

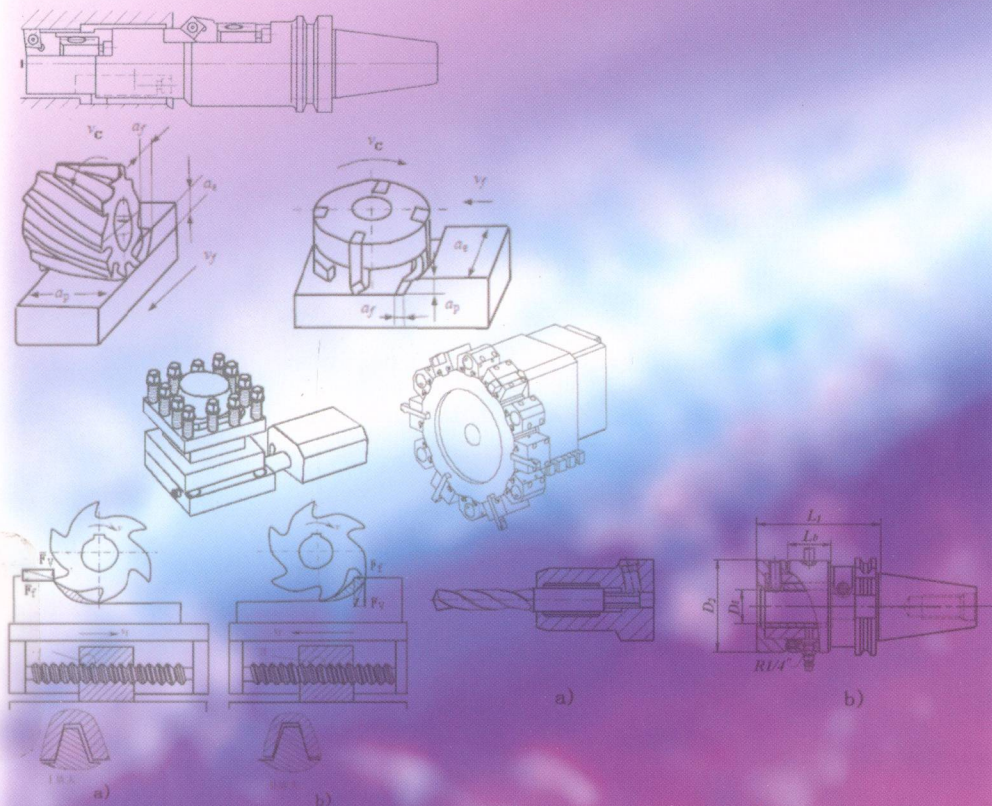
Jinshu Qiexiao Yuanli Yu Shukong Jichuang Daoju



复旦卓越 · 普通高等教育21世纪规划教材 · 机械类、近机械类

金属切削原理与 数控机床刀具

沈志雄 徐福林 主编



复旦大学出版社

复旦卓越·普通高等教育 21 世纪规划教材·机械类、近机械类

金属切削原理与数控机床刀具

主 编 沈志雄 徐福林
副主编 陈 明 许耀东 许宜刚 胡冠奇
主 审 刘素华

復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属切削原理与数控机床刀具/沈志雄,徐福林主编. —上海:复旦大学出版社,2012.11
(复旦卓越·普通高等教育21世纪规划教材·机械类、近机械类)
ISBN 978-7-309-09270-7

I. 金… II. ①沈…②徐… III. ①金属切削-高等学校-教材
②数控刀具-高等学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第232409号

38873

金属切削原理与数控机床刀具

沈志雄 徐福林 主编
责任编辑/张志军

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路579号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com http://www.fudanpress.com

