



湖北高职“十一五”规划教材
湖北省高教学会高职专委会研制

总策划 李友玉 策划 屠莲芳

数控加工工艺

Shukong Jiagong Gongyi

主编 王 军 刘劲松



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社



数控加工技术——数控加工工艺与编程

第2版 机械工业出版社



数控加工工艺

Shukong Jigong Gongyi

第2版



机械工业出版社



湖北高职“十一五”规划教材

湖北省高教学会高职专委会研制

总策划 李友玉 策划 屠莲芳

数控加工工艺

Shukong Jiagong Gongyi

主 编

王 军 武汉职业技术学院

刘劲松 襄樊职业技术学院

副主编

王小平 武汉电力职业技术学院

詹华西 武汉职业技术学院

夏章建 随州职业技术学院

匡 炎 黄冈职业技术学院

主 审

张绪祥

教材参研人员（以姓氏笔画为序）

毕安龙 湖北国土资源职业学院

李艳华 武汉职业技术学院



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺/王军,刘劲松主编. —武汉:武汉大学出版社,2009. 1
湖北高职“十一五”规划教材
ISBN 978-7-307-06843-8

I. 数… II. ①王… ②刘… III. 数控机床—加工工艺—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 010313 号

责任编辑:任仕元 沈以智 责任校对:黄添生 版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:15 字数:362千字 插页:2

版次:2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷

ISBN 978-7-307-06843-8/TG·1 定价:26.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。



编委会

主任 李望云 武汉职业技术学院
陈少艾 武汉船舶职业技术学院

副主任 (按姓氏笔画排序)

胡成龙 武汉软件工程职业学院
郭和伟 湖北职业技术学院
涂家海 襄樊职业技术学院
游英杰 黄冈职业技术学院

委员 (按姓氏笔画排序)

刘合群 咸宁职业技术学院
苏明 湖北国土资源职业技术学院
李望云 武汉职业技术学院
李鹏辉 湖北科技职业学院
邱文萍 武汉铁路职业技术学院
余小燕 荆州职业技术学院
张键 十堰职业技术学院
陈少艾 武汉船舶职业技术学院
胡成龙 武汉软件工程职业学院
洪霞 武汉电力职业技术学院
贺剑 随州职业技术学院
郭和伟 湖北职业技术学院
郭家旺 仙桃职业技术学院
涂家海 襄樊职业技术学院
黄堂芳 鄂东职业技术学院
覃鸿 湖北三峡职业技术学院
游英杰 黄冈职业技术学院

编委会秘书 应文豹 武汉职业技术学院

凝聚集体智慧 研制优质教材

教材是教师教学的脚本，是学生学习的课本，是学校实现人才培养目标的载体。优秀教师研制优质教材，优质教材造就优秀教师，培育优秀学生。教材建设是学校教学最基本的建设，是提高教育教学质量最基础性的工作。

高职教育是中国特色的创举。我国创办高职教育时间不长，高职教材存在严重的“先天不足”，目前使用的教材多为中专延伸版、专科移植版、本科压缩版等，这在很大程度上制约着高职教育教学质量的提高。因此，根据高职教育培养“高素质技能型专门人才”的目标和教育教学实际需求，研制优质教材，势在必行。

2005年以来，湖北省高教学会高职高专教育管理专业委员会（简称“高职专委会”）高瞻远瞩，审时度势，深刻领会国家关于“大力发展职业教育”和“提高高等教育质量”之精神，准确把握高职教育发展之趋势，积极呼应全省高职院校发展之共同追求；大倡研究之风，大鼓合作之气；组织全省高职院校开展“教师队伍建设、专业建设、课程建设、教材建设”（简称“四个建设”）的合作研究与交流，旨在推进全省高职院校进一步全面贯彻党的教育方针，创新教育思想，以服务为宗旨，以就业为导向，工学结合、校企合作，走产学研结合发展道路；推进高职院校培育特色专业、打造精品课程、研制优质教材、培养高素质的教师队伍，提升学校整体办学实力与核心竞争力；促进全省高职院校走内涵发展的道路，全面提高教育教学质量。

