

普通高等教育机电类“十三五”规划教材

# 金属切削原理及刀具

(第2版)

武文革 主编

成云平 刘丽娟 彭彬彬 黄晓斌 参编

电子工业出版社版权所有  
盗版必究

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书内容分两大部分,共 18 章。第 1~10 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 11~18 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。

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。

### 图书在版编目(CIP)数据

金属切削原理及刀具 / 武文革主编. —2 版. —北京:电子工业出版社,2017.11

普通高等教育机电类“十三五”规划教材

ISBN 978-7-121-32753-7

I. ①金… II. ①武… III. ①金属切削—高等学校—教材②刀具(金属切削)—高等学校—教材  
IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 232102 号

责任编辑:郭德娟

印 刷:

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 10036

开 本:787×1092 1/16 印张:26.75 字数:685 千字

版 次:2009 年 9 月第 1 版

2017 年 11 月第 2 版

印 次:2017 年 11 月第 1 次印刷

定 价:69.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254502,guosj@phei.com.cn。

## 第 2 版前言

切削技术的不断发展,对金属切削原理及刀具的课程内容也提出了新的要求。本版与第一版相比,更新和优化了部分内容。根据 GB/T 12204—2010 所规定的金属切削基本术语和符号,对第 1 章的基本定义和术语进行了更新,对所有章节的符号进行了统一;对第 2 章内容做了优化,更新了涂层刀具、涂层工艺及金刚石刀具的部分内容;对第 10 章高速切削的刀具技术及机床技术内容做了优化;对第 16 章数控刀具的部分内容做了优化;第 18 章增加了切削加工模拟仿真有关无网格划分技术的发展、有限元模拟建模方法与步骤、自适应网格技术、AdvantEdge FEM 仿真软件建模过程、Abaqus 通用软件切削过程有限元模拟研究、有限元仿真与试验误差分析等内容。本书的修订进一步完善了金属切削原理及刀具的内容,对基本定义和符号进行统一,为金属切削基本原理和刀具设计提供了较系统、实用、前沿的知识。

本书由中北大学武文革担任主编。全书共 18 章,第 1、2、3、18 章由中北大学刘丽娟编写,第 4 章由中北大学彭彬彬编写,第 5~9、11~14 章由中北大学武文革编写,第 15 章由中北大学黄晓斌编写,第 10、16、17 章由中北大学成云平编写。

本书在编写过程中,参考了多种相关教材及资料,所用参考文献均已列于书后。在此,向这些资料、文献的作者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有欠妥之处,恳请各位同仁及广大读者批评指正。

编者

2017 年 9 月



# 目 录

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 第 1 章 基本定义 .....                                           | 1  |
| 1.1 切削运动与切削用量 .....                                        | 1  |
| 1.1.1 切削运动 .....                                           | 1  |
| 1.1.2 工件表面 .....                                           | 2  |
| 1.1.3 切削用量 .....                                           | 2  |
| 1.2 刀具的几何参数 .....                                          | 3  |
| 1.2.1 刀具的组成 .....                                          | 3  |
| 1.2.2 刀具角度参考系 .....                                        | 3  |
| 1.2.3 刀具的标注角度 .....                                        | 5  |
| 1.2.4 刀具的工作角度 .....                                        | 8  |
| 1.3 刀具标注角度的换算 .....                                        | 11 |
| 1.3.1 法平面与正交平面内前、后角换算 .....                                | 11 |
| 1.3.2 垂直于基面的任一剖面与正交平面的前、后角换算 .....                         | 12 |
| 1.3.3 背平面与假定工作平面内的角度换算 .....                               | 13 |
| 1.3.4 最大前角 $\gamma_{\max}$ 和最小后角 $\alpha_{\min}$ 的确定 ..... | 13 |
| 1.3.5 副切削刃上副前角 $\gamma'_o$ 和副刃倾角 $\lambda'_s$ 的确定 .....    | 13 |
| 1.4 切削层参数与切削方式 .....                                       | 14 |
| 1.4.1 切削层参数 .....                                          | 14 |
| 1.4.2 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 |
| 2.1.1 高的硬度和良好的耐磨性 .....                                    | 17 |
| 2.1.2 足够的强度和韧性 .....                                       | 17 |
| 2.1.3 高的耐热性 .....                                          | 18 |
| 2.1.4 良好的热物理性能和耐热冲击性能 .....                                | 18 |
| 2.1.5 良好的工艺性 .....                                         | 18 |
| 2.1.6 经济性 .....                                            | 18 |
| 2.2 高速钢 .....                                              | 19 |

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| 2.2.1 通用型高速钢 .....               | 20        |
| 2.2.2 高性能高速钢 .....               | 21        |
| 2.2.3 粉末冶金高速钢 .....              | 22        |
| 2.3 硬质合金 .....                   | 22        |
| 2.3.1 硬质合金的性能特点 .....            | 22        |
| 2.3.2 切削工具用硬质合金的分类及牌号表示规则 .....  | 23        |
| 2.3.3 硬质合金各组别的要求及作业条件推荐 .....    | 24        |
| 2.3.4 常用硬质合金及其性能 .....           | 27        |
| 2.3.5 新型硬质合金 .....               | 30        |
| 2.4 涂层刀具 .....                   | 30        |
| 2.4.1 涂层刀具的性能与特点 .....           | 30        |
| 2.4.2 涂层刀具的发展方向 .....            | 31        |
| 2.5 其他刀具材料 .....                 | 33        |
| 2.5.1 陶瓷刀具 .....                 | 33        |
| 2.5.2 金刚石刀具 .....                | 34        |
| 2.5.3 立方氮化硼刀具 .....              | 36        |
| 2.5.4 刀具材料的选用原则 .....            | 36        |
| 2.5.5 刀具材料的发展 .....              | 37        |
| 思考题与练习题 .....                    | 38        |
| <b>第3章 金属切削的变形过程</b> .....       | <b>39</b> |
| 3.1 研究金属切削变形过程的意义和方法 .....       | 39        |
| 3.1.1 研究金属切削变形过程的意义 .....        | 39        |
| 3.1.2 研究金属切削变形过程的试验方法 .....      | 40        |
| 3.2 金属切削层的变形 .....               | 42        |
| 3.2.1 变形区的划分 .....               | 43        |
| 3.2.2 变形程度的表示方法 .....            | 45        |
| 3.3 前刀面上的摩擦及积屑瘤现象 .....          | 47        |
| 3.3.1 前刀面上的挤压与摩擦及其对切屑变形的影响 ..... | 47        |
| 3.3.2 积屑瘤的形成及其对切削过程的影响 .....     | 50        |
| 3.4 切屑变形的变化规律 .....              | 52        |
| 3.4.1 工件材料 .....                 | 53        |
| 3.4.2 刀具几何参数 .....               | 53        |
| 3.4.3 切削速度 .....                 | 53        |
| 3.4.4 切削厚度 .....                 | 54        |
| 3.5 切屑的类型及其变化规律 .....            | 55        |

