



新世纪高职高专实用规划教材

● 机电系列

数控加工工艺与装备

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU ZHUANGBEI

王丽洁	主 编
吴明友	副主编
方长福 马一民 徐德凯	参 编



清华大学出版社

新世纪高职高专实用规划教材 机电系列

数控加工工艺与装备

王丽洁 主 编

吴明友 副主编

方长福 马一民 徐德凯 参 编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以数控机床加工工艺为主体,以常规的制造技术为基础,系统地介绍了数控机床加工工艺的基础知识和基本理论。本书内容丰富,详略得当,实用性强,既有理论又有实例,并附有习题,内容体系符合教学规律。

本书共分8章,内容包括:数控加工基本知识、工件在数控机床上的装夹、数控加工的工艺基础、机械加工质量、数控车削加工工艺及装备、数控铣削加工工艺及装备、加工中心的加工工艺及装备以及其他数控加工方法简介。

本书可供高等职业教育机电类专业中从事数控技术应用、CAD/CAM 技术应用和模具设计与制造专业的学生使用,还可作为初、中级工程技术人员的数控培训教材,也是一本从事数控机床应用的工程技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与装备/王丽洁主编;吴明友副主编;方长福,马一民,徐德凯参编.—北京:清华大学出版社,2006.3

(新世纪高职高专实用规划教材 机电系列)

ISBN 7-302-12389-6

I. 数… II. ①王…②吴…③方…④马…⑤徐… III. ①数控机床—加工工艺—高等学校:技术学校—教材②数控机床—加工—设备—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 003114 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:黄 飞

文稿编辑:桑任松

封面设计:陈刘源

印 刷 者:北京国马印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:21.25 字数:507 千字

版 次:2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-12389-6/TH·193

印 数:1~4000

定 价:29.00 元

《新世纪高职高专实用规划教材》序

编写目的

目前,随着教育的不断深入,高等职业教育发展迅速,进入到一个新的历史阶段。学校规模之大,数量之众,专业设置之广,办学条件之好和招生人数之多,都大大超过了历史上任何一个时期。然而,作为高职院校核心建设项目之一的教材建设,却远远滞后于高等职业教育发展的步伐,以至于许多高职院校的学生缺乏适用的教材,这势必影响高职院校的教育质量,也不利于高职教育的进一步发展。

目前,高职教材建设面临着新的契机和挑战:

(1) 高等职业教育发展迅猛,相应教材在编写、出版等环节需要在保证质量的前提下加快步伐,跟上节奏。

(2) 新型人才的需求,对教材提出了更高的要求,即教材要充分体现科学性、先进性和实用性。

(3) 高职高专教育自身的特点是强调学生的实践能力和动手能力,教材的取材和内容设置必须满足不断发展的教学需求,突出理论和实践的紧密结合。

有鉴于此,清华大学出版社在相关主管部门的大力支持下,组织部分高等职业技术学院的优秀教师以及相关行业的工程师,推出了一系列切合当前教育改革需要的高质量的面向就业的职业技术实用型教材。

系列教材

本系列教材主要涵盖以下领域:

- 计算机基础及其应用
- 计算机网络
- 计算机图形图像处理与多媒体
- 电子商务
- 计算机编程
- 电子与电工
- 机械
- 数控技术及模具设计
- 土木建筑
- 经济与管理
- 金融与保险

另外,系列教材还包括大学英语、大学语文、高等数学、大学物理、大学生心理健康等基础教材。所有教材都有相关的配套用书,如实训教材、辅导教材、习题集等。

教材特点

为了完善高等职业技术教育的教材体系，全面提高学生的动手能力、实践能力和职业技术素质，特意聘请有实践经验的高级工程师参与系列教材的编写，采用了一线工程技术人员与在校教师联合编写的模式，使课堂教学与实际操作紧密地结合。本系列丛书的特点如下：

(1) 打破以往教科书的编写套路，在兼顾基础知识的同时，强调实用性和可操作性。

(2) 突出概念和应用，相关课程配有上机指导及习题，帮助读者对所学内容进行总结和提高。

(3) 增加了全新的、实用的内容和知识点，并采取由浅入深、循序渐进、层次清楚、步骤详尽的写作方式，突出实践技能和动手能力。

读者定位

本系列教材针对职业教育，主要面向高职高专院校，同时也适用于同等学力的职业教育和继续教育。本丛书以三年制高职为主，同时也适用于两年制高职。

本系列教材的编写和出版是高职教育办学体制和运作机制改革的产物，在后期的推广使用过程中将紧紧跟随职业技术教育发展的步伐，不断吸取新型办学模式、课程改革的思路和方法，为促进职业培训和继续教育的社会需求奉献我们的力量。

