



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 现代制造 技术与装备

第2版

主编 吉卫喜

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 现代制造技术与装备

Xiandai Zhizao Jishu yu Zhuangbei

第2版



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第1版的基础上修订而成的,除绪论外内容包括现代制造工艺、现代制造装备、现代制造自动化、现代生产与控制、现代制造物流与控制、现代质量管理以及现代制造模式。本书内容简明扼要、取材新颖,并结合最新研究成果,用现代制造系统的观点分析现代制造业,以使读者能比较全面地认识和了解现代制造技术与装备的应用与发展。

本书可作为高等学校机械工程及其自动化专业的教材,也可供工业工程、管理工程和工业设计等专业使用,亦可供制造企业的工程技术人员与企业管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代制造技术与装备/吉卫喜主编.—2版.—北京:  
高等教育出版社,2010.10

ISBN 978-7-04-030140-3

I. ①现… II. ①吉… 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(2010)第173288号

策划编辑 宋 晓 责任编辑 宋 晓 封面设计 于 涛 责任绘图 尹 莉  
版式设计 余 杨 责任校对 金 辉 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16  
印 张 20.5  
字 数 500 000

购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landraco.com>  
<http://www.landraco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2005年5月第1版  
2010年10月第2版  
印 次 2010年10月第1次印刷  
定 价 32.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30140-00

## 第 2 版 前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据机械工程及其自动化专业的教学改革需要而编写的。第 1 版于 2005 年出版后,至今已经历了 5 年的教学实践,期间得到了不少兄弟院校的大力支持和帮助,提出了许多宝贵意见。本版是在总结近几年教学实践的基础上,结合制造技术与装备领域近年来的新发展和新成果,并吸取了使用该教材的院校提出的建议修订而成的。

当今世界范围内现代制造技术与装备的演变日新月异,机床结构出现了新的变革,智能型生产工具的出现、加工方法逆向思维的突破以及工具概念的变异进一步拓宽了人们的视野,在人类的生产活动中所形成的效益与影响更为广泛而深远。这次修订主要就现代制造工艺和现代制造装备的内容进行了调整和补充,在保持原教材体系和特色的前提下,力求内容精练、取材新颖。

本书是由吉卫喜任主编,任乃飞、花国然、恽国兴任副主编。全书共分 8 章,第 1、6、8 章由吉卫喜编写,第 2 章由花国然、任乃飞编写,第 3 章由吉卫喜、花国然、苏桂生编写,第 4 章由花国然、恽国兴编写,第 5 章由恽国兴编写,第 7 章由任乃飞编写,武美萍、曹毅、赵丽、梁素勤参加了部分章节的材料收集、内容删减等工作。全书由江南大学吉卫喜统稿。

在本书的编写过程中得到了有关院校和工厂的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,缺点错误在所难免,恳请使用本书的广大师生、读者多提宝贵意见。

编者

2010 年 4 月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	2.4.1 电化学加工的基本原理、分 类及特点 .....	50
1.1 制造业及其发展趋势 .....	1	2.4.2 电解加工 .....	51
1.2 制造技术和现代制造技术 .....	2	2.4.3 电铸加工 .....	56
1.3 现代制造技术的内涵 .....	3	<b>2.5 精密与超精密加工</b> .....	61
1.4 装备制造业的现状与发展 .....	6	2.5.1 精密与超精密加工的基本 概念 .....	61
1.5 本课程的主要内容 .....	7	2.5.2 精密和超精密切削加工 .....	64
1.6 学习本课程的目的和要求 .....	7	2.5.3 精密磨料加工 .....	65
思考题与习题 .....	8	2.5.4 微细加工技术 .....	66
<b>第 2 章 现代制造工艺</b> .....	9	<b>2.6 快速原型制造</b> .....	69
2.1 高速与超高速加工 .....	9	2.6.1 快速原型制造技术产生的 背景 .....	69
2.1.1 概述 .....	9	2.6.2 快速原型制造技术的原理 .....	70
2.1.2 高速与超高速加工技术 .....	9	2.6.3 快速原型制造技术的主要 方法 .....	71
2.1.3 高速与超高速加工的关键 技术 .....	11	<b>2.7 超声波加工</b> .....	74
2.1.4 高速与超高速加工技术的 发展与应用 .....	15	2.7.1 超声波加工的基本原理 .....	74
2.1.5 高速磨削加工 .....	18	2.7.2 超声波加工的工艺特点 .....	74
2.2 高能速与射流加工 .....	19	2.7.3 超声波加工应用 .....	75
2.2.1 电子束加工 .....	19	<b>2.8 摩擦焊</b> .....	75
2.2.2 离子束加工 .....	26	2.8.1 摩擦焊基本原理 .....	75
2.2.3 激光加工 .....	32	2.8.2 接头组织、性能和金属的 摩擦焊接性 .....	76
2.2.4 高压水射流加工 .....	41	2.8.3 摩擦焊工艺的特点 .....	76
2.3 干切削加工 .....	43	2.8.4 摩擦焊应用 .....	77
2.3.1 干切削加工技术 .....	44	思考题与习题 .....	77
2.3.2 干切削加工技术的应用 .....	46	<b>第 3 章 现代制造装备</b> .....	79
2.3.3 准干切削 .....	47	3.1 现代制造装备概述 .....	79
2.3.4 成熟的干切削工艺方法 .....	47	3.1.1 数控技术与制造装备的	
2.3.5 干切削加工技术的发展 .....	48		
2.4 电化学加工 .....	50		

