



普通高等教育规划教材

机械制造技术

华茂发 谢骐 主编



普通高等教育规划教材

机械制造技术

主 编 华茂发 谢 骐
副主编 陈 明
参 编 赵忠泽 陈树海 邓 奕
主 审 李洪智



机械工业出版社

本书分为十三章。内容包括机械加工工艺系统及金属切削原理的基本理论、各种机械加工方法与装备、机械加工质量分析与控制、机械制造工艺规程设计及典型零件加工工艺、专用机床夹具设计、机械制造自动化及先进的生产模式等。

全书以常规机械制造技术为主体,在此基础上融入了数控机床、数控加工工艺及一些新材料、新工艺、新技术;既有常规机械制造技术的基本内容,又有现代制造技术的新发展;内容丰富,详简得当,突出应用,并附有习题与思考题,内容体系符合教学规律。

本书可作为普通高等学校数控技术应用、机械制造工艺及设备、机械制造及自动化、机电工程及模具设计与制造等专业教学用书,也可供相近专业的师生和制造企业的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术/华茂发, 谢骥主编. —北京: 机械工业出版社, 2004.7
普通高等教育规划教材
ISBN 7-111-14609-3

I. 机... II. ①华...②谢... III. 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 052581 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王小东 责任编辑: 邓海平 冯 侠 版式设计: 霍永明

责任校对: 李秋荣 封面设计: 陈 沛 责任印制: 李 妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $1/16$ ·21.75 印张·534 千字

定价: 29.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材

编审委员会名单

主 任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
陈力华 上海工程技术大学
鲍 泓 北京联合大学
王文斌 机械工业出版社

委 员：(按姓氏笔画排序)

刘向东 华北航天工业学院
任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈 峻 扬州大学
苏 群 黑龙江工程学院
娄柄林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学(威海)
童幸生 江汉大学

数控技术应用专业分委员会委员名单

主 任：朱晓春 南京工程学院

副主任：赵先仲 华北航天工业学院

龚仲华 常州工学院

委 员：(按姓氏笔画排序)

卜云峰 淮阴工学院

汤以范 上海工程技术大学

朱志宏 福建工程学院

李洪智 黑龙江工程学院

吴 祥 盐城工学院

宋德玉 浙江科技学院

钱 平 上海应用技术学院

谢 骥 湖南工程学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据IMD1998年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第36位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于2001年、2002年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并作出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性,特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人员,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色, 强化应用

围绕培养目标, 以工程应用为背景, 通过理论与工程实际相结合, 构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针: 知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为: “精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上, 挑选出最基本的内容、方法及典型应用; “新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容, 以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容, 并将它们按新的教学系统重新组织; “广”指在保持本学科基本体系下, 处理好与相邻以及交叉学科的关系; “用”指注重理论与实际融会贯通, 特别是注入工程意识, 包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点, 合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课(专业基础课、专业课)教材的建设, 并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设, 力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者, 确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验, 又具有丰富的教学实践经验的教师承担编写任务, 以确保教材质量。

我们相信, 本套系列教材的出版, 对我国工程应用型人才培养质量的提高, 必将产生积极作用, 为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光, 高瞻远瞩, 及时提出并组织编写这套系列教材, 他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作, 并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件, 在此深表衷心感谢!

编委会主任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

前 言

本书是根据“普通高等教育应用型本科数控技术应用专业和计算机科学与技术专业规划教材研讨会”审定的教材编写大纲组织编写的规划教材,适用学时为64~76学时。其中有部分章节内容相对独立,便于教学要求不同的专业在教学过程中取舍。

本书内容包括机械加工工艺系统及金属切削原理的基本理论、零件表面的各种加工方法及装备、机械加工精度和表面质量分析与控制、机械制造工艺规程设计、典型零件加工工艺、机床夹具设计原理与方法等,并简明扼要地介绍了目前较成熟的机械制造自动化技术和制造技术的新概念、新模式。

本书根据应用型本科人才培养目标和要求,在体系、内容等方面作了较多的调整,归纳起来,有以下主要特点:

1) 在保证基本内容的基础上,删减了部分旧内容,扩充了数控机床、数控加工工艺及现代制造技术等新知识,以适应生产发展的需要。

2) 收编了一些新理论、新技术、新材料及新工艺,以启发学生的创新思路。

3) 将机床、刀具和夹具有机地结合在一起,按工种介绍零件表面加工方法,符合工程实践对制造技术知识与能力的要求和学科自身规律。

4) 所编写内容注重应用,深浅适中。章后附有一定的练习,以培养学生综合分析问题和解决问题的能力。

5) 书中实例和练习大多以工程实际为背景,理论联系实际,具有较强的实用性。

本书可作为普通高等学校数控技术应用、机械制造工艺及设备、机械制造及自动化、机电工程、模具设计与制造等专业用教材,也可供相近专业学生作为教学用书或参考书,亦可供工程技术人员参考。

本书由华茂发、谢骥任主编。其中绪论、第三、四章由湖南工程学院谢骥编写,第一、二、九、十三章及附录由南京工程学院华茂发编写,第五章由湖南工程学院邓奕编写,第六、十二章由华北航天工业学院陈明编写,第七、八章由黑龙江工程学院陈树海编写,第十、十一章由华北航天工业学院赵忠泽编写。本书由华茂发负责编写大纲和统稿、定稿。黑龙江工程学院李洪智教授任主审。

本书在编写过程中,得到有关领导和同行的大力支持,在此一并表示衷心感谢!

由于作者水平有限和编写时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评、指正。

编 者
2004年3月

目 录

序	
前言	
绪论	1
第一章 机械加工工艺系统的基本知识	4
第一节 机械零件加工表面的形成	4
第二节 金属切削机床与数控机床的基本知识	8
第三节 金属切削刀具	16
第四节 机床夹具	23
习题与思考题	38
第二章 金属切削过程及控制	40
第一节 金属切削的切削要素	40
第二节 金属切削过程基本规律及应用	42
第三节 合理切削条件的选择	56
习题与思考题	66
第三章 车削加工	68
第一节 车床	69
第二节 车削及车削刀具	91
第三节 车床夹具	95
习题与思考题	97
第四章 铣削加工	99
第一节 铣削原理	100
第二节 铣床	106
第三节 铣刀及铣削用量	113
第四节 铣床夹具	118
习题与思考题	121
第五章 钻削与镗削加工	122
第一节 钻床、镗床及加工中心	122
第二节 钻削与钻削刀具	130
第三节 铰削与铰刀	135
第四节 镗削与镗刀	138
第五节 钻床与镗床夹具	140
习题与思考题	148
第六章 磨削加工	149
第一节 砂轮的特性与选用	149
第二节 磨削过程与特点	153
第三节 磨削运动与磨削用量	154
第四节 磨床	156
第五节 精密、超精密磨削与光整加工	163
习题与思考题	167
第七章 齿形加工	169
第一节 滚齿	169
第二节 插齿	179
第三节 齿面精加工	181
习题与思考题	184
第八章 其他加工方法	186
第一节 刨削加工	186
第二节 拉削加工	189
第三节 螺纹加工	191
第四节 数控线切割加工	193
习题与思考题	196
第九章 机械加工质量分析与控制	197
第一节 概述	197
第二节 影响加工精度的主要因素	198
第三节 加工误差综合分析	213
第四节 影响表面质量的因素	221
第五节 机械加工中的振动	225
习题与思考题	229
第十章 机械制造工艺规程设计	233
第一节 基本概念	233
第二节 机械加工工艺规程设计	236
第三节 数控加工工艺规程设计	260
第四节 机器装配工艺规程设计	266
习题与思考题	274
第十一章 典型零件的加工	276
第一节 轴类零件的加工	276
第二节 箱体类零件的加工	284
习题与思考题	296
第十二章 专用夹具设计方法	298
第一节 专用夹具的基本要求和设计步骤	298