我们希望，通过本系列教材的编写和推广应用，不仅有利于提高职业技术教育的整体水平，而且有助于加快改进职业技术教育的办学模式、课程体系和教学培训方法，形成具有特色的职业技术教育的新体系。

教材编委会

新世纪高职高专实用规划教材

机电系列

编委会名单

主 任 李诚人 曾宪章

副主任 王平章 李 文 于小平 杨广莉

委 员 (排名不分先后)

于 涛	王 晖	王文华	王 培	田莉坤
吴勤保	韩 伟	赵俊武	韩小峰	王 莉
刘华欣	闫华明	李长本	李振东	王华杰
沈 伟	康亚鹏	肖调生	陈文杰	杨峻峰
邵东波	林若森	封逸彬	张信群	张玉英
郭爱荣	王晓江	杨永生	刘 航	关雄飞
王丽洁	张爱莲	王晓宏	郭新玲	高宏洋
甄瑞麟	熊 翔	黄红辉	潘建新	熊立武
王立红	魏 峥	董焕俊	牟 林	李先雄
南 欢	谢 刚			

前 言

科学技术的高速发展,使制造业发生了根本性的变化。由于数控技术的广泛应用,普通机床逐渐被高效率、高精度的数控机床所代替,形成了巨大的生产力。数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业,其水平高低和具有数控技术的设备的拥有量是衡量一个国家工业现代化的重要标志。专家们预言:21世纪机械制造业的竞争,其实质是数控技术的竞争。我国政府已把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。

随着国内众多老企业的改制,新的资金注入和制造装备的更新换代,企业急需一大批熟悉数控加工工艺、能熟练掌握现代数控机床编程、操作和维护维修的高级应用型人才。我们根据最新的数控人才需求与教育体系调研结果,结合各校多年数控专业的教学经验,经过反复的实践与总结,组织编写了这本教材。

本书以突出职业教育为特色,以增强实用性和加强能力与素质培养为指导,从数控加工的实用角度出发,对传统的教学内容与课程体系进行了调整与重组。本书以数控加工工艺为主线,从工艺实施的生产实际出发,将切削加工的基本理论与知识,各种常用加工方法与设备,常规机械加工工艺和数控加工工艺,常用刀具、夹具和辅具,数控特种加工方法等内容有机地结合为一体,注重理论知识的应用和学生实践能力的培养,以适应培养一线高级应用型人才的需要。本书内容丰富、简明扼要、图文并茂,来源于实践、注重理论分析,兼顾数控加工的先进性与实用性,由浅入深,通俗易懂,是一本实用性强、适用面广的教材。

全书由西安理工大学高等技术学院王丽洁任主编,广东机电职业技术学院吴明友任副主编。其中第1、5、6章由王丽洁编写,第2章由常州轻工职业技术学院方长福编写,第3章由西安武警工程技术学院马一民编写,第4章由西安理工大学高等技术学院徐德凯编写,第7、8章由吴明友编写。

全书由西北工业大学李诚人教授进行了详细审阅并提出许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

本书可供高等职业教育机电类专业中从事数控技术应用、CAD/CAM技术应用和模具设计与制造专业学生使用,还可作为初、中级工程技术人员数控培训教材,也是一本从事数控机床应用的工程技术人员的参考书。

由于数控技术的飞速发展,加上我们认识的局限性,教材难免有不足之处,恳请读者和各位同仁批评指正。

编 者

目 录

第1章 数控加工基本知识..... 1

1.1 概述	1
1.1.1 数控加工工艺系统概述	1
1.1.2 切削运动和切削要素	2
1.1.3 刀具切削部分的几何角度	6
1.1.4 刀具材料	11
1.2 金属切削过程及控制	15
1.2.1 金属切削过程	15
1.2.2 刀具磨损与刀具耐用度	27
1.2.3 切屑的控制	30
1.3 金属材料的切削加工性	33
1.3.1 金属材料切削加工性的概念	33
1.3.2 衡量金属材料切削加工性 的指标	33
1.3.3 改善金属材料切削加工性 的途径	34
1.4 刀具几何参数的合理选择	34
1.4.1 前角的选择	34
1.4.2 后角的选择	35
1.4.3 主偏角及副偏角的选择	37
1.4.4 刃倾角的选择	38
1.5 切削用量及切削液的选择	39
1.5.1 切削用量的选择	39
1.5.2 切削液及其选择	40
习题	42

