

先进制造技术

石文天 刘玉德 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

先进制造技术

石文天 刘玉德 编著



机械工业出版社

全书共分5章：第1章 先进制造技术概论，主要介绍了先进制造技术的产生背景和需求，先进制造技术的内涵和特点以及发展概况及趋势等；第2章 先进制造工艺技术，主要介绍了先进制造技术的各种工艺技术，包括先进制造工艺技术概述、精密和超精密加工技术、微细加工技术、生物制造技术、高速加工技术、快速成型技术、激光加工技术和高能束加工技术等；第3章 先进制造生产模式，主要介绍了虚拟制造、并行工程、敏捷制造、精益生产、智能制造和绿色制造技术；第4章 先进制造自动化技术，包括计算机辅助设计技术、计算机集成制造技术、数控技术、柔性制造技术、工业机器人；第5章 先进制造管理技术，包括产品数据管理、物料需求计划、企业资源计划、准时生产和质量工程等。

本书可供机械类专业及非机械类专业本科生和研究生学习参考，也可作为从事机械加工制造业相关技术人员的参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

先进制造技术/石文天，刘玉德编著. —北京：机械工业出版社，2017.10

ISBN 978-7-111-58959-4

I. ①先… II. ①石… ②刘… III. ①机械制造工艺 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 010320 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：曲彩云 责任编辑：曲彩云 李含阳

责任校对：张 薇 封面设计：路恩中

责任印制：常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·15.25 印张·288 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-58959-4

定价：59.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

序

国家“十三五”规划纲要指出：实施制造强国战略，促进制造业朝高端、智能、绿色、服务方向发展，培育制造业竞争新优势。发展高端制造业，需要先进制造技术的强大支撑和有力推进。本书详细介绍了先进制造技术的系统结构，包括先进制造技术的内涵、发展以及先进制造工艺技术、先进制造生产模式、先进制造自动化技术、先进制造管理技术等方面的最新成果和发展态势。全书结构紧凑、层次清晰、通俗易懂、循序渐进，对于读者初识先进制造技术，了解先进制造技术的内涵和发展，掌握先进制造技术的要义和精髓有重要的帮助和引领作用。

先进制造工艺技术是先进制造技术的核心部分，也是本书的重点篇幅，细分为精密与超精密加工技术、微细加工技术、微细切削技术、生物制造技术、高速加工技术、快速成型技术和特种加工技术等，囊括了国内外主要的先进制造工艺技术。工艺技术的创新和发展是制造技术先进性的重要体现，直接拓展了先进制造技术的能力范围，各种工艺技术基于自身的能量输出方式，采取不同的原理方法，可以实现同一零件的加工制造，供人们从中选择适合自身要求和条件的加工方式。

先进制造生产模式是工艺技术在工程应用的具体体现，是生产组织的更高层次，进一步体现了生产制造在组织管理上的特点和先进性。例如，虚拟制造是基于计算机技术的模拟制造，突破了传统设计制造的局限，在计算机上可以预先设计制造乃至模拟生产；智能制造作为《中国制造 2025》的重要发展方向，其智能化程度的提高有赖于物联网方面的建设和支撑，可实现制造的更高层级组织和管理；绿色制造则是顺应时代发展潮流，节约地球能源，关注人与自然，对制造业链条的绿色化改造和提升。

先进制造管理技术是企业级别组织大规模生产实用的管理技术方法。只有采用先进的、面向生产制造的管理方法，才能使企业在激烈的市场竞争中脱颖而出，拔得头筹，用较低的成本获得较高的收益，以取得不断发展的动力。科学、有效的管理是现代企业大规模生产的必备内功，其重要程度不亚于甚至高于采用先进的制造工艺技术，是更高层次的统筹和规划。

先进制造工艺技术是制造业的核心竞争力，为实现这一核心竞争力，需要先进制造管理技术作为保障手段。先进制造自动化技术是先进制造工艺技术的底层技术支撑，起到整体架构的作用，正是在自动化技术的发展和引领下，催生了众多的先进制造生产模式和更先进的管理技术和手段。

