



国防科工委“十五”规划教材·机械工程

先进制造技术导论

王润孝 主编

王润孝 史兴宽
康仁科 苑伟政 编著
刘笃喜 汤军社

西北工业大学出版社 北京航空航天大学出版社
北京理工大学出版社 哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书全面系统地论述了各种先进制造技术和先进制造理念。全书从精密与超精密加工技术、高能束加工及复合加工技术、超高速加工技术、制造自动化技术、微机械及微细加工技术、先进制造系统检测与监控自动化、现代质量工程、先进制造新概念等方面论述了各自的特点、技术内涵及其应用,体现了先进制造技术的发展方向。

本书可以作为机械工程及自动化、工业工程、机械电子工程、材料成型与控制等专业本科高年级学生及研究生的教材,也可以供工程技术人员参考。

图书在版编

先进制造技术导论/王润孝主编. —北京:科学出版社, 2004. 4

ISBN 7-03-011955-X

I. 先… II. 王… III. 机械制造工艺—研究生—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 070475 号

先进制造技术导论

王润孝 主编

责任编辑 段博原

责任校对 包志虹

科学出版社出版发行

北京东黄城根北街 16 号 (100717)

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷 各地书店经销

开本: 787×960 1/16

印张: 21 1/2 字数: 441 千字

2004 年 4 月第一版 2004 年 4 月第一次印刷

印数: 1—2 500 册

ISBN 7-03-011955-X 定价: 30.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任：张华祝

副主任：王泽山

编 委：王 祁

乔少杰

杨志宏

陈国平

贺安之

郭黎利

陈懋章

王文生

仲顺安

肖锦清

陈懋章

夏人伟

屠森林

屠森林

王泽山

张华祝

苏秀华

庞思勤

徐德民

崔锐捷

田 蔚

张近乐

辛玖林

武博祎

聂 宏

黄文良

史仪凯

张耀春

陈光禡

金鸿章

贾宝山

葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性产业，是国防现代化的重要工业和技术基础，也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来，在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下，国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中，取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备，满足了我军由单一陆军，发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其它技术兵种在内的合成军队的需要，特别是在尖端技术方面，成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术，使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备，使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路，建立了专业门类基本齐全，科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系，奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础；掌握了大量新技术、新工艺，研制了许多新设备、新材料，以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术，大大提高了国家的科技水平和竞争力，使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来，伴随着改革开放的伟大实践，国防科技工业适时地实行战略转移，大量军工技术转向民用，为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业，国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来，国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍，他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神，勇挑重担，敢于攻关，为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动，成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战，高等院校在培养国防科技人才，生产和传播国防科技新知识、新思想，攻克国防基础科研和高技术研究难题当中，



具有不可替代的作用。国防科工委高度重视，积极探索，锐意改革，大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具，但受种种客观因素的影响，现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平，不适应国防现代化的形势要求，对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况，建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系，国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量，在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上，以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者，对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审，评选出近 200 种教材和学术专著，覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者，他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等，具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中，国防特色专业重点教材和专著的出版，将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出，进入二十一世纪，我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标，对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展，提升国防实力，需要造就宏大的人才队伍，而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务，落实科教兴国和人才强国战略，推动国防科技工业走新型工业化道路，加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华，实现志向，

提供了缤纷的舞台，希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识，树立正确的世界观、人生观、价值观，努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任，创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好，国防科技工业的明天将再创辉煌。





前言

随着我国加入 W T O , 我国的经济越来越融入到全球化的经济浪潮中。由于我国巨大的市场潜力和劳动力的低成本优势, 改革开放的政策, 经济的持续快速发展以及我国政府的引导和支持, 越来越多的国外企业到我国投资, 我国正在成为世界的工厂。我国制造业在世界制造业中的比重, 1980 年为 1.4 % , 1997 年上升为 5.9 % , 2001 年继续上升至 7 % 。改革开放以来, 我国的经济实力不断提升, 正在迅速逼近世界制造中心的位置。预计到 2020 年, 我国制造业占世界制造业比重将达到 20 % 以上, 并在世界经济舞台上扮演重要角色。据国家统计局的数据显示, 2002 年上半年, 我国制造业增加值在国内生产总值所占的比重维持在 40 % 左右, 我国的财政收入一半来自制造业, 同时制造业吸收了一半的城市就业人口。有专家预测, 我国正处在工业化加速度时期, 至少在 21 世纪的前 20 年, 制造业仍然是我国国民经济增长的主要来源。

