



全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

工程硕士教育“工程领域发展报告”系列丛书

工程硕士教育 机械工程领域 发展报告

全国机械工程领域工程硕士教育协作组 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

工程硕士教育 机械工程领域发展报告

全国机械工程领域工程硕士教育协作组 编著

内容提要

本书是全国机械工程领域工程硕士协作组受全国工程硕士专业学位教育指导委员会委托而编写的,主要反映了机械工程领域的最新研究成果、发展动态、发展趋势以及最新重大工程应用,对工程硕士研究生开拓视野、活跃思维、提高创新意识具有积极作用,同时也有利于机械工程领域工程硕士研究生教学水平的进一步提高。

本书的撰写分为不同的专题进行阐述。由于机械工程学学科涉及众多的研究方向,若对每一个研究领域都有所涉及,势必导致本书篇幅太长,因此,本书的撰写思路是先选定若干目前的研究热点,以后逐步扩展,形成系列发展报告。本书优先选择了7个国内外目前比较关注的研究热点,即微系统与微/纳加工技术、数控技术、制造业信息化技术、快速成形技术、装备再制造工程、故障诊断技术和数字化制造。书中内容反映了这些研究领域的最新进展,特别是在工程应用领域的最新进展,对工程硕士研究生了解本领域的新知识、新技术和新方法具有非常重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

工程硕士教育机械工程领域发展报告 / 全国机械工程领域工程硕士教育协作组编著. —杭州:浙江大学出版社, 2011.9

ISBN 978-7-308-08961-6

I. ①工… II. ①全… III. ①机械工程—研究生教育—研究报告 IV. ①TH-4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第157958号

工程硕士教育机械工程领域发展报告

全国机械工程领域工程硕士教育协作组 编著

丛书策划 樊晓燕

责任编辑 樊晓燕

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路148号 邮政编码310007)

(网址:<http://www.zjupress.com>)

排版 杭州中大图文设计有限公司

印刷 富阳市育才印刷有限公司

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 14.75

字数 359千

版印次 2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-308-08961-6

定价 34.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591

工程硕士教育“工程领域发展报告”系列丛书

编委会

- 顾问** 顾秉林(中国科学院院士,全国工程硕士专业学位教育指导委员会主任委员)
谢和平(中国工程院院士,全国工程硕士专业学位教育指导委员会副主任委员)
- 主任** 陈子辰(教授,全国工程硕士专业学位教育指导委员会副主任委员)
- 副主任** 印杰(教授,全国工程硕士专业学位教育指导委员会委员)
史铁林(教授,课程建设研究小组成员、华中科技大学机械学院)
- 成员** (以姓氏笔画为序)
李建东(课程建设研究小组成员,西安电子科技大学研究生院)
沈岩(课程建设研究小组成员,清华大学研究生院)
杜振民(课程建设研究小组成员,北京科技大学材料学院)
巫世晶(课程建设研究小组成员,武汉大学研究生院)
严晓浪(课程建设研究小组成员,浙江大学信息科学与工程学院)
章丽萍(课程建设研究小组成员,浙江大学研究生院)
廖文武(课程建设研究小组成员,复旦大学研究生院)

《工程硕士教育机械工程领域发展报告》

主要编著者名单

(以姓氏笔画为序)

- | | |
|-------------|---------------------|
| 丁汉(华中科技大学) | 杨世锡(浙江大学) |
| 史铁林(华中科技大学) | 易朋兴(华中科技大学) |
| 史玉升(华中科技大学) | 唐小琦(国家数控系统工程技术研究中心) |
| 朱利民(上海交通大学) | 高健民(西安交通大学) |
| 李斌(华中科技大学) | |

工程硕士教育“工程领域发展报告”系列丛书

总 序

2010 年国家颁布的《国家中长期教育改革和发展规划纲要》强调高等教育的核心任务是提高教育质量,并且提出要大力发展专业学位研究生教育。全国工程硕士专业学位教育指导委员会(以下简称教指委)高度重视、不断推进工程硕士专业学位研究生教育的质量建设。教指委课程建设研究组在加强公共课程、领域核心课程建设的同时,于 2010 年启动编写工程硕士教育“工程领域发展报告”(以下简称“工程领域发展报告”)系列丛书的工作,旨在帮助广大工程硕士研究生(或高级工程技术人员)拓展知识、扩大视野、活跃思维和提升集成创新能力,进一步完善培养应用型、复合型和创新型的高层次工程技术人才的教学体系,更好地满足国家产业创新发展、企业提升核心竞争力的需求。