湖北省教育厅将高职专委会“四个建设”系列课题列为“湖北省教育科学‘十一五’规划专项资助重点课题”。全省高职院校纷起响应，几千名骨干教师和一批生产、建设、服务、管理一线的专家，一起参加课题协同攻关。在科学研究过程中，坚持平等合作，相互交流；坚持研训结合，相互促进；坚持课题合作研究与教材合作研制有机结合，用新思想、新理念指导教材研制，塑造教材“新、特、活、实、精”的优良品质；坚持以学生为本，精心酿造学生成长的精神食粮。全省高职院校重学习研究、重合作创新蔚然成风。

这种以学会为平台，以学术研究为基础开展的“四个建设”，符合教育部关于提高教育教学质量的精神，符合高职院校发展的需求，符合高职教师发展的需求。

在湖北省教育厅和湖北省高教学会领导的大力支持下，在湖北省高教学

会秘书处的指导下，经过两年多艰苦不懈的努力和深入细致的工作，“四个建设”合作研究初见成效。高职专委会与长江出版传媒集团、武汉大学出版社、复旦大学出版社等知名出版单位携手，正陆续推出课题研究成果：“湖北高职‘十一五’规划教材”，这是全省高职集体智慧的结晶。

交流出水平，研究出智慧，合作出成果，锤炼出精品。凝聚集体智慧，共创湖北高职教育品牌——这是全省高职教育工作者的共同心声！

湖北省高教学会高职专委会主任

黄木生

2009年1月

前 言

《数控加工工艺》是湖北高职“十一五”规划教材,是在湖北省教育厅立项的湖北省教育科学“十一五”规划专项资助重点课题《高职数控技术人才培养模式研究》(湖北高职“四个建设”系列规划课题)的成果基础上合作研制而成的。

本教材根据培养技能型数控技术应用人才的需要,结合课程的教学实际和精品课程的建设要求,针对高职教育的特点,充分注重理论够用、突出实用的教学宗旨,对《数控加工工艺》课程的教学内容和进程编排进行了重新设计,教材内容较好地体现了实用性。

本教材从机械加工的切削基础开始,介绍了金属切削加工的基本过程和基本理论、机械加工的生产过程、加工质量及加工过程中质量问题的产生和保证措施、机械加工工艺规程设计的基本方法和步骤、工艺尺寸确定的有关理论、工件安装定位及机床夹具等相关知识,重点介绍了零件在数控车床、数控铣床和加工中心机床上加工时工艺文件的制定,给出了应用实例,讨论了相关的工艺技术问题。

全书共分7章,分别为机械加工切削基础、机械加工生产过程和加工质量、机械加工工艺设计基础、机床夹具设计基础、数控车削加工工艺、数控铣削和加工中心加工工艺、数控加工技术的发展等。

湖北省高等教育学会副秘书长、湖北省教育科学研究所高教研究中心主任李友玉研究员,湖北省高等教育学会高职高专教育管理专业委员会教学组组长李家瑞教授、秘书长屠莲芳,负责本教材研制队伍的组建、管理和本教材研制标准、研制计划的制订与实施。

本教材由武汉职业技术学院王军、襄樊职业技术学院刘劲松担任主编,武汉职业技术学院张绪祥担任主审,武汉电力职业技术学院王小萍、武汉职业技术学院詹华西、随州职业技术学院夏章建、黄冈职业技术学院匡炎担任副主编。湖北国土资源职业学院毕安龙、武汉职业技术学院李艳华参与了全书的研制工作。全书编写分工如下:第一章由王小萍编写,第二章由毕安龙编写,第三章由王军编写,第四章由夏章建编写,第五章由李艳华和匡炎编写,第六章由詹华西编写,第七章由刘劲松编写。全书由王军提出编写大纲及要求并统稿。

