运动形成导线(直线),圆母线沿直线运动时就形成了工件上的外圆表面,故工件的旋转运动和车刀的纵向直线运动就是外圆车削时的切削运动。

如图 1.3 所示为在牛头刨床上刨平面的情况。刨刀作直线往复运动形成母线(直线),工件作间歇直线运动形成导线,直母线沿直导线运动时就形成了工件上的平面,故在牛头刨床上刨平面时,刨刀的直线往复运动和工件的间歇直线运动就是切削运动。

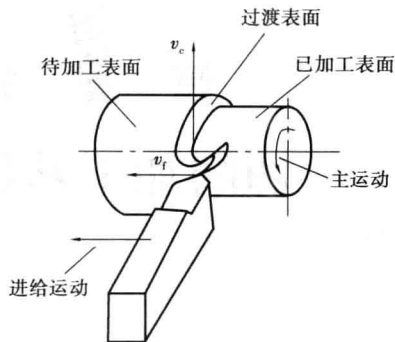


图 1.2 外圆车削的切削运动与加工表面

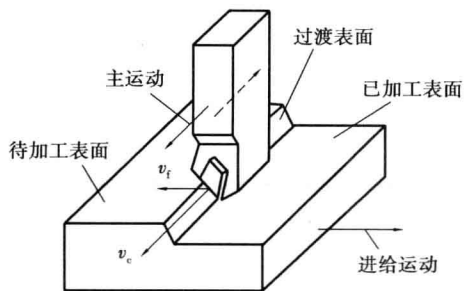


图 1.3 平面刨削的切削运动与加工表面

在其他各种切削加工方法中,工件和刀具同样也必须完成一定的切削运动。切削运动通常按其在切削中所起的作用可分为主运动和进给运动两种。

1) 主运动

由机床或人力提供的主要运动,它使刀具与工件之间产生相对运动,从而使刀具前面接近工件。主运动的方向为切削刃选定点相对于工件的瞬时运动的方向。

这个运动的速度最高,消耗的功率最大。例如,外圆车削时工件的旋转运动和平面刨削时刀具的直线往复运动都是主运动。主运动的形式可以是旋转运动或直线运动,但每种切削加工方法中主运动只有一个。

2) 进给运动

由机床或人力提供的运动,它使刀具与工件之间产生附加的相对运动,加上主运动,即可不断地或连续地切除切屑,并得出具有所需几何特性的已加工表面。进给运动方向为切削刃选定点相对于工件的瞬时进给运动的方向。例如,外圆车削时车刀的纵向连续直线运动和平面刨削时工件的间歇直线运动都是进给运动。进给运动可能不止一个,它的运动形式可以是直线运动、旋转运动或两者的组合。

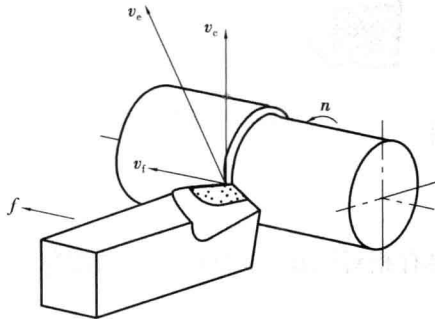


图 1.4 外圆车削时的合成运动

总之,任何切削加工方法都必须有一个主运动,可以有一个或几个进给运动。主运动和进给运动可由工件或刀具分别完成,也可由刀具单独完成(如在钻床上钻孔)。

3) 合成切削运动

主运动和进给运动可以同时进行(车削、铣削等),也可交替进行(刨削等)。合成切削运动是由主运动和进给运动合成的运动。刀具切削刃上选定点相对于工件的瞬时合成切削运动方向为合成切削运动方向,其速度称为合成切削速度。该速度方向与过渡表面相切,如图 1.4 所示。合成切削速度等于主运动速度和进给运动速度的矢量

