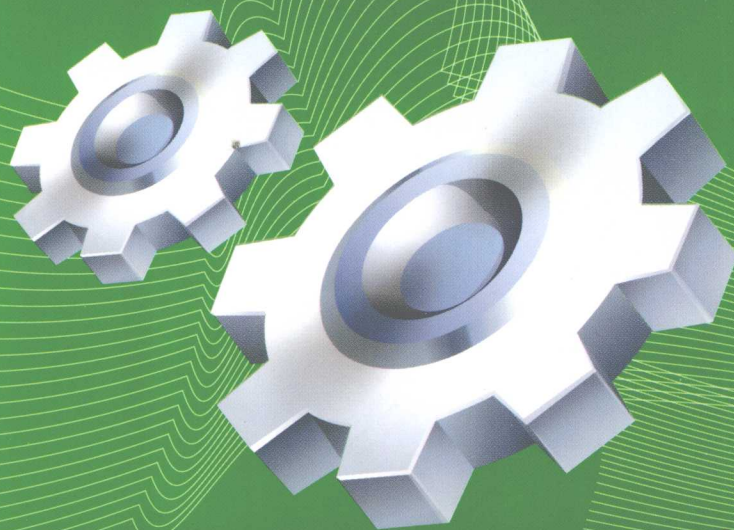


金属切削原理 及刀具

武文革 辛志杰 主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press

金属切削原理及刀具

武文革 辛志杰 主编

成云平 刘丽娟 陆春月 李雅青 李淑娟 参编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书分两大部分,共计18章。第1章~第10章为切削原理部分,包括基本定义、刀具材料、金属切削的变形过程、切削力、切削热和切削温度、切削摩擦学、工件材料的切削加工性、已加工表面质量、刀具合理几何参数的选择及切削用量优化、高速切削。第11章~第18章为切削刀具、磨削部分,包括车刀、成形车刀、孔加工刀具、铣削与铣刀、拉削与拉刀、数控加工与高速加工刀具、磨削与砂轮、切削过程有限元模拟与仿真技术。各章都配有适量的思考题和练习题。

本书既可作为高等学校机械类专业本科学生的教材,也可作为成人教育学院和高职高专机械类专业及相近专业学生的教材,还可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属切削原理及刀具 / 武文革, 辛志杰主编. —北京:
国防工业出版社, 2009.9
ISBN 978-7-118-06466-7

I. 金... II. ①武... ②辛... III. ①金属切削②刀具(金属切削) IV. TG501 TG71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第116764号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

鑫马印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 25¼ 字数 584 千字
2009年9月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 44.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

前 言

《金属切削原理及刀具》已经有很多种优秀的版本,理论性及学科的系统性也很完整。但随着切削技术的不断发展,对金属切削原理与刀具的学习内容也提出了新的要求。为适应教学改革的需要,本书在编写中着重突出切削的基本理论及对生产的影响,以及刀具的选用等内容;认真贯彻 GB/T 12204—90 所规定的金属切削基本术语和符号、最新国标 GB/T 18376.1—2008(《切削工具用硬质合金各组别的基本成分及力学性能要求》)的标准;在选材上又增加了近几年发展的切削与刀具新技术,如高速切削技术、切削过程的模拟仿真技术等;从而使内容变得更精练、更新颖、更有先进性和实用性。

全书共 18 章,第 1 章~第 3 章由中北大学刘丽娟编写;第 4 章、第 6 章、第 9 章、第 13 章由中北大学辛志杰编写;第 5 章、第 7 章、第 8 章由中北大学陆春月编写;第 10 章、第 17 章由中北大学成云平编写;第 11 章、第 12 章由太原工业学院李雅青编写;第 14 章由太原科技大学李淑娟编写;第 15 章、第 16 章、第 18 章由中北大学武文革编写。全书由中北大学武文革、辛志杰担任主编,完成统稿、修改。

本书在编写过程中,编者阅读和分析了已经出版的多种相关图书及资料,所用参考文献均已列于书后,在此特向这些资料、文献的作者表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中难免有欠妥之处,恳请各位同仁及广大读者批评指正。

