

普通高等教育“十二五”规划教材

普通高等院校工程训练系列规划教材

# 数控加工与 现代加工技术

主 编 魏永涛

副主编 王海飞 毛云秀

主 审 沈 冰

普通高等教育“十二五”规划教材

普通高等院校工程训练系列规划教材

---

# 数控加工与 现代加工技术

---

主 编 魏永涛

副主编 王海飞 毛云秀

主 审 沈 冰

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书是根据教育部颁布的《机械制造基础教学基本要求》和《机械制造实习实施细则》，以满足社会对应用型人才的需求和培养学生的实际操作技能为目标，结合编者多年积累的教学经验而编写的。本书共 8 章，包括：绪论、数控加工技术基础、数控车床、数控铣床、加工中心、数控电火花线切割、数控电火花成形及其他现代加工技术。

本书可作为高等工科院校机类、近机类专业的本科教材，也可供高职高专及中专相关专业使用。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

数控加工与现代加工技术/魏永涛主编. —北京：清华大学出版社，2011.10  
(普通高等院校工程训练系列规划教材)  
ISBN 978-7-302-26822-2

I. ①数… II. ①魏… III. ①数控机床—加工—高等学校—教材 ②特种加工—高等学校—教材 IV. ①TG659 ②TG66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 186915 号

责任编辑：庄红权

责任校对：刘玉霞

责任印制：王秀菊

出版发行：清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机：010-62770175

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编：100084

邮 购：010-62786544

印 刷 者：北京富博印刷有限公司

装 订 者：北京市密云县京文制本装订厂

经 销：全国新华书店

开 本：185×260

印 张：11

字 数：261 千字

版 次：2011 年 10 月第 1 版

印 次：2011 年 10 月第 1 次印刷

印 数：1~4000

定 价：22.00 元

产品编号：042040-01



改革开放以来,我国贯彻科教兴国、可持续发展的伟大战略,坚持科学发展观,国家的科技实力、经济实力和国际影响力大为增强。如今,中国已经发展成为世界制造大国,国际市场上已经离不开物美价廉的中国产品。然而,我国要从制造大国向制造强国和创新强国过渡,要使我国的产品在国际市场上赢得更高的声誉,必须尽快提高产品质量的竞争力和知识产权的竞争力。清华大学出版社和本编审委员会联合推出的“普通高等院校工程训练系列规划教材”,就是希望通过工程训练这一培养本科生的重要环节,依靠作者们根据当前的科技水平和社会发展需求所精心策划和编写的系列教材,培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的人才。

我们知道,大学、大专和高职高专都设有各种各样的实验室。其目的是通过这些教学实验,使学生不仅能比较深入地掌握书本上的理论知识,而且能更好地掌握实验仪器的操作方法,领悟实验中所蕴涵的科学方法。但由于教学实验与工程训练存在较大的差别,因此,如果我们的大学生不经过工程训练这样一个重要的实践教学环节,当毕业后步入社会时,就有可能感到难以适应。

对于工程训练,我们认为这是一种与社会、企业及工程技术的接口式训练。在工程训练的整个过程中,学生所使用的各种仪器设备都来自社会企业的产品,有的还是现代企业正在使用的主流产品。这样,学生一旦步入社会,步入工作岗位,就会发现他们在学校所进行的工程训练与社会企业的需求具有很好的一致性。另外,凡是接受过工程训练的学生,不仅为学习其他相关的技术基础课程和专业课程打下了基础,而且同时具有一定的工程技术素养。这样就为他们进入社会与企业,更好地融入新的工作群体,展示与发挥自己的才能创造了有利的条件。

近10年来,国家和高校对工程实践教学给予了高度重视,我国的理工科院校普遍建立了工程训练中心,拥有前所未有的、极为丰富的教学资源,同时面向大量的本科学生群体。这些宝贵的实践教学资源,像数控加工、特种加工、先进的材料成形、表面贴装、数字化制造等硬件和软件基础设施,与国家的企业发展及工程技术发展密切相关。而这些涉及多学科领域的教学基础设施,又可以通过教师和工程技术人员的创造性劳动,转化和衍生出我国社会与企业所迫切需求的课程与教材,使国家投入的宝贵资源发挥其应