对本书各章节逻辑关系的概述大致如此，希望对读者阅读本书有所帮助！



前 言

制造水平的提高是人类社会进步的重要标志，先进制造技术则是一个国家整体水平和实力的重要体现。大国担当需要先进制造技术，国之重器需要先进制造技术，国计民生更需要先进制造技术。经过几十年的发展，先进制造技术在传统加工制造技术的基础上，吸收了前沿的各种技术装备和加工手段以及其他学科的最新技术而迅猛发展，研究人员创新性的思维和创造性的探索使得先进制造技术焕发出蓬勃的生命力，在各种工程领域解决了很多技术难题，在科研学术方面引发了诸多学术热点。先进制造技术从最初的先进制造技术工艺拓展而来，包含了先进设计技术方法、先进制造生产模式、先进制造自动化技术和先进制造管理技术等，涵盖了从概念设计、制造工艺到规模生产、组织管理的制造系统各个环节，成为名副其实的先进制造技术系统，有力地支撑了制造业的发展，拓宽了先进制造的内涵和应用，使生产力获得了量的提升和质的飞跃。

先进制造技术的发展非常迅速，其内涵是与时俱进的。先进的工艺技术没有多长时间就会变得不再先进，很多技术只能停留在样品试制方面或者实验室阶段，暂时不具备条件或者根本不能转化为大规模生产，不能获得经济效益，但学术上的研究和探讨却是有益和值得去做的。在此向所有曾经致力于和正在从事先进制造方面工作的学者、工程师、技术人员致敬！只有持续不断的投入，才能引领制造技术的突飞猛进，实现一个又一个人类历史和自身能力的跨越和提升。

本书出版受到北京工商大学和国家自然科学基金项目（51505006）资金资助。在此谨向北京工商大学、国家自然科学基金委员会，以及参与本书撰写、编辑、校对、出版等工作的全体人员致以衷心的感谢！

限于作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请各位专家和读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