目 录

| | |
|--------------------------------|----|
| 第1章 基本定义 | 1 |
| 1.1 切削运动与切削用量 | 1 |
| 1.2 刀具的几何参数 | 3 |
| 1.3 刀具标注角度的换算 | 11 |
| 1.4 切削层参数与切削方式 | 14 |
| 思考题与练习题 | 16 |
| 第2章 刀具材料 | 17 |
| 2.1 刀具材料应具备的性能 | 17 |
| 2.2 高速钢 | 19 |
| 2.3 硬质合金 | 22 |
| 2.4 涂层刀具 | 30 |
| 2.5 其他刀具材料 | 32 |
| 思考题与练习题 | 36 |
| 第3章 金属切削的变形过程 | 38 |
| 3.1 研究金属切削变形过程的意义和方法 | 38 |
| 3.2 金属切削层的变形 | 41 |
| 3.3 前刀面上的摩擦及积屑瘤现象 | 46 |
| 3.4 切屑变形的变化规律 | 51 |
| 3.5 切屑的类型及其变化规律 | 54 |
| 3.6 切屑的卷曲与折断 | 55 |
| 思考题与练习题 | 59 |
| 第4章 切削力 | 60 |
| 4.1 切削力的来源,切削合力及其分解,切削功率 | 60 |
| 4.2 切削力的测量及切削力指数公式 | 61 |
| 4.3 影响切削力的因素 | 64 |
| 4.4 切削方程式 | 71 |
| 4.5 切削力理论公式 | 73 |
| 思考题与练习题 | 76 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 第 5 章 切削热和切削温度 | 77 |
| 5.1 切削热的产生和传出 | 77 |
| 5.2 切削热对切削过程的影响 | 78 |
| 5.3 切削温度 | 80 |
| 5.3.1 切削温度的定义 | 80 |
| 5.3.2 切削温度的测量 | 80 |
| 5.3.3 切削温度的分布 | 85 |
| 5.3.4 影响切削温度的主要因素 | 86 |
| 5.4 切削温度对切削变形的影响 | 89 |
| 思考题与练习题 | 90 |
| 第 6 章 切削摩擦学 | 91 |
| 6.1 金属切削时的摩擦特点 | 91 |
| 6.2 金属切削的摩擦机理 | 92 |
| 6.3 切削时的摩擦系数 | 96 |
| 6.4 切削液 | 97 |
| 6.4.1 切削液的分类 | 97 |
| 6.4.2 切削液的作用 | 97 |
| 6.4.3 切削液的润滑机理 | 98 |
| 6.4.4 切削液的添加剂 | 99 |
| 6.4.5 切削液的选用原则 | 100 |
| 6.4.6 切削液的使用方法 | 101 |
| 6.5 刀具磨损 | 101 |
| 6.5.1 刀具磨损的形态 | 101 |
| 6.5.2 刀具磨损的机理 | 103 |
| 6.5.3 刀具磨损过程及磨钝标准 | 108 |
| 6.5.4 刀具耐用度的经验公式及刀具耐用度的分布 | 109 |
| 6.6 刀具破损 | 112 |
| 6.6.1 刀具破损的主要形式 | 112 |
| 6.6.2 刀具破损的防止 | 114 |
| 6.7 合理耐用度的选用原则 | 114 |
| 6.7.1 刀具寿命的选择 | 114 |
| 6.7.2 切削用量与生产率的关系 | 115 |
| 思考题与练习题 | 116 |
| 第 7 章 工件材料的切削加工性 | 117 |
| 7.1 切削加工性及其衡量指标 | 117 |

