

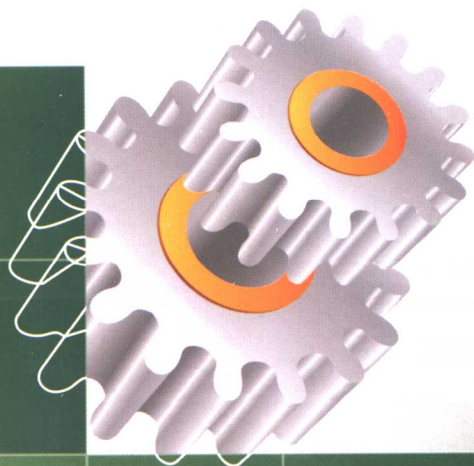


21st CENTURY

十一五规划

21世纪全国应用型本科

大机械系列 实用规划教材



金属切削原理与刀具

主 编 陈锡渠 彭晓南
副主编 梁 炜
主 审 武良臣

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

TG501

24

2006

金属切削原理与刀具

主 编	陈锡渠	彭晓南
副主编	梁 炜	
参 编	万秀颖	卫彩绒 赵冬晗
主 审	武良臣	

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书包括金属切削原理和金属切削刀具两部分内容,全书共12章。金属切削原理包括基本概念、刀具材料、金属切削过程及其变形规律、切削条件的合理选择和磨削;金属切削刀具包括车刀、孔加工刀具、铣刀、拉刀、螺纹刀具、齿轮刀具和自动化加工刀具。

本书内容严谨,理论阐述简明扼要,注重突出应用性内容。本书可作为应用型本科院校机械设计制造及自动化专业、机电一体化专业的教材,也可作为成人教育学院和高职高专院校相应专业的教材,还可作为企业或院所从事机械设计及制造工作的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

金属切削原理与刀具/陈锡渠,彭晓南主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社,2006.8

(21世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4447-7

I. 金… II. ①陈… ②彭… 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. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第076950号

书 名: 金属切削原理与刀具

著作责任者: 陈锡渠 彭晓南 主编

策 划 编 辑: 李昱涛

责 任 编 辑: 郭穗娟 杜 娟

标 准 书 号: ISBN 7-5038-4447-7

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同7号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话:编辑部 66170109 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路205号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 涿州市星河印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 20.25印张 464千字

2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

定 价: 29.00元

丛书总序

殷国富*

机械是人类生产和生活的基本工具要素之一,是人类物质文明最重要的一个组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门,包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务,在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20 世纪 80 年代以来,以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生,极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度,改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式,产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。这些机械方面的新方法和系统的主要技术特征表现在以下几个方面:

(1) 信息技术在机械行业的广泛渗透和应用,使得现代机电产品已不再是单纯的机械构件,而是由机械、电子、信息、计算机与自动控制等集成的机电一体化产品,其功能不仅限于加强、延伸或取代人的体力劳动,而且扩大到加强、延伸或取代人的某些感官功能与大脑功能。

(2) 随着设计手段的计算机化和数字化, CAD/CAM/CAE/PDM 集成技术和软件系统得到广泛使用,促进了产品创新设计、并行设计、快速设计、虚拟设计、智能设计、反求设计、广义优化设计、绿色产品设计、面向全寿命周期设计等现代设计理论和技术方法的不断发展。机械产品的设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低,而是注重综合考虑质量、市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

(3) 传统机械制造技术在不断吸收电子、信息、材料、能源和现代管理等方面成果的基础上形成了先进制造技术,并将其综合应用于机械产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的机械产品制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力。

(4) 机械产品加工制造的精密化、快速化,制造过程的网络化、全球化得到很大的发展,涌现出 CIMS、并行工程、敏捷制造、绿色制造、网络制造、虚拟制造、智能制造、大规模定制等先进生产模式,制造装备和制造系统的柔性及可重组已成为 21 世纪制造技术的显著特征。

(5) 机械工程的理论基础不再局限于力学,制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候都更紧密地依赖诸如现代数学、材料科学、微电子技术、计算机信息科学、生命科学、系统论与控制论等多门学科及其最新成就。

上述机械科学与工程技术特征和发展趋势表明,现代机械工程学科越来越多地体现着知识经济的特征。因此,加快培养适应我国国民经济建设所需要的高综合素质的机械工程学科人才的意义十分重大、任务十分繁重。我们必须通过各种层次和形式的教育,培养出适应世界机械工业发展潮流与我国机械制造业实际需要的技术人才与管理人才,不断推动我国机械科学与工程技术进步。

为使机械工程学科毕业生的知识结构由较专、较深、适应性差向较通用、较广泛、适

*殷国富教授:现为教育部机械学科教学指导委员会委员,现任四川大学制造科学与工程学院院长

应性强方向转化,在教育部的领导与组织下,1998 年对本科专业目录进行了第 3 次大的修订。调整后的机械类专业变成 4 类 8 个专业,它们是:机械类 4 个专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、过程装备与控制、工业设计);仪器仪表类 1 个专业(测控技术与仪器);能源动力类 2 个专业(热能与动力工程、核工程与核技术);工程力学类 1 个专业(工程力学)。此外还提出了面向更宽的引导性专业,即机械工程及自动化。因此,建立现代“大机械、全过程、多学科”的观点,探讨机械科学与工程学科专业创新人才的培养模式,是高校从事制造学科教学的教育工作者的责任;建立培养富有创新能力人才的教学体系和教材资源环境,是我们努力的目标。