有的教育教学功能。

为此,本系列教材的编审,将贯彻下列基本原则:

(1) 努力贯彻教育部和财政部有关“质量工程”的文件精神,注重课程改革与教材改革配套进行。

(2) 要求符合教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组所制定的课程教学基本要求。

(3) 在整体将注意力投向先进制造技术的同时,要力求把握好常规制造技术与先进制造技术的关联,把握好制造基础知识的取舍。

(4) 先进的工艺技术,是发展我国制造业的关键技术之一。因此,在教材的内涵方面,要着力体现工艺设备、工艺方法、工艺创新、工艺管理和工艺教育的有机结合。

(5) 有助于培养学生独立获取知识的能力,有利于增强学生的工程实践能力和创新思维能力。

(6) 融会实践教学改革的最新成果,体现出知识的基础性和实用性,以及工程训练和创新实践的可操作性。

(7) 慎重选择主编和主审,慎重选择教材内涵,严格遵循国家技术标准。

(8) 注重各章节间的内部逻辑联系,力求做到文字简练,图文并茂,便于自学。

本系列教材的编写和出版,是我国高等教育课程和教材改革中的一种尝试,一定会存在许多不足之处。希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见,使我们编写出的教材更好地为教育教学改革服务,更好地为培养高质量的人才服务。

普通高等院校工程训练系列规划教材编审委员会

主任委员:傅水根

2008年2月于清华园



在我国,数控加工与特种加工技术已经在企业应用,并有逐渐普及的趋势。目前,各高等院校的机类专业都选定了数控加工技术作为教学内容。在工程训练中数控加工与特种加工技术也是机类及近机类专业必不可少的训练项目。但是,目前此类内容主要在《工程训练》、《金工实习》等教材中占有较少的比重,内容也比较简单。为了深化这一内容,使学生能够全面、系统地掌握数控加工与特种加工技术,作者萌生了编著此书的想法,力求通过本书的介绍,使读者能够了解数控及一部分特种加工技术,以便在生产实践中,通过进一步学习,解决遇到的加工难题。

本书是根据教育部颁布的《机械制造基础教学基本要求》和《机械制造实习实施细则》,总结编者多年来积累的教学经验编写而成的。全书内容采用新的国家标准,力求语言简约、重点突出、联系性强、操作性强。

本书共8章,内容包括:绪论、数控加工技术基础、数控车床、数控铣床、加工中心、数控电火花线切割、数控电火花成形及其他现代加工技术。

本书由沈阳工程学院魏永涛任主编,王海飞、毛云秀任副主编,具体编写分工如下:魏永涛编写前言、第1章和第8章,并担任全书的统稿工作;王海飞编写第2、3、7章;毛云秀编写第4、5、6章。

本书由沈阳工程学院沈冰教授主审,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

本书也参考和借鉴了许多老师的观点,在此表示深深的感谢。

由于编者水平、经验所限,书中难免有错漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2011年9月



<b>1 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 加工技术的发展阶段 .....	1
1.2 现代加工技术的地位与分类 .....	4
复习思考题 .....	5
<b>2 数控加工技术基础</b> .....	<b>6</b>
2.1 数控机床的产生与发展 .....	6
2.2 数控机床的概念及组成 .....	7
2.3 数控机床的分类 .....	11
2.4 数控机床加工的特点及应用 .....	14
2.5 机床坐标系的建立原则 .....	15
2.6 数控编程方法 .....	19
复习思考题 .....	20
<b>3 数控车床</b> .....	<b>21</b>
3.1 数控车床概述 .....	21
3.1.1 数控车床的分类 .....	21
3.1.2 数控车床的组成 .....	22
3.1.3 数控车床的加工范围 .....	22
3.1.4 车削刀具及其主要特点 .....	23
3.2 数控车床编程基础 .....	26
3.2.1 数控车床的编程步骤及程序结构 .....	26
3.2.2 数控车床编程常见指令代码与格式 .....	28
3.2.3 数控车床刀具补偿功能 .....	37
3.3 数控车床面板的说明及操作 .....	39
3.3.1 数控车床操作面板的说明 .....	39
3.3.2 数控车床的操作方法与步骤 .....	41
3.4 数控车床加工技巧与禁忌 .....	45
3.4.1 螺纹车削加工的技巧与禁忌 .....	45
3.4.2 刀尖圆弧半径补偿功能的使用技巧与禁忌 .....	46

