

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

# 机械 制造工艺

主 编 张兴发  
副主编 王艳戎 李恩田



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

# 机械制造工艺

主 编 张兴发

副主编 王艳戎 李恩田

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书系统阐述了机械加工技术、数控加工技术、特种加工技术及机械装配技术。全书共分九章,其内容包括:机械制造方法与过程、机械加工工艺系统、机械加工工艺规程的制定、机械加工精度、机械加工表面质量、零件表面的加工、数控加工工艺、特种加工工艺和机械装配工艺基础。本书对基本工艺知识、零件加工工艺,以及组装成机器的全部工艺过程,结合实践做了完整的论述,力求内容精练、深入浅出、边学边做、学用结合。此外,每章末均附有思考与习题以供学习参考。

本书以就业为导向,结构体系完整,内容突出实用性、技能性,反映实际生产的工艺情况,体现现代加工工艺的先进性。

本书可作为高职高专、成人大专等机械专业的教材,也可供自学及相关人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

机械制造工艺 / 张兴发主编. —北京:科学出版社,2009

(高等职业教育人才培养创新教材出版工程)

ISBN 978-7-03-023687-6

I. 机… II. 张… III. 机械制造工艺-高等学校:技术学校-教材  
IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 197625 号

---

责任编辑:毛莹 / 责任校对:张琪

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

**丽源印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009年2月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2009年2月第一次印刷 印张: 16

印数: 1—4 000 字数: 302 000

定价: 28.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 高等职业教育人才培养创新教材出版工程

## 四川编委会

### 主任委员

陈传伟 成都电子机械高等专科学校副校长

### 副主任委员

汪令江 成都大学教务处长

李学锋 成都航空职业技术学院教务处长

季 辉 成都电子机械高等专科学校教务处长

林 鹏 科学出版社副总编辑

### 委 员

黄小平 成都纺织高等专科学校教务处长

风 勇 四川交通职业技术学院教务处长

丁建生 四川工程职业技术学院教务处长

郑学全 绵阳职业技术学院教务处长

彭 涛 泸州职业技术学院教务处长

秦庆礼 四川航天职业技术学院学术委员会主任

谢 婧 内江职业技术学院教务处副处长

胡华强 科学出版社高等教育出版中心主任

## 出版说明

为进一步适应我国高等职业教育需求的迅猛发展,推动学校向“以就业为导向”的现代高等职业教育新模式转变,促进学校办学特色的凝练,高等职业教育人才培养创新教材出版工程四川编委会本着平等、自愿、协商的原则,开展高等院校间的高等职业教育教材建设协作,并与科学出版社合作,积极策划、组织、出版各类教材。

在教材建设中,编委会倡导以专业建设为龙头的教材选题方针,在对专业建设和课程体系进行梳理并达成较为一致的意见后,进行教材选题规划,提出指导性意见。根据新时代对高技能人才的需求,专门针对现代高等职业教育“以就业为导向”的培养模式,反映知识更新和科技发展的最新动态,将新知识、新技术、新工艺、新案例及时反映到教材中来,体现教学改革最新理念和职业岗位新要求,思路创新,内容新颖,突出实用,成系配套。

教材选题的类型主要是理论课教材、实训教材、实验指导书,有能力进行教学素材和多媒体课件立体化配套的优先考虑;能反映教学改革最新思路的教材优先考虑;国家级、省级精品课程教材优先考虑。

这批教材的书稿主要是从通过教学实践、师生反响较好的讲义中经院校推荐,由编委会择优遴选产生的。为保证教材的出版和提高教材的质量,作者、编委会和出版社做出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作可能仍有不足之处,希望使用教材的学校及师生积极提出批评和建议,共同为提高我国高等职业教育教学、教材质量而努力。

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

四川编委会

2004年10月20日

## 前 言

工艺就是加工方法,机械制造工艺就是用机械加工的方法来制造合格的零件。机械加工由机床、刀具、工艺三大部分组成,是机械制造业的主体。随着科学技术的飞速发展,机床、刀具、工艺的技术也得到空前提高。机械制造工艺的发展有着悠久的历史,故教材的编写应该本着“推陈出新,立足于用,与时俱进”的指导思想进行。