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

扬中市印刷有限公司

开本 787×960 1/16 印张 11 字数 182 千

2012年11月第1版第1次印刷

ISBN 978-7-309-09270-7/T·458

定价:23.00元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。
版权所有 侵权必究

Preface

前言

金属切削加工是利用高于工件硬度的切削工具,在工件上切除多余金属的加工方法,是机械制造业基本的加工方法之一。随着科学技术的不断发展,一些先进的加工技术,如精密铸造、精密锻造、冷挤(冷轧)技术、电火花加工技术和电解加工技术等,可以部分地取代切削加工。但由于金属切削加工具有加工精度高、生产效率高以及加工成本低等优点,因此大多数零件还必须通过切削加工来实现,尤其是高精度金属零件。所以,目前金属切削机床仍是机械制造工厂的主要设备,它所承担的工作量,在一般生产中约占机器制造总工作量的40%~60%。

20世纪中叶,数控技术和数控机床的诞生标志着生产和控制领域一个崭新时代的到来。目前,随着国内数控机床用量的剧增,特别是随着高刚度整体铸造床身、高速运算数控系统和主轴动平衡等新技术的采用,以及刀具材料的不断发展,现代切削加工朝着高速、高精度和强力切削方向发展。

数控机床刀具与工具系统的性能、质量和可靠性直接影响到我国制造业数百万台昂贵的数控机床生产效率的高低和加工质量的好坏,也直接影响到整个机械制造业的生产技术水平和经济效益。

本教材分为金属切削原理和数控机床切削刀具两部分。

金属切削原理主要研究刀具切削部分的几何参数、刀具材料的性能与选用、切削过程现象与变化规律、被加工材料的切削加工性、提高加工表面质量与经济效益的方法等,这些内容可归纳为几何问题与规律问题。对于几何问

题,首先要掌握好车刀的几何角度,掌握各角度的定义、画图标注及基本换算方法,进而掌握其他各类刀具的几何角度。对于规律问题,先要认识切削变形规律,能分析各种因素对其的影响,进而掌握切削力、切削温度、刀具磨损等的规律,以及应用规律解决生产实际问题。

数控机床切削刀具主要讲述数控车削刀具、数控铣削刀具和孔加工刀具的种类、特点及合理使用技术,并给出加工各种典型工件材料的实用刀具。同时,结合国内外数控工具系统的最新发展成果,介绍了数控工具系统、刀具与预调仪等方面的知识及相关标准。全书系统性、综合性强,与生产实践联系紧密。

本书的适用对象为高等院校及高、中职院校学生和从事数控加工实践与研究的工程技术人员,也可作为从事数控技术应用、CAD/CAM 技术应用和模具设计与制造等人员的培训教材或技术参考书籍。

本书第1~3章由上海工程技术大学沈志雄编写,第4~5章由上海工程技术大学高职学院徐福林编写,第6章由上海工程技术大学陈明编写,第7章由上海工程技术大学许耀东编写,第8章由河北汉光重工有限责任公司许宜刚编写,第9章由登电集团铝加工有限公司胡冠奇编写。全书由沈志雄、徐福林负责统稿,由上海工程技术大学刘素华负责审稿。

由于编者水平有限,数控刀具和工具系统技术发展迅速,错误和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2012.10

Contents

目 录

第一章 金属切削加工的基本概念	1	二、正切屑和倒切屑	13
第一节 切削过程中的运动和切削用量	1	复习思考题	14
一、切削过程中的运动	1	第二章 刀具材料	15
二、切削过程中形成的 3 个表面	3	第一节 刀具材料应具备的性能及种类	15
三、切削用量	3	一、刀具材料应具备的基本性能	15
第二节 刀具切削部分的组成及刀具的几何角度	4	二、常用刀具材料的种类	16
一、刀具切削部分的组成	5	第二节 高速钢	17
二、测量标注刀具角度的坐标参考系	5	一、普通高速钢	17
三、刀具的几何角度	7	二、高性能高速钢	19
四、刀具工作图的画法	9	三、粉末冶金高速钢	19
第三节 刀具工作参考系与工作角度	10	四、高速钢的表面处理与涂层	20
一、刀具工作参考系与工作角度的概念	10	第三节 硬质合金	20
二、刀具工作角度的计算	10	一、硬质合金的组成与特点	20
第四节 金属切削层	12	二、硬质合金的选用	22
一、切削层参数	12	三、其他硬质合金	23
		第四节 其他刀具材料	25
		一、陶瓷	25
		二、金刚石	26