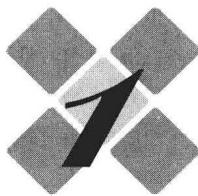
3.4.3	FANUC Oi 系统中 G71、G72、G73、G76 指令的 使用技巧与禁忌 .....	47
3.4.4	FANUC Oi 系统中 G92 指令车削多线螺纹的技巧与禁忌 .....	48
3.5	数控车床加工实例 .....	48
	安全技术 .....	51
	复习思考题 .....	52
<b>4</b>	<b>数控铣床 .....</b>	<b>53</b>
4.1	数控铣床概述 .....	53
4.1.1	数控铣床的分类 .....	53
4.1.2	数控铣床的结构和主要功能 .....	54
4.1.3	数控铣床的加工工艺范围 .....	55
4.1.4	数控铣床的工艺装备 .....	56
4.2	数控铣床编程基础 .....	59
4.2.1	数控铣床的编程步骤及程序结构 .....	59
4.2.2	数控铣床编程常见代码含义与格式 .....	61
4.2.3	数控铣床刀具补偿功能 .....	66
4.3	数控铣床操作面板的说明及操作 .....	68
4.3.1	数控铣床的操作面板及功能 .....	68
4.3.2	数控铣床的操作方法与步骤 .....	70
4.4	数控铣床加工技巧与禁忌 .....	72
4.5	数控铣床加工实例 .....	74
	安全技术 .....	77
	复习思考题 .....	78
<b>5</b>	<b>加工中心 .....</b>	<b>79</b>
5.1	加工中心概述 .....	79
5.1.1	加工中心的分类 .....	79
5.1.2	加工中心的结构 .....	80
5.1.3	加工中心工艺范围 .....	81
5.1.4	加工中心工艺装备 .....	81
5.1.5	加工中心的刀库种类及换刀形式 .....	83
5.2	加工中心编程基础 .....	84
5.2.1	常用 G 代码、M 代码 .....	84
5.2.2	固定循环与子程序 .....	85
5.3	加工中心操作面板的说明及操作 .....	86
5.3.1	加工中心操作面板的说明 .....	86
5.3.2	XH714/6 立式铣削加工中心的操作 .....	87



5.4	加工中心操作技巧与禁忌 .....	88
5.5	加工中心操作实例 .....	93
	安全技术 .....	97
	复习思考题 .....	97
<b>6</b>	<b>数控电火花线切割 .....</b>	<b>99</b>
6.1	数控电火花线切割概述 .....	99
6.2	数控电火花线切割编程基础 .....	102
6.2.1	3B 格式程序 .....	102
6.2.2	ISO 格式程序编制 .....	104
6.2.3	数控电火花线切割编程常见代码的含义与格式 .....	104
6.3	数控电火花线切割机床操作面板的说明及操作 .....	106
6.3.1	数控电火花线切割机床操作面板的说明 .....	106
6.3.2	数控电火花线切割机床的基本操作方法 .....	111
6.4	数控电火花线切割机床操作的技巧与禁忌 .....	114
6.5	数控电火花线切割加工实例 .....	116
	安全技术 .....	118
	复习思考题 .....	118
<b>7</b>	<b>数控电火花成形 .....</b>	<b>120</b>
7.1	数控电火花成形机概述 .....	120
7.1.1	数控电火花成形机床的分类 .....	121
7.1.2	数控电火花成形机床的组成 .....	122
7.2	电火花成形加工工艺基本规律 .....	125
7.2.1	影响材料放电蚀除速度的主要因素 .....	126
7.2.2	加工速度与工具电极的损耗速度 .....	128
7.2.3	影响加工表面质量的主要因素 .....	130
7.2.4	影响电火花成形加工精度的主要因素 .....	131
7.3	电极 .....	132
7.3.1	电极材料及其加工性能 .....	132
7.3.2	电极设计要点 .....	133
7.3.3	影响电极损耗的主要问题 .....	134
7.3.4	电极夹头 .....	134
7.4	数控电火花成形机床操作面板的说明及操作 .....	136
7.5	数控电火花成形加工的技巧与禁忌 .....	147
7.6	数控电火花成形加工实例 .....	150
	安全技术 .....	151
	复习思考题 .....	151