本书是以《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作意见》为指导,结合编者多年从事高职高专教学、科研的亲身经历和体验编写而成。为此本书在内容上推陈出新,具有一定的先进性;高职高专教育突出的特色就是动手能力的培养,因此,全书贯穿着实用性、可操作性、立足于用;同时本书注意和先进知名企业配合,工厂所用的先进加工方法,就是本教材所讲述的机械加工方法。学生毕业后马上就可以到企业上岗,与时俱进。

本书力求做到通俗易懂、文字简练、图文并茂、易于学生掌握,并为学生今后的工作奠定良好基础。本书课堂教学安排在60学时左右,课堂教学以外应配有实验、习题、实训及课程设计等教学环节,使读者进一步了解本课程的真谛。

参加编写本书的人员有:张兴发、尹存涛(绪论、第1~3章),秦庆礼(第4章),王艳戎(第5章),李恩田(第6章),钟如全、燕杰春(第7章),唐秀兰、李睿(第8章),陈大钧、王建平(第9章)。本书由张兴发任主编,王艳戎、李恩田任副主编。在此向为本书提供热心帮助的老师 and 同仁表示衷心的感谢。

由于水平所限,编写时间仓促,书中难免有欠妥之处,敬请批评指正。

编 者

2008年1月1日

# 目 录

出版说明

前言

绪论	1
<b>第 1 章 机械制造方法与过程</b>	4
1.1 制造方法	4
1.2 机械制造工艺过程的基本概念	5
1.3 机械制造的生产纲领及生产类型	15
1.4 获得合格零件的方法	17
本章小结	20
思考与习题	20
<b>第 2 章 机械加工工艺系统</b>	21
2.1 金属切削机床	21
2.2 切削原理与刀具	24
2.3 机床夹具概述	33
2.4 工件的定位和夹紧	34
本章小结	45
思考与习题	45
<b>第 3 章 机械加工工艺规程的制定</b>	46
3.1 工艺规程的作用与编制	46
3.2 零件的工艺分析	52
3.3 毛坯的选择	58
3.4 工艺路线的拟定	62
3.5 工序尺寸及公差	65
3.6 工艺过程的经济分析	71
本章小结	74
思考与习题	74
<b>第 4 章 机械加工精度</b>	75
4.1 概述	75
4.2 工艺系统的几何误差对加工精度的影响	77
4.3 工艺系统受力变形对加工精度的影响	87
4.4 工艺系统的热变形	95
4.5 加工误差的分析	98
4.6 提高加工精度的工艺措施	113
本章小结	114

思考与习题	114
<b>第5章 机械加工表面质量</b>	117
5.1 表面质量对产品使用性能的影响	117
5.2 机械加工的振动	120
5.3 影响表面粗糙度的因素及改善措施	124
本章小结	125
思考与习题	126
<b>第6章 零件表面的加工</b>	127
6.1 概述	127
6.2 回转表面的加工	127
6.3 平面加工	139
6.4 曲面的加工	142
6.5 螺旋表面和渐开面的加工	144
本章小结	151
思考与习题	151
<b>第7章 数控加工工艺</b>	152
7.1 数控加工工艺设计	152
7.2 数控车削的加工工艺	163
7.3 数控铣削和铣削中心的加工工艺	175
本章小结	186
思考与习题	187
<b>第8章 特种加工工艺</b>	189
8.1 概述	189
8.2 电火花加工	189
8.3 电火花线切割加工	199
8.4 激光加工技术	213
8.5 超声波加工技术	217
本章小结	220
思考与习题	220
<b>第9章 机械装配工艺基础</b>	222
9.1 概述	222
9.2 装配工艺尺寸链	227
9.3 保证装配精度的方法	230
9.4 装配工艺规程的制定	236
本章小结	244
思考与习题	244
<b>参考文献</b>	245