但是, 我国在机械的先进制造、工业自动化、工业机器人技术等方面和国外有比较大的差距, 特别是我国机械行业的自动化、信息化水平并不高, 这些方面必须有一个长足的进步才能保证我们“世界工厂”地位的确立。据统计, 我国工业装备整体技术水平落后国际水平 10 ~ 15 年, 制造业与自动化技术落后 15 ~ 20 年, 装备中工业机器人数量极少, 数控化比例很低 (约为 5 %), 尚处于单机自动化和刚性自动化阶段, 现有成套装备中技术经济性能比较先进的只占 1/3, 近 1/5 已经老化, 超期率近 40 % 。装备落后, 导致产品普遍档次低、质量差, 已成为制约制造业发展的瓶颈。为使制造业水平尽快追上先进发达国家, 我国迫切需要大批高素质的专业人才。因此, 为了更好地适应科技与生产的发展, 满足教学与科研的需要, 进一步落实教育部的有关精神, 我们组织并编写了这本《先进制造技术导论》, 旨在将当前的先进制造技术和理念介绍并传授给广大学生以开阔学生视野, 培养学生创新意识与能力, 使其巩固所学基础理论, 了解科技的最新发展。

本书系统地介绍了各种先进制造技术和先进制造理念, 论述了各自



的特点、构成、技术内涵及其应用。全书共9章。第1章绪论, 总体介绍先进制造技术的定义、特点、发展历程及其构成与体系, 同时介绍先进制造技术在各主要工业国家的发展战略; 第2章精密与超精密加工技术, 主要介绍超精密加工的范畴、主要方法以及超精密加工的设备与环境; 第3章高能束加工及复合加工, 主要介绍高能束加工技术和复合加工技术; 第4章超高速加工技术, 在简要介绍超高速加工技术的背景、内涵和范围后, 重点介绍超高速加工的机制、优点及其应用, 同时介绍超高速切削与磨削的相关技术以及超高速加工的测试技术; 第5章制造自动化技术, 介绍制造自动化技术的定义、内涵、技术地位、发展历程及其现状等, 重点介绍了现代数控加工技术、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS); 第6章微机械及其微细加工技术, 主要介绍微细加工及典型微电子机械系统装置; 第7章先进制造系统检测与监控自动化, 主要介绍先进制造系统各种检测与监控技术; 第8章现代质量工程, 在对现代质量工程进行简要概述后, 重点介绍质量体系与ISO 9000标准、先进质量设计技术和方法、制造过程自动质量监测与质量控制以及质量检验; 第9章先进制造新概念, 主要介绍智能制造、敏捷制造、并行工程、虚拟制造和绿色制造等制造领域的新理念, 并对先进制造技术的发展趋势进行了介绍。

本书力求反映当前机械工程领域的先进制造技术及先进制造理念, 在编写过程中, 我们着重强调:

1) 理论性与实用性结合。既注意阐述理论知识, 又注意结合工程领域的实际, 使广大读者在阅读本书时既能学习理论, 又能够通过实际应用来领悟和理解理论。

2) 先进性与传统性结合。在介绍各种先进制造技术的同时, 并没有忽略对传统制造技术的介绍, 既保证了制造领域技术的连贯与延续性, 更体现了制造领域技术的先进性。

3) 系统性与独立性结合。在对先进制造技术进行概要介绍后, 分章节对各种先进制造技术进行分析与研究, 纲目结合, 既反映了制造领域的系统性, 更体现了各种先进制造技术的独立性。

