

高等工科院校“十二五”规划教材

# 机械制造技术简明教程

• 张明续 于冰 主编

JIXIE ZHIZAO JISHU  
JIANMING  
JIAOCHENG

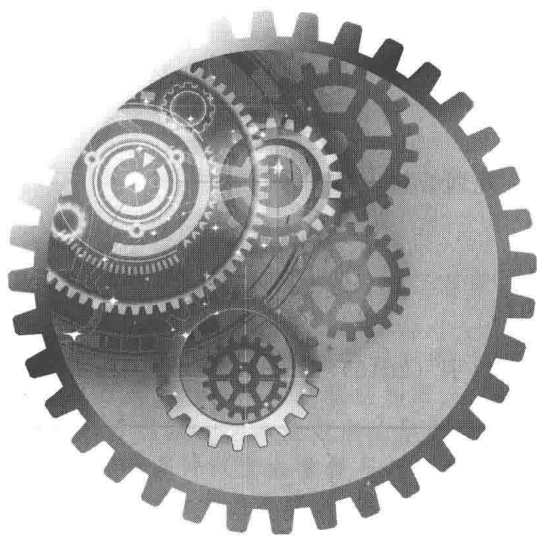


化学工业出版社

高等工科院校“十二五”规划教材

# 机械制造技术简明教程

张明续 于冰 主编  
苏德胜 闫芳 副主编  
马迎亚 刘营 陈平 参编  
戚丽丽 陆银梅 姜振华  
孟庆东 主审



JIXIE ZHIZAO JISHU  
JIANMING  
JIAOCHENG



化学工业出版社

· 北京 ·

《机械制造技术简明教程》根据教育部制定的高等学校工科本科“机械制造基础课程教学基本要求”，在充分总结各院校对本课程教学改革研究成果和实践经验的基础上编写而成。主要内容包括金属切削加工基础知识，各种切削加工工艺、设备工艺过程基础知识以及特种加工等。重点阐述基本原理与工艺方法之间的内在联系，突出教学的实践性和综合性，所选内容反映当前国内外机械制造的新工艺与新技术，且内容的取舍有一定的伸缩性，同时考虑了各章节内容的衔接，以适应不同专业、不同学时时的教学需求。

为了教与学的方便，还编有电子课件。可在化学工业出版社教材服务网（[www.cipedu.com.cn](http://www.cipedu.com.cn)）上查询、下载。

《机械制造技术简明教程》专业覆盖面宽，适合机械类、近机类和管理类专业使用；适合全日制普通本专科高校使用，也适合各职业技术学院、高职高专等成人与业余高校使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造技术简明教程/张明续, 于冰主编. —北京:  
化学工业出版社, 2016. 1

高等工科院校“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-122-25630-0

I. ①机… II. ①张… ②于… III. ①机械制造工艺-  
高等学校-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 264767 号

---

责任编辑: 刘俊之 王清灏

文字编辑: 吴开亮

责任校对: 吴静

装帧设计: 韩飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12½ 字数 331 千字 2016 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

当前, 高等教育改革正在深入发展, 为培养人才, 增强基础知识、拓宽专业面已成大势所趋。国家教委已完成工科专业目录的修订工作, 并在此基础上改革和建立了新的课程体系。“机械制造技术”课程是机械设计制造及机械工程类专业的专业基础课, 考虑到课程体系改革过渡, 以及大多数一般院校培养应用型、动手能力强的人才的特点, 我们编写了这本教材, 供有关院校使用。

《机械制造技术简明教程》根据教育部制定的高等学校工科本科“机械制造基础课程教学基本要求”, 在充分总结各院校对本课程教学改革研究成果与实践经验的基础上编写而成, 是教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的尝试。

为激发学生的学习兴趣, 培养学生勤于思考和创新的精神, 使机械制造全过程实现优质、高效、低耗、环保, 力求取得最理想的技术经济效果, 本书在编写过程中力求有新的思路、新的特点, 与传统教材相比做了较大更新, 主要有以下几个方面。

(1) 较好地反映了当前国际国内在机械制造方面的最新工艺与技术成果。

(2) 针对本课程技术性、实践性强的特点, 密切联系实际, 重在阐述基本原理和各种工艺方法之间的内在联系, 以适应培养应用型人才的教學要求, 力求体现应用型的教學特色。

(3) 针对本课程知识覆盖面宽、综合性强的特点, 安排了综合实践性教学环节, 如以典型零件组织课堂讨论, 让学生选择材料和毛坯、安排加工顺序、确定加工方案和定位基准, 从而启发学生的思维, 提高学习兴趣。

(4) 采用简明易懂的插图, 如立体图、结构示意图以及原理图等, 便于学生对教材内容的理解。

(5) 全书采用我国现行的有关国家和行业标准。

(6) 教学内容的选择具有一定的伸缩性, 同时也考虑了各章节内容的衔接, 以适应不同专业、不同学时的教学需求。

本书包括了原《金属切削原理》《金属切削机床概论》和《机械制造工艺学》中主要的和基础的内容, 并介绍一些常用刀具、特种加工、精密加工、先进制造技术等新的技术和知识。按45~60学时编写, 供本、专科及不同专业方向的学生选学(如带有\*号章节等)。

为了教与学的方便, 还编有电子课件(含各章复习题参考答案), 可在化学工业出版社教材服务网([www.cipedu.com.cn](http://www.cipedu.com.cn))上查询、下载。