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| 3.6 切屑的卷曲与折断                     | 56        |
| 思考题与练习题                          | 60        |
| <b>第4章 切削力</b>                   | <b>61</b> |
| 4.1 切削力的来源、切削合力及其分解和切削功率         | 61        |
| 4.1.1 切削力的来源                     | 61        |
| 4.1.2 切削合力及其分解                   | 61        |
| 4.1.3 工作功率                       | 62        |
| 4.2 切削力的测量及切削力指数公式               | 62        |
| 4.2.1 测定机床功率及计算切削力               | 62        |
| 4.2.2 用测力仪测量切削力                  | 63        |
| 4.2.3 切削力的指数公式                   | 64        |
| 4.3 影响切削力的因素                     | 65        |
| 4.3.1 被加工材料的影响                   | 65        |
| 4.3.2 切削用量对切削力的影响                | 66        |
| 4.3.3 刀具几何参数对切削力的影响              | 67        |
| 4.3.4 刀具材料对切削力的影响                | 71        |
| 4.3.5 切削液对切削力的影响                 | 72        |
| 4.3.6 刀具磨损对切削力的影响                | 72        |
| 4.4 切削方程式                        | 72        |
| 4.4.1 切削方程式的一般形式                 | 72        |
| 4.4.2 麦钱特(M. E. Merchant)切削方程式   | 73        |
| 4.4.3 李和谢弗(Lee and Shaffer)切削方程式 | 73        |
| 4.5 切削力理论公式                      | 74        |
| 思考题与练习题                          | 77        |
| <b>第5章 切削热和切削温度</b>              | <b>78</b> |
| 5.1 切削热的产生和传出                    | 78        |
| 5.2 切削热对切削过程的影响                  | 79        |
| 5.3 切削温度                         | 81        |
| 5.3.1 切削温度的定义                    | 81        |
| 5.3.2 切削温度的测量                    | 81        |
| 5.3.3 切削温度的分布                    | 86        |
| 5.3.4 影响切削温度的主要因素                | 87        |
| 5.4 切削温度对切削变形的影响                 | 90        |
| 思考题与练习题                          | 91        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第6章 切削摩擦学                 | 92  |
| 6.1 金属切削时的摩擦特点            | 92  |
| 6.2 金属切削的摩擦机理             | 93  |
| 6.3 切削时的摩擦系数              | 97  |
| 6.4 切削液                   | 98  |
| 6.4.1 切削液的分类              | 98  |
| 6.4.2 切削液的作用              | 98  |
| 6.4.3 切削液的润滑机理            | 99  |
| 6.4.4 切削液的添加剂             | 100 |
| 6.4.5 切削液的选用原则            | 101 |
| 6.4.6 切削液的使用方法            | 102 |
| 6.5 刀具磨损                  | 102 |
| 6.5.1 刀具磨损的形态             | 102 |
| 6.5.2 刀具磨损的机理             | 104 |
| 6.5.3 刀具磨损过程及磨钝标准         | 109 |
| 6.5.4 刀具耐用度的经验公式及刀具耐用度的分布 | 110 |
| 6.6 刀具破损                  | 113 |
| 6.6.1 刀具破损的主要形式           | 113 |
| 6.6.2 刀具破损的防止             | 115 |
| 6.7 合理耐用度的选用原则            | 115 |
| 6.7.1 刀具寿命的选择             | 115 |
| 6.7.2 切削用量与生产率的关系         | 116 |
| 思考题与练习题                   | 117 |
| 第7章 工件材料的切削加工性            | 118 |
| 7.1 切削加工性及其衡量指标           | 118 |
| 7.1.1 切削加工性的概念            | 118 |
| 7.1.2 切削加工性的衡量指标          | 118 |
| 7.2 影响切削加工性的因素            | 120 |
| 7.2.1 工件材料物理力学性能对切削加工性的影响 | 120 |
| 7.2.2 化学成分对切削加工性的影响       | 121 |
| 7.2.3 金属组织对切削加工性的影响       | 123 |
| 7.3 改善切削加工性的途径            | 125 |
| 7.4 难加工材料的切削加工性           | 126 |
| 思考题与练习题                   | 133 |



|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 第 8 章 已加工表面质量 .....            | 134 |
| 8.1 已加工表面质量的概念 .....           | 134 |
| 8.2 已加工表面的形成过程 .....           | 135 |
| 8.2.1 已加工表面的形成 .....           | 135 |
| 8.2.2 切削表面的受力过程 .....          | 136 |
| 8.3 已加工表面粗糙度 .....             | 137 |
| 8.3.1 表面粗糙度产生的原因 .....         | 138 |
| 8.3.2 影响表面粗糙度的因素 .....         | 141 |
| 8.4 加工硬化 .....                 | 143 |
| 8.4.1 加工硬化产生的原因 .....          | 143 |
| 8.4.2 影响加工硬化的因素 .....          | 143 |
| 8.5 残余应力 .....                 | 145 |
| 8.5.1 残余应力产生的原因 .....          | 145 |
| 8.5.2 影响残余应力的因素 .....          | 146 |
| 8.6 精密切削加工的表面质量 .....          | 149 |
| 8.6.1 刀具方面的措施 .....            | 149 |
| 8.6.2 切削条件方面的措施 .....          | 150 |
| 思考题与练习题 .....                  | 151 |
| 第 9 章 刀具合理几何参数的选择及切削用量优化 ..... | 152 |
| 9.1 概述 .....                   | 152 |
| 9.2 刀具合理几何角度及其选择 .....         | 152 |
| 9.3 制定切削用量的原则 .....            | 159 |
| 9.4 切削用量三要素的确定 .....           | 160 |
| 9.4.1 背吃刀量的选择 .....            | 160 |
| 9.4.2 进给量的选择 .....             | 160 |
| 9.4.3 切削速度的确定 .....            | 161 |
| 9.4.4 机床功率校验 .....             | 162 |
| 9.5 切削用量优化的概念 .....            | 162 |
| 思考题与练习题 .....                  | 165 |
| 第 10 章 高速切削 .....              | 167 |
| 10.1 概念 .....                  | 167 |
| 10.1.1 高速加工技术的产生与发展 .....      | 167 |
| 10.1.2 高速加工技术的内涵 .....         | 169 |
| 10.2 理论基础及特点 .....             | 169 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 10.2.1 高速切削机理的研究 .....            | 169        |
| 10.2.2 高速加工技术的特点 .....            | 171        |
| 10.3 高速切削加工的结构体系 .....            | 171        |
| 10.4 相关技术及其发展现状 .....             | 172        |
| 10.4.1 高速切削的机床技术 .....            | 172        |
| 10.4.2 高速切削的刀具技术 .....            | 176        |
| 思考题与练习题 .....                     | 181        |
| <b>第11章 车刀</b> .....              | <b>182</b> |
| 11.1 车刀的种类与用途 .....               | 182        |
| 11.2 焊接车刀 .....                   | 184        |
| 11.2.1 焊接车刀刀片的选择 .....            | 184        |
| 11.2.2 焊接式车刀刀槽的选择 .....           | 186        |
| 11.2.3 焊接式车刀刀杆截面形状和尺寸选择 .....     | 186        |
| 11.3 机夹车刀 .....                   | 187        |
| 11.4 可转位车刀 .....                  | 189        |
| 11.4.1 可转位车刀刀片 .....              | 189        |
| 11.4.2 可转位车刀夹紧结构的选择 .....         | 191        |
| 11.4.3 可转位车刀几何角度的设计计算 .....       | 192        |
| 思考题与练习题 .....                     | 194        |
| <b>第12章 成形车刀</b> .....            | <b>195</b> |
| 12.1 成形车刀种类和用途 .....              | 195        |
| 12.2 径向成形车刀前角和后角 .....            | 196        |
| 12.3 径向成形车刀的廓形设计 .....            | 199        |
| 12.3.1 径向成形车刀廓形设计的必要性 .....       | 199        |
| 12.3.2 径向成形车刀廓形修正计算的基本原理和方法 ..... | 199        |
| 12.3.3 成形车刀圆弧廓形的近似计算 .....        | 203        |
| 12.3.4 成形车刀附加刀刃 .....             | 204        |
| 12.4 成形车刀加工圆锥面时的误差 .....          | 204        |
| 12.4.1 双曲线误差产生的原因 .....           | 204        |
| 12.4.2 避免或减少双曲线误差的方法 .....        | 206        |
| 12.5 成形车刀的样板与技术条件 .....           | 207        |
| 12.5.1 成形车刀的样板设计 .....            | 207        |
| 12.5.2 成形车刀的技术要求 .....            | 207        |
| 思考题与练习题 .....                     | 208        |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第 13 章 孔加工刀具           | 209 |
| 13.1 孔加工刀具种类和用途        | 209 |
| 13.2 麻花钻               | 212 |
| 13.2.1 麻花钻的结构和几何角度     | 212 |
| 13.2.2 切削要素            | 215 |
| 13.2.3 钻削力和功率          | 216 |
| 13.2.4 麻花钻几何形状的改进      | 217 |
| 13.2.5 硬质合金麻花钻的结构特点    | 220 |
| 13.2.6 麻花钻的刃磨          | 221 |
| 13.3 深孔钻结构特点及工作原理      | 222 |
| 13.3.1 深孔加工特点          | 222 |
| 13.3.2 深孔钻的类型及其结构的主要特点 | 223 |
| 13.4 铰刀                | 227 |
| 13.4.1 铰刀的种类和用途        | 227 |
| 13.4.2 铰刀的结构及几何参数      | 229 |
| 13.4.3 铰刀的合理使用         | 233 |
| 13.5 镗刀                | 234 |
| 13.5.1 单刃镗刀            | 234 |
| 13.5.2 双刃镗刀            | 235 |
| 思考题与练习题                | 236 |
| 第 14 章 铣削与铣刀           | 238 |
| 14.1 铣刀的种类和用途          | 238 |
| 14.2 铣刀的几何角度           | 240 |
| 14.2.1 圆柱铣刀的几何角度       | 240 |
| 14.2.2 端铣刀的几何角度        | 240 |
| 14.2.3 铣刀几何角度的特点       | 241 |
| 14.3 铣削参数和铣削基本规律       | 242 |
| 14.3.1 铣削要素            | 242 |
| 14.3.2 铣削切削层参数         | 243 |
| 14.3.3 铣削力和铣削功率        | 245 |
| 14.3.4 铣削方式            | 249 |
| 14.3.5 铣削特点            | 251 |
| 14.3.6 铣削用量的选择         | 251 |
| 14.4 成形铣刀              | 253 |