第二节 夹具总图上技术要求的制订	299	(CAPP)	311
第三节 工件在夹具中的加工精度分析 ...	300	第三节 柔性制造系统 (FMS)	316
第四节 专用夹具设计示例	301	第四节 计算机辅助制造 (CAM) 和计算机	
习题与思考题	305	集成制造系统 (CIMS)	319
第十三章 机械制造自动化及先进的生		第五节 先进的生产模式	323
产模式	306	习题与思考题	325
第一节 成组技术 (GT)	306	附录	327
第二节 计算机辅助工艺规程设计		参考文献	335

绪 论

一、机械制造业与机械制造技术

在国民经济的各个部门（如工业、农业、交通运输、科研和国防等）中，广泛使用着大量的机械、仪器和工具。生产这些机械、仪器和工具的工业，称为机械制造业。机械制造业的主要任务就是为国民经济各个部门研究、设计和制造现代的技术装备。机械制造技术则是研究用于制造上述机械产品的加工原理、工艺过程和方法及相应设备的一门工程技术。

机械制造业作为国民经济的基础产业，不仅对提高人们的生活水平起着重要的作用，而且对科学技术的发展，尤其是现代高新技术（如信息技术、新材料技术、生物工程技术 and 空间技术等）的发展起着重要的推动作用。而机械制造业的发展和进步，在很大程度上又取决于机械制造技术的发展。在科学技术高度发展的今天，现代工业对机械制造技术提出了越来越高的要求，如要求达到纳米（ 10^{-6}mm ）级的超精密加工，大规模集成电路硅片划片的超微细加工，重型设备超大型件的加工，难加工材料和具有特殊物理性能材料的加工等等，诸如此类，给现代机械制造技术提出了许多新的课题。因此，在未来的竞争中，谁掌握先进的制造技术，谁就有控制市场的主动权。

另一方面，正是由于科学技术的发展，又为机械制造技术的发展提供了工具和手段。特别是计算机技术的发展，促使常规机械制造技术与数控技术、精密检测技术等相互结合，向着高精度、高效率、高柔性和自动化的方向发展，使生产效率和质量大幅度提高。

精密与超精密加工是机械制造技术发展的主要方向之一。在现代高科技领域中，产品的精度要求越来越高，这就要求机械制造精度不断提高，能与产品的精度要求相适应。近20年来，机械加工精度已从20世纪初的 $1\mu\text{m}$ （精密加工）提高到 $0.001\mu\text{m}$ ，即纳米（ nm ， $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}=10^{-3}\mu\text{m}$ ）级，最近已达到 $0.1\sim 0.01\text{nm}$ ，即超精密加工，如量规、光学平晶和集成电路的硅基片的精密研磨抛光。超精密加工技术的发展有力地推动了各种新技术的发展，已成为国际竞争中能否成功的关键技术。目前，日本大阪大学与美国LLL实验室合作研究超精密切削时，成功地实现了 1nm 切削厚度的稳定切削。美、英等国还研制出几台具有代表性的大型超精密机床，可完成超精密车削、磨削和坐标测量等工作，机床的分辨率可达 0.7nm ，代表了现代机床的最高水平。

机械制造过程的自动化和柔性化是机械制造技术发展的又一方向。随着国内外市场的激烈竞争，机电产品的更新换代越来越频繁，多品种的中小批量生产将成为今后的一种主要生产类型。因此，解决中小批量生产的自动化和柔性化制造技术越来越受到重视。目前，随着数控机床和加工中心的广泛使用，计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）和柔性制造系统（FMS）已经进入了实用阶段。在一些工业发达国家，正在大力发展计算机集成制造系统（CIMS），通过计算机网络对企业的物质流、信息流和能量流进行有效的控制和管理，不仅实现了自动化、柔性化、智能化和集成化，而且使产品质量和生产效率大大提高，生产周期缩短，收到了很好的经济效益。