本教材在编写过程中参考了许多文献和成果,在此谨对原作者一并表示感谢。

由于水平和经验有限,书中难免存在一些错误及不妥之处,敬请老师和同学们批评指正。联系方式: wangjnn@sohu.com。

湖北高职“十一五”规划教材
《数控加工工艺》研制组

2009年1月

目 录

第一章 机械加工切削基础	1
第一节 切削运动及切削用量	1
一、切削运动和工件表面	1
二、切削用量	2
第二节 切削刀具及其选择	3
一、常用刀具类型	3
二、刀具材料	4
三、刀具几何角度及选择	9
四、刀具失效及耐用度	13
第三节 金属切削过程	15
一、切屑的形成及种类	15
二、积屑瘤	16
三、切削力	18
四、切削热	20
五、切削加工中的振动	22
第四节 材料的切削加工性	24
一、切削加工性的概念和指标	24
二、影响切削加工性的因素	25
三、改善金属材料切削加工性的途径	25
第五节 切削用量及切削液的选择	26
一、切削用量的选择	26
二、切削液及其选择	27
第二章 机械加工生产过程及加工质量	31
第一节 生产过程及工艺过程	31
一、生产过程及工艺过程	31
二、工艺过程及其组成	31
三、生产类型及工艺特征	34
四、数控加工工艺的基本特点	35
第二节 机械加工精度	36
一、加工精度的概念	36
二、获得加工精度的方法	36

三、影响加工精度的主要因素	38
四、提高工件加工精度的途径	42
第三节 机械加工的表面质量	43
一、表面质量的概念	43
二、表面质量对零件使用性能的影响	43
三、影响表面质量的因素	44
第三章 机械加工工艺设计基础	47
第一节 机械加工工艺规程	47
一、工艺规程的作用	47
二、工艺规程的格式	48
三、工艺规程设计的步骤	51
第二节 机械加工工艺规程的制订	52
一、零件工艺分析	52
二、毛坯选择	54
三、工艺路线的拟定	58
第三节 工件的定位及定位基准选择	65
一、工件的安装方式	65
二、工件的定位	66
三、定位基准的选择	70
第四节 工序尺寸的确定	73
一、加工余量与工序尺寸	73
二、工艺尺寸链与工序尺寸	76
第四章 机床夹具设计基础	86
第一节 机床夹具及其组成	86
一、机床夹具的类型	86
二、机床夹具的组成	86
三、对机床夹具的基本要求	87
第二节 夹具的定位元件	88
一、工件以平面定位	88
二、工件以内孔定位	91
三、工件以外圆柱面定位	93
四、工件以一面双孔定位	95
第三节 定位误差分析计算	96
一、定位误差产生的原因	96
二、定位误差 Δ_D 的计算	99
三、定位误差计算示例	99
第四节 夹紧装置	101

一、夹紧装置的组成和基本要求	101
二、夹紧力方向和作用点的选择	102
三、典型夹紧机构	104
第五章 数控车削加工工艺	114
第一节 数控车床加工工艺分析	114
一、数控车床的加工范围	114
二、数控车床加工零件的工艺性	116
第二节 数控车削刀具及其选用	118
一、数控车刀的类型	118
二、机夹车刀的标识	120
三、刀具的选择	124
四、车刀的装夹	128
五、数控车床的机内对刀仪对刀	130
第三节 数控车削加工的工艺设计	131
一、加工顺序的确定	131
二、走刀路线的确定	132
三、切削用量的选择	136
第四节 典型零件的数控车削工艺	140
一、轴套类零件的数控车削工艺	140
二、缸孔的车削加工工艺	148
第六章 数控铣削及加工中心加工工艺	158
第一节 数控铣削及加工中心加工工艺分析	158
一、数控铣削及加工中心的加工范围	158
二、数控铣削加工零件的工艺性	161
第二节 数控铣削及加工中心的刀具及其选用	166
一、数控铣削及加工中心对刀具的基本要求	166
二、常用铣削刀具及孔加工刀具	167
三、数控铣削及加工中心的标准刀具系统	175
四、铣刀及孔加工刀具的选用	180
五、数控铣削刀具的对刀	184
第三节 数控铣床及加工中心加工工艺设计	186
一、加工顺序的确定	186
二、走刀路线的确定	187
三、切削用量的选择	193
第四节 典型零件的数控铣削工艺	195
一、连接臂零件的数控铣削加工工艺	195
二、基座零件的数控铣削加工工艺	200