本书内容翔实, 论述深入浅出, 图文并茂, 既可以作为机械设计制造及其自动化、工业工程、机械电子工程等专业的本科生教材, 也可供研究生、工程技术人员参考, 还可以作为自学教材。



本书第 1、第 5 章由西北工业大学王润孝编写；第 2 章由航天科工集团二院 23 所史兴宽编写；第 3、第 4 章由大连理工大学康仁科编写；第 6 章由西北工业大学苑伟政编写；第 7、第 8 章由西北工业大学刘笃喜编写，第 9 章由西北工业大学汤军社编写。全书由王润孝主编，由刘笃喜和汤军社统稿。邱方亮、姜晓鹏等同志参与了本书的修改、录入等工作。

本书承蒙西安交通大学蒋庄德教授主审，在审阅过程中，蒋庄德教授提出了不少可贵的建议和意见，在此表示衷心的感谢。

本书在编写和出版过程中，得到了西北工业大学教务处、科学出版社等单位的大力支持，谨向有关同志表示诚挚的感谢；在编写过程中，参阅了大量的文献与资料，限于篇幅，没有一一罗列，在此也一并向原作者表示感谢！

由于先进制造技术发展迅猛，加之编者资料及水平所限，书中难免有不足甚至错误之处，敬请读者批评指正！

编 者

2004 年 1 月

目 录

总序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 先进制造技术及其主要特点	1
1.1.1 先进制造技术的定义	1
1.1.2 先进制造技术的特点	1
1.2 先进制造技术的构成及分类	3
1.2.1 先进制造技术的构成	3
1.2.2 先进制造技术的分类	5
1.3 先进制造技术的发展过程	5
1.4 工业化国家制造业的发展战略	6
1.4.1 美国制造业的竞争策略	6
1.4.2 日本制造业的发展对策	7
1.4.3 西欧制造业寻找与美日抗衡的途径	7
1.4.4 先进制造技术在我国的发展	8
1.5 先进制造技术的发展趋势	8
思考题	10
第 2 章 精密与超精密加工技术	11
2.1 概述	11
2.2 超精密加工的范畴	11
2.2.1 超精密加工刀具	12
2.2.2 超精密加工设备	13
2.2.3 超精密加工的工作环境	13
2.2.4 超精密加工精度的在线检测及计量测试	14
2.3 超精密加工的主要方法	14
2.3.1 金刚石刀具镜面切削	14
2.3.2 超精密磨削	18
2.3.3 超精密研磨、抛光	24
2.4 超精密加工的设备与环境	31



2.4.1	超精密加工设备	31
2.4.2	超精密加工的环境	36
	思考题	40
第3章	高能束加工及复合加工技术	41
3.1	概述	41
3.1.1	高能束加工和复合加工技术的历史背景	41
3.1.2	高能束加工和复合加工技术的特点及应用领域	42
3.2	激光加工技术	44
3.2.1	激光的产生及其特性	44
3.2.2	激光加工的基本原理及特点	46
3.2.3	激光加工的基本设备	47
3.2.4	激光加工技术的应用	50
3.3	电子束加工	56
3.3.1	电子束加工原理和特点	56
3.3.2	电子束加工装置	57
3.3.3	电子束加工的应用	58
3.4	离子束加工	62
3.4.1	离子束加工原理、分类与特点	62
3.4.2	离子束加工装置	63
3.4.3	离子束加工的应用	63
3.5	复合加工技术	65
3.5.1	机械复合加工	65
3.5.2	电化学复合加工	73
3.5.3	电火花复合加工	79
3.5.4	超声复合加工	80
3.5.5	磨料水射流加工	83
3.5.6	化学机械抛光	84
	思考题	85
第4章	超高速加工技术	86
4.1	概述	86
4.1.1	超高速加工技术的历史背景	86
4.1.2	超高速加工技术的内涵和范围	87
4.2	超高速加工的机制	88
4.3	超高速加工技术的现状与发展趋势	90



