

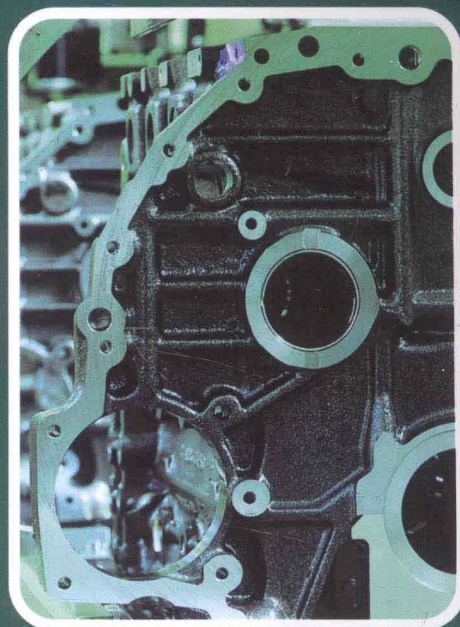


全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

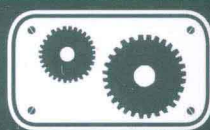
丛书顾问 ▶ 李培根 林萍华

先进制造技术

李文斌 李长河 孙未 ▶ 主编



· · · · ·
JIANJIN ZHIZHAO JISHU



JIXIELEI * SHIERWU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国普通高等学校机械类“十二五”规划教材

先进制造技术

主 编 李文斌 李长河 孙 未
副主编 石运序 王 磊 王建维

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书是全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材。

本书章节安排合理,内容全面、系统、新颖,充分体现了思想性、科学性、先进性和工程实用性,反映了当前国内外先进制造技术的最新成果和可持续发展要求。编写中力求做到满足学科、教学和社会等方面的需求。全书共分为6章:第1章为先进制造技术概论;第2章为现代设计技术;第3章为先进制造工艺技术;第4章为制造自动化技术;第5章为现代生产管理技术;第6章为先进制造生产模式。每章后附有思考题与习题。

本书可作为机械工程、机械设计制造及其自动化、机械电子工程、材料成形与控制等专业的教材和参考书。也可作为从事机械工程专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/李文斌,李长河,孙未主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.9
ISBN 978-7-5609-9385-0

I. ①先… II. ①李… ②李… ③孙… 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(2013)第 225474 号

先进制造技术

李文斌 李长河 孙 未 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:周忠强

封面设计:范翠璇

责任校对:朱 霞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉宏隆印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14.75

字 数:374千字

版 次:2014年1月第1版第1次印刷

定 价:29.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

编审委员会

顾问：李培根 华中科技大学

林萍华 华中科技大学

主任：吴昌林 华中科技大学

副主任：(按姓氏笔画顺序排列)

王生武 邓效忠 轧刚 庄哲峰 吴波 何岭松

陈炜 杨家军 杨萍 竺志超 高中庸 谢军

委员：(排名不分先后)

许良元 程荣龙 曹建国 郭克希 朱贤华 贾卫平

丁晓非 张生芳 董欣 庄哲峰 蔡业彬 许泽银

许德璋 叶大鹏 李耀刚 耿铁 邓效忠 宫爱红

成经平 刘政 王连弟 张庐陵 张建国 郭润兰

张永贵 胡世军 汪建新 李岚 杨术明 杨树川

李长河 马晓丽 刘小健 汤学华 孙桓五 聂秋根

赵坚 马光 梅顺齐 蔡安江 刘俊卿 龚曙光

吴凤和 李忠 罗国富 张鹏 张鬲君 柴保明

孙未 何庆 李理 孙文磊 李文星 杨咸启

秘书：

俞道凯 万亚军

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

序

“十二五”时期是全面建设小康社会的关键时期,是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期,也是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的关键五年。教育改革与发展面临着前所未有的机遇和挑战。以加快转变经济发展方式为主线,推进经济结构战略性调整、建立现代产业体系,推进资源节约型、环境友好型社会建设,迫切需要进一步提高劳动者素质,调整人才培养结构,增加应用型、技能型、复合型人才的供给。同时,当今世界处在大发展、大调整、大变革时期,为了迎接日益加剧的全球人才、科技和教育竞争,迫切需要全面提高教育质量,加快拔尖创新人才的培养,提高高等学校的自主创新能力,推动“中国制造”向“中国创造”转变。

为此,近年来教育部先后印发了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》(教高[2011]1号)、《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(教高[2011]5号)、《关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高[2011]6号)、《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高[2012]4号)等指导性意见,对全国高校本科教学改革和发展方向提出了明确的要求。在上述大背景下,教育部高等学校机械学科教学指导委员会根据教育部高教司的统一部署,先后起草了《普通高等学校本科专业目录机械类专业教学规范》、《高等学校本科机械基础课程教学基本要求》,加强教学内容和课程体系改革的研究,对高校机械类专业和课程教学进行指导。