发展高速切削、强力切削,提高切削加工效率,是机械制造技术发展的另一趋势。机床结构与制造水平的提高和新型刀具材料的应用,使切削加工效率大为提高。目前数控车床的主轴转速已达到 5000r/min,国外有的加工中心(如日本森精机制作所的立式加工中心)的主轴转速达到 70000r/min,高速铣床(如日本新泻铁工 UHS10 数控铣床)的主轴转速达到 100000r/min;高速电主轴采用陶瓷轴承、气浮轴承,德国研制的高速静压轴承,转速可达 160000r/min;机床进给系统采用直流或交流伺服电动机驱动、大导程滚珠丝杠螺母传动,其快进速度最高可达 60m/min;采用直线电动机传动装置时,快进速度可达 150~210m/min;高速磨削的切削速度可达 100~200m/s;高速加工中心工作台的进给速度已高达 20~30m/min。新型刀具材料如涂层硬质合金、陶瓷、立方氮化硼的应用,使常规切削速度提高了 5~10 倍。当用立方氮化硼(CBN)刀具高速铣削和镗削铸铁件时,切削速度可高达 1000m/min,采用氮化硅陶瓷(Si_3N_4)刀具加工铸铁零件,切削速度可达 1500m/min。

新中国成立以来,我国的机械制造业和机械制造技术得到了长足发展,已建成了门类齐全、具有较大规模的机械制造体系。大型、精密装备的水平,自动化程度和成套能力明显提高。不少新的制造技术在一定程度上得到推广应用,制造能力显著加强,为国民经济各个部门提供大量的技术和生产装备。为进一步满足国民经济发展的需要和缩小与发达国家制造水平的差距,机械工业正努力开发新产品,积极研究推广先进制造技术。开发的机床新产品中,数控机床就占 70% 以上。生产的 DIGIT165 型高速铣削中心,主轴转速达到 40000r/min,进给速度可达 30m/min,定位精度为 $8\mu\text{m}$,重复定位精度为 $5\mu\text{m}$,可实现 5 轴联动;PV4—C 型高速立式加工中心,主轴转速达 10000r/min,定位精度为 $\pm 2\mu\text{m}$,重复定位精度为 $\pm 1\mu\text{m}$;XHSF—2420 型高速仿形定梁龙门镗铣加工中心,快速移动速度达 15m/min,工件在一次装夹下,可实现五面加工,达到 20 世纪 80 年代中后期国际先进水平。柔性制造系统和计算机集成制造系统在我国相关的机械行业也相继出现。这些成就为我国机械工业适应现代技术发展,提高制造技术水平,加快产品结构调整,适应市场经济发展的要求,提高国际市场竞争力奠定了基础。

但是,我们也应看到,我国的机械制造技术水平与国际先进水平相比还有很大差距。大部分高精度机床性能不能满足要求,特别是数控机床的产量、技术水平和质量保证等方面都明显落后。以 1993 年为例,我国机床数控化率仅为 3.74%,而发达国家已达 70% 以上。国外已做到 15~19 轴联动,分辨率达 $0.1\sim 0.01\mu\text{m}$,而我国只能做到 5~6 轴联动,分辨率为 $1\mu\text{m}$,质量和可靠性也不稳定。引进技术吸收缓慢,国产化周期长,科技成果商品化进程慢,规模经济效益不明显等问题普遍存在。这些问题的根本原因在于机械制造技术水平的落后。因此,大力发展先进制造技术是当前机械制造业的当务之急。

二、本课程的内容及学习要求

本课程主要介绍机械产品的机械制造过程及其系统。它包括了金属切削原理及其基本规律,机床、刀具、夹具的基本知识,机械加工精度及表面质量的概念及其控制方法,机械制造工艺规程的基本知识及设计,现代制造技术新知识及发展趋势。

通过本课程的学习,要求学生能从技术与经济紧密结合的角度出发,围绕加工质量与生产率这两个目标,掌握和熟悉机械制造过程中包括传统和现代的各种常用加工方法和制造工艺,以及与其相关的切削原理、加工原理、工艺装备的性能与选用原则、加工质量分析与控

