


机械制造技术

(第2版)

● 主编 陈根琴 宋志良

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业院校“十三五”课程改革优秀成果规划教材

机械制造技术

(第2版)

主 编 陈根琴 宋志良
副主编 何 平 吴世友 楼章华
主 审 聂林水

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共9章,分别为机械制造技术简介、金属切削过程的基本知识、机械零件加工方法与设备、机械加工工艺规程、机床夹具设计、机械加工质量分析、数控加工工艺、机械装配工艺基础和计算机辅助工艺过程设计。此外,还介绍了最新的加工技术,如数控加工工艺、组合夹具、成组技术和CAPP等知识。

本书适用于高等职业院校、成人高校机械类和近机械类有关专业教学使用,也可供相关专业技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术/陈根琴,宋志良主编.—2版.—北京:北京理工大学出版社,2019.9(2019.10重印)

ISBN 978-7-5682-7665-8

I. ①机… II. ①陈… ②宋… 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(2019)第222814号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/20.5

字 数/482千字

版 次/2019年9月第2版 2019年10月第2次印刷

定 价/55.00元

责任编辑/多海鹏

文案编辑/多海鹏

责任校对/周瑞红

责任印制/李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

本书是机械类专业教材，是把原来的《金属切削刀具与原理》《金属切削机床》《机械制造工艺学》《机床夹具设计》等的相关内容根据机械类高职高专规划教材的总体要求进行有机结合。本书突出了综合性和实用性，其实践性很强，在学习中必须有实践环节与之相配合。在学习本书前，应掌握基本的机加工技能，具有一定的感性认识。

通过对本书的学习，要求学生掌握机械制造技术的基本知识和基本理论，具有一定的零件加工工艺分析能力和工装的设计能力及常用设备操作能力。本书介绍了数控工艺、成组技术等先进的制造技术，为学生今后的发展开发了一个良好的平台。

本书适合于高等职业院校、成人高校机械类和近机类有关专业的教学使用，也可供相关专业技术人员参考。

本教材由陈根琴主编。参加编写的人员有陈根琴（第1章、第3章、第9章、第4章第5节）、何平（第2章、第5章）、吴世友（第6章、第8章）、楼章华（第7章）、宋志良（第4章其他节）。聂林水对书稿进行了审阅，提出了宝贵意见，在此，向为本书编写提供热心帮助的老师 and 同行致以衷心的感谢！

由于水平有限，编写时间比较仓促，书中难免有欠妥之处，望批评指正。

编 者



目 录

第 1 章 机械制造技术简介	1
第 1 节 机械制造业在国民经济中的地位与作用	1
第 2 节 机械加工工种	2
第 3 节 金属切削机床的基本知识	5
思考题	8
第 2 章 金属切削过程的基本知识	9
第 1 节 金属切削运动和切削要素	9
第 2 节 金属切削刀具几何角度	13
第 3 节 金属切削过程物理现象	17
第 4 节 刀具材料	27
第 5 节 切削液	31
第 6 节 刀具几何参数与切削用量选择及实例	34
第 7 节 磨削原理	41
思考题	44
第 3 章 机械零件加工方法与设备	48
第 1 节 外圆表面加工及设备	48
第 2 节 内圆表面加工及设备	76
第 3 节 螺纹的加工	98
第 4 节 平面加工	106
第 5 节 齿轮的齿形加工	120
思考题	138
第 4 章 机械加工工艺规程	140
第 1 节 机械加工概述	140
第 2 节 机械加工工艺规程的制定	143
第 3 节 零件的工艺分析	147
第 4 节 毛坯的确定	150
第 5 节 定位基准的选择	153
第 6 节 工艺路线的拟订	158