# 绪 论

## 1. 机械制造业的地位、作用

党中央在十五届五中全会通过的《关于制定国民经济和社会发展第十个五年计划的建议》中明确提出“要大力振兴装备制造业,依托重点技术改造和重大工程项目,提高设计和制造水平,推进机电一体化,为各行业提供先进和成套的技术装备”。党的“十六大”指出“坚持以信息化带动工业化,以工业化促进信息化,走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的新型工业化路子”。“用高新技术和先进实用技术改造传统产业,大力振兴装备制造业”是强国富民的光辉大道。这充分证明了机械制造业在经济建设中的地位和作用。

机械制造业是一个国家经济发展的重要支柱,其发展的水平代表着国家经济实力、科学技术水平和国防现代化程度。它是为国民经济各部门(如交通、农业、电力、汽车、冶金、化工、军工等)提供技术装备的基础工业部门。而机械制造业的生产能力主要取决于机械制造工艺和装备的先进程度,装备制造业是国家综合制造实力的集中体现,重大装备的研发能力是衡量一个国家的工业水平和综合国力的重要标志。

科学技术的飞速发展和经济时代的到来,促使机械制造业的生产模式日新月异。当前提高制造业的生产能力的决定因素,不再是劳动力和资本的密集积累,而是各种高新技术的迅猛发展和在制造业领域中卓有成效的应用,进而改变了现代企业的产品结构、生产方式、工艺过程和装备及生产组织结构等,使机械制造业以崭新的面貌展现在世人面前。

国际市场的竞争异常激烈,归根到底是各国制造业生产能力的竞争,也就是人才的竞争。现代知识经济的增长有别于以往的经济形态。机械制造业的发展,对知识的创新与利用的直接依赖成为最重要的成长因素,知识的应用与创新、高科技知识的结晶溶于机械产品之中,将极大地促进机械制造业的蓬勃发展和产品的更新换代。只有这样才能在国际市场竞争中永葆青春,立于不败之地。

## 2. 对机械制造业的要求

机械制造业应具备的主要功能中,除了一般的功能要求外,还有强调柔性

化、精密化、自动化、机电一体化、节省原材料、符合工业工程和绿色工程的要求。

(1) 一般的要求。零件加工后,应在尺寸精度、几何形状精度、相互位置精度和表面粗糙度等方面满足加工精度的要求;为提高加工效率,切削速度越来越高。机械装备应具有强度、刚度和抗振性。但不能一味加大零件的尺寸和重量,使其成为“傻、大、黑、粗”的产品。应利用新技术、新工艺、新材料,对主要零部件进行设计,在不增加重量或少增加重量的前提下,使装备的强度、刚度和抗振性得到保证;机械设备在使用过程中受到切削力的作用,产生切削热、摩擦热,并在周围环境热的影响下,产生热变形,影响加工性能的稳定性,对自动化程度要求高的机械装备尤为重要;提高机械装备的耐用度,装备在长期使用中机件的磨损、老化使其丧失原有的工作精度,对加工精度要求高的机械装备对耐用度的要求显得十分重要;技术经济方面的要求,机械装备的投入费用将分摊到产品成本中去。所以不应盲目地追求技术上的先进,无计划地加大投入,使产品丧失在市场上的竞争能力。

(2) 柔性化的要求。包括产品结构柔性化和产品功能柔性化两个方面。产品结构柔性化是指产品设计采用模块化设计方法,如果产品发生变化时,只需要对结构做少量的重组和局部的修改或软件的调整,就可以方便快捷地推出产品满足市场的需要;产品功能柔性化是指进行少量的调整或修改软件,就可以改变产品或系统的运行功能,以适应不同的产品加工需要(如柔性制造系统)。

(3) 精密化的要求。随着市场竞争的白热化,对产品的技术要求越来越苛刻,对制造精度的要求越来越高。采用传统措施,一味提高机械制造精度已无法奏效,需采用误差补偿技术(即数字技术),分析误差产生的原因,建立误差的数学模型并输入计算机,经计算机处理进行误差补偿。