| | | |
|------------|---------------------------|------------|
| 7.1.1 | 切削加工性的概念 | 117 |
| 7.1.2 | 切削加工性的衡量指标 | 117 |
| 7.2 | 影响切削加工性的因素 | 119 |
| 7.2.1 | 工件材料物理力学性能对切削加工性的影响 | 119 |
| 7.2.2 | 化学成分对切削加工性的影响 | 120 |
| 7.2.3 | 金属组织对切削加工性的影响 | 122 |
| 7.3 | 改善切削加工性的途径 | 124 |
| 7.4 | 难加工材料的切削加工性 | 125 |
| | 思考题与练习题 | 132 |
| 第8章 | 已加工表面质量 | 133 |
| 8.1 | 已加工表面质量的概念 | 133 |
| 8.2 | 已加工表面的形成过程 | 134 |
| 8.2.1 | 已加工表面的形成 | 134 |
| 8.2.2 | 切削表面的受力过程 | 135 |
| 8.3 | 已加工表面粗糙度 | 136 |
| 8.3.1 | 表面粗糙度产生的原因 | 137 |
| 8.3.2 | 影响表面粗糙度的因素 | 140 |
| 8.4 | 加工硬化 | 142 |
| 8.4.1 | 加工硬化产生的原因 | 142 |
| 8.4.2 | 影响加工硬化的因素 | 142 |
| 8.5 | 残余应力 | 144 |
| 8.5.1 | 残余应力产生的原因 | 144 |
| 8.5.2 | 影响残余应力的因素 | 145 |
| 8.6 | 精密切削加工的表面质量 | 148 |
| 8.6.1 | 刀具方面的措施 | 148 |
| 8.6.2 | 切削条件方面的措施 | 149 |
| | 思考题与练习题 | 150 |
| 第9章 | 刀具合理几何参数的选择及切削用量优化 | 151 |
| 9.1 | 概述 | 151 |
| 9.2 | 刀具合理几何角度及其选择 | 151 |
| 9.3 | 制定切削用量的原则 | 158 |
| 9.4 | 切削用量三要素的确定 | 159 |
| 9.5 | 切削用量优化的概念 | 161 |
| | 思考题与练习题 | 164 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 第 10 章 高速切削 | 166 |
| 10.1 概念 | 166 |
| 10.1.1 高速加工技术的产生与发展 | 166 |
| 10.1.2 高速加工技术的内涵 | 167 |
| 10.2 理论基础及特点 | 168 |
| 10.2.1 高速切削机理的研究 | 168 |
| 10.2.2 高速加工技术的特点 | 169 |
| 10.3 高速切削加工的结构体系 | 170 |
| 10.4 相关技术及其发展现状 | 171 |
| 10.4.1 高速切削的机床技术 | 171 |
| 10.4.2 高速切削的刀具技术 | 174 |
| 思考题与练习题 | 182 |
| 第 11 章 车刀 | 183 |
| 11.1 车刀的种类与用途 | 183 |
| 11.2 焊接车刀 | 185 |
| 11.2.1 焊接车刀刀片的选择 | 185 |
| 11.2.2 焊接式车刀刀槽的选择 | 187 |
| 11.2.3 焊接式车刀刀杆截面形状和尺寸选择 | 187 |
| 11.3 机夹车刀 | 188 |
| 11.4 可转位车刀 | 190 |
| 思考题与练习题 | 195 |
| 第 12 章 成形车刀 | 196 |
| 12.1 成形车刀种类和用途 | 196 |
| 12.2 径向成形车刀前角和后角 | 197 |
| 12.3 径向成形车刀的廓形设计 | 200 |
| 12.4 成形车刀加工圆锥面时的误差 | 205 |
| 12.5 成形车刀的样板与技术条件 | 208 |
| 思考题与练习题 | 209 |
| 第 13 章 孔加工刀具 | 210 |
| 13.1 孔加工刀具种类和用途 | 210 |
| 13.2 麻花钻 | 213 |
| 13.3 深孔钻结构特点及工作原理 | 223 |