|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| 14.4.1 成形铣刀的铲齿 .....                           | 253        |
| 14.4.2 铲齿成形铣刀的结构要素 .....                       | 257        |
| 14.4.3 前角 $\gamma_f > 0^\circ$ 成形铣刀的廓形设计 ..... | 258        |
| 14.5 尖齿铣刀结构的改进 .....                           | 259        |
| 思考题与练习题 .....                                  | 262        |
| <b>第 15 章 拉削与拉刀 .....</b>                      | <b>263</b> |
| 15.1 概述 .....                                  | 263        |
| 15.2 拉刀结构组成 .....                              | 266        |
| 15.3 拉削图形 .....                                | 267        |
| 15.4 拉刀设计 .....                                | 269        |
| 15.4.1 圆孔拉刀设计基本公式及资料 .....                     | 269        |
| 15.4.2 拉刀强度及拉床拉力校验 .....                       | 280        |
| 15.4.3 圆孔拉刀的技术条件 .....                         | 281        |
| 15.5 花键拉刀的结构特点 .....                           | 281        |
| 思考题与练习题 .....                                  | 284        |
| <b>第 16 章 数控加工与高速加工刀具 .....</b>                | <b>285</b> |
| 16.1 数控加工刀具的特点 .....                           | 285        |
| 16.1.1 数控加工常用刀具的种类及特点 .....                    | 285        |
| 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 .....                       | 287        |
| 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 .....                      | 297        |
| 16.3.4 高速切削加工用刀柄的选用 .....                      | 306        |
| 16.3.5 高速切削中刀具系统的动平衡 .....                     | 309        |
| 16.3.6 高速回转刀具的结构特点 .....                       | 312        |
| 思考题与练习题 .....                                  | 314        |
| <b>第 17 章 磨削与砂轮 .....</b>                      | <b>315</b> |
| 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 砂轮的安装和修整 .....               | 321        |
| 17.3 磨削加工类型与磨削运动 .....              | 322        |
| 17.3.1 外圆磨削 .....                   | 323        |
| 17.3.2 内圆磨削 .....                   | 324        |
| 17.3.3 平面磨削 .....                   | 324        |
| 17.3.4 无心磨削 .....                   | 325        |
| 17.4 磨削过程 .....                     | 327        |
| 17.4.1 磨粒切除切屑的几何图形 .....            | 327        |
| 17.4.2 磨粒切除切屑时与工件的接触状态 .....        | 329        |
| 17.4.3 磨削方式及磨削中各参数的关系 .....         | 329        |
| 17.5 磨削力及功率 .....                   | 331        |
| 17.5.1 磨粒的受力情况 .....                | 331        |
| 17.5.2 磨粒的负前角对磨削力的影响 .....          | 331        |
| 17.5.3 砂轮上的磨削力及其影响因素 .....          | 333        |
| 17.5.4 磨削功率消耗 .....                 | 334        |
| 17.5.5 磨削用量及单位时间磨除量 .....           | 335        |
| 17.6 磨削温度及工件表面状态 .....              | 335        |
| 17.6.1 磨削温度及工件表面烧伤 .....            | 335        |
| 17.6.2 磨削工件表层状态 .....               | 337        |
| 17.7 先进磨削方法简介 .....                 | 338        |
| 17.7.1 高速磨削 .....                   | 338        |
| 17.7.2 缓进给磨削 .....                  | 339        |
| 17.7.3 砂带磨削 .....                   | 340        |
| 17.7.4 精密、高精密、超精密磨削 .....           | 342        |
| 17.7.5 非球面磨削 .....                  | 343        |
| 17.7.6 平面珩磨 .....                   | 346        |
| 思考题与练习题 .....                       | 346        |
| <b>第 18 章 切削过程的有限元模拟与仿真技术 .....</b> | <b>347</b> |
| 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 .....        | 350        |
| 18.2.1 有限元模拟建模方法与步骤 .....           | 350        |
| 18.2.2 切屑分离标准 .....                 | 351        |
| 18.2.3 自适应网格技术 .....                | 353        |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 18.2.4 刀-屑表面的接触 .....                   | 354 |
| 18.3 切削过程的有限元模拟的实现 .....                | 355 |
| 18.3.1 DEFORM-3D 软件切削过程有限元模拟 .....      | 355 |
| 18.3.2 AdvantEdgeFEM 软件切削过程的有限元模拟 ..... | 384 |
| 18.3.3 Abaqus 软件切削过程有限元模拟 .....         | 395 |
| 18.3.4 有限元仿真与试验误差分析 .....               | 409 |
| 18.4 切削过程的有限元模拟的发展方向 .....              | 410 |
| 思考题与练习题 .....                           | 411 |
| 参考文献 .....                              | 412 |

电子工业出版社版权所有  
盗版必究

# 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。

本章根据中华人民共和国国家标准 GB/T 12204—2010 金属切削基本术语,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

### 1.1.1 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种运动:一种是主运动;另一种是进给运动。

#### 1. 主运动

由机床或人力提供的主要运动,它促使刀具和工件之间产生相对运动,从而使刀具前面接近工件,这个运动称为主运动。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(见图 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

由机床或人力提供的运动,使刀具与工件之间产生附加的相对运动,这个运动称为进给运动,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征的已加工

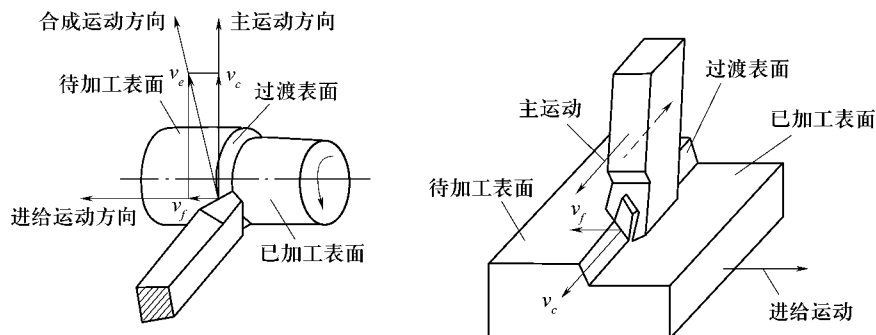


图 1-1 切削运动与加工表面

表面。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(见图 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。

### 1.1.2 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(见图 1-1)。

- (1)待加工表面。工件上有待切削之表面。
- (2)已加工表面。工件上经刀具切削后形成的表面。
- (3)过渡表面。工件上由切削刃形成的那部分表面,它在下一个切削里程,即刀具或工件的下一个转被切除,或者由下一个切削刃切除。

### 1.1.3 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 $v_c$

它是指切削刃选定点相对工件主运动的瞬时速度,单位为  $\text{m/s}$  或  $\text{m/min}$ 。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

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

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

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

#### 2. 进给量 $f$

它是刀具在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表述和度量。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  $\text{mm/r}$ ;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  $\text{mm/行程}$ (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  $\text{mm/s}$ 。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. 吃刀量

吃刀量( $a_s/a$ )是两平面间的距离,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的距离为最大的点。

(1)背吃刀量( $a_p/a_{sp}$ )。背吃刀量是通过切削刃基点并垂直于工作平面的方向上测量的吃刀量,在一些场合可用“切削深度  $a_p$ ”来表示背吃刀量。其单位为  $\text{mm}$ 。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。