第2章 工件在数控机床上的装夹..... 43

2.1 机床夹具概述	43
2.1.1 机床夹具	43
2.1.2 机床夹具的分类	43
2.1.3 机床夹具的组成和作用	44
2.2 工件的定位	46
2.2.1 工件定位的基本原理	46
2.2.2 常见定位方式和定位元件	48

2.2.3 组合表面定位	56
2.3 定位基准的选择	59
2.3.1 基准及分类	59
2.3.2 定位基准及其选择	60
2.4 定位误差	63
2.4.1 定位误差产生的原因	63
2.4.2 定位误差的计算方法	64
2.4.3 常见定位方式的定位误差	66
2.5 工件的夹紧	68
2.5.1 对夹紧装置的基本要求	68
2.5.2 夹紧力方向和作用点的确定	69
2.5.3 典型夹紧机构	71
习题	74

第3章 数控加工的工艺基础..... 76

3.1 基本概念	76
3.1.1 生产过程和工艺过程	76
3.1.2 生产纲领和生产类型	79
3.2 机械加工工艺规程的制定	80
3.2.1 工艺规程的作用	80
3.2.2 工艺规程制定时所需 的原始资料	80
3.2.3 工艺规程制定的步骤及方法	81
3.3 加工余量的确定	89
3.3.1 加工余量的概念	89
3.3.2 影响加工余量的因素	92
3.3.3 确定加工余量的方法	93
3.4 工序尺寸及其公差确定	94
3.4.1 基准重合时工序尺寸 及其公差确定	94
3.4.2 基准不重合时工序尺寸 及其公差确定	96
3.5 数控加工专用技术文件的编写	97
习题	102