(4) 自动化要求。机械制造业实现自动化,除了可提高劳动生产率外,还可提高产品的稳定性,改善劳动条件。

(5) 机电一体化的要求。机电一体化产品,使机械、电气、气动、液压、计算机软件、硬件充分发挥各自的特点,将不同类型的元器件和子系统用接口连接起来,构成一个完整的系统。该系统功能强、节能节材,具有一定的柔性。

(6) 节省原材料的要求。用现代的设计方法,合理的选取安全系数,对主要零部件进行精确的计算和优化,改进产品的结构,采用先进的制造装备提高材料的利用率。

(7) 符合工业工程的要求。目标是设计一个生产系统及其控制方法,在保证工人和用户健康和安全的条件下,以最低的成本生产出符合质量要求的产品。

(8) 符合绿色工程要求。企业必须纠正不惜牺牲环境和消耗资源增加产出的错误做法。绿色产品设计考虑的内容极为广泛,材料的选择应该是无毒、无污染、

易回收、可重用、易降解的；产品的制造过程要考虑对环境的保护、资源回收、废弃物的再生、原材料的再循环以及包装材料的回收利用及对环境的影响等。

目前，振兴我国机械制造业的条件已经具备，时机已经成熟。我们要以高度的使命感和责任心，采取强有力的措施，克服前进中存在的问题，为把我国从制造业大国建设成为制造业强国而努力。

# 第 1 章 机械制造方法与过程

## 1.1 制造方法

机械制造方法是将原材料改变其形状和特性最终形成产品的方法。产品的制造一般包括机械加工和装配两个方面，而机械加工与机械装配方法又有多种不同的分类方法，制造方法的分类如图 1-1 所示。

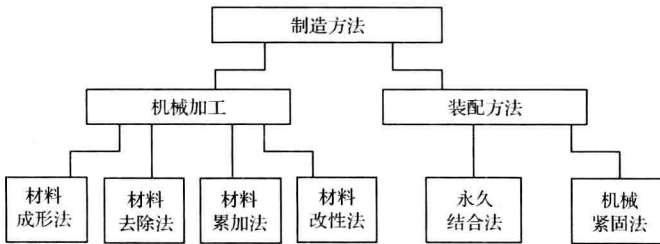


图 1-1 制造方法的分类

### 1.1.1 机械加工

#### 1) 材料成形法

材料成形法是将原材料加热成液体、半液体，在特定的模具中冷却成形、变形或将粉末状的原材料在特定型腔中加热、加压成形的的方法。例如，铸造、锻造、粉末冶金、挤压、轧制、拉拔等方法。

#### 2) 材料去除法

材料去除法是将原材料利用机械能、热能、光能、化学能等能量去除毛坯上多余材料而获得所需零件尺寸、形状的方法。例如，切削加工、激光加工、电火花加工、电解加工、超声波加工、电子束加工、离子束加工等。

#### 3) 材料累加法

材料累加法是将原材料加热、加压或其他手段结合成零件的方法，又称质量增加工艺。例如，快速成形制造、焊接等。快速成形制造是由 CAD 模型直接驱动多轴伺服系统，将零件的多维实体按一定厚度分层，以平面制造方式层层堆叠，并使每个薄层自动黏结成形，形成完整的实体零件。该方法主要用于产品开发、研制。

#### 4) 材料改性法

材料改性法主要用于改变材料性能、消除内应力、改善加工性能及提高零件的使用性能。例如,热处理工艺中的退火、正火、淬火等。

### 1.1.2 机械装配方法

#### 1) 永久结合法

在装配方法中采用永久结合法的有焊接、黏结。

#### 2) 机械紧固法

机械紧固法是装配工艺中最常用的方法。例如,螺纹联接、铰链联接、滑动导轨副联接等。

## 1.2 机械制造工艺过程的基本概念

机械产品的制造包括产品开发、设计、研制、生产、检验、经营和售后服务等多个环节。其核心是产品的制造,它是将设计转化为产品的关键,直接影响产品的质量,关系到企业的前途和发展。