本书由张明续和于冰任主编, 并统稿。苏德胜和闫芳任副主编。

参加本书编写的(按姓氏笔划排序)有: 于冰、马迎亚、刘莹、闫芳、苏德胜、陆银梅、陈平、张明续、姜振华、戚丽丽。

青岛科技大学孟庆东教授担任本书主审, 对书稿提出了许多宝贵的修改意见。

编写出版过程中得到化学工业出版社及各参编者所在学校的大力支持与协助, 借鉴、引用了许多同类教材中的资料、图表或题例。谨此一并对上述单位和个人表示衷心感谢。

限于编者水平, 书中难免存在错误和不妥之处, 恳请广大读者批评指正。

编者

2015. 10

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1	复习思考题 .....	75
1.1 机械制造业和机械制造技术及其在 国民经济中的地位 .....	1	第 6 章 刨削、插削和拉削加工 .....	76
1.2 机械制造业的现状与发展趋势 .....	2	6.1 刨削加工 .....	76
1.3 本课程的性质、研究对象、主要 内容及学习方法 .....	3	6.2 插削加工简介 .....	84
第 2 章 金属切削的基本知识 .....	4	6.3 拉削加工简介 .....	85
2.1 切削运动与切削用量 .....	4	复习思考题 .....	87
2.2 刀具切削部分的几何角度 .....	6	第 7 章 钻削、铰削与镗削加工 .....	88
2.3 切削层横截面要素 .....	10	7.1 钻削加工 .....	88
2.4 常用刀具材料 .....	11	7.2 扩孔、铰孔与铰削加工 .....	93
2.5 金属切削过程的规律 .....	15	7.3 镗削加工 .....	94
2.6 切削力 .....	21	复习思考题 .....	98
2.7 切削热与切削温度 .....	28	第 8 章 磨削加工 .....	99
2.8 切削液 .....	30	8.1 磨削加工概述 .....	99
复习思考题 .....	31	8.2 磨床 .....	100
第 3 章 金属切削机床概论 .....	33	8.3 砂轮 .....	104
3.1 金属切削机床的分类 .....	33	8.4 工件的安装 .....	105
3.2 金属切削机床型号的编制方法 .....	33	8.5 磨削加工基本操作 .....	107
3.3 金属切削机床的传动方式 .....	35	复习思考题 .....	110
复习思考题 .....	38	第 9 章 齿形加工 .....	111
第 4 章 车削加工 .....	39	9.1 齿形加工方法及装备 .....	111
4.1 概述 .....	39	9.2 基本加工方法 .....	112
4.2 车床 .....	40	复习思考题 .....	116
4.3 车刀 .....	44	第 10 章 特种加工技术 .....	117
4.4 工件安装及所用附件 .....	52	10.1 概述 .....	117
4.5 车床夹具及附件 .....	54	10.2 电火花加工 .....	118
4.6 车削加工的操作 .....	58	10.3 高能束加工 .....	121
复习思考题 .....	65	10.4 电化学加工 .....	123
第 5 章 铣削加工 .....	66	10.5 超声波加工 .....	124
5.1 铣削加工概述 .....	66	复习思考题 .....	125
5.2 铣床 .....	66	第 11 章 现代加工技术简介 .....	126
5.3 铣刀 .....	68	11.1 数控加工技术 .....	126
5.4 铣床主要附件 .....	70	11.2 立体打印法 .....	133
5.5 铣削加工方法 .....	72	11.3 虚拟制造技术简介 .....	133
5.6 冷却润滑液 .....	74	11.4 绿色制造及少无切削加工 .....	134
5.7 铣削加工的工艺特点和应用 .....	74	* 11.5 精密与超精密加工技术 .....	137
5.8 铣削加工示例 .....	74	复习思考题 .....	139
		第 12 章 装配工艺 .....	140
		12.1 装配 .....	140

12.2	装配精度 .....	142	14.1	概述 .....	167
12.3	装配尺寸链 .....	143	14.2	机械加工工艺规程的制定 .....	169
12.4	装配方法及其选择 .....	145	14.3	典型零件机械加工工艺流程实例 .....	175
12.5	制定装配工艺规程的内容和步骤 .....	149		复习思考题 .....	179
	复习思考题 .....	151	<b>第 15 章</b>	<b>典型零件的加工工艺</b> .....	180
<b>第 13 章</b>	<b>机械加工质量分析</b> .....	152	15.1	轴类零件工艺分析 .....	180
13.1	机械加工精度 .....	152	15.2	套筒类零件分析 .....	184
13.2	机械加工表面质量 .....	163	15.3	箱体类零件分析 .....	186
	复习思考题 .....	166		复习思考题 .....	192
<b>第 14 章</b>	<b>机械加工工艺流程</b> .....	167	<b>参考文献</b> .....		193



现代制造业，特别是机械制造业，是衡量国家工业化和现代化程度的基础性产业，也是国民经济持续发展的基础。本章主要介绍机械制造业的发展过程、作用和地位，以及本课程的特点及学习方法。

### 1.1 机械制造业和机械制造技术及其在国民经济中的地位

在国民经济中的各个部门中（如工业、农业、国防建设、交通运输等），广泛使用着大量的机械设备、仪器仪表和工具等装备，而机械制造业就是生产这些装备的行业。机械制造业是国民经济持续发展的基础，是工业化、现代化建设的发动机和动力源。机械制造业是技术进步的主要舞台，是在国际竞争中取胜的法宝。机械制造技术是研究用于制造上述机械产品的加工原理、工艺过程和方法及相应设备的一门工程技术。它不仅为国民经济、国家安全提供装备，也为人民物质文化生活提供丰富的产品。

机械制造业的水平体现了国家的综合实力和国际竞争能力。世界上最大的 100 家跨国公司中，80% 都集中在制造业领域，当今世界上最发达的 3 个国家——美、日、德，其机械制造业也是世界上最先进的，竞争力最强的。美国约 1/4 人口直接从事制造业，其余人口中又有约半数人所从事的工作与制造业有关。由于重视制造业，日本在第二次世界大战后 30 年时间内，发展成为世界经济大国。日本出口的产品中，机械产品占 70% 以上。

