



普通高等教育“十五”国家级规划教材

高等学校机械工程及自动化  
机械设计制造及其自动化

专业系列教材

# 先进制造技术

华中科技大学 宾鸿赞 主编  
西北工业大学 王润孝



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材  
高等学校机械工程及自动化  
机械设计制造及其自动化专业系列教材

# 先进制造技术

华中科技大学 宾鸿赞 主 编  
西北工业大学 王润孝

高等教育出版社

## 内容提要

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,也是高等学校机械工程及自动化,机械设计制造及其自动化专业系列教材之一。

本书构建了先进制造技术课程教材的新体系,内容反映国内外新成果,提出了先进制造技术的“三域活动”论点,使学生全面理解先进制造技术的内涵。本书还采取数字化理论体系,强调信息模型在加工、质量控制、生产管理中的作用,其编写思想强调以人为本,符合可持续发展策略,指明了制造技术创新的途径与动力。本书不仅适当将科研成果转化为教学内容、应用实例进行教学,理论联系实际,而且以市场驱动经济为背景,介绍了快速响应市场的先进制造技术。全书除绪论外共分6章。第1章制造业与先进制造技术概论,第2章加工域活动中的先进工艺。第3章加工域活动中的先进装备,第4章物流域活动的先进技术,第5章信息域活动的先进技术,第6章制造行为的分析、监控先进技术。

本书可作为高等工科院校机械工程及自动化,机械设计制造及其自动化专业的教材,也可作为普通高等院校其它相关专业的教材或参考书,还可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校相关专业的教材或参考书,亦可供从事机械制造的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/宾鸿赞,王润孝主编. —北京:高等教育出版社,2006.1

ISBN 7-04-018140-1

I. 先… II. ①宾…②王… 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(2005)第130921号

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京鑫丰华彩印有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×1092 1/16	版 次	2006年1月第1版
印 张	25.25	印 次	2006年1月第1次印刷
字 数	620 000	定 价	31.40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 18140-00

# 前 言

本书是教育部普通高等教育“十五”国家级教材规划选题的教材,由华中科技大学宾鸿赞和西北工业大学王润孝主编,是高等学校机械工程及自动化,机械设计制造及其自动化专业领域的教材,主要面向本科生。

绪论中讨论了如何将我国由制造大国变为制造强国的途径,论述了用信息化技术改造传统机械制造技术的必要性与具体内涵。

第1章对制造业与先进制造技术进行了概述,提出制造行为的“三域”活动的看法,即加工域活动、物流域活动和信息域活动,论述了制造技术创新的策略。

第2章介绍了加工域活动的先进制造工艺,如生长型制造、虚拟制造、可持续制造、生物制造、精密和超精密制造、微细加工、先进受迫成形技术等。

第3章阐述了加工域活动中的先进制造装备,如高速切削机床、并联运动机床、高速精密数控机床等。

第4章介绍了物流域活动的先进技术,包括工业机器人、自动导向小车、自动化立体仓库、物料自动识别及数据获取、柔性制造系统的运储系统等。

第5章阐述了信息域活动的先进技术,论及了制造企业信息化、制造过程数字控制与在线监控、网络化制造、电子化制造(e-制造)、制造执行系统、现代化企业管理模式及管理技术(如ERP、6 $\sigma$ 管理)等。