和。即

$$v_c = v_c + v_f \quad (1.1)$$

(3) 切削用量

所谓切削用量,是指切削速度、进给量和背吃刀量三者的总称。

1) 切削速度

切削速度是切削加工时,切削刃上选定点相对于工件的瞬时速度。切削刃上各点的切削速度可能是不同的。当主运动为旋转运动时,工件或刀具最大直径处的切削速度为

$$v_c = \frac{\pi d n}{1\,000} \quad \text{m/s 或 m/min} \quad (1.2)$$

式中 d ——完成主运动的工件或刀具的最大直径,mm;

n ——主运动的转速,r/s 或 r/min。

2) 进给量

进给量是刀具在进给运动方向上相对工件的位移量,可用刀具或工件每转或每行程的位移量来度量。例如,外圆车削的进给量 f 是工件每转一转时车刀相对于工件在进给运动方向上的位移量,其单位为 mm/r;又如,在牛头刨床上刨平面时,其进给量 f 是刨刀每往复一次,工件在进给运动方向上相对于刨刀的位移量,其单位为 mm/双行程。

多齿刀具每转或每行程中每齿相对工件在进给运动方向上的位移量称为每齿进给量,用 f_z 表示。

在切削加工中,也有用进给速度 v_f 来表示进给运动的。所谓进给速度 v_f ,是指切削刃上选定点相对于工件的进给速度,其单位为 mm/s。

3) 背吃刀量

吃刀量是指两平面间的距离,该两平面都垂直于所选定的测量方向,并分别通过作用切削刃上两个使上述两平面间的距离为最大的点,用 a 或 a_s 表示。

在通过切削刃基点(简单而言,即是实际参加切削的切削刃长度上的等分点,是一个特定的参考点)并垂直于工作平面(通过切削刃选定点并与合成切削速度方向相垂直的平面)的方向上测量的吃刀量称为背吃刀量,用 a_p 或 a_p 表示。对外圆车削和平面刨削而言,背吃刀量等于工件已加工表面与待加工表面间的垂直距离。

1.1.2 刀具切削部分的几何形状

(1) 刀具的几何结构

切削刀具的种类繁多,结构形状各异。但就其切削部分而言,都可视为外圆车刀切削部分的演变。因此,以外圆车刀为例来介绍刀具切削部分的一般术语,这些术语同样也适用于其他金属切削刀具。

1) 刀具结构

如图1.5所示为最常用的外圆车刀。它由刀柄(夹持部分)和刀体(夹持刀条或刀片的部分)两大部分构成。夹持部分一般为矩形(外圆车刀)或圆形(镗刀),用于安装或组装刀具。在刀体处形成切削部分,该处应根据需要制造成多种形状,用于对工件的切削。

2) 刀具切削部分的组成

如图 1.5、图 1.6 所示,车刀切削部分的结构要素包括 3 个切削刀面、两条切削刃和一个刀尖。

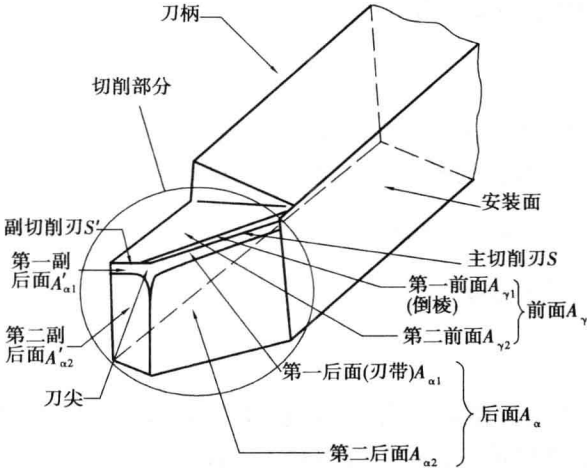


图 1.5 车刀的几何构成

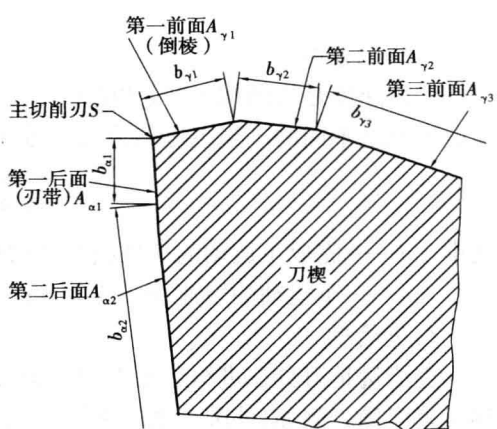


图 1.6 刀具的前面与后面

前面 A_{γ} ——切下的切屑沿其流出的表面。当前面由若干彼此相交的面构成时,由切削刃及远形成第一前面(一般为倒棱)、第二前面等。

后刀面 A_{α} ——与工件上切削中产生的表面相对的表面。当后面由若干彼此相交的面构成时,由切削刃及远形成第一后面、第二后面等。根据其位置与作用,又分为主后面和副后面。