机械制造业是国民经济的产业主体，是富民强国之本，在国民经济中无论 GDP 所占的比例还是对其他产业的感应系数都很大。机械制造业是国民经济的支柱产业，占到了国民经济总收入的 60% 以上；机械制造业产品（含机电产品）约占中国社会物质总产品的 50% 左右。

机械制造业是实现跨越发展战略的中坚力量。在工业化过程中，机械制造业始终是推动经济发展的决定性力量。机械制造业也是科学技术的载体和实现创新的舞台，没有机械制造业，所谓科学技术的创新就无处体现。

世界发达国家无不具有强大的制造业。美国由于在一段相当长的时间内忽视了制造技术的发展，结果导致经济衰退、竞争力下降，出现在家电、汽车等行业不敌日本的局面。直至 20 世纪 80 年代初，美国才开始清醒，重新关注制造业的发展，至 1994 年美国汽车产量重新超过日本。

纵观机械制造业的发展，可以分为以下几个阶段。

① 17 世纪 60 年代，瓦特改进蒸汽机，标志第一次工业革命兴起，工业化大生产从此开始。

② 18 世纪中期，麦克斯韦尔建立电磁场理论，电气化时代开始。

③ 20 世纪初，福特汽车生产线、泰勒科学管理方法，标志自动化时代到来（以大量生产为特征）。

④ 第二次世界大战后，计算机、微电子技术、信息技术及软科学的发展，以及市场竞争的加剧和市场需求多样性的趋势，使中小批量生产自动化成为可能，并产生了综合自动化和许多新的制造哲理与生产模式。

⑤ 进入 21 世纪，制造技术向自动化、柔性化、集成化、智能化、精密化和清洁化的方向发展。

## 1.2 机械制造业的现状与发展趋势

目前，发达国家的机械制造技术已经达到相当高的水平，实现了机械制造系统自动化。产品设计普遍采用计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助产品工程（CAE）和计算机仿真等手段，企业管理采用了科学的、规范化的管理方法和手段，在加工技术方面也实现了底层的自动化，包括广泛地采用加工中心（或数控技术）、自动引导小车（AGV）等。近 10 余年来，发达国家主要从具有全新制造理念的制造系统自动化方面寻找出路，提出了一系列新的制造系统，如计算机集成制造系统、智能制造系统、敏捷制造、并行工程等。

我国的机械制造业起步较晚，基本上是在 20 世纪 50 年代以后开始的。但 60 多年来已取得了长足的进步。以代表机械制造业水平的数控机床为例，改革开放初期的 1979 年，我国数控机床产量仅为 692 台，到 2007 年我国数控机床拥有量约 70 万台。“十五”期间，国家又组织了“精密制造与数控关键技术研究与应用示范”重大科技攻关项目，使具有自主知识产权的高水平、高精度机床数控系统的研制和生产有较大提高。

我国的机械制造技术水平与发达国家相比还较低，落后约 10 年。近 20 余年来，我国大力推广应用 CIMS 技术，20 世纪 90 年代初期已建成研究环境，包括有 CIMS 实验工程中心和 7 个开放实验室。在全国范围内，部署了 CIMS 的若干研究项目，诸如 CIMS 软件工程与标准化、开放式系统结构与发展战略、CIMS 总体与集成技术和产品。设计自动化、工艺设计自动化、柔性制造技术、管理与决策信息系统、质量保证技术、网络与数据库技术以及系统理论和方法等各项专题研究均取得了丰硕成果，获得不同程度的进展。

但是，我国的大部分机械制造企业主要限于 CAD 和管理信息系统，因底层（车间层）基础自动化还十分薄弱，数控机床由于编程复杂还没有真正发挥作用，加工中心无论是数量还是利用率都很低，可编程控制器的使用还不普及，工业机器人的应用还很有限。因此，做好基础自动化的工作仍是我国制造企业一项十分紧迫而艰巨的任务，要努力开展制造业自动化系统的研究与应用。

当代的机械制造业（冷加工技术）正沿着三个主要方向发展。

① 加工技术向高度信息化、自动化、智能化、复合化方向发展 信息技术、智能制造技术、数控技术、柔性制造系统、计算机集成制造系统以及敏捷制造等先进制造技术都在改造传统制造业并迅速向前发展。

② 加工技术向高精度发展 出现超精密工程以及纳米技术（纳米材料及其加工、纳米测量等）。

③ 加工工艺方法进一步完善与开拓 除了传统的切削与磨削技术仍在发展外，特种加工方法也在不断开拓新的工艺可能性与新的技术，如快速成形、激光加工、电加工和射流加工等，绿色工艺、绿色制造模式方兴未艾。



同时,机械制造中的计量与测试技术、机械产品的装配技术、工况监测与故障诊断技术、机械设备性能试验技术、机械产品的可靠性保证与质量控制技术、仿生制造技术、微型制造设备技术、网络制造技术、人工智能的应用以及考虑到环境保护、节能减排和可持续发展的绿色制造技术等均要求有重大的进展。

