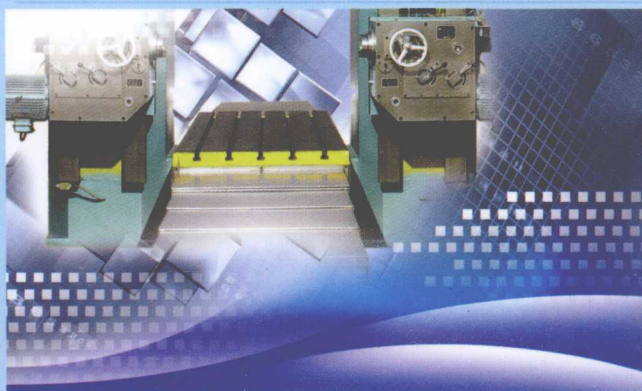




高等教育“十二五”应用型人才重点建设规划教材




# 机械制造工艺

IE ZHIZAO GONGYI

◎ 主 编 陈 磊 吴 暉 繆燕平

◎ 主 审 张岐生

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

高等教育“十二五”应用型人才重点建设规划教材

# 机械制造工艺

主 编 陈 磊 吴 暉 繆燕平  
副主编 梅阳寒 徐学锋 陈凌佳 庄 严  
主 审 张岐生

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

## 内 容 简 介

本书为普通高等教育规划教材。此教材是根据机械工程类专业教学指导委员会推荐的指导性教学计划,并结合这几年高校“机械制造工艺”课程教学工作的实际情况编写的。

这是一本以机械制造工艺和模具技术的基本理论和基本知识为主线,并将与之有关的机床、刀具、夹具等有关内容进行优化整合组建的技术基础课教材。

全书分7章,内容包括绪论、工件的装夹与夹具基础、机械工艺规程的制定、典型模具与机械零件加工工艺、机械加工质量、装配工艺基础和数字化制造技术。

本书以案例教学为主线,取材精炼,说理深入浅出,教材内容与相关实践性教学环节配合默契、联系紧密,是一本比较适用的《机械制造工艺》教材。

本书供高等院校机械设计制造及其自动化、机械工程及自动化、工业工程、热能与动力工程、材料成型及控制工程、农业机械化工程等专业师生作教材;也可作为高职高专机械制造类、数控类、机电类专业的教材或供工厂企业、科研院所从事机械制造、机械设计工作的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺/陈磊,吴暉,繆燕平主编. —北京:北京理工大学出版社,2010.8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 3459 - 7

I. ①机… II. ①陈…②吴…③繆… 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 142073 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 22.75

字 数 / 428 千字

版 次 / 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷 责任编辑 张慧峰

印 数 / 1~4000 册 责任校对 王 丹

定 价 / 38.00 元 责任印制 边心超

---

图书出现印装质量问题,本社负责调换

## 前 言

“机械制造工艺”是机械工程类专业教学指导委员会推荐设置的一门主干技术基础课。通过学习这门课程,要求学生掌握机械制造技术的基本知识和基本理论,为学习后续专业课和做毕业设计或毕业论文打下基础,也为学生毕业后从事机械设计制造工作打下基础。机械加工工艺的编制和工艺装备的应用是保证机械加工产品质量和效益的前提条件。本书从实用性、可操作性和先进性的角度出发,全书以案例教学为主线,以少而精为原则,以掌握机械加工实际生产技能为目标,针对学生在学习机械加工过程中需要解决的问题和难点,依据机械工程应用型人才培养目标而编写。

本书是普通高等教育规划教材。这是一本以机械制造工艺和模具制造技术的基本理论和基本知识为主线,将与之有关的机床、刀具、夹具等有关内容进行优化整合组建的技术基础课教材。本书按 60~80 学时编写。

“优质、高产、低成本”是指导机械制造的基本原则。机械制造人员的任务就是要在一定的生产条件下,按照预定的供货日期要求,最经济地制造出具有规定质量要求的机器。本教材将着力论述并自始至终贯彻这些原则。