为了贯彻落实教育规划纲要和教育部文件精神,满足各高校高素质应用型高级专门人才培养要求,根据《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件精神,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,联合一批机械学科办学实力强的高等学校、部分机械特色专业突出的学校和教学指导委员会委员、国家级教学团队负责人、国家级教学名师组成编委会,邀请来自全国高校机械学科教学一线的教师组织编写全国普通高等学校机械

类“十二五”规划系列教材,将为提高高等教育本科教学质量和人才培养质量提供有力保障。

当前经济社会的发展,对高校的人才培养质量提出了更高的要求。该套教材在编写中,应着力构建满足机械工程师后备人才培养要求的教材体系,以机械工程知识和能力的培养为根本,与企业对机械工程师的能力目标紧密结合,力求满足学科、教学和社会三方面的需求;在结构上和内容上体现思想性、科学性、先进性,把握行业人才要求,突出工程教育特色。同时注意吸收教学指导委员会教学内容和课程体系改革的研究成果,根据教指委颁布的各课程教学专业规范要求编写,开发教材配套资源(习题、课程设计和实践教材及数字化学习资源),适应新时期教学需要。

教材建设是高校教学中的基础性工作,是一项长期的工作,需要不断吸取人才培养模式和教学改革成果,吸取学科和行业的新知识、新技术、新成果。本套教材的编写出版只是近年来各参与学校教学改革的初步总结,还需要各位专家、同行提出宝贵意见,以进一步修订、完善,不断提高教材质量。

谨为之序。

国家级教学名师

华中科技大学教授、博导

2012年8月



前 言

先进制造技术(advanced manufacturing technology, AMT)所涉及的学科较多,涵盖的技术内容极其广泛,是在制造过程和制造系统中融合电子、信息和管理技术,以及新工艺、新材料等现代科学技术,使原材料转换为产品的过程更有效、成本更低,能更及时地满足市场需求的先进综合技术。它的核心是实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产的基础制造技术群,其主体技术群包括产品的设计技术群和制造工艺技术群;而支持设计和制造工艺两个方面取得持续进步的基础性技术是支撑技术群,它具体涉及信息技术、标准和框架、机床工具及传感器和控制技术;制造技术基础设施则是使先进制造技术适用于具体企业的应用环境及充分发挥其功能和取得最佳效益的一系列措施,是先进制造技术生长的机制和土壤。因此,可以说先进制造技术体系的内涵极其丰富。当今,追求和谐设计制造及装备安全绿色运行作为机械工程学领域的重要研究特点和时代特征之一,对先进制造技术赋予了新的内涵,这必将在新的时期得到深入研究和更大发展。

本书是编者应华中科技大学出版社规划的全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材而编写的。本书在编写过程中按人才培养的需要,注重理论知识的工程应用性、实用性和针对性,结合了本书写作团队多年的教学、科研实践,历经确定编写大纲、讨论编写内容、分析授课对象等过程,并合理分工共同编写完成的。全书共分为6章,主要内容包括:先进制造技术的概念、内涵、体系结构和发展趋势;现代设计技术的内涵、体系结构和主要方法;先进制造工艺技术的体系结构、内涵以及先进材料成形技术、快速原型制造技术、超高速切削和精密超精密加工技术、高效率磨削加工技术、特种加工技术、微纳米制造和微细加工技术;制造自动化技术的内涵及数控技术、工业机器人技术和柔性制造技术;现代生产管理技术的基本概念及现代生产管理信息系统、产品数据管理技术、物流系统管理、及时生产技术和现代质量保证技术;先进制造生产模式,包括计算机集成制造、并行工程、精益生产、敏捷制造、智能制造和绿色制造等制造理念及其应用。

本书由太原理工大学李文斌、青岛理工大学李长河和成都理工大学孙未担任主编,烟台大学石运序、石河子大学王磊和大连大学王建维担任副主编。全书共分为6章,其中,第1章由李文斌编写,第2章由石运序编写,第3章由李长河编写,第4章由王磊编写,第5章由王建维编写,第6章由孙未编写。全书由李文斌和李长河统稿。本书在编写过程中参考了诸多同仁的著作和科研论文,在此深表感谢。