因此,我国的机械制造工业的科技工作者必须努力工作,培养高水平的人才和提高现有人员的素质,学习和掌握当代最先进的科学技术,使我国的机械制造工业赶上世界先进水平。

### 1.3 本课程的性质、研究对象、主要内容及学习方法

#### (1) 性质

是机械类、近机械类及其工程管理类各专业的主干专业技术基础课程。

#### (2) 研究对象

金属切削原理、金属切削机床与刀具、机床夹具设计原理以及机械产品的制造工艺。

#### (3) 主要内容与学习要求

① 以金属切削理论为基础,要求掌握金属切削的基本原理和基本知识,并具有根据具体情况合理选择加工方法(机床、刀具、切削用量、切削液等)的初步能力。

② 掌握机械加工的基础理论和知识,如定位理论、工艺尺寸链理论、加工精度理论等。

③ 了解影响加工质量的各种因素,学会分析研究加工质量的方法。

④ 学会制定零件机械加工工艺过程的方法。

⑤ 了解机床夹具设计的基本原理,学会夹具设计的基本方法。

#### (4) 学习方法

机械制造技术是一门综合性、实践性、灵活性较强的课程,它涉及了毛坯制造金属材料、热处理、公差配合等方面的知识。金属切削理论和机械制造工艺知识具有很强的实践性。因此,学习本课程时必须重视实践环节,即通过实验、实习、课程设计及工厂调研来更好地体会、加深理解。本书给出的仅是基本概念与理论,真正的掌握与应用必须在不断的“实践—理论—实践”的循环中善于总结,才能达到炉火纯青的境界。

## 金属切削的基本知识

本章主要阐述切削加工过程中的基本理论, 包含切削运动、刀具切削部分的几何角度、切削变形、切削力、切削热、刀具磨损、刀具几何参数的合理选择, 以及切削用量的合理选择等。以这些理论为指导, 可以解决生产中的许多实际问题, 从而提高产品的质量, 降低生产成本, 提高生产率。因此学习好、掌握好金属切削的基本知识是十分重要的。

车刀是一种最常见、最普通、最典型的刀具, 特别是外圆车刀切削部分的形状, 可以说是其他各类刀具切削部分的基本形态。为此, 本章以车床车削为例, 介绍车刀的基本知识。掌握了这些知识内容, 就可为进一步了解其他各类刀具的工作原理打好基础。

### 2.1 切削运动与切削用量

#### 2.1.1 切削运动

在金属切削加工过程中, 除了刀具的材料必须比工件材料硬之外, 还必须使刀具与工件之间有相对运动, 这样刀具才能切除工件上多余的金属层, 这种相对运动就称为切削运动。切削运动必须具备主运动和进给运动两种运动。

##### (1) 主运动

主运动是指由机床或人力提供的主要运动, 它使刀具和工件之间产生相对运动, 使刀具前面接近工件, 从而使多余的金属层转变为切屑。

主运动的速度最高, 消耗功率最大。主运动只有一个。主运动可以是工件的运动, 如车削, 如图 2-1 所示; 也可以是刀具的运动, 如刨削, 如图 2-2 所示。

##### (2) 进给运动

进给运动是指由机床或人力提供的运动, 它使刀具和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。

进给运动的速度较低, 消耗功率较小。进给运动可以是一个, 也可以是几个。进给运动可以是工件的运动, 如刨削; 也可以是刀具的运动, 如车削。

##### (3) 合成切削运动

合成切削运动是主运动和进给运动的组合。

#### 2.1.2 切削过程中的工件表面

在切削加工过程中, 工件上始终有三个不断变化着的表面, 如图 2-1 所示。

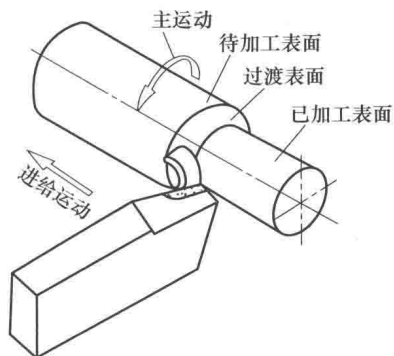


图 2-1 车削运动和工件上的表面

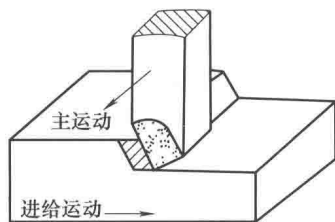


图 2-2 刨削

- ① 待加工表面 工件上有待切除的表面。
- ② 已加工表面 工件上经刀具切削后产生的表面。
- ③ 过渡表面 工件上由切削刃形成的那部分表面，它在下一切削行程，即刀具或工件的下一转里被切除，或者由下一切削刃切除。

### 2.1.3 切削用量三要素

切削用量三要素由切削速度  $v_c$ 、进给量  $f$ （或进给速度  $v_f$ ）和背吃刀量  $a_p$  组成，它是调整机床、计算切削力、切削功率和工时定额的重要参数。

#### (1) 切削速度 $v_c$

指刀具切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时速度，如图 2-3 所示。其计算公式为

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1000}$$

式中， $v_c$  为切削速度，m/min； $d_w$  为工件待加工表面直径，mm； $n$  为主运动的转速，r/min。

#### (2) 进给量 $f$

指刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量，可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表述，如图 2-4 所示。

