



全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

机械制造基础

付 平 吴俊飞 主编

高等教育出版社

全国教育科学

研究成果

机械制造基础

Jixie Zhizao Jichu

付 平 吴俊飞 主 编

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会金工课程教学指导组制定的“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”,以教育部课程改革指南为指导,以科学性、先进性、系统性、实用性为目标编写的。本书为全国教育科学“十一五”规划课题研究成果。本书内容注重学生获取知识、分析问题、解决工程技术问题的实践能力、综合素质与创新能力的培养。

本书共8章,内容包括切削加工基础知识、切削加工方法与设备、常见表面加工方案选择、机械制造工艺基础、特种加工、数控加工技术、先进制造技术、机械制造业的环境保护。本书在内容上重视基础性知识,对于目前仍广泛应用于现代机械制造业的传统常规工艺精选保留,对于过时的内容予以淘汰,同时重视跟踪科学技术的发展,增加了技术上较为成熟的、应用范围较宽或发展前景较好的“三新”(即新材料、新技术、新工艺)内容,如增加了特种加工、数控加工、先进制造技术的比重,增加了机械制造业的环境保护,既体现了常规制造技术与现代制造技术、材料科学和现代信息技术的密切交叉与融合,也体现了制造技术的历史传承和未来发展趋势。

本书是高等工科院校机械类、近机类各专业的教材,也可以作为高职类工科院校及工程技术人员和技术工人的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/付平,吴俊飞主编.--北京:高等教育出版社,2016.6

ISBN 978-7-04-045469-7

I. ①机… II. ①付… ②吴… III. ①机械制造-高等学校-教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 107825 号

策划编辑 卢 广

责任编辑 杜惠萍

封面设计 钟 雨

版式设计 马敬茹

插图绘制 杜晓丹

责任校对 刘丽娟

责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100120

印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 17.75

字 数 320 千字

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>

<http://www.hepmall.com>

<http://www.hepmall.cn>

版 次 2016 年 6 月第 1 版

印 次 2016 年 6 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 45469-00

前言

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会金工课程教学指导组制定的“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”,以教育部课程改革指南为指导,以科学性、先进性、系统性、实用性为目标编写的。本书为全国教育科学“十一五”规划课题研究成果。本书内容注重学生获取知识、分析问题、解决工程技术问题的实践能力、综合素质与创新能力的培养。

本书是一本建立在原金属工艺学机械加工部分(含特种加工)基础上、力图把传统与先进制造工艺基础联系在一起的涉及不同学科的教材,吸收了不同学科大量的新理论、新材料、新工艺、新技术、新方法知识,有助于学生更好地适应社会的需求,并兼顾个人的长远发展。本书内容涉及切削加工基础知识、切削加工方法与设备、常见表面加工方案选择、机械制造工艺基础、特种加工、数控加工技术、先进制造技术、机械制造业的环境保护等多方面知识,具备了基础性、实践性和跨学科的知识结构。在内容的编写上,本书重视基础性知识,对于目前仍广泛应用于现代机械制造业的传统常规工艺精选保留,对于过时的内容予以淘汰,同时重视跟踪科学技术的发展,增加了技术上较为成熟的、应用范围较宽或发展前景较好的“三新”(即新材料、新技术、新工艺)内容,如增加了特种加工、数控加工技术、先进制造技术的比重,增加了机械制造业环境保护,既体现了常规制造技术与现代制造技术、材料科学和现代信息技术的密切交叉与融合,也体现了制造技术的历史传承和未来发展趋势,为学生的进一步学习及今后从事机械产品设计和加工制造方面的工作奠定基础。

本书既是各专业学习现代制造技术的专业基础教材,也是提高本科生的全面素质,培养高素质、复合型和创新型人才,为理、工、文、医、经、管、艺术等不同学科提供基础工业知识的特色基础教材。