由于编者的水平和经验所限,书中难免有欠妥和错误之处,在此恳请读者提出宝贵意见,不吝指正。

编 者
2013年8月

目 录

第 1 章 先进制造技术概论	(1)
1.1 制造技术的基本概念及其发展	(1)
1.2 先进制造技术的提出及发展	(3)
1.3 先进制造技术的内涵、体系结构及其分类	(6)
1.4 先进制造技术的特点与发展趋势	(8)
思考题与习题	(12)
第 2 章 现代设计技术	(13)
2.1 现代设计技术的内涵与体系结构	(14)
2.2 现代设计方法	(16)
思考题与习题	(27)
第 3 章 先进制造工艺技术	(28)
3.1 概述	(28)
3.2 先进材料成形技术	(30)
3.3 快速原型制造技术	(50)
3.4 超高速切削加工技术	(61)
3.5 高效率磨削加工技术	(67)
3.6 精密、超精密加工技术	(73)
3.7 特种加工技术	(82)
3.8 微纳米制造技术	(89)
3.9 微细加工技术	(96)
思考题与习题	(101)
第 4 章 制造自动化技术	(103)
4.1 概述	(103)
4.2 机床数控技术	(109)
4.3 工业机器人	(124)
4.4 柔性制造技术	(132)
思考题与习题	(151)
第 5 章 现代生产管理技术	(152)
5.1 现代生产管理技术概述	(152)
5.2 现代生产管理信息系统	(155)
5.3 产品数据管理技术	(165)
5.4 物流系统管理	(172)
5.5 及时生产技术	(176)
5.6 现代质量保证技术	(181)
思考题与习题	(187)

第 6 章 先进制造生产模式	(189)
6.1 计算机集成制造	(189)
6.2 并行工程	(196)
6.3 精益生产	(200)
6.4 敏捷制造	(207)
6.5 智能制造系统	(213)
6.6 绿色制造	(216)
思考题与习题	(221)
参考文献	(222)

第 1 章 先进制造技术概论

先进制造技术(advanced manufacturing technology, AMT)的概念源于 20 世纪 80 年代。它是指在制造过程和制造系统中融合电子、信息和管理技术,以及新工艺、新材料等现代科学技术,使原材料转换为产品的过程更有效、成本更低、更及时满足市场需求的先进工程技术的总称。

本章主要讲述制造技术的基本概念和先进制造技术的发展、内涵、体系结构及分类等,进而阐述先进制造技术的发展趋势。

1.1 制造技术的基本概念及其发展

1.1.1 制造技术的基本概念

制造(manufacturing)是人类所有经济活动的基石,是人类历史发展和文明进步的动力。由此可知,制造的一般概念是指人类按照市场需求,运用主观掌握的知识和技能,借助于手工或可以利用的客观物质工具,采用有效的工艺方法和必需的能源,将原材料转化为最终物质产品并投放市场的全过程。制造的概念有广义和狭义之分,狭义的制造是指生产车间内与物流有关的加工和装配过程;而广义的制造,则包括市场分析、产品设计、工艺设计、生产准备、加工装配、质量保证、生产过程管理、市场营销、售前售后服务,以及报废后的回收处理等整个产品生命周期内一系列相互联系的生产活动。在当今的信息时代,广义制造的概念已被越来越多的人所接受。上述生产活动的系统也是一个输入/输出系统,其输入的是生产要素,它包括物料、设备、工具、资金、技术、信息和人力等;输出的是具有使用价值的合格产品。实现这一特定功能的系统即为制造系统。

制造系统是由制造过程及其所涉及的硬件、软件 and 人员等组成的有机整体。这里所指的制造过程,是指产品的经营规划、开发研制、加工制造和控制管理的过程;所谓的硬件包括生产设备、工具和材料、能源以及各种辅助装置;而软件则包括制造理论、制造工艺和方法,以及各种制造信息等。可以看出,上述定义的制造系统实际上就是一个企业所包括的生产资源和组织机构。而通常意义所指的制造系统仅是一种加工系统,它仅是上述定义系统的一个组成部分。

制造业是所有与制造有关的企业机构的总称,是指以制造技术为主导技术进行产品制造的行业。它是将制造资源(含物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等)通过制造过程,转化为可供人们使用与利用的工业品与生活消费品的行业,它涉及国民经济的许多部门,是国民经济和综合国力的支柱产业。有人将制造业称为工业经济时代国家经济增长的“发动机”。它一方面创造价值,生产物质财富和新的知识;另一方面,又为国民经济各个部门提供先进的手段和装备。在先进的工业化国家中,国民经济收入的 60% 以上来源于制造业,约有 25% 的人口从事各种形式的制造活动,而在非制造业部门中,也约有 50% 的人员的工作性质与制造业密切相关。据美国国家生产力委员会调查,在企业生产力构成中,制造技术的作用约

占 62%。由此可以看出,如果一个国家的制造业发达,它的经济必然强大。大多数国家和地区的经济腾飞离不开制造业,制造业功不可没,如亚洲的日本,新加坡,韩国,中国的台湾、香港等国家和地区。

制造技术(manufacturing technology)是制造业为国民经济建设和人民生活生产各类必需物资使用的所有生产技术的总称,是将原材料和其他生产要素等经济、合理和高效地转化为可直接使用的具有高附加值的成品或半成品和技术服务的技术群。这些技术包括运用一定的知识、技能,操纵可以利用的物质、工具,采取各种有效的策略、方法等。