### 1.2.1 生产过程与工艺过程

生产过程是将原材料转变为成品的全过程。在生产过程中,改变生产对象的尺寸、形状、相对位置和性质等,使其成为成品或半成品的过程称为工艺过程。

#### 1. 生产过程

产品的生产过程一般包括生产的技术准备(如原材料采购,工装、工具的准备,专用装备准备等)、毛坯制造(如铸件、锻件)、机械加工、热处理、产品的装配、机器的安装调试、工装的设计与制造,直至产品的包装、销售等各个环节。

产品的生产过程是一个系统工程。为了科学高效地组织生产,现代工业的发展总趋势是组织专业化生产。例如,一个产品往往由几个企业或厂家联合生产完成。因此,一个企业的成品可以是另一个企业的原材料或半成品,一个企业的生产过程可能只是某个产品生产过程的一部分。企业的生产过程又由各部门的生产过程组成。按产品结构性质等分成部件或零件分别在若干个专业化工厂进行生产,最后将其零、部件集中在一个工厂组装成完整的产品。例如,数控机床的生产,数控机床上的滚珠丝杠、伺服系统、强电柜、液压、气动元件、CNC系统等零部件都是由专业厂家生产的,最后由机床厂装配成完整的数控机床。专业化生产有利于零件标准化、部件通用化和产品系列化,从而保证了产品的质量,提高了生产效率,同时降低了生产成本。

## 2. 工艺过程

采用机械加工方法按一定顺序改变毛坯尺寸、形状、相对位置和表面质量等,使其成为合格零件的过程称为工艺过程。它是生产过程的重要组成部分。工艺过程包括毛坯制造、机械加工、热处理、质量检验、装配、试车等。

技术人员根据产品批量、设备条件和工人技能等情况,将采用的工艺过程编写成工艺文件,该文件就称为工艺规程。工艺规程的编制、执行和生产组织管理,将工艺过程划分为工序、工步、走刀(行程)、安装和工位等几部分。

### 1) 工序

一个或一组工人,在一个工作地或一台机床上对一个或同时对几个工件连续完成的那一部分工艺过程称为工序。划分工序的根据是工作地点不变化和工作过程连续。改变其中任意一个条件就构成另一个工序。例如,在磨床上磨削一批轴,既可以对每一根轴连续地进行粗磨和精磨,也可以先对整批轴进行粗磨,然后再依次对它们进行精磨。前者,只包括一个工序;而后者,由于磨削过程的连续性中断,虽然加工是在同一台磨床上进行的,但却成为两个工序。

工序不仅是制定工艺过程的基本单元,也是制订生产计划和进行质量检验、生产管理的基本单元。

### 2) 工步

工步指采用同一刀具,在切削速度不变和进给量一定条件下,对同一表面进行连续加工所完成的那一部分工序内容。

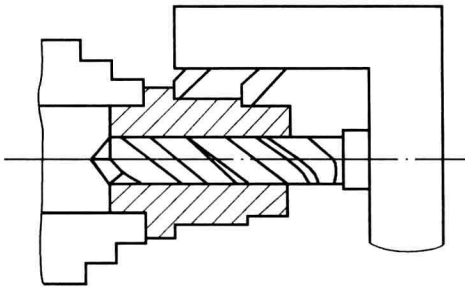


图 1-2 复合工步

生产中也常称为进给。整个工艺过程由若干个工序组成。每个工序可包括一个工步或几个工步。每个工步通常包括一个走刀,也可包括几个走刀。为了提高生产率,用几把刀具同时加工几个加工表面的工步,称为复合工步,也可以看作一个工步,如组合钻床加工箱体孔,如图 1-2 所示。

### 3) 走刀(行程)

在一个工步中,若加工表面余量不能一次切除,需要用同一把刀具对同一表面进行多次切削,刀具对工件每切削一次就称为一次走刀。若加工一根轴要切去的金属层很厚,则需分几次切削,这时每切削一次就称为一次走刀。每个工步可以一次走刀或多次走刀。