本书中的名词术语采用国家最新标准,取材新颖,结构紧凑,文字简练,插图丰富,图文并茂。

本书有一定的灵活性,在保证教学基本要求的前提下,各院校在安排课程内容时,可结合自己学校的情况来选择决定。

本书由付平、吴俊飞担任主编。付平编写了第一、二、三、四章,吴俊飞编写了第五、六、七章,付平和李绍明编写了第八章。天津大学张世昌教授审阅了本

II 前言

书,并提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢。

本书是高等工科院校机械类、近机类各专业的教材,也可作为高职类工科院校及工程技术人员和技术工人的参考书。

由于编者水平所限,书中难免会有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2016年1月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581999 58582371 58582488

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法律
事务与版权管理部

邮政编码 100120

目 录

第一章 切削加工基础知识	1
第一节 切削加工概述	1
一、切削加工的分类	1
二、切削加工的特点	1
第二节 切削运动及切削要素	2
一、零件表面的形成	2
二、切削表面与切削运动	3
三、切削用量	4
四、切削层参数	5
第三节 切削刀具及其材料	6
一、切削刀具的结构	6
二、刀具材料	13
第四节 切削过程及控制	17
一、切屑的形成过程及切屑种类	18
二、积屑瘤	20
三、切削力和切削功率	21
四、切削热和切削温度	23
五、刀具磨损和刀具寿命	26
六、切削用量的合理选择	28
第五节 磨具与磨削过程	29
一、磨料与磨具	29
二、磨削过程	32
第六节 材料的切削加工性	34
一、衡量材料切削加工性的指标	34
二、常用材料的切削加工性	35
三、难加工材料的切削加工性	36
复习思考题	37
第二章 切削加工方法与设备	39
第一节 金属切削机床的基本知识	39
一、机床的分类	39

二、金属切削机床的型号	40
第二节 车削加工	42
一、车刀	42
二、车床及其附件	43
三、车削基本工艺	51
四、车削加工的应用	52
五、车削的工艺特点	61
第三节 铣削加工	61
一、铣刀	63
二、铣床及其附件	64
三、铣削基本工艺	67
四、铣削加工的应用	69
五、铣削的工艺特点	71
第四节 钻削、铰削加工	71
一、钻孔	71
二、扩孔	78
三、铰孔	79
第五节 刨削、拉削、镗削加工	80
一、刨削加工	80
二、插削加工	85
三、拉削加工	85
四、镗削加工	89
第六节 磨削加工	91
一、磨床	92
二、磨削基本工艺	96
三、磨削的工艺特点	100
第七节 精密加工方法	102
一、研磨	102
二、珩磨	104
三、超级光磨	105
四、抛光	106
复习思考题	107
第三章 常见表面加工方案选择	109
第一节 外圆面的加工	110
一、外圆面的技术要求	110
二、外圆面加工方案的分析	110
第二节 孔的加工	111

一、孔的技术要求	111
二、孔加工方案的分析	112
第三节 平面的加工	113
一、平面的技术要求	113
二、平面加工方案的分析	113
第四节 成形面的加工	114
一、成形面的技术要求	115
二、成形面加工方法的分析	115
第五节 螺纹的加工	116
一、螺纹的技术要求	116
二、螺纹加工方法的分析	116
三、螺纹加工方法选择	123
第六节 齿轮齿形的加工	123
一、齿轮的技术要求	124
二、齿轮齿形加工方法的分析	125
复习思考题	135
第四章 机械制造工艺基础	136
第一节 工艺过程的基本概念	136
一、生产过程和工艺过程	136
二、机械加工工艺过程的组成	137
三、生产纲领和生产类型	139
第二节 工件的安装和夹具	141
一、工件的安装	141
二、机床夹具的分类和组成	142
三、基准及其选择	145
四、工件在夹具中的定位	147
第三节 零件机械加工工艺规程的制订	150
一、机械加工工艺规程的内容及作用	150
二、制订工艺规程的原则	150
三、制订工艺规程的步骤	151
第四节 零件的切削结构工艺性分析	159
一、合理确定零件的技术要求	159
二、遵循零件结构设计的标准化	159
三、合理标注尺寸	159
四、零件结构要便于加工	160
复习思考题	164
第五章 特种加工	166