第6章论述了制造行为的分析、监控先进技术,包括加工过程的建模及信息模型、知识及其数据化处理、信息融合策略等。

全书在编写过程中注意了将科研成果转化为教学内容,注意了实例教学的方法,并力求以新颖的体系结构面世。

全书结构框架由宾鸿赞提出初步方案,经作者们补充完善后定稿,确定了编写任务的分工。

绪论、第1章、第2章、第6章由华中科技大学完成,2.1节和2.5节由阳佳撰写,2.4节由梁伟文撰写,第6章由郑相周撰写,其余部分由宾鸿赞撰写。

第3章、第4章、第5章由西北工业大学完成,王润孝组织、规划并修改,第3章由徐娅萍撰写,第4章由汤军社撰写,第5章由刘笃喜撰写。

全书最后由宾鸿赞统稿。

中国科学院院士、华中科技大学熊有伦教授认真审阅本书,深表感谢。

先进制造技术处于不断发展中,书中的不妥之处,敬请读者指正。

作者 2005年1月

# 目 录

绪论 .....	1	的应用 .....	56
第 1 章 制造业与先进制造技术概论 .....	7	2.1.6 RPM 技术的未来发展趋势 .....	57
1.1 制造行为的“三域”活动 .....	8	2.2 可持续制造技术 .....	58
1.1.1 加工域活动 .....	8	2.2.1 再造技术 .....	59
1.1.2 物流域活动 .....	12	2.2.2 干式切削与磨削 .....	68
1.1.3 信息域活动 .....	15	2.2.3 可重构制造系统与可重构机床 .....	70
1.1.4 先进制造技术的内涵与特征 .....	19	2.3 虚拟制造技术 .....	81
1.2 制造理念的更新 .....	20	2.3.1 定义与分类 .....	81
1.2.1 制造模式 .....	20	2.3.2 虚拟制造 (VM) 与若干相关概念之间的关系 .....	83
1.2.2 加工工艺系统 .....	22	2.3.3 虚拟制造的体系结构 .....	84
1.2.3 虚/实集成加工单元 .....	22	2.4 精密和超精密切削加工 .....	92
1.2.4 可持续制造 .....	26	2.4.1 概述 .....	92
1.2.5 大量定制 .....	28	2.4.2 金刚石刀具超精密切削机理及特点 .....	95
1.3 制造技术的创新策略 .....	33	2.4.3 铝合金零件的精密和超精密车削 .....	97
1.3.1 制造技术创新的空间与动力 .....	34	2.4.4 铝合金零件的精密和超精密铣削 .....	100
1.3.2 制造技术创新的基础 .....	37	2.4.5 精密和超精密磨削加工 .....	101
1.3.3 制造技术创新的手段 .....	37	2.4.6 精密和超精密研磨 .....	106
1.3.4 制造技术创新虚拟检验的有效途径 .....	40	2.4.7 精密和超精密抛光 .....	108
1.4 自适应企业策略 .....	40	2.5 微细加工技术 .....	111
1.4.1 动态资源优化 .....	41	2.5.1 概述 .....	111
1.4.2 自动和智能管理 .....	42	2.5.2 微细加工技术分类 .....	112
1.4.3 连续而可靠操作 .....	42	2.5.3 半导体基片的加工 .....	112
第 2 章 加工域活动中的先进工艺 .....	44	2.5.4 微细切削加工 .....	116
2.1 生长型制造 .....	44	2.5.5 微细特种加工 .....	121
2.1.1 生长型制造技术的典型工艺 .....	45	2.5.6 纳米加工技术 .....	128
2.1.2 CAD 系统与快速原型 (RP) 系统之间的接口标准 .....	49	2.6 复杂刃形刀具与 CNC 机床互补优化集成加工技术 .....	131
2.1.3 制作原型的扫描路径 .....	53	2.6.1 径向剃齿刀与径向剃齿工艺 .....	132
2.1.4 生长型制造技术的典型应用 .....	54		
2.1.5 生长型制造在医疗领域中			

2.6.2 锥面球头立铣刀与模具 型腔曲面加工 .....	132	4.1.1 基本概念 .....	217
2.6.3 型钢轧辊的异型刀具与 仿形切削 .....	133	4.1.2 生产物流 .....	220
2.7 生物制造 .....	135	4.1.3 生产物流系统的设计 .....	222
2.7.1 概述 .....	135	4.2 工业机器人 .....	225
2.7.2 生物制造技术的发展 历程 .....	136	4.2.1 工业机器人基础 .....	225
2.7.3 生物处理工程 .....	138	4.2.2 工业机器人在物流域的 应用 .....	232
2.7.4 生物制造管理 .....	140	4.3 自动导向小车(AGV) .....	240
2.7.5 生物制造工程 .....	140	4.3.1 AGV的组成 .....	240
2.7.6 生物制造技术的展望 .....	144	4.3.2 AGV的导引方式 .....	245
2.8 精净成形工艺 .....	145	4.3.3 AGV的控制 .....	248
2.8.1 冲压成形工艺 .....	146	4.4 自动化立体仓库 .....	249
2.8.2 冲压工艺分类 .....	147	4.4.1 自动化立体仓库的构成 .....	249
2.8.3 冲压成形过程计算机仿真 的原理及步骤 .....	150	4.4.2 巷道堆垛机 .....	251
2.8.4 金属板材柔性成形的新 技术——多点成形 .....	152	4.4.3 立体仓库的计算机管理及 控制系统 .....	256
2.8.5 广义成形性技术 .....	153	4.5 物料自动识别及数据获取 .....	261
2.8.6 冲压模 CAE 技术 .....	153	4.5.1 概述 .....	261
2.8.7 精净成形技术的发展 .....	154	4.5.2 条形码技术 .....	262
2.8.8 微成形技术 .....	155	4.5.3 基于条形码的物料识别与 管理系统 .....	266
<b>第 3 章 加工域活动中的先进装备</b> .....	157	4.6 柔性制造系统(FMS)的 运储系统 .....	268
3.1 概述 .....	157	4.6.1 FMS 运储系统的任务 .....	268
3.2 高速切削机床 .....	157	4.6.2 自动运输系统的基本 形式 .....	270
3.2.1 高速切削机床概述 .....	157	4.6.3 托盘及托盘交换器 .....	272
3.2.2 电主轴 .....	163	4.6.4 自动化换刀系统 .....	273
3.2.3 高速直线电动机进给 系统 .....	176	<b>第 5 章 信息域活动的先进技术</b> .....	282
3.2.4 高速刀具 .....	182	5.1 现代制造的信息化和 数字化 .....	282
3.2.5 高速加工中心机床实例 .....	187	5.1.1 概述 .....	282
3.3 并联运动机床 .....	189	5.1.2 从数字化制造到企业 信息化 .....	285
3.3.1 并联运动机床概述 .....	189	5.2 制造过程数字控制与在线 监控 .....	288
3.3.2 并联运动机床的机构学 基础 .....	192	5.2.1 开放式 CNC 系统及其 智能化 .....	288
3.3.3 并联运动机床的主要 部件 .....	204	5.2.2 现代制造系统的检测 监控 .....	291
3.3.4 并联运动机床实例 .....	213		
<b>第 4 章 物流域活动的先进技术</b> .....	217		
4.1 企业物流系统概论 .....	217		