(2)侧吃刀量( $a_{se}/a_e$ )。侧吃刀量是在平行于工作平面并垂直于切削刃基点的进给运动方向上测量的吃刀量。

(3)进给吃刀明( $a_{sf}/a_f$ )。进给吃刀量是在切削刃基点的进给运动方向上测量的吃刀量。

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。

### 1.2.1 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:

(1)前刀面(前面) $A_y$ (前面)——刀具上切屑流过的表面。

(2)主后面 $A_\alpha$ ——与工件上切削中产生的表面相对的表面。刀具上同前面相交形成主切削刃的后面。

(3)副后面 $A'_\alpha$ ——与工件上已加工表面相对的面。刀具上同前面相交形成副切削刃的后面。

(4)主切削刃  $S$ (主刀刃)——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。

(5)副切削刃  $S'$ (副刀刃)——切削刃上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。

刀尖(过渡刃)——指主切削刃与副切削刃的连接处相当少的一部分切削刃。

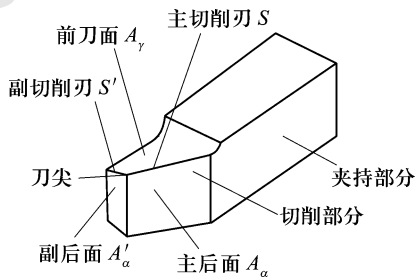


图 1-2 车刀切削部分的构成

### 1.2.2 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。

(1) 刀具静止参考系——用于定义刀具设计、制造、刃磨和测量时几何参数的参考系。在该参考系中定义的角度称为刀具的标注角度。如图 1-3 所示。

(2) 刀具工作参考系——规定刀具进行切削加工时几何参数的参考系。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。

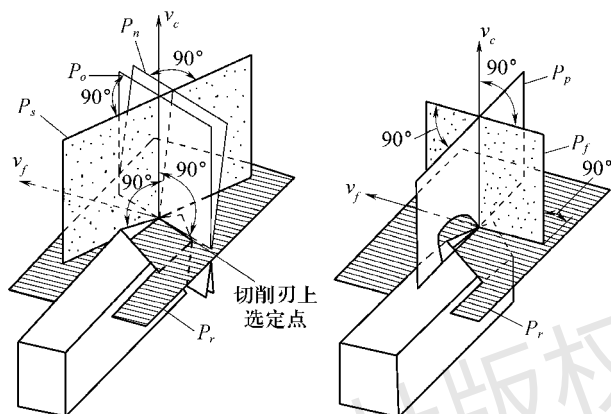


图 1-3 刀具静止参考系

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:

(1) 基面  $P_r$ ——过切削刃选定点的平面,它平行或垂直于刀具在制造、刃磨及测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线,一般说来其方位要垂直于假定的主运动方向。

(2) 主切削平面  $P_s$ ——过主切削刃选定点与主切削刃相切并垂直于基面的平面;

(3) 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。

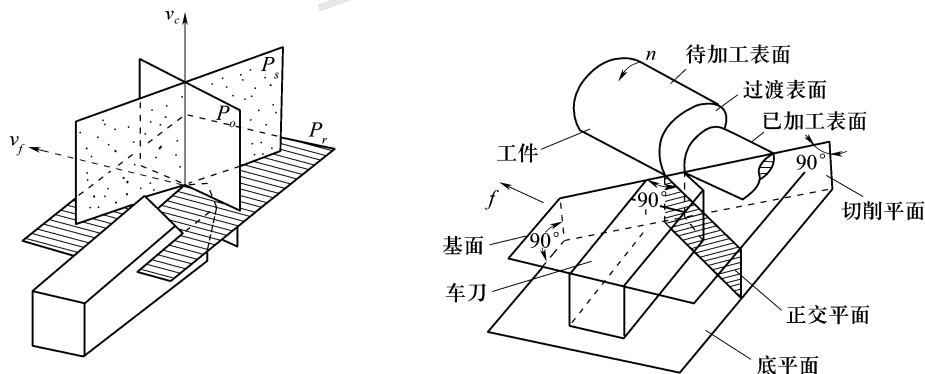


图 1-4 正交平面参考系

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  $P_f$ ——通过切削刃选定点并垂直于基面,它平行或垂直于刀具在制造、刃磨及测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线,一般说来其方位要平行于假定的进给运动方向。

背平面  $P_p$ ——通过切削刃选定点并垂直于基面和假定工作平面的平面。

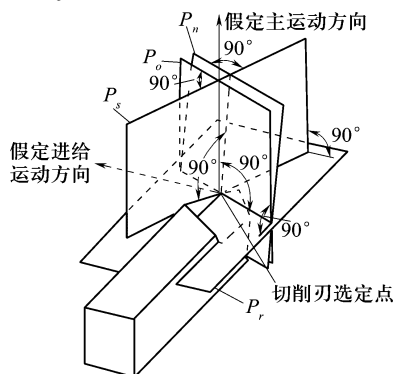


图 1-5 正交平面与法平面

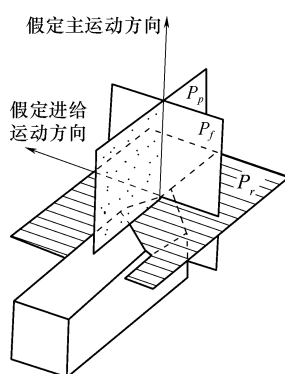


图 1-6 假定工作平面与背平面

### 1.2.3 刀具的标注角度

刀具的标注角度是指刀具工作图上需要标出的角度,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。刀具标注角度的参考系如上所述有正交平面参考系、法平面参考系、假定工作平面参考系,它们的选用,与生产中实际采用的刀具角度刃磨方式和检测夹具的构造及调整方式有关。我国过去经常采用正交平面参考系,近年来,参照国际标准 ISO 的规定,逐渐兼用正交平面参考系和法平面参考系。背平面参考系与假定平面参考系多见于美、日文献中。图 1-7 所示为外圆车刀的刀具角度。

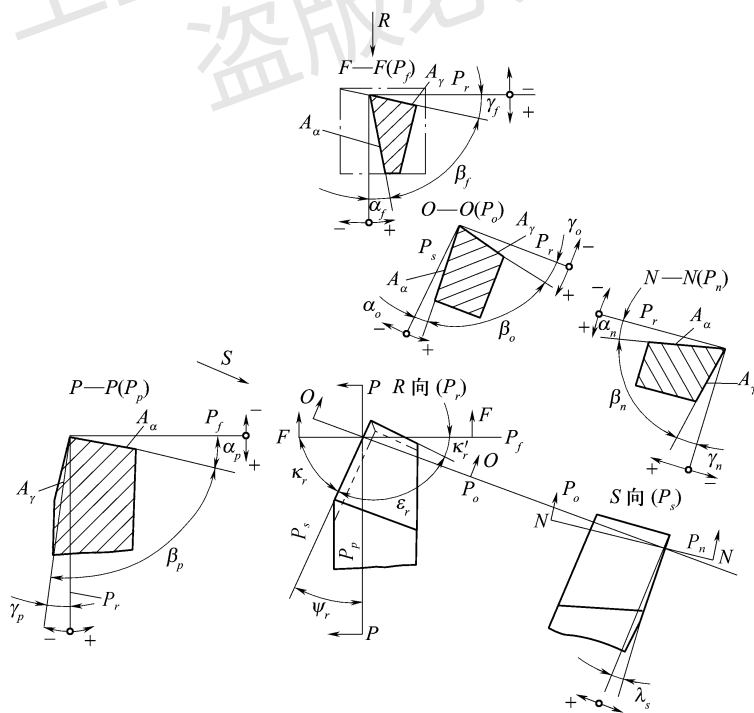


图 1-7 外圆车刀刀具角度

### 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 $\gamma_o$ ——前面与基面间的夹角,在正交平面中测量。

后角 $\alpha_o$ ——后面与切削平面间的夹角,在正交平面中测量。

主偏角 $\kappa_r$ ——主切削平面与假定工作平面间的夹角,在基面中测量。

刃倾角 $\lambda_s$ ——主切削刃与基面间的夹角,在主切削平面中测量。

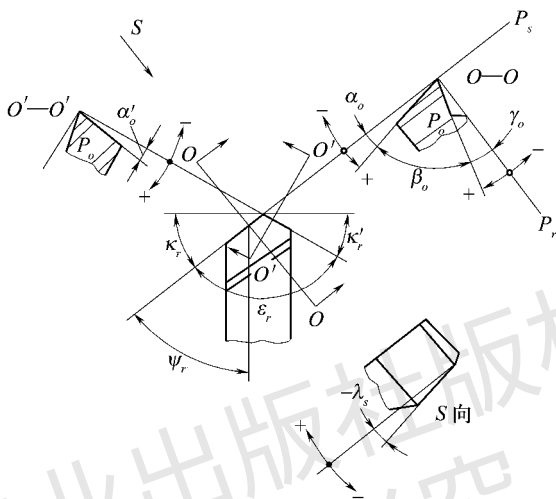


图 1-8 车削刀具正交平面参考系标注角度

以上四个角度中,前角 $\gamma_o$ 与后角 $\alpha_o$ 分别是确定前刀面 $A_\gamma$ 与主后刀面 $A_\alpha$ 方位的角度,而主偏角 $\kappa_r$ 与刃倾角 $\lambda_s$ 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 $\gamma'_o$ 、副后角 $\alpha'_o$ 、副偏角 $\kappa'_r$ 、副倾角 $\lambda'_s$ 。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 $\gamma_o$ 、 $\alpha_o$ 、 $\kappa_r$ 、 $\lambda_s$ 确定之后,副切削刃上的副刃倾角 $\lambda'_s$ 和副前角 $\gamma'_o$ 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 $\kappa'_r$ ——副切削平面与假定工作平面间的夹角,在基面中测量。