| 13.4 铰刀 | 228 |
| 13.5 镗刀 | 235 |
| 思考题与练习题 | 237 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 第 14 章 铣削与铣刀 | 239 |
| 14.1 铣刀的种类和用途 | 239 |
| 14.2 铣刀的几何角度 | 241 |
| 14.3 铣削参数和铣削基本规律 | 243 |
| 14.4 成形铣刀 | 254 |
| 14.5 尖齿铣刀结构的改进 | 260 |
| 思考题与练习题 | 263 |
| 第 15 章 拉削与拉刀 | 264 |
| 15.1 概述 | 264 |
| 15.2 拉刀结构组成 | 267 |
| 15.3 拉削图形 | 268 |
| 15.4 拉刀设计 | 270 |
| 15.4.1 圆孔拉刀设计基本公式及资料 | 270 |
| 15.4.2 拉刀强度及拉床拉力校验 | 281 |
| 15.4.3 圆孔拉刀的技术条件 | 282 |
| 15.5 花键拉刀的结构特点 | 282 |
| 思考题与练习题 | 285 |
| 第 16 章 数控加工与高速加工刀具 | 286 |
| 16.1 数控加工刀具的特点 | 286 |
| 16.1.1 数控加工常用刀具的种类及特点 | 286 |
| 16.1.2 数控加工刀具的选择 | 287 |
| 16.1.3 数控加工切削用量的确定 | 288 |
| 16.2 数控刀具管理系统及刀具状态的在线监测 | 288 |
| 16.2.1 数控刀具管理系统 | 288 |
| 16.2.2 数控刀具状态的在线监测 | 292 |
| 16.3 高速切削刀具的构造特点 | 296 |
| 16.3.1 高速切削对刀具系统的要求 | 296 |
| 16.3.2 常规 7:24 锥度刀柄存在的问题 | 297 |
| 16.3.3 多种新型刀柄的开发与应用 | 298 |
| 16.3.4 高速切削加工用刀柄的选用 | 307 |
| 16.3.5 高速切削中刀具系统的动平衡 | 308 |
| 16.3.6 高速回转刀具的结构特点 | 312 |
| 思考题与练习题 | 314 |
| 第 17 章 磨削与砂轮 | 315 |
| 17.1 概述 | 315 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 17.2 砂轮的特性及选择 | 316 |
| 17.2.1 砂轮的特性 | 316 |
| 17.2.2 砂轮的安裝和修整 | 321 |
| 17.3 磨削加工类型与磨削运动 | 322 |
| 17.3.1 外圆磨削 | 322 |
| 17.3.2 内圆磨削 | 323 |
| 17.3.3 平面磨削 | 324 |
| 17.3.4 无心磨削 | 325 |
| 17.4 磨削过程 | 326 |
| 17.5 磨削力及功率 | 331 |
| 17.6 磨削温度及工件表面状态 | 334 |
| 17.6.1 磨削温度及工件表面烧伤 | 334 |
| 17.6.2 磨削工件表层状态 | 336 |
| 17.7 先进磨削方法简介 | 337 |
| 17.7.1 高速磨削 | 337 |
| 17.7.2 缓进给磨削 | 338 |
| 17.7.3 砂带磨削 | 339 |
| 17.7.4 精密、高精密、超精密磨削 | 341 |
| 17.7.5 非球面磨削 | 342 |
| 17.7.6 平面珩磨 | 345 |
| 思考题与练习题 | 346 |
| 第 18 章 切削过程的有限元模拟与仿真技术 | 347 |
| 18.1 切削过程的有限元模拟与仿真技术的发展状况 | 347 |
| 18.2 切削加工过程的有限元模拟的关键技术 | 349 |
| 18.3 切削过程的有限元模拟的实现 | 352 |
| 18.3.1 DEFORM-3D 软件切削过程有限元模拟 | 352 |
| 18.3.2 AdvantEdge FEM 软件切削过程的有限元模拟 | 381 |
| 18.4 切削过程的有限元模拟的发展方向 | 388 |
| 思考题与练习题 | 390 |
| 参考文献 | 391 |