5.3 网络化制造和虚拟企业 .....	293	6.1 加工过程的建模与信息模型 .....	345
5.3.1 网络化制造 .....	293	6.1.1 加工过程建模的目的 .....	345
5.3.2 虚拟企业 .....	300	6.1.2 加工过程信息模型类型 .....	346
5.4 电子化制造(e-制造) .....	301	6.1.3 加工过程建模的复杂性和不确定性 .....	349
5.4.1 e-制造的定义和内涵 .....	301	6.1.4 科学方式建模举例 .....	351
5.4.2 e-制造的体系结构及使能技术 .....	304	6.1.5 工程方式建模举例 .....	352
5.4.3 e-制造应用实例 .....	307	6.1.6 加工过程仿真 .....	353
5.5 制造执行系统 .....	309	6.1.7 加工过程建模的未来 .....	356
5.5.1 制造执行系统的概念 .....	309	6.2 知识及其数据化处理 .....	358
5.5.2 制造执行系统的功能 .....	309	6.2.1 概述 .....	358
5.5.3 制造执行系统的典型结构 .....	310	6.2.2 知识的表示 .....	360
5.6 现代企业管理模式及管理技术 .....	312	6.2.3 知识获取 .....	367
5.6.1 企业资源计划(ERP) .....	312	6.2.4 知识的应用 .....	370
5.6.2 客户关系管理(CRM) .....	317	6.3 信息融合策略 .....	373
5.6.3 6 $\sigma$ 管理 .....	324	6.3.1 概述 .....	373
5.6.4 知识管理 .....	332	6.3.2 信息融合理论基础 .....	374
5.6.5 产品生命周期管理 .....	340	6.3.3 信息融合系统结构 .....	378
<b>第6章 制造行为的分析、监控先进技术 .....</b>	<b>345</b>	6.3.4 多传感器信息融合的应用 .....	<b>382</b>
		<b>参考文献 .....</b>	<b>390</b>

# 绪 论

被誉为“国家的命脉”的制造业,是国民经济的支柱产业和经济增长的发动机,是高技术产业化的载体和实现现代化的重要基石,是吸纳劳动就业和扩大出口的关键产业,是国家安全的重要保障。从哲学意义上讲,制造业还创造了人类本身,正如恩格斯所说:“直立和劳动创造了人类,而劳动是从制造工具开始的。动物所做到的最多是搜集,而人则从事生产。”原始的工具制造是人类社会制造业的最早萌芽。

经过几代人的前仆后继、数亿人的发奋努力,我国制造业总体生产规模已居世界第四位,众多制成品的产量已位居世界前列。1998年我国制造业位居美国、日本、德国之后,居世界第四位。中国制造的拖拉机、小型柴油机、集装箱、农用车、电视机、空调器、冰箱、微波炉、洗衣机、太阳能热水器、摩托车、自行车、VCD机、DVD机以及钢、水泥、合成氨、化纤、纱布、服装等的产量已居世界第一位。在重大装备的配套能力方面也大有提高,如为上海磁悬浮列车项目提供了由8台数控落地镗铣床组成的轨道深加工线;年产1~2千万吨级不同开采工艺的露天矿采掘和年产500万吨级井下矿采掘成套设备;大秦线重载列车装备;3.5万吨级浅吃水和1.2万吨级超浅吃水运煤船;葛洲坝枢纽工程170 MW、转轮直径11.3 m轴流式水发电机组;岩滩电站302 MW、转轮直径8 m混流式水发电机组;300 MW秦山核电站成套设备;500 kV交流输变电成套设备;宝钢三期工程250吨氧气转炉、1450 mm板坯连铸机、1420 mm冷连轧板机和1550 mm冷连轧板机;1.2万吨自由锻造水压机;年产50万吨腈纶大型化工成套设备;6000 m电驱动沙漠钻机;水下机器人;激光照排设备;北京正负电子对撞机;先进程控交换机;曙光、银河、神威、联想巨型计算机;主战坦克;新舟60新一代支线客机;飞豹轰炸机;核动力潜艇;“两弹一星”;神舟6号载人飞船的圆满成功等,不胜枚举。

以上事实表明,中国已成为世界的制造大国,中国境内的制成品在国际市场占有的份额迅速增长。许多经济学家预测中国将成为继英国、美国、日本后的又一个“世界工厂”。值得指出的是,“世界工厂”并不表示我国就是世界制造强国了。制造强国的主要标志可归纳为六个方面,如图0.1所示。