“机械制造工艺”是一门实践性很强的课程,须有相应的实践性教学环节与之配合。学习本课程前,学生须经“金工实习”环节的培训;学习本课程后,学生要到校外机械制造工厂进行生产实习。为帮助学生消化吸收“机械制造工艺学”课程的基本内容,本课程设有课程设计环节,旨在培养学生设计工艺规程和机床夹具的基本能力。为与生产实习、课程设计等实践性教学环节相配合,本书采用加工方法与常用制造装备和当前最新模具技术相融合的方法,适当充实了模具加工方法与常用制造装备的内容,并将机床夹具设计专设一章介绍。

本书语言精练,论述清晰,图文并茂,书中内容与企业接轨,采用企业实际加工零件的工艺过程,充分体现理论知识与实践技能的结合及应用。本书的编写人员全是“双师型”教师和企业生产设计工作者,具有丰富的工程实践和教学经验。本书具有实用性与先进性并举的特点及紧扣生产实际的鲜明特色。书中每章都附有一定数量的习题,以增强读者从事本专业领域生产加工的基本能力和技能。

读者可通过对书中企业实际产品工艺实例的学习和研究,开拓思路,掌握机床夹具的使用、工件的定位与夹紧方法、机械加工工艺设计、机械加工产品质量和生



产率等知识,使理论知识融会贯通于生产实践,为获得职业资格证书,走向工作岗位,快速适应社会生产需求奠定基础。

本书第1章、第2章、第5章5.1~5.5节和第7章由江西蓝天学院陈磊编写;第3章由江西蓝天学院吴暉编写;第4章由江西蓝天学院缪燕平编写;第5章5.6节由江西环境职业技术学院陈凌佳编写;第5章5.7节由江西大宇职业技术学院徐学锋编写;第6章由江西制造职业技术学院梅阳寒编写;云南能源职业技术学院庄严编写了其中的部分案例。全书由陈磊统稿,张岐生教授主审。

限于编者的水平,书中错误或不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 制造、制造业、制造系统与制造技术 .....	1
1.2 机械制造业在国民经济中的地位 .....	1
1.3 我国机械制造业的发展状况 .....	2
1.4 机械制造技术的发展过程和趋势 .....	4
1.5 本课程的性质、特点与学习目的 .....	7
<b>第 2 章 工件的装夹与夹具基础</b> .....	10
2.1 概述 .....	10
2.1.1 装夹的概念 .....	10
2.1.2 机床夹具的作用 .....	13
2.1.3 机床夹具的分类 .....	14
2.1.4 机床夹具的组成 .....	15
2.1.5 机床夹具的现状与发展方向 .....	17
2.2 工件的定位 .....	18
2.2.1 六点定位原理 .....	18
2.2.2 典型定位方式的定位分析 .....	19
2.2.3 完全定位和不完全定位 .....	21
2.2.4 欠定位和过定位 .....	23
2.3 定位误差及其计算 .....	24
2.3.1 定位误差的组成 .....	24
2.3.2 典型定位方式的定位误差计算 .....	26
2.4 典型定位元件 .....	31
2.4.1 定位元件的要求 .....	31
2.4.2 常见定位方式及定位元件 .....	31
2.5 工件的夹紧 .....	37
2.5.1 夹紧装置的组成和设计要求 .....	37
2.5.2 夹紧力确定的基本原则 .....	38
2.5.3 常用的夹紧机构及选用 .....	41