副后角 $\alpha'_o$ ——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:

正交楔角 $\beta_o$ ——前面与后面间的夹角,在正交平面中测量。

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

刀尖角 $\varepsilon_r$ ——主切削平面与副切削平面间的夹角,在基面中测量。

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

余偏角 $\psi_r$ ——主切削平面与背平面间的夹角,在基面中测量。

$$\psi_r = 90^\circ - \kappa_r \quad (1-7)$$

## 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  $\gamma_n$ 、法后角  $\alpha_n$  和法楔角  $\beta_n$ ，如图 1-9 所示。对于某些大刀倾角刀具，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  $\lambda_s$ 。

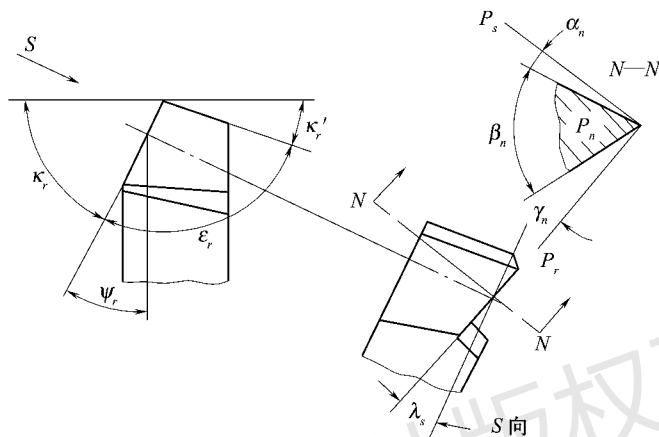


图 1-9 车削刀具法平面参考系标注角度

## 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为侧前角  $\gamma_f$  和侧后角  $\alpha_f$ ，在背平面中测量的前角和后角分别称为背前角  $\gamma_p$  和背后角  $\alpha_p$ ，如图 1-10 所示。

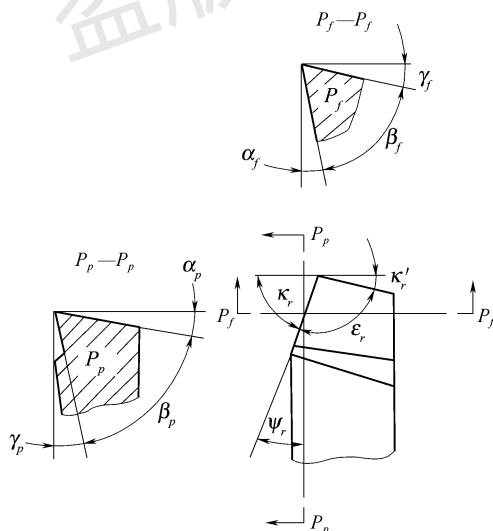


图 1-10 车削刀具背平面、假定工作平面参考系标注角度

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，也可以在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。

#### 4. 刀具角度正负的规定

当前面与基面平时,前角为零;当前面与切削平面间夹角小于  $90^\circ$  时,前角为正,大于  $90^\circ$  时,前角为负。当后面与基面间夹角小于  $90^\circ$  时,后角为正;大于  $90^\circ$  时,后角为负。

刃倾角是前面与基面在切削平面中的测量值,因此其正负的判断方法与前角类似。切削刃与基面平行时,刃倾角为零,刀尖相对车刀的底平面处于最高点时,刃倾角为正,处于最低点时,刃倾角为负,如图 1-11 所示。

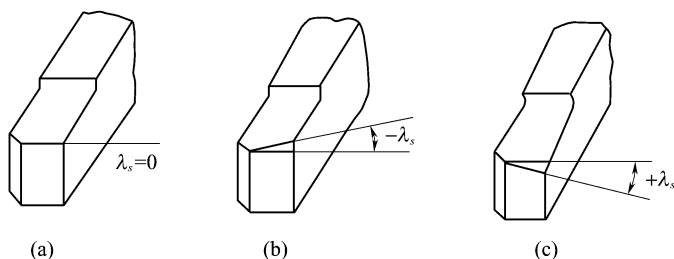


图 1-11 刃倾角正负的规定

### 1.2.4 刀具的工作角度

刀具在工作状态下的切削角度称为刀具的工作角度,应该考虑包括进给运动在内的合成切削运动和刀具的实际安装情况,因而刀具工作角度的参考系不同于标注角度参考系,刀具的工作角度是在刀具工作参考系下确定的。工作正交参考系下的参考平面如下:

工作基面  $P_{re}$ ——通过切削刃选定点与合成切削速度  $v_c$  方向垂直的平面;

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的平面;

工作正交平面  $P_{oe}$ ——通过切削刃选定点并同时与工作基面和工作切削平面相垂直的平面。

和标注角度类似,在其他参考系下也定义了相应的参考平面,如法平面参考系下的  $P_{re}$ 、 $P_{se}$ 、 $P_{ne}$ ,工作平面参考系下的  $P_{re}$ 、 $P_{fe}$ 、 $P_{pe}$ 。同样也定义了与标注角度相对应的工作角度,  $\gamma_{oe}$ 、 $\alpha_{oe}$ 、 $\kappa_{re}$ 、 $\lambda_{se}$ 、 $\gamma_{fe}$ 、 $\alpha_{fe}$  等。

刀具的安装位置与进给运动都会影响刀具工作角度,以下分别说明。

#### 1. 刀具安装位置对刀具工作角度影响

##### 1) 刀刃安装高低对工作前、后角的影响

用刃倾角  $\lambda_s = 0^\circ$  的车刀车削外圆,当车刀的刀尖高于工件中心时,其基面和切削平面的位置发生变化:主切削刃上选定点的切削平面将变为  $P_{se}$ ,它相切于工件过渡表面;基面  $P_{re}$  保持与  $P_{se}$  垂直。因而,在背平面  $P_p$  内,刀具工作前角  $\gamma_{pe}$  增大,工作后角  $\alpha_{pe}$  减小。两者角度的变化值均为  $\theta_p$ ,如图 1-12 所示,即

$$\gamma_{pe} = \gamma_p + \theta_p \quad (1-8)$$

$$\alpha_{pe} = \alpha_p - \theta_p \quad (1-9)$$

$$\tan \theta_p = h / \sqrt{\left(\frac{d_w}{2}\right)^2 - h^2} \quad (1-10)$$

式中  $h$ ——刀尖高于工件中心线的数值;

$d_w$ ——工件直径。

在正交平面内,刀具工作前角  $\gamma_{oe}$  和工作后角  $\alpha_{oe}$  的变化情况类似,即

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \theta_o \quad (1-11)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \theta_o \quad (1-12)$$

$$\tan \theta_o = \tan \theta_p \cos \kappa_r \quad (1-13)$$

式中  $\theta_o$ ——正交平面内工作角度的变化值。

若切削刃低于工件中心,则工作角度的变化情况正好相反。加工内表面时,情况与加工外表面相反。

## 2) 刀杆中心线与进给方向不垂直时对工作主、副偏角的影响

当刀杆中心线与进给运动方向垂直时,工作主偏角与工作副偏角都等于车刀标注主偏角与副偏角。如图 1-13 所示,当刀杆中心线与进给运动方向不垂直且与正常位置偏  $\theta$  角时,刀具标注工作角度的假定工作平面与现工作平面  $P_{fe}$  成  $\theta$  角,因而工作主偏角  $\kappa_{re}$  增大(或减小),工作副偏角  $\kappa'_{re}$  减小(或增大),角度变化值为  $\theta$  角,有