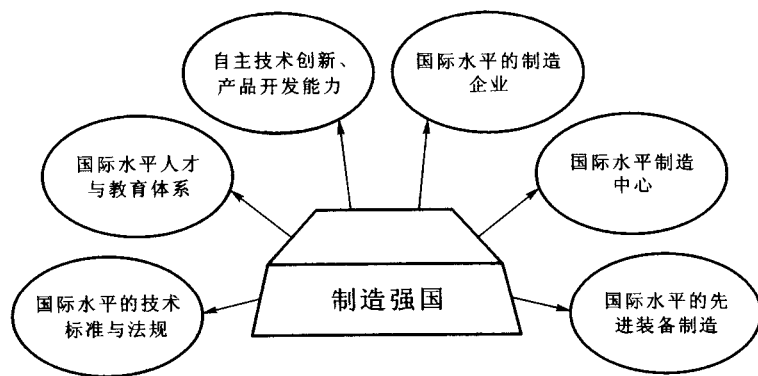


图 0.1 制造强国的主要标志



对照制造强国的这些标志,我国的差距还不小。中国在 20 世纪下半叶开始了工业化进程,比欧洲晚了 200 年,中国在工业化进程中,虽然建设速度超过世界平均水平,但 20 世纪末中国工业化的指标与发达国家还相差甚远。首先,我国制造业虽名列世界第四位,但总体规模仅相当于美国的 1/5、日本的 1/4 强;其次,制造业的人均劳动生产率远远落后于发达国家,仅为美国的 1/25、日本的 1/26、德国的 1/20;第三,制造业结构仍然偏轻,表现为装备制造在制造业中的比重仅为 26.5% (1999 年),亦远低于美国(41.9%)、日本(43.6%)、(德国 46.4%)等国;第四,技术创新能力十分薄弱,产业主体技术依靠国外,有自主知识产权的产品少,依附于国外企业的组装业比重大,表现为工业增加值率仅为 26%,远低于美国(49%)、日本(38%)、德国(48.5%),并且呈现逐年降低的趋势;第五,低水平生产能力严重过剩。据第三次全国工业普查,机械、电子、化工、建材、轻工、冶金等行业生产能力利用率分别为 51.86%、54.45%、54.9%、64%、46.09% 和 35.55%,而同时高水平生产能力不足,大量先进装备仍主要依赖进口;第六,国有企业改革远未到位。企业集中度低,大型骨干企业少,而且围绕大型骨干企业的中小企业群体也未形成。

为了使我国尽快地成为制造强国,有识之士纷纷献计献策。这里,从《先进制造技术》教材的角度,从高等学校培养专业人才的角度就经济全球化和信息化改造传统工业两方面来介绍作者的认识与对策。

1765 年以瓦特蒸汽动力机和工具机的发明为特征的产业革命,揭开了近代工业化大生产的序幕。工业产业以及生产技术的真正形成与发展,还只有近 200 年的历史,而“先进制造技术”概念的提出也只是近 10 年的事情。这启示人们,利用先进制造技术可以使工业产业获得“跨越式”发展,站在已有先进制造技术成果的“肩膀”上,结合中国的国情,有望使中国尽快成为世界上的制造强国。

首先,要正确认识与把握“全球化”这柄双刃剑。经济全球化是由金融全球化、贸易全球化、生产全球化和科技全球化组成的,而金融全球化是基础,国际间直接和间接投资推动了生产、贸易和科技的全球化。全球化的主要动力是跨国公司,其扩张性的趋利动机推动了经济活动的全球化发展,从而为其提供了全球化的套利空间,于是便有了对外投资、技术转让以及生产过程的分解与全球配置,以实现其财富的再分配。事实证明,国与国之间财富分配必定是不均等的,对大多数发展中国家来说,在一般情况下得到的比失去的多。如当金融全球化为一些国际金融大鳄提供了恶意袭击他国资本市场的合法规则,使其贪婪地吞噬一些发展中国家辛辛苦苦积累的财富时,人们并不认同这样的全球化。全球化如果利益分配不均,就会产生新的不平等,造成有的国家边缘化,从而导致一个经济能力和经济实力极度两极分化的世界。如果有的国家总是处于失利状态,得不到国际联系所带来的利益,由此不平等的相互依赖、不对称的收益将引发国际矛盾,发达国家最终也难以独善其身。全球化已经是一个事实,它既给人们带来发展的希望,也可能扩大国与国之间的贫富差距。但有一点很清楚:全球化是不可抗拒的。对全球化恨也罢、爱也罢,是祸?是福?主要取决于自身的努力,趋利除弊,抗拒全球化,到头来付出的代价很大。

中国制造业在经济全球化背景下有其发展空间,如前所述,中国制造业在全球化国际分工中一定会有重要的一席之地。制造业是中国经济的强项、出口的主要支柱,目前制造业增加值居世界第四位,“中国制造”已经开始显露头角,制造业必然是中国经济崛起的杠杆。比较优势的发展战略将是我国现阶段一种理性的必然选择,它以发展劳动密集型的中小企业为主,以能够创造

大量就业机会为特征,不过分追求自动化、集成化和智能化。我国也想在国际纵向分工中占居高位,但目前至少在高科技方面我们不具备什么优势,中国要在技术创新上有所突破还需假以时日。我们不能撇开自己的长处,以己之短与人之长相竞争,应在国际分工中实现资金、技术和管理经验的积累,然后逐步实现产业升级,这是一般的规律,新兴国家和地区都是这样发展起来的。在跨越性技术上要有所突破,对传统已成熟技术没有必要再强调从头开始、自主开发。利用别国已有的技术,充分发挥后发优势,“拿来”即用。同时,要将自主的研究开发着重投入到原创性有突破性的技术上,实现技术跨越,才有可能后来居上。