第 1 章 先进制造技术概论 1

1.1 先进制造技术的产生背景 2

1.1.1 制造业及其发展 2

1.1.2 先进制造技术的产生 3

1.2 先进制造技术的内涵及体系结构 5

1.2.1 先进制造技术的内涵和特点 5

1.2.2 先进制造技术的体系结构 6

1.2.3 先进制造技术的主要内容 9

1.3 先进制造技术的发展概况与趋势 11

1.3.1 各国先进制造技术的发展概况 11

1.3.2 先进制造技术的发展趋势 14

第 2 章 先进制造工艺技术 18

2.1 概述 18

2.1.1 先进制造工艺技术的产生 18

2.1.2 先进制造工艺技术的分类和特点 18

2.1.3 先进制造工艺技术的发展趋势 20

2.2 精密与超精密加工技术 21

2.2.1 概述 21

2.2.2 精密与超精密加工技术的分类及影响因素 22

2.2.3 超精密加工技术包含的领域 24

2.2.4 超精密切削加工 25

2.2.5 超精密磨削加工 27

2.2.6 超精密抛光加工 29

2.2.7 精密与超精密加工技术的发展趋势 29

2.3 微细加工技术 31

2.3.1 概述 31

2.3.2 技术 34

2.3.3 微细加工技术的发展趋势 39

2.4 微细切削技术 40

2.4.1 微小型机床 40

2.4.2 微细切削刀具 42

2.4.3 微细切削工艺方法 47

2.4.4 微细切削技术的发展趋势 52

2.5 生物制造技术 53

2.5.1 生物制造的概念 53

2.5.2 生物制造的内容及应用 53

2.5.3 生物刻蚀加工技术 56

2.5.4 生物制造技术的发展趋势 60

2.6 高速加工技术 61

2.6.1 高速加工技术的发展历程和技术特点 61

2.6.2 高速切削加工的关键技术 64

2.6.3 高速加工技术的应用 70

2.6.4 高速加工技术的发展趋势 71

2.7 快速成型技术 72

2.7.1 快速成型技术的原理 72

2.7.2 快速成型技术的发展

历程	73	3.5.3 智能制造系统的主要支撑技术	127
2.7.3 快速成型技术的工艺分类	74	3.5.4 机械制造业的未来——智能制造	128
2.7.4 快速成型技术的工艺特点	80	3.5.5 智能制造系统——分布式网络化智能制造系统	129
2.7.5 快速成型技术的发展趋势	81	3.6 绿色制造	131
2.8 特种加工技术	82	3.6.1 绿色制造的起源及特点	132
2.8.1 激光加工技术	83	3.6.2 绿色制造的主要研究内容	133
2.8.2 电子束加工技术	85	3.6.3 绿色制造的发展趋势	141
2.8.3 离子束加工技术	88	第4章 先进制造自动化技术	144
2.8.4 高压射流加工技术	91	4.1 计算机辅助设计技术	144
第3章 先进制造生产模式	101	4.1.1 计算机辅助设计技术的发展及其定义	145
3.1 虚拟制造	101	4.1.2 计算机辅助设计系统的基本组成及功能	146
3.1.1 虚拟制造的定义及内涵	101	4.1.3 计算机辅助设计系统的工作过程和技术优势	147
3.1.2 虚拟制造的关键技术	103	4.1.4 计算机辅助设计系统的关键技术	148
3.1.3 虚拟制造的特征及意义	105	4.1.5 逆向设计技术	153
3.1.4 虚拟制造环境与平台	107	4.2 计算机集成制造技术	155
3.1.5 虚拟制造技术的应用	108	4.2.1 计算机集成制造系统的概念和基本要素	155
3.2 并行工程	109	4.2.2 计算机集成制造系统的功能组成	156
3.2.1 并行工程的内涵及特性	109	4.2.3 计算机集成制造系统的关键技术及应用	158
3.2.2 并行工程的关键技术	111	4.3 数控技术	159
3.2.3 并行工程的应用	112	4.3.1 数控技术的发展概况	159
3.3 敏捷制造	114	4.3.2 数控机床的原理及优势	162
3.3.1 敏捷制造的特点与组成	115	4.3.3 数控机床的组成	164
3.3.2 敏捷制造对制造业的影响	116	4.3.4 数控编程技术	165
3.3.3 敏捷制造的研究与应用	117	4.3.5 数控机床的关键技术	168
3.4 精益生产	118	4.3.6 数控技术的相关应用	172
3.4.1 精益生产的起源及内涵特征	119	4.3.7 数控机床的发展趋势	173
3.4.2 精益生产的主要内容	120	4.4 柔性制造技术	177
3.4.3 精益生产与敏捷制造的关系	122		
3.4.4 精益生产的应用	123		
3.5 智能制造	124		
3.5.1 智能制造的发展历程	124		
3.5.2 智能制造系统的特征	127		

4.4.1 概述	177	5.2.2 物料需求计划的输入 信息	212
4.4.2 柔性制造系统的组成	179	5.2.3 物料需求计划的计算 逻辑	214
4.4.3 柔性制造系统的特点	190	5.2.4 闭环物料需求计划	215
4.4.4 柔性制造系统的发展 趋势	191	5.2.5 制造资源计划	216
4.5 工业机器人	192	5.3 企业资源计划	218
4.5.1 工业机器人的组成	193	5.3.1 企业资源计划的核心 思想	219
4.5.2 工业机器人的分类	195	5.3.2 企业资源计划的特点	221
4.5.3 工业机器人的主要性能 ...	197	5.3.3 企业资源计划应用实例 ...	223
4.5.4 工业机器人的主要技术 ...	198	5.4 准时生产	224
4.5.5 工业机器人在现代制造业 中的应用	201	5.4.1 看板管理技术	224
第5章 先进制造管理技术	204	5.4.2 看板的功能	226
5.1 产品数据管理	205	5.4.3 准时生产管理方式的 实现方法	227
5.1.1 概述	205	5.5 质量工程	228
5.1.2 产品数据管理的体系 结构	206	5.5.1 全面质量管理的内容	228
5.1.3 产品数据管理的主要 功能	207	5.5.2 全面质量管理的基本 程序	229
5.1.4 产品数据管理技术的应用 及发展趋势	209	5.5.3 全面质量管理的特点	230
5.2 物料需求计划	210	5.5.4 全面质量管理实施现状 ...	231
5.2.1 概述	211	参考文献	233

第 1 章 先进制造技术概论

国家“十二五”规划指出：现代制造业已成为全国产业结构调整和工业化核心战略。先进制造技术是现代制造业的技术基础，要实现我国从制造业大国到制造业强国的质变，必须真正掌握先进制造技术，充分吸收并加以创新，使其应用于现代制造业的各个领域。先进制造技术是最终完成由“中国制造”到“中国创造”转变的技术基础，也是我国发展转型的重要技术支撑。