<b>8 其他现代加工技术</b> .....	<b>152</b>
8.1 特种加工概述 .....	152
8.1.1 特种加工的概念 .....	152
8.1.2 特种加工的特点 .....	152
8.1.3 特种加工方法的分类 .....	153
8.1.4 特种加工方法的选择 .....	153
8.2 超声加工技术 .....	154
8.2.1 超声加工的特点 .....	154
8.2.2 超声加工的应用 .....	154
8.3 激光加工技术 .....	156
8.3.1 激光加工的特点 .....	156
8.3.2 激光加工的应用 .....	156
8.4 快速成形技术 .....	158
8.4.1 快速成形技术的特点 .....	159
8.4.2 快速成形技术的应用 .....	159
8.4.3 快速成形技术案例简介 .....	160
8.5 复合加工技术 .....	161
复习思考题 .....	162
<b>参考文献</b> .....	<b>163</b>

# 绪 论



## 【培养目标】

通过本章的学习,使学生能够了解加工技术的发展过程,了解加工技术在人类历史发展中的地位及其分类,从而更加重视加工技术,达到引发其浓厚学习兴趣的目的。

物质财富是人类社会赖以生存和发展的基础,而制造是人类创造物质财富最基本、最重要的手段。

从人类发展的历史来看,制造业可以当之无愧地成为工业的主体、现代化的动力源、科技进步的依托,而制造水平的进步和提高离不开加工技术。

随着科学技术的飞速发展,社会对产品多样化的要求日益强烈,产品更新换代的速度越来越快,多品种、中小批量生产的比重明显增加;同时,随着航空工业、汽车工业和轻工消费品生产的高速增长,复杂形状的零件越来越多,精度要求也越来越高;此外,激烈的市场竞争要求产品研制生产周期越来越短,传统的加工设备和技术已难以适应这种多样化、柔性化与复杂形状零件的高效高质量的加工要求。因此,近几十年来,为了满足制造业的需求,解决加工技术的难点,数控加工技术和各种现代加工技术应运而生,并得到了迅速发展和广泛的应用,使制造技术发生了根本性的变化。

## 1.1 加工技术的发展阶段

在人类发展的历史长河中,可以把加工技术分为几个阶段。

### 1. 启蒙阶段

旧石器时代和新石器时代,人们利用石头、骨头、木头等加工出了一些有利于狩猎生产及生活的工具,如石斧、石刀、石铤、石镰等。这一阶段,可以称为加工技术的启蒙阶段。

### 2. 初级阶段

从商代开始,出现了金属材料的加工工具、炼钢技术以及淬火等热处理技术,这些工具和技术的出现,大大推动了加工技术的发展,也使制造业上了一个新的台阶。加工技术步入了初级阶段。

### 3. 中级阶段

从英国工业革命时期开始,制造业的大发展促进了加工技术的迅速发展。有据可查,从

18世纪50年代到19世纪末这段时期加工技术领域取得的主要发明如下所述。

1750年,法国人西奥在车床上安装一个刀架,用丝杠驱动纵向进给,替代人们以前用手握车刀进给的方式,提高了尺寸加工精度及其稳定性。

1770年,英国人拉姆斯登在车床上实现了螺纹车削加工。

1775年,英国人威尔金森制造出炮管钻孔机,可以加工直径达72 mm的内孔,误差不超过1 mm,其刀杆有5 m长。炮管钻孔机经过改装后成为卧式镗床,可以加工蒸汽机的汽缸并满足精度要求,解决了瓦特蒸汽机研制中汽缸与活塞之间间隙过大的技术难题。