发展 .....	79	结构 .....	126
3.1.2 现代制造装备发展的特点 .....	80	3.8.3 超高速加工中心的传动 .....	127
3.1.3 现代制造装备的发展趋势 .....	80	3.8.4 超高速加工中心的控制 .....	129
3.2 自动化加工设备 .....	85	3.9 机械手与工业机器人 .....	130
3.2.1 数控机床的分类 .....	85	3.9.1 机械手 .....	130
3.2.2 数控机床的组成与结构特点 .....	88	3.9.2 工业机器人概述 .....	131
3.2.3 伺服系统与检测元件 .....	91	3.9.3 工业机器人技术 .....	134
3.3 加工中心 .....	93	3.9.4 工业机器人的驱动与控制 系统 .....	139
3.3.1 加工中心的定义 .....	93	思考题与习题 .....	146
3.3.2 加工中心的工作原理 .....	94	<b>第4章 现代制造自动化</b> .....	147
3.3.3 加工中心的组成与分类 .....	95	4.1 CAD/CAE/CAPP/CAM .....	147
3.4 五轴联动加工中心 .....	100	4.1.1 计算机辅助设计 .....	147
3.4.1 五轴联动加工中心对结构 的要求 .....	100	4.1.2 计算机辅助工程分析 .....	151
3.4.2 五轴联动加工中心的功能 特点 .....	102	4.1.3 计算机辅助工艺规程 设计 .....	153
3.4.3 实现五轴联动加工的 难点 .....	103	4.1.4 计算机辅助制造 .....	158
3.4.4 五轴加工中心的类型 .....	103	4.2 数字化设计与制造 .....	162
3.5 工具系统 .....	105	4.2.1 概述 .....	162
3.5.1 刀具系统 .....	105	4.2.2 数字化设计技术 .....	163
3.5.2 夹具系统 .....	113	4.2.3 数字化制造技术 .....	164
3.6 三坐标测量仪 .....	115	4.2.4 数字化装配技术 .....	165
3.6.1 三坐标测量仪的原理 .....	115	4.2.5 数字化设计与制造的发展 趋势 .....	167
3.6.2 三坐标测量仪的组成 .....	116	4.3 PDM/PLM .....	168
3.6.3 三坐标测量仪的分类 .....	119	4.4 虚拟制造 .....	172
3.6.4 三坐标测量仪在正向工程 和逆向工程中的应用 .....	119	4.4.1 虚拟制造的概念 .....	172
3.7 虚拟轴机床 .....	120	4.4.2 虚拟制造系统 .....	174
3.7.1 虚拟轴机床的产生与发展 .....	120	4.4.3 虚拟制造的研究与应用 .....	176
3.7.2 虚拟轴机床技术 .....	121	4.5 柔性制造系统 .....	178
3.7.3 虚拟轴机床应用前景 .....	125	4.5.1 概述 .....	178
3.8 超高速机床 .....	125	4.5.2 柔性制造系统的加工 系统 .....	181
3.8.1 高速与超高速加工对机床 的新要求 .....	125	4.5.3 柔性制造系统的物流 系统 .....	182
3.8.2 超高速加工中心的新型		4.5.4 柔性制造系统的控制与 管理系统 .....	185

4.5.5 柔性制造系统的发展趋势 .....	189	局限性 .....	223
4.6 现代集成制造系统 .....	190	5.6 企业资源计划 .....	224
4.6.1 计算机集成制造和计算机 集成制造系统的概念 .....	191	5.6.1 企业资源计划概述 .....	224
4.6.2 计算机集成制造系统的 组成 .....	192	5.6.2 ERP系统的集成 .....	227
4.6.3 计算机集成制造系统的 递阶控制结构 .....	195	5.6.3 ERP系统的实施及其 效益 .....	230
4.6.4 现代集成制造系统 .....	197	5.6.4 企业资源计划的发展 趋势 .....	231
4.7 分散化与网络化制造 .....	199	5.7 制造执行系统 .....	232
4.7.1 分散化与网络化制造的 概念 .....	199	5.7.1 制造执行系统概述 .....	232
4.7.2 动态网络联盟 .....	201	5.7.2 制造执行系统的功能 .....	233
4.7.3 基于 Internet 的产品制造 技术 .....	203	思考题与习题 .....	236
思考题与习题 .....	204	<b>第 6 章 现代制造物流与控制</b> .....	237
<b>第 5 章 现代生产与控制</b> .....	205	6.1 现代制造物流概述 .....	237
5.1 企业生产管理概述 .....	205	6.1.1 现代制造物流的产生与 发展 .....	237
5.1.1 企业生产计划 .....	205	6.1.2 现代制造物流的定义 .....	238
5.1.2 现代企业生产计划管理 .....	207	6.1.3 现代制造物流的战略 .....	239
5.2 经营规划和生产规划 .....	208	6.2 现代制造物流系统 .....	240
5.3 主生产计划 .....	209	6.2.1 现代制造物流系统分析 .....	240
5.3.1 主生产计划的基本概念 .....	209	6.2.2 现代制造物流系统设计 .....	242
5.3.2 主生产计划的编制 .....	211	6.2.3 现代制造物流的组织、计划 与控制 .....	244
5.4 物料需求计划 .....	212	6.2.4 仓库系统的设计 .....	248
5.4.1 物料需求计划的产生 .....	212	6.3 物料搬运与存储设备 .....	250
5.4.2 物料需求计划的基本 理论 .....	214	6.3.1 物料搬运方式 .....	250
5.4.3 能力需求计划 .....	216	6.3.2 物料搬运设备 .....	251
5.4.4 闭环 MRP .....	217	6.3.3 物料存储设备 .....	253
5.5 制造资源计划 .....	219	6.4 供应链管理 .....	255
5.5.1 制造资源计划的基本 概念 .....	219	6.4.1 供应链管理概述 .....	255
5.5.2 制造资源计划系统的流程 与组成 .....	220	6.4.2 供应链管理的实现 .....	261
5.5.3 制造资源计划思想的 局限性 .....	223	6.4.3 供应链管理在我国企业中 的实现 .....	263
		思考题与习题 .....	264
		<b>第 7 章 现代质量管理</b> .....	266
		7.1 概述 .....	266