制方法等。其具体要求为：

1) 掌握金属切削的基本规律，并能用于各种切削参数和刀具几何参数的合理选择，对加工质量进行正确的分析与控制。

2) 掌握常用机械加工方法的工作原理、工艺特点、保证措施，以及常用机床（包括数控机床）和刀具的性能、加工范围、主要结构，并能合理选用机床和刀具。

3) 掌握制订机械加工工艺规程、数控加工工艺规程及机器装配工艺规程和设计专用夹具的基本知识，具有拟定中等复杂程度零件加工工艺规程、设计中等复杂程度零件专用夹具的能力。

4) 掌握机械加工精度和表面质量的基本理论和基本知识，初步具有分析现场工艺问题的能力。

5) 对机械制造技术的新发展有一定的了解。

三、本课程的特点及学习方法

机械制造技术是一门综合性、实践性、灵活性强的专业技术课程。学习本课程应注意下列几点：

1) 本课程包含面广、内容丰富、综合性强，不仅包含了金属切削原理、机床、刀具、夹具和加工工艺等，还涉及到毛坯制造、金属材料、热处理和公差配合等方面的知识。因此，在学习时，要善于将已学过的有关知识同本课程的知识结合起来，合理地综合运用。

2) 机械制造技术同生产实际密切相关，其理论源于生产实际，是长期生产实践的总结。只有通过实践环节（实验、课程设计及实习）的配合，通过深入生产实际，才能掌握本课程的知识，提高对知识的应用能力。

3) 机械制造技术的应用有很大的灵活性。例如，对同一个零件，在工艺设计上可能有多种方案。因此，在实践中，必须针对具体问题进行具体分析，在不同的现场条件下，灵活运用理论知识，优选最佳方案。

第一章 机械加工工艺系统的基本知识

在机械加工中，由机床、刀具、夹具及工件组成的切削加工系统称为机械加工工艺系统（简称工艺系统）。其任务就是根据加工要求将毛坯或材料变成具有一定形状和尺寸的工件，使之具有要求的质量。工艺系统能否实现对工件加工的要求，完成工件的成形运动，除了输入工艺系统的几何参数和工艺参数是否合理外，主要取决于工艺系统各个组成部分的自身特性和它们相互结合形成的系统的特性。本章着重分析工艺系统各组成部分的基本特性，即零件的加工表面及成形方法和所需运动；用于切削加工零件表面的机床和刀具的基本知识；零件在夹具中的定位和夹紧问题。其他内容将在后续各章中介绍。

第一节 机械零件加工表面的形成

机械零件不论多么复杂，其表面形状都是由各种基本表面形成的，零件的切削加工，实际上是用某种加工方法来获得所要求的加工表面。

一、工件表面类型与成形方法

1. 工件表面类型

图 1-1 所示为机器零件上常用的各种典型表面。可以看出，组成机械零件的常用表面包括平面、圆柱面、圆锥面、成形表面（如螺纹表面、齿轮渐开线表面等），此外，还有球面、圆环面、双曲面等。

2. 工件表面的成形方法

零件上的各种常用表面都可以由一条母线沿另一条导线运动而形成。图 1-2 所示工件的几何表面都是由母线 1 沿导线 2 运动而形成的。母线和导线统称为形成表面的发生线。在机床加工零件表面的过程中，工件、刀具之一或两者同时按一定的规律运动，就可形成两条发生线，进而生成所要求的表面。形成发生线的方法可归纳为下列四种：