经过 30 多年的改革开放和发展，2016 年中国 GDP 总量达 74.4 万亿元人民币，约合 10 万多亿美元，稳居世界第 2，但人均 GDP 很低，不到 8000 美元；同期美国的 GDP 总量为 18 万亿美元，人均 GDP 约 5.6 万美元，这些数据表明我国的粗放型经济增长方式依然在国民经济中占很高的比重。我国制造业长期以来仍然是依靠出售能源、人力、物力等资源为主的低端制造业，其单位产值的能耗和物耗居世界第一，比发达国家高 4~10 倍。由于产品技术含量低，创新性不强，尽管产量较高，但其附加值低，在世界产业分工和利益分配格局中处于不利地位，而且有可能被具备同样资源优势的印度、巴西、俄罗斯等国所取代。制造业作为实体经济的首要组成部分，其地位与作用非常重要，在多次经济危机中，实体经济尤其是制造业的健康发展是抵御经济危机的最后防线。2008 年，世界范围内爆发的金融危机对德国的冲击小于英美两国，关键就在于工业制造业在德国 GDP 的比重高达 29%。有媒体对金融危机后的德国采访后得出了“德国的实力在工厂”的结论。

制造业是国家科技水平和综合实力的重要标志，先进制造技术和制造装备对于发达国家来讲，也是“国之利器，不可以示人”。国外限制出口到我国的尖端技术，如飞机发动机、超精密数控机床等，多数与先进制造技术有关。尽管近年来我国制造业有了很大发展，取得了一系列重大成就，数十种产品的年产量已居世界第 1 位，并初步形成了若干个具有一定特色的制造业集中地，以及具有一定规模和实力的制造业大企业集团。但是，人们追求个性化、差异化的市场需求，也使制造业发生了根本转变，从原来的少品种、大批量向多品种、小批量或变批量发展。新崛起的制造大国，如印度、巴西等，也造成了经济全球化一体化的市场竞争。惟有采用先进制造技术，利用先进装备，创新生产工艺，改革生产管理，提高生产效率，才能有效降低劳动成本，快速响应市场多变的产品需求，满足人们的生活需要。随着现代社会对先进制造技术的要求逐步提高，高精尖技术一经出现，其转化为生产力的时间日益缩短，如果不能抓住机遇，努力参与科技

创新和技术提升，将会错失产业结构升级调整的历史机遇。国家所提的“必须下大力气发展高端制造业”正是基于这些原因。

美国曾把制造业认为是“夕阳产业”，而忽视对制造业的投入和创新。20世纪80年代，日本和德国制造业的崛起使美国制造业面临着空前的挑战，美国在某些工业领域市场竞争力出现了下降，迫使20世纪90年代的克林顿政府提出了发展先进制造技术的六点行动，重提重视产业技术的发展，以制造业为中心大力进行技术推广，强调产业整体技术水平和市场竞争力的提高。具体举措包括资助先进制造技术的研发、支持敏捷制造、促进建立技术联盟、促进制造工程教育的发展、建立全国制造技术推广中心网及促进环境友好的制造技术的发展等。从1993年到1996年，美国政府先后组织制定和批准了先进制造技术计划、美国先进制造技术发展战略、敏捷制造技术战略发展计划以及美国先进制造技术的发展重点等，通过这些计划的实施，美国制造业迅速发力，重回世界舞台。2010年，美国制造商生产的产品价值约为1.7万亿美元，占美国国内GDP的11.7%；同时，制造业也是美国出口的最大贡献者，其出口额在1.1万亿美元以上，占美国所有出口量的86%和出口总额的60%，美国制造势头强劲，仍是全世界头号制造强国。

1.1 先进制造技术的产生背景

1.1.1 制造业及其发展

制造业是国家经济发展的支柱产业和主要收入来源。在国民经济的划分中，农业为第一产业，工业为第二产业，服务业为第三产业。工业又分制造业、建筑业、水电煤供应业等，我国工业占国民经济比重为52%，其中制造业占到工业产值的45%。制造业是工业化国家经济增长的发动机，也是从业人员较多的领域，在工业化国家中，约有25%的人口从事制造业，是解决就业的主要途径之一；制造业同时也提供国民经济各部门所必需的各种先进手段和装备，为农业、服务业、国防、交通、文化教育等提供技术支持和物质保障。