三、立方氮化硼(CBN)	26
复习思考题	27

第三章 金属切削过程中的主要现象及规律

第一节 金属切削过程	28
一、金属切削过程的实质	28
二、切屑的种类	30
三、金属切削层的变形系数	32
四、积屑瘤	32
第二节 切削力与切削功率	34
一、切削力与切削功率	34
二、影响切削力的各种因素	39
第三节 切削热和切削温度	42
一、切削热的来源与传出	42
二、影响切削温度的各种因素	43
三、切削热的利用与限制	44
第四节 刀具磨损与刀具寿命	44
一、刀具磨损的概念	44
二、刀具磨损过程及磨钝标准	46
三、刀具寿命	47
复习思考题	50

第四章 金属切削加工质量及切削用量的选择

第一节 工件材料的切削加工性能	51
一、工件材料切削加工性能的概念及其主要指标	51
二、影响材料切削加工性的	

各种因素	52
第二节 已加工表面质量	54
一、表面质量概念及其影响	54
二、影响表面粗糙度、冷作硬化及残余应力的因素	55
三、提高表面质量的途径	56
第三节 切削液	57
一、切削液的作用	57
二、切削液的种类	57
三、切削液的选用	59
四、使用切削液注意事项	60
第四节 刀具几何参数及切削用量的选择	60
一、刀具几何参数的合理选择	60
二、切削用量的合理选择	65
复习思考题	66

第五章 数控机床刀具概述

第一节 数控机床刀具的分类	67
一、按刀具切削部分的材料分类	67
二、按刀具的结构形式分类	68
三、按使用机床或被加工表面分类	68
四、按刀具的换刀方式分类	68
第二节 数控机床刀具的特点	69
一、数控机床刀具与传统刀具的区别	69
二、数控机床刀具的特点	70
第三节 数控机床刀具的失效形式与可靠性	71

一、刀具的失效形式	71
二、数控机床刀具的可靠性	73
复习思考题	76

第六章 数控车削刀具 77

第一节 数控车削刀具的类型	77
一、按车刀用途分类	77
二、按车刀结构分类	77
三、按切削刃形状分类	77
第二节 机夹可转位车刀	79
一、可转位车刀的组成	79
二、可转位刀具的优点	79
三、机夹可转位车刀的 ISO 代码	80
四、可转位车刀刀片的 ISO 代码	84
五、可转位刀片的夹紧方式	87
六、可转位刀片的断屑槽	90
七、可转位车刀使用时的注意事项	91
第三节 难加工材料的车削	91
一、难加工材料的特点	91
二、高锰钢的车削	93
三、高温合金的车削	93
四、淬火钢的车削	97
五、不锈钢的车削	99
复习思考题	103

第七章 孔加工刀具 104

第一节 钻削加工与钻头	104
一、麻花钻的结构要素	104
二、麻花钻的几何角度	105

三、麻花钻的修磨	108
四、群钻	110
五、硬质合金钻头	111
第二节 深孔钻	112
一、错齿内孔排屑深孔钻	112
二、单刃外排屑深孔钻 (枪钻)	114
三、喷吸钻	115
第三节 铰刀	116
一、高速钢铰刀	117
二、硬质合金铰刀	117
三、铰刀的使用技术	118
第四节 镗刀	120
一、单刃镗刀	120
二、双刃镗刀	122
复习思考题	123

第八章 数控铣削刀具 124

第一节 铣刀种类与用途	124
一、按铣刀的用途分类	124
二、按铣刀齿背形状分类	125
三、按铣刀刀齿数分类	126
第二节 铣刀的几何参数及铣削要素	126
一、铣刀的几何参数	126
二、铣削要素	128
第三节 铣削方式与铣削特征	131
一、面铣的铣削方式及其特点	131
二、圆周铣削的铣削方式及其特点	132
三、铣削特征	133