7.1.1 产品质量 .....	267	7.4.3 ISO 9000 系列标准简介 .....	296
7.1.2 质量管理 .....	268	7.4.4 ISO 9000 系列标准在我国 贯彻实施的情况 .....	296
7.2 全面质量管理 .....	271	思考题与习题 .....	297
7.2.1 全面质量管理的概念、内容 及新特点 .....	271	<b>第 8 章 现代制造模式 .....</b>	<b>298</b>
7.2.2 全面质量管理的实施过程 ..	274	8.1 现代制造企业与先进制造模式 ..	298
7.2.3 全面质量管理的七种工具 ..	277	8.1.1 现代制造企业 .....	298
7.2.4 全面质量管理的经济观念 与质量成本 .....	285	8.1.2 应用现代制造技术促进企业 自主创新、产业转型升级 ..	299
7.3 质量保证体系 .....	286	8.1.3 现代制造技术与先进制造 模式 .....	299
7.3.1 质量保证体系的基本概念 ..	286	8.2 现代制造模式的新发展 .....	300
7.3.2 质量保证体系的建立 .....	287	8.2.1 精益生产 .....	300
7.3.3 质量管理的发展与改进 .....	289	8.2.2 敏捷制造 .....	304
7.4 ISO 9000 系列标准和国际质量 认证体系 .....	295	8.2.3 并行工程 .....	309
7.4.1 ISO 9000 系列标准产生的 背景 .....	295	思考题与习题 .....	313
7.4.2 ISO 9000 族标准的基本 原理 .....	295	<b>参考文献 .....</b>	<b>315</b>



# 第 1 章 绪 论

制造业是国民经济的基础产业,制造业的最终目的是创造全新的物质文明和精神文明,它的发展水平反映了一个国家的生产力水平和综合国力。从国际范围来看,制造业遵循着“劳动密集、设备密集、信息密集、知识密集”的轨迹,正在经历着从信息集成走向知识集成的新的发展阶段,对市场的响应时间将成为 21 世纪制造业赢得竞争优势的最主要因素。特别是面对爆发的国际金融危机,如何提升我国制造业,特别是装备制造业发展水平,实现企业自主创新,形成产品的竞争力,提高市场占有率,提升企业的制造能力,促进制造企业可持续发展,推动企业转型显得尤为迫切和重要。我国政府提出要加快装备制造企业兼并重组和产品更新换代,促进产业结构优化升级,全面提升产业竞争力。21 世纪的产品对零件的形状、尺寸或材料性质也提出了新的要求。如在零件形状上的自由面加工(Free form fabrication)需求,在尺寸上的微细尺寸加工需求,在材料性质上的对化学性质、力学性能、耐腐蚀性能等需求。产品对其形状、尺寸以及材料性质的要求越来越高,因此必须研发新的制造技术及其制造设备。

现代制造技术与装备正是以现代制造业,特别是机械制造企业所面临的严峻生存环境为背景而发展起来的。面对激烈的市场竞争、迅速发展的科学技术、不断变化的多产品变批量,企业无法沿用传统的制造技术和制造模式去面对上述严峻生存环境的挑战。因此,人们必须研究和探索新的制造技术、装备和新的制造模式。现代制造技术与装备涵盖的内容较多,本书主要包括:(1) 先进的制造工艺;(2) 先进的制造装备;(3) 先进的生产组织与管理。

## 1.1 制造业及其发展趋势

制造业是紧随着人类社会的产生与发展而产生和发展的,经历了原始制造、手工作坊生产、机器生产、机械化生产、流水线生产、自动生产线生产,并发展到当今的柔性制造、智能制造等模式。在这个过程中制造业的内涵也在不断地丰富。

制造业在社会发展中所起的作用和担任的角色随着人类社会需求重点而不断转移。在工业化初期,制造业的主要使命是进行需求产品的制造,以满足基本的物质生活的需要。随着技术进步与社会的发展,经济的因素起着越来越重要的作用,大规模生产制造大大丰富了物质产品,生存不再是主要矛盾,经济竞争成为焦点。经济全球化使制造业成为 21 世纪各国经济竞争的主要内容。通过制造业创造极大的物质财富,即形成了当今发达国家的经济面貌。在经济竞争的高潮中,制造业正经历新的价值观的转变,更加追求速度和效率。制造理念从规模生产和延长产品寿命到小批量、快速反应、短产品寿命周期,这是一种历史性的突破。