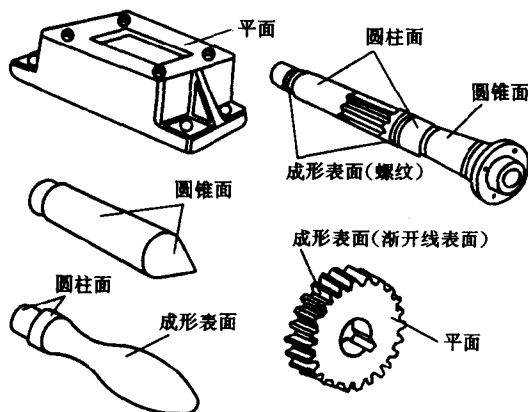


图 1-1 机器零件上常用的各种典型表面

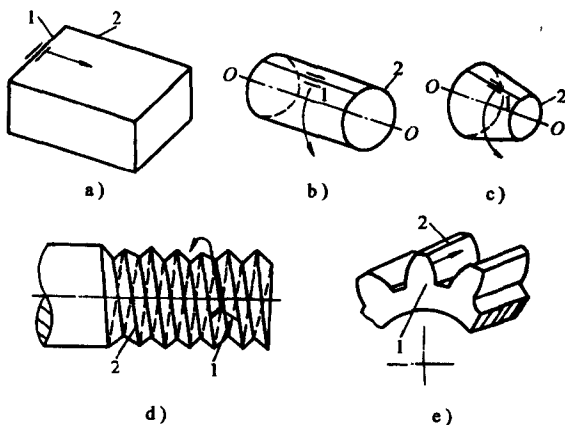


图 1-2 零件表面的形成

(1) 成形法 成形法是刀具切削刃与工件表面之间为线接触，切削刃的形状与形成工件表面的一条发生线完全一致。如图 1-3a 所示，刨刀切削刃形状与形成工件曲面的母线相同，由切削刃形状形成母线。

(2) 轨迹法 轨迹法指的是刀具切削刃与工件表面之间为近似点接触，发生线是通过刀具与工件之间的相对运动，由刀具刀尖的运动轨迹来实现的。如图 1-3b 所示，当刨刀沿 A_1 方向作直线运动时，形成直线型母线；当刨刀沿 A_2 方向作曲线运动时，形成曲线形导线。

(3) 相切法 相切法是指用旋转刀具（如铣刀、砂轮等）一边旋转一边沿一定的轨迹运动，刀具各个切削刃的运动轨迹共同形成了曲面的发生线。如图 1-3c 所示，刀具旋转 B_1 及刀具中心按一定规律作轨迹运动 A_2 ，其切削点运动轨迹的包络线即形成发生线 2。

(4) 展成法 展成法是利用工件和刀具作展成切削运动的方法。切削加工时，刀具切削刃与被成形的表面相切，可认为是点接触，切削刃相对工件滚动（即展成运动），所需形成的发生线是刀具的切削刃在各瞬时位置的包络线。图 1-3d 所示为圆柱齿轮加工，滚刀转动 B_{11} 与工件转动 B_{12} 组成展成运动，滚刀切削刃的一条条切削线形成的包络线就是形成齿面的母线（渐开线）。