第七章 数控加工技术的发展	214
第一节 数控机床的发展趋势	214
第二节 柔性制造及计算机集成制造简介	216
一、柔性制造	216
二、计算机集成制造系统 (CIMS)	219
第三节 刀具技术的发展	221
一、数控刀具的特点	221
二、刀具技术发展趋势	222
第四节 高速加工技术简介	224
一、高速加工的概念及理论基础	224
二、高速加工的优点	225
三、高速加工的实现	226
四、高速加工的应用	228
参考文献	230

第一章 机械加工切削基础

第一节 切削运动及切削用量

一、切削运动和工件表面

切削加工的目的是用金属切削刀具把工件毛坯上预留的金属材料（余量）切除，以获得图纸所要求的零件。在切削过程中，刀具和工件之间必须有相对运动，这种相对运动就称为切削运动。按切削运动在切削加工中的功用不同分为主运动和进给运动。

1. 主运动

主运动是由机床提供的主要运动，它使刀具和工件之间产生相对运动，从而使刀具前刀面接近工件并切除切削层，即是切削过程中切下切屑所需的运动。其特点是切削速度最高，消耗的机床功率也最大。如图 1-1 所示，其形式可以是旋转运动，如车削时工件的旋转运动、铣削时铣刀的旋转运动、磨削工件时砂轮的旋转运动、钻孔时钻头的旋转运动等；也可以是直线运动，如刨削时刀具的往复直线运动。

2. 进给运动

进给运动又称走刀运动，是由机床提供的使刀具与工件之间产生附加的相对运动，即进给运动是切削过程中使金属层不断地投入切削，从而加工出完整表面所需的运动。其特点是消耗的功率比主运动小得多。如图 1-1 所示，其形式可以是连续的运动，如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动、钻孔时钻头沿轴向的直线运动等；也可以是间断运动，如刨削平面时工件的横向移动；还可以是两者的组合，如磨削工件外圆时砂轮横向间断的直线运动和工件的旋转运动及轴向（纵向）往复直线运动。