### 4) 安装

安装包括定位和夹紧。在一道工序中,工件在机床上或在夹具中占据某一正

确位置并被夹紧的过程称为安装。有时工件在机床上需经过多次安装,才能完成一个工序的工作内容。

### 5) 工位

工件一次安装后,工件在机床上所占的每一个位置称工位。为减少工件的安装次数,常采用转位(或移位)夹具、各种回转工作台,使工件在一次装夹后,先后获得几个工位而便于进行加工,即工件相对于机床或刀具每占据一个加工位置所完成的那部分工序内容。如图 1-3 所示,在一台四工位回转工作台一次安装中,顺次完成装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔四工位,将工件加工完毕。这样减少了装夹次数,各工位的加工与装卸时间重合,从而节约装卸时间,使生产率大大提高。

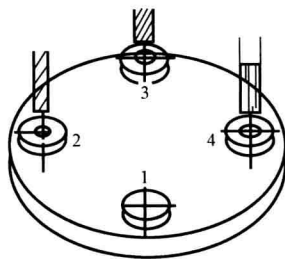


图 1-3 多工位加工

1-上、下料位;2-钻孔;3-扩孔;4-铰孔

## 1.2.2 加工精度

### 1. 加工精度的概念

加工精度是加工后零件表面的实际尺寸、形状、位置三种几何参数与图纸要求的理想几何参数的符合程度。符合的程度越高,偏差(加工误差)就越小,则加工精度越高。加工精度包括尺寸精度,几何形状精度和相互位置精度。

零件实际几何参数与理想几何参数的偏离数值称为加工误差。加工误差的大小反映了加工精度的高低。误差越大加工精度越低,误差越小加工精度越高。理想几何参数对表面之间的相互位置而言,就是绝对的平行、垂直、同轴、对称等。

任何加工方法所得到的实际参数都不会绝对准确,从零件的功能看,只要加工误差在零件图要求的公差范围内,就认为保证了加工精度。

机器的质量取决于零件的加工质量和机器的装配质量,零件加工质量包含零件加工精度和表面质量两大部分。

加工精度包括三个方面内容。

#### 1) 尺寸精度

尺寸精度指加工后零件的实际尺寸与零件尺寸的公差带中心的相符合程度。在保证零件使用要求的前提下,允许零件尺寸在一定的范围内变动即称为公差,也就是允许的最大加工误差。零件的加工误差在公差范围内即为合格件。精度越高则公差值越小。国家“极限与配合”标准中将尺寸精度的标准公差等级分为 20 级,分别用 IT01~IT18 表示,IT01 的公差值最小,精度最高。公差等级的应用见第 1.4 节获得合格零件的方法。

## 2) 形状精度

形状精度指零件表面上的线、面要素的实际形态相对于理想形态的准确程度,零件上的线面要素不可能做得绝对准确,仅能控制在一定的误差范围内,即用形状公差来控制。为适应各种不同情况,国家规定有 6 项形状公差标准,即直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度、面轮廓度(GB/T 1182—1996 ~ GB/T 1184—1996)。

## 3) 位置精度

位置精度指零件点、线、面要素的实际位置相对于理想位置的准确程度,国家规定有 8 项位置公差,即平行度、垂直度、倾斜度、同轴度、对称度、位置度、圆跳动和全跳动(GB/T 1182—1996 ~ GB/T 1184—1996)。

## 2. 获得尺寸精度的方法

机械加工中获得工件尺寸精度的方法主要有以下几种。

### 1) 试切法

先试切出很小部分加工表面,测量所得的尺寸。根据加工要求,适当调整刀具切削刃相对于工件的位置,再试切然后测量,当被加工表面尺寸达到要求后,再切削整个待加工表面。

试切法加工精度较高,不需要复杂的装置,但效率低、费时(需做多次调整、试切、测量、计算),对工人的技术水平和计量器具的精度要求较高,质量不稳定,故只用于单件小批生产。