但是,在片面追求经济发展的同时,制造业的发展也被动地受到经济因素的刺激,表现出急于求成的发展态势,从产业的生态角度看,远离了平衡态。其后果是资源的无节制消耗,环境的破坏和污染,地球生态系统在人类经济的发展中面临着前所未有的危机和厄运。今天的制造业必须突破被动需求驱动的角色,而成为维护整个生态系统平衡,实现可持续发展的主动角色,这是人类社会发展到较高级阶段的初期,这个阶段将再次出现制造业的大繁荣。这不仅是因为制

制造业要代替和补偿前一阶段不平衡发展所造成的对需求的低质量的满足,而且其本身的发展将导致更多更高要求的需求,产生人类社会发展的更高级阶段。在这个历史阶段,制造业的发展空间将大大扩展,其内涵将得到极大的拓延。21世纪,制造业将可能突破当前我们对制造业范畴的认识,从更远的角度看,制造业完全有可能突破传统的无机物、无生命制造对象的限制和目前人类生存空间范围的限制,制造业可能将进一步在能源制造业、农业制造业、生物医学制造业、仿生制造业、宇宙空间制造业等领域发展。

尽管今天的制造业还远没有扮演主动角色,但21世纪实现制造业的可持续发展已成为全球关注的主题,发展带来的环境污染、生态破坏、资源耗竭等严重问题会影响我们共同的家园——地球。因此,低碳经济、绿色制造、清洁生产以及各种节约资源的理念已迅速渗透到全球整个制造业理念中。虽然制造业在不同地区和国家的发展还不平衡,但在信息时代,缩短世界范围内制造业差距的进程将大大加快,精良生产、智能制造、分散网络化制造、虚拟制造、敏捷制造、清洁生产等概念和先进制造技术迅速发展,带来了现代制造模式在管理理念、生产方式、组织形式和竞争策略等方面巨大转变,制造技术的发展也随着科技进步和基础科学理论的演变,不断吸收数学、力学、生物、材料、系统论、信息论、控制论以及计算机技术等形成制造科学。这是制造业发展中的又一次重大突破。

我国作为发展中国家,目前制造业水平与发达国家相比还有差距,发展制造业特别是装备制造业已成为增强我国经济实力的重要内容。装备制造业是为国民经济各行业提供技术装备的战略性产业,关联度高、吸纳就业能力强、技术资金密集,是产业升级、技术进步的重要保障和国家综合实力的集中体现。中国制造业要在21世纪繁荣昌盛,必须把握时代脉搏,重塑制造业发展雄风,在制造技术革命的基础上,加入全球供应链,通过生产组织与管理的革新和先进制造技术的应用,通过制造业信息化加速工业化进程,实现从大量生产向多品种变批量、分散化、网络化和全球化制造转变。

## 1.2 制造技术和现代制造技术

制造技术的涉及面较广,机械、电子、冶金、建筑、水利、信息、农业和交通运输等各个行业都要有制造业的支持,制造业是一个支柱产业,不同时期发展重点不同,但需要制造技术的支持是永恒的。制造技术具有普遍性和基础性,同时也具有特殊性和专业性。制造技术的发展经历了工匠手艺、设计工艺到制造系统三个重要阶段。生产发展和社会分工,形成了不同的制造单元技术,产生了包括设计、加工、装配、检验、维修、设备、工具和工装等多个直接或间接生产部门,加工方法也从传统的车、铣、钻、刨、磨发展到电加工、超声波加工、电子束加工、离子束加工、激光加工等多种特种加工方法。在生产组织上出现了适应大批大量生产需要的加工和装配流水线、自动线。随着信息技术的发展以及在制造技术中的应用,制造技术产生了新的飞跃,出现了以物流、能量流和信息流组成的制造系统,形成了现代制造技术。

美国学者在《美国制造业的衰退及对策——夺回生产优势》的报告中有一句名言:“一个国家要想生活好,必须生产好”,这句话很精辟地概括了发展制造技术的重要性。失去制造就失去未来,一个国家如不重视发展制造技术和制造业,就必然要落后、挨打。近年来,工业发达国家和一些新兴工业化国家把发展先进制造技术作为一项极其重要的发展战略和政策,并把它作为国

家中长期发展的重大关键技术。我国也将发展现代制造业特别是装备制造业作为振兴经济、增强国际竞争力的重要发展战略。世界各国为适应制造业发展和全球经济发展对本国企业进行产业结构调整的需要,对制造技术展开了广泛深入的研究,先后提出和发展了多项现代先进制造技术,包括计算机辅助设计/计算机辅助制造/计算机辅助工程分析(Computer Aided Design, CAD/Computer Aided Manufacturing, CAM/Computer Aided Engineering, CAE)、计算机辅助编制工艺流程(Computer Aided Process Planning, CAPP)、成组技术(Group Technology, GT)、计算机集成制造(Computer Integrated Manufacturing, CIM)、计算机数控技术(Computer Numerical Control, CNC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)和柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)、精良生产(Lean Production, LP)、最优生产技术(Optimization Production Technology, OPT)、并行工程(Concurrent Engineering, CE)、企业业务流程重组(Business Process Reconfiguration, BPR)、产品数据管理(Product Data Management, PDM)、制造资源计划(Manufacturing Resource Planning, MRPII)、企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)、供应链管理(Supply Chain Management, SCM)、管理信息系统(Management Information System, MIS)、全面质量管理(Total Quality Management, TQM)、敏捷制造(Agile Manufacturing, AM)、智能制造(Intelligent Manufacturing, IM)、虚拟制造(Virtual Manufacturing, VM)、虚拟产品设计(Virtual Product Design, VPD)、协同制造(Collaborative Manufacturing, CM)、快速原型(Rapid Prototyping, RP)、绿色制造(Green Manufacturing, GM)、网络化制造(Networked Manufacturing, NM)等。