第1章 基本定义

金属切削加工是用金属切削刀具把工件毛坯上预留的金属材料(统称余量)切除,获得图样所要求的零件。要实现金属的切削加工,使被加工零件的尺寸精度、形状和位置精度、表面质量达到设计与使用要求,保证优质、高效与低成本,必须具备三个条件:工件与刀具之间要有相对运动,即切削运动;刀具材料必须具有一定的切削性能;刀具必须具有适当的几何参数,即切削角度等。

本章主要讲述金属切削原理和刀具的基础知识,目的是掌握金属加工中的一般规律。

1.1 切削运动与切削用量

一、切削运动

金属切削的过程是刀具与工件相互运动、相互作用的过程。切削运动是指利用刀具切除工件上多余的金属层,以获得所要求的尺寸、形状精度和表面质量的运动。刀具与工件的相对运动可以分解为两个方面:一个是主运动;另一个是进给运动。

1. 主运动

使工件与刀具产生相对运动而进行切削的最主要的运动,称为主运动。主运动的特点是运动速度最高,消耗功率最多。例如,外圆车削时工件的旋转运动、平面刨削时刀具的往复运动(图1-1),以及钻床上钻头和铣床上铣刀的回转运动等都是切削运动的主运动。主运动一般只有一个。

2. 进给运动

使新的金属层不断投入切削,以便切完工件表面上全部余量的运动,称为进给运动。此运动是刀具与工件之间附加的相对运动,它配合主运动依次地或连续不断地切除切屑,从而形成具有所需几何特性的已加工表面。进给运动可以有几个,它可由刀具完成(如

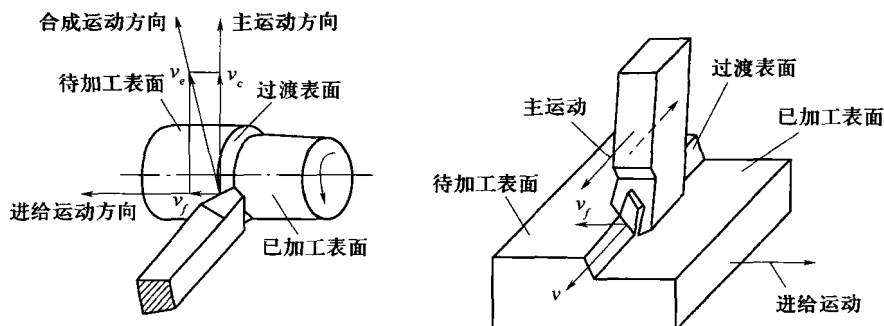


图1-1 切削运动与加工表面

车削),也可由工件完成(如铣削),可以是连续运动,也可以是间歇运动,如外圆车削时车刀的纵向连续直线进给运动和平面刨削时工件的间歇直线进给运动等(图1-1)。进给运动的大小可用进给量 f 表示。进给量是指工件或刀具每转或每一行程时,工件和刀具在进给运动方向的相对位移量。进给运动的特点是运动速度低、消耗功率小。

二、工件表面

在整个切削过程中,工件上形成了三个不断变化着的表面(图1-1)。

(1) 待加工表面 工件上即将被切除的表面称为待加工表面。

(2) 已加工表面 工件上经刀具切削后产生的新表面称为已加工表面。

(3) 过渡表面 过渡表面是指工件上切削刃正在切削的表面,并且是切削过程中不断改变着的表面,它是待加工表面和已加工表面之间的过渡表面。

三、切削用量

切削用量是切削加工过程中切削速度、进给量和背吃刀量的总称,是用来表示切削运动、调整机床加工参数的参量,可用它对主运动进行定量描述。切削用量的选择,对加工效率、加工成本和加工质量都有重大的影响。切削用量的选择需要考虑机床、刀具、工件材料和工艺等多种因素。

1. 切削速度 v

它是指切削刃选定点相对工件主运动的瞬时速度,单位为 m/s 或 m/min 。刀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,刀具或工件最大直径处的切削速度由下式确定,即

$$v = \pi dn/1000 \quad (1-1)$$

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/min 或 r/s 。

2. 进给量 f

它是刀具与工件在进给运动方向上二者之间的相对位移量。当主运动是回转运动时,进给量指工件或刀具每回转一周,两者沿进给方向的相对位移量,单位为 mm/r ;当主运动是直线运动时,进给量指刀具或工件每往复直线运动一次,两者沿进给方向的相对位移量,单位为 mm/行程 (如刨削)。

进给量又可用进给速度 v_f 表示, v_f 指切削刃选定点相对工件进给运动的瞬时速度,单位为 mm/s 。若进给运动为直线运动,则进给速度在刀刃上各点是相同的。

3. 背吃刀量 a_p

背吃刀量又叫切削深度,是指工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离,用 a_p 表示,其单位为 mm 。对于图1-1中的外圆车削,其背吃刀量可由下式计算,即