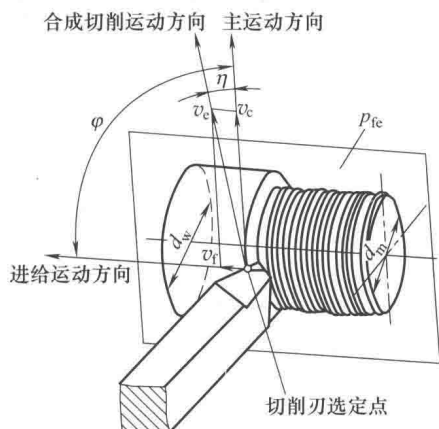


图 2-3 车削的切削速度和进给速度

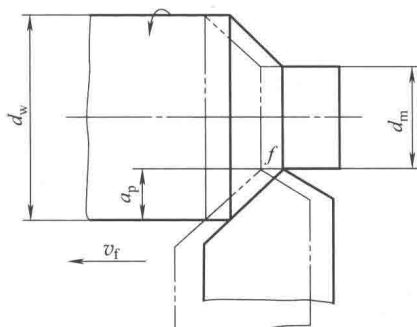


图 2-4 车削进给量和背吃刀量

进给速度  $v_f$  是指刀具切削刃上选定点相对于工件进给运动的瞬时速度，如图 2-3 所示。其计算公式为

$$v_f = fn$$

式中， $v_f$  为进给速度，mm/min； $f$  为进给量，mm/r。

### (3) 背吃刀量 $a_p$

指工件上待加工表面与已加工表面之间的垂直距离，如图 2-4 所示。

其计算公式

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}$$

式中， $a_p$  为背吃刀量，mm； $d_m$  为工件已加工表面直径，mm。

## 2.2 刀具切削部分的几何角度

### 2.2.1 车刀的组成

车刀由刀柄和刀头组成，如图 2-5 所示。刀柄是车刀上的夹持部分，刀头是车刀部分。切削部分一般由三个刀面、两条切削刃和一个刀尖共六个要素组成。

- ① 前面  $A_\gamma$  切屑流出经过的表面。
- ② 主后面  $A_\alpha$  与工件上过渡表面相对的表面。
- ③ 副后面  $A'_\alpha$  与工件上已加工表面相对的表面。
- ④ 主切削刃  $S$  前面与主后面的相交线，担负主要的切削任务。
- ⑤ 副切削刃  $S'$  前面与副后面的相交线，配合主切削刃最终形成已加工表面。
- ⑥ 刀尖 主切削刃与副切削刃的连接部分。刀尖的一般形式如图 2-6 所示。后两种形式可增强刀尖的强度和耐磨性。

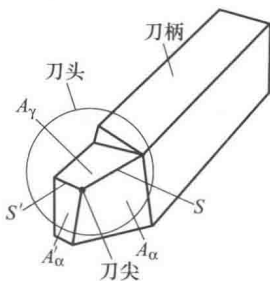


图 2-5 车刀的组成

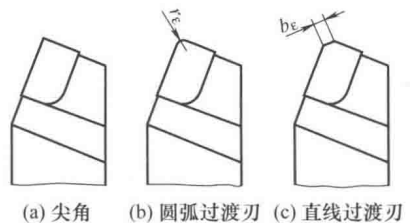


图 2-6 刀尖形式

### 2.2.2 刀具的静止角度

确定刀具的角度，仅靠车刀刀头上的几个面、几条线是不够的，还必须人为地在刀具上建立静止参考系。刀具静止参考系是指用于刀具设计、制造、刃磨和测量几何参数的参考系。建立刀具静止参考系时，不考虑进给运动的影响，并假定车刀刀尖与工件的中心等高；安装时车刀刀柄的中心线垂直于工件的轴线。在这样一个刀具静止参考系中的刀具角度定义为静止角度。

#### (1) 刀具静止参考系的平面

刀具静止参考系是由参考平面组成的，如图 2-7 所示。参考平面有：

① 基面  $p$  通过切削刃上选定点，并垂直于该点切削速度方向的平面。

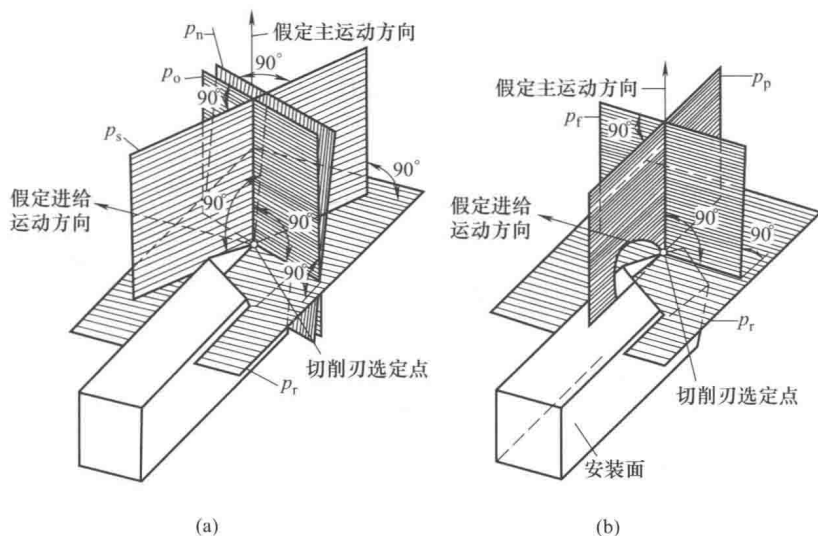


图 2-7 刀具静止参考系平面

② 主（副）切削平面  $p_s$  ( $p'_s$ ) 通过主（副）切削刃上选定点，与主（副）切削刃相切并垂直于基面的平面。在无特殊情况下，切削平面就是指主切削平面。