正是这些卓有成效的现代制造技术,使得现代多品种、小批量的制造企业,在面对严峻生存环境的挑战下,能够顺应买方市场千变万化的需求,及时开发并生产出不同买方所需要的各种新产品。在这些制造技术中,有些已属于成熟技术,但有的才刚刚起步。不同技术虽然侧重点不同,但从企业目标、管理模式、运行机制、关键技术以及生产过程等方面来看,有许多共同之处,不少技术相互交叉、方法共用,这些共同点形成了现代制造技术的发展方向。

### 1.3 现代制造技术的内涵

现代制造技术,其内涵就是“制造技术”+“信息技术”+“管理科学”,再加上相关的科学技术交融而形成的制造技术。在制造的生产规模上,它沿着单件小批量—少品种大批量—多品种变批量方向发展;在生产方式上,呈现出劳动密集型—设备密集型—信息密集型—知识密集型变化;在制造装备上,呈现出手工—机械化—单机自动化—刚性自动线—柔性自动线—智能自动化的变化;在制造技术和工艺方法上,表现为集工艺方法、工艺装备和工艺材料为一体的成套技术,使制造技术成为重视物流、检验、包装及储藏,覆盖加工全过程的综合技术,不断发展优质高效、低耗的工艺及加工方法,以取代落后工艺,不断吸收微电子、计算机和自动化等高新技术成果,并实现系统集成,形成从单机到自动生产线等不同档次的自动化制造系统。现代制造技术引入工业工程和并行工程概念,强调系统化及其技术和管理的集成,将技术和管理有机地结合在一起,并引入先进的管理模式,使制造技术及制造过程成为覆盖整个产品生命周期(设计、生产准备、加工制造、销售和维修,直至再生回收),包含物质流、能量流和信息流的系统工程。

现代制造技术是多技术交融的技术,它适应并占领了现代制造业市场。我国这么一个大国,如果没有强大的现代制造业特别是装备制造业,就不可能有独立自主的制造业与工业,即使制造

业再大再多再好,也受制于人。21世纪现代制造技术的发展趋势将是随着市场的全球化、竞争的激烈化、需求的个性化、生产的人性化而体现出的制造技术的信息化、服务化和高技术化。现代制造技术的内涵具体表现在以下几方面。

### 1. 信息化、数字化制造技术

信息、物质和能量是制造系统的三要素。随着计算机、自动化与通信网络技术在制造系统中的应用,信息的作用越来越重要。产品制造过程中的信息投入,已成为决定产品成本的主要因素。制造过程的实质是对制造过程中各种信息资源的采集、输入、加工和处理的过程,最终形成的产品可看作是信息的物质表现,因此可以把信息看作是一种产业,包括在制造之中。

以计算机技术、网络技术、通信技术等为代表的信息技术与管理科学、制造技术的交叉、融合、发展与应用,改变了传统资本密集型、设备密集型、技术密集型的生产与管理模式,而向信息密集型和知识密集型转变,使制造技术产生了质的飞跃,这也是制造企业、制造系统与生产过程、生产系统不断实现数字化的必然趋势。它包含了数字设计、数字控制和数字管理三大部分。对制造设备而言,其控制参数均为数字化信号。对制造企业而言,各种信息(如产品信息、工艺信息、物料信息以及知识和技能等)均以数字形式通过网络在企业内传递,在对资源信息进行分析、规划与重组的基础上,可实现对产品设计和产品功能的仿真,对加工过程与生产组织过程的仿真,或完成快速原型制造,从而实现生产过程的快速重组与对市场的快速响应,以满足客户化要求。在数字制造环境下,可以实现在不同地区、国家形成一个数字化制造网络,企业、车间、设备、员工、经销商、供应商乃至有关市场均可成为网上的一个“结点”,形成动态联盟,在产品的设计、制造、销售和服务的过程中,围绕产品所赋予的数字信息彼此交互,迅速协同设计并制造出相应的产品。

### 2. 精密与超精密加工技术

精密制造与纳米技术是衡量现代制造技术水平的重要指标之一,是现代制造技术中最活跃的因素。现代制造对产品、零件的精度要求越来越高,产生了精密与超精密加工、微细加工、纳米加工等。在现代超精密机械中,对精度要求极高,如人造卫星的仪表轴承,其圆度、圆柱度、表面粗糙度等均达纳米级;微电子芯片的制造,要求:①超净,加工车间尘埃颗粒直径小于 $1\ \mu\text{m}$ ;②超纯,芯片材料中的有害杂质的质量分数小于 $10^{-9}$ ;③超精,加工精度达纳米级( $1\ \text{nm} = 10^{-3}\ \mu\text{m}$ )。显然,没有现代制造技术,就没有现代先进电子技术装备;反之,没有先进电子与信息技术,也就没有现代先进制造装备。它们是相互渗透、相互支持、紧密结合的。