其次,要深刻认识并努力实施用信息化技术改造传统工业技术的必要性与必然性,在当今信息化时代,制造业信息化也是不可抗拒的。在 21 世纪,信息化技术以及实现信息化技术的硬件设备——数字计算机均将迅猛发展,它已对并将对传统的制造业产生全局性、深刻性和综合性的影响。所谓全局性影响,是指信息技术不只是作为一项局部的技术对制造业产生影响,而是指它将改造制造业的面貌,近年来一批新的制造模式(如虚拟制造、敏捷制造、可重组制造等)的提出,就反映出制造业和制造技术在信息时代所面临的结构性改变。所谓深刻性影响,是指两个方面的意思,一方面信息已不只是一种表达形式,而是要进一步探讨产品和制造中的信息本质;另一方面,面向信息化制造,问题不再仅是如何运用信息技术改善制造,而且还是要求制造过程本身进行改造以适应新的信息化制造的环境。所谓综合性影响,指的是信息技术对制造中诸多方面(加工过程、物料流、信息流)产生综合性的、相互牵制的影响。这里所讲的信息,主要是指数字化信息。如果将工业化比拟为“手的延伸”,那么信息化可比拟为“脑的延伸”,在许多方面代替人脑的记忆、计算、推理、思维等方面的功能。信息化的工作对象主要是信息和知识,50 多年来,信息化所赖以发展的人类科学文化知识呈几何级数方式增长,这段时期积累的科学知识总量超过了此前人类创造的知识总和,解决好信息的量化(数字化)、传输和处理等问题,将使工业化进程获得“跨越式”发展,用信息化改造我国的机械制造工业,是使我国尽快成为“制造强国”的必由之路。

21 世纪制造业的最大特点是“大量定制”(mass customization),当订单一到,性能完善的机床和机器人将立即自动地工作并平稳地制造产品,而该产品是 21 世纪的特定顾客需要的。

人类社会经历农耕社会、家庭手工业社会、在工厂中操作机器的现代工业社会、计算机自动化/机器人至最后进入远程制造(利用 Web)的后现代工业社会,制造也相应地经历了技艺(art)、技术(technology)、科学(science)、商务(business)等阶段的发展。21 世纪的大制造(manufacturing in the large)的概念,其内涵不只局限于金属加工、芯片蚀刻、计算机装配、生物反应器(bioreactor)的控制,还要包括有关的商务事物,制造将是拓展的社会企业的完整部分,将推动经济全球化的发展。

随着人类社会的发展,科学技术的进步,21 世纪的制造业将是信息化的制造业,它的最终目标不是功能单一的局部信息化,而是整个企业的全面、综合信息化,以达到企业运行的整体优化。

制造业涉及的主体功能有五个方面:设计、制造、材料、信息交换、管理。为了使这五个方面实现信息化改造,不仅要用信息化技术改造这五个方面,而且还要对这五个方面的技术本身进行改造以适应信息化技术的发展,如图 0.2 所示。

设计信息化是制造业信息化较早且较好的领域,CAD 技术是企业信息化的核心,其作用是形成产品数据。在几何模型表示、几何建模方法、产品形状可视化、产品设计计算(如有限元

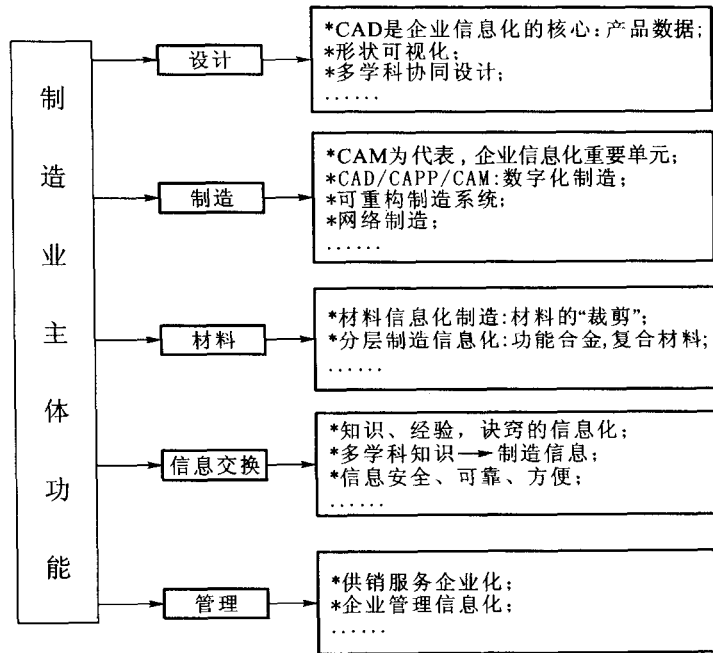


图 0.2 制造业信息化内涵

法、边界元法等)、产品设计图文及数据管理(PDM)等方面仍有信息化改造的任务。

制造信息化以 CAM 为代表,是制造业信息化的重要单元,CNC 加工已相当普遍,CAPP 作为 CAD/CAM 集成的桥梁获得了发展,数控化的装置(机床、机器人等)的自动化、智能化、柔性化和集成化,可重构制造系统与可重构机床的设计与应用、加工过程的数控、开放式 CNC 系统与 CNC 加工、网络制造、可持续制造等,都有大量的信息化改造工作,也要求人们改变制造技术本身的传统模式,实现数字化制造。