第一节 电火花加工	168
一、电火花加工的原理和机床	168
二、电火花加工的特点	172
三、电火花加工的基本工艺规律	172
四、电火花加工的应用	177
第二节 电解加工	182
一、电解加工的原理	182
二、电解加工的特点	183
三、电解加工的应用	184
第三节 超声波加工	185
一、超声波加工的原理	185
二、超声波加工的特点	186
三、超声波加工的基本工艺规律	187
四、超声波加工的应用	188
第四节 高能束加工	189
一、激光加工	190
二、电子束加工和离子束加工	193
第五节 快速原型技术	196
复习思考题	198
第六章 数控加工技术	199
第一节 数控机床的基本组成	199
一、输入与输出装置	200
二、数控系统	201
三、伺服系统	202
四、数控机床主机	206
五、数控机床的辅助装置	209
第二节 数控机床加工特点	209
一、数控机床在加工方面的特点	210
二、数控机床的适应性与经济性特点	210
三、数控机床在管理与使用方面的特点	211
第三节 数控加工程序编制	212
一、数控加工程序编制的基本知识	212
二、数控加工程序的代码及其功能	214
三、代码使用举例	216
四、数控加工程序的编制	219
五、数控编程实例	221
第四节 加工中心	223

一、加工中心的分类与应用范围	224
二、加工中心的特点	226
三、加工中心的特殊构件	226
复习思考题	228
第七章 先进制造技术	230
第一节 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术	231
一、CAD/CAM 的基本概念	231
二、CAD/CAM 系统的组成	232
三、计算机辅助设计(CAD)技术	232
四、计算机辅助工艺过程设计(CAPP)	235
五、计算机辅助制造(CAM)技术	236
六、CAD/CAPP/CAM 集成技术	236
第二节 柔性制造技术	237
一、柔性制造系统的概述	238
二、柔性制造系统的组成	239
第三节 计算机集成制造系统	241
一、CIMS 的组成	243
二、CIMS 的发展	245
复习思考题	250
第八章 机械制造业的环境保护	251
第一节 机械制造业的环境污染	252
第二节 机械制造业的环境保护技术	253
一、工业废气的防治	253
二、工业废水的防治	259
三、工业固体废物污染的防治	262
四、工业噪声的防治	266
复习思考题	268
参考文献	269

第一章

切削加工基础知识

第一节 切削加工概述

一、切削加工的分类

切削加工是使用切削工具,在工具和工件的相对运动中,把工件上多余的材料层切除,使工件获得规定的几何参数(尺寸、形状、位置)和表面质量的加工方法。切削加工分为机械加工和钳工加工两大类。

机械加工(简称机工)是利用切削过程产生的机械力对各种工件进行加工的方法。一般是通过工人操纵各种金属切削机床来完成切削加工的,其主要加工方式有车削、钻削、铣削、刨削、镗削、拉削、磨削、研磨、珩磨、超精加工、抛光等,所用的机床分别为车床、钻床、铣床、刨床、镗床、拉床、磨床等。

钳工加工(简称钳工)是在钳工台上,通过工人手持工具对工件进行加工的方法。它是机械制造中的重要工种之一。钳工的工作内容一般包括划线、錾削、锯削、锉削、攻螺纹、套螺纹、钻孔(扩孔、铰孔)、刮削、机器装配和设备维修等。目前,虽然有各种先进的加工方法,但钳工具有所用工具简单、加工多样灵活、操作方便、适应面广、可以完成机械加工所不能完成的某些工作等特点,更容易保证产品的质量,因此尽管钳工操作的劳动强度大、生产效率低,但在机械制造及机械维修中钳工有着特殊的、不可替代的作用,是切削加工不可缺少的一个组成部分。而且随着加工技术的发展和自动化程度的提高,钳工工具和操作方法也在不断改进和发展,钳工机械化的内容也越来越丰富。