第7节	加工余量的确定	165
第8节	工序尺寸及公差确定	168
第9节	机床与工艺装备的选择	175
第10节	机械加工的生产率	176
第11节	实例	181
	思考题	194
第5章	机床夹具设计	198
第1节	工件的定位	198
第2节	工件的夹紧	209
第3节	典型机床夹具	218
第4节	专用夹具设计方法	233
第5节	先进组合夹具简介	239
	思考题	243
第6章	机械加工质量分析	247
第1节	机械加工精度	247
第2节	机械加工表面质量	268
	思考题	274
第7章	数控加工工艺	276
第1节	数控刀具	276
第2节	数控加工工艺	280
	思考题	289
第8章	机械装配工艺基础	291
第1节	机械装配概述	291
第2节	装配精度与装配尺寸链的建立	292
第3节	装配方法及其选择	298
第4节	装配工艺规程的制定	303
第5节	典型传动装置的装配案例	305
	思考题	307
第9章	计算机辅助工艺过程设计 (CAPP)	309
第1节	CAPP系统的基础技术	309
第2节	计算机辅助工艺规程设计	317
	思考题	320
	参考文献	321



第 1 章

机械制造技术简介

第 1 节 机械制造业在国民经济中的地位与作用

一、机械制造业在国民经济中的地位与作用

机械制造业是国民经济最重要的部门之一，它担负着向国民经济各个部门提供机械设备的任务，是一个国家经济实力和科学技术发展水平的重要标志，因而世界各国均把发展机械制造业作为振兴和发展国民经济的战略重点之一。

在我国，机械制造业特别是装备制造业处于制造工业的中心地位，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，是参与国际竞争取胜的法宝，是技术进步的主要舞台，是提高人均收入的财源，是国际安全的保障，是发展现代文明的物质基础。

随着科学技术的发展，现代工业对机械制造技术提出了越来越高的要求，同时也推动了机械制造技术不断地向前发展，并给予机械制造技术许多新的技术和新的概念，使得机械制造技术向智能化、柔性化、网络化、精密化、绿色化和全球化方向发展成为趋势。

当前，面临激烈市场竞争的机械制造业，要想增强企业的竞争力，企业制造的产品必须做到以下几点：一要设计、制造周期短，产品更新快；二要产品质量高、价格低；三要及时交货并提供良好的售后服务。为此，21 世纪的机械制造技术发展的总趋势为以下几方面。

(1) 向柔性化方向发展。柔性制造系统 (FMS)、计算机集成制造系统 (CIMS) 是一

种高自动化程度的制造系统。

(2) 向高精度化方向发展。在科学技术发展的今天,产品精度的要求越来越高,精密加工和超精密加工已成必然。加工设备采用的是高精度、通用可调的数控专用机床,夹具是高精度、可调的组合夹具,以及高精度的刀具、量具。

(3) 向高速度方向发展。高速度切削可极大地提高加工效率,降低能源消耗,从而降低生产成本,但高速度切削必须通过加工设备、刀具材料、刀具涂层、刀具结构等方面技术的进步来配合。

(4) 向绿色化方向发展。减少机械加工对环境的污染,是国民经济可持续发展的需要,也是机械制造工业面临的课题。目前,在数控机床上装有全防护装置,可防止冷却液和切屑飞溅,并具有回收冷却液和排屑的装置,在一些先进的数控机床上,采用了新型冷却技术(低温空气、负压抽吸等),通过废液、废气、废油再回收利用等方面减少对环境的影响。

目前,我国机械制造业还远远落后于世界工业发达国家,我国制造业的工业增加值仅为美国的22.14%、日本的35.34%,科技仍处于较低水平,附加值高和技术含量大的产品生产能力不足,需大量进口,缺乏能够支持结构调整和产业技术升级的技术能力。传统的机械制造技术与国际先进水平相比,差距在15年左右。因此,从事机械制造的技术人员应该不断地进行知识更新、拓宽技能和掌握高新技术,勇于实践,为我国机械制造业的发展奠定基础。