材料信息化制造,自 20 世纪 90 年代分层制造技术工程化以来,有一些学者认为通过选择性激光烧结工艺,激光熔结工艺,理论上可以按合金成分配方直接从合金粉末烧结成产品,也可以按不同部位的材料性能要求选用不同的合金成分配比。材料的信息化制造犹如裁制衣服一样,服装设计师搭配颜色协调、美观、适用的衣料制成服装,材料也能按信息要求而设计。随着激光功率的提高、激光成本的降低,有学者预测将来钢铁生产不用现有的钢铁生产技术与钢铁工厂了。新型复合材料的设计与制造,更能体现出信息化对制造业中材料制造的重大影响。

信息交换的信息化问题,在制造业中需要解决的有:制造者的经验、知识、诀窍的信息化及其处理;多学科的知识,信息如何转化为制造业服务;如何保证信息处理、传输、控制的可靠性、实时性、安全性;网络技术的应用等。信息交换的优劣,取决于信息化支撑体系的进展,硬件技术、软件技术、网络技术、数据库技术、信息安全技术的进步,必将促进制造业中信息交换的技术进步。

管理信息化是保证制造业在市场竞争条件下立于不败之地的重要法宝。管理信息化包括供销服务的信息化和企业管理的信息化。供销服务的信息化指运用现代管理思想和方法,通过实

施信息技术,改变或改善供销服务体系中的观念、方法和手段,提高企业销售能力和服务水平,促使产品增值,快速响应市场,获取最大利润,如顾客需求管理、供应链管理等。企业管理的信息化指利用现代管理方法和信息技术,对企业所有活动进行统一管理和控制,提高产品质量,实现整个企业高效、协调和优化运行。企业资源规划(ERP)是当前企业信息化管理的典型代表,所谓ERP是指对企业所有资源(人力、设备、材料、技术、资金、信息、时间等)进行统筹管理与控制,实现资源的最优运行与充分利用。目前所谈论的企业信息化,大多是ERP方面的内容。对于一个技术信息化水准不高的制造企业(尤其是中小型企业)而言,不宜立即全面推行ERP,而应根据该企业管理中的瓶颈问题,先获得突破,逐步扩大信息化的内容,这是我国许多企业在实施ERP过程中用巨额投入(80亿元)买来的经验教训。

先进制造是由多学科高新技术集成的制造工程科学,它以制造工艺技术为核心,体现制造过程的物理本质,是先进制造的使能技术,围绕制造的物理本质,综合了高新技术的辅助技术群,如过程控制、柔性制造系统(含组织与调度)、并行工程、全面质量管理、虚拟企业及企业联盟,先进制造的终极目的是满足顾客提出的要求。在这里有必要强调的是,先进制造技术的核心是先进的制造工艺技术,离开了物理实质的先进制造工艺技术,与之集成的计算机辅助、信息、管理等都将是无源之水,无本之木。作为机械工程及自动化专业的学生,其优势在于学习与掌握了先进制造工艺技术,如果把主辅关系弄颠倒了,不认真学习与掌握先进的制造工艺技术,而只潜心于计算机操作与使用,就可能丢掉优势,失去在人才市场中的竞争力,于国于己都是损失。

本书是教育部普通高等教育“十五”国家级教材规划选题的教材,是为机械工程及自动化本科专业的“先进制造技术”课程而撰写的教学用书。通过本书的教学实践,使学生对“先进制造技术”的内涵有正确理解与深入认识,培养他们综合应用多学科知识对先进制造技术的创新意识和分析处理问题的能力,培养他们在21世纪的环境中适应可持续发展策略的要求,在经济全球化的市场角逐中立于不败之地的本领与能力。当然,本书也可以作为机械工程领域中的在职技术人员继续学习先进制造技术的参考书。

国内外同名的书籍已有不少,能作为教材的似不多,大多是作为技术参考资料提供给各类读者。在这些书籍中,作者们对先进制造技术的理解也未能统一,在这样的条件下,本书在撰写过程中,注意努力突显以下特色:

- 建立“先进制造技术”教材的新型体系,内容尽可能与国际先进水平接轨。提出先进制造的“三域活动”论点,即加工域活动、物流域活动和信息域活动,任一域活动的先进技术或多域活动综合的先进技术均属于先进制造技术。
- 数字化理论体系,强调信息模型在加工、质量控制、生产管理中的作用,符合用信息化技术改造机械制造传统产业的要求。
- 以人为本,以21世纪的工业生产模式——可持续发展策略为准则,指明制造技术创新的途径与动力。
- 以市场驱动经济为背景,讲授快速响应市场的先进制造技术,满足顾客急需。
- 强调大制造概念,不只介绍先进的制造工艺技术,而且介绍与之配套的管理技术,介绍多种先进制造模式。
- 实践表明,对单一制造过程的详尽研究不足以满足学生的择业要求。因此,教材注重介绍思路、方法、技术,注意技术综合素质培养,为学生毕业后择业提供宽广的业务基础与能力。