总之，在各类切削加工中，主运动必须有一个，而进给运动可以有一个（如车削）、两个（如外圆磨削）或多个，甚至没有（如拉削）。

主运动可以由工件完成（如车削、龙门刨削等），也可以由刀具完成（如钻削、铣削等）。进给运动同样也可以由工件完成（如铣削、磨削等）或刀具完成（如车削、钻削等）。

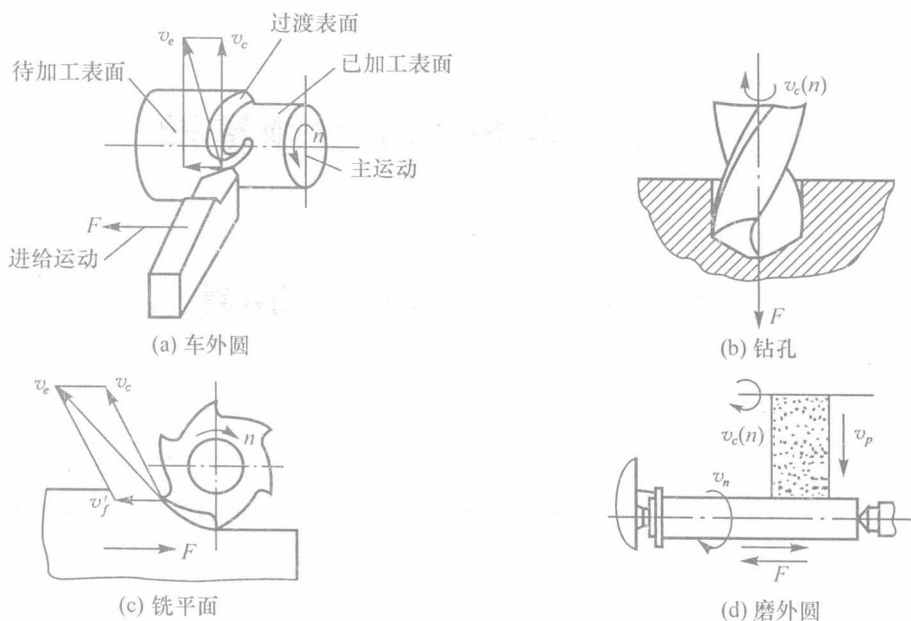
3. 加工中的工件表面

切削过程中，工件上多余的材料不断地被刀具切除而转变为切屑，因此，工件在切削过程中形成了三个不断变化着的表面，如图 1-1（a）所示。

（1）已加工表面：工件上经刀具切削后产生的表面。

（2）待加工表面：工件上有待切除切削层的表面。

（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（如刨削）、



v_c —主运动 F —纵向进给运动 v_n —圆周进给运动 v_n —径向进给运动

图 1-1 几种常见加工方法的切削运动

刀具或工件的下一转（如单刃镗削或车削）将被切除，或者由下一切削刃（如铣削）切除。

二、切削用量

切削用量是切削速度、进给量和背吃刀量三者的总称，这三个参数常被称为切削用量三要素。它是描述切削运动、调整机床、计算切削加工的时间定额和核算工序成本等必需的参量，使用它可以对切削加工中的运动进行定量的描述（见图 1-2）。

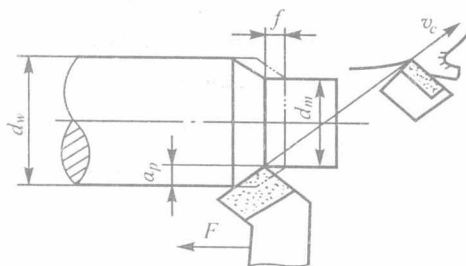


图 1-2 切削用量三要素

1. 切削速度 v_c

在切削加工时，切削刃选定点相对于工件主运动的瞬时速度称为切削速度。即在单位

时间内, 工件或刀具沿主运动方向的相对位移量, 单位为 m/min 。

大多数切削加工的主运动是回转运动 (车、钻、镗、铣、磨削加工等), 其切削速度为加工表面的最大线速度, 即

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

式中: d_w ——切削刃选定点处所对应的工件或刀具的最大回转直径, 单位: mm ;

S ——主轴转速, 单位: r/min ;

2. 进给量 f

在主运动的一个循环内, 刀具在进给方向上相对于工件的位移量称为进给量, 可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表达和度量, 如图 1-2 所示。其单位为 mm/r (如车削、镗削等) 或 $\text{mm}/\text{行程}$ (如刨削、磨削等)。

进给量 f 的大小反映着加工时进给速度 F (F 指令的值, 单位为 mm/min) 的大小, 由于数控加工中假定工件不动, 刀具相对于工件作进给运动, 对车削类加工, 进给速度 F 是指切削刃上选定点相对于工件的进给运动的瞬时速度, 它与进给量之间的关系为

$$F = Sf$$

对于铰刀、铣刀等多齿刀具, 常要规定出每齿进给量 f_z (单位为 mm/z , 其数值大小可从有关的切削参数表中查出), 其含义为多齿刀具每转中每齿相对于工件在进给运动方向上的位移量, 此时, 进给的速度为