制造技术的发展是由社会、政治、经济等诸多方面因素决定的。但纵观近 200 多年的制造技术的发展历程,影响其发展的主要因素则是技术推动和市场牵引。制造技术既是制造企业的技术支柱,又是可持续发展的根本动力。

1.1.2 传统制造技术的发展历程

人类文明的发展与制造技术的进步密切相关。人类最早的制造活动可以追溯到新石器时代。当时,人们利用石器作为劳动工具,制作生活和生产用品,制造处于一种萌芽阶段。到了青铜器和铁器时代,为了满足以农业为主的自然经济的需要,出现了诸如纺织、冶炼和锻造等较为原始的制造活动。19 世纪末 20 世纪初,内燃机的发明,自动机床、自动线的相继问世,以及产品部件化、部件标准化和科学管理思想的提出,掀起了制造业革命的新浪潮。20 世纪中期,电力电子技术和计算机技术的迅猛发展及其在制造领域所产生的强大辐射效应,更是极大地促进了制造模式的演变和产品设计与制造工艺的紧密结合,也推动了制造系统的发展和管理方式的变革。同时,制造技术的新发展也为现代制造科学的形成创造了条件。回顾制造技术的发展,从蒸汽机出现至今,主要经历了两次革命性的转变。

1. 用机器代替手工和由作坊形成工厂

随着蒸汽机的大量使用,机械技术与蒸汽动力技术相结合,出现了以动力驱动为特征的制造方式,引发了第一次工业革命。而后,随着发电机和电动机的发明,电气化时代终于到来,电作为新的动力源大大改变了机器结构、提高了生产效率。这个阶段制造业发展的一个标志,就是开始使用机械加工机床,用机器代替手工作业。但是机器的生产方式开始还是作坊式的单件生产,这种生产方式产生于英国,并先后传到法国、德国和美国,且逐渐形成了小型的机械工厂,于是使这些国家的经济得到了发展。

2. 从单件生产方式发展成大量生产方式

19 世纪末,内燃机的发明引发了制造业的又一次革命。20 世纪初,制造业进入了以汽车制造为代表的批量生产时代,随后出现了流水生产线和自动机床;在制造管理思想方面,劳动分工制度和标准化技术相继问世。推动这种根本性变革的是两位美国人,即泰勒(Taylor)和福特(Ford)。泰勒首先提出了以劳动分工和计件工资为基础的科学管理理论,成为制造工程科学的奠基人;福特则率先推行零件可互换的标准化技术,并于 1931 年建立了具有划时代意义的汽车装配生产线,实现了以刚性自动化为特征的大规模生产方式,它对社会结构、劳动分工、教育制度和经济发展都产生了重大的作用。

以大规模生产方式为主要特征的制造技术,在 20 世纪 50 年代逐渐进入鼎盛时期,制造业通过降低生产成本(主要是降低劳动力成本)和提高生产效率,形成了“规模效益”的工业化生产理念。大规模生产方式作为现代工业生产的一个重要特征,对人类社会的经济发展、社会结构、文化教育以及生活方式等,产生了极其深刻的影响。

1.2 先进制造技术的提出及发展

1.2.1 先进制造技术产生的背景

先进制造技术的产生不仅是科学技术范畴的事情,而且也是人类历史发展和文明进步的必然结果。无论是发达国家、新兴工业国家还是发展中国家,都将制造业的发展作为提高竞争力、振兴国家经济的战略手段,因此,先进制造技术应运而生是必然的。先进制造技术的产生和发展有其自身的社会经济、科学技术及其可持续发展的根源和背景。

1. 社会经济发展背景

近20多年来,市场环境发生了巨大的变化。一方面表现为消费者需求日趋主题化、个性化和多样化,消费行为更具有选择性,产品的生命周期缩短,凸显产品的质量和性能至关重要;另一方面,全球性产业结构调整步伐加快,制造商着眼于全球市场激烈竞争的同时,也着力于实力与信誉基础上的合作和协作。

制造业的核心要素是质量、成本和生产率。面对当代社会变化迅速且无法预料的买方市场和多品种变批量成为主导生产方式,上述三个要素的内涵发生了深刻的变化。首先,产品质量观发生了变化,现代质量观主要指全面满足用户的程度,即不断跟上用户要求和及时响应市场变化,在适当的时间、适当的地点满足用户的功能需求和非功能需求(如自然条件、社会时尚等)。其次,产品成本不仅仅是指制造成本,还包含用户使用成本、维护成本以及社会环境成本,在满足用户个性化要求的前提下应尽量减少上述各类产品成本。再次,赢得订单及高速开发产品是企业成败的关键,是非常规意义上的生产率。因此,制造业应以对市场的快速响应为宗旨,满足顾客已有的和潜在的需求,主动适应市场,从而赢得竞争,获得最大利润。