- 将科研成果转化为教学内容,强调实例教学、坚持理论联系实际,设计开发先进制造技术的实验,培养学生自己动手解决实际问题的能力。

在教学方法上,编写相配套的人机界面友好、可视化、动感的多媒体教材,帮助学生深入浅出地掌握先进制造技术的课程内容。

# 第 1 章 制造业与先进制造技术概论

制造业是一切生产和装配制成品的企业群体的总称,是工业的主体。根据我国《国民经济行业分类》GB/T 4754—2002 标准,制造业共包括 30 个行业,如表 1.0.1 所示。从表中可知,不同的制造行业,由于其加工对象不同,制造工艺技术差异很大,分属不同的学科研究范围。本书主要涉及金属制品业(34)到废弃资源和废旧材料回收加工业(42)等 9 个行业的制造问题。而一些共性的制造技术、信息技术对制造业的改造等内容同样适用于其它行业。

表 1.0.1 制造业涵盖的行业

	标准序号	行业名称
制造业	13	农副食品加工业
	14	食品制造业
	15	饮料制造业
	16	烟草制品业
	17	纺织业
	18	纺织服装、鞋、帽制造业
	19	皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业
	20	木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业
	21	家具制造业
	22	造纸及纸制品业
	23	印刷业和记录媒介的复制
	24	文教体育用品制造业
	25	石油加工、炼焦及核燃料加工业
	26	化学原料及化学制品制造业
	27	医药制造业
	28	化学纤维制造业
	29	橡胶制品业
	30	塑料制品业
	31	非金属矿物制品业
	32	黑色金属冶炼及压延加工业
	33	有色金属冶炼及压延加工业

续表

	标准序号	行业名称
制造业	34	金属制品业
	35	通用设备制造业
	36	专用设备制造业
	37	交通运输设备制造业
	38	电气机械及器材制造业
	39	通信设备、计算机及其它电子设备制造业
	40	仪器仪表及文化、办公用机械制造业
	41	工艺品及其它制造业
	42	废弃资源和废旧材料回收加工业

若按学科划分,制造业大致可分为:机械制造(航空、航天、汽车、机车、船舰、工程机械和装备制造等)、流程工业(冶金、化工、石油、水泥等)、电子制造(微电子、光电子、家电计算机等)、轻工纺织、制药和农产品加工、食品等。

制造技术是制造业为国民经济和人民生活生产各种必需物质(包括生产资料和消耗品)所使用的一切生产技术的总称,是将原材料和其它生产要素经济合理地转化为可直接使用的具有较高附加价值的成品/半成品和技术服务的技术群。鉴于机械制造技术的基础地位,本书重点讲述机械制造技术。

简言之,制造是把某些东西变成一种新东西的过程。如面粉、糖及相应原料制造成点心,布制造成衣服,棒材制造成螺钉等。制造过程实际上是一个转换过程,其输入有原材料、机器、人力、工艺方法,而输出的是产品或服务。产品是可触及的,服务是无形的。在这个转换过程中,总会有三个方面的行为活动,即加工、物流、信息行为活动,作者称之为“三域”活动。“域”泛指某种范围,如时间域、频率域。这里,“三域”指制造过程三方面的不同范围,加工域活动指直接改变被制造对象的形状、尺寸、性能的行为活动,是制造行为的基础域活动,表1.0.1所示的30个制造行业的主要区别就在于加工域活动的不同或特别之处。物流域活动指被制造对象在制造过程中的传输、储存,装夹等活动,信息域活动指被制造对象在制造过程中的信息获取、分析处理、监控等活动,物流域活动和信息域活动是对30个制造行业有通用性特点的域活动。无论被制造对象多复杂,其制造过程的行为活动都可用“三域”涵盖。每一个域内的活动有其自身的特点与规律,但为了完成整个制造过程,三域活动是相互渗透与联系的。

## 1.1 制造行为的“三域”活动

### 1.1.1 加工域活动

加工域活动是指直接改变零件形状、尺寸、性能的行为活动,是制造行为的基础域活动。经

过 200 年的技术积累与进步,特别是现代科技的迅猛发展的促进,加工域活动,即制造技术或机械制造技术已有了全面而深刻的变化。表 1.1.1 列出了机械制造技术的主要类别。