第4章 机械加工质量 104

4.1 概述 104

4.1.1 机械加工精度 104

4.1.2 表面质量 105

4.2 机械加工精度 108

4.2.1 影响机械加工精度的因素 108

4.2.2 机械加工精度的综合分析 121

4.2.3 提高加工精度的措施 127

4.3 机械加工表面质量 129

4.3.1 影响机械加工表面
质量的因素 1294.3.2 提高机械加工表面
质量的措施 131

习题 135

第5章 数控车削加工工艺及装备 137

5.1 数控车削的主要加工对象 137

5.2 数控车削加工工艺的制订 139

5.2.1 零件图工艺分析 139

5.2.2 数控车削加工工艺
路线的制定 141

5.2.3 工件在数控车床上的装夹 145

5.2.4 数控车削刀具的选择 150

5.2.5 切削用量的确定 153

5.3 数控车削加工的调整 155

5.3.1 车刀的装夹 155

5.3.2 刀位点与对刀 158

5.4 典型零件的数控车削工艺分析 160

5.4.1 轴类零件数控车削工艺 160

5.4.2 轴套类零件 163

习题 166

第6章 数控铣削加工工艺及装备 167

6.1 数控铣削的主要加工对象 167

6.1.1 数控铣削的特点 167

6.1.2 数控铣削的主要加工对象 168

6.2 数控铣削加工工艺的制定 171

6.2.1 数控铣削零件的工艺性分析 171

6.2.2 数控铣削加工工艺

路线的确定 174

6.2.3 工件在数控铣床上装夹 177

6.2.4 刀具的选择 179

6.2.5 切削用量的选择 185

6.3 数控铣削加工的调整 187

6.3.1 对刀及对刀点 187

6.3.2 对刀方法 187

6.4 典型零件的数控铣削

加工工艺分析 189

6.4.1 平面凸轮零件的数控
铣削加工工艺 1896.4.2 泵盖零件的数控铣削
加工工艺 192

习题 195

第7章 加工中心的加工工艺及装备 197

7.1 加工中心的工艺特点 197

7.1.1 优点 197

7.1.2 缺点 197

7.2 加工中心的主要加工对象 198

7.3 加工中心加工工艺方案的制订 199

7.3.1 零件的工艺分析 199

7.3.2 加工中心的选择 203

7.3.3 工序和装夹方式的确定 209

7.3.4 走刀路线的确定 221

7.3.5 切削用量的选择 224

7.4 加工中心的工艺装备 227

7.4.1 加工中心自动换刀系统 227

7.4.2 数控回转工作台 237

7.5 典型零件加工中心的加工

工艺分析 239

7.5.1 盖板零件加工中心
的加工工艺 2397.5.2 支套类零件加工中心
的加工工艺 2437.5.3 箱体零件加工中心
的加工工艺 247

习题 253

第 8 章 其他数控加工方法简介	255
8.1 数控磨削加工工艺	255
8.1.1 数控外圆磨削工艺	255
8.1.2 数控坐标磨削工艺	262
8.1.3 数控强力磨削工艺	267
8.1.4 数控立式磨削工艺	270
8.2 数控冲压加工工艺	272
8.2.1 概述	272
8.2.2 数控压力机的基本结构特点	272
8.2.3 模座及模具的选择	273
8.2.4 加工举例	274
8.3 数控线切割加工工艺	276
8.3.1 数控线切割加工原理、特点 及应用	276
8.3.2 影响数控线切割加工工艺指标 的主要因素	278
8.3.3 数控线切割加工工艺的制订	280
8.3.4 典型零件的数控线切割 加工工艺分析	289
8.4 数控电火花成型加工工艺	292
8.4.1 数控电火花成型加工原理、 特点及应用	292
8.4.2 电火花成型加工的一般 工艺规律	294
8.4.3 电极	301
8.4.4 数控电火花成型加工 工艺过程及举例	302
8.5 数控激光加工工艺	305
8.5.1 激光及激光加工机简介	305
8.5.2 激光加工工艺及特点	308
8.5.3 激光加工工艺参数的选择	309
8.6 数控火焰切割加工工艺	312
8.6.1 钢的火焰切割	312
8.6.2 数控火焰切割工艺	314
习题	322
参考文献	324

第 1 章 数控加工基本知识

1.1 概 述

1.1.1 数控加工工艺系统概述

1. 零件的数控加工过程

在数控机床上完成零件数控加工的过程如图 1.1 所示。

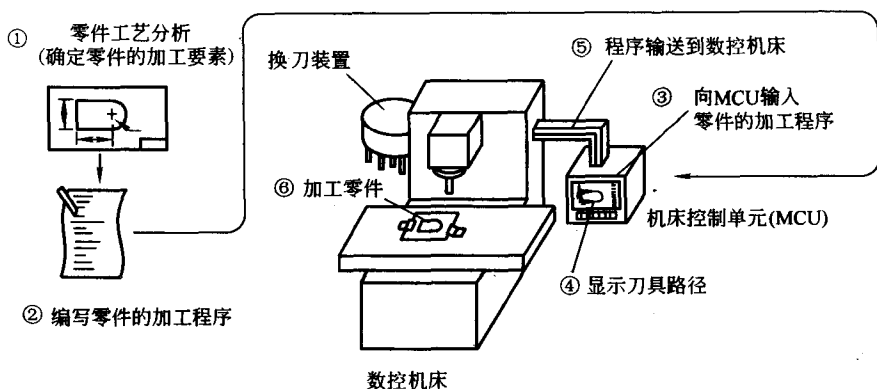


图 1.1 数控加工过程

(1) 根据零件加工图样进行工艺分析，确定加工方案，进行工艺参数的选择和位移数据的计算。

(2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单；或用 CAD/CAM 软件进行自动编程，直接生成零件的加工程序文件。

(3) 程序的输入或传输。手工编程时，可以通过数控机床的操作面板输入程序(MDI)；由编程软件生成的程序，通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元(MCU)。

(4) 进行程序的试运行、刀具路径模拟等。

(5) 运行程序，完成零件的加工。

由图 1.1 可知，数控加工过程是在一个由数控机床、刀具、夹具和工件以及加工程序构成的数控加工工艺系统中完成的。数控机床是零件加工的工作母机，刀具直接对零件进行切削，夹具用来固定被加工零件并使之占有正确的位置，加工程序控制刀具与工件之间的相对运动轨迹以及机床的辅助运动。工艺系统性能的好坏直接影响零件的加工精度和表面质量。图 1.2 所示为数控加工工艺系统的构成及相互关系。