制造业发展的历史也是人类认识自然、改造自然并与之和谐共处的过程。石器时代，各种石质工具，如石针、石刀、石斧的制造，提高了人类适应自然的生存能力；青铜器时代，铜的使用和各种铜器的制造，加速了人类改造自然的进程；铁的和钢的发明至今影响着人类的生产生活，煤炭和钢铁的大规模采掘和冶炼直接或间接促使了第一次工业革命的爆发，也使得人类的发展进入了一个史无前例的高速通道。钢的大规模使用直接促进了制造业的蓬勃发展，其年产量一直是一个国家经济发展的重要指标。应该说，制造业的发展是人类社会进步发

展的一个侧影，制造能力的高低直接决定了人类的发展水平，其发展对一个国家的经济、社会、文化会产生重大而又深远的影响。

制造业发展到现在，已经不是传统意义上的制造，尤其是先进制造技术的出现和发展，正在不断深化和拓展着制造的领域和范围。先进制造技术（advanced manufacturing technology, AMT）是美国根据本国制造业面临的挑战和机遇，为增强制造业的竞争力和促进国家经济增长，在 1993 年的联邦科学、工程与技术协调委员会（FCCSET）的先进制造技术计划中首先提出的。此后，欧洲各国、日本、韩国等也相继做出响应。

1.1.2 先进制造技术的产生

20 世纪 70 年代，由于美国政府忽略了制造业的投入和发展，从而导致科技优势和经济竞争能力下降，相对日、德等国呈现明显落后的趋势。在重新认识和评价制造业的地位和作用的过程中，针对日新月异的科学技术、复杂多变的内外环境、频繁变化的供求关系、不断更新的产品类型和日趋激烈的市场竞争，美国的研究学者提出了“先进制造技术”的概念，旨在振兴制造业，缓解市场压力，重获竞争优势。先进制造技术的产生不仅是科学技术发展的产物，而且也是人类历史发展和文明进步的必然结果。先进制造技术的产生和发展有其自身的社会经济、科学技术以及可持续发展的根源和背景。

1. 社会经济发展背景

随着人类社会的不断发展，政治经济生活日趋多样，人们的生产、生活诉求也发生了变化，不再追求大一统，而是刻意强调个性、突出自我、体现差异、不断更新。随之而来的市场消费环境也发生了巨大的变化，主要体现在消费需求日趋个性化、多样化，消费行为更具选择性、突出差异性，这样就造成产品的型号变多、批量变小，生命周期明显缩短，且更加注重产品的内在质量和性能。另一方面，全球性产业结构调整步伐加快，市场不断扩大交融，呈现全球化，制造商不仅要面对着不断增加的来自全球的激烈竞争，同时又必须靠实力和信誉与各类竞争者保持着各种各样的合作。

质量是产品的生命，随着消费结构和层次的变化，产品的质量内涵也在延伸。质量不仅包含产品使用性能等基本功能要求，还应包括环境保护、时尚审美、维修维护、更新升级等非主要功能的诉求，即现代质量观衡量的是产品或制品全面满足客户要求的程度。用户的要求在不断创新的技术产品驱动下不断更新，对于产品质量的要求也在不断延伸，这就给制造业带来了很大的挑战。根据这种情况，制造业应该以创新为驱动力，在激烈的市场竞争中把握时代潮流，引领消费需求，适应市场的不断变化，具备快速设计和开发制造的能力，执创新产品之牛耳，以便赢得竞争优势，进而获得巨大收益。

2. 科学技术发展背景

现今科学技术的发展比以往任何一个历史时期都要迅速，学科之间交叉融合又相互推动，许多新技术成果，如计算机、信息、微电子、自动化技术等，从诞生到大规模使用，直至现在仍然高速度发展，其间所用的时间越来越短，而且它们被广泛地应用于各个行业领域，同时也极大地促进了制造业的发展。制造业融合吸收了自动化技术，使其制造柔性增强，有力促进了制造中的物料流；制造业融合吸收了微电子和计算机技术，使制造中能量的可控性增强，能量流的转换更灵活；制造业融合吸收了信息技术，使传统的制造过程更加智能化，并伴随着大量信息的储存、传递、处理、更新，形成了制造信息流。传统制造业基础上的三流合一是先进制造技术的一大特征，也是科技发展的必然结果。现代制造业的生产方式、生产设备、生产工艺、生产组织体系及产品类型等在新技术的推动下也发生了很大的变化，并焕发出勃勃生机，成为技术不断创新、内容不断更新、让人耳目一新的拥有高技术含量的知识密集型产业。