二、切削加工的特点

切削机工具有以下主要特点:

1) 切削加工能获得较高的精度和表面质量。切削加工可以根据要求达到不同的精度和表面粗糙度,获得很高的加工精度和很低的表面粗糙度值。现代切削加工技术已经可以达到尺寸公差 IT12~IT3 的精度,表面粗糙度 Ra 可达到 $25.000\sim0.008\ \mu\text{m}$ 。

2) 切削加工对被加工材料、工件几何形状、尺寸和生产批量具有广泛的适应性。切削加工可用于金属材料的加工,如各种碳钢、合金钢、铸铁、有色金属及其合金等;也可用于某些非金属材料的加工,如石材、木材、塑料和橡胶等。零件的形状一般不受限制,只要能在机床上实现装夹,大都可以进行切削加工,且可以加工各种型面,如外圆面、内圆面、锥面、平面、螺纹、齿轮齿形及各种曲面等。零件的尺寸从小到大不受限制,质量可以达数百吨。目前世界上最大的立式车床可加工直径 26 m 的工件。

3) 切削加工中存在切削力,刀具和工件都要有一定的强度和刚度,而且刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度。

4) 切削加工生产率较高,常规条件下高于其他加工方法,只有在少数特殊情况下,其生产率低于精密铸造或精密锻造等无屑加工的方法。

因此,在现代机械制造中,机器上的零件除极少数采用精密铸造或精密锻造等无屑加工的方法获得以外,绝大多数零件都是靠切削加工的方法来获得的,因此它在机械制造业中占有十分重要的地位。它与国家整个工业的发展紧密相连,起着举足轻重的作用。

第二节 切削运动及切削要素

一、零件表面的形成

切削加工的具体对象是组成机械产品的各种零件。零件虽然随其功用、形状、尺寸和精度等不同而千变万化,可分为轴类、盘套类、支架箱体类、六面体类、机身机座类和特殊类。

机器零件的形状虽然很多,但主要是由基本表面和成形面组成的。基本表面包括外圆面、内圆面(孔)、平面,成形面包括螺纹、齿轮齿形和各种沟槽等。外圆面和孔是以某一直线为母线,以圆为轨迹作旋转运动所形成的表面。平面是以某一直线为母线,以另一直线为轨迹作平移运动所形成的表面。成形面是以曲线为母线,以圆或直线为轨迹作旋转或平移运动所形成的表面。这些表面可分别用图 1-1 所示的相应加工方法来获得。