精密加工、超精密加工技术、微型机械是现代制造技术发展的方向之一。精密和超精密加工技术包括精密和超精密切削加工、磨削加工、研磨加工以及特种加工和复合加工(如机械化学研磨、超声磨削和电解抛光等)三大领域。超精密加工技术已向纳米技术发展。纳米技术已在纳米机械学、纳米电子学和纳米材料技术等领域得到了应用。目前,各国科学家正在进行微型机器人的研究,微型机器人可以潜入人体血管、脏器去疏通血管、诊治疾病。据国外预测,21世纪将是微型机械电子技术和微型机器人的时代,因此有人将纳米技术与微型机械称为21世纪的核心技术。

### 3. 柔性自动化技术

所谓柔性,是指一个制造系统适应各种生产条件变化的能力,它与系统方案、人员和设备有关。系统方案的柔性是指加工不同零件的自由度。人员柔性是指操作人员能保证加工任务、完成数量和时间要求的适应能力。设备柔性是指机床能在短期内适应新零件的加工能力。柔性制

造自动化的形式很多,如美国提出的敏捷制造,其主线就是高柔性生产。自动化技术的成功应用,不但提高了效率,保证了产品质量,还可以代替人去完成危险场合的工作。对于批量较大的生产自动化,可通过机床自动化改装,应用自动机床、专用组合机床、自动生产线来完成。小批量生产自动化可通过 NC(Numerical Control)、MC(Machining Center)、CAM、FMS、CIM、IMS(Intelligent Manufacturing System)等来完成。在未来的自动化技术实施过程中,将更加重视人在自动化系统中的作用。

#### 4. 现代集成制造技术

现代集成制造技术包括技术的集成、管理的集成、技术与管理的集成,本质是知识的集成。现代制造技术就是制造技术、信息技术、管理科学与有关科学技术的集成。机电一体化技术就是现代技术集成的典型,它是检测传感技术、信息处理技术、自动控制技术、伺服传动技术以及精密机械技术等多种技术的集成,这些技术与许多学科有关,是高技术装备的基础,如微电子制造装备,信息化、网络化产品及配套设备,仪器、仪表、医疗、生物和环保等高技术设备等。特种加工技术及其装备是加工技术集成的典型,如快速原型、激光加工、高能束加工和电加工等。企业集成是管理集成的典型,它包括生产过程的集成、产品全生命周期过程的集成,包括企业内部的集成以及企业外部的集成。并行工程、敏捷制造、精良生产和计算机集成制造系统等都是集成制造技术的典型表现。制造与管理已经不可分割,管理的集成不可能不包含管理与技术的集成。

集成的作用是将原来独立运行的多个单元系统集成成为一个能协调工作的和功能更强的新系统。集成不是简单的连接,是经过统一规划设计,分析原单元系统的作用和相互关系并进行优化重组而实现的。集成化的目的是实现制造企业的功能集成,功能集成要借助现代管理技术、计算机技术、自动化技术和信息技术来实现技术集成,同时还要强调人的集成,由于系统中不可能没有人,系统运行的效果与企业经营思想、运行机制、管理模式都与人有关,因此在技术上集成的同时,还应强调管理与人的集成。

#### 5. 网络化制造技术

网络化制造技术是指用计算机网络,灵活而快速地组织社会资源,将分散在各地的生产设备资源、智力资源和技术资源等,按资源优势互补的原则,迅速地整合成一种跨地域的、靠网络联系的、统一指挥的制造、运营实体——网络联盟,以实现网络化制造。网络化制造技术,使制造业走向整体化、有序化。实现网络化制造一方面取决于生产组织变革的需要,另一方面是生产技术发展的可能。现代制造业在市场竞争中,面临多方压力,如采购成本不断提高,产品更新速度加快,市场需求不断变化,全球制造所带来的冲击日益加大,企业必须在生产组织上进行变革,抛弃传统的“小而全”与“大而全”这类“夕阳技术”,集中力量在自己最有竞争力的核心业务上。企业通过网络,在产品的设计、制造与生产管理乃至在企业整个业务流程中快速调集、有机整合与高效利用有关制造资源,实现制造过程与组织的分散化、网络化。网络化制造是由不同地域、组织上平等独立的多个企业,在谈判协商的基础上,建立密切合作关系,形成动态的“虚拟企业”或动态的“企业联盟”。各企业致力于自己的核心业务,实现优势互补,实现资源优化动态组合与共享。

#### 6. 智能制造技术

智能制造技术是面向 21 世纪制造技术的发展趋势之一,它是将人工智能融入制造过程的各个环节,借助计算机模拟人类专家的智能活动,取代或延伸制造系统中的部分脑力劳动,在制造过程中系统能自动监测其运行状态,在受到外界干扰或内部激励时能自动调整其参数,以达到最

佳状态和具备自组织能力。智能化是柔性自动化和集成自动化的新发展和重要组成部分。

智能制造技术作为一种模式,是集自动化、集成化和智能化于一体,具有高技术含量和高技术水平的先进制造系统,也是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化系统。在制造过程中,它以一种高度柔性集成的方式,进行分析、判断、推理和决策,同时,收集、存储、处理、共享、继承和发展人类专家的制造智能。随着分布式数据库技术、智能代理技术和网络技术等的的发展,将突出知识在制造活动中的价值地位,知识将成为发展生产力的主要源泉,并最终导致以知识生产率取代劳动生产率。虽然智能化制造的道路还很漫长,但是必将成为未来制造业的主要生产模式之一。