3. 可持续发展战略

从工业革命时期开始，人类改造自然的能力得到大大加强，在自觉和不自觉的生产活动中，自然界的环境已经受到了极大的影响，出现了诸如资源匮乏、污染加剧、物种灭绝等环境灾难，人类赖以生存的水和大气等自然环境也受到了破坏，反过来影响到了人类自身的安全和发展。纵观人类最近几十年的活动，其对地球产生的影响是以往几千年的总和，在创造了高度发达的物质文明和优越生活条件的同时，人类也牺牲了不可再生的自然资源和后代生存发展的自然条件。世界环境与发展委员会（WCED）把可持续发展定义为“既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”，这一定义得到广泛的认可，并在 1992 年联合国环境与发展大会上取得共识。

各工业化国家都经历了类似的发展道路，在付出巨大的环境代价之后，再竭尽所能加以弥补。发达国家都已经完成了全球化经济分工合作的角色定位，已经经历并摆脱了粗放性、掠夺型的靠简单自然资源发展的历史时期，正在走向集约型、精细化的可持续发展道路，依靠先进的科学技术、强大的制造能力、成熟的管理经验占据了全球产业链的高端，攫取着最高的产业利润。为获得明显的竞争优势，各国政府和企业都在积极寻求对策：一方面加大科技创新的力度，鼓励支持各企业和组织参与科技发展，继续保持领先的发展势头；另一方面保护自然环境，减少不可再生资源的开发使用并积极寻找替代品。作为工业发展的中坚力量，制造业首当其冲，面临着如何有效节约资源、减少废物排放、提高生产效率、增加可回收利用比例等可持续发展问题，迫切需要运用各种先进制造工艺，采用自动化控制技术和信息化管理等方法，吸收其他学科的先进技术并加以融合来解决日益突出的环境资源问题。

1.2 先进制造技术的内涵及体系结构

1.2.1 先进制造技术的内涵和特点

先进制造技术不是一个静态封闭的技术系统，它是不断吸收其他先进技术，并加以融合发展的交叉科学，在不同的历史时期它所包含的技术不尽相同。多数学者认为：先进制造技术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，并将其综合应用于产品设计、加工、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的制造全过程，以实现优质、高效、低耗、清洁和灵活生产，提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。

先进制造技术从传统的制造工艺发展起来，并集成其他新技术，实现了优质、高效、低耗、清洁及灵活的生产。先进制造技术的技术基础是各类其他学科的先进技术，包括电子、光学、材料、信息、自动化和管理技术等；由于信息技术的融合，使得先进制造技术的适用范围不仅局限于制造这一个简单环节，还拓展到了以制造为核心的产品的整个生命周期，包括设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务及回收等；而其最终目标是追求制造过程的高效、清洁、低耗和灵活生产，并保证产品质量的优异。

在经济全球化的浪潮中，先进制造技术以其加工柔性和高效可以应对多型号、少批量的产品加工需求，增强了适应动态多变的产品市场能力，具备了制造上的竞争能力；而且由于吸收了先进管理技术的最新发展成果，先进制造技术实现了制造过程组织和管理体制的简化以及合理化，从而产生了一系列先进的制造模式。这种先进的制造模式和先进制造工艺，以及先进管理技术共同组成了先进制造技术的核心，使得传统制造技术脱胎换骨，以先进制造技术的面目出现在世人面前，并展现出巨大的技术优势和实用价值，成为各国争先发展的核心技术。随着全球化与一体化格局的出现，网络化带来的信息流的加速传播，新的先进制造技术也必将在全球范围内扩展传播、深化发展，呈现出全球化的模式。

与传统制造技术相比，先进制造技术具有以下特点。

1. 系统集成性

先进制造技术是一个交叉性很强的技术系统，属于各种不同专业和学科间渗透、交叉、融合的产物，各学科之间的界限逐渐模糊甚至消失，其发展呈现出系统化、集成化的趋势。与传统制造技术之间泾渭分明的学科、专业界限相比较，先进制造技术体现出其博大精深、有容乃大的系统科学性，而且已发展成为集机械、电子、信息、计算机、自动化、材料和管理技术为一体的新型交叉学科，拓