2. 科学技术发展背景

制造业从20世纪初开始逐步走上科学发展的道路。制造技术已由技艺发展为集机械、材料、电子及信息等多学科的交叉科学——制造工程学。科学技术和生产发展在推动制造技术进步的同时,以其高新技术成果,尤其是计算机、微电子、信息、自动化等技术的渗透、衍生和应用,极大地促进了制造技术在宏观(制造系统的建立)和微观(精密、超精密加工)两个方向上蓬勃发展,急剧地改变了现代制造业的产品结构、生产方式、生产工艺和设备,以及生产组织体系,使现代制造业成为发展速度快、技术创新能力强、技术密集甚至知识密集型产业。信息逐渐成为主宰制造业的决定性因素,计算机及网络技术已经对制造业产生了重大影响,并将产生更大的影响。

3. 可持续发展战略

日益严峻的环境问题引起国际社会的普遍关注,世界环境与发展委员会(WCED)于1987年向联合国42届大会递交的报告《我们共同的未来》提出了“可持续发展”的思路,其定义是:既满足当代人的需求,又不对子孙后代满足其需要之生存环境构成危害的发展。世界资源研究所于1992年对可持续发展给出了更简洁明确的定义:即建立极少产生废料和污染物的工艺或技术系统。上述定义强调了当代人在创造和追求今世发展和消费的同时,不能以牺牲今后几代人的利益为代价。社会经济发展模式应由粗放经营、掠夺式开发向集约型、可持续发展转变。面向可持续发展的制造业,应力求对环境的负面影响最小,资源利用效率最高。

鉴于上述社会、经济、科学技术,以及环境资源保护的历史背景,各国政府和企业界都在寻

求对策,以获取全球范围内的竞争优势,传统的制造技术已变得越来越不适当当今市场快速变化的趋势,而先进制造技术,尤其是计算机技术和信息技术在制造业中的广泛应用,使人们正在或已经摆脱传统观念的束缚,使人类跨入制造业的新纪元。

先进制造技术(AMT)作为一个专用名词的出现,最早源于美国。美国制造业在第二次世界大战及稍后时期得到了空前的发展,形成了一支强大的研究开发力量,成为当时制造业的霸主,制造业可以说是美国经济的主要支柱,因为美国财富的68%来源于制造业。战后国际环境发生了很大的变化,军事对峙和显示实力刺激制造业发展的背景减弱了。由于美国长期受强调基础研究的影响,忽视制造技术的发展,到20世纪70年代日本和德国经济恢复时,美国制造业遇到了强有力的挑战,汽车业、家用电器业、机床业、半导体业、应用电子工业、钢铁业的霸主地位相继退位,连优势最为明显的航天、航空业也遇到了强有力的竞争对手,出口产品的竞争力大大落后于日本和德国,对外贸易逆差与日俱增,经济滞胀,发展缓慢。而日本在过去几十年内不断地主动采用制造新技术,使其制造业处于世界领先地位。于是,在20世纪80年代初期,美国一批有识之士相继发表言论,对美国制造业的衰退进行了反思,强调了制造技术与国民经济及国力的至关重要的相依关系以及制造技术的重要性。在此背景下,克林顿政府在上台后,相继提出了两个颇有号召力的口号:“为美国的利益发展技术”“技术是经济的发动机”,强调了具有明确的社会经济目标关键技术的重要性,制订了国家关键技术计划,并对其技术政策做了重大调整。美国先进制造技术也就是在这样一个社会经济背景下出台了。AMT的提出是制造业新技术发展实际进程的反映,它一经提出,立即得到欧洲各国、日本及亚洲新兴工业化国家的响应。例如:欧共体的EURECA(尤里卡)计划、ESPRIT(欧洲信息技术研究发展战略)计划、BRITE(欧洲工业技术基础研究)计划;韩国的先进制造系统计划;我国的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》也强调了大力振兴装备制造业,并以低碳技术为特征可持续发展。这些将使先进制造技术不断得到深入研究和发

1.2.2 先进制造技术的发展历程

20世纪60年代,随着市场竞争的加剧,大规模生产方式面临新的挑战,制造企业的生产方式开始向多品种、中小批量生产方式转变。自然科学的进步促进了新技术的发展和传统技术的革新、发展和完善,为AMT的发展储备了条件,产生了新兴材料技术、新切削加工技术(包括数控机床、新刀具、超高速和精密加工等)、核能技术、微电子技术、自动化技术等,对制造业及其技术体系提出了更高的要求。与此同时,以大规模集成电路为代表的微电子技术,以及以微机为代表的计算机技术的迅速发展,极大地促进了制造业的工艺与装备技术的进步,为制造企业实现多品种、中小批量的生产方式创造了有利条件。这阶段诞生的先进制造技术与制造装备主要有计算机辅助设计(computer aided design, CAD)、计算机辅助工艺规划(computer aided process planning, CAPP)、计算机辅助工程(computer aided engineering, CAE)、计算机辅助制造(computer aided manufacturing, CAM)、现代数控技术(numerical control, NC)及NC装备、柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)、及时生产(just in time, JIT)等。