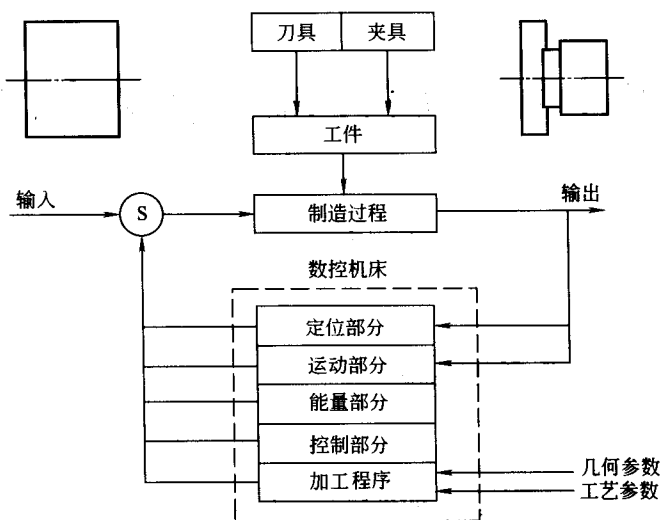


图 1.2 数控加工工艺系统

2. 数控加工工艺的基本特点

工艺规程是工人在加工时的指导性文件。由于普通机床受控于操作工人，因此，在普通机床上用的工艺规程实际上只是一个工艺过程卡，机床的切削用量、走刀路线、工序的工步等往往都是由操作工人自行选定。数控机床加工的程序是数控机床的指令性文件，数控机床受控于程序指令，加工的全过程都是按程序指令自动进行的。因此，数控机床加工工艺规程与普通机床工艺规程有较大差别，涉及的内容也较广。数控机床加工程序不仅要包括零件的工艺过程，而且还要包括切削用量、走刀路线、刀具尺寸以及机床的运动过程。因此，要求编程人员对数控机床的性能、特点、运动方式、刀具系统、切削规范以及工件的装夹方法都要非常熟悉。工艺方案的好坏不仅会影响机床效率的发挥，而且将直接影响零件的加工质量。

3. 数控加工工艺的主要内容

- (1) 分析被加工零件的图样，明确加工内容及技术要求。
- (2) 确定零件的加工方案，制定数控加工工艺路线。如划分工序、安排加工顺序、处理与非数控加工工序的衔接等。
- (3) 加工工序的设计。如选取零件的定位基准、装夹方案的确定、工步划分、刀具选择和确定切削用量等。
- (4) 数控加工程序的调整。如选取对刀点和换刀点、确定刀具补偿及确定坐标系和加工路线等。

1.1.2 切削运动和切削要素

在机床上用金属切削刀具切除工件上多余的金属，从而使工件的形状、尺寸精度及表面质量都符合预定要求的加工，称为金属切削加工。由刀具切除的多余金属变为切屑。在金属切削过程中，刀具与工件必须有相对的切削运动，它是由金属切削机床来完成的。切

削过程中的各种现象和规律，都要根据刀具与工件之间的运动状态来观察和研究。

1. 切削运动

切削加工必须具备两种运动，即主运动和进给运动，如图 1.3 所示。

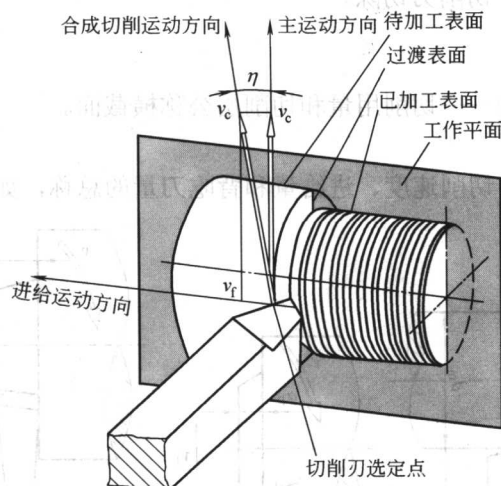


图 1.3 刀具与工件的运动

(1) 主运动

主运动是直接切除毛坯上的金属使之变成切屑的运动，是进行切削的最基本的运动。它的速度高，消耗功率大。主运动由工件或刀具完成，其形式一般为旋转运动或直线运动，车削时的主运动是工件的旋转运动。

(2) 进给运动

进给运动是不断将被切金属投入切削，以逐渐切除整个工件表面的运动。进给运动也由工件或刀具完成，其形式一般为直线、旋转或两者的合成运动，它可以是连续的或断续的，消耗功率比主运动要小得多。车削外圆时的进给运动是刀具的连续纵向直线运动。