一、编印工程领域发展报告系列丛书的背景情况

工程硕士是与工程领域任职资格相联系的专业性学位,与工学硕士学位处于同一层次,但类型不同,各有侧重。长期以来,各培养单位已比较重视工学硕士研究生学术前沿课程的建设。但是,在工程硕士研究生的培养中,工程技术最新发展方面的课程、讲座、教材却比较薄弱。尽快提高工程硕士研究生工程技术前沿方面的教学质量,已成为各培养单位十分迫切的需求。

二、工程领域发展报告系列丛书的特点

工程领域发展报告主要针对本领域的发展现状和发展趋势,为工程硕士研究生前沿课程(或讲座形式)提供相关的最新动态,以利于工程硕士研究生了解领域的工程科技的发展现状和动态,以拓宽视野,为其扩展知识和能力提供帮助。

1. 共性原则

工程领域发展报告应是对本工程领域最新技术成果的描述,着重提炼出本领域具有共性的工程技术问题和工程应用进展。

2. 特色原则

工程领域发展报告应坚持工程特色,着重体现工程的综合性、应用性等特点。

3. “新、短、快”原则

工程领域发展报告着重反映本领域最新技术成果、发展动态和发展趋势,对工程硕士研究生教学应具有参考性,对工程硕士研究生学习应具有启发性。同时,工程领域发展报告篇幅不宜过长,编印应及时快速。

4. 可读性原则

工程领域发展报告将作为各培养单位、各工程领域的教学用书和阅读文献,并送全国工

程硕士专业学位教育指导委员会成员、中国工程院教育委员会成员、学术界、工业界、政府部门的有关专家学者、领导参阅。因此,该报告表述应准确、简练,并具有一定的可读性。

三、工程领域发展报告系列丛书的主要内容

工程领域发展报告,既是教学用书,又是课堂的延伸。其主要内容应体现我国科技和产业中长期发展规划,体现国家的重大需求,体现工程领域新进展和技术新进步。具体应集中体现在科学研究、技术开发与工程应用三个方面,特别应注重技术及技术向工程的转化上,以符合工程硕士研究生的培养需求。

科学研究应集中在领域相关的最新研究进展方面,特别是具有潜在工程价值的科研成果。

技术开发主要介绍中短期有望实现产业化的高科技技术。

工程应用主要包括国内外最新的工程技术成果,特别是同国家重大需求相关的重大工程技术成果,所涉及的领域应该有较宽的覆盖面。

由于工程领域发展报告覆盖的面比较宽,不可能将所有的技术领域都涉及到。因此,每册工程领域发展报告一般选择一些重点领域若干方向进行撰写,由各工程领域教育协作组组长负责组成编写组。编写组成员邀请本领域若干位具有较高水平的教授以及相关行业、企业的知名专家参加。

为了加强统筹规划和具体实施,认真做好“工程领域发展报告”的编写出版工作,教指委专门成立编写委员会。编委会主任由教指委副主任委员兼课程建设研究小组组长陈子辰教授担任,编委会委员由陈子辰(浙江大学)、印杰(教指委委员兼课程建设研究小组副组长、上海交通大学)、史铁林(课程建设研究小组副组长、华中科技大学)、沈岩(教指委秘书兼课程建设研究小组成员、清华大学研究生院)、章丽萍(课程建设研究小组成员、浙江大学研究生院)等组成。希望本书能够为我国从事工程硕士专业学位研究生教育教学工作的师生提供有益的参考,也为广大工业界、政府部门的有关专家学者、领导架设交流的桥梁。由于编辑出版“工程硕士教育工程领域发展报告”,在我国专业学位研究生教育中尚无先例,是一项探索性工作,难免存在不当和疏漏,敬请专家、同行和广大读者批评指正。

本系列丛书的出版,得到了浙江大学出版社的大力支持,在此表示衷心感谢!