展了制造系统的领域和范围。与传统制造技术只产生物料流和能量流的变化相比,先进制造技术中信息流的作用贯穿始终:在产品的生产过程中,从一开始信息流便介入,有效合理地控制能量流,管理物料流。信息的采集、汇总、储存、传递、反馈及执行等一系列信息流在以制造为核心的设计、加工、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的全过程中发挥着强大的指挥作用,优化了制造的全过程,并产生了诸如并行工程、敏捷制造、精益生产、智能制造等先进生产模式。这些模式的技术核心都是信息技术,执行中都是通过信息流的不断作用而实现的,如并行工程就是依靠信息平行地传递到每个参与研发的设计者手里,同时进行协作开发,最后集成汇总进行设计的一种系统方法。这种方法大大提高了沟通的程度和设计的效率,产品开发人员与其他人员一起共同工作,信息共享程度高,从产品设计开始,就考虑产品整个生命周期中所有的重要环节,使先进制造技术真正成为制造的系统工程。

2. 动态综合性

先进制造技术从诞生起就不是一个静态封闭的技术系统,而是动态变化、与时俱进的发展体系,有其动态综合性。在不同的历史时期和不同的发展环境下,先进制造技术所包含的内容不尽相同。针对特定的应用对象和目标,先进制造技术需要不断地吸收各种高新技术,在吸收中逐渐融合、不断发展,并保持其先进性。先进制造技术追求制造过程的高效、清洁、低耗、灵活生产,并保证产品质量的优异,它脱胎于传统制造技术,与代表着时代发展的新技术结合,既保留了传统制造技术中的有效因素,又吸收了各种高新技术的综合成果。

3. 广泛实用性

先进制造技术解决的是工业应用中的瓶颈问题,是一门面向工业应用、具有很强实用性和广泛性的新技术,其产生和发展具有明确的需求导向,这一点与基础科学研究不同。基础科学中不能用于实际生产的,先进制造技术都无法收入囊中,只有能够解决实际问题的某一技术或者某一理念才能被请进来,揉进去,加以改造利用并得以再生。从先进制造技术的发展来看,无一不是针对某一具体的制造业(如汽车制造、电子工业)的需求而发展起来的先进、适用的制造技术,有其明确的需求导向特征;而且先进制造技术不是以纯粹的追求高新技术为目的,而是注重产生最好的实践效果和应用价值。先进制造技术的广泛性和实用性使其具有强大的生命力和可延展性,是先进制造技术先进性的最主要体现。

1.2.2 先进制造技术的体系结构

先进制造技术是对制造技术不断优化及推陈出新而形成的高新技术群,其体系结构也是与时俱进,不断更新的。在不同的国家、不同的发展阶段,先进制造技术有其不同的内容及组成。下面介绍几个不同的先进制造技术体系划分。

1. AMST 的先进制造技术体系

美国机械科学研究院（AMST）提出的先进制造技术由多层次技术群构成，其体系结构如图 1-1 所示。它强调了先进制造技术是以基础制造技术为核心，吸收新型制造单元技术，发展到先进制造集成技术的过程，也表明了在新产业及市场需求的带动之下，在各种高新技术（如能源技术、材料技术、微电子技术和计算机技术以及系统工程和管理科学）的推动下，先进制造技术的发展历程。