第四节 常用铣刀的结构特点 134

一、立铣刀 134

二、模具铣刀 136

三、面铣刀 137

第五节 数控铣刀的合理使用

技术 141

一、铣刀与铣削用量的选择 141

二、铣刀直径的确定与

刀片的安装 143

三、数控铣削加工中的对刀

技术 144

四、铣刀轴线与已加工表面的

位置关系 146

复习思考题 147

第九章 数控工具系统 148

第一节 刀具快换、自动更换和

尺寸预调 148

一、刀具的快速更换 148

二、自动换刀 149

三、数控刀具尺寸预调 150

第二节 镗铣类数控工具系统 153

一、TSG 整体式工具系统 153

二、TMG 模块式工具系统 156

三、新型高速铣削用的

工具系统 159

第三节 数控车削工具系统 161

一、通用型数控车削工具

系统的发展 161

二、更换刀具头部的数控车

削工具系统的发展 162

复习思考题 163

参考文献 164

第一章

金属切削加工的基本概念

金属切削加工是在金属切削机床上,利用切削工具从被加工的工件上切除多余的材料,使其在尺寸精度、形状和位置精度及表面粗糙度方面均达到设计要求的一种加工方法。金属切削加工的方法有很多,如车削、铣削、钻削、磨削、拉削、齿形加工等。

数控机床是数字控制机床的简称,是一种装有程序控制系统的自动化金属切削机床。程序控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序,并将其译码,从而使机床动作并加工零件。一般的数控机床由机床主体、数控装置、伺服系统、刀库及换刀装置、润滑及排屑等部分组成。数控机床具有适应性好、加工精度高、生产效率高、减轻劳动强度,以及良好经济效益等特点。

本书主要介绍金属切削过程中的基本规律,以数控刀具的使用与管理为主线,阐述各类数控刀具的特点与合理使用技术、典型材料切削实用刀具以及数控工具系统的种类和应用。

第一节 切削过程中的运动和切削用量

一、切削过程中的运动

在切削加工形成零件表面的过程中,按刀具与工件之间的相对运动所起的作用来分,切削运动可以分为主运动和进给运动两大类。

1. 主运动

主运动是使刀具与工件之间产生相对运动,以形成工件新的表面的运动,是

切削加工中最基本的运动。对任何加工方法而言,主运动只有一个。相对其他运动,主运动的速度 v_c 最高,所消耗的功率也最大。对不同的加工方法,主运动的形式是不一样的。例如,车削时,主运动是工件的旋转运动,如图 1-1(a)所示;刨削时,是刨刀的直线往复运动,如图 1-1(b)所示;铣削时,是铣刀的旋转运动,如图 1-1(c)所示;钻削时,是钻头的旋转运动,如图 1-1(d)所示;磨削时,是砂轮的旋转运动,如图 1-1(e)所示。

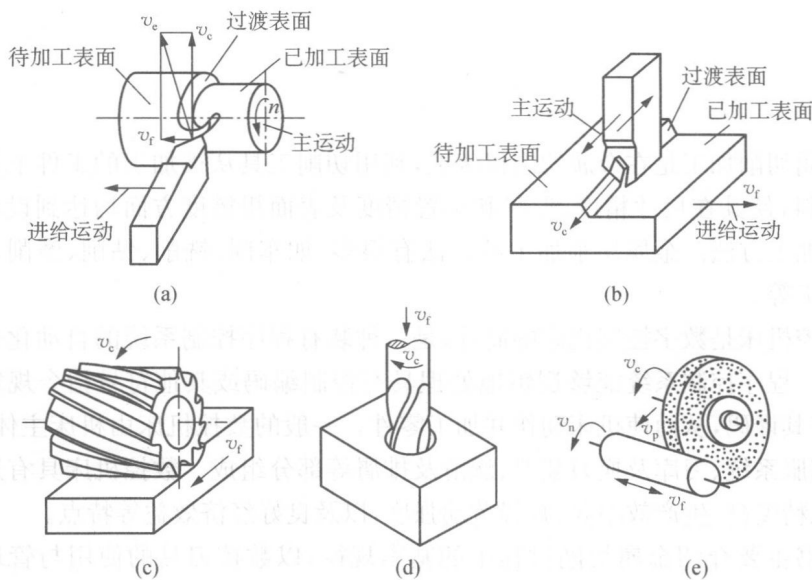


图 1-1 切削时运动与形成的表面

2. 进给运动

进给运动是使工件上待切除的金属层不断投入切削,以保持切削连续性的运动。例如,车削外圆时,刀具沿工件纵向的运动(见图 1-1(a));刨削平面时,工件横向间歇移动(见图 1-1(b));铣削时,工件的移动(见图 1-1(c));钻削时,钻头沿轴向的运动(见图 1-1(d))。对一种加工方法而言,进给运动可以是一个,也可以是多个,如磨削外圆时,就有工件的圆周进给运动 v_n 、纵向进给运动 v_f 及径向进给运动 v_p 等(见图 1-1(e))。