全国工程硕士专业学位教育指导委员会
工程硕士教育“工程领域发展报告”系列丛书

编委会

2011年3月1日

前 言

工程硕士专业学位是与工程领域任职资格相联系的专业性学位,主要目标是培养应用型、复合式高层次工程技术和工程管理人才。我国自 1996 年开始实施工程硕士专业学位教育,经过十多年的努力,专业学位教育得到迅速发展,取得了很大的成功,为企业、研究机构和职业教育机构培养了一大批具有扎实基础的工程技术人员,得到社会的广泛认可,成为与工学硕士平行发展、但培养目标不同、各有特色的高端人才培养体系。在长期的工程硕士培养过程中,各培养单位逐步认识到,不仅工学硕士需要深入了解本领域及其相关学科的国内外最新发展,对于工程硕士而言,同样需要了解本学科及其相关领域的最新技术及其最新工程进展,并对新技术有一定的敏感性。但长期以来,培养单位在工程硕士教育中,有关机械工程领域新技术、新方法以及最新发展动态方面的课程建设一直比较滞后,并成为工程硕士培养中普遍存在的问题。在这样的背景下,全国工程硕士专业学位教育指导委员会委托各工程领域教育协作组编写各领域的发展报告,以尽快提高工程硕士在学科前沿方面的教学质量和教学水平,并了解本学科领域的最新进展和发展趋势。

机械工程领域自 1997 年成为首批试办工程硕士教育的试点领域,经过十多年的发展,招生人数和授学位人数逐年提高,目前已有近 200 个培养单位,成为 40 个领域中最大的领域之一。《工程硕士教育机械工程领域发展报告》(以下简称《发展报告》),主要反映了机械工程领域的最新研究成果、发展动态、发展趋势以及最新重大工程应用,对工程硕士研究生开扩视野、活跃思维、提高创新意识具有积极作用,同时也有利于机械工程领域工程硕士研究生教学水平的进一步提高。

鉴于机械工程领域的学科特点,本《发展报告》的撰写分为不同的专题分别进行阐述,这主要是由于机械工程学科涉及众多的研究方向,若对每一个研究领域都有所涉及,势必导致本《发展报告》篇幅太长,因此,本《发展报告》的撰写思路是先选定若干目前的研究热点,以后每隔 2~3 年再选定其他的研究方向出版新的《发展报告》,这样既能保证每一个专题的深度,又不至于使《发展报告》篇幅太长。本《发展报告》选择了 7 个国内外目前比较关注的研究热点,即微系统与微/纳加工技术、数控技术、制造业信息化技术、快速成形技术、装备再制造工程、故障诊断技术和数字化制造,反映了这些研究领域的最新进展,特别是在工程应用领域的最新进展,对工程硕士研究生了解本领域的新知识、新技术和新方法具有非常重要的参考价值。

《发展报告》是在全国工程硕士专业学位教育指导委员会指导下,由全国机械工程领域工程硕士协作组牵头组织,浙江大学出版社出版的。由 7 位专家负责,20 多位专家参加了

本发展报告的撰写工作。在此,向所有参与本《发展报告》编写的各位专家表示最衷心的感谢!并对所有对本《发展报告》付出辛勤劳动的专家学者表示感谢!

由于《发展报告》是一个新事物,加之参编专家的局限性以及时间的紧迫性,虽然各位专家付出了巨大的努力,但难免有不准确、不完善甚至错误之处,欢迎广大读者批评指正,并提出宝贵意见。我们后续还将推出《发展报告》的系列专辑,逐步涉及其他研究热点,使《发展报告》在内容上具有时效性、连续性和完整性,使广大工程硕士研究生能通过本《发展报告》了解和学习机械工程领域的最新进展。我们希望本《发展报告》能为我国工程硕士教育的发展贡献绵薄之力,通过我们的努力,能为国内工程硕士教学水平的提高作出贡献。