2.6 各类机床夹具 .....	43
2.6.1 车床夹具 .....	43
2.6.2 铣床夹具 .....	44
2.6.3 钻床夹具 .....	49
2.6.4 镗床夹具 .....	53
2.6.5 磨床夹具 .....	53
2.6.6 数控机床夹具 .....	54
2.6.7 组合夹具 .....	56
2.7 夹具设计方法 .....	61
2.7.1 夹具设计的方法和步骤 .....	61
2.7.2 案例——轴键槽铣削夹具 .....	63
思考题 .....	70
<b>第3章 机械工艺规程的制定</b> .....	71
3.1 基本概念 .....	71
3.1.1 学习目的 .....	71
3.1.2 案例分析 .....	71
3.1.3 相关知识点 .....	75
3.2 工艺规程的制定 .....	81
3.2.1 学习目的 .....	81
3.2.2 案例分析 .....	81
3.2.3 相关知识点 .....	83
3.3 零件的结构工艺性分析 .....	87
3.3.1 学习目的 .....	87
3.3.2 案例分析 .....	87
3.3.3 相关知识点 .....	90
3.4 基准选择 .....	103
3.4.1 学习目的 .....	103
3.4.2 案例分析 .....	103
3.4.3 相关知识点 .....	107
3.5 工序的安排 .....	112
3.5.1 学习目的 .....	112
3.5.2 案例分析 .....	112
3.5.3 相关知识点 .....	116
3.6 工序内容 .....	122
3.6.1 学习目的 .....	122
3.6.2 案例分析 .....	122

3.6.3	相关知识	125
3.6.4	练习	128
3.7	尺寸链的计算	128
3.7.1	学习目的	128
3.7.2	案例分析	128
3.7.3	相关知识	133
3.8	时间定额与劳动生产率	135
3.8.1	学习目的	135
3.8.2	案例分析	135
3.8.3	相关知识	139
	思考题	141
<b>第4章</b>	<b>机械加工质量</b>	144
4.1	工艺系统的几何误差	144
4.1.1	学习目标	144
4.1.2	案例分析	144
4.1.3	相关知识	146
4.1.4	练习	151
4.2	工艺系统的受力变形	151
4.2.1	学习目的	151
4.2.2	案例分析	151
4.2.3	相关知识	153
4.2.4	练习	156
4.3	工艺系统的热变形	157
4.3.1	学习目的	157
4.3.2	案例分析	157
4.3.3	相关知识	158
4.3.4	练习	160
4.4	残余应力引起的误差及保证加工精度的途径	161
4.4.1	学习目的	161
4.4.2	案例分析	161
4.4.3	相关知识	162
4.4.4	练习	164
4.5	机械加工表面质量	165
4.5.1	学习目的	165
4.5.2	案例分析	165
4.5.3	相关知识	167



4.5.4 练习 .....	169
4.6 零件表面层物理力学性能 .....	170
4.6.1 学习目的 .....	170
4.6.2 案例分析 .....	170
4.6.3 相关知识点 .....	171
4.6.4 练习 .....	174
思考题 .....	174
<b>第5章 典型模具与机械零件加工工艺</b> .....	<b>176</b>
5.1 模板和矩形零件的加工 .....	176
5.1.1 模板类零件的分类 .....	176
5.1.2 模板加工工艺特点 .....	176
5.1.3 模板类零件的加工方法 .....	177
5.1.4 模板上圆孔和系列圆孔的加工 .....	181
5.1.5 矩形件、矩形孔以及异形孔的加工 .....	187
5.1.6 模板零件上的深孔加工 .....	189
5.1.7 模板加工实例 .....	192
5.2 圆柱形零件的加工 .....	193
5.2.1 模具中常见的圆柱形零件 .....	193
5.2.2 圆柱形零件的加工方法 .....	193
5.2.3 圆柱形零件加工实例 .....	197
5.3 筒形零件加工 .....	201
5.3.1 模具中常见的筒形零件 .....	201
5.3.2 模具中的筒形零件加工 .....	202
5.3.3 模具导套的机械加工实例 .....	203
5.3.4 其他筒形零件加工 .....	205
5.4 模具工作零件的加工 .....	207
5.4.1 概述 .....	207
5.4.2 模具工作零件的机械加工及其实例 .....	208
5.5 模具工作零件的数控加工 .....	226
5.5.1 数控加工的优点 .....	226
5.5.2 数控加工工艺的内容和特点 .....	227
5.5.3 数控加工工艺分析 .....	229
5.5.4 数控加工工艺规程的制定 .....	231
5.5.5 加工路线的确定 .....	235
5.5.6 模具工作零件加工常用数控机床技术规格 .....	238
5.5.7 常用刀柄及其标准 .....	241