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

式中 d_w ——工件待加工表面直径,单位为 mm ;

d_m ——工件已加工表面直径,单位为 mm 。

对于切削用量,主要是掌握对切削用量的合理选用。选择合理的切削用量对加工生

产率、加工成本和加工质量均有重要影响。合理的切削用量是指充分利用机床和刀具的性能,并在保证加工质量的前提下,获得高的生产率与低加工成本的切削用量。这一部分的内容将在后面的章节中具体介绍。

1.2 刀具的几何参数

刀具几何参数是确定刀具切削部分几何形状的重要参数,它的变化直接影响金属加工的质量。刀具的种类繁多,但其切削部分在几何特征上却具有共性。外圆车刀的切削部分可以看作是各类刀具切削部分的基本形态,其他各类刀具不论结构如何复杂,都可以看成由外圆车刀的切削部分演变而来,本节以外圆车刀为例来介绍其几何参数。

一、刀具的组成

如图 1-2 所示,刀具由刀头、刀杆(刀体)两部分组成,刀头用于切削,刀杆(刀体)用于装夹。刀具的切削部分由以下部分构成:

前刀面 A_f (前面)——切屑沿其流出的表面;

主后刀面 A_a (后面)——与工件上过过渡表面相对的面;

副后刀面 A'_a (副后面)——与工件上已加工表面相对的面;

主切削刃 S (主刀刃)——前刀面与主后刀面相交形成的边缘,用以形成工件的过渡表面,它完成主要的金属切除工作;

副切削刃 S' (副刀刃)——前刀面与副后刀面相交形成的刀刃,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。

刀尖(过渡刃)——三个刀面在空间的交点,也可理解为主、副切削刃两条刀刃汇交的一小段切削刃。在实际应用中,为增加刀尖的强度与耐磨性,一般磨成小的直线段或圆弧形。

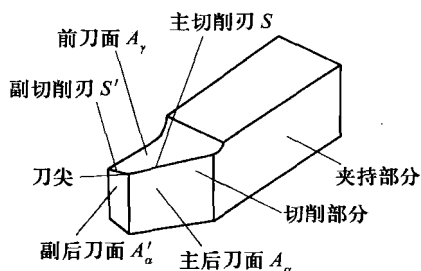


图 1-2 车刀切削部分的构成

二、刀具角度参考系

刀具角度是为刀具设计、制造、刃磨和测量时所使用的几何参数,它们是确定刀具切削部分几何形状的重要参数,是在一定的平面参考系中确定的。用于定义和规定刀具角度的各基准坐标平面称为参考系,参考系可分为刀具静止参考系和刀具工作参考系两类。

刀具静止参考系——在设计、制造、刃磨和测量时,用于定义刀具几何参数的参考系

称为刀具静止参考系或标注角度参考系,如图 1-3 所示。在该参考系中定义的角度称为刀具的标注角度。

刀具工作参考系——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刀具工作角度。

静止参考系中最常用的刀具标注角度参考系是正交平面参考系,其他参考系有法平面参考系、假定工作平面参考系等。

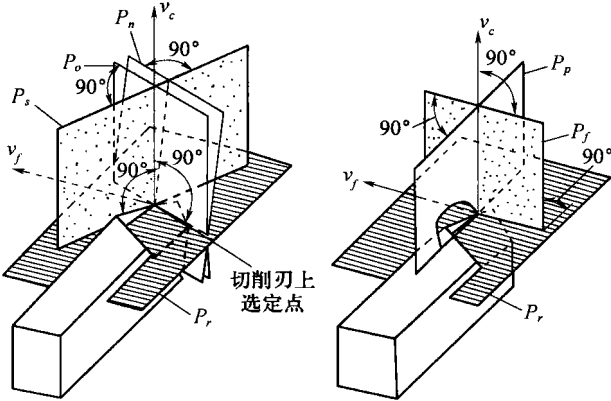


图 1-3 刀具静止参考系

如图 1-4 所示的正交平面参考系由以下三个在空间相互垂直的参考平面构成：
 基面 P_r ——过切削刃选定点垂直于该点合成切削运动向量的平面,对于车刀来说,通常平行于车刀的安装面(底面)；
 切削平面 P_s ——过切削刃选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面；
 正交平面 P_o ——过切削刃选定点同时垂直于切削平面和基面的平面。