二、学习本课程的目的要求和学习方法

“机械制造技术”是高职高专机械类的一门主要专业课,它是将传统的四门专业课——“金属切削刀具与原理”“金属切削机床”“机床夹具设计”和“机械制造工艺学”进行了整合,形成了一门实践性、综合性和灵活性都很强的专用课程。通过理论教学、生产实习、课程设计、综合实践等环节的配合,使学生掌握机械制造技术的基本理论,能对零件的加工工艺进行分析及制定零件工艺路线;能合理选用机床、刀具、组合夹具、量具等,并能对专用夹具进行设计及制造;能正确地使用、调整机床。在学习的同时,为了拓宽视野、开阔思路,本课程介绍了机械制造技术中的新工艺、新技术,以了解现代制造技术的发展方向。

本课程的内容与生产实践联系十分紧密,要有丰富的感性知识,才能掌握机械制造技术的概念、理论和综合实践技术。所以,在学习中要重视实践环节和课程设计的能力,重视综合运用所学知识解决生产实际问题的能力。同时,由于各机械制造企业的生产条件千差万别,其加工工艺也不是千篇一律,运用时切忌死搬教条,要灵活运用。

第2节 机械加工工种

机械加工工种一般分为冷加工、热加工和其他工种三大类。



一、冷加工（机械加工）类

1. 钳工

钳工的工作范围很广，如有些零件在加工前通过钳工来进行划线；有些零件采用机械设备加工不太适宜或不能解决，要通过钳工工作来完成，以及零件的组装、部件的装配和总装配也要通过钳工按各项技术要求进行。总之，钳工是机械制造企业中不可缺少的一个工种。

钳工工种按专业工作的主要对象不同又可分为普通钳工、装配钳工、模具钳工、修理钳工和工具钳工等。不管哪一种钳工，首先要掌握好钳工的各项基本操作技术，主要包括划线、錾削、锯割、锉削、钻孔、扩孔、铰孔、铰孔、攻螺纹和套螺纹、刮削、研磨和铆接等。

2. 车工

车削加工是金属切削加工中最基本的加工方法。车工是指操作车床，对工件旋转表面进行切削加工的工种。

车床的种类很多，按结构及其功用主要可分为普通车床、落地车床、立式车床、数控车床及六角车床等。

车削加工的主要工艺内容为车削内外圆柱面、圆锥表面、车端面、切沟槽、切断、车螺纹、钻孔、铰孔、滚花和车成形面等。

3. 铣工

铣削加工是利用多刃刀具对工件进行各种平面及沟槽加工。铣工是指操作各种铣床设备，对工件进行铣削加工的工种。

铣床按结构及其功用主要可分为升降台式铣床、无升降台铣床、工具铣床、龙门铣床、数控铣床等。

铣削加工的主要工艺内容为铣削平面、台阶面、沟槽（键槽、T形槽、燕尾槽、螺旋槽）和成形面等。

4. 刨工

刨削加工是利用刨刀（或工件）的直线往复运动对工件进行平面或沟槽的加工。刨工是指操作各种刨床设备，对工件进行刨削加工的工种。

常用的刨削机床有普通牛头刨床、液压刨床、龙门刨床和插床等。

刨削加工的主要工艺内容为刨削平面、垂直面、台阶面、斜面、沟槽（V形槽、燕尾槽、T形槽等）和成形面等。

5. 磨工

磨削加工是利用磨料磨具（砂轮、砂带、油石、研磨剂等）为工具和工件进行精加工。磨工是指操作各种磨床设备，对工件进行磨削加工的工种。

常用的磨床有普通平面磨床、外圆磨床、内圆磨床、万能磨床、工具磨床、无心磨床以及数控磨床等。

磨削加工的主要工艺内容为磨削平面、外圆、内孔、圆锥、槽、斜面、花键、螺纹、特种成形面等。

6. 加工中心操作工
7. 数控车操作工
8. 数控铣操作工

除上述工种外,常见的冷加工工种还有钣金工、镗工、冲压工等。

二、热加工类

1. 铸造工

铸造是指熔炼金属、制造铸型,并将熔融金属浇入铸型,凝固后获得一定形状尺寸和性能的金属铸件的工作。铸造工指操作铸造设备,进行铸造加工的工种。

常见的铸造种类有砂型铸造、失蜡铸造、失模铸造、金属砂型铸造、压力铸造、离心铸造等。

2. 锻造工

锻造是利用锻造方法使金属材料产生塑性变形,从而获得具有一定形状、尺寸和机械性能的毛坯或零件的加工方法。锻造工是指操作锻造机械设备及辅助工具,进行金属工件的毛坯剁料、镦粗、冲孔、成形等锻造加工的工种。