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm \theta \quad (1-14)$$

$$\kappa'_{re} = \kappa'_r \mp \theta \quad (1-15)$$

式中  $\theta$ ——刀杆中心线的垂线与进给方向的夹角,“+”或“-”号由刀杆偏斜方向决定。

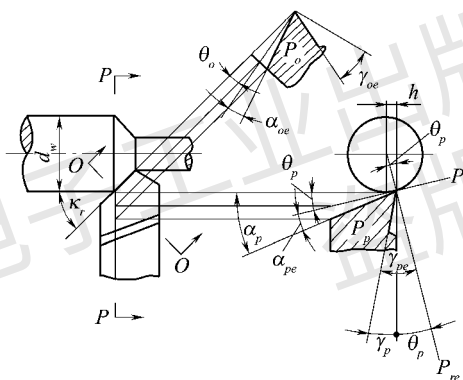


图 1-12 刀刃安装高低的影响

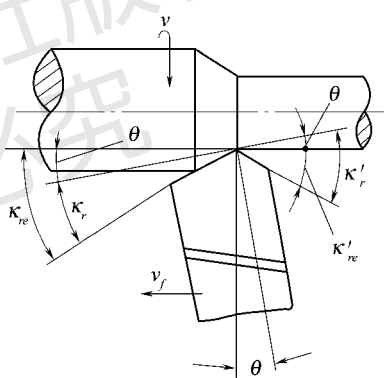


图 1-13 刀杆中心偏斜的影响

## 2. 进给运动对刀具工作角度的影响

### 1) 横向进给运动对刀具工作角度的影响

在刀具进行切断、切槽和径向铲齿时,进给运动都是沿横向进给进行切削加工的。下面以切断刀为例来分析刀具进给切削加工时进给运动对刀具工作角度的影响。如图 1-14 所示,当不考虑进给运动时,车刀刀刃上某一定点  $O$  在工件表面上的运动轨迹是一个圆,则主切削平面  $P_s$  是过  $O$  点相切于此圆的平面,基面  $P_r$  为过  $O$  点垂直于主切削平面  $P_s$  的平面,它平行于刀杆底面。 $\alpha_o$  与  $\gamma_o$  为正交平面  $P_o$  内的标注前角。当考虑横向进给运动后,刀刃上任一选定点  $O$  在工件上的运动轨迹为阿基米德螺旋线,切削平面改变为过  $O$  点相切于该螺线的平面  $P_{se}$ ,基面为过  $O$  点垂直于工作切削平面  $P_{se}$  的平面  $P_{re}$ ,此时的工作切削平面  $P_{se}$ 、工作基面  $P_{re}$  与原来的切削平面  $P_s$ 、基面  $P_r$  相对倾斜了一个角度  $\mu$ ,而工作正交平面  $P_{oe}$  与原来的  $P_o$  是重合的,仍为图面。因此,由图 1-14 可知,在刀具的工作角度参考系( $P_{re}$ 、 $P_{se}$ 、 $P_{oe}$ )内,刀具的工作前角  $\gamma_{oe}$  和工作后角  $\alpha_{oe}$  为

$$\begin{cases} \gamma_{oe} = \gamma_o + \mu \\ \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu \end{cases} \quad (1-16)$$

$$\tan \mu = \frac{f}{\pi d} \quad (1-17)$$

式中  $f$ ——工件每转一周时刀具的横向进给量;

$d$ ——刀刃上选定点  $O$  在横向进给切削过程中相对于工件中心所处的直径,也就是  $O$  点在工件上切出的阿基米德螺线对应点的直径,它在切削过程中是一个不断变化着的数值。

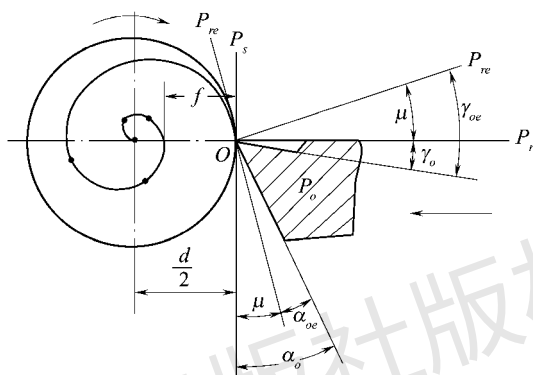


图 1-14 横向进给运动对工作角度的影响

由式(1-16)、式(1-17)可知,刀刃越接近工件中心, $d$  值越小, $\mu$  值则越大。因此,在一定进给量下,当刀刃接近工件中心时, $\mu$  值急剧增大,工作后角  $\alpha_{oe}$  将变为负值。横向进给量  $f$  的大小对  $\mu$  值也有很大影响, $f$  值增大,则  $\mu$  值增大,也有可能使工作后角  $\alpha_{oe}$  变为负值。因而对于横向切削的刀具,不宜选用过大的进给量  $f$ ,或者应适当加大标注(刃磨)后角  $\alpha_o$ 。

## 2) 纵向进给运动对刀具工作角度的影响

一般外圆车削时,由于纵向进给量  $f$  较小,它对车刀工作角度的影响通常忽略不计。但在车削螺纹,尤其是车削多头螺纹时,就会有较大的影响,此时的刀具工作角度与刀具的标注角度就会有较大的差别。

正常切削外圆时,刀具切削平面  $P_s$  与基面  $P_r$  位置如图 1-15 所示,在假定工作平面内标注角度  $\gamma_f$  与  $\alpha_f$ ,在正交平面内标注角度  $\gamma_o$  与  $\alpha_o$ ;当考虑进给运动之后,工作切削平面  $P_{se}$  与螺纹切削点相切,基面  $P_{re}$  与切削平面  $P_{se}$  垂直,故与刀杆底面不再平行,它们分别相对于  $P_s$  和  $P_r$  倾斜了同样的角度,这个角度在假定工作平面  $P_f$  中为  $\mu_f$ ,在正交平面  $P_o$  中为  $\mu_o$ 。从图可以看到,刀具在上述假定工作平面内的工作角度将为

$$\begin{cases} \gamma_{fe} = \gamma_f + \mu_f \\ \alpha_{fe} = \alpha_f - \mu_f \end{cases} \quad (1-18)$$

$$\tan \mu_f = f / \pi d_w$$

式中  $f$ ——纵向进给量,或被切螺纹的导程,对于单头螺纹, $f$  为螺距;

$d_w$ ——工件直径,或螺纹外径。

在正交平面内,刀具的工作角度为



$$\begin{cases} \gamma_{oe} = \gamma_o + \mu_o \\ \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu_o \end{cases}$$

$$\tan \mu_o = \tan \mu_f \sin \kappa_r = f \sin \kappa_r / \pi d_w \quad (1-19)$$

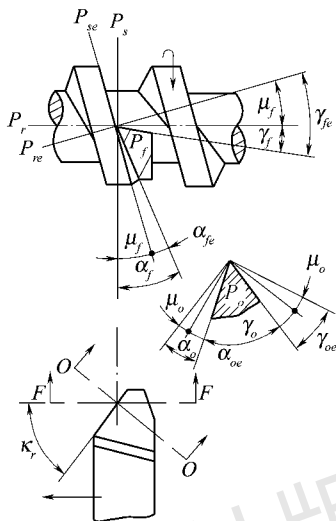


图 1-15 纵向进给运动对工作角度的影响

由式(1-19)可以看出,  $\mu_o$  与  $\mu_f$  是和进给量  $f$  及工件直径  $d_w$  有关的,  $f$  越大或  $d_w$  越小, 刀具角度的变化值也越大。另外, 图 1-15 所示的是车削右螺纹时的车刀左侧刀刃, 此时, 右侧刀刃的  $\mu_o$  与  $\mu_f$  值的符号(正、负号)是相反的, 因此对车刀右侧刃工作角度的影响也正好相反。这说明, 车削右螺纹时, 车刀左侧刀刃应注意适当加大刃磨后角, 而右侧刀刃应注意设法加大刃磨前角。同时, 当进给量  $f$  较小时, 纵向进给对刀具工作角度的影响可忽略。因此在一般的外圆车削中, 若进给量小, 则不考虑其对工作角度的影响。