编 者

2011年8月

目 录

专题 1 微系统与微/纳加工技术研究进展	1
1 引 言	1
2 微系统与微/纳加工技术概况	1
3 微系统与微/纳加工技术应用	5
3.1 在汽车行业的应用	6
3.2 在消费电子行业的应用	8
3.3 在生物医学中的应用	10
3.4 其他应用	12
4 微系统与微/纳加工技术研究现状及展望	12
4.1 国外微系统技术发展特点	12
4.2 微系统与微/纳加工技术研究现状及进展	13
4.3 微系统与微/纳加工技术发展展望	23
4.4 小 结	25
5 我国微系统与微/纳加工技术现状与发展对策	25
5.1 概 述	25
5.2 我国微系统与微/纳加工技术现状	27
5.3 我国微系统与微/纳加工技术进展	29
5.4 我国微系统与微/纳加工技术发展对策	35
专题 2 数控技术	45
1 引 言	45
1.1 高档数控机床是国家的战略产业	45
1.2 数控机床是实现制造业现代化的关键装备	46
1.3 数控技术是数控机床的核心技术	46
2 数控技术的发展历史	46
2.1 数控技术的发展历程	46
2.2 我国数控技术发展的三个阶段	47
3 国外数控技术的发展现状	48

3.1	高速高精与多轴加工成为数控机床的主流	48
3.2	复合加工技术得到不断扩展与深化	48
3.3	机床与机器人的集成应用日趋普及	49
3.4	智能化加工与监测功能不断扩充	49
4	国外典型数控系统	49
4.1	FANUC 数控系统	49
4.2	SIEMENS 数控系统	52
4.3	FAGOR 数控系统	56
4.4	HEIDENHAIN 数控系统	57
5	我国数控技术的发展现状	59
5.1	我国数控技术的现状	59
5.2	我国数控技术存在的问题	62
6	我国数控产品市场情况	63
6.1	经济、国防建设对高性能机床的需求	63
6.2	我国数控机床生产情况	64
6.3	中国数控系统产品情况	66
7	国内典型数控系统	67
7.1	概述	67
7.2	华中世纪星系列数控系统	68
7.3	广数 GSK 系列数控系统	70
7.4	沈阳高精数控系统	71
7.5	大连光洋数控系统	72
8	数控技术的发展趋势	73
8.1	平台数字化	74
8.2	运行高速化	74
8.3	加工高精化	76
8.4	功能复合化	76
8.5	控制智能化	77
专题 3 制造业信息化技术未来发展趋势		82
1	概述	83
2	制造业信息化概念与发展现状	85
2.1	计算机集成制造系统是制造业信息化的集中体现	85
2.2	计算机集成制造系统的构成	86
2.3	制造信息化技术构成与发展趋势	88

3	产品设计自动化系统	93
3.1	CAD/CAPP/CAM 集成技术	93
3.2	CAD/CAPP/CAM 集成方式	94
3.3	CAD/CAPP/CAM 集成的关键技术	94
3.4	面向产品全生命周期的设计技术	95
3.5	PDM 技术	98
4	制造执行 MES 系统	99
4.1	MES 制造执行系统概述	99
4.2	MES 系统构成	101
5	管理信息系统	104
5.1	企业资源计划 ERP 系统	105
5.2	供应链管理技术	110
5.3	数字化维护维修系统	112
5.4	制造信息化中的使能技术	113
6	我国制造业信息化发展与对策	116
6.1	我国实施制造业信息化现状	116
6.2	我国制造业信息化发展存在的主要问题	117
6.3	我国制造业信息化发展对策	118
6.4	我国制造业信息化建设模式	121
	专题 4 我国快速成形技术	127
1	引言	127
2	快速成形技术及其应用概况	128
2.1	快速成形技术概述	128
2.2	RP 技术的应用	130
2.3	我国快速成形技术研究与应用现状	134
3	我国快速成形技术产业化发展趋势与对策	137
3.1	快速成形技术的发展趋势	137
3.2	快速成形产业发展现状	139
3.3	国内外发展差距	141
3.4	发展对策	141
	专题 5 装备再制造工程	146
1	再制造工程的内涵	146
1.1	再制造工程概念	146