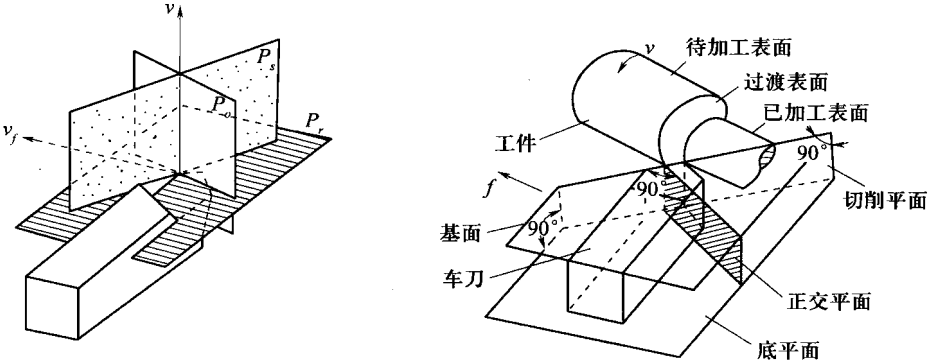


图 1-4 正交平面参考系

对于法平面参考系,则由 P_r 、 P_s 、 P_n 三个平面组成,如图 1-5 所示,其中：
 法平面 P_n ——过切削刃选定点并垂直于切削刃的平面。
 对于假定工作平面参考系,则由 P_r 、 P_f 、 P_p 三个平面组成,如图 1-6 所示。其中：
 假定工作平面 P_f ——过切削刃选定点平行于假定进给运动方向并垂直于基面的平面；
 背平面 P_p ——过切削刃选定点和假定工作平面与基面都垂直的平面。

1. 正交平面参考系中刀具的标注角度

刀具标注角度的内容包括两个方面：一是确定刀具上刀刃位置的角度，二是确定前刀面与后面位置的角度。这里以外圆车刀为例，如图 1-8 所示，各标注角度如下：

前角 γ_o ——在主切削刃选定点的正交平面 P_o 内，前刀面与基面之间的夹角；

后角 α_o ——在同一正交平面 P_o 内，主后刀面与切削平面之间的夹角；

主偏角 κ_r ——主切削刃在基面上的投影与进给方向的夹角；

刃倾角 λ_s ——在切削平面 P_s 内，主切削刃与基面 P_r 的夹角。

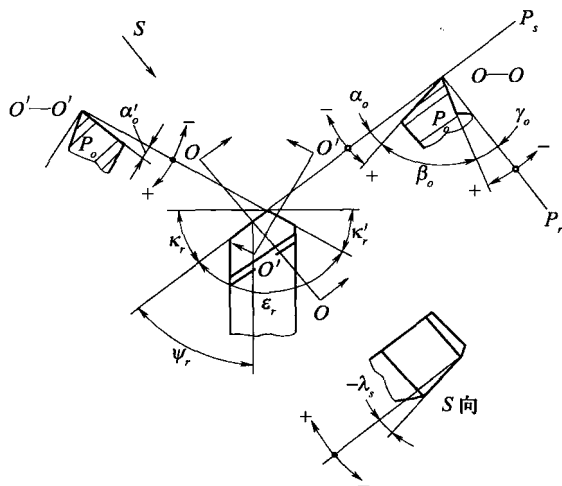


图 1-8 车削刀具正交平面参考系标注角度

以上四角中，前角 γ_o 与后角 α_o 分别是确定前刀面 A_γ 与主后刀面 A_α 方位的角度，而主偏角 κ_r 与刃倾角 λ_s 是确定主切削刃方位的角度。和以上四个角度相对应，又可定义确定副后刀面和副切削刃的如下四角：副前角 γ'_o 、副后角 α'_o 、副偏角 κ'_r 、副倾角 λ'_s 。但是由于在刃磨时车刀主、副切削刃常常磨出在同一个平面型前刀面上，当这一切削刃及其前刀面已由上述四个基本角度 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 λ_s 确定之后，副切削刃上的副刃倾角 λ'_s 和副前角 γ'_o 可以根据下列公式换算，即

$$\tan \gamma'_o = \tan \gamma_o \cos (\kappa_r + \kappa'_r) + \tan \lambda_s \sin (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-3)$$

$$\tan \lambda'_s = \tan \gamma_o \sin (\kappa_r + \kappa'_r) - \tan \lambda_s \cos (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-4)$$