### 1.3 刀具标注角度的换算

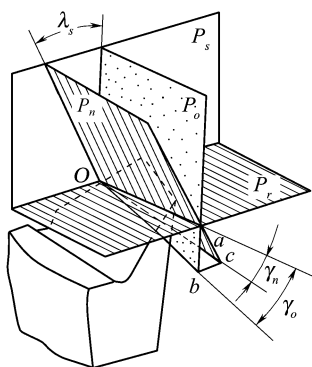
由于设计和制造的要求, 刀具在正交平面、法平面、背平面和假定工作平面参考系中的标注角度, 相互之间需要进行必要的换算, 因此有必要掌握它们之间的换算关系。

刀具角度换算的目的就是根据设计、工艺的需要, 将某一参考系的角度变换为另一所需参数系的角度。

#### 1.3.1 法平面与正交平面内前、后角换算

图 1-16 所示为刃倾角是  $\lambda_s$  的外圆车刀, 主切削刃上任意点的法前角和正交平面内的前角分别为  $\gamma_n$  和  $\gamma_o$ 。法平面  $P_n$ 、正交平面  $P_o$  与基面  $P_r$  的公共交线为  $\overline{Oa}$ , 直线  $\overline{Ob}$  是  $P_o$  和车刀前刀面交线的延长线,  $P_n$  和车刀前刀面交线的延长线为  $\overline{Oc}$ , 则由直角三角形  $\triangle Oab$ 、 $\triangle Oac$ 、 $\triangle abc$  可得

$$\tan \gamma_n = \frac{\overline{ac}}{\overline{Oa}} \quad \tan \gamma_o = \frac{\overline{ab}}{\overline{Oa}}$$


 图 1-16 车刀的法前角  $\gamma_n$ 

因此,可得

$$\frac{\tan \gamma_n}{\tan \gamma_o} = \frac{\overline{ac}}{\overline{Oa}} \cdot \frac{\overline{Oa}}{\overline{ab}} = \frac{\overline{ac}}{\overline{ab}} = \cos \lambda_s$$

故可得出  $\gamma_n$  和  $\gamma_o$  有如下的关系,即

$$\tan \gamma_n = \tan \gamma_o \cos \lambda_s \quad (1-20)$$

同理,车刀的法后角  $\alpha_n$  与正交平面内的后角  $\alpha_o$  也有如下的关系式,即

$$\cot \alpha_n = \cot \alpha_o \cos \lambda_s \quad (1-21)$$

### 1.3.2 垂直于基面的任一剖面与正交平面的前、后角换算

求垂直于基面的任一剖面内前、后角的意义在于可以进一步求出其他剖面(如背剖面)内的角度。如图 1-17 所示,这个剖面  $P_i$  并不与主切削刃在基面上的投影相垂直,它与包括主切削刃在内的主切削平面  $P_s$  的夹角为  $\tau_i$ 。

如图 1-18 所示,为求得剖面  $P_i$  内前角  $\gamma_i$  与正交平面内前角  $\gamma_o$  的关系,可进行如下的推导: $\overline{Oa}$  为剖面  $P_i$  与基面  $P_r$  的交线, $\overline{Od}$  为正交平面  $P_o$  与基面  $P_r$  的交线,而  $\overline{Oc}$  和  $\overline{Oe}$  分别为它们与前刀面交线的延长线,由图示可得

$$\tan \gamma_i = \frac{\overline{ac}}{\overline{Oa}} = \frac{\overline{ab} + \overline{bc}}{\overline{Oa}} = \frac{\overline{de} + \overline{bc}}{\overline{Oa}} =$$

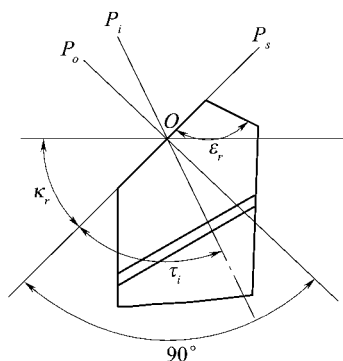
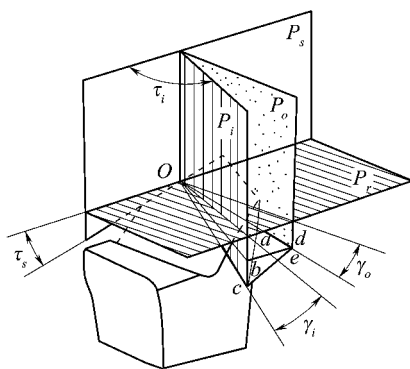
$$\frac{\overline{Od} \cdot \tan \gamma_o + \overline{be} \cdot \tan \lambda_s}{\overline{Oa}} = \frac{\overline{Od}}{\overline{Oa}} \tan \gamma_o + \frac{\overline{be}}{\overline{Oa}} \tan \lambda_s$$

又由  $\angle Oda = 90^\circ$ ,  $\angle Oad = \tau_i$ , 且  $\overline{be} = \overline{ad}$ , 故有

$$\tan \gamma_i = \tan \gamma_o \sin \tau_i + \tan \lambda_s \cos \tau_i \quad (1-22)$$

同理可得任意剖面  $P_i$  内的后角  $\alpha_i$  与正交平面内后角  $\alpha_o$  的关系式为

$$\cot \alpha_i = \cot \alpha_o \sin \tau_i + \tan \lambda_s \cos \tau_i \quad (1-23)$$

图 1-17 车刀在基面上的投影与任意剖面  $P_i$ 图 1-18 任意剖面  $P_i$  内的前角  $\gamma_i$ 

### 1.3.3 背平面与假定工作平面内的角度换算

当  $\tau_i = 90^\circ - \kappa_r$  时,由式(1-22)和式(1-23)可得背平面  $P_p$  内的背前角  $\gamma_p$  和后背角  $\alpha_p$ ,即

$$\tan \gamma_p = \tan \gamma_o \cos \kappa_r + \tan \lambda_s \sin \kappa_r \quad (1-24)$$

$$\cot \alpha_p = \cot \alpha_o \cos \kappa_r + \tan \lambda_s \sin \kappa_r \quad (1-25)$$

当  $\tau_i = 180^\circ - \kappa_r$  时,则可得假定工作平面  $P_f$  内的前角  $\gamma_f$  和后角  $\alpha_f$ ,即

$$\tan \gamma_f = \tan \gamma_o \sin \kappa_r - \tan \lambda_s \cos \kappa_r \quad (1-26)$$

$$\cot \alpha_f = \cot \alpha_o \sin \kappa_r - \tan \lambda_s \cos \kappa_r \quad (1-27)$$

由式(1-24)和式(1-25)变换形式后可得

$$\tan \gamma_o = \tan \gamma_p \cos \kappa_r + \tan \gamma_f \sin \kappa_r \quad (1-28)$$

$$\tan \lambda_s = \tan \gamma_p \sin \kappa_r - \tan \gamma_f \cos \kappa_r \quad (1-29)$$

由式(1-25)和式(1-27)变换形式后可得

$$\cot \alpha_o = \cot \alpha_p \cos \kappa_r + \cot \alpha_f \sin \kappa_r \quad (1-30)$$

$$\tan \lambda_s = \cot \alpha_p \sin \kappa_r - \cot \alpha_f \cos \kappa_r \quad (1-31)$$

### 1.3.4 最大前角 $\gamma_{\max}$ 和最小后角 $\alpha_{\min}$ 的确定

利用式(1-22)和式(1-23),对它们进行微分求极限,可得出车刀主切削刃上的最大前角  $\gamma_{\max}$  和最小后角  $\alpha_{\min}$ ,即

$$\tan \gamma_{\max} = \sqrt{\tan^2 \gamma_o + \tan^2 \lambda_s} = \sqrt{\tan^2 \gamma_f + \tan^2 \gamma_p} \quad (1-32)$$

$$\cot \alpha_{\min} = \sqrt{\cot^2 \alpha_o + \tan^2 \lambda_s} = \sqrt{\cot^2 \alpha_f + \cot^2 \alpha_p} \quad (1-33)$$

最大前角  $\gamma_{\max}$  和最小后角  $\alpha_{\min}$  所在的剖面与主切削刃在基面上的投影,即与切削平面  $P_s$  间的夹角  $\tau_{\max}$  和  $\tau_{\min}$  (图 1-17) 分别为

$$\tan \tau_{\max} = \tan \gamma_o / \tan \lambda_s \quad (1-34)$$

$$\cot \tau_{\min} = \tan \gamma_s / \cot \alpha_o = \tan \lambda_s \tan \alpha_o \quad (1-35)$$