1776年,英国人瓦特发明的蒸汽机成功地进入厂矿使用,汽缸加工难题被攻克。

1790年,英国人罗姆福德研究了炮身加工时的切削热和切削功。

1818年,美国人惠特奈发明了铣床,实现用单齿铣刀的铣削加工。

1829年,苏格兰人内斯密斯研制出分度铣床,并于1836年发明了刨床。

1835年,英国人惠特沃斯设计了由丝杠同时驱动纵向进给和横向进给的车床。

1847年,英国在伯明翰成立了机械工程师协会。

1851年,法国人考克夸尔哈特直接测量了钻削时切除单位体积金属所需的功。

1855年,美国的罗宾斯和劳伦斯公司制造出转塔车床,可装8把刀具,轮流进行8道工序的加工。

1865年,在巴黎举行的国际博览会上,展出了各种各样、品种齐全的金属切削加工机床,标志着金属切削加工技术发展到一个崭新的历史阶段。

1870年,俄国人基麦解释了切削形成过程。

1873年,德国人哈蒂格发表了切削功的表格。

1880年,美国机械工程师协会成立。

1881年,英国人马洛克指出,切削过程基本上是在刀具推挤下使工件材料发生剪切而成为切屑的过程,还强调刀具前刀面上摩擦作用的重要性。他曾对切屑试样进行抛光、腐蚀后进行观察,还研究过润滑剂、刀刃锋利性对切削过程的影响以及切削过程中引起颤振的原因等。

1887年,美国人格兰特发明了滚齿机,标志着齿轮加工技术取得重要进展。

1892年,美国人诺顿发明了用手柄换挡的变速箱。这是机床变速机构的一次重要变革。这种变速机构很快被应用到各种机床上,为加工参数优化技术的出现奠定了重要基础。

19世纪末至20世纪初,美国人泰勒对金属切削加工的规律、理论和科学管理进行了深入的研究,并在生产实际中收到了显著的经济效益。泰勒对金属切削加工技术的研究和发展做出了如下突出贡献:

(1) 1906年,他发表了一篇著名的科学论文《论金属切削的技艺》,这篇论文总结了20余年调查研究和实践的资料。

(2) 1911年,他发表了《科学管理原理》一书,首创“时间研究”和“动作研究”,提倡对工厂的机械加工进行科学管理。泰勒把身体最健壮、技术最灵巧的生产工人进行操作的情景拍成影片,最精确地计算出该工人每一动作所花费的时间,从中剔除掉各种多余动作和浪费的时间,找出时间最省、效率最高的操作方法。这种制度后来被称为“泰勒制”。

(3) 泰勒研究了切削条件和刀具材料对刀具寿命的影响规律,确定出经验公式,据此优化切削条件。他进行了高标准的系统的刀具寿命试验,得出了著名的“泰勒公式”或“泰勒方

程”,即  $vT^m = A$ 。泰勒公式是金属切削科学中最重要的经验公式,至今还在应用。

(4) 泰勒通过研究发现,刀具的切削温度主导着刀具磨损的速率。

#### 4. 高级阶段

进入 20 世纪以后,随着科学技术的进步,除了机械能之外,人们又把目光投向了电能、化学能、声能、光能、磁能等能源,并逐渐的将这些能源转化为加工技术——现代加工技术。现代加工技术的出现解决了传统加工技术无法解决的问题,满足了制造业对产品逐渐向高精度、高速度、高温、高压、大功率、小型化及材料的多样化、零件形状的复杂化、表面光洁化方向发展的要求。

随着现代加工技术的发展,尤其是电加工、光学刻蚀加工等技术的长足发展,诱发了硅加工技术的诞生,从而使得加工技术进入了一个新的纪元。

20 世纪 40 年代后期,随着计算机的发展及制造业的需求,人们又开始研究用信息来控制机床自动加工外形复杂的零件。首先提出这一设想是在 1947 年,美国的 Parsons 公司为了精确地制作直升机翼、桨叶和飞机中的框架,利用电子计算机对机翼加工路径进行数据处理,并考虑到刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到了  $0.0381 \text{ mm}$ 。