③ 正交平面  $p_o$  通过切削刃上选定点，并同时垂直于基面和切削平面的平面。

④ 法平面  $p_n$  通过切削刃上选定点，并垂直于切削刃的平面。

⑤ 假定工作平面  $p_f$  通过切削刃上选定点，平行于假定进给运动方向，并垂直于基面的平面。

⑥ 背平面  $p_p$  通过切削刃上选定点，并同时垂直于基面和假定工作平面的平面。

## (2) 刀具静止角度的基本定义

考虑到刀具静止角度在设计图样上的标注、刃磨和测量的方便，一般在由基面、切削平面、正交平面组成的正交平面参考系中定义刀具的静止角度，如图 2-8 所示。

① 在基面内的角度

a. 主偏角  $\kappa_r$  是主切削平面  $p_s$  与假定工作平面  $p_f$  之间的夹角， $\kappa_r$  只有正值。

b. 副偏角  $\kappa'_r$  是副切削平面  $p'_s$  与假定工作平面  $p_f$  之间的夹角， $\kappa'_r$  只有正值。

c. 刀尖角  $\epsilon_r$  是主切削平面  $p_s$  与副切削平面  $p'_s$  之间的夹角， $\epsilon_r$  只有正值。

$\epsilon_r$ 、 $\kappa_r$ 、 $\kappa'_r$  满足如下关系式

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

$\epsilon_r$  不是一个独立角度，而是一个派生角度，其大小是有  $\kappa_r$  和  $\kappa'_r$  决定的。

② 在正交平面内的角度

a. 前角  $\gamma_o$  是前面  $A_r$  与基面  $p_r$  之间的夹角，前角有正、负和零度之分。若基面与前面有间隙，为正值；无间隙也不重合，为负值；基面与前面重合，为零度。

b. 后角  $\alpha_o$  是主后面  $A_a$  与切削平面  $p_s$  之间的夹角，后角有正、负和零度之分。若切削平面与后面有间隙，为正值；无间隙也不重合为负值；切削平面与后面重合为零度。

c. 楔角  $\beta_o$  是前面  $A_r$  与后面  $A_a$  之间的夹角。 $\beta_o$  是一个派生角度。

$\beta_o$ 、 $\gamma_o$ 、 $\alpha_o$  满足如下关系式

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

$\gamma_o$ 、 $\alpha_o$ 、 $\beta_o$  是指在主切削刃上正交平面内的角度，而在副切削刃上正交平面内也有类

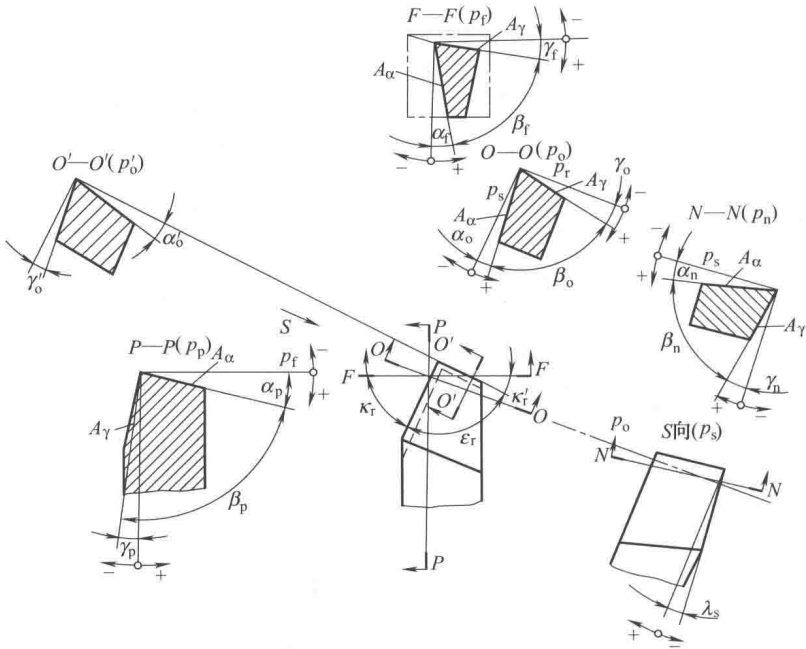


图 2-8 车刀的静止角度

似的角度，它们是：

d. 副后角  $\alpha'_o$  是副后面  $A'_\alpha$  与副切削刃平面  $P'_s$  之间的夹角。

e. 副前角  $\gamma'_o$  是前面  $A_r$  与基面  $p_r$  之间的夹角。若主、副切削刃共一个平面型的前面时，其角度的大小随  $\gamma_o$  而定，因此， $\gamma'_o$  是派生角度。

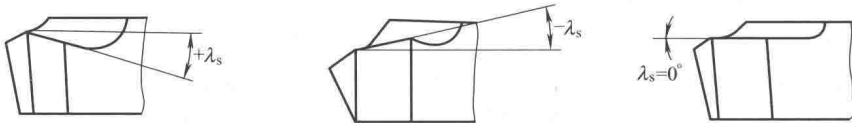


图 2-9 刀倾角

③ 在切削平面内的角度 刀倾角  $\lambda_s$  是主切削刃  $S$  与基面  $p_r$  之间的夹角。刀倾角有正、负和零度之分，如图 2-9 所示。若刀尖是切削刃上最高点时， $\lambda_s$  为正值；刀尖是切削刃上最低点时  $\lambda_s$  为负值；切削刃与基面重合时， $\lambda_s$  为零度。

上述总共介绍了车刀上的九个角度，其中六个是基本角度。它们是主偏角  $\kappa_r$ 、副偏角  $\kappa'_r$ 、前角  $\gamma_o$ 、后角  $\alpha_o$ 、副后角  $\alpha'_o$  和刀倾角  $\lambda_s$ 。在车刀的设计图样上应标注这六个基本角度。其余三个是派生角度，它们是刀尖角  $\epsilon_\gamma$ 、楔角  $\beta_o$  和副前角  $\gamma'_o$ 。在车刀的设计图上只要角度能表达清楚，这三个派生角度可不标注。