进入20世纪80年代,一方面,市场环境发生了新的变化,消费者的需求日趋多样化和个性化,市场竞争日趋激烈;另一方面,科学技术的发展也进入了一个日新月异的时代,电子信息技术和自动化技术发展迅猛。制造理念、制造技术和制造装备也迎来了新的发展时期,出现了制造资源计划(manufacturing resource planning, MRP II)、企业资源计划(enterprise resource

planning,ERP)、计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system,CIMS)、并行工程(concurrent engineering,CE)、精益生产(lean production,LP)等,这些都是 AMT 的直接体现。

20 世纪 90 年代以来,以 Internet 为代表的信息技术革命给世界带来巨大的变化,经济全球化进程也打破了传统的地域经济发展模式,市场变得更加广阔。在这种时代背景下,提高制造企业的快速响应能力以适应瞬息万变的市场需求,成为制造企业赢得市场竞争的关键。围绕这一目标,出现了许多先进制造系统模式,如敏捷制造(agile manufacturing,AM)、虚拟制造(virtual manufacturing,VM)、智能制造(intelligent manufacturing,IM)及绿色制造(green manufacturing,GM)等。

1.2.3 先进制造技术在我国的发展状况

先进制造技术在我国政府的关怀下得到快速发展和重大突破。具体表现在以下几个方面。

(1) CAD 技术普及化。

CAD 技术的普及提高了我国企业的设计水平和产品开发能力。以三维 CAD 和产品数据管理(production data management,PDM)为重点的技术,在软件市场和企业应用方面都相当活跃。在三维 CAD 软件开发上,主要表现为:新一代三维 CAD 软件及 CAD/CAM 系统纷纷上市,建立了 2D 和 3D 统一模型,软件的集成性得到提高与改善,软件的专业化和本地化得到加强。到 1999 年底,CAD 技术的应用已经遍及国内 29 个省市的各个行业,有 10 余万家企业广泛应用了 CAD 技术。

(2) 快速原型制造技术由起步迈向成熟,应用粗具规模。

快速原型制造(rapid prototype manufacturing,RPM)技术是一项国外在 20 世纪 80 年代中期才发展起来的高新技术,它是一切由 CAD 模型直接驱动的快速制造任意复杂形状三维实体的技术总称。我国从 20 世纪 90 年代起步,并取得了突破性的进展。目前已掌握了四种最主要的 RPM 技术,即立体光刻(stereolithography apparatus,SLA)、叠层实体制造(laminated object manufacturing,LOM)、选区激光烧结(selective laser sintering,SLS)、熔丝沉积成形法(fused deposition modeling,FDM)技术,并在工艺、装备、材料方面齐头并进。采用上述技术的设备国内都已商品化生产,投放国内市场并有少量出口。现在我国拥有的 RPM 设备从 20 多种发展到约 200 种,其中有 50%是中国自己制造的。

(3) 精密成形与加工技术水平显著提高,在汽车零部件、重大装配制造中获得广泛应用。

精密成形与加工技术是指机械零部件从毛坯成形、零件加工到装配成为产品的全过程中,采用近净成形(near net shape process)、近无缺陷成形、超精密、超高速等多种先进技术,使制造过程精密、高效、低耗,以获得高精度、高质量产品的综合集成技术。

在精密加工方面:通过超精密车床的研究开发,一种最小分辨力(最小脉冲当量)为 5 nm、主轴精度为 50 nm、定位精度小于 $0.1 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ 、床身上最大工件回转直径为 800 mm 的超精密车床已经问世。另外,针对谐振腔体加工、复印鼓加工、球面加工的需要还开发了专用超精密车床等。

在精密成形方面:攻克了采用铜金属型进行球墨铸铁铸件精密铸造的难关,开发了汽车球铁薄型件金属型铸造工艺与成套装备,并已用于汽车齿轮等零件毛坯制造;在对汽车覆盖件冲压成形过程仿真技术及相关成套技术系统研究基础上,建立了我国具有自主知识产权的汽车覆盖件 CAD/CAE/CAM 一体化技术,并解决了覆盖件冲压时起皱与拉裂等生产难题。