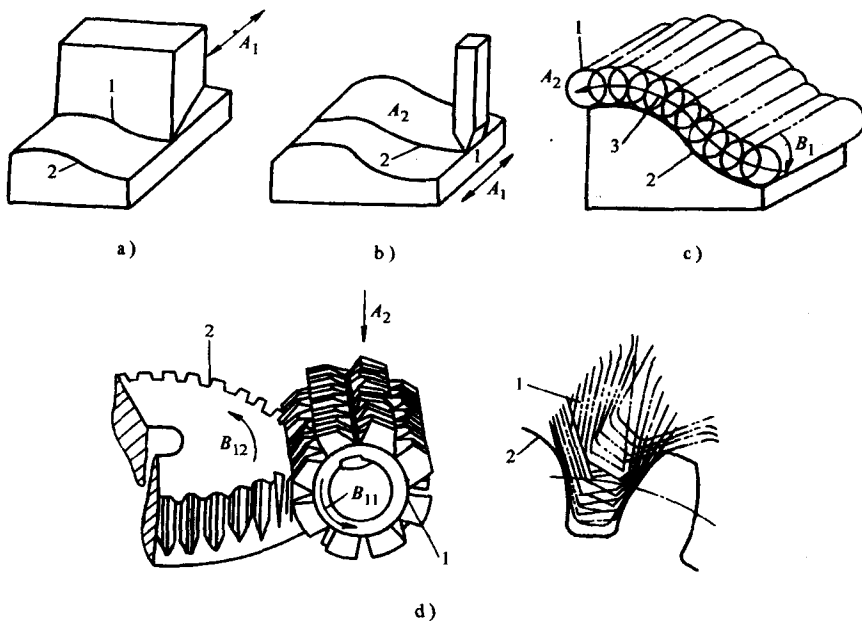


图 1-3 形成发生线的四种方法及运动

1—刀尖或切削刃 2—发生线 3—刀具轴线的运动轨迹

二、工件加工所需的运动

1. 表面成形运动

要获得所需工件表面形状，必须使刀具和工件按上述四种方法之一完成形成发生线的运动，称为表面成形运动。表面成形运动的形式和数量，取决于被加工表面的形状、所采用的

加工方法和刀具结构。

用普通车刀车削外圆柱面时 (图 1-4a), 表面成形运动采用了轨迹法。工件转动 B_1 产生圆母线, 车刀的纵向直线移动 A_2 产生直导线。生成母线和导线需要两个独立的成形运动。故车削外圆柱面是由两个表面成形运动 B_1 和 A_2 实现的。

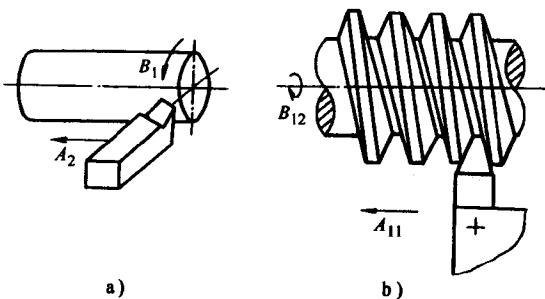


图 1-4 车削外圆柱面和螺纹时的成形运动

用螺纹车刀车削螺纹时 (图 1-4b), 其母线是由与螺纹轴向剖面形状一致的螺纹车刀的刀形本身提供, 用成形法形成,

不需要成形运动; 其导线是一螺旋线, 用轨迹法形成。形成螺旋线的运动由工件转动 B_{12} 和刀具直线移动 A_{11} 这两个运动组合而成, 是一个成形运动。故形成螺纹表面只需要一个成形运动。

又如用齿轮滚刀滚切直齿圆柱齿轮齿面 (图 1-3d), 形成其母线渐开线的运动由滚刀转动 B_{11} 和工件转动 B_{12} 这两个运动组合而成; 而形成整个齿面的直导线由滚刀的转动 B_{11} 和直线移动 A_2 获得 (其中 B_{11} 包含在展成运动中)。故形成直齿轮齿面需要两个独立的成形运动, 即由展成法形成母线渐开线的成形运动 $B_{11}B_{12}$ 和由相切法形成直导线的成形运动 A_2 。

在工件表面成形过程中, 由最基本的、最简单的、单一的旋转运动或直线运动实现的成形运动 (如外圆车削中工件的转动和刀具的直线移动), 称为简单运动; 而由两个或两个以上的旋转运动或 (和) 直线运动按一定的运动关系组合实现的运动 (如形成螺纹螺旋线的运动 $B_{12}A_{11}$ 和形成齿轮齿面渐开线的运动 $B_{11}B_{12}$), 称为复合运动。

复合运动是由几个简单运动组成的, 但这几个简单运动之间保持着严格的相对运动关系, 并不相互独立。所以复合运动是一个运动, 而不是两个或两个以上的简单运动。

2. 切削运动

表面成形运动是从几何的角度来分析完成表面形状加工所需的运动。在金属切削加工中, 获得所需表面形状, 并达到工件的尺寸要求, 是通过切除工件上多余的金属材料来实现的。切除多余金属材料时工件和刀具之间的相对运动, 称为切削运动。因此, 在金属切削加工中, 表面成形运动就是切削运动。图 1-5 所示为钻、车、刨、铣、磨、镗削的切削运动。根据切削运动在切削加工中的功用不同, 可分为主运动 (v_c) 和进给运动 (v_f)。