1949 年美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件,与 Parsons 公司以及麻省理工学院伺服机构研究所合作,于 1952 年研制成功世界上第一台数控机床——三坐标立式铣床,可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,揭开了数控加工技术的序幕。

这一时期的加工技术成果如下:

1929 年,德国人萨洛蒙进行了高速切削模拟试验,并于 1931 年发表了著名的高速切削理论,为高速切削技术的发展奠定了基础。

1929 年,德国人发明了电解加工。

1931 年,法国人发明了电解磨削加工。

1941 年,美国人厄恩斯特和默钱特进行了大量的基础研究工作,发表了关于金属切削过程力学的重要论文,提出了著名的默钱特方程,即  $2\phi + \beta - \gamma_0 = \frac{\pi}{2}$ 。

1943 年,苏联人发明了放电加工、电火花加工。

1950 年,德国人发明了电子束加工;美国人发明了超声加工和等离子加工。

1952 年,在美国麻省理工学院诞生了第一台数控立式铣床,开创了数控加工的新纪元。

1958 年,美国得州仪器公司和仙童公司各自研制发明了半导体集成电路,加工技术迈入超精密和微细时代。

1959 年,诺贝尔奖获得者、量子物理学家理查德·费曼倡导从原子加工零件产品的可能性,纳米加工技术的萌芽开始孕育。同年,美国卡耐·特雷公司开发成功带有刀具库和自动换刀装置的数控加工中心,实现了工件的一次性装卡多工序加工,为柔性加工技术的诞生创造了条件。

1960 年,美国休斯研究所的梅曼研制成功世界上第一台激光器——红宝石激光器。从此,人类掌握了一种全新的光源,并在 1970 年迎来了激光加工技术的诞生。

1965 年,等离子弧加工技术被发明。

1969 年,数控电火花线切割机床被研制成功,电火花线切割技术得到迅速发展。

20世纪70年代,相继发明了离子束加工、等离子流加工、化学加工、液体喷射加工、磨料喷射加工以及挤压珩磨加工等新技术。

20世纪80年代以来,随着计算机和数控技术的发展,电火花成形加工设备及工艺已实现了数控化。瑞士、日本等国的电火花机床生产商依靠其在精密机械制造领域的雄厚实力,通过两轴、三轴或多轴的数控系统,解决了工艺技术中的定位精度问题;通过高性能、多参数的适应控制、模糊控制,实现了电火花加工的全自动化。由于电火花成形加工技术的普遍采用,模具加工技术,尤其是用于电子产品的塑料模具加工技术获得了突飞猛进的发展。

1986年,美国的一项专利提出用激光照射液态光敏树脂分层制作三维实体的快速成形方案,美国3D SYSTEMS公司据此于1988年研制出第一台激光快速成形机,为加工技术大家庭增添了新的成员。快速成形加工技术成为CAD/CAM一体化技术的应用典范,它与通常的“减材”(去除)加工技术相对应,成为“增材”加工技术的代表。

1988年,美国政府投资开展大规模“21世纪制造企业战略”研究,扭转了“制造业为夕阳产业”的错误观念,并提出以现代加工工艺技术为内核的“先进制造技术”发展目标,提出并实施了“先进制造技术计划”和“制造技术中心计划”。