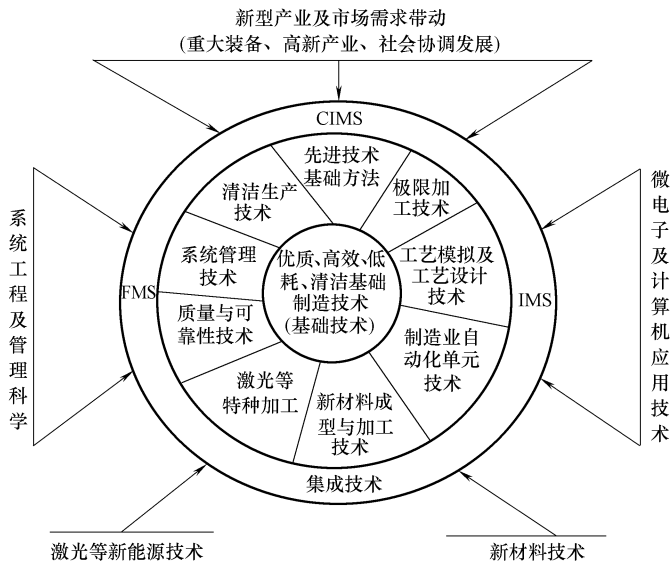


图 1-1 AMST 的多层次先进制造技术体系结构

第一个层次是优质、高效、低耗、清洁的基础制造技术，这也是先进制造技术体系的基础和核心。在这一核心层次中，铸造、锻压、焊接、热处理、表面保护及机械加工等基础工艺至今仍是生产中大量采用、经济适用的技术，这些基础工艺经过优化而形成的优质、高效、低耗、清洁的基础制造技术是先进制造技术的核心及重要组成部分。这些传统的机械加工基础技术，经过发展也具有了近净成形、清洁低耗等特质，主要有精密下料、精密塑性成型、精密铸造、精密加工、精密测量、毛坯强韧化、精密热处理、优质高效连接技术、功能性防护涂层及各种与设计有关的基础技术、各种现代管理技术等。

第二个层次是新型的制造单元技术。这是在新产业及市场需求的带动下，制造技术与电子、信息、新材料、新能源、环境科学、系统工程及现代管理等高新技术结合而形成的崭新的制造技术，如制造业自动化单元技术、极限加工技术、质量与可靠性技术、系统管理技术、CAD/CAM、清洁生产技术、新材料成

形加工技术、激光与高密度能源加工技术、工艺模拟及工艺设计优化技术等。

第三个层次是系统集成技术，包括采用新的应用信息技术和系统管理技术以及新材料技术等其他集成技术，这是随着微电子及计算机应用技术的发展而逐步集成吸收到先进制造技术体系中的。它是通过网络与数据库等计算机技术对前两个层次的技术集成而形成的，如 FMS、CIMS、IMS 及虚拟技术等。

以上三个层次都是先进制造技术体系的有机组成部分，而且整个体系也会随着其他新兴技术的发展不断扩大而发生变化。

2. FCCSET 的先进制造技术体系结构

1994 年初，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先进制造技术工作组提出了有关制造技术的分类目录，这是对先进制造技术内涵的首次较系统的说明。如图 1-2 所示，与 AMST 的描述不同，这种体系不是从技术学科内涵的角度来描绘先进制造技术，而是着重从整个体系的宏观结构组成角度描绘先进制造技术的组成，以及各个部分在制造技术发展过程中的作用。根据这一定义，先进制造技术主要包括以下三个技术群：

1) 主体技术群。包括面向制造的设计技术群和制造工艺技术群。

2) 支撑技术群。包括信息技术、标准和框架技术、机床和工具技术、传感器和控制技术。

3) 管理技术群。它是指整个先进制造体系中所需要的生产管理技术等，包括品质管理、用户/供应商交互作用、培训和教育、监督和基准评测以及技术获取或作用等。

这三部分作为组成先进制造体系的宏观架构，相互联系，相互促进，是一个完整的体系，每一部分均不可缺少。在实际应用中，它们互相作用，共同支撑，形成了先进的制造技术体系。

3. 我国学者提出的先进制造技术体系结构

我国学者在此基础上进行了改进和充实，根据自己的理解和业内的共识，将

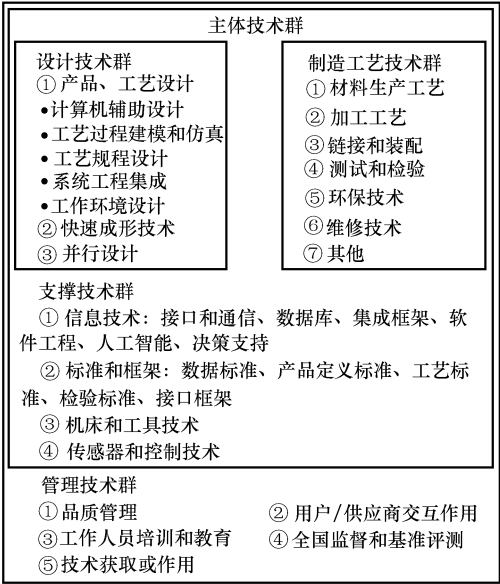


图 1-2 FCCSET 的先进制造技术体系结构