要达到这一目标,进行适应现代机械学科发展要求的教材建设是十分重要的基础工作之一。因此,组织编写出版面向大机械学科的系列教材就显得很有意义和十分必要。北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们通过对国内大学机械工程学科教材实际情况的调研,在与众多专家学者讨论的基础上,决定面向机械工程学科类专业的学生出版一套系列教材,这是促进高校教学改革发展的重大决策。按照教材编审委员会的规划,本系列教材将逐步出版。

本系列教材是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作的教师立足于 21 世纪机械工程学科发展的需要,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写,以适应不同类型、不同层次的学校结合学校实际情况的需要。本系列教材编写的特色体现在以下几个方面:

(1) 关注全球机械科学与工程学科发展的大背景,建立现代大机械工程学科的新理念,拓宽理论基础和专业知识,特别是突出创造能力和创新意识。

(2) 重视强基础与宽专业知识面的要求。在保持较宽学科专业知识的前提下,在强化产品设计、制造、管理、市场、环境等基础理论方面,突出重点,进一步密切学科内各专业知识面之间的综合内在联系,尽快建立起系统性的知识体系结构。

(3) 学科交叉与综合的观念。现代力学、信息科学、生命科学、材料科学、系统科学等新兴学科与机械学科结合的内容在系列教材编写中得到一定的体现。

(4) 注重能力的培养,力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力以及不断自我更新知识的能力,促进学生向着富有鲜明个性的方向发展。

总之,本系列教材注意了调整课程结构,加强学科基础,反映系列教材各门课程之间的联系和衔接,内容合理分配,既相互联系又避免不必要的重复,努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索。当然,本系列教材还需要在内容的精选、音像电子课件、网络多媒体教学等方面进一步加强,使之能满足普通高等院校本科教学的需要,在众多的机械类教材中形成自己的特色。

最后,我要感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也要感谢北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之在我国机械工程类学科专业的教学改革和课程体系建设中起到应有的促进作用。

2006 年 1 月

前 言

随着科学技术的迅猛发展,知识信息也在迅猛增长。在当前各门课程教学时数普遍压缩的情况下,使学生掌握金属切削及其刀具的基础知识和基本设计方法,就必须对教材内容进行优化重组,力图做到认真筛选内容,合理把握深度。本书就是在这种背景下,以适量、实用、先进性为原则,并结合我国机械类专业的培养目标和规格要求而编写的。

《金属切削原理与刀具》是一门实践性很强的课程,教材的内容须与学生的基础相适应,使其既有一定理论深度又尽量结合实际应用,从而达到加强学生的实践能力、综合运用知识的能力这一目标。因此,本书在每章后均有适量的习题,做到与金工实习、生产实习等教学环节紧密结合。另外,考虑到学生的基础层次不同及这门课程今后的发展,本书保留了金属切削原理与刀具基本内容(各校可根据具体自身需求,适当选择),同时增添了部分自动化加工刀具的内容。

本书由陈锡渠和彭晓南任主编,梁炜任副主编,参与编写的还有万秀颖、卫彩绒、赵冬晗。具体分工是:陈锡渠编写第1、2、6章,梁炜编写第3章,万秀颖编写第4、9章,卫彩绒编写第5、10、12章,赵冬晗编写第7、8章,彭晓南编写第11章。全书由陈锡渠统稿,武良臣教授主审。武良臣教授在审稿中提出了很多宝贵意见,在此深表谢意。