3. 合成切削运动

当主运动与进给运动同时进行时,由主运动和进给运动合成的运动称为合成切削运动。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称为切削运动方

向,其速度称为合成切削速度。合成切削速度 v_c 等于主运动速度 v_c 和进给速度 v_f 的矢量和(见图 1-1(a))。

二、切削过程中形成的 3 个表面

切削加工的过程是加工余量不断地被刀具切除而变为切屑的过程。在主运动和进给运动的作用下,工件表面的一层层金属不断被切除,新的表面不断地形成,因此在被加工的工件上有 3 个不断变化着的表面,分别是待加工表面、过渡表面和已加工表面。

(1) 待加工表面 指加工时,工件上有待切除的表面。

(2) 已加工表面 指工件上已被切去多余金属层所形成的新表面。

(3) 过渡表面 指加工时切削刃正在切削的表面,该表面始终在待加工表面与已加工表面之间不断地变化。

三、切削用量

切削用量是在切削加工过程中的切削速度、进给量和背吃刀量的总称,是衡量主运动和进给运动大小的参数。合理选择切削用量与提高生产效率有着密不可分的关系。

1. 切削速度 v_c

切削速度是指刀具切削刃上的某一点相对于工件待加工表面在主运动方向上的瞬时速度,也可以理解为车刀在 1 min 内车削工件表面的理论展开直线长度(假定切屑没有变形或收缩)。切削速度单位为 m/min 或 m/s,计算式为

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000}。$$

式中, d 为完成主运动的工件或刀具的最大直径,单位为 mm; n 为主轴(工件或刀具)的转速,单位为 r/min。

当已知切削速度和工件或刀具的直径时,可根据上式推算出主轴的转速 n 。在机床有级变速的情况下,实际的转速与理论计算的转速会有偏差。但现在大多数的数控机床都可实现主轴无级调速,故基本不会产生这种偏差。

在数控车床上车削平面时,随着工件直径的减小,切削速度会越来越小,会影响已加工表面的质量。因此,中档以上的数控车床一般具有恒线速度功能,利用主轴能无级变速的特点,当直径出现变化时,车床主轴的转速可自动相应调整,使

切削速度基本保持恒定。

2. 进给量 f

进给量指刀具在进给方向上相对于工件的位移量,可用工件每转(行程)的位移来度量,单位为 mm/r 或 mm/行程。

进给速度 v_f 是切削刃选定点相对工件进给运动的瞬时速度,单位为 mm/min。车削时的进给速度为

$$v_f = fn。$$

对于铣刀和铰刀等多齿刀具,还规定了每齿进给量 f_z ,即刀具每转过一个刀齿,刀具相对于工件在进给运动方向上的位移量,单位为 mm/z。进给速度 v_f 与每齿进给量的关系为

$$v_f = fn = Zf_z n。$$

在数控机床进行任意斜率的直线运动时,各轴的进给速度为

$$v_{fX} = \frac{X}{L} v_f, v_{fY} = \frac{Y}{L} v_f, v_{fZ} = \frac{Z}{L} v_f。$$

式中, X, Y, Z 为直线运动在各轴的增量值; L 为直线运动的长度, $L = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$; v_f 为沿直线的进给速度。