主后面 A_{α} ——同前面相交形成主切削刃的后面。它是与工件上过渡表面相对的表面。

副后面 A'_{α} ——同前面相交形成副切削刃的后面。它是与工件上已加工表面相对的表面。

切削刃——刀具前面上拟作切削用的刃。根据其位置与作用,可分为主切削刃和副切削刃。

主切削刃 S ——起始于切削刃上主偏角为零的点,并至少有一段切削刃拟用来在工件上切出过渡表面的那个整段切削刃。它其实就是前面与主后面的交线,它承担主要的金属切除工作。

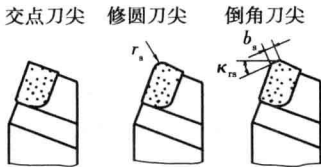


图 1.7 刀尖在基面上的投影图

副切削刃 S' ——除主切削刃以外的刃,也起始于主偏角为零的点,但它向背离主切削刃的方向延伸。它其实是前面与副后面的交线,它参与部分的切削工件并最终形成工件上的已加工表面。

刀尖——主、副切削刃的连接处相当少的一部分切削刃。可以是两刃的交点,但多数刀具将此处磨成圆弧或一小段直线,如图 1.7 所示。

(2) 刀具切削部分的几何角度

刀具角度是确定刀具切削部分几何形状的重要参数。用于定义和规定刀具角度的各基

准坐标平面称为参考系。下面以外圆车刀为例来介绍。

1) 刀具角度参考系

刀具角度参考系有以下两类:

刀具静止参考系:它是用于定义刀具设计、制造、刃磨和测量时几何参数的参考系。由此定义的刀具角度称为刀具角度(或刀具标注角度)。

刀具工作参考系:它是规定刀具切削工作时几何参数的参考系。由此定义的刀具角度称为刀具工作角度。

在建立刀具静止参考系时,特作以下两点假设:

①假定运动条件。首先给出刀具的假定主运动方向和假定进给运动方向,其次假定进给速度值很小($v_f = 0$)。

②假定安装条件:

a. 假定标注角度参考系的诸平面平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线(如车刀底面,车刀刀杆轴线,铣刀、钻头的轴线等)。也可以说,假定刀具的安装位置恰好使其底面或轴线与参考系的平面平行或垂直。

b. 假定车刀的刀尖或主切削刃上选定点与工件中心等高。

c. 假定车刀刀杆中心线与工件轴心线垂直。

作了上述假设以后,可建立以下静止参考系的各参考平面(见图1.8):

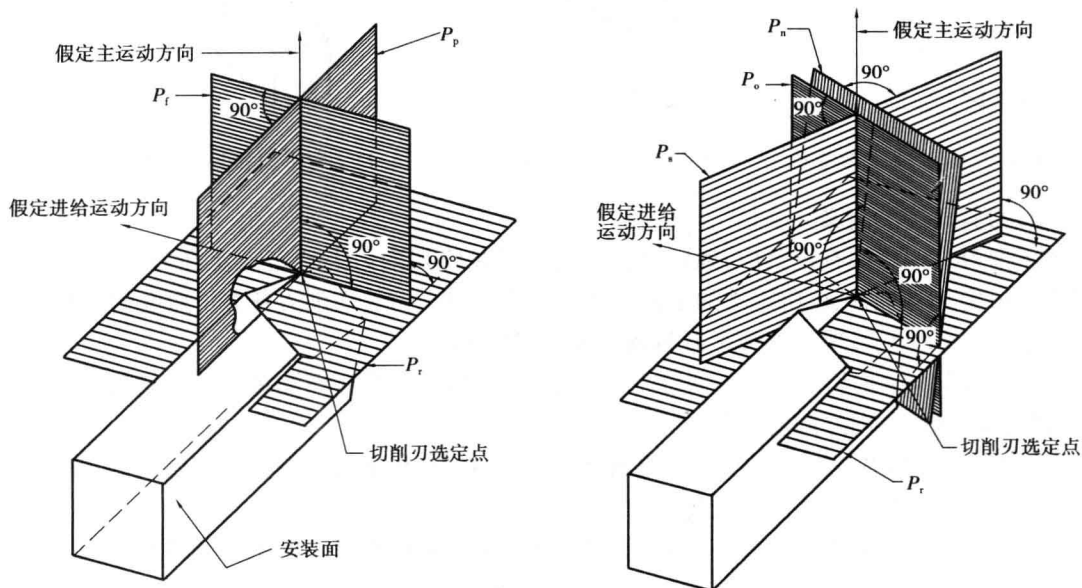


图1.8 刀具静止参考系的平面

①基面 P_r : 过切削刃上选定点的平面,它垂直于该点假定主运动方向。基面应平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量时的某一安装定位平面。对于普通车刀,它的基面总是平行于刀杆的底面。