4.3.1	超高速切削技术的现状与发展趋势	90
4.3.2	超高速磨削技术的现状与发展趋势	92
4.4	超高速加工技术的优越性	93
4.4.1	超高速切削加工的优越性	93
4.4.2	超高速磨削加工的优越性	94
4.5	超高速加工技术的应用	95
4.5.1	超高速切削技术的应用	95
4.5.2	超高速磨削技术的应用	97
4.6	超高速切削的相关技术	98
4.6.1	超高速切削的刀具技术	99
4.6.2	超高速切削机床	102
4.6.3	超高速加工机床的数控技术	112
4.6.4	超高速切削的安全性	113
4.6.5	超高速切削的切削液及供液系统	115
4.6.6	高速切削的工件材料	116
4.7	超高速磨削的相关技术	117
4.7.1	超高速磨削的砂轮	117
4.7.2	超高速主轴和超高速轴承	119
4.7.3	超高速磨削的砂轮平衡技术与防护装置	120
4.7.4	超高速磨削的磨削液选择和使用	121
4.8	超高速加工测试技术	123
4.8.1	刀具状态检测	123
4.8.2	CNC 机床的位置检测	124
4.8.3	工件状态检测	125
4.8.4	机床工况监控	125
	思考题	126
第 5 章	制造自动化技术	127
5.1	制造自动化技术概述	127
5.1.1	制造自动化技术的定义、内涵及技术地位	127
5.1.2	制造自动化技术的发展历程及现状	128
5.1.3	制造自动化技术的发展趋势	133
5.1.4	制造自动化的关键技术	135
5.2	现代数控加工技术	139
5.2.1	数控加工技术的发展历程	139



5.2.2	CNC 系统的组成和结构特点	141
5.2.3	生产 CNC 系统的厂家及典型产品	143
5.2.4	数控加工技术的发展趋势	145
5.3	柔性制造系统	146
5.3.1	概述	146
5.3.2	FMS 的组成	148
5.3.3	FMS 中的数据流	151
5.3.4	FMS 的应用情况和发展前景	152
5.4	计算机集成制造系统	152
5.4.1	概述	153
5.4.2	CIMS 的组成	154
5.4.3	CIMS 的信息集成技术	158
5.4.4	CIMS 的现状与发展	160
	思考题	160
第 6 章	微机械及其微细加工技术	161
6.1	概述	161
6.2	微机械的研究开发内容	162
6.3	微细加工技术	165
6.3.1	薄膜制备技术	168
6.3.2	光刻技术	169
6.3.3	牺牲层技术	175
6.3.4	外延技术	177
6.3.5	高能束刻蚀技术	177
6.3.6	典型微机械的微细加工技术	179
6.3.7	微机械装配与集成	183
6.4	典型微机电系统装置	184
6.4.1	集成机构	185
6.4.2	硅微加速度计	185
	思考题	187
第 7 章	先进制造系统检测与监控自动化	189
7.1	现代传感器技术	189
7.1.1	传感器概述	189
7.1.2	智能传感器	193
7.1.3	机械制造过程传感检测	196



7.1.4 数控机床常用的位置传感检测装置	200
7.2 先进制造系统检测自动化	201
7.2.1 先进制造系统自动检测技术	201
7.2.2 在线检测技术	206
7.3 制造过程和设备工况监控与故障诊断	208
7.3.1 工况监控与故障诊断系统的结构与功能	208
7.3.2 自动监测信号的选取	212
7.3.3 工况监控与故障诊断及其智能化	213
7.3.4 应用实例	215
7.4 计算机辅助测试与虚拟测试	219
7.4.1 计算机辅助测试	219
7.4.2 虚拟仪器与虚拟测试	221
思考题	224
第8章 现代质量工程	225
8.1 概述	225
8.2 质量工程概述	225
8.2.1 与质量有关的基本概念	225
8.2.2 顾客满意与顾客满意度	229
8.2.3 全面质量管理	232
8.2.4 质量工程	235
8.3 质量管理体系与 ISO 9000	238
8.3.1 质量管理体系	238
8.3.2 质量管理八项原则	240
8.3.3 ISO 9000 新概念	244
8.3.4 质量认证	247
8.4 先进质量设计技术和方法	248
8.4.1 设计质量保证	248
8.4.2 质量功能展开	250
8.4.3 三次设计	254
8.4.4 健壮性设计	257
8.4.5 可信性设计	258
8.4.6 发明性问题的解决理论与方法	262
8.4.7 价值工程	266
8.5 制造过程自动质量检测与质量控制	267