由于编写时间仓促,加之编写人员水平有限,本书定然存在不足之处,恳请广大读者和同仁批评指正。

编 者
2006年4月

目 录

第 1 章 基本定义	1	2.4.2 常用硬质合金的分类、性能 及应用	24
1.1 切削加工概述	1	2.5 其他刀具材料	26
1.1.1 切削加工的基本条件	1	2.5.1 陶瓷材料	26
1.1.2 工件上的加工表面	1	2.5.2 金刚石	27
1.1.3 切削加工中的运动及构成	2	2.5.3 立方氮化硼	27
1.1.4 切削用量和材料切除率	3	2.5.4 涂层刀片	27
1.2 刀具几何结构	5	小结	27
1.2.1 车刀结构	5	习题	28
1.2.2 静止参考系和刀具 的几何角度	6	第 3 章 金属切削过程及其变形规律	29
1.2.3 工作角度	9	3.1 切屑的形成过程	29
1.3 刀具标注角度换算	13	3.1.1 切屑形成的力学模型和 变形区的划分	29
1.3.1 正交平面和法平面间的前、 后角换算	13	3.1.2 第一变形区的变形及其简化	32
1.3.2 任意剖面 and 正交平面间前、 后角的换算	14	3.1.3 第二变形区的变形	34
1.4 切削层参数和切削方式	15	3.1.4 变形程度的表示方法	37
1.4.1 切削层参数	15	3.1.5 切屑的类型与折断	39
1.4.2 切削方式	17	3.1.6 切屑变形的变化规律	43
小结	18	3.2 切削力和切削功率	46
习题	18	3.2.1 切削力的来源	46
第 2 章 刀具材料	20	3.2.2 切削合力、分力及功率	47
2.1 刀具材料应具备的性能和种类	20	3.2.3 切削力的测量	48
2.1.1 刀具材料应具备的性能	20	3.2.4 切削力经验公式的建立	49
2.1.2 刀具材料的分类	21	3.2.5 影响切削力的因素	55
2.2 工具钢	22	3.3 切削热和切削温度	59
2.2.1 碳素工具钢	22	3.3.1 切削热的产生和传出	60
2.2.2 合金工具钢	22	3.3.2 切削温度及其分布和测量	61
2.3 高速钢	22	3.3.3 影响切削温度的主要因素	64
2.3.1 高速钢的特点	22	3.4 刀具磨损和破损	69
2.3.2 常用高速钢材料的分类 与性能及应用	22	3.4.1 刀具磨损的形式	70
2.4 硬质合金	24	3.4.2 刀具磨损的原因	71
2.4.1 硬质合金的组成与特点	24	3.4.3 刀具磨损过程及磨钝标准	73
		3.4.4 刀具耐用度及其与切削 用量的关系	75

3.4.5 刀具的破损.....	78	4.4.5 切削速度的确定	126
3.5 已加工表面的形成	79	4.4.6 切削用量选择实例	127
3.5.1 已加工表面的形成过程.....	79	小结	129
3.5.2 已加工表面的质量指标.....	81	习题	129
3.5.3 已加工表面的粗糙度 及其控制.....	81	第5章 磨削	130
3.5.4 加工硬化.....	85	5.1 砂轮	130
3.5.5 残余应力.....	88	5.1.1 磨料	130
小结	92	5.1.2 粒度	132
习题	93	5.1.3 结合剂	132
第4章 切削条件的合理选择	95	5.1.4 砂轮的硬度	132
4.1 工件材料的切削加工性	95	5.1.5 砂轮的组织	133
4.1.1 工件材料切削加工性的 概念和衡量指标.....	95	5.1.6 砂轮的形状、尺寸及用途	133
4.1.2 影响工件材料切削 加工性的因素及改善 切削加工性的途径.....	96	5.2 砂轮表面形貌图	134
4.1.3 几种难加工材料的切削加工.....	99	5.3 磨削过程	135
4.1.4 非金属材料的切削 加工性简介.....	104	5.3.1 磨削特点	135
4.2 切削液	105	5.3.2 磨削运动和磨削要素	136
4.2.1 切削液的分类.....	106	5.3.3 磨削过程	139
4.2.2 切削液的功用.....	106	5.4 磨削力及功率	140
4.2.3 切削液的选择和应用.....	109	5.4.1 磨粒的受力情况	140
4.3 刀具合理几何参数的选择	111	5.4.2 磨粒的负前角磨削对 磨削力的影响	140
4.3.1 刀具的合理几何参数.....	111	5.4.3 砂轮上的磨削力	141
4.3.2 前角及前刀面形状的选择.....	112	5.4.4 磨削力对磨削过程的影响	142
4.3.3 后角及后刀面的选择.....	115	5.4.5 磨削功率消耗	143
4.3.4 主偏角、副偏角及刀尖 形状的选择.....	117	5.5 磨削温度	143
4.3.5 刃倾角的选择.....	118	5.5.1 磨削热的来源	144
4.3.6 刀具合理几何参数 选择实例.....	120	5.5.2 磨削温度的影响因素	144
4.4 切削用量的选择	120	5.5.3 磨削温度对工件 表面的影响	145
4.4.1 制定切削用量的原则.....	121	5.6 砂轮的磨损与砂轮的修整	146
4.4.2 合理刀具耐用度的确定.....	121	5.6.1 砂轮的磨损	147
4.4.3 背吃刀量的选择.....	123	5.6.2 砂轮的修整	147
4.4.4 进给量的选择.....	124	5.7 先进磨削方法简介	149
		5.7.1 高速磨削	149
		5.7.2 强力磨削	149
		5.7.3 砂带磨削	149
		小结	150
		习题	151