表 1.1.1 机械制造技术主要类别

制造类别	工艺方法	工艺方法简介
增量制造(亦称增材制造、生长型制造、分层制造、快速原型制造、快速原型制造, SFF)	1. 立体光刻 SLA 2. 分层实体制造 LOM 3. 选择性激光烧结 SLS 4. 熔融沉积成形 FDM .....	1. 使用激光照射光敏树脂而固化。 2. 使用激光或刀片切割有粘性的层片而粘结成形。 3. 使用激光熔化粉末状的金属或其它物质。 4. 将热塑料通过喷嘴挤出而后固化成形。 其它工艺方法
减量制造(亦称减材制造,传统的金属或材料去除法)	1. 车削 2. 钻削 3. 铣削 4. 磨削 5. 电火花加工(EDM) 6. 电化学加工(ECM) .....	采用材料去除技术,如切削加工等,在加工过程中,通过一定的方式逐渐切除毛坯上的多余材料,获得具有一定形状、尺寸、性能的零件,是当今最主要的加工域活动。
等量制造(亦称变形过程)	1. 轧制 2. 板材成形 3. 挤压 4. 锻造 .....	1. 如铝锭轧制成厨房用铝箔。 2. 如板材切割弯曲而成肥皂盒。 3. 不同横截面的材料通过模具挤压成形。 4. 热锻、冷锻均是在模腔中塑性变形。
相变过程	1. 铸造 2. 注塑成形 .....	1. 熔化的金属注入铸型中而凝固成形。 2. 将热液塑料注射到模腔而成形。
结构变化过程	1. 镀层 2. 表面合金化 3. 感受残余应力 .....	1. 用化学、物理方法在基体表面上镀一层其它材料,改变性能,如镀铬。 2. 3. 使表面合金化或喷丸处理。
固化联结过程	1. 粉末冶金 2. 复合材料 3. 焊接 .....	1. 金属粉末在模具中成型并烧结成形。 2. 不同碳纤维板的层叠是复合材料的一例。 3. 通过局部熔化而将相邻板材连接。
生物制造(或仿生加工)	1. 原子操作技术 2. 克隆制造 .....	21 世纪,生物技术、生命科学、材料科学不断融入先进制造技术,将引起一场新的制造革命,如人体脏器的制造等。



机械加工技术的发展经历可归纳如下:

18世纪前,对工艺技术理解很差,是一种手工业生产方式,工匠使用手锤和砧座制造产品。

19世纪发明了蒸汽机,对工艺技术有进一步认识,制造在城市中的工厂条件下进行,形成制造机械化。

20世纪,CAD、CAPP、CAM出现,使用闭环控制的部分工艺模型出现,工厂自动化程度增加。

21世纪,制造系统网络化、信息化,鲁棒控制与智能控制将获得广泛应用,全球化企业和虚拟制造公司将出现。

纵观制造技术的发展,加工方法的进步里程为:机械加工→物理与电物理加工→化学与电化学加工→生物或仿生加工,符合从简单到复杂、从粗糙到精细的发展方向。

结合表1.1.1,可以将制造技术的发展过程归纳为如下的特点:

### 1. 从传统加工到特种加工

19世纪实现了制造机械化,形成了一整套传统加工技术,即机械加工技术。随着机械寿命和材料强度的提高,难切削材料愈来愈多,零件形状愈来愈复杂,尺寸愈来愈小型化,加工自动化要求愈来愈高,使传统加工难以满足社会进步对机械制造业的要求,促使人们寻找新的制造技术,从20世纪30年代到80年代,随着制造技术与电力技术和电子技术结合,一系列发明相继问世,出现了许多被统称为特种加工(非传统加工)的方法,其中包括物理和化学加工,电物理和电化学加工。

### 2. 从减材加工到增材加工

减材加工(MRM:material removal manufacturing)是从有余量的原材料或零件毛坯上逐渐去除多余的材料,而得到所需的形状、尺寸和性能的零件的工艺方法。在传统加工中,减材加工主要利用机械力的作用去除原材料或毛坯的多余部分,即用高硬度的刀具切削原材料或毛坯使之成为零件,例如车、钻、铣、刨、磨、攻螺纹等加工方法。特种加工中减材加工方法有:电火花加工(EDM)、电解加工、激光加工、超声加工、电子束加工、化学加工、等离子加工等。

自进入20世纪90年代以来,面临动态多变市场的机械制造业,产品周期缩短,产品更新加快,多品种中小批量生产模式成为主导模式。产品的质量、价格和交货期已成为企业竞争力的三个决定性因素。可持续发展策略是21世纪的基本生产策略,减材加工所造成的资源浪费与环境污染,已不符合可持续发展的要求,一种称之为增材加工(MAM:material additive manufacturing)方法就应运而生了,它是制造技术、能源技术、材料技术、微电子技术和信息技术的综合集成技术。

增材加工是用类似生长的方法逐渐增加材料,直到生成所需的形状、尺寸与性能的样件或零件。其制造原理是用2D平面层逐渐堆叠成3D实体,资源得到了充分利用,符合自然界物质的生长规律,是制造理念的重大突破,具有强大的生命力。目前已有近百种增材加工方法,各自在不同的应用领域发挥作用,随着纳米技术的发展,增材加工将以崭新的面貌迅猛发展。

### 3. 从制造死物到制造活物

自古以来,制造业一直制造死物,无法制造活物。自地球上有了生命以来,生物界一直繁衍活物,不会繁衍死物。在制造业日趋信息化和生命科学走向工程化的今天,如果把制造工程、生命科学、计算机技术、信息技术、材料工程各领域的最新成果集成起来,那么制造业不仅能制造出无生命的复杂机器,而且还有可能利用基因工程的成就,制造出有生命、可供移植的器官和可供利