②假定工作平面 P_f : 过切削刃上的选定点并垂直于基面,与进给运动方向平行,它平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线。

③背平面 P_p : 过切削刃上选定点并垂直于基面和假定工作平面的平面。

④切削平面 P_s : 过切削刃上选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面。由主切削刃定义的切削平面为主切削平面 P_{s1} , 由副切削刃定义的切削平面为副切削平面 P'_{s2} 。

⑤法平面 P_n : 过切削刃上选定点并垂直于切削刃或其切线的平面。

⑥正交平面 P_o : 过切削刃上选定点并同时垂直于基面和切削平面的平面。

一般而言,由基面、切削平面和正交平面构成正交平面参考系,如图 1.9 所示。由基面、切削平面和法平面构成法平面参考系,如图 1.10 所示。由基面、假定工作平面和背平面构成了背平面和假定工作平面参考系,如图 1.11 所示。我国一般兼用正交平面参考系和法平面参考系,背平面和假定工作平面参考系则常见于美、日文献中。但必须指出,在 GB/T 12204—2010 中,不再强调以上 3 个参考系,而是如图 1.8 所示那样由前述 6 个参考平面直接形成参考系。

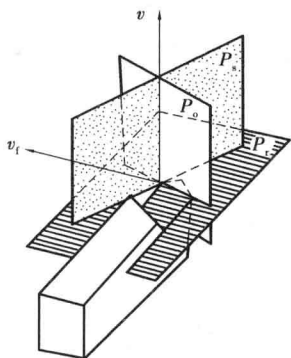


图 1.9 正交平面参考系

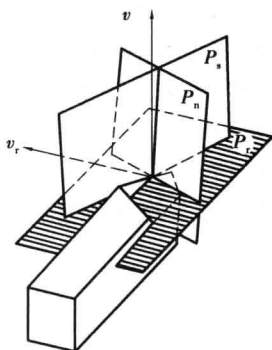


图 1.10 法平面参考系

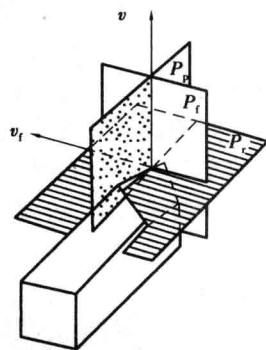


图 1.11 背平面和假定工作平面参考系

2) 刀具角度的定义

不少刀具角度都有正负值,确定其正负的约定是将切削刃上选定点定在刀尖处,并假定刀尖是锐尖,则根据该点所定义的平面和运动方向来定义刀具切削刃各方位角度的正负。

如图 1.12 所示,现以外圆车刀为例定义各刀具角度。

①主偏角 κ_r : 主切削平面与假定工作平面间的夹角,在基面中测量。即主切削刃在基面上的投影与进给方向之间的交角。

②副偏角 κ'_r : 副切削平面与假定工作平面间的夹角,在基面中测量。即副切削刃在基面上的投影与进给反方向之间的夹角。

③余偏角 ψ_r : 主切削平面与背平面间的夹角,在基面中测量。即主切削刃在基面上的投影与进给方向垂线之间的夹角,显然, $\psi_r = 90^\circ - \kappa_r$ 。

④刀尖角 ε_r : 主切削平面与副切削平面间的交角,在基面中测量。即主、副切削刃在基面上投影之间的交角, $\varepsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r)$ 。

⑤刃倾角 λ_s : 主切削刃与基面间的夹角,在主切削平面中测量。当刀尖在主切削刃上为最低点时, λ_s 为负值;反之,当刀尖在主切削刃上为最高点时, λ_s 为正值。

⑥前角 γ_o : 前面与基面间的夹角,在正交平面中测量。在法平面中测量的是法前角 γ_n , 在假定工作平面中测量的是侧前角 γ_f , 在背平面中测量的是背前角 γ_p 。