故在刀具工作图上只需要标注副切削刃上的下列角度：

副偏角 κ'_r ——在基面 P_r 内副切削刃的投影与进给方向的夹角；

副后角 α'_o ——在副切削刃上选定点的副正交平面内，副后刀面与副切削平面之间的夹角。副切削平面是过该选定点并包含切削速度向量的平面。

除了以上六个基本角度外，根据实际需要，有时还要求标出以下角度：

楔角 β_o ——正交平面中测量的前刀面与后刀面间的夹角，即

$$\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o) \quad (1-5)$$

刀尖角 ϵ_r ——基面上主切削刃与副切削刃的投影之间的夹角，即

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-6)$$

余偏角 ψ_r ——基面上主切削刃的投影与进给方向垂线之间的夹角，即

$$\psi_r = 90^\circ - \kappa_r$$

(1-7)

2. 法平面参考系中刀具的标注角度

在法平面中测量的角度有法前角 γ_n 、法后角 α_n 和法楔角 β_n ，如图 1-9 所示。对于某些大刃倾角刀具，为表明其刀具强度，常要求标注法平面中的角度。当 $\lambda_s = 0^\circ$ 时，法平面与正交平面重合。当 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 时，法平面与正交平面相夹角为 λ_s 。

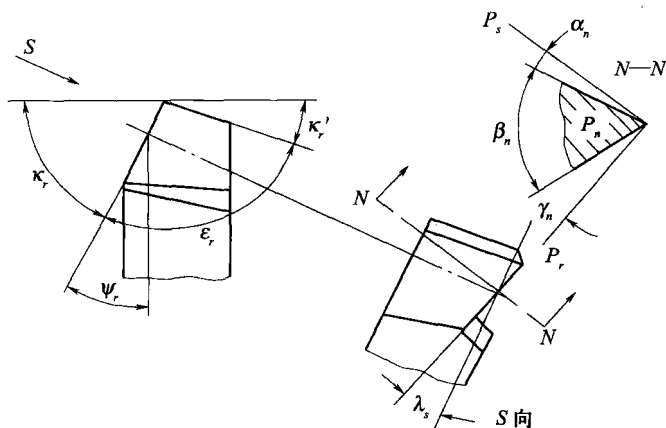


图 1-9 车削刀具法平面参考系标注角度

3. 假定工作平面和背平面参考系中刀具的标注角度

为了机械刃磨刀具或分析讨论问题的需要，常常要利用在假定工作平面和背平面中测量的角度。在假定工作平面中测量的前角和后角分别称侧前角 γ_f 和侧后角 α_f ，在背平面中测量的前角和后角分别称背前角 γ_p 和背后角 α_p ，如图 1-10 所示。

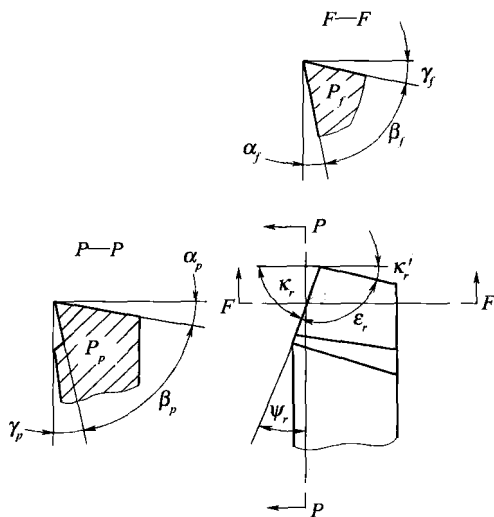


图 1-10 车削刀具背平面、假定工作平面参考系标注角度

以上均是以外圆车刀为例来说明其标注角度的，对于其他多刃刀具或非直线刃刀具，也可以各个刀刃的选定点上，参照前述有关定义的内容和分析方法，确定它们在不同参考系中的标注角度。