1.2	再制造工程的国内外研究和发展现状	147
1.3	再制造的研究意义	148
2	装备再制造设计基础	149
2.1	装备的再制造特性评价	149
2.2	环境行为及失效机理研究	150
2.3	寿命预测与剩余寿命评估	151
2.4	再制造过程的模拟与仿真	153
3	装备再制造中的绿色清洗技术	154
3.1	高温清洗技术	154
3.2	喷丸清洗技术	154
3.3	干冰清洗技术	155
3.4	超声波清洗技术	156
4	装备再制造中的无损拆卸技术	157
4.1	拆卸的内涵和特征	158
4.2	面向拆卸的设计	159
4.3	拆卸过程规划	159
4.4	拆卸技术和工具	160
5	装备再制造毛坯质量检测	160
5.1	感官检测法	161
5.2	测量工具直接测量	161
5.3	无损检测技术	161
6	装备再制造工程技术	166
6.1	微/纳米表面工程技术	167
6.2	材料制备和成形一体化技术	169
6.3	修复热处理技术	171
6.4	虚拟再制造技术	174
6.5	普通电刷镀技术	176
7	装备再制造中的虚拟现实技术	177
7.1	装备再制造中的可视化	177
7.2	虚拟再制造企业管理技术	178
7.3	虚拟环境和虚拟再制造加工过程技术	180
7.4	虚拟质量控制和在线检测	180
专题 6 故障诊断技术现状及其发展趋势		182
1	引言	182

2	研究现状	184
2.1	故障诊断的内容	184
2.2	设备诊断技术	185
2.3	信号分析方法	190
2.4	设备诊断仪器	193
2.5	故障诊断方法	195
3	发展趋势	198
专题 7 数字化制造基础		203
1	引言	203
2	数字化制造的研究内容	204
2.1	数字制造技术	204
2.2	数字产品设计与开发	206
2.3	数字制造装备	207
2.4	制造过程的数字模拟与仿真技术	208
2.5	制造系统信息技术	209
3	复杂曲面数字化制造的几何学问题	210
4	复杂曲面数字化制造的动力学问题	213
5	高档数控装备的关键技术科学问题	216
6	结束语	219

专题 1 微系统与微/纳加工技术研究进展

华中科技大学 史铁林^①

1 引言

微系统(microsystem,或称微机械 micromachine、微/纳机电系统 micro/nano-electro-mechanical-systems 等)是一种融合硅微加工和超精密机械加工等多种微/纳加工技术而构造的微型系统,是在应用现代信息技术最新成果的基础上发展起来的高科技,是一种对微米、亚微米、甚至纳米(0.1~100nm)尺度材料进行设计、加工、制造、测量和控制的技术,从其诞生之初就一直牢牢占据基础科研以及制造行业的尖端位置。微系统与微/纳加工技术孕育着巨大的技术发展潜力和广阔的市场空间,其发展正如 IC 发展一样,将引发计算机、微电子、机械电子、通讯技术、生物材料和生命科学等众多领域的重大变革,并且影响着 21 世纪人们对未知世界的认识。同时,其产业也必将成为国民经济的重要组成部分,并逐步影响人们的生活。未来社会将逐步进入微系统时代。

2 微系统与微/纳加工技术概况

高新技术的发展,要求人类的工程活动深入到原子、分子内部。在原子、分子尺度上制

^① 史铁林,博士,教授,博士生导师,机械学院常务副院长。学术兼职包括中国振动工程学会常务理事、中国振动工程学会动态信号分析专业委员会主任委员、中国振动工程学会故障诊断专业委员会副理事长、中国微米纳米技术学会理事、中国机械工程学会理事、《Frontiers of Mechanical Engineering》副主编、《机械工程学报》杂志编委、《振动工程学报》杂志编委、《中国机械工程》杂志编委、《中国工程机械学报》杂志编委、《振动与冲击》杂志编委、《振动测试与诊断》杂志编委等。