(3) 合成切削运动

合成切削运动是由主运动和进给运动合成的运动。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称为合成切削运动方向，其速度称为合成切削速度。

2. 加工表面

在切削过程中，工件上有三个不断变化着的表面，如图 1.4 所示。

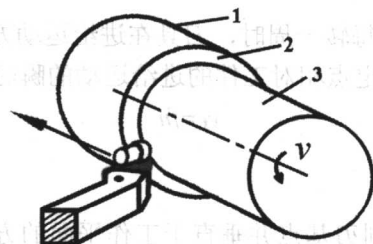


图 1.4 车削运动和加工表面

1—待加工表面；2—过渡表面；3—已加工表面

待加工表面 工件上有待切除的表面。

已加工表面 工件上经刀具切削后产生的表面。

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、刀具或工件的下一转里被切除, 或者由下一切削刃切除。

3. 切削要素

切削要素可分为两大类——切削用量和切削层公称横截面。

(1) 切削用量

切削用量是切削过程中切削速度、进给量和背吃刀量的总称, 如图 1.5 所示。

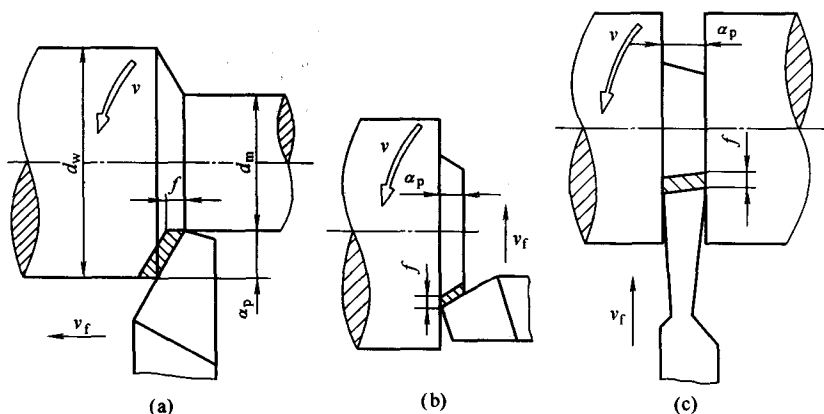


图 1.5 切削用量

(a)车外圆; (b)车端面; (c)切槽

① 切削速度 v_c 刀具切削刃上选定点相对于工件的主运动速度。以旋转运动作主运动时(如车外圆):

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

式中: v_c ——切削速度, m/s;

d_w ——待加工表面直径, mm;

n ——主运动件的旋转速度, r/s。

切削刃上各点的切削速度是不同的, 考虑到发热、刀具磨损等因素, 在计算时, 应取最大的切削速度。在生产中, 除磨削速度单位用 m/s 外, 其他切削加工的切削速度单位习惯用 m/min。

② 进给量 f 工件和刀具每转一周时, 刀具在进给运动方向上相对工件的位移量。

进给速度 v_f 切削刃上选定点相对工件的进给运动的瞬时速度。

$$v_f = fn \quad (1-2)$$

式中: v_f ——进给速度, mm/s;

n ——主轴转速, r/s。

③ 背吃刀量 a_p 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。根据定义, 纵车外圆时, 其背吃刀量可由下式计算:

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 \quad (1-3)$$

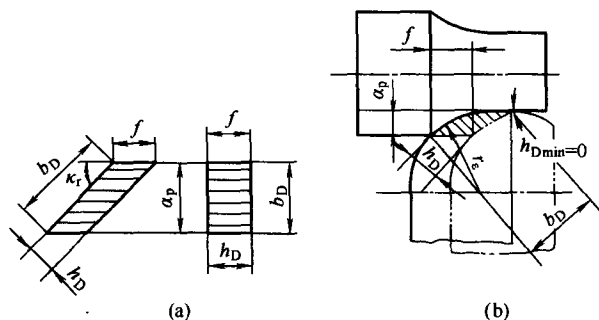


图 1.7 切削层参数

1.1.3 刀具切削部分的几何角度

金属切削刀具的种类繁多。外圆车刀切削部分的形状，可作为其他刀具切削部分的基本形态，在此基础上按各自的切削特点组合成各类切削刀具。

1. 车刀的组成

车刀由刀柄和刀头组成，如图 1.8 所示。刀柄是刀具上的夹持部位，刀头则用于切削。切削部分包括以下几个部分。

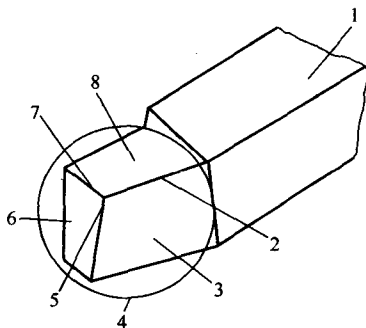


图 1.8 车刀的组成

1—刀柄；2—主切削刃；3—后面 A_a ；4—切削部分；5—刀尖；
6—副后面 A'_a ；7—副切削刃 S' ；8—前面 A_f

(1) 前面 A_f

前面是刀具上切屑流过的表面。当刀具的前面由若干个彼此相交的面组成时，离切削刃最近的面称为第一前面 A_{f1} ，也称倒棱；从切削刃处数起的第二个面称为第二前面 A_{f2} ，如图 1.9 所示。

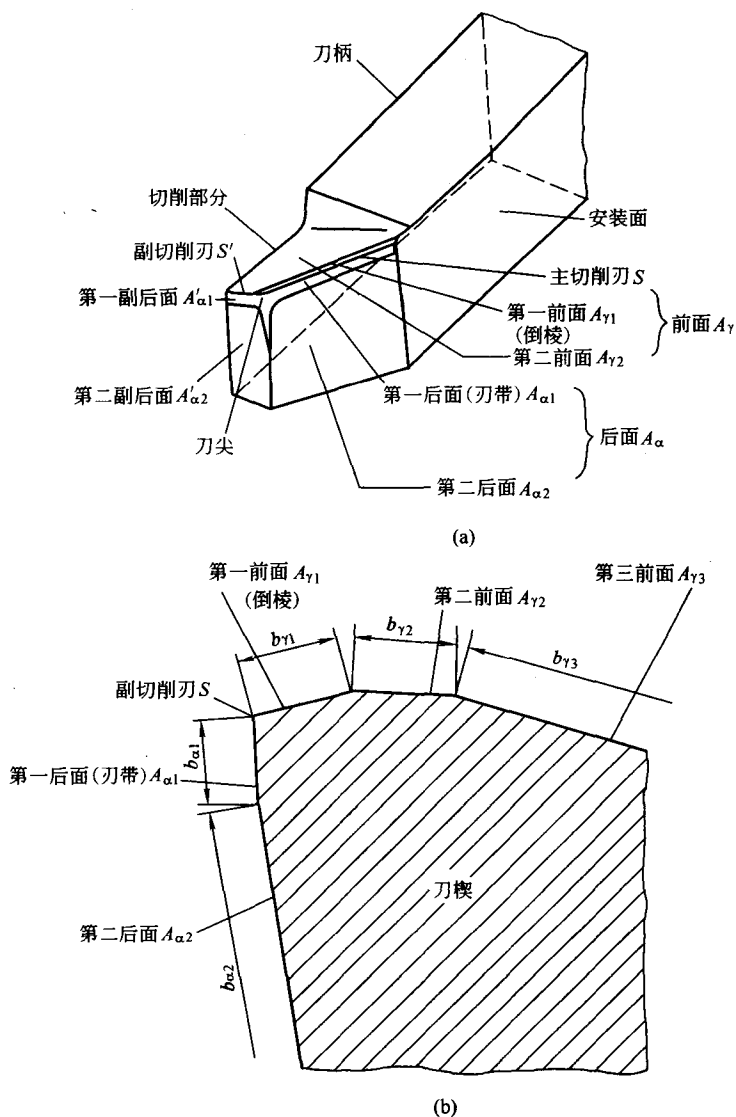


图 1.9 车刀切削部分

(a)车刀的切削刃和表面；(b)有倒棱或刃带的刀楔

(2) 主后面 A_{α}

刀具上同前面相交形成主切削刃的后面，即与工件上过渡表面相对的表面。当刀具的后面由若干个彼此相交的面组成时，离切削刃最近的面称为第一后面 $A_{\alpha 1}$ ，也称刃带；从切削刃处数起第二个面称为第二后面 $A_{\alpha 2}$ ，如图 1.9 所示。

(3) 副后面 A'_{α}

刀具上同前面相交形成副切削刃的后面，如图 1.9 所示。