3. 背吃刀量 a_p

背吃刀量是指已加工表面与待加工表面之间的垂直距离,单位为 mm。车削外圆时,计算式为

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}。$$

式中, d_w 为工件待加工表面直径,单位为 mm; d_m 为工件已加工表面直径,单位为 mm。

第二节 刀具切削部分的组成及刀具的几何角度

刀具的切削部分是指刀具上直接参加切削工作的部分。尽管切削加工用的刀具种类繁多、形状各异,但其组成要素的构造和作用都有许多共同之处,尤其是车刀的组成要素,在刀具中具有普遍的代表性。因此本节以外圆车刀为例,介绍

刀具的几何参数。

一、刀具切削部分的组成

刀具切削部分由前面、后面、切削刃及刀尖等组成,如图 1-2 所示。

- (1) 前面 A_f 切屑从刀具上流出时所经过的表面。
- (2) 后面 A_a 刀具上与工件的过渡表面相对的表面。
- (3) 副后面 A'_a 刀具上与工件的已加工表面相对的表面。
- (4) 主切削刃 S 刀具上前面 A_f 与后面 A_a 的交线,担任主要的切削工作。
- (5) 副切削刃 S' 刀具上前面 A_f 与副后面 A'_a 的交线,担任次要的切削工作。
- (6) 刀尖 刀具上主切削刃 S 与副切削刃 S' 的汇交点,如图 1-3(a)所示。

在实际应用中,为了改善刀具的切削性能,通常将刀具的刀尖修磨成圆弧过渡刃,如图 1-3(b)所示,或直线过渡刃,如图 1-3(c)所示。

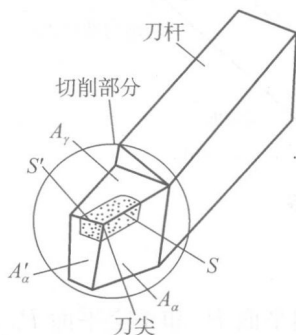


图 1-2 车刀切削部分的组成

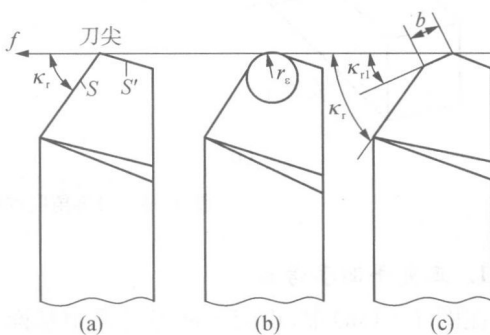


图 1-3 刀尖的形式

二、测量标注刀具角度的坐标参考系

测量标注刀具角度的坐标参考系有静止参考系和工作参考系两类。静止参考系是刀具设计时标注、刃磨和测量刀具角度的基准,用此定义的刀具角度称为刀具标注角度。它不受刀具工作条件变化的影响,只考虑主运动和进给运动的方向,而不考虑进给运动大小的影响,也不考虑刀具的安装定位基准与主运动方向的关系。工作参考系是确定刀具切削工作时角度的基准,用此定义的刀具角度称为刀具工作角度。

刀具设计时,标注、刃磨和测量的角度最常用的是正交平面参考系;在标注可

转位刀具或大刃倾角刀具时,常用法平面参考系;在刀具制造过程中,如铣削刀槽、刃磨刀面时,常需用假定工作平面和背平面参考系中的角度。正交平面和法平面参考系如图 1-4(a)所示,假定工作平面和背平面参考系如图 1-4(b)所示。