5.6	模具工作零件的工艺路线 .....	242
5.6.1	模具工作件加工的工艺分析 .....	243
5.6.2	模具工作件的工艺路线 .....	243
5.7	典型机械零件加工 .....	249
5.7.1	轴类零件 .....	249
5.7.2	箱体零件加工 .....	251
5.7.3	齿轮零件加工 .....	254
5.7.4	套筒零件加工 .....	257
	思考题 .....	260
<b>第6章</b>	<b>装配工艺基础</b> .....	261
6.1	概述 .....	261
6.2	装配精度与保证装配精度的方法 .....	262
6.2.1	装配精度概述 .....	262
6.2.2	冲模的装配精度 .....	262
6.2.3	塑料注射模装配精度的要求 .....	264
6.3	装配尺寸链 .....	264
6.3.1	用极值法解装配尺寸链 .....	264
6.3.2	用概率法解装配尺寸链 .....	265
6.4	装配方法及其应用范围 .....	267
6.4.1	互换装配法 .....	267
6.4.2	分组装配法 .....	268
6.4.3	修配法 .....	269
6.4.4	调整装配法 .....	271
6.5	模具装配工艺过程 .....	272
6.6	冲裁模的装配 .....	273
6.7	弯曲模和拉深模装配的特点 .....	286
6.8	塑料模的装配 .....	288
	思考题 .....	297
<b>第7章</b>	<b>数字化制造技术</b> .....	298
7.1	数字化制造技术概论 .....	298
7.1.1	数字化制造技术的概念和内容 .....	298
7.1.2	数字化制造技术的研究现状和发展趋势 .....	299
7.1.3	数字化制造的关键技术 .....	301
7.1.4	覆盖件模具 .....	302
7.1.4	模具数字化制造 .....	303
7.2	覆盖件模具数字化设计 .....	305

7.2.1	数字化设计方法 .....	305
7.2.2	UG NX2 简介 .....	307
7.2.3	拉延件数字化设计 .....	307
7.2.4	拉延模具的数字化设计 .....	314
7.2.5	模具数字化装配与干涉分析 .....	315
7.3	覆盖件模具数字化分析 .....	317
7.3.1	板料成形有限元模拟方法的基本原理 .....	317
7.3.2	AutoForm 简介 .....	320
7.3.3	面罩骨架上模梁内板拉延件的模拟成形及优化 .....	321
7.4	覆盖件模具的数字化加工 .....	328
7.4.1	数控加工的基本原理 .....	328
7.4.2	模具数控加工工艺技术 .....	331
7.4.3	基于 UG NX2/CAM 的覆盖件模具数字化制造方法 .....	333
7.4.4	凹模的数字化制造 .....	339
7.4.5	凸模和压边圈的数字化制造 .....	341
7.5	产品的数据交换和管理 .....	342
7.5.1	图形交换文件格式 DXF .....	342
7.5.2	基本图形转换规范 IGES .....	344
7.5.3	后置处理 .....	347
7.5.4	覆盖件模具数字化开发模式 .....	350
	思考题 .....	352
	参考文献 .....	353

# 第1章

## 绪论

### 1.1 制造、制造业、制造系统与制造技术

所谓制造,是一种将有关资源(如物料、能量、资金、人力资源、信息等)按照社会的需求转变为新的、有更高应用价值资源的行为和过程。随着社会的进步和制造活动的发展,制造的内涵也在不断地深化和扩展,因此制造的概念是不断发展进化的。机械制造是各种机械、仪器、仪表制造过程的总称。制造业是进行制造活动,为人们提供生产中所使用的工业品或生活消费品的行业。人类的生产工具、消费产品、科研设备、武器装备等,没有哪一样能离开制造业,没有哪一样的进步能离开制造业的进步,这些产品都是由制造业提供的。可以说制造业是国民经济的装备部,是国民经济产业的核心,是工业的心脏,是国民经济和综合国力的支柱产业。

制造过程是制造业的基本行为,是将制造资源转变为有形财富或产品的过程。制造过程涉及国民经济的大量行业,如机械、电子、轻工、化工、食品、军工、航天等,因此制造业对国民经济有较显著的影响。