(4) 热加工工艺模拟优化技术取得重要进展,使材料热加工由“技艺”走向“科学”。

热加工工艺模拟优化技术(以下简称模拟优化)以材料热加工过程的精确数学、物理建模为基础,以数值模拟及相应的精确测试为手段,能够在计算机逼真的拟实环境中动态模拟热加工过程,预测材料经过成形、改性制成零件毛坯后的组织性能质量,特别是能找出易发缺陷的成因及消除方法。通过在虚拟条件下工艺参数的反复比较,得出最优工艺方案;通过模拟优化,可以确保关键大件一次制造成功。对于大批量生产的毛坯件,可以减少试模次数,直至确保一次试模成功。

(5) 激光加工在基础研究和技术开发方面有实质性进展,产业应用获得经济效益。

在应用基础研究方面:大功率 CO_2 及 YAG 激光三维焊接和切割机理与技术研究已取得重要进展:一是建立了大功率激光光束的传输与聚焦理论及加工用激光光束质量的评定方法;二是建立了具有真正实用价值的激光三维加工数控自动编程系统。

在技术开发方面:通过对大功率激光光束光斑诊断技术的研究,已开发出大功率激光光束光斑诊断仪样机,可对连续大功率激光光束和聚焦光斑的功率密度分布进行测量。在激光熔敷技术方面解决了两个关键技术:一是研制出采用载气送粉和同轴保护气的自汇聚三维随动熔敷加工头;二是设计制作了以高精车为主体的光束成形系统,从而使该技术真正走向工业应用。

(6) 数控技术取得重要进展,国内市场占有率有所提高。

我国在数控机床共性关键技术攻关、数控机床开发、数控系统和普及型数控机床产业化工程研究、传统装备的数控化改造等方面取得了进展,在一些基础技术和关键技术上也有重大突破。目前,正在实施推广“数控一代”产品。

(7) 现场总线智能仪表研究开发获重要进展,应用已有一定的基础。

基于计算机及数字通信技术的工业控制通信网络技术,即现场总线技术,以及相关的设备及系统技术获得飞速发展,这是未来工业自动化技术和自动化控制技术的重要发展方向。

(8) 微型机械研究进展迅速,标志着先进制造技术正向微观领域扩展。

微型机械研究泛指尺寸范围为毫米、微米或纳米级,集微结构、微传感器、微控制器为一体的微机电系统。

(9) 现代集成制造系统研究和应用取得突破,在国际上占有一席之地。

(10) 新生产模式的研究和实践具有特色,推动了我国制造业的技术进步和管理现代化。

20 世纪 90 年代,我国在汽车制造业中首先推广精良生产。通过精简机构、减少管理层次、组织团队、消除企业中存在的各种浪费现象,显著提高了企业的经营效益。随着 Internet 的普及应用,众多高等院校将敏捷制造作为研究方向,并结合我国制造业的实际情况进行了有益的探索和实践。

1.3 先进制造技术的内涵、体系结构及其分类

1.3.1 先进制造技术的内涵

先进制造技术是为了适应时代要求,提高竞争力,对制造技术不断优化及推陈出新而形成的。因此,可以认为:“先进制造技术是在传统制造技术基础上不断吸收机械、电子、信息、材料、能源以及现代管理技术的成果,将其综合应用于产品设计、加工装配、检验测试、经营管理、

售后服务乃至回收的制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。”

先进制造技术的核心是优质、高效、低耗、清洁、灵活生产的基础制造技术,其目的是满足用户个性化、多样化的市场需求,提高制造业的综合经济效益,赢得激烈的市场竞争。为此,先进制造技术比传统制造技术更加重视技术和管理相结合,重视制造过程组织和管理体制的简化及合理化。

1.3.2 先进制造技术的体系结构及其分类

1. 先进制造技术的体系结构

先进制造技术所涉及的学科较多,包含的技术内容广泛。1994 年美国联邦科学、工程和技术协调委员会(FCCSET)下属的工业和技术委员会提出一种三位一体的先进制造技术体系结构,如图 1-1 所示。该体系结构强调“主体技术群、支撑技术群、制造技术基础设施”三部分只有相互联系、相互促进,才能发挥整体的各功能效益,每个部分均不可或缺。其中,主体技术群是 AMT 的核心;支撑技术群是支持设计和制造工艺两个方面取得进步的基础性技术;制造技术基础设施则是 AMT 适用于具体企业的应用环境以及充分发挥其功能和取得最佳效益的一系列措施,是 AMT 生长的机制和土壤。这种体系结构着重从宏观的角度描述 AMT 的组成及其各部分在制造过程中的作用。