第 6 章 车刀	152
6.1 车刀的种类和用途	152
6.1.1 按用途分类	152
6.1.2 按结构分类	154
6.2 可转位机夹车刀	155
6.2.1 可转位刀片型号 及合理选用	155
6.2.2 选择可靠的刀片夹紧结构	157
6.3 成形车刀	158
6.3.1 成形车刀的种类、 用途及装夹	158
6.3.2 成形车刀的前角和后角	160
6.3.3 径向成形车刀的廓形设计	163
6.3.4 工件的双曲线误差	167
小结	168
习题	169
第 7 章 孔加工刀具	170
7.1 孔加工刀具的种类及用途	170
7.1.1 在实体材料上加工 孔用刀具	170
7.1.2 对已有孔加工用刀具	171
7.2 麻花钻	173
7.2.1 麻花钻的结构和几何参数	174
7.2.2 钻削原理	177
7.2.3 麻花钻的结构缺陷与刃磨	178
7.2.4 深孔钻	180
7.3 铰刀	183
7.3.1 铰刀种类和用途	184
7.3.2 铰刀的结构与几何参数	184
7.3.3 铰削特点与铰刀 的合理利用	187
7.4 孔加工复合刀具	188
7.4.1 孔加工复合刀具的特点	188
7.4.2 常用孔加工复合刀具	189
小结	190
习题	191
第 8 章 铣刀	192
8.1 铣刀的种类和用途	192

8.1.1 按用途分	192
8.1.2 按刀齿齿背形式分	194
8.2 铣刀的几何角度	195
8.2.1 铣刀的标注角度参考系	195
8.2.2 铣刀的几何角度	195
8.3 铣削基本规律	197
8.3.1 铣削要素与切削层参数	197
8.3.2 铣削力及铣削功率	201
8.3.3 铣削方式	202
8.4 尖齿铣刀	204
8.4.1 尖齿铣刀的结构参数	204
8.4.2 几种常用尖齿铣刀 的结构特点	205
8.5 成形铣刀	206
8.5.1 成形铣刀的铲齿	207
8.5.2 铲齿成形铣刀的铲削 量和后角	207
8.5.3 成形铣刀的廓形设计	209
小结	210
习题	211
第 9 章 拉刀	212
9.1 概述	212
9.1.1 拉削特点	212
9.1.2 拉刀类型	213
9.1.3 拉刀的结构	213
9.2 拉削图形	214
9.2.1 分层式拉削	214
9.2.2 分块式拉削	215
9.2.3 综合式拉削	216
9.3 圆孔拉刀设计	217
9.3.1 切削部	217
9.3.2 校准部	221
9.3.3 其他部分	222
9.3.4 拉刀强度及拉床拉力校验	224
9.4 拉刀的合理使用和刃磨	225
9.4.1 拉削表面的缺陷 与解决方法	225
9.4.2 拉刀的刃磨	226

小结	226	11.4.4 剃前刀具	268
习题	227	11.5 插齿刀	269
第 10 章 螺纹刀具	228	11.5.1 插齿刀的工作原理、 类型和应用	269
10.1 螺纹刀具的类型、特点及用途	228	11.5.2 插齿刀的齿面形状、前角 和后角	272
10.1.1 切削加工螺纹刀具	228	11.5.3 正前角插齿刀的齿形 误差及其修正方法	275
10.1.2 滚压加工螺纹刀具	230	11.5.4 外啮合直齿插齿刀加工 齿轮时的校验	278
10.2 丝锥	230	11.6 非渐开线齿轮刀具	281
10.2.1 丝锥的结构与几何参数	230	11.6.1 非渐开线齿轮刀具的 种类和用途	281
10.2.2 典型丝锥简介	231	11.6.2 展成滚齿刀具的一般求法	284
小结	232	小结	291
习题	232	习题	292
第 11 章 齿轮刀具	233	第 12 章 自动化加工刀具	293
11.1 齿轮刀具的主要类型和选用	233	12.1 自动线刀具	293
11.1.1 按加工齿轮的品种分	233	12.1.1 自动线刀具要求	293
11.1.2 按加工原理分	233	12.1.2 自动化加工中刀具尺寸 的补偿方法	295
11.1.3 齿轮刀具的选用	235	12.1.3 自动线刀具的更换	298
11.2 成形齿轮刀具	236	12.1.4 自动化加工中工具系统	300
11.2.1 成形齿轮刀具的种类 和应用范围	236	12.2 数控机床刀具	301
11.2.2 加工直齿外齿轮的铣刀 的分组和铣刀齿形	237	12.2.1 数控机床刀具的更换	301
11.3 齿轮滚刀和蜗轮滚刀	240	12.2.2 数控机床刀具的工具系统	303
11.3.1 齿轮滚刀	240	12.2.3 数控机床刀具的选用原则	307
11.3.2 蜗轮滚刀	251	小结	308
11.3.3 滚刀的合理使用	255	习题	308
11.3.4 蜗轮飞刀	257	参考文献	309
11.4 剃齿刀	259		
11.4.1 剃齿刀的类型和应用	259		
11.4.2 剃齿原理	261		
11.4.3 剃齿刀主要结构参数 的确定	265		

第1章 基本定义

教学提示：为了分析和研究方便，本章参照 ISO 标准和《金属切削基本术语》(GB/T 12204—1990)的有关规定，并结合生产实际，以车削和车刀为代表介绍了切削运动、刀具几何角度和切削用量等有关概念和符号，着重分析了车刀的几何构造、刀具标注角度参考系和角度标注、刀具的工作参考系和刀具工作角度的影响因素等问题。切削过程的基本条件、切削运动的组成及其定量描述、刀具的几何结构及有关几何要素的概念、切削层及其参数是本章必须掌握的基础知识，还要掌握刀具的角度标注和刀具的工作角度的变化情况，了解刀具的角度转换计算和切削方法。