1991年,美国白宫科学技术政策办公室发表“美国国家关键技术”报告,重新确立了制造业的地位。这些举措引发了美国和欧洲、日本在制造技术上的新一轮竞争。

1996年,美国制造工程师学会(SME)发表了关于绿色制造的第一本蓝皮书《Green Manufacturing》,引发了绿色加工技术的研究热潮。

2000年,美国政府将纳米技术列入国家发展战略,从此,纳米加工技术在全世界范围内成为热门研究主题。

## 1.2 现代加工技术的地位与分类

要想准确定位现代加工技术的地位,我们首先应该了解制造业在社会发展中的重要性。

纵观世界各国经济发展的进程,可以得出这样一个结论:几乎所有经济大国都是借助工业起步的。没有工业,特别是制造业的支撑,就不可能有经济大国和强国的崛起。

(1) 英国的兴起。1766年英国的产业革命激起资本主义经济的强劲动力,改变了英国经济发展缓慢、以农业为主的状况,蒸汽机的生产逐步增加,使用范围逐步增大,推动了制造业的迅速发展。1760—1870年的100年间,英国的工业生产增长了23倍,国民收入增加了10倍,占世界人口20%的英国人掌握着近一半的世界工业生产和近四分之一的世界贸易,成为当之无愧的世界经济霸主。

(2) 美国的崛起。1890年以后,随着第二次科技革命的来临,美国政府非常重视制造业,美国的产品充斥全球。1895—1914年间,美国制造业的产量已相当于英、德、法、日4国的总和,占全世界的三分之一以上。

(3) 日本的成长。第二次世界大战后,日本的制造业不仅实现了经济恢复,而且在许多行业,甚至是一些新兴行业迅速实现了规模化生产。1956年日本的造船业跃居世界前列,松下电器在1955—1960年的几年中始终保持30%以上的增长速度。1960年,日本的GDP超过德国,在钢铁、化工、机电、汽车等制造行业迅速建立了在全世界的优势地位。

由此可见,制造业是一个国家在经济上屹立世界之林的支柱,而制造业中的加工技术起着核心的作用,有着重要的地位。

所谓加工技术是指采用某种工具或能量流,通过变形、去除、连接、改性或增加材料等方式将工件材料制成满足一定设计要求的半成品或成品的过程技术的总称。现代加工技术则是指采用现代科学技术,满足高速、高效、精密、微细、自动化其中某项要求的加工技术。

现代加工技术的分类较复杂,众说纷纭,有按加工过程中所使用的能量来进行分类的,有按加工对象的最终几何形状来进行分类的,还有按照工件在被加工时是否加热来分类的,也有按照工件前后材料的增加变化与否进行分类。

笔者赞成按照加工工件前后材料的增加变化与否进行分类,即:去除加工、增材加工、变形加工和表面加工。这种分类方法涵盖目前所有的加工技术,任何一种具体的加工方法都可以归入一类。

(1) 去除加工又称为分离加工,是从工件上去除多余材料,工件体积减小,外形发生变化,如车削加工、磨削加工、电火花加工等。

(2) 增材加工,是采用一定的能量和手段,使工件逐渐增加材料,直至达到所要求的形状及尺寸,如电镀、气相沉积、焊接、粘接等。

(3) 变形加工又称为流动加工,是采用一定的能量和手段使工件产生变形,使工件体积不变,但外形发生变化。如锻造、铸造、液晶定向等。

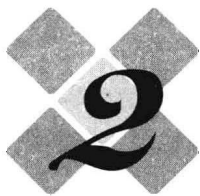
(4) 表面加工是采用一定的能量和手段,改变工件表面,但工件的外形和体积都不发生变化。

制造业的发展是决定人类进步的重要因素之一,所以制造业必将以更迅猛的速度发展,从而促进现代加工技术的迅猛发展。

可以展望,现代加工技术在未来会追求更高的加工精度;更高的加工速度和质量;更加微细化、纳米化;更加智能化;更加环保、节能、低碳化。

## 复习思考题

1. 第一台激光器是哪年由谁发明的?
2. 20世纪70年代发明了哪些新的加工技术?
3. 20世纪80年代发明了哪些新的加工技术?
4. 现代加工技术可以分为哪几类?