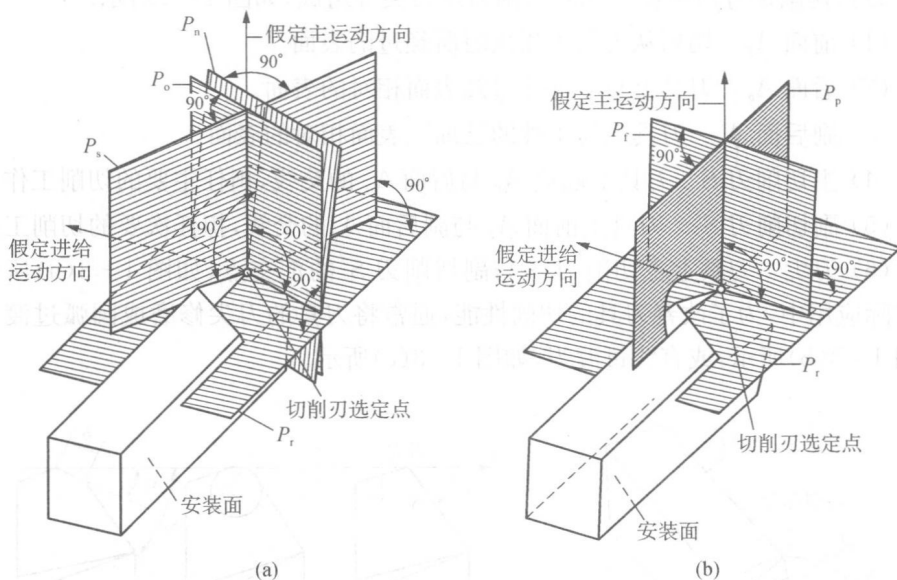


图 1-4 刀具角度的坐标参考系

1. 正交平面参考系

在图 1-4(a)中,正交平面参考系由基面 P_r 、切削平面 P_s 和正交平面 P_o 3 个平面组成。

- (1) 基面 P_r 指通过切削刃上选定点,并垂直于该点切削运动方向的平面。
- (2) 切削平面 P_s 指通过切削刃上选定点与切削刃相切,并垂直于基面的平面。
- (3) 正交平面 P_o 指通过切削刃上选定点,并同时垂直于切削平面和基面的平面。

2. 法平面参考系

在图 1-4(a)中,法平面参考系由基面 P_r 、切削平面 P_s 和法平面 P_n 3 个平面所组成。法平面 P_n 是指通过切削刃上选定点,并垂直于该切削刃的平面。

3. 假定工作平面参考系

假定工作平面参考系由 P_r 、假定工作平面 P_f 和背平面 P_p 3 个平面所组成。假定工作平面(又称进给平面或侧平面) P_f 是指通过切削刃上选定点,平行于假定