教学要求：本章要求学生在理解了所有的基本定义和结构组成的基础上，重点掌握刀具角度的标注以及具体生产条件对刀具工作角度的影响。

切削加工是在机床上利用切削工具从工件上切除多余材料，从而获得具有一定形状精度、尺寸精度、位置精度和表面质量的机械零件，是机械加工的基本方法。由于多数零件选用金属材料制作，而广泛使用的切削工具则是各类刀具，因此对用刀具切削金属材料的研究具有特别重要的技术意义。

1.1 切削加工概述

1.1.1 切削加工的基本条件

为了使切削加工过程能够顺利进行，必须具备下述基本条件：

(1) 刀具和工件间要有形成零件结构要素所需的相对运动。这类相对运动由各种切削机床的传动系统提供。

(2) 刀具材料的性能能够满足切削加工的需要。刀具在切除工件上多余材料时，工作部分将受到切削力、切削热、切削摩擦等的共同作用，且切削负荷很重，工作条件恶劣，因此，刀具材料必须具有适应强迫切除多余材料这一特定过程的性能，例如足够的强度和刚度、高温下的耐磨性等。

(3) 刀具必须具有一定的空间几何结构。零件多余材料被刀具从工件上切除的本质，仍然是材料受力变形直至断裂破坏，只是完成这个过程的时间很短，材料变形破坏的速度很快。为了完成这一过程时能够确保加工质量、尽量减少动力消耗和延长刀具寿命，刀具切削部分的几何结构和表面状态必须能适应切削过程的综合要求。