8.5.1	制造过程质量控制的功能与任务	267
8.5.2	质量数据自动检测与采集	269
8.5.3	制造过程在线质量检测与质量控制	271
8.6	质量检验与坐标测量机	274
8.6.1	质量检验	274
8.6.2	坐标测量机	276
8.6.3	基于 CMM 的 CAIP	277
8.6.4	CMM 与先进制造系统的集成	281
8.7	计算机辅助质量工程	284
8.7.1	计算机在质量工程领域的应用概貌	284
8.7.2	集成质量系统	285
	思考题	288
第9章	先进制造新概念	289
9.1	智能制造	298
9.1.1	智能制造研究的背景	289
9.1.2	智能制造的含义	290
9.1.3	智能制造研究的支撑技术	291
9.1.4	智能制造研究的内容	292
9.1.5	日本智能制造系统国际合作计划	292
9.1.6	中国国家自然科学基金重点项目“智能制造技术基础”的研究	293
9.2	敏捷制造	295
9.2.1	基本概念	295
9.2.2	敏捷制造的特征	296
9.2.3	敏捷制造研究的内容	298
9.2.4	国内外发展现状及应用	298
9.3	并行工程	300
9.3.1	基本概念	300
9.3.2	并行工程的实施	303
9.3.3	并行工程在我国的研究进展	304
9.4	虚拟制造系统	307
9.4.1	基本概念	307
9.4.2	VMS 研究内容及其关键技术	309
9.4.3	VM 的软硬件研究情况及其应用	310
9.5	快速原型技术	312



9.6 绿色制造·····	316
9.6.1 概念 ·····	316
9.6.2 研究内容·····	317
9.7 先进制造技术发展趋势·····	319
9.7.1 21 世纪对先进制造技术的挑战·····	319
9.7.2 先进制造技术发展趋势 ·····	319
思考题 ·····	321
参考文献 ·····	322

第 1 章 绪 论

1.1 先进制造技术及其主要特点

1.1.1 先进制造技术的定义

先进制造技术 (advanced manufacturing technology, A M T) 是一个相对的、动态的概念,是为了适应时代要求,提高竞争能力,对制造技术不断优化所形成的。虽然目前对先进制造技术仍没有一个明确的、一致公认的定义,但经过对其内涵和特征的分析研究,可以定义为:“先进制造技术是制造业不断吸收机械、电子、信息(计算机与通信、控制理论、人工智能等)、能源及现代系统管理等方面的成果,并将其综合应用于产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产,提高对动态多变的产品市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。”

1.1.2 先进制造技术的特点

先进制造技术的主要特点体现在精密化、自动化、系统化、集成化、加工方式多样化等方面。起推动作用的先进制造技术主要有两类:一是制造自动化技术;二是高精密制造技术。

生产效率、加工精度和成本是表征先进制造技术经济效益的主要标志。因而,制造技术从提高生产效率和加工精度两方面同时迅速地发展起来。前者是在保证生产效率的条件下,达到一定的加工精度并降低成本;而后者是在保证达到所要求的精度下,实现自动化和高效率。

1. 高效率

在提高生产效率方面,提高自动化程度是世界各国致力发展的方向。近些年来,计算机数控(CNC)、计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)发展非常迅速。各种新理论层出不穷,如敏捷制造、快速原型制造、并行工程、及时生产、虚拟制造、集成相关信息和资源,其本质均是实现高效率、自动化生产的思想。仅就应用于实践的CNC、FMC、FMS和CIMS来看,已有力地显示出其具有柔性化、自动化、资源共享和高效率的强大生命力。