近年来,面向国际学术前沿和国家重大需求,先后承担了一批国家级重要科研项目,包括国家攀登计划、973 项目课题,国家 863 计划项目、国防重大专项课题,国家自然科学基金面上项目、企业委托项目等数十项科研项目,紧密围绕微纳制造、装备制造、装备安全运行与故障诊断学科方向,解决了诸多工程中的技术难题,在微纳制造与纳米动态测量、电子封装、军工特种装备研制、设备状态监测和故障诊断等方面做出贡献。先后获国家教委科技进步二等奖(2 项),国家教委科技进步一等奖(1 项),机械工业部科技进步一等奖,国家科技进步三等奖,光华科技基金三等奖等。还先后获得中国青年科技奖,全国优秀博士后奖,湖北省五四青年奖章、中国机械工程学会杰出青年科技奖、首批“新世纪百千万人才工程”国家级人选等荣誉称号。

造结构和材料将是今后工程师关注的焦点。当今微电子技术的加工尺寸已从微米(μm)→半微米($0.5\mu\text{m}$)→亚微米($0.35\mu\text{m}$ 、 $0.25\mu\text{m}$ 、 $0.18\mu\text{m}$)→深亚微米($0.13\mu\text{m}$ 、 $0.11\mu\text{m}$)→纳米(90nm),正在向 65nm → 45nm → 32nm → 22nm 过渡。一般认为,精度为微米级($0.1\sim 100\mu\text{m}$)的制造是微米制造,精度为纳米级($0.1\sim 100\text{nm}$)的制造是纳米制造。当前的微/纳加工技术可达到的最高加工精度是 0.1nm ,这是美国 IBM 公司在 1990 年所达到的加工精度。该公司用扫描隧道电镜(STM)技术,将 Ni(110)表面吸附的 Xe 原子逐一搬迁,最终以 35 个 Xe 原子排成 IBM 三个字,每个字高 5nm ,Xe 原子的最短距离为 1nm 。随着微电子技术延伸和拓展(从二维到三维)至机械领域,出现了微机电概念,即通过微电子技术与精密机械加工技术相互融合而形成的微电子与机械融为一体的系统。纳机电系统是 20 世纪 90 年代末提出的新概念,是继微机电系统后在系统特征尺寸和效应上具有纳米技术特点的超小型机电一体化系统,一般指特征尺寸在亚纳米到数百纳米,以纳米级结构所产生的新效应(量子效应、界面效应和纳米尺度效应)为工作特征的器件和系统。

因此,微系统是微型化的器件或器件组合,是把电子功能与机械、光学或者其他功能相结合,集微型传感器、微型执行器、信息处理和电源等于一体的微型系统。微系统技术具有小尺寸(miniaturization)、多样化(multiplicity)、微电子(micro electronics)特征,它将信息系统的微型化、多功能化、智能化和可靠性水平提高到了新的高度。微系统从广义上包含了毫米、微米甚至纳米尺度的机械,但它并非单纯是宏观机械的微小化,而是指可以批量制作的,集微型机构、微型传感器和微型执行器以及信号处理和控制电路,直至接口、通讯和电源等于一体的微型系统。它可将机械构件、光学系统、驱动部件、电控系统集成成为一个整体单元的微型系统。这种微型机电系统不仅能够采集、处理与发送信息或指令,还能够按照所获取的信息自主地或根据外部的指令采取行动。

微系统是近年来在微电子技术基础上发展起来的一种新型多学科交叉的技术,它涉及机械、电子、化学、物理、光学、生物、材料等多学科。微系统技术的研究任务和目标是把信息的获取、处理和执行集成在一起,组成具有多功能复合的微型智能系统。其研究几乎涉及自然及工程科学的所有领域。微/纳加工技术最早则是从加工精度研究的角度延伸出来的。制造业的发展对加工精度提出了越来越高的要求,传统机床的加工精度已经远远不能满足飞速发展的消费及军工领域的要求,如电子硅芯片、大规模集成电路以及对表面粗糙度要求很高的液晶面板等,于是,人们把眼光投入到精度更高的加工技术上,从最初的毫米级,到微米级,到纳米级。于是,“微/纳加工技术”这一概念应运而生。