1.1.2 工件上的加工表面

切削加工中，随着切削层(加工余量)不断被刀具切除，工件上有 3 个处于变动中的表

面,如图 1.1(a)、图 1.1(d)所示。

(1) 待加工表面。工件上行将被切除的表面。

(2) 已加工表面。工件上经刀具切削后产生的新表面。

(3) 过渡表面。工件上由切削刃正在切削着的表面,位于待加工表面和已加工表面之间,也称作加工表面或切削表面。

需指出的是,在切削加工过程中,三个表面始终处于不断的变动之中:前一次走刀的已加工表面,即为后一次走刀的待加工表面;过渡表面则随进给运动的进行不断被刀具切除。

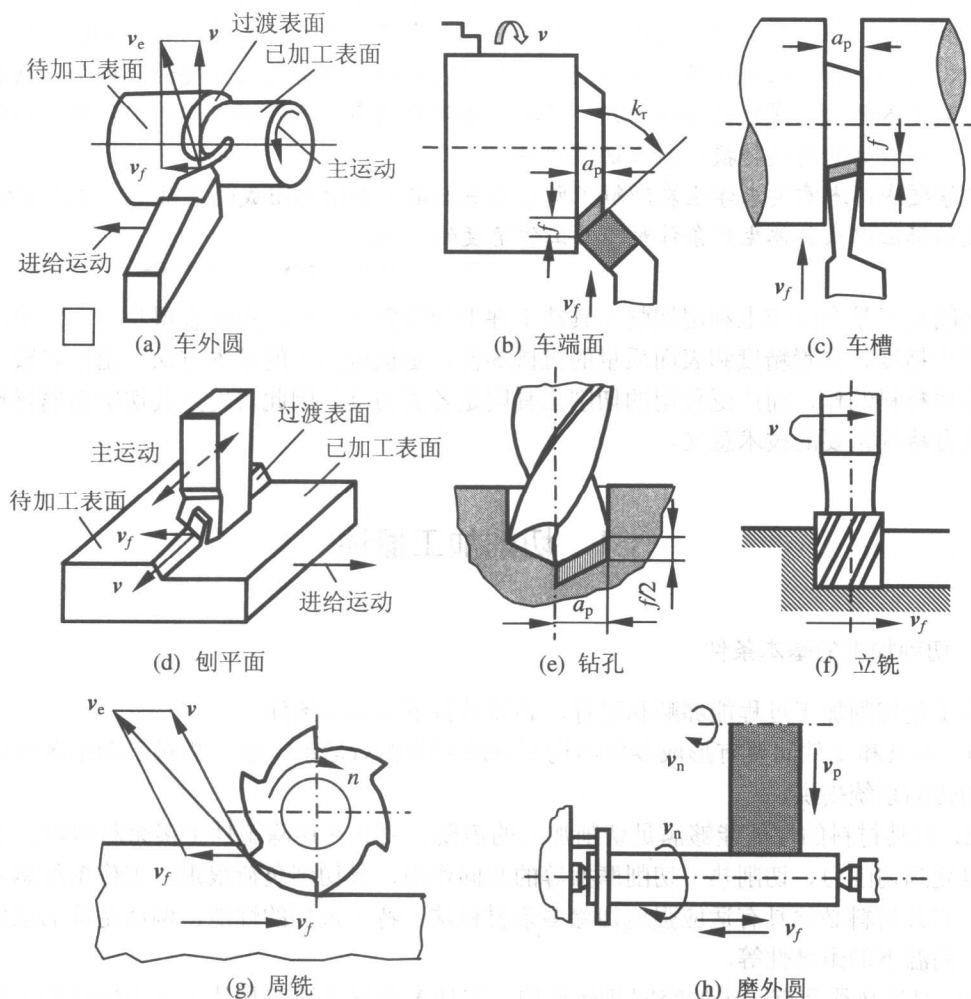


图 1.1 常见加工方法的加工表面、切削运动、切削用量

v —主运动; v_f —纵向进给运动; v_n —圆周进给运动; v_p —径向进给运动

1.1.3 切削加工中的运动及构成

在切削加工形成零件需要表面的全过程中,刀具和工件间的相对运动,按作用的不同分为下列两类:即切削运动和辅助运动。

1. 切削运动

直接完成切除加工余量任务，形成所需零件表面的运动，称为切削运动。包括主运动和进给运动。

(1) 主运动。直接切除工件上的多余材料，使之转变为切屑，从而形成工件新表面的运动。主运动通常只有一个，且速度和消耗功率较大。例如，车床上工件的旋转运动；龙门刨床刨削时，工件的直线往复运动；牛头刨床刨刀的直线往复运动；铣床上的铣刀、钻床上的钻头和磨床上砂轮的旋转等都是切削加工时的主运动，如图 1.1 中的 v 。

(2) 进给运动。将工件上的多余材料不断投入切削区进行切削以逐渐切削出零件所需整个表面的运动。进给运动一般有一个，也可多于一个，且速度和消耗功率较小。例如：车外圆时车刀纵向连续的直线运动，在牛头刨床上刨平面时工件横向间断的直线移动，纵磨外圆时工件的圆周进给运动和轴向直线进给运动等，如图 1.1 中 f 或 v_f 。

无论是主运动还是进给运动，其基本运动形式均是连续的或间歇的直线运动或回转运动，由两者通过不同形式的组合，则可构成多种符合需要的切削运动；主运动和进给运动可由刀具和工件分别完成(如车削和刨削)，也可由刀具单独完成(如钻孔)，但很少由工件单独完成；主运动和进给运动可以同时进行(如车削、钻削)，也可以交替进行(如刨平面、插键槽)；在主运动和进给运动同时进行的切削加工中(如车外圆、钻孔、铣平面等)，常在选定点将两者按矢量加法合成，称为合成切削运动。合成运动的速度向量 v_c 等于主运动速度向量 v 与进给运动的速度向量 v_f 之和[图 1.1(a)、图 1.1(g)]，即

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

2. 辅助运动

不直接参加切除多余材料，但却是完成零件表面加工全过程必不可少的运动。例如，控制切削刃切入工件表面深度的吃刀运动，重复走刀前的退刀运动，刨刀、插齿刀等回程时的让刀运动等。

1.1.4 切削用量和材料切除率

在生产中将切削速度、进给量和背吃刀量统称为切削用量，切削用量用来定量描述主运动、进给运动和投入切削的加工余量厚度。切削用量的选择直接影响材料切除率，进而影响生产效率。有关定义如下。

1. 切削速度 v

切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时速度称为切削速度，单位为 m/s 或 m/min 。当主运动为旋转运动时， v 可按式(1.2)计算

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1.2)$$

式中： d ——切削刃选定点处刀具或工件的直径(mm)；

n ——主运动转速(r/min 或 r/s)。

切削刃上各点的切削速度有可能不同,考虑到刀具的磨损和工件的表面加工质量,在计算时应以切削刃上各点中的最大切削速度为准。

2. 进给量 f

主运动的一个循环或单位时间内刀具和工件沿进给运动方向的相对位移量称为进给量。如图 1.1 所示,用单齿刀具(如车刀、刨刀)进行加工时,常用刀具或工件每转或每行程刀具在进给运动方向上相对工件的位移量来度量,称为每转进给量(mm/r)或每行程进给量(mm/str)。

对于齿数为 z 的多齿刀具(如钻头、铣刀)每转或每行程中每齿相对于工件在进给运动方向上的位移量,称为每齿进给量,记作 f_z ,单位为毫米/齿。显然

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (1.3)$$

用多齿刀具(如铣刀)加工时,也可用进给运动的瞬时速度即进给速度来表述。切削刃上选定点相对工件的进给运动的速度称为进给速度,记作 v_f ,单位为 mm/s 或 mm/min。对于连续进给的切削加工, v_f 可按式(1.4)计算

$$v_f = nf = nf_z z \quad (1.4)$$

对于主运动为往复直线运动的切削加工(如刨削、插削),一般不规定进给速度,但规定每行程进给量。

3. 背吃刀量 a_p

过实际参加切削的切削刃上相距最远的两点,且与 v 、 v_f 所确定的平面平行的两平面间的距离称为背吃刀量(或在通过切削刃上选定点并垂直于该点主运动方向的切削层尺寸平面中,垂直于进给运动方向测量的切削层尺寸。有关切削层尺寸见 1.4.1 节),单位为 mm。车削和刨削时,背吃刀量就是工件上已加工表面和待加工表面间的距离(图 1.1(b)、(c)、(e))。