(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。它可以是旋转运动, 如车削时工件的旋转运动, 铣削时铣刀的旋转运动; 也可以是直线运动, 如刨削时刀具或工件的往复直线运动。其特点是切削速度最高, 消耗的机床功率也最大。

(2) 进给运动 进给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, 加上主运动即可连续地或断续地切除切削层, 并得出具有所需几何特性的加工表面。它可以是连续的运动, 如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动; 也可以是间断运动, 如刨削时工件的横向移动。其特点是消耗的功率比主运动小得多。

主运动可以由工件完成 (如车削), 也可以由刀具完成 (如钻削、铣削)。进给运动也同

样可以由工件完成（如刨削、磨削）或刀具完成（如车削、钻削）。

在各类切削加工中，主运动只有一个，而进给运动可以有一个（如车削）、两个或多个（如圆磨削），甚至没有（如拉削）。

主运动一般采用直线运动和旋转运动这两种简单运动，而进给运动可以是一个单独的简单运动，也可以是一个包含几个简单运动的复合运动。

当主运动和进给运动同时进行时，由主运动和进给运动合成的运动称为合成切削运动（图 1-5a、b、d）。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。 v_c 为同一选定点的主运动速度 v_c 与进给运动速度 v_f 的矢量和，即

$$\mathbf{v}_c = \mathbf{v}_c + \mathbf{v}_f$$

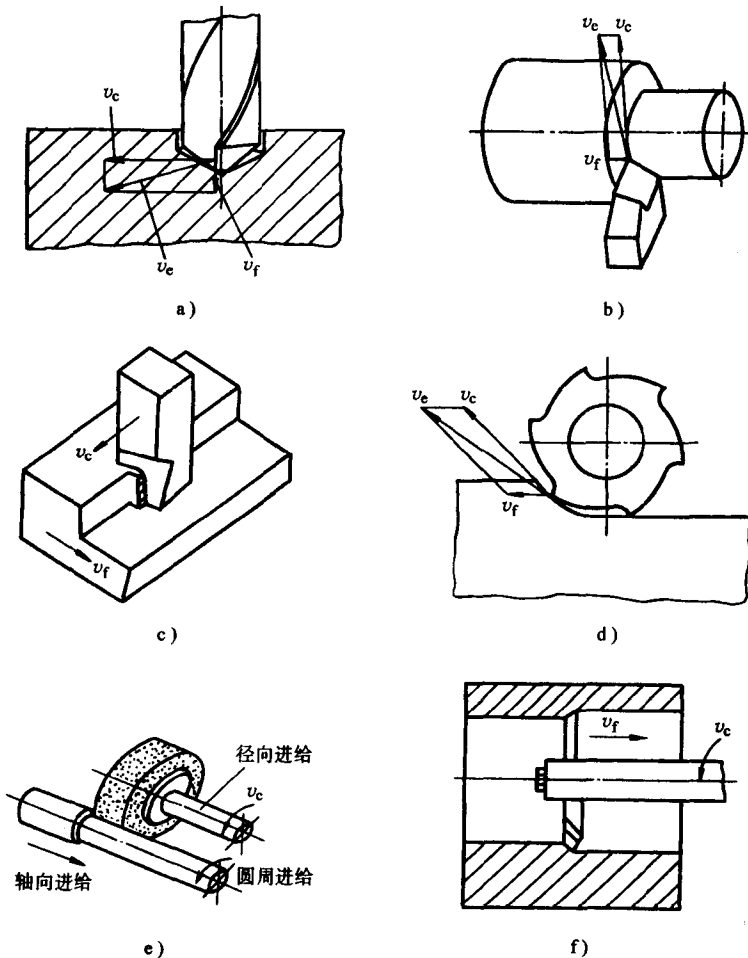


图 1-5 常见几种加工方法的切削运动

a) 钻削 b) 车削 c) 刨削 d) 铣削 e) 磨削 f) 镗削

3. 辅助运动

机床中除切削运动外，有时还需调整刀具切削刃与工件相对位置的运动和其他辅助运动