#### 7. 可持续发展制造技术

制造业在将制造资源转变为产品以及在产品的使用和消费过程中,消耗了大量有限资源,并对环境造成严重污染。产品生命周期日益缩短,废弃物日益增多,资源枯竭、生态平衡破坏,这些问题已严重阻碍人类社会经济的可持续发展。可持续发展制造技术中的绿色制造技术就是从产品构思开始,到设计阶段、制造阶段、销售阶段、使用与维修阶段,直到回收阶段、再制造各阶段,都必须充分考虑环境保护。不仅要保护自然环境,还要保护社会环境、生产环境,保护生产者的身心健康。绿色制造技术要求产品与用户的生产、工作、生活环境相适应,给人以高尚的精神享受,体现着物质文明、精神文明与环境文明的高度交融与和谐。

## 1.4 装备制造业的现状与发展

装备制造业是制造业的基础和核心,也是我国制造业发展中的薄弱环节。中国要成为世界制造强国,核心是要拥有一个强大的装备制造业。中国装备制造业虽已形成一定的规模和门类较齐全的体系,但现有的近四万家国有装备制造企业没有一家能跻身于世界500强。除前述制造业存在的普遍问题外,主要问题是设备(含大量进口设备)利用率低,自主开发能力薄弱,原创性技术和产品少,出现了引进—落后—再引进的局面;没有形成专业化的基础零部件产业,缺乏拥有自主知识产权的成套装备设计、系统设计和工程总承包能力的供应商,市场快速反应能力差,经济效益低于世界制造业平均水平,国民经济建设和高技术产业所需装备已形成依赖进口的局面,我国装备制造业大而不强。中国装备制造业发展的滞后,已成为制约国民经济运行效益提高、高技术及其产业发展、国防安全的瓶颈。

经济全球化使世界各国之间的经济相互依赖程度日益提高,国际贸易大幅度增长。其结果是发达国家由于劳动成本不断上升,不得不放弃大批传统产业,向发展中国家转移,以便致力于高科技、金融、服务行业的发展。我国具有承接国际产业转移的吸纳力与优势,这是因为中国市场潜力巨大,人力资源丰富,社会稳定,基础设施日趋完善。要把握国际制造业向中国大转移的良好机遇,积极地、有选择地承接工业发达国家制造业特别是装备制造业的转移,同时有选择地积极发展装备制造业中的高技术产业,提高自主开发能力,这是促进我国装备制造业发展的一条现实途径。

装备制造基地并不是全球制造车间,不仅包括加工和装配,而且应包括研发、设计、系统集成、销售、服务和报废回收等产品全生命周期制造。我国能否成为世界装备制造基地,关键在于生产规模能否处于世界前列,而在于能否形成一大批重要装备的自主开发能力和系统成套能

力及中国自己的知名品牌。要实现这一目标,企业应通过对引进国外先进技术的消化、学习,不断创新,形成自己的有自主知识产权的创新产品。培养具有创新精神的人才队伍和企业文化,重视产品设计知识资源的积累和获取,运用新的设计思想和方法,实现技术集成和知识集成。随着网络技术的迅速发展,利用网络技术及异地、远程、协同设计和制造技术,可以把分散在不同地点、不同单位的设计力量组织起来,建立虚拟设计中心实现装备的异地协同设计。目前,国家正在实施的西部大开发和发展东北重工业基地战略,为装备制造业的发展提供了巨大的市场需求,我国装备制造业大有可为。

## 1.5 本课程的主要内容

本课程所介绍的现代制造技术与装备主要包括现代制造工艺、现代制造装备、现代制造自动化技术以及现代制造的组织、管理、质量保证的系统技术概要等。

现代制造工艺主要包括广泛应用于现代制造业的高速与超高速切削技术、高能速与射流加工技术、应用新刀具材料的硬态和干式切削与磨削加工技术、电加工技术、精密与超精密加工方法及设备、快速原型制造技术等。现代制造装备主要包括数控机床、加工中心、虚拟轴机床及其技术、机械手与工业机器人、工具系统以及检测设备等。现代制造自动化技术主要包括 CAD/CAE/CAPP/CAM、FMS/FMC、虚拟制造、现代集成制造技术、数字化和网络化制造技术等。现代生产与控制主要包括现代企业生产计划管理与控制方法、物料需求计划、制造资源计划、企业资源计划系统的原理和方法以及制造执行系统等。现代制造物流管理主要包括现代制造物流系统的产生、发展与战略,现代制造物流的设计、组织、计划与控制,物料搬运与存储设备以及供应链管理等内容。现代质量管理主要包括全面质量管理的内容和方法、质量保证体系的建立、ISO 9000 系列标准和国际质量认证体系。现代制造模式主要包括现代先进制造模式、精良生产、敏捷制造、并行工程等。