车削外圆、内孔等回转表面时

$$a_p = \frac{|d_w - d_m|}{2} \quad (1.5)$$

式中: d_w ——工件待加工表面直径(mm);

d_m ——工件已加工表面直径(mm)。

4. 材料切除率 Q_z

在切削过程中,单位时间内切除材料的体积称为材料切除率,单位为 mm^3/s 。由式(1.6)计算:

$$Q_z = 1000 v_f a_p \quad (1.6)$$

材料切除率是衡量切削效率的重要指标,切削用量的大小对其有直接影响。

1.2 刀具几何结构

在生产中切削加工的方法很多,所采用的切削刀具种类繁多、形状各异,但仔细分析会发现其切削部分有许多共同之处。其中车刀的结构最简单,也最具代表性,其他的刀具均可看成是车刀的变形,故以车刀为例介绍刀具的一般术语,这些术语也适于其他金属切削刀具。

1.2.1 车刀结构

图 1.2 所示为最常用的外圆车刀,它们都由夹持部分(刀柄)和切削部分(刀头)两大部分组成。夹持部分一般为矩形(外圆车削)或圆形(镗孔),切削部分根据需要制造成多种形状。车刀切削部分的结构要素包括三个切削刀面、两条切削刃和一个刀尖。

1. 切削刀面

(1) 前面 A_f , 又称前刀面, 即切屑流过的表面。

(2) 后面 A_a , 又称后刀面, 即与工件上经切削产生的表面相对的表面, 分为主后面(车刀上与工件上切出的过渡表面相对的面, 记作 A'_a)和副后面(车刀上与工件上切出的已加工表面相对的面, 记作 A''_a)。习惯上所说的后面是指主后面。

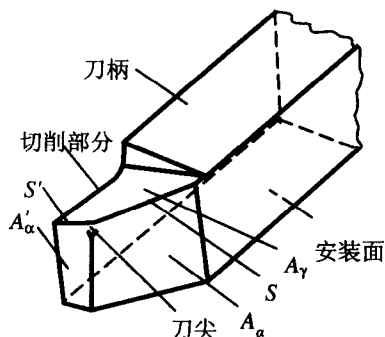


图 1.2 车刀几何构成

2. 切削刃

(1) 主切削刃 S : 前面与后面的交线, 承担主要切削工作, 它在工件上切出过渡表面。

(2) 副切削刃 S' : 前面与副后面的交线, 配合主切削刃切除余量并形成已加工表面。

3. 刀尖

主副切削刃连接相当少的一部分切削刃, 它可能是主切削刃和副切削刃的实际交点, 但大部分刀尖处都有一小段圆弧刃(半径为 r_β)或直线刃(长度为 b_β)。刀尖是刀具切削部分工作条件最恶劣的部位。

4. 楔部

在刀具切削部分由前面和后面所包围的那部分实体成为楔部, 任何切削刀具都是在这

个楔部实体上演变出来的。

1.2.2 静止参考系和刀具的几何角度

为使切削加工过程能够顺利进行, 刀具切削部分必须具有一定的几何结构, 即刀具切削部分各组成要素如刀尖、主切削刃、副切削刃和前面、后面必须有一定的形状及空间相互位置。为了准确描述和标注刀具切削部分各组成要素在空间上的位置, 需建立适当的参考坐标系。这些坐标系分为两类: 一类称为静态参考系(或称标注参考系), 它是刀具设计计算、绘图标注、制造刃磨及测量时用来确定切削刃、刀面空间几何角度的定位基准, 用它定义的角度称为静态角度(或称为标注角度); 另一类称为动态参考系(或称为工作参考系), 它是确定刀具上切削刃、刀面相对于工件的几何位置的基准, 用它定义的角度称为工作角度。两者的区别在于前者是在一定的假设条件下建立的, 而后者是根据生产中的实际状况建立的。

1. 建立静止参考系的条件

- (1) 假定的运动条件。忽略进给运动速度, 以主运动速度向量 $\mathbf{v}$ 代替合成运动向量 $\mathbf{v}_c$ 。
- (2) 假定的安装条件。假定刀具的安装基面与切削速度方向垂直, 切削刃上选定点与工件中心线等高。同时规定刀杆中心线与进给方向垂直。