### 1.3.5 副切削刃上副前角 $\gamma'_o$ 和副刃倾角 $\lambda'_s$ 的确定

如图 1-17 所示,当  $\tau_i = \varepsilon_r - 90^\circ$  时,设主、副切削刃在同一个平面型的前刀面上,利用

式(1-22), 则  $P_i$  剖面成为和副切削刃垂直的剖面, 得出

$$\tan \gamma'_o = -\tan \gamma_o \cos \varepsilon_r + \tan \lambda_s \sin \varepsilon_r \quad (1-36)$$

当  $\tau_i = \varepsilon_r$  时, 则  $P_i$  剖面成为副切削刃的切削平面, 故有

$$\tan \lambda'_s = \tan \gamma_o \sin \varepsilon_r + \tan \lambda_s \cos \varepsilon_r \quad (1-37)$$

## 1.4 切削层参数与切削方式

### 1.4.1 切削层参数

金属切削过程是通过刀具切削工件切削层而进行的。在切削过程中, 刀具的刀刃在一次走刀中从工件待加工表面切下的金属层, 被称为切削层, 其中一次走刀过程或指切削部分切过工件的一个单程, 或指只产生一圈过渡表面的动作。切削层的截面尺寸被称为切削层参数, 它决定了刀具切削部分所承受的负荷和切屑的尺寸大小。现以车削加工方式为例说明切削层参数的定义。

如图 1-19 所示, 刀具车削工件外圆时, 切削刃上任一点走的是一条螺旋线运动轨迹, 整个主切削刃切削出一个螺旋面。工件旋转一周, 车刀由位置 I 移动到位置 II, 移动一个进给量  $f$ , 切下金属切削层。这一切削层的参数, 通常都在过切削刃上选定点并与该点主运动方向垂直的平面内, 即在不考虑进给运动影响的基面内观察和度量。

(1) 切削层公称横截面积  $A_D$  在给定瞬间, 切削层在切削层尺寸平面里的实际横截面积。车外圆时, 如车刀主切削刃为直线, 如图 1-19(a) 所示, 车削切削层公称横截面为

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (1-38)$$

(2) 切削层公称宽度  $b_D$  在给定瞬间, 作用主切削刃截形上两个极限点间的距离, 在切削层尺寸平面中测量。当车刀主切削刃为直线时, 外圆车削的切削层截面的公称切削宽度为

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-39)$$

由式(1-39)可以看出, 当背吃刀量  $a_p$  增大或者主偏角  $\kappa_r$  减小时, 切削层公称宽度  $b_D$  增大。

(3) 切削层公称厚度  $h_D$  在同一瞬间的切削层公称横截面积与其切削层公称宽度之比。切削层截面的切削厚度为

$$A_D = h_D b_D = f a_p \quad (1-40)$$

式中  $\kappa_r$ ——刀具主偏角, 即刀具主切削刃与进给方向的夹角。

根据式(1-38)可以看出, 进给量  $f$  或刀具主偏角  $\kappa_r$  增大, 车削切削层厚度  $h_D$  增大。

若车刀主切削刃为圆弧或任意曲线, 如图 1-19(b) 所示, 则对应于主切削刃上各点的切削层公称厚度  $h_D$  是不相等的。

### 1.4.2 切削方式

#### 1. 自由切削与非自由切削

刀具在切削过程中, 如果只有一条直线刃参加切削工作, 这种情况称为自由切削。这

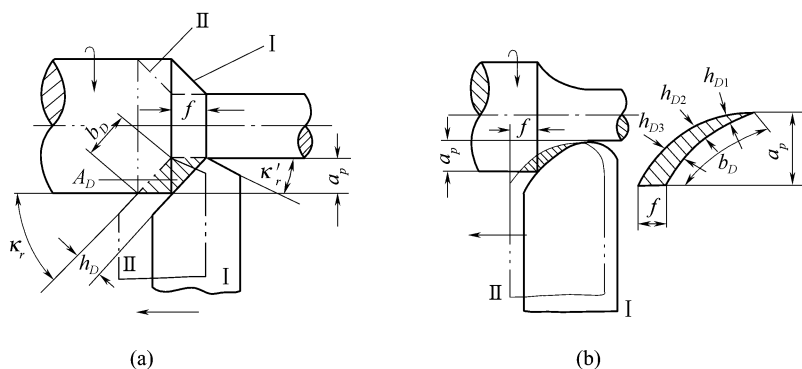


图 1-19 车削切削层参数

种切削方式的主要特征是刀刃上各点切屑流出方向大致相同,被切金属的变形基本上发生在二维平面内,即切削时切削变形过程比较简单,因此它是进行切削试验研究常用的方法。图 1-20(a) 所示为一种自由切削情况,因为宽刃刨刀主切削刃长度大于工件宽度,没有其他刀刃参加切削,且主切削刃上各点切屑流出方向基本上都是沿着刀刃的法向。

若刀具上的刀刃为曲线,或有几条刀刃(包括主切削刃和副切削刃)都参加了切削,并且同时完成整个切削过程,则称为非自由切削。其特征是各刀刃交接处切下的金属互相影响和干扰,金属变形更为复杂,且发生在三维空间内。多刃刀具切削时通常都是非自由切削。例如,外圆车削时除主切削刃外,还有副切削刃同时参加切削,因此属于非自由切削方式。

## 2. 直角切削与斜角切削

直角切削又称为正交切削,是指刀具主切削刃的刃倾角  $\lambda_s = 0$  时的切削,其主切削刃与切削速度方向成直角。图 1-20(a) 所示为一种自由切削状态下的直角切削,其切屑流出方向是沿刀刃的法向。非自由切削的直角切削是同时有几条刀刃参加切削,其主切削刃的刃倾角  $\lambda_s$  也为 0。

斜角切削是指主切削刃与切削速度方向不垂直,刀具主切削刃的刃倾角  $\lambda_s \neq 0$  时的切削。图 1-20(b) 所示为一种自由切削状态下的斜角切削。一般斜角切削方式下,主切削刃上的切屑流出方向都将偏离其法向,不论是自由切削或是非自由切削状态。

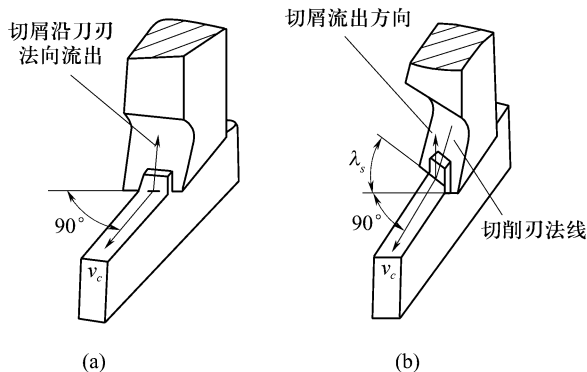


图 1-20 直角切削与斜角切削

斜角切削具有刃口锋利、排屑轻快等特点,实际切削加工中多属于斜角切削方式,而直角切削方式多用于理论和试验研究工作中。

## 思考题与练习题

1. 刀具的前角、后角、主偏角和刃倾角的定义是什么?
2. 什么是切削层公称厚度、切削层公称宽度和切削层公称横截面积?
3. 作图表示外圆、端面、镗孔、切槽刀的几何角度。
4. 试述刀具的标注角度与工作角度的区别?为什么横向切削时,进给量不能过大?
5. 设外圆车刀的  $\lambda_s = 5^\circ$ ,  $\gamma_o = 15^\circ$ ,  $\alpha_o = 8^\circ$ ,  $\kappa_r = 45^\circ$ , 求  $\gamma_f$ 、 $\gamma_p$ 、 $\alpha_r$ 、 $\alpha_o$ 。
6. 已知抗冲击车刀几何刀具角度:  $\kappa_r = 45^\circ$ 、 $\gamma_o = 30^\circ$ 、 $\alpha_o = 10^\circ$ 、 $\lambda_s = -30^\circ$ 、 $\kappa'_r = 15^\circ$ 、 $\alpha'_o = 8^\circ$ , 试计算刀具法前角  $\gamma_n$ 、副切削刃前角  $\gamma'_o$ 。
7. 列举外圆车刀在不同参考系中的主要标注角度及其定义。