锻造可分为自由锻和模锻两大类。

3. 热处理工

金属材料可通过热处理改变其内部组织,从而改善材料的工艺性能和使用性能,所以热处理在机械制造业中占有很重要的地位。热处理工是指操作热处理设备,对金属材料进行热处理加工的工种。

根据不同的热处理工艺,一般可将热处理分成整体热处理、表面热处理、化学热处理和其他热处理四类。

三、其他工种

1. 机械设备维修工

机械设计维修工是从事设备安装维护和修理的工种。

2. 维修电工

维修电工是从事工厂设备的电气系统安装、调试与维护、修理的工种。

3. 电焊工

电焊工是指操作焊接和气割设备,对金属工件进行焊接或切割成形的工种。

4. 电加工设备操作工

在机械制造中,为了加工各种难加工的材料和各种复杂的表面,常直接利用电能、化学能、热能、光能、声能等进行零件加工,这种加工方法一般称为特种加工。其中操作电加工设备进行零件加工的工种,称为电加工设备操作工。常用的加工方法有电火花加工和电解加工等。

本书所包含的工种有钳工、车工、铣工、刨工、磨工、机械设备维修工、数控车操作工、数控铣操作工和加工中心操作工等。

第3节 金属切削机床的基本知识

金属切削机床是切削加工使用的主要设备。为了适应不同的加工对象和加工要求，需要多种品种和规格的机床。为了便于区别、使用和管理，需对机床进行分类和编制型号。

一、机床的类型

机床传统的分类方式，是按机床加工性质和使用的刀具进行的。目前将机床分为车床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨插床、拉床、锯床、其他机床和特种加工机床共12类，如表1-1所示。

表1-1 通用机床分类代号

类别	车床	钻床	镗床	磨床	齿轮加工机床	螺纹加工机床	铣床	刨插床	拉床	特种加工机床	锯床	其他机床
代号	C	Z	T	M	Y	S	X	B	L	D	G	Q
读音	车	钻	镗	磨	牙	丝	铣	刨	拉	电	割	其

此外，根据机床的其他特性还可以进行进一步分类。

(1) 按加工精度的不同，机床可分为普通精度机床、精密机床和高精密机床。

大部分车床、磨床、齿轮加工机床有三个相对精度等级，在机床型号中用汉语拼音字母P（普通精度，在型号中可省略）、M（精密级）和G（高精度级）表示。

(2) 按工艺范围，机床可分为通用机床、专门化机床和专用机床三类。

通用机床是可加工多种工件，完成多种工序的、使用范围较广的机床，如卧式车床、万能升降台铣床等。通用机床由于功能较多，结构比较复杂，生产率低，因此主要适用于单件、小批量生产。