微系统及微/纳加工技术开辟了一个全新的领域和产业。用此技术研制的五花八门的微传感器可以测量各种物理量、化学量及生物量。一些微系统器件已经实现了产业化,如微型加速度计、微型压力传感器、数字微镜器件(DMD)、喷墨打印机的微喷嘴、生物芯片等。近年来,国际上微系统的专利数正呈指数规律增长,说明微系统技术全面发展和产业快速起步的阶段已经到来。由于微系统器件和系统具有体积小、重量轻、功耗低、可靠性高、性能优良、功能强大、成本低和可批量生产等传统器件无法比拟的优点,多种微系统器件已广泛用于信息工程、分析化学、航空航天、科学仪器、生物医学、汽车和国防等产业领域。自微系统与微/纳加工工艺投入应用以来,主导微系统市场的传感器已形成产业。微系统未来主要市场有汽车及工业自动控制行业中应用的压力传感器、加速度计、微陀螺仪等微系统传感器系统;通信及信息技术领域应用的各类光微系统器件、显示器及基于微系统的射频(RF)器件、

喷墨打印机的微喷嘴、硬盘驱动器磁头等;军事及航空航天用各种微型传感器和执行器等;微型仪器系统如用于生化分析的芯片实验室、DNA 芯片等;用于环境检测的各种气体传感器系统等;消费类产品中大量应用的中低指标微系统器件。在市场引导、科技推动、风险投资、政府介入等多重作用下,汽车微系统传感器发展迅速,现已成为相关部门争先投资开发的热点。在中高档汽车中,大约采用 25~40 只微系统传感器,技术上日趋成熟完善,可满足汽车在苛刻的环境下可靠性高、精度高、成本低的要求,极大地推动了电子技术在汽车上的应用。

21 世纪,人们仍会不断追求条件更好且可负担的医疗保健服务、更高的生活品质和质量更好的日用消费品,并竭力应对由能源成本上涨和资源枯竭所带来的风险等巨大挑战。它们也是采用创新体系的商品扩大市场的推动力。微系统与微/纳加工技术过去和现在一直都被认为在解决上述挑战方面大有用武之地。从短期来看,微系统与微/纳加工技术不会对环境和能源成本产生重大的影响。受到当前加工技术的限制,这些技术在早期的发展阶段往往会有较高的能源成本。与此同时,相关技术一旦成熟,将会消耗更少的能源与资源,就此而言,它无疑是一项令人振奋的技术。随着创新型微系统与微/纳加工技术的发展,现在对化石燃料的依存度已经开始下降,二氧化碳的排放也随之降低,大气中氮氧化物和硫氧化物的浓度也减少了。下面是当前微系统与微/纳加工技术在环境友好方面有望大展身手的一些领域:

(1) 蓄电

改进传统充电电池的效率,使之能用于运输领域来减少排放,或作为高效可再生能源的备用能源。微系统与微/纳加工技术有望用于开发超级电容器,为蓄电提供新的解决方案。

(2) 热电

新型纳米材料可将废热转化为电能,因而对于那些利用燃烧作为主要供能方式的领域(如混合动力汽车)来说,这将大大促进节能。

(3) 燃料电池

作为可持续氢经济的组成部分或者是基于燃料电池的高效碳氢化合物,在减少汽车尾气排放方面都大有潜力可挖,抑或作为热电联产电站,来降低排放。

(4) 照明

对于传统的白炽光源来说,LED 是一种高效能的替代产品,微系统与微/纳加工技术可用来开发更多新的光源。

(5) 发动机/燃料效率

采用纳米颗粒燃料添加剂能够减少柴油机的能耗并改善局部空气质量。微/纳材料也可用来改善飞机涡轮叶片的热阻性能,使得发动机可以在更高的温度下继续运转,进而提高整个发动机的效率。

(6) 减重

新型高强度复合材料能够减轻材料的重量。未来的目标包括:在金属合金和塑料中掺杂纳米管来减少飞机的重量;改进橡胶配方中掺杂入轮胎的纳米颗粒;利用通过微系统与微/纳加工技术制得的汽车催化式排气净化器来优化车内燃料的燃烧过程。