制造系统是制造业的基本组成实体。制造系统是由制造过程及其所涉及的硬件、软件和制造信息等组成的一个具有特定功能的有机整体。其中,硬件包括人员、生产设备、材料、能源和各种辅助装置,软件包括制造理论和制造技术,而制造技术又包括制造工艺和制造方法等。

广义而言,制造技术是以满足人们所需为目的,运用主观掌握的知识和技能,利用客观物质并采用有效的方法,使原材料转化为物质产品的过程所施行的手段总和,是生产力的主要体现。制造技术、投资和熟练劳动力结合在一起将创造新的企业、新的市场和新的就业。制造技术是制造业的支柱,而制造业又是工业的基石,因此可以说制造技术是一个国家经济持续增长的根本动力。机械制造技术就是完成机械制造活动所施行的一切手段的总和。

### 1.2 机械制造业在国民经济中的地位

机械制造业是制造业的最主要组成部分,它的主要任务就是完成机械产品的决策、设计、制造、装配、销售、售后服务及后续处理等,其中包括对半成品零件的加

工技术、加工工艺的研究及其工艺装备的设计制造。机械制造业担负着为国民经济建设提供生产装备的重任,为国民经济各行业提供各种生产手段,其带动性强、涉及面广,产业技术水平的高低直接决定着国民经济其他产业竞争力的强弱,以及今后运行的质量和效益。机械制造业也是国防安全的重要基础,为国防提供所需武器装备,世界军事强国无一不是装备制造业的强国。机械制造业还是高科技产业的重要基础。作为基础的高科技一般认为有五大领域,即信息技术、先进制造科技、材料科技、生命科技和集成科技。世界机械制造业占工业的比重,从1980年以来已上升至超过1/3。机械制造业的发展不仅影响和制约着国民经济与各行各业的发展,而且还直接影响和制约着国防工业和高科技的发展,进而影响到国家的安全和综合国力,对此应有足够清醒的认识。

机械工业是为国民经济提供技术装备和为人民生活提供耐用消费品的产业。为国民经济各部门提供冶金机械、矿山及工程机械、石油化工机械、各类运输机械、机床工具及仪器仪表、纺织及包装轻工机械、农牧业加工机械等,为人民提供的耐用消费品,如洗衣机、冰箱、空调、缝纫机、轿车等。从其应用的广泛性可见,不论传统还是新兴产业都离不开各种各样的机械装备。机械制造业是国家的支柱产业之一,其生产能力和技术水平是衡量一个国家或地区科技水平和经济实力的重要标志,其技术水平取决于机械制造装备的性能和质量,而产品的性能和质量则与制造过程的工艺技术和工艺系统装备的水平直接相关。因此,工艺及工装技术是制造业的基础,是生产高科技机电产品的技术保障,离开它就不能开发和制造出新产品,也不能提高生产率、降低成本和缩短生产周期。

### 1.3 我国机械制造业的发展状况

目前我国的机械制造业已经具有相当雄厚的实力,为国民经济、国防和高科技提供了有力的支持,我国的机械制造业为汽车、火车、飞机、农业机械、火箭、宇宙飞船、电站、船舶、计算机、家用电器、电子及通信设备等行业提供了生产装备。机械制造业是我国实现经济腾飞,提升高科技与国防实力的重要基础。据介绍,1980年,中国制造业增加值仅占世界的1.5%。1990年,中国制造业增加值超过巴西,位居发展中国家和地区之首,占全球比重的2.7%,进入了世界制造业十强,位居第八。2000年,中国制造业增加值占全球的比重达7.0%,仅次于美国、日本和德国,在世界十强中居第四位。2004年,中国在全球制造业中的份额提高至10%,排名超过德国,上升至世界第三位。2005年的统计表明,全国机械工业生产、销售延续了前两年高速增长的势头,增速分别保持在20%以上,我国机械制造业的主要经济指标占全国工业的比重约为1/5~1/4,出口额占全国外贸总额的30%,从业人数占工业总人数的25%。从机床生产能力可以看出一个国家的机械制造业水平。我国能自主设计、生产各种普通机床、小型仪表机床、重型机床以及各种精密