专门化机床是用于加工形状相似而尺寸不同工件的特定工序的机床，如曲轴车床、凸轮轴车床等。

专用机床是用以加工某些工件的特定工序的机床，如机床主轴箱专用镗床等。它的生产率比较高，机床的自动化程度往往也比较高，所以专用机床通常用于成批及大量生产。

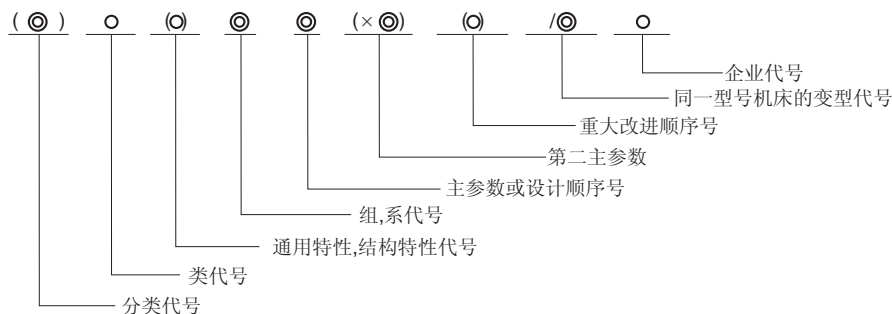
(3) 按自动化程度，机床可分为手动机床、机动机床、半自动机床和自动机床。

(4) 按机床重量，机床可分为仪表机床、中小型机床（一般机床）、大型机床（10 t）、重型机床（大于30 t）和超重型机床（大于100 t）。

(5) 自动控制类机床按其控制方式可分为仿形机床、数控机床和加工中心等，在机床型号中分别用汉语拼音字母F、K、H表示。

二、机床型号的编制方法

机床型号的编制是采用汉语拼音字母和阿拉伯数字按一定规律组合排列，我国现行机床型号是根据 1994 年国家标准局颁布的《金属切削机床型号编制方法》的国家推荐标准 (GB/T 15375—1994)。普通机床型号用下列方式表示。



其中，O 为大写的汉语拼音字母；⊙ 为阿拉伯数字。有 () 的代号或数字，当无内容时，则不表示；若有内容，则不带括号。

1. 机床的类、组、系的划分及其代号

机床的类代号用大写的汉语拼音字母表示（见表 1-1 列出的我国机床的 12 个类别），并按名称读音。需要时，每类可分为若干分类，分类代号用阿拉伯数字表示，放在类代号之前，第一类的 1 可省略，如磨床类机床 M、2M 和 3M 三个分类。每类机床可划分为 10 个组，每个组又可划分为 10 个系。在同一类机床中，主要布局或使用范围基本相同的机床，即为同一组。在同一组机床中，其主要参数相同、主要结构及布局形式相同的机床，即为同一系。表 1-2 所示为车床的组、系代号划分。

表 1-2 车床的组、系代号划分

类别	0	1	2	3	4	5	6								7	8	9		
							落地及卧式车床												
车床	仪表车床	单轴自动车床	多轴自动半自动车床	回轮、转塔车床	曲轴及凸轮轴车床	立式车床	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	仿形及多刀车床	轮、轴、辊、锭及铲齿车床	其他车床
C							落地车床	卧式车床	马鞍车床	无丝杠车床	卡盘车床	球面车床							

2. 机床的特性代号

(1) 通用特性代号。机床通用特性代号列入表 1-3。通用特性代号用汉语拼音字首 (大写) 表示，列在类别代号之后。如 CK6140 中，K 表示该车床具有程序控制特性。



表 1-3 通用特性代号

通用特性	高精度	精密	自动	半自动	数控	加工中心 (自动换刀)	仿形	轻型	加重型	筒式或经济型	柔性加工单元	数显	高速
代号	G	M	Z	B	K	H	F	Q	Z	J	R	X	S
读音	高	密	自	半	控	换	仿	轻	重	筒	柔	显	速

(2) 结构特性代号。为了区别主参数相同而结构不同的机床，在型号中增加了结构特性代号。结构特性代号在不同的型号中可以有不同的含义。若某机床既具有通用特性，又具有结构特性，则结构特性代号应排在能用特性代号之后。如 CA6140 中，A 是结构特性代号，表示 CA6140 与 C6140 车床主参数相同，但结构不同。