当前,获得或保持领先竞争对手的优势将维持强劲的经济,提供动力以满足社会需求,而微系统与微/纳加工技术正在成为这其中的关键因素。各国政府都非常重视微系统与微/

纳加工技术。它已成为世界各国投入大量资金研究的热点。从1997年到2001年,仅美国DARPA(美国国防部先进研究计划署)每年投入的研究经费就达7000万美元。美国国家科学基金会从1988年起每年投入大约200万~300万美元用于微系统研究。日本、德国及英国等发达国家也极其重视推进微系统加工技术的研究。德国从1994年到1999年的微系统计划每年投资6000万美元。1993年起欧盟将各国研究机构组织起来进行微系统的联合研究,推出了EUROPRACTICE和NEXUS计划,从科研和产业化两个方面推进微系统的发展。第三世界科学院在2005年发表的报告显示,美国、日本和欧盟这三大经济实体在2005—2008年度对微系统及纳米科技相关投入分别达37亿、30亿和17亿美元以上,研究项目覆盖能源、药物、微电子工业、材料、环保等众多领域。例如,在欧盟框架计划的支持下,欧洲微/纳制造技术平台(MINAM)于2006年9月开始启动,于2008年初正式成立。MINAM致力于推动微/纳制造技术的研发与产业化,为欧洲的微/纳产品制造商及设备供应商提供技术支撑,帮助他们在关键技术领域建立和维持全球领先地位。MINAM发布的微/纳制造技术前景展望总结了其战略研究议程(SRA)的要点,确定出微/纳制造发展的新趋势,为维持和进一步增强欧洲工业在微/纳制造技术领域中的领先地位提供了未来投资和研发战略指导。据美国国家科学基金会统计和预测,2002年全球微系统及纳米技术产业市场约为450亿美元,2008年这一市场扩大到7000亿美元,2015年将超过1万亿美元。欧洲联盟委员会在一项研究报告中说,未来10年微系统及纳米技术的开发将成为仅次于芯片制造的世界第二产业。2010年纳米技术市场的价值达400亿英镑。欧洲微系统协会所做的NEXUS的微系统/微机电系统(MST/MEMS)市场分析报告(2004—2009年)给出了微系统与微/纳制造技术对各经济部门直接影响的量化分析以及未来趋势。研究结论认为,由于具有低制造成本、紧凑的尺寸、低重量、低能耗以及改进的智能和多功能性等一系列特性,微系统(包括MST/MEMS)传感器和制动器正在已确立的市场中巩固其地位并寻找新的应用。2004—2009年间,包括26种MST/MEMS产品在内的市场以16%的年均速度增长,从2004年的120亿美元增长到2009年的250亿美元,如图1-1所示。

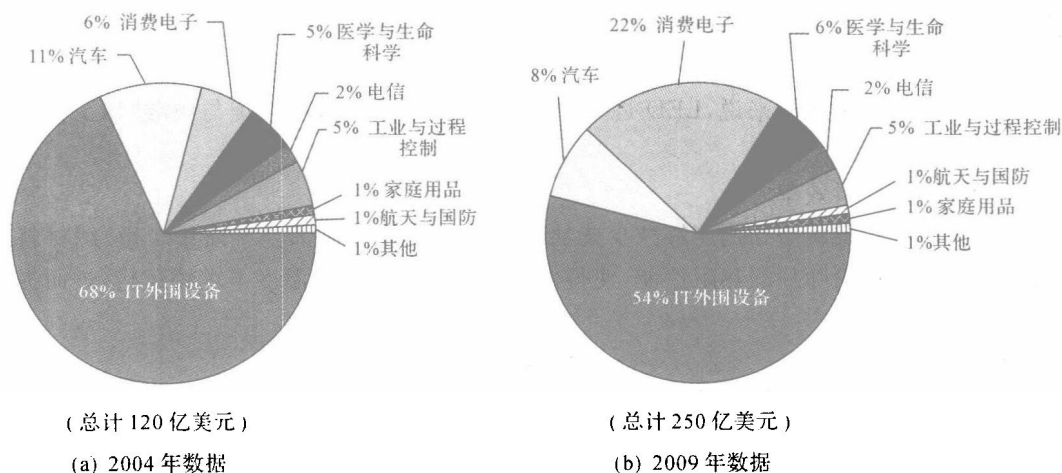


图 1-1 微系统应用与市场分析