的、高度自动化的、高效率的和数字控制的机床,产品品种较齐全,大部分已达到20世纪90年代国际水平,部分已达到国际先进水平。

经过半个多世纪的努力,尤其是改革开放以来,通过引进吸收与自主开发,我国的机械工业已经基本形成门类齐全、具有相当规模及技术开发能力的支柱产业。产业的结构正向着合理化方向发展,先进的制造技术不断在生产中应用推广,机电及相关高效技术产品生产基地正在逐步形成。

大型成套设备的装备能力提高了,如我国已能自行设计制造60万千瓦火力发电机组、70万千瓦水力发电机组、500万吨的大型钢铁成套设备等。通过引进技术的消化吸收,一批先进的高精密制造技术也在我国生产中应用和普及。

新产品的开发水平提高了,大批重点骨干企业在关键工序增加了先进、精密、高效的关键设备,从而进入到高技术开发企业行列;研制出如超重型数控龙门铣、高精度五轴数控镗铣床、SX-T大规模集成电路光栅数显仪、大吨位超重水压机等;制造技术水平不断提高,精密及超精密加工精度已达到亚微米级和亚纳米级,已形成完整的先进数控机床、新型刀具开发的制造体系。

国防建设及装备的能力提高了,我国已成功发射各种功能和用途的人造卫星,且卫星发射已成功进入市场运行机制。神舟五号、神舟六号的成功发射赢得了广泛的国际声誉,我国还为其他国家成功发射多颗各种用途卫星。

进入21世纪,我国已基本建立社会主义市场经济体制。全球性的产业结构重新组合和国际分工不断深化,科学技术在突飞猛进地发展,各国都把提高产业竞争能力及发展高新技术,抢占未来经济的制高点,作为科技工作的主攻方向。在机械制造技术方面,我国与世界各国的联系日益紧密,中国市场与国际市场进一步接轨,面对国内外市场的激烈竞争,我国企业对技术的需求更加迫切和强烈。努力找出我们的差距和任务,才能够在制造工艺技术与管理水平上提高自己的竞争力。与工业发达国家相比,我国机械制造业仍存在整体发展不均衡的差距,集中表现为整体制造技术水平在设计方法和手段、制造工艺、制造过程自动化技术及管理技术诸多方面都明显落后。为了提高整体制造技术水平,首先要重视工艺,按经济规律组织生产,不断提高生产管理水平,处理好质量、生产率和经济性之间的关系,找出三者最佳结合点。不断提高企业的产品自主开发能力,以新兴微电子、光电技术为基础,着力发展重型成套设备、装备的能力,提高轿车大批量制造技术的水平,提高生产优质高效的精密仪器及工艺装备的能力,为新产品的投产及形成规模提供新工艺、新装备,形成合理比例的常规制造技术、先进制造技术及高新技术并存的多层次结构,这将成为我国机械加工技术近期发展的战略任务。

机械工业科技发展正面临着挑战与机遇并存的新形势,我们应当抓住机遇,迎接挑战,坚决贯彻“以科技为先导,以质量为主体”的方针,进一步推动我国机械工业的发展。

半个世纪以来,我国的机械工程学科得到了很大的发展,已经建立了较完善的



学科体系,在学科前沿、技术创新和工程应用等方面取得了突出成就。在机械工程科学与信息科学、生命科学、管理科学相结合方面所取得的成就,使得机械工程系得到了很大的扩展。在智能结构、智能机械系统、快速成型制造、仿生机械以及仿生制造等方面,也取得了较显著的成就,形成了新的研究方向和研究群体。我国确定的在机械工程学科方面“十一五”优先领域中与机械制造技术有关的内容有:

(1) 纳米加工、纳米测量及纳米机械。要着重解决纳米溯源、传递、定位、对准的理论和技術问题,以及纳米尺度加工的新工艺和新方法问题。

(2) 微型机电系统的设计、制造理论和技术。要在微结构的设计、兼容性和实现集成方面,及其制造技术(刻蚀技术、特种加工等)方面深入进行研究。

(3) 仿生机构与仿生制造。主要的研究内容有生物活体组织的工程化制造、仿生设计与仿生制造系统、仿生微型机械及其生物制造工艺、生物遗传制造等。

(4) 智能机械结构及其制造系统。例如智能机器人、智能制造系统等。

(5) 数字化制造,包括虚拟制造、网络制造、模拟仿真和虚拟测试等。

(6) 可重构制造系统。主要研究方向是柔性制造单元与可重构制造系统结构的优化设计理论与随机动态规划、在可重构制造系统内机械零件的制造工艺与装备等。

(7) 高效、精密及低成本加工方法。要着重研究解决并联机床关键技术、超高速切削和磨削机理、新型刀具和磨具材料与结构的基本理论、超精密加工技术以及基于环境意识的加工制造技术等问题。

(8) 产品的绿色设计和制造。这方面的研究内容主要有:建立绿色产品、绿色制造系统的模型,建立绿色产品的评价体系、机械设备和国防装备在制造中的关键技术,以及电磁污染问题的解决途径等。

## 1.4 机械制造技术的发展过程和趋势

机械制造有着悠久的历史,我国秦朝的铜车马已有带锥度的铜轴和铜轴承,说明在公元 210 年以前就可能存在磨削加工。从 1775 年英国 J. Wilkinson 为了加工瓦特蒸汽机的汽缸成功研制镗床开始,到 1860 年,经历了漫长岁月后,车、铣、刨、磨、齿轮加工等机床相继出现。1898 年发明了高速钢,使切削速度提高了 2~4 倍,1927 年德国首先研制出硬质合金刀具,切削速度比高速钢刀具又提高了 2~5 倍。为了适应硬质合金刀具高速切削的需求,金属切削机床的结构发生了较明显的改进,从带传动改为齿轮传动,机床的速度、功率和刚度也随之提高。至今,仍然广泛使用着各种各样齿轮传动的金属切削机床,但在结构、传动方式等方面,尤其在控制方面有了极大的改进。

加工精度可以反映机械制造技术的发展状况。1910 年的加工精度大致是 10 mm(一般加工),1930 年提高到 1 mm(精密加工),1950 年提高到 0.1 mm(超精

密加工),1970年提高到0.01 mm,而目前已提高到0.001 mm(纳米加工)。

20世纪80年代末期,美国为提高制造业的竞争力和促进国家的经济增长,首先提出了先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)的概念,并得到欧洲各国、日本以及一些新兴工业化国家的响应。在AMT提出的初期,主要发展集中在与计算机和信息技术直接相关的技术领域方面,该领域成为世界各国制造工业的研究热点,取得了迅猛的发展和应。这方面的主要成就有:

(1) 计算机辅助设计技术(Computer Aided Design, CAD)。可完成产品设计、材料选择、制造要求分析、优化产品性能以及完成通用零部件、工艺装备和机械设备的设计与仿真等工作。

(2) 计算机辅助制造技术(Computer Aided Manufacturing, CAM)。以计算机数控机床(Computer Numeric Control, CNC)、加工中心(Machining Center, MC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)为基础,借助计算机辅助工艺过程设计(Computer Aided Process Planing, CAPP)、成组技术(Group Technology, GT)和自动编程工具(Automatically Programmed Tool, APT)等技术,可实现零件加工的柔性自动化。

(3) 计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。把工厂生产的全部活动,包括市场信息、产品开发、生产准备、组织管理以及产品的制造、装配、检验和产品的销售等,都用计算机系统有机地集成为一个整体。

在实践过程中,人们逐渐认识到制造技术的各方面必须协调发展。如果仅仅局限于系统技术和软件设计,忽视对制造工艺等主体技术的研究,脱离实际地强调无人化生产,必将导致制造技术各领域发展的严重失衡,以至不能充分发挥效益。1994年,美国联邦科学工程和技术协调委员会下属的工业和技术委员会先进制造技术工作组,系统地说明了AMT的技术群内容:第一,主体技术群,包括面向制造的设计技术群(包括产品设计、工艺过程设计和工厂设计等)和制造工艺技术群(主要涉及产品制造与装配工艺过程及其工艺装备)。第二,支撑技术群,主要包括理论、标准、信息、机床、工具、检测、传感与控制等各方面的技术。第三,制造基础设施,是指为管理上述技术群的开发并激励推广应用而采取的各种方案与机制,其要素主要是工人、工程技术人员和管理人员的培训与教育。