3. 机床主参数代号

机床以什么尺寸作为主参数有统一的规定。主参数代表机床的规格，主参数代号代表主参数的折算值，排在组、系代号之后。表 1-4 列出了常用机床的主参数及其折算系数。

表 1-4 机床主参数代号

机床名称	主参数	主参数折算系数	机床名称	主参数	主参数折算系数
卧式车床	床身上最大回转直径	1/10	立式升降台铣床	工作台面宽度	1/10
摇臂钻床	最大钻孔直径	1/1	卧式升降台铣床	工作台面宽度	1/10
卧式坐标镗床	工作台面宽度	1/10	龙门刨床	最大刨削宽度	1/100
外圆磨床	最大磨削直径	1/10	牛头刨床	最大刨削长度	1/10

第二主参数（多轴机床的主轴数除外）一般不予表示，它是指最大模数、最大跨区及最大工作长度等。在型号中表示的第二主参数，一般折算成两位数为宜。

4. 机床重大改进顺序号

当机床的性能及结构有重大改进时按其设计改进的次序，用字母 A、B、C 等表示，写在机床型号的末尾。如 M1432A 中，A 表示第一次重大改进后的万能外圆磨床，最大磨削直径为 320 mm。

5. 其他特性代号

其他特性代号置于辅助部分之首。其中同一型号机床的变型代号，一般应放在其他特性代号的首位。

其他特性代号主要用以反映各类机床的特性。如对数控机床，可用它来反映不同控制系统；对于一般机床，可以反映同一型号机床的变型等。

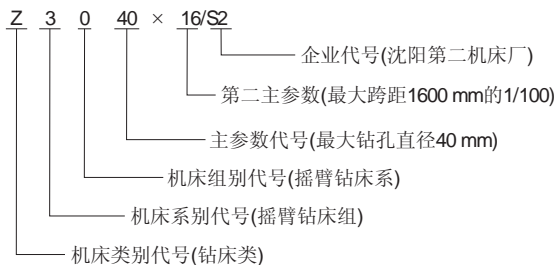
其他特性代号可用汉语拼音字母表示，也可以用阿拉伯数字表示，还可用两者结合表示。

6. 企业代号

企业代号包括生产厂及研究所单位代号，置于辅助部分尾部，用“—”分开，若辅助

部分仅有企业代号, 则不可加“—”。

例如, Z3040 × 16/S2 的含义如下。



思考题

- 1-1 机械制造业在国民经济中的地位与作用是什么?
- 1-2 机械制造业的发展方向是什么?
- 1-3 冷加工工种分为哪几类? 各工种的作用是什么?
- 1-4 解释下列机床型号: CM6132、CG1107、C1336、Z3040、M1432B。



第 2 章

金属切削过程的基本知识

金属切削加工是利用刀具切除工件毛坯上多余的金属层，以获得具有一定加工精度和表面质量的机械零件的加工方法，它是机械制造工业中应用最广泛的一种加工方法。在这个过程中，会产生切削力、切削变形、切削热和刀具磨损等物理现象。研究金属切削的基本理论，掌握金属切削的基本规律，对有效控制金属的切削过程、保证加工精度和表面质量、提高切削效益、降低生产成本、促进切削加工技术的发展等具有十分重要的指导意义。

第 1 节 金属切削运动和切削要素

一、切削运动

在金属切削加工过程中，用刀具切除工件材料，刀具和工件之间必须有一定的相对运动，这种相对运动称为切削运动。依其作用的不同，切削运动可分为主运动与进给运动。

1. 主运动

主运动是切除多余金属层以形成工件要求的形状、尺寸精度及表面质量所必需的基本运动，也是切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动。在切削加工中，主运动只有且必须有一个。主运动可以是旋转运动（如车削、镗削中主轴的运动），也可以是直线运动（如刨削、拉削中的刀具运动）。如图 2-1 所示。