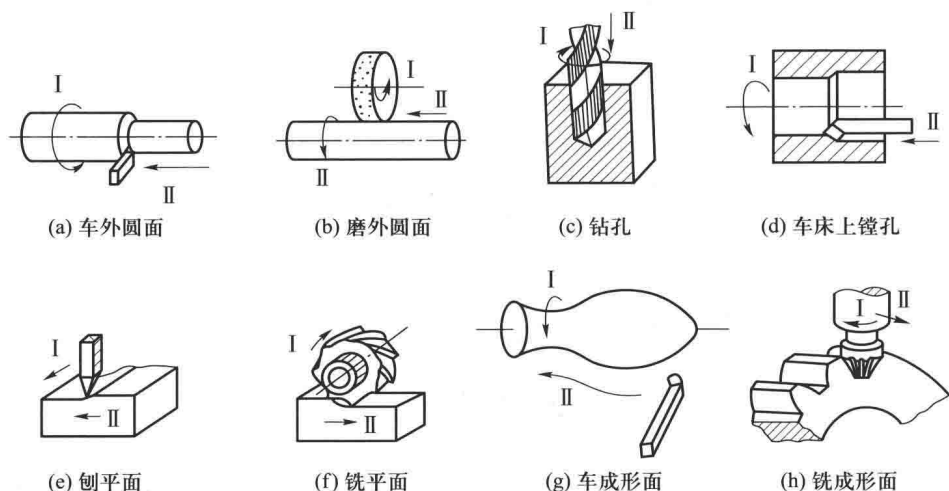


图 1-1 加工零件不同表面时的切削运动

二、切削表面与切削运动

1. 切削表面

切削加工过程是一个动态过程,在切削加工中,工件上通常存在着三个不断变化的表面,即待加工表面、过渡表面(加工表面)、已加工表面,如图 1-2 所示。待加工表面是指工件上即将被切除的表面。已加工表面是工件上已切去切削层而形成的表面。过渡表面是指加工时工件上正在被刀具切削刃切削着的表面,介于待加工表面和已加工表面之间。

2. 切削运动

无论在哪一种机床上进行切削加工,刀具和工件间必须有一定的相对运动,即切削运动。切削运动可以是旋转运动或直线运动,也可以是连续运动或间歇运动。根据在切削中所起的作用不同,切削运动(图 1-1)分为主运动(图中 I)和进给运动(图中 II)。切削时实际的切削运动是一个合成运动。

主运动是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,促使刀具前面接近工件而实现切削,如图 1-2 所示工件的旋转运动。主运动速度高,消耗功率大,且只有一个。主运动可以由工件完成,也可以由刀具完成。主运动的形式有旋转运动和往复运动(由工件或刀具进行)两种。如车削、铣削、磨削加工时的主运动是旋转运动,刨削、插削加工时工件或刀具主运动是往复直线运动。

进给运动是使刀具与工件之间产生附加的相对运动,与主运动配合,即可连续地切除余量,如图 1-2 所示车刀的移动。根据工件表面形成的需要进给运动

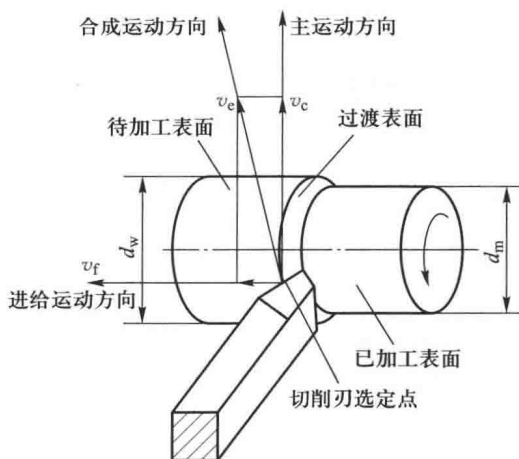


图 1-2 切削运动和加工表面

可以是 1 个,也可以是多个,可以是连续的,也可以是断续的。当主运动为旋转运动时,进给运动是连续的,如车削、钻削。当主运动为直线运动时,进给运动是断续的,如刨削、插削等。拉削时没有进给运动。

合成运动是由同时存在的主运动和进给运动合成的运动。

三、切削用量

切削用量 (cutting conditions) 包括切削速度 v_c 、进给量 f (或进给速度 v_f) 和背吃刀量 a_p ; 切削要素包括切削用量三要素 (切削速度 v_c 、进给量 f 、背吃刀量 a_p) 和切削层参数 (parameters of undeformed chip)。