### 2) 调整法

加工前根据零件图纸要求的尺寸,预先调整好机床、夹具、刀具和工件的相对准确位置,在加工过程中保证此位置不变,对一批零件进行加工的方法称为调整法。因为尺寸事先已调整好,零件尺寸自动获得。这种加工方法的工件尺寸精度取决于调整精度。

调整法加工稳定性好,生产率较高,对工人的技术水平要求不高。常用于各类半自动机、自动机和自动生产线上,适用于成批和大量生产。

### 3) 定尺寸法

用刀具自身结构的相应尺寸来保证零件被加工部位尺寸的方法称为定尺寸法。用标准尺寸的刀具对零件进行加工,被加工面的尺寸由刀具尺寸决定,即用具有一定尺寸精度的刀具,如钻头、扩孔钻、铰刀、丝攻等,来保证工件被加工孔和螺纹的精度。

定尺寸法操作简单,生产率较高,加工精度比较稳定,除与机床的精度有关外,主要取决于刀具本身的制造精度。



#### 4) 自动控制法

在加工过程中,用测量装置、进给机构和控制装置组成一个自动加工的伺服系统,控制装置控制进给机构在进给过程中进行尺寸的测量,并将所测结果与设计要求的尺寸比较后,使机床继续工作,或使机床停止工作,这就是自动控制法。

自动控制法加工的质量稳定、生产率高、加工柔性好、能适应多品种加工,是目前机械制造的发展方向。

### 3. 几何形状形成方法

任何零件的表面都是刀具与工件相对运动形成的,如图 1-4 和图 1-5 所示,即由母线沿导线运动的结果而生成。该运动是生成零件表面几何形状的运动,又称表面成形运动,如加工圆柱面:母线是圆,导线是直线,圆沿着直线运动而生成圆柱面,如图 1-4(a)、(b)、(e)所示(车削、钻削、磨削);加工平面:母线是直线,导线也是直线,直线沿着直线运动而生成平面,如图 1-4(c)、(d)所示(铣削、刨削);加工曲面:母线是曲线,导线是直线,母线沿导线运动生成曲面(其中圆弧可以是上凸的,也可以是下凹的),就生成如图 1-5(e)所示的表面。加工回转体表面:母线是曲线,导线是圆,母线沿导线运动生成回转体表面,如图 1-5(d)所示。加工圆锥面:母线是直线,导线是圆则生成的是圆锥面,如图 1-5(b)所示。当然母线可以是直线、抛物线、双曲线等,也可以是任意列表曲线,或是曲线的某一部分的组合等。导线也可以是直线、圆弧、抛物线、双曲线或是曲线某一部分的组合等。母线、导线几何线条越复杂组成的几何形状表面就越复杂。

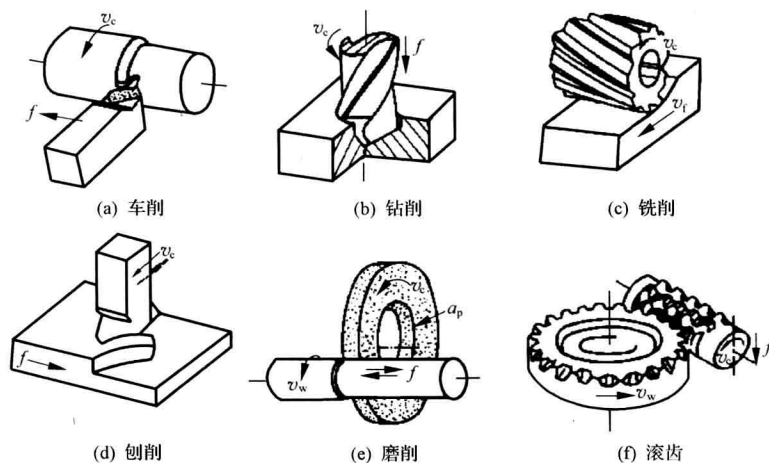


图 1-4 表面形成运动

可逆表面,导线和母线可以互换,但生成的表面几何形状不变。这种表面称为