### 2.2.3 刀具的工作角度

刀具工作角度是指刀具在工作时的实际切削角度。由于刀具的静止角度是在假设不考虑进给运动的影响、规定车刀刀尖和工件中心等高以及安装时车刀刀柄的中心线垂直于工件轴线的静止参考系中定义的，而刀具在实际工作中不可能完全符合假设的条件，因此，刀具必须在工作参考系中定义其工作角度。

通常的进给运动速度远小于主运动速度，因此刀具的工作角度近似地等于静止角度，对多数切削加工（如普通车削、镗削），无需进行工作角度的计算。只有在进给速度或刀具的



安装对刀具角度的大小产生显著影响时（如刀具安装位置高低、左右倾斜、割断、车丝杆等），才需进行工作角度的计算。

(1) 刀具安装位置的高低对工作角度的影响

以  $\kappa_r=90^\circ$ 、 $\lambda_s=0^\circ$  的切断刀为例，如图 2-10 所示。

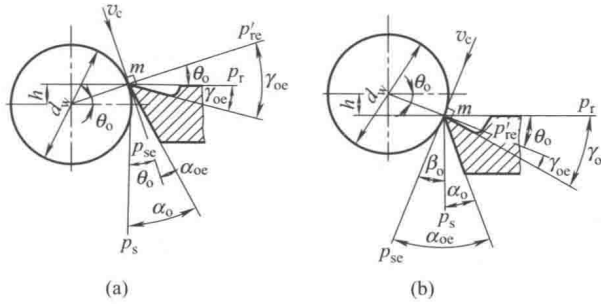


图 2-10 切断刀安装高低对工作角度的影响

① 当刀尖高于工件中心时，如图 2-10 (a) 所示，切削刃与工件接触于  $m$  点，当工件不运动时，刀具基面为  $p_r$ （与安装平面平行），切削平面为  $p_s$ ，由此得静止前角  $\gamma_o$  和静止后角  $\alpha_o$ 。当工件运动时，主运动速度  $v_c$  方向为过  $m$  点圆弧的切线方向，这时，刀具工作基面  $p_{re}$  为过  $m$  点垂直于  $v_c$  方向的平面，工作切削平面  $p_{sc}$  为过  $m$  点垂直于  $p_{re}$  的平面，由此，得工作前角  $\gamma_{oe}$  和工作后角  $\alpha_{oe}$ ，则工作角度与静止角度之间的关系式

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \theta_o$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \theta_o$$

式中， $\theta_o$  为正交平面内  $p_r$  与  $p_{re}$  的转角。

② 当刀尖低于工件中心时，如图 2-10 (b) 所示，与上述同理，得工作角度与静止角度之间的关系式

$$\gamma_{oe} = \gamma_o - \theta_o$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o + \theta_o$$

转角  $\theta_o$  的计算公式

$$\sin\theta_o = 2h/d_w$$

式中， $h$  为刀尖高于或低于工件中心线的距离，mm； $d_w$  为工件的直径，mm。

上式说明：当  $d_w$  接近于零时，即使  $h$  值很小， $\theta_o$  也是存在的，而且对工作角度  $\gamma_{oe}$ 、 $\alpha_{oe}$  影响较大。因此，安装刀具时刀尖应尽可能对准工件中心。

(2) 刀柄中心线与进给运动方向不垂直对工作角度的影响

如图 2-11 所示，当刀柄中心线与进给运动方向不垂直时，刀具主切削平面与假定工作平面（相当于进给运动方向）之间的夹角为工作主偏角；刀具副切削平面与假定工作平面之间的夹角为工作副偏角。工作主偏角与静止主偏角、工作副偏角与静止副偏角之间的关系式

$$\kappa_{\gamma_e} = \kappa_\gamma \pm G \tag{2-1}$$

$$\kappa'_{\gamma_e} = \kappa'_\gamma \mp G \tag{2-2}$$

式中， $G$  为刀柄中心线与进给运动方向的垂线之间的夹角。

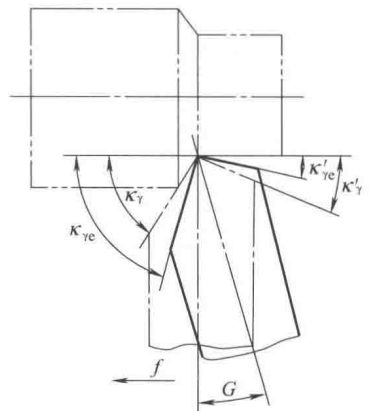


图 2-11 刀柄中心线与进给运动方向不垂直时对工作角度的影响

当刀柄中心线绕刀尖逆时针转动时，前式取“+”号，后式取“-”号。  
 当刀柄中心线绕刀尖顺时针转动时，前式取“-”号，后式取“+”号。

(3) 横向进给运动对工作角度的影响

以  $\kappa_\gamma = 90^\circ$ 、 $\lambda_s = 0^\circ$ ，刀尖与工件中心等高，切断刀的切削为例，如图 2-12 所示。

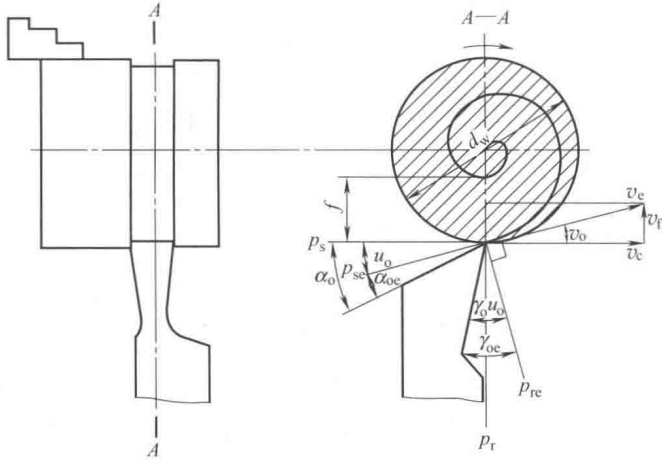


图 2-12 切断刀横向进给时对工作角度的影响

当不考虑进给运动时，刀具切削刃与工件任一接触点的运动轨迹为一圆周，主运动速度  $v_c$  方向为过该点的圆周切线方向。此时，刀具基面  $p_r$  是过该点并垂直于  $v_c$  方向的平面，切削平面  $p_r$  是过该点并垂直于基面  $p_r$  的平面。由此得静止前角  $\gamma_0$  和静止后角  $\alpha_0$ 。