$$F = Szf_z$$

式中, z 为多齿刀具的刀齿数。

3. 背吃刀量 α_p

背吃刀量 α_p 是已加工表面和待加工表面之间的垂直距离, 也叫切削深度, 其单位为 mm 。外圆车削时, α_p 为

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

式中: d_w ——待加工表面直径, 单位为 mm ;

d_m ——已加工表面直径, 单位为 mm 。

孔加工时, 上式中的 d_w 与 d_m 应互换位置。

第二节 切削刀具及其选择

金属切削刀具是完成切削加工的重要工具, 它直接参与切削过程, 从工件上切除多余的金属层。无论是在普通机床还是数控机床上, 加工都必须依靠刀具才能完成。刀具变化灵活, 作用显著, 所以它是切削加工中影响生产率、加工质量和生产成本的最活跃的因素。在数控机床的自身技术性能不断提高的情况下, 刀具的性能直接决定机床性能的发挥。

一、常用刀具类型

根据刀具的用途、加工方法、工艺特点、结构特点, 刀具有以下几种分类方式。

1. 按加工方法分类

(1) 切刀 包括车刀、刨刀、插刀、镗刀等，一般为只有一条主切削刃的单刃刀具。

(2) 孔加工刀具 在实体材料上加工出孔或对原有孔扩大孔径并提高孔质量的一种刀具，包括钻头、扩孔钻、铰刀、镗刀等。

(3) 拉刀 在工件上拉削出各种内、外几何表面的刀具，包括圆孔拉刀、平面拉刀、单键拉刀等，拉刀加工生产率高，但刀具成本高，用于大批量生产。

(4) 铣刀 是一种应用非常广泛的在圆柱或端面具有多齿、多刃的刀具，包括圆柱铣刀、球头铣刀、面铣刀、立铣刀、槽铣刀、锯片铣刀等。它可以用来铣削平面、沟槽、螺旋面和成形表面等。

(5) 螺纹刀具 用来加工内、外螺纹表面的刀具。包括丝锥、板牙、螺纹切刀等。

(6) 齿轮刀具 用于加工齿轮、链轮、花键等齿形的一类刀具，如齿轮铣刀、齿轮滚刀、插齿刀、花键滚刀等。

(7) 磨具 用于表面磨削加工的刀具，包括砂轮、砂带、油石、抛光轮等。

(8) 数控机床刀具 刀具根据零件加工的工艺要求配置，有预调装置、快速换刀装置和尺寸补偿系统。

(9) 特种加工刀具 特种加工所用的刀具和工具，如水刀、放电电极等。

2. 按切削刃特点分类

按切削刃特点分类有单刃刀具和多刃刀具。

3. 按工艺特点分类

(1) 通用刀具 如车刀、刨刀、铣刀等。

(2) 定尺寸刀具 如钻头、扩孔钻、铰刀、拉刀等。

(3) 成型刀具 如成型车刀、花键拉刀等。

4. 按装配结构分类

按装配结构分类分为整体式、装配式和复合式等。

尽管各种刀具的结构和形状各不同，但都是由工作部分和夹持部分组成的。工作部分俗称刀头，指担负切削加工的部分，由刀面、切削刃组成；夹持部分俗称刀柄或刀体，其横截面一般为矩形或圆形，指刀杆、刀柄和套装孔，它的作用是保证刀具具有正确的安装工作位置，并传递切削运动和动力。图 1-3 所示为切削刀具的基本类型。

二、刀具材料

在金属的切削加工时，刀具切削部分不仅要承受很大的切削力，而且还要承受切削时所产生的高温，刀具材料的切削性能直接影响生产效率、工件的加工精度、已加工表面的质量和刀具的消耗及加工的成本。