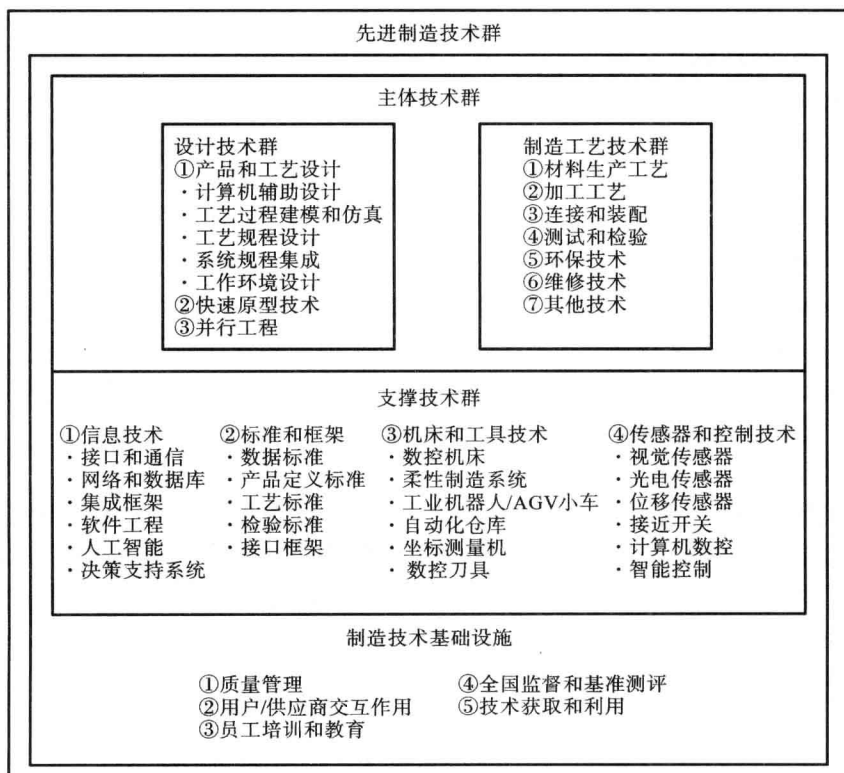


图 1-1 先进制造技术的体系结构框图

2. 先进制造技术的分类

根据先进制造技术的功能和研究对象,可将先进制造技术归纳为如下几个大类。

1) 现代设计技术

现代设计技术是根据产品功能要求,应用现代技术和科学知识,制定设计方案并使方案付诸实施的技术,其重要性在于使产品设计建立在科学的基础上,促使产品由低级向高级转化,促进产品功能不断完善,产品质量不断提高。现代设计技术包含如下内容。

(1) 现代设计方法 包括模块化设计、系统化设计、价值工程、模糊设计、面向对象的设计、反求工程、并行设计、绿色设计、工业设计等。

(2) 产品可信性设计 产品的可信性是产品质量的重要内涵,是产品的可用性、可靠性和维修保障性的综合。可信性设计包括可靠性设计、安全性设计、动态分析与设计、防断裂设计、防疲劳设计、耐环境设计、维修设计和维修保障设计等。

(3) 设计自动化技术 是指用计算机软硬件工具辅助完成设计任务和过程的技术,它包括产品的造型设计、工艺设计、工程图生成、有限元分析、优化设计、模拟仿真、虚拟设计、工程数据库等内容。

2) 先进制造工艺

先进制造工艺是先进制造技术的核心和基础,是使各种材料、半成品成为产品的方法和过程。先进制造工艺包括高效精密成形技术、高精度切削加工工艺、特种加工以及表面改性技术等内容。

3) 制造自动化技术

制造自动化是用机电设备工具取代或放大人的体力,甚至取代和延伸人的部分智力,自动完成特定的作业,包括物料的存储、运输、加工、装配和检验等各个生产环节的自动化。制造过程自动化技术涉及数控技术、工业机器人技术、柔性制造技术、传感技术、自动检测技术、信号处理和知识识别技术等内容。其目的在于减轻操作者的劳动强度,提高生产效率,保证制造质量,减少在制品数量,节省能源消耗和降低生产成本等。

4) 现代生产管理技术

现代生产管理技术是指制造型企业从市场开发、产品设计、生产制造、质量控制到销售服务等一系列的生产经营活动中,为了使制造资源得到总体配置优化和充分利用,使企业的综合利益(涉及质量、成本、交货期等因素)得到提高而采取的各种计划、组织、控制及协调的方法和技术的总称。它是先进制造技术体系中的重要组成部分,包括现代管理信息系统、物流系统管理、工作流管理、产品数据管理、质量保障体系等。

5) 先进制造生产模式及系统

先进制造生产模式及系统是面向企业生产全过程,是将先进的信息技术与生产技术相结合的一种新思想和新哲理,其功能覆盖企业的生产预测、产品设计开发、加工装配、信息与资源管理直至产品营销和售后服务的各项生产活动,是制造业的综合自动化的新模式。它包括计算机集成制造(CIM)、并行工程(CE)、精益生产(LP)、敏捷制造(AM)、智能制造(IM)、绿色制造(GM)等先进的生产组织管理模式和控制方法。

1.4 先进制造技术的特点与发展趋势

1.4.1 先进制造技术的特点

与传统制造技术比较,先进制造技术具有如下特点。