近20年来,随着科学技术的发展和社会与环境因素的改变,世界制造业已进入了一个巨大变革时期,这一变革的主要特点是:

(1) 先进技术的出现正急剧地改变着现代机械制造业的产业结构和生产过程。

(2) 传统的相对稳定的市场已经变成了动态的多变的市场,产品周期缩短,更新快,品种增多,批量缩小。目前市场对产品的需求不仅是价廉物美,而且还要交货期短,售后服务好,乃至还要求具有深刻的文化内涵和良好的环境适应性。

(3) 传统的管理、劳动方式、组织结构和决策准则都在经历着新的变革。

(4) 包括资本与信息在内的生产能力在世界范围内迅速提高和扩散,形成了全球性的激烈竞争格局,市场经济化的潮流正在将越来越多的国家带进世界经济一体化之中。随着生产力的国际扩散,产业间和产业内的国际分工已成为一股不可抗拒的发展潮流。

21世纪是知识经济来临的世纪。所谓知识经济,是一种以知识(而不是物质资源)作为其主要支柱的经济。知识经济的发展,在极大程度上依赖于知识的创造、传输和利用。近年来,美国蓝领工人的人数从占劳动人口的33%下降到17%,即产生了劳动力从工业向信息业和服务业的转移。世界各发达国家都在加速发展教育,尤其是高等教育和职业教育。在这样的大趋势下,可以预见,机械制造业需要加以调整和改造。其主要发展趋势如下。

### 1. 现代机械制造业的信息化趋势

物质、能量和信息是构成制造系统的三大要素。前两者在历史上曾经占据主导地位,受到重视并进行研究、开发和利用。随着知识经济的到来,信息这一要素正在迅速上升成为制造系统的主导因素,并对制造业产生实质性的影响。现代产品是在其制造过程中所投入的知识和信息的物化和集成,这些知识和信息被物化在产品中,影响着产品的生产成本。产品信息的质(内容)决定该产品的使用价值,而产品信息的量则度量其交换价值。另外,信息技术的水平对于制造业的组织结构和运行模式有着决定性的影响。机械制造业从手工模式,发展到泰勒模式,直到现代模式,而制约与促进这一发展的基本因素是信息技术的水平。适应知识经济条件下的信息技术水平的制造业的组织结构和运行模式一定会在探索中形成。

### 2. 现代机械制造业的服务化趋势

今天的制造业正在演变为某种意义上的服务业。工业经济时代大批量生产条件下的“以产品为中心”正在转变为“以顾客为中心”,一种“顾客化大生产”(Mass Customized Manufacturing)模式正在确立。在这种模式下,借助于分布式、网络化的制造系统,以大批生产条件生产各个顾客不同需求的产品,既可以满足顾客的个性化要求,又能高效率和高效益生产,实现高质量、低价格目标。今天,制造业所考虑和所操作的不止是产品的设计与生产,而是包括市场调查、产品开发或改进、生产制造、销售、售后服务,直到产品的报废、解体与回收的全过程,涉及产品的整个生命周期,体现了制造业全方位为顾客服务、为社会服务的宗旨。

### 3. 现代机械制造业的高技术化趋势

促进机械制造业发展的有信息技术、自动化技术、管理科学、计算机科学、系统科学、经济学、物理学、数学、生物学等。机械制造业发展的方向主要有:

(1) 切削加工技术的研究。切削加工是机械制造的基础方法,切削加工约占机械加工总量的95%左右。目前陶瓷轴承主轴的转速已达15 000~500 000 r/min,采用直流电动机的数控进给速度可达每分钟数十米,高速磨削的切削速度可达100~150 m/s。要研究新的刀具材料,提高刀具的可靠性和切削效率,研制柔性自动化