1. 切削速度

切削刃上选定点相对工件主运动的瞬时速度称为切削速度 (cutting speed), 以 v_c 表示, 单位为 m/s 或 m/min 。

若主运动为旋转运动 (如车削、铣削等), 切削速度一般为其最大线速度。

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

式中: d ——工件 (或刀具) 的直径, mm ;

n ——工件 (或刀具) 的转速, r/s 或 r/min 。

若主运动为往复直线运动 (如刨削、插削等), 则常以其平均速度为切削速度, 即

$$v_c = \frac{2Ln_r}{1000}$$

式中: L ——往复行程长度, mm;

n_r ——主运动每秒或每分钟的往复次数, str/s 或 str/min。

2. 进给量

刀具在进给运动方向上相对工件的位移量称为进给量 (feed rate)。不同的加工方法, 由于所用刀具和切削运动形式不同, 进给量的表述和度量方法也不相同。

用单齿刀具 (如车刀、刨刀等) 加工时, 当主运动是回转运动时, 进给量指每转进给量, 即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, 进给量指每行程进给量, 即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。

用多齿刀具 (如铣刀、钻头等) 加工时, 进给运动的瞬时速度称为进给速度, 以 v_f 表示, 单位为 mm/s 或 mm/min。刀具每转或每行程中每齿相对工作进给运动方向上的位移量, 称每齿进给量, 以 f_z 表示, 单位为 mm/z。 f_z 、 f 、 v_f 之间有如下关系:

$$v_f = fn = f_z zn$$

式中: n ——刀具或工件转速, r/s 或 r/min;

z ——刀具的齿数。

3. 背吃刀量

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, 称为背吃刀量 (back engagement of the cutting edge), 以 a_p 表示, 单位为 mm。如图 1-2 所示, 车外圆时, a_p 可用下式计算:

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

式中: d_w 、 d_m ——工件待加工和已加工表面直径, mm。

四、切削层参数

切削层是指切削过程中, 由刀具切削部分的一个单一动作 (如车削时工件转一圈, 车刀主切削刃移动一段距离) 所切除的工件材料层。它决定了切屑的尺寸及刀具切削部分的载荷。切削层的尺寸和形状通常是在切削层尺寸平面中测量的, 如图 1-3 所示。

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, 单位为 mm²。

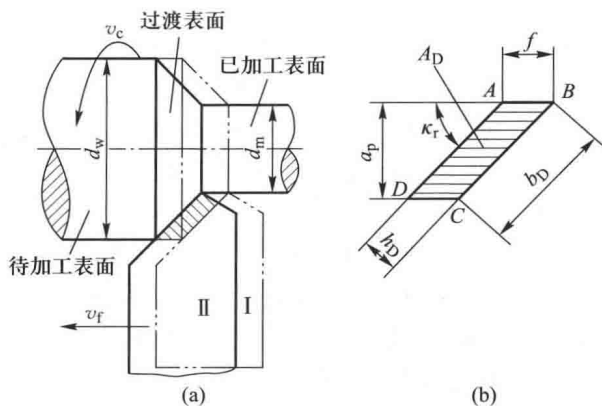


图 1-3 车削时切削层尺寸

2) 切削层公称宽度 b_D 在给定瞬间,作用于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,单位为 mm。

3) 切削层公称厚度 h_D 同一瞬间切削层公称横截面积与其公称宽度之比,单位为 mm。

由定义可知

$$A_D = b_D h_D$$

对于车削加工来说,切削层公称横截面积 A_D 为

$$A_D \approx f a_p$$

第三节 切削刀具及其材料

切削加工过程中,直接完成切削工作的是刀具。切削刀具的种类繁多,形状各异。但不管它们的结构多么复杂,它们的基本构成是一样的。无论哪种刀具,都是由夹持部分和切削部分组成。夹持部分是用来将刀具夹持在机床上的部分,要求它能保证刀具正确的工作位置,传递所需要的运动和动力,并且夹固可靠,装卸方便。切削部分是刀具上直接参加切削工作的部分。刀具切削性能的好坏取决于刀具切削部分的几何参数、结构及材料。

一、切削刀具的结构

各种多齿刀具的切削部分结构要素和几何角度都有着许多共同的特征。就其一个刀齿而言,都相当于一把车刀的刀头,所以研究切削刀具时总是以车刀为基础,如图 1-4 所示。