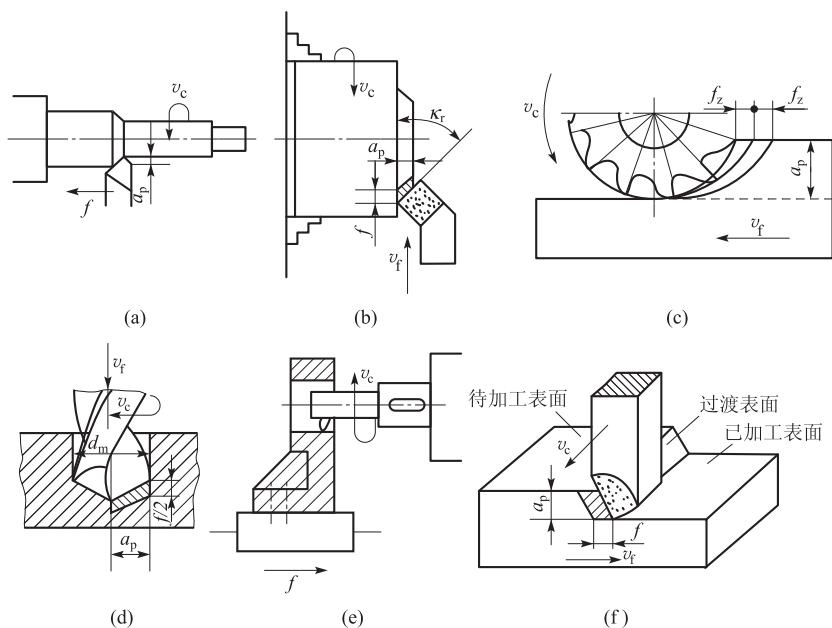


图 2-1 各种切削加工的切削运动

(a) 车外圆; (b) 车端面; (c) 铣平面; (d) 钻孔; (e) 镗孔; (f) 刨平面

2. 进给运动

进给运动是使新的金属不断投入切削的运动。它保证切削工作连续或反复进行，从而切除切削层形成已加工表面。进给运动的速度较低，消耗功率较小；进给运动可由刀具完成（如车削、钻削），也可由工件完成（如铣削）；进给运动不限于一个（如滚齿），个别情况也可以没有进给运动（如拉削）；进给运动可以是连续的（如车削），也可以是间断的（如刨削）。

3. 合成切削运动

主运动和进给运动可以同时进行（车削、铣削等），也可交替进行（刨削等）。当主运动与进给运动同时进行时，刀具切削刃上某一点相对工件的运动称为合成切削运动。

切削加工过程是一个动态过程，在切削过程中，工件上通常存在着三个不断变化的切削表面，如图 2-2 所示。

已加工表面：工件上经刀具切削后形成的表面。

待加工表面：工件上有待切削金属层的表面。

过渡表面：已加工与待加工表面间的切削刃正在切除的表面。

在切削过程中，切削刃相对于工件运动的轨迹面，就是工件上的过渡表面和已加工表面。这里有两个要素，一是切削刃，二是切削运动。不同形状的切削刃与不同的切削运动组合，即可形成各种工件表面，如图 2-3 所示。