1. 刀具材料的使用性能

刀具材料是指刀具切削部分的材料，要使刀具能在恶劣的条件下工作不致很快地变钝或损坏，保持其正常的切削能力，刀具材料应具备的性能要求如表 1-1 所示。

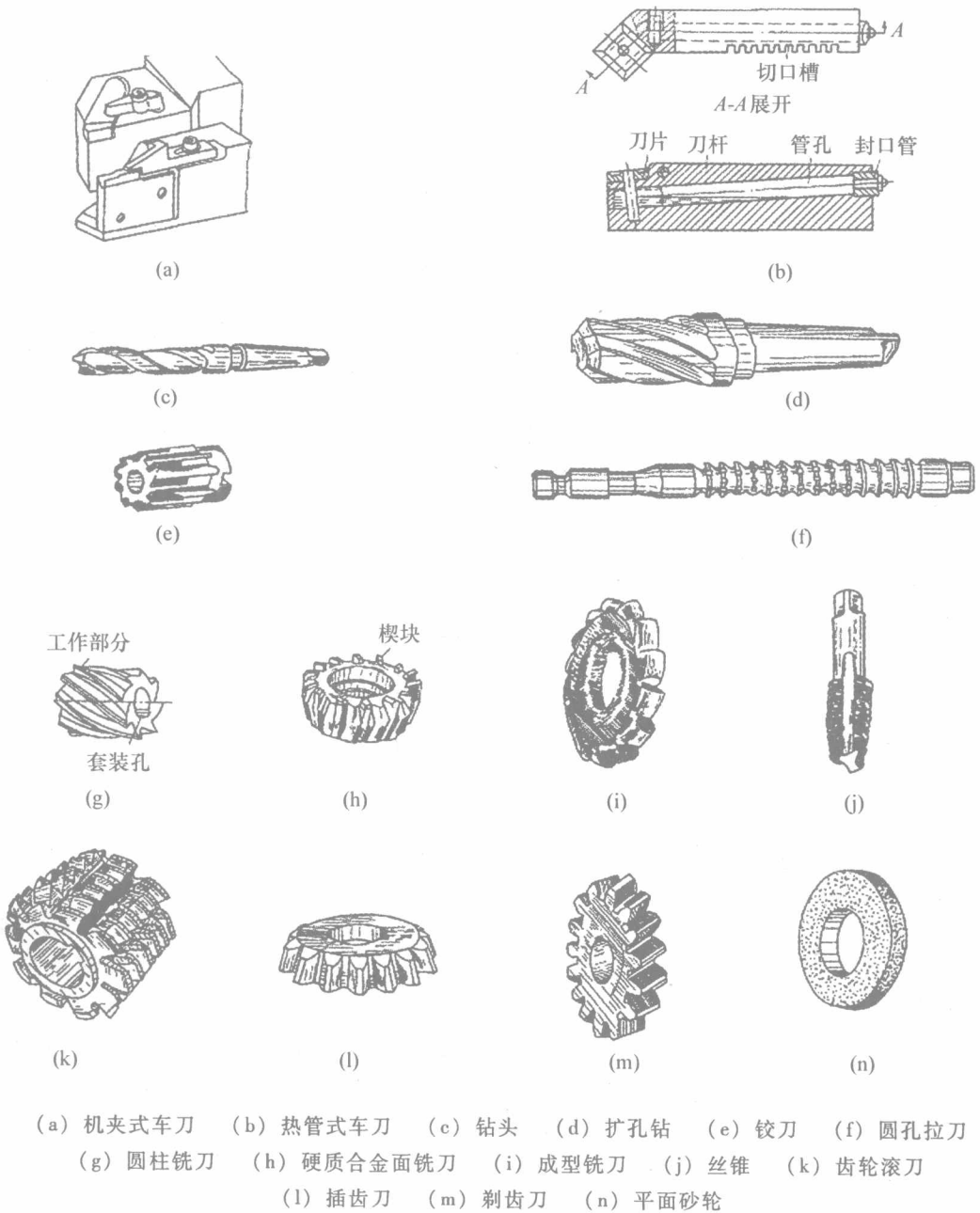


图 1-3 切削刀具的基本类型