⑦后角 α_o : 后面与切削平面间的夹角, 在正交平面中测量。在法平面中测量的是法后角 α_n , 在假定工作平面中测量的是侧后角 α_r , 在背平面中测量的是背后角 α_p 。

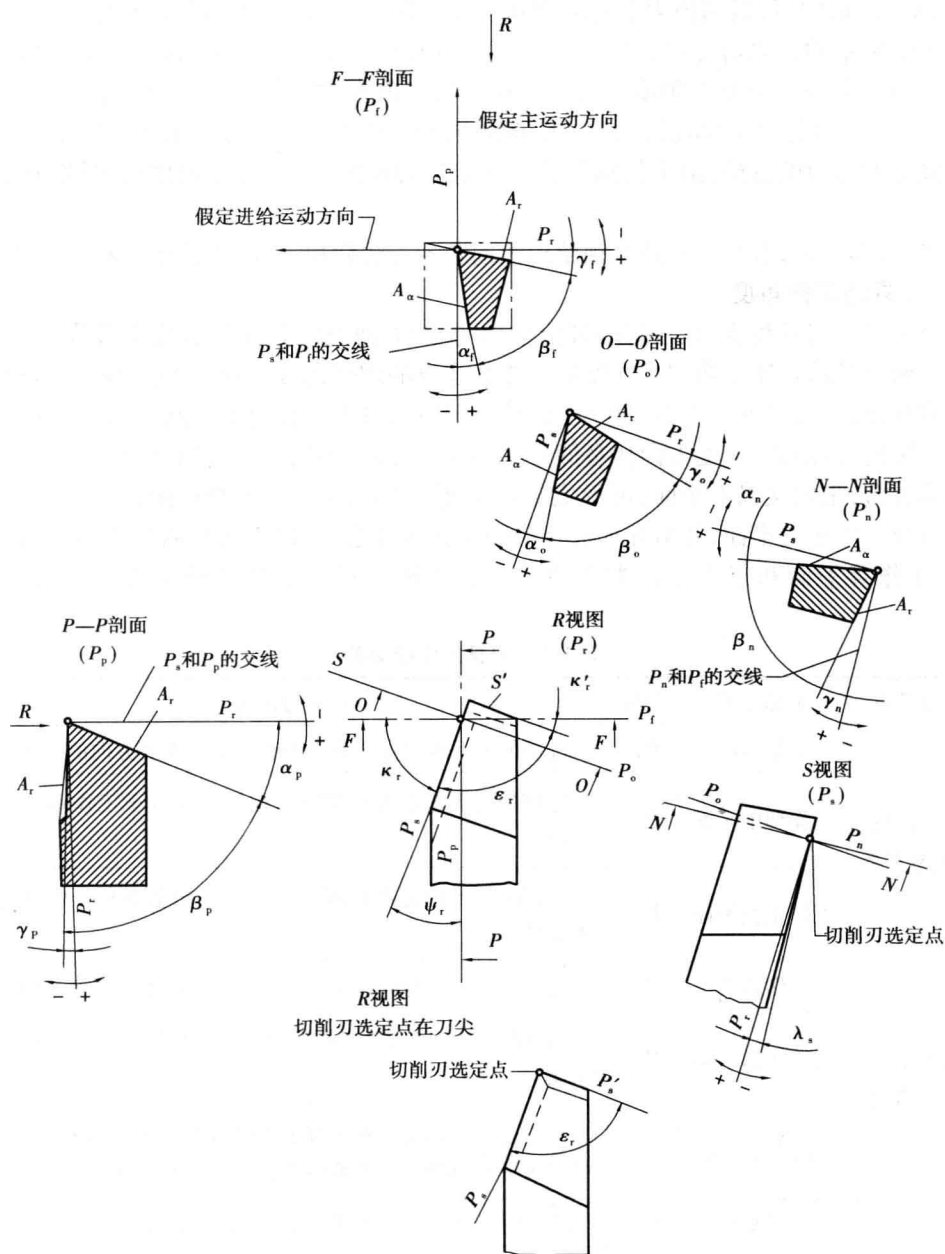


图 1.12 刀具角度——外圆车刀

⑧楔角: 前面和后面间的夹角的通称。

正交楔角 β_o : 前面和后面间的夹角, 在正交平面中测量。显然, $\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o)$ 。

⑨副后角 α'_o : 副后面与副切削平面之间的夹角, 在正交平面中测量。