2. 静止参考系

构成静止参考系的参考坐标平面有以下几种。

- (1) 基面 P_r : 为过切削刃选定点而和该点假定主运动方向 $\mathbf{v}$ 垂直的平面。
- (2) 切削平面 $P_s(P'_s)$: 为过切削刃上选定点与切削刃相切并垂直于基面 P_r 的平面。选定点在主切削刃上者为主切削平面 P_s , 选定点在副切削刃上者为副切削平面 P'_s 。未特别说明, 切削平面是指主切削平面。
- (3) 正交平面 $P_o(P'_o)$: 又称正交剖面或主剖面, 过切削刃上选定点并同时垂直于基面 P_r 和切削平面 P_s 的平面(或过切削刃选定点并垂直于切削刃在基面 P_r 上的投影的平面)。选定点在主切削刃上者为主正交平面 P_o , 选定点在副切削刃上者为副正交平面 P'_o 。
- (4) 法平面 P_n : 又称法剖面, 过切削刃上选定点且垂直于切削刃(若切削刃为曲线, 则垂直于切削刃在该点的切线)的平面。
- (5) 假定工作平面 P_f : 又称横向平(剖)面, 它是过切削刃上选定点, 垂直于基面 P_r 且与假定进给运动方向平行的平面。
- (6) 背平面 P_b : 又称纵向剖面, 它是过切削刃上选定点而同时垂直于基面 P_r 和假定工作平面 P_f 的平面。

其中, 正交平面、法平面、假定工作平面和背平面又统称为测量平面, 用不同的测量平面分别与基面、切削平面组合就形成不同的参考坐标系, 包括正交平面参考系、法平面参考系、假定工作平面和背平面参考系。各参考坐标平面的位置及相互关系如图 1.3 所示。

我国过去多采用正交平面参考系, 近年来参照 ISO 的规定, 逐渐兼用正交平面参考系和法平面参考系, 背平面和假定工作平面参考系则常见于美国和日本的文献中。几种刀具静止参考系的相互关系见表 1-1。

表 1-1 刀具静止参考系的关系

坐标体系	正交平面系	法平面系	假定工作平面及背平面系
基本组成	基面 P_r		
	切削平面 $P_s(P'_s)$		
	正交平面 $P_o(P'_o)$	法平面 P_n	假定工作平面 P_f 、背平面 P_p
相互关系	(1) $P_r \perp v$ (2) v 在 P_s 面内		
	(3) P_s 与主切削刃在选定点处相切 (4) $P_r \perp P_s$		
	(5) $P_o \perp P_r, P_o \perp P_s$ (6) P_o 垂直于主切削刃在基面内的投影	(5) $P_n \perp P_s$ (6) $P_n \perp P_r$ 时, P_n 和 P_o 重合为同一平面	(5) P_r, P_f, P_p 组成空间直角坐标系 (6) $P_f \perp P_s$ 时, P_s 与 P_p 重合为同一平面

注：表 1-1 所列的刀具静止参考系，都建立在刀具和工件间尚未发生切削运动的基础上；定义 P_r 和 P_s 时，依据的主运动方向和进给运动方向，是刀具进入理想的工作位置后，选定点才能具有的切削速度 v 和进给速度 v_f 的指向，故称“假定”主运动方向和“假定”进给运动方向，这样处理主要是为了将复杂的动态切削过程合理简化，为刀具要素的度量标注设定一个稳定的参考系。

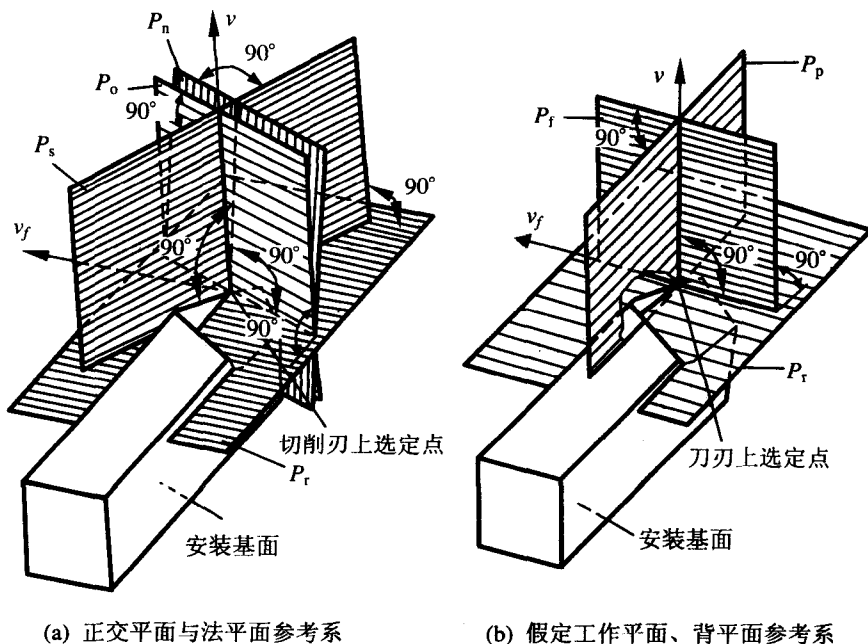


图 1.3 刀具静止参考系

3. 刀具几何角度与标注

刀具的几何角度是指刀具上的切削刃、刀面与参考系中各参考面间的夹角，用以确定切削刃、刀面的空间位置。由于切削刃上各点的主运动方向可能不同，因此据其建立的参考系的方位也是变化的，所以定义的角度必须指明是切削刃上选定点的角度；凡未经特殊