的进给运动方向,并垂直于该点基面的平面;背平面 P_p 是指通过切削刃上选定点,并垂直假定工作平面又垂直于该点基面的平面。

三、刀具的几何角度

车刀的几何角度,如图 1-5 所示。

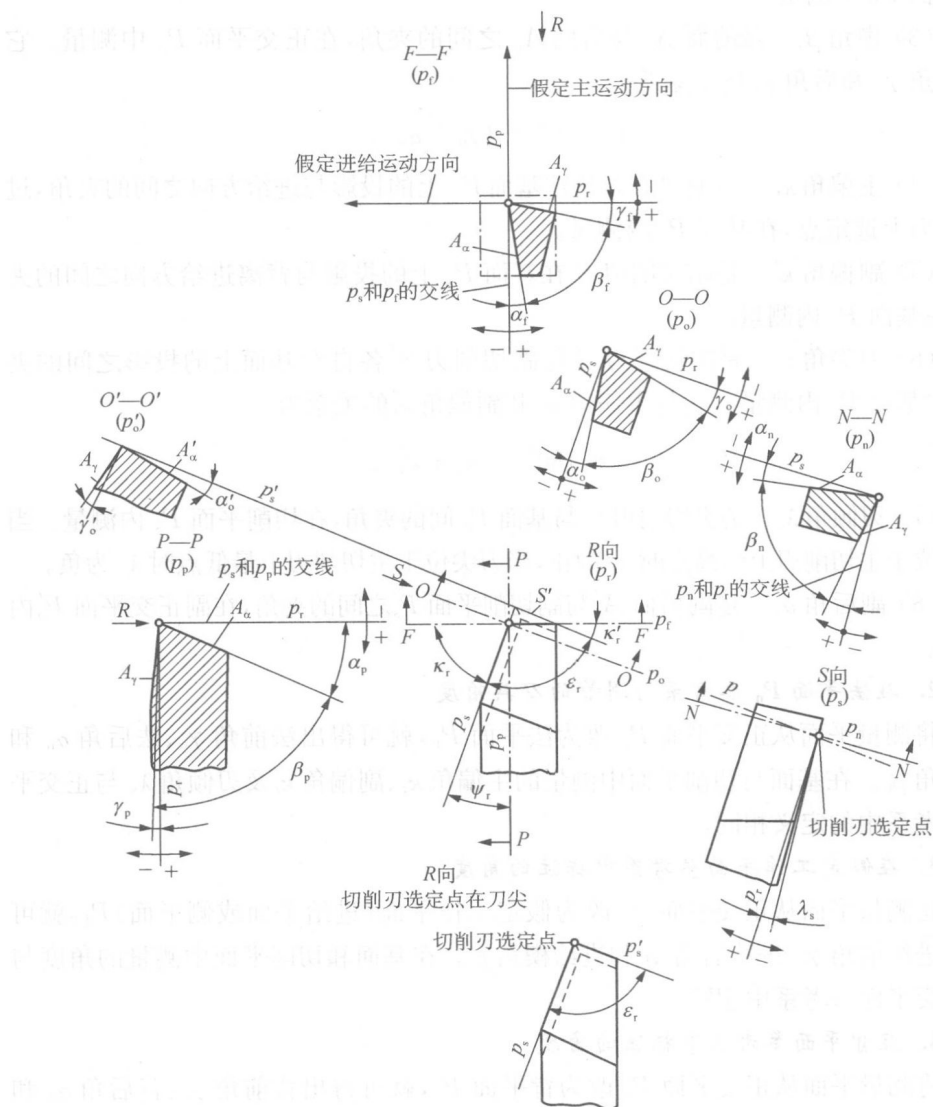


图 1-5 车刀的几何角度

1. 正交平面参考系内测量的刀具角度

在图 1-5 中,说明正交平面参考系内刀具的静止角度有以下几种。

(1) 前角 γ_0 是前面 A_f 与基面 P_r 之间的夹角,过切削刃上选定点,在正交平面 P_0 中测量。

(2) 后角 α_0 是后面 A_a 与切削平面 P_s 之间的夹角,过切削刃上选定点,在正交平面 P_0 中测量。

(3) 楔角 β_0 是前面 A_f 与后面 A_a 之间的夹角,在正交平面 P_0 中测量。它与前角 γ_0 和后角 α_0 的关系为

$$\beta_0 = 90^\circ - (\gamma_0 + \alpha_0)。$$

(4) 主偏角 κ_r 是主切削刃 S 在基面 P_r 上的投影与进给方向之间的夹角,过切削刃上选定点,在基面 P_r 内测量。

(5) 副偏角 κ'_r 是副切削刃 S' 在基面 P_r 上的投影与背离进给方向之间的夹角,在基面 P_r 内测量。

(6) 刀尖角 ϵ_r 是主切削刃 S 与副切削刃 S' 各自在基面上的投影之间的夹角,在基面 P_r 内测量。它与主偏角 κ_r 和副偏角 κ'_r 的关系为

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r)。$$

(7) 刃倾角 λ_s 是主切削刃 S 与基面 P_r 间的夹角,在切削平面 P_s 内测量。当刀尖位于主切削刃上最高点时 λ_s 为正,当刀尖位于主切削刃上最低点时 λ_s 为负。

(8) 副后角 α'_0 是副后面 A'_a 与副切削平面 P'_s 之间的夹角,在副正交平面 P'_0 内测量。

2. 在法平面 P_n 参考系内测量的刀具角度

将测量平面从正交平面 P_0 改为法平面 P_n ,就可得出法前角 γ_n 、法后角 α_n 和法楔角 β_n 。在基面与切削平面中测量的主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 及刃倾角 λ_s 与正交平面参考系中的定义相同。

3. 在假定工作平面参考系中标注的角度

将测量平面从正交平面 P_0 改为假定工作平面(进给平面或侧平面) P_f ,就可得出进给前角 γ_f 、进给后角 α_f 和进给楔角 β_f 。在基面和切削平面中测量的角度与在正交平面参考系中相同。

4. 在背平面参考系中标注的角度

将测量平面从正交平面 P_0 改为背平面 P_p ,就可得出背前角 γ_p 、背后角 α_p 和背楔角 β_p 。在基面和切削平面中测量的角度与在正交平面参考系中相同。