当考虑横向进给运动时（即有  $v_f$ ），刀具切削刃与工件任一接触点的运动轨迹为一条阿基米德螺旋线。其合成运动速度  $v_e$  方向为过该点的阿基米德螺旋线的切线方向。此时，刀具工作基面  $p_{re}$  是过该点并垂直于  $v_e$  方向的平面，工作切削平面  $p_{sc}$  是过该点并垂直于工作基面  $p_{re}$  的平面，由此得工作前角  $\gamma_{oe}$ 、工作后角  $\alpha_{oe}$ 、工作前角、工作后角与静止前角、静止后角之间的关系式

$$\gamma_{oe} = \gamma_0 + u_0$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_0 - u_0$$

式中， $u_0$  为主运动速度方向和合成运动速度方向之间的夹角。

$u_0$  的计算式为

$$\tan u_0 = \frac{v_f}{v_c} = \frac{nf}{\pi d_w n} = \frac{f}{\pi d_w}$$

上式说明，当进给量  $f$  较大或工件直径  $d_w$  较小时，应注意  $u_0$  值对工作角度的影响。随着切断刀切削逐渐趋近工件中心时， $u_0$  值逐渐增大。当切断刀离工件中心约 1mm 时， $u_0$  约等于  $1^\circ 40'$ 。当切断刀再进一步靠近中心时， $u_0$  值会急剧增大，使工作后角变为负值，工件被挤断。

## 2.3 切削层横截面要素

切削层是指刀具切削部分的一个单一动作所切除的工件材料层。它的形状和尺寸规定在刀具的基面中度量。在车削加工中，工件每转一圈，刀具移动一定距离，主切削刃相邻两个位置间的一层金属成为切削层，切削层在基面的横截面上的形状近似地等于平行四边形，如图 2-13 所示。

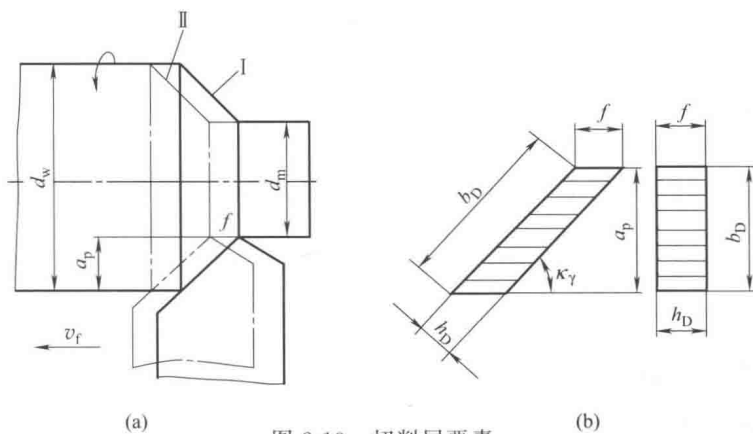


图 2-13 切削层要素

**(1) 切削层公称横截面积  $A_D$** 

指在给定瞬间，切削层在基面内的实际横截面积。

$$A_D = f a_p = h_D b_D$$

**(2) 切削层公称宽度  $b_D$** 

指在给定瞬间，作用在主切削刃截面上两个极限点的距离，在基面中测量。它基本上反映了主切削刃参加切削工作的长度。

$$b_D = a_p / \sin \kappa_\gamma$$

**(3) 切削层公称厚度  $h_D$** 

指在同一瞬间的切削层公称横截面积与切削层公称宽度之比。

$$h_D = A_D / b_D = f \sin \kappa_\gamma$$

根据上述公式可知，切削层公称宽度和切削层公称厚度随主偏角值的改变而变化，当  $\kappa_\gamma = 90^\circ$  时， $b_D = a_p = b_{D\min}$ ， $h_D = f = h_{D\max}$ ，如图 2-13 (b) 所示。切削层公称横截面形状与主偏角的大小、刀尖圆弧半径的大小、主切削刃的形状有关。

## 2.4 常用刀具材料

### 2.4.1 刀具材料必须具备的性能

**(1) 高的硬度**

硬度是指材料表面抵抗其他更硬物体压入的能力。刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度，这样，刀具才能切除工件上多余的金属，目前在室温条件下刀具材料的硬度应大于或等于 60HRC。

**(2) 高的耐磨性**

耐磨性指材料抵抗磨损的能力，与材料的硬度、化学成分、显微组织有关。一般而言，刀具材料硬度越高，耐磨性越好。刀具材料组织中的硬质点的硬度越高、数量越多、分布越均匀，耐磨性越好。

**(3) 足够的强度和韧性**

强度是指材料在静载荷作用下，抵抗永久变形和断裂的能力，刀具材料的强度一般指抗弯强度。韧性是指在冲击载荷作用下，金属材料在断裂前吸收变形能量的能力。金属的韧性通常用冲击韧度表示，而刀具材料的韧性一般指冲击韧度。在切削加工过程中，刀具总是受