## 1.6 学习本课程的目的和要求

### 1. 设置本课程的目的

在现代制造技术迅速发展的今天,深入了解并掌握现代制造技术如同掌握其先进技术一样,必须以人为本,离开人文文化,先进技术就难以造福人类。设置本课程的目的就是通过各种形式的教育,培养符合时代潮流与我国国情的制造业的科技人才与管理人才。人才是根本,教育是基础。如果我国的制造业不采用现代先进制造技术,不进行创新,那么就制造不出国家急需而国际上发达国家对我国制约的高技术产品,难以增强我国综合国力。设置本课程的意义就在于使现代大学生能了解现代制造技术与装备的基本内容、发展趋势以及在提高国民经济发展水平方面的巨大潜力,从而去激励和推动我国从事制造业的广大科技人员共同奋斗,为发展壮大民族工业,不断地推广先进制造技术,并在实践中勇于总结提高和创新,从而不断地提高我国的制造技术水平,增强在世界市场的竞争能力。

### 2. 本课程的特色与学习要求

编者在多年从事教学的基础上,密切联系当今制造技术与装备的新发展来组织课程内容,从

基本概念、基本原理和应用发展前景入手,着重阐述各项技术的综合应用,使初学者对现代制造技术与装备有一个总体的清晰概念。每章都有适量的思考题,以便读者进一步深入学习。

本课程涉及内容较多,要求读者着重掌握现代制造技术中各项技术的基本功能及其实现的基本原理和手段,分析现代制造企业存在哪些问题,现代制造技术在其中有什么作用,可以解决什么问题,要求联系生产实际进行调查研究,并综合运用学到的现代制造技术与装备知识,在实践中应用提高。

### 思考题与习题

1. 现代制造技术与传统制造技术的不同点主要体现在哪里?
2. 现代制造技术的内涵是什么? 主要发展趋势是什么? 它包含哪些方面的内容?
3. 现代制造企业如何增强企业核心竞争力? 市场竞争力主要反映在哪里?
4. 生产类型与制造自动化模式有何必然联系? 为什么?
5. 为什么说制造业特别是装备制造业水平标志着一个国家的综合国力?
6. 21世纪的产品对形状、尺寸或性质有哪些新要求? 这些新要求可以用哪些制造技术来实现?



## 第2章 现代制造工艺

### 2.1 高速与超高速加工

#### 2.1.1 概述

高速加工是指采用超硬材料的刀具,通过极大地提高切削速度和进给速度来提高材料切除率、加工精度和加工表面质量的现代加工技术。高速加工技术主要包括高速切削与磨削机理研究、高速主轴单元制造技术、高速进给单元制造技术、高速加工用刀具与磨具制造技术、高速加工在线自动检测与控制技术等。

高速加工是一个相对的概念,由于不同的加工方式、不同的工件材料有不同的高速加工范围,很难就高速加工的速度给出一个确切的范围。目前,一般认为,高速及超高速切削各种材料的切速范围为:铝合金已达到 $2\,000\sim 7\,500\text{ m/min}$ ,铸铁为 $900\sim 5\,000\text{ m/min}$ ,超耐热镍合金达 $500\text{ m/min}$ ,钛合金达 $150\sim 1\,000\text{ m/min}$ ,纤维增强塑料为 $2\,000\sim 9\,000\text{ m/min}$ 。各种切削工艺的切速范围为:车削 $700\sim 7\,000\text{ m/min}$ ,铣削 $300\sim 6\,000\text{ m/min}$ ,钻削 $200\sim 1\,100\text{ m/min}$ ,磨削为 $150\text{ m/s}$ 以上。

在高速及超高速加工技术中,超硬材料工具是实现高速及超高速加工的前提和先决条件,高速及超高速切削、磨削技术是现代高速加工的工艺方法,而高速数控机床和加工中心则是实现高速加工的关键设备。目前,刀具材料已从碳素钢和合金工具钢,经高速钢、硬质合金、陶瓷材料,发展到人造金刚石及聚晶金刚石(PCD)、立方氮化硼及聚晶立方氮化硼(CBN)。切削速度也随着刀具材料的创新而从 $12\text{ m/min}$ 提高到 $1\,200\text{ m/min}$ 以上。随着新刀具(磨具)材料的不断发展,每隔十年切削速度要提高一倍,亚音速乃至超音速加工迟早会变为现实。

#### 2.1.2 高速与超高速加工技术

##### 1. 高速与超高速加工原理

高速与超高速加工要以较快的生产节拍进行加工,它是指刀具切削刃相对于零件表面的切削运动(或移动)速度超过普通切削的 $5\sim 10$ 倍,主要体现在刀具快进、工进及快退三个环节上。在机械加工中,切削温度是一个重要的制约参数,根据德国物理学家萨洛蒙的超高速切削理论,一定的工件材料对应有一个临界切削速度,在该切削速度下其切削温度最高,如图2.1所示。在常规切削速度范围内(图中A区)切削温度随着切削速度的增大而提高。当切削速度达到临界速度后,切削温度反而下降,萨洛

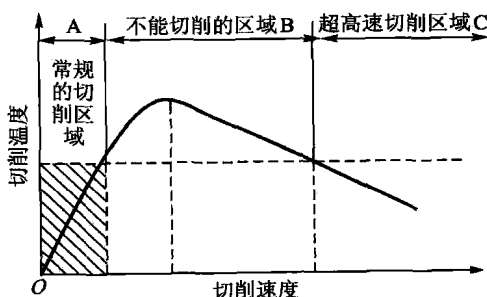


图 2.1 超高速切削示意图