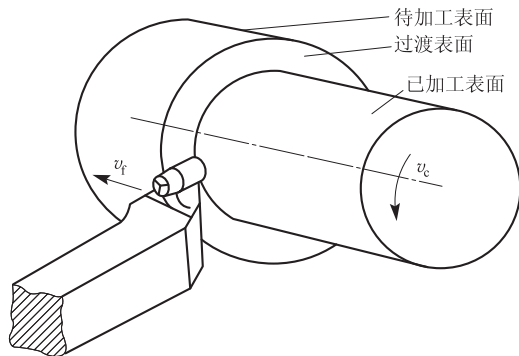


图 2-2 车削运动和加工表面

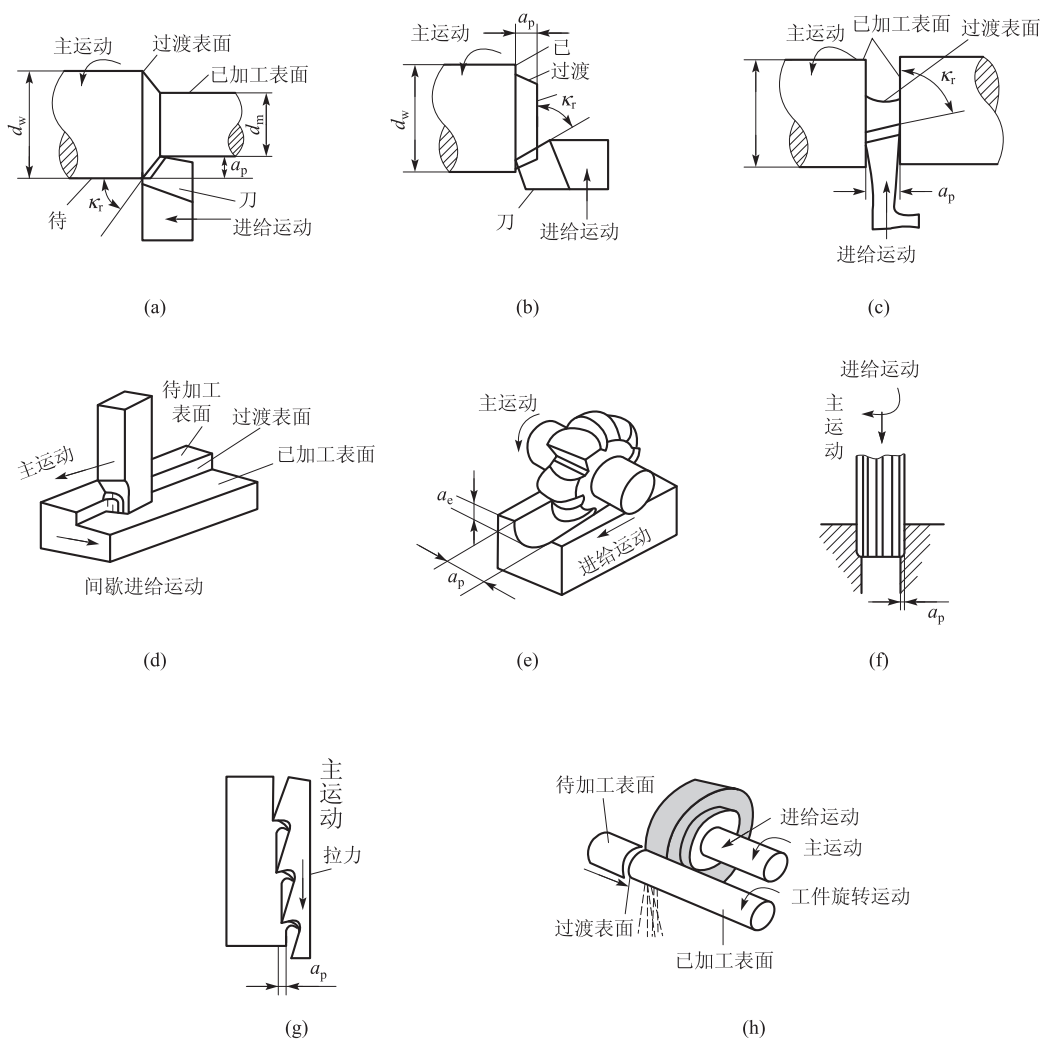


图 2-3 各种切削运动和加工表面

(a) 车外圆；(b) 车端面；(c) 车削；(d) 刨平面；(e) 铣圆弧面；(f) 铰孔；(g) 拉平面；(h) 磨外圆

二、切削用量

在切削加工过程中，需要针对不同的工件材料、刀具材料和其他技术经济要求来选定适宜的切削速度 v_c 、进给量 f 和背吃刀量 a_p 。切削速度、进给量和背吃刀量通常称为切削用量三要素。

1. 切削速度 v_c

切削速度 v_c 是切削刃上选定点相对于工件的主运动的线速度，单位为 m/s （或 m/min ）。车削时切削速度计算式为

$$v_c = \frac{\pi dn}{1\,000} \quad (2.1)$$

式中 n ——主运动转速 (r/s 或 r/min)；