# 数控加工技术基础

## 【培养目标】

通过本章学习,了解数控机床的产生与发展以及数控机床的概念、组成、种类与应用加工的特点,掌握数控机床坐标系建立的原则和数控编程方法。

数控机床是信息技术与机械制造技术相结合的产物,代表了现代基础机械的技术水平与发展趋势。数控机床具有以下明显特点:

- (1) 适合于复杂异形零件的加工。
- (2) 实现计算机控制,排除人为误差。
- (3) 通过计算机软件可以实现精度补偿和优化控制。
- (4) 加工中心、车削中心、磨削中心、电加工中心等具有刀库和换刀功能,减少了装夹次数,提高了加工精度。

(5) 数控机床使机械加工设备增加了柔性化的特点。柔性加工不仅适合于多品种、中小批量生产,也适合于大批量生产,且能交替完成两种或更多种不同零件的加工,增加了自动变换工件的功能,可实现夜间无人看管的操作。由几台数控机床(加工中心)组成的柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)具有更高柔性的自动化制造系统,包括加工、装配和检验等环节。

## 2.1 数控机床的产生与发展

随着社会生产和科学技术的不断进步,各类工业新产品层出不穷。机械制造产业作为工业的基础,其产品更是日趋精密复杂,特别是宇航、航海、军事等领域所需的机械零件,精度要求更高、形状更为复杂且往往批量较小,加工这类产品需要经常改装或调整设备,普通机床或专业化程度高的自动化机床显然无法适应这些要求。同时,随着市场竞争的日益加剧,生产企业也迫切需要进一步提高生产效率,提高产品质量及降低生产成本。在这种背景下,一种新型的生产设备——数控机床应运而生。它综合应用了计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量及新型机械结构等多方面的技术成果,形成了现代机械工业的基础并指明了机械制造工业设备的发展方向。

### 1. 数控机床的产生

数控机床的研制最早是从美国开始的。1948年,美国帕森斯公司(Parsons Co.)在完



成研制加工直升机桨叶轮廓用检查样板的加工机床任务时,提出了研制数控机床的初步设想。1949年,在美国空军后勤部的支持下,帕森斯公司正式接受委托,与麻省理工学院伺服机构实验室合作,开始数控机床的研制工作。经过3年的研究,世界上第一台数控机床试验样机于1952年试制成功。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制系统铣床,其数控系统全部采用电子管元件,其数控装置体积比机床本体还要大。后来经过3年的改进和自动编程研究,该机床于1955年进入试用阶段。此后,其他一些国家(如德国、英国、日本、前苏联和瑞典等)也相继开展数控机床的研制开发和生产。1959年,美国克耐·杜列克公司(Keaney & Trecker)首次成功开发了加工中心(machining center, MC),这是一种有自动换刀装置和回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个平面进行多工序的加工。但是,直到20世纪50年代末,由于价格和其他因素的影响,数控机床仅限于航空、军事工业应用,品种也多为连续控制系统。直到20世纪60年代,由于晶体管的应用,数控系统进一步提高了可靠性且价格下降,一些民用工业开始发展数控机床,其中多数为钻床、冲床等点定位控制的机床。数控技术不仅在机床上得到实际应用,而且逐步推广到焊机、火焰切割机等,使数控技术的应用范围不断得到扩展。

## 2. 数控机床的发展概况

自1952年美国研制成功第一台数控机床以来,随着电子技术、计算机技术、自动控制技术和精密测量技术等的发展,数控机床也在迅速地发展和不断地更新换代,先后经历了5个发展阶段。

第1代数控机床:1952—1959年采用电子管元件构成的专用数控装置(numerical controller, NC)。

第2代数控机床:从1959年开始采用晶体管电路的NC系统。

第3代数控机床:从1965年开始采用小、中规模集成电路的NC系统。

第4代数控机床:从1970年开始采用大规模集成电路的小型通用计算机控制系统。

第5代数控机床:从1974年开始采用微型计算机控制系统。

近年来,微电子和计算机技术日益成熟,其成果正不断渗透到机械制造的各个领域,先后出现了计算机直接数控(direct numerical control, DNC)系统、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIMS)。这些高级的自动化生产系统均以数控机床为基础,代表着数控机床今后的发展趋势。

## 2.2 数控机床的概念及组成

### 1. 数控机床的概念

数控技术,简称数控(numerical control, NC),是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法。由于现代数控都采用了计算机进行控制,因此,也可以称为计算机数控(computerized numerical control, CNC)。

为了对机械运动及加工过程进行数字化信息控制,必须具备相应的硬件和软件,用来实