



学科发展战略研究报告

(2006年~2010年)

机械与制造科学

国家自然科学基金委员会
工程与材料科学部



科学出版社

www.sciencep.com

学科发展战略研究报告

机械与制造科学

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部

科学出版社

北 京

内 容 简 介

为了不断促进工程与材料学科各领域的基础研究工作,瞄准国际学科发展前沿,面向未来国家经济建设和社会发展的重大需求,着力解决我国工程与材料领域中的重要科学技术问题,增强国家原始创新和技术创新能力,国家自然科学基金委员会工程与材料科学部精心组织出版了系列学科发展战略研究报告。

本书为该学科发展战略研究报告系列之一,内容既具有前瞻性和战略性,又具针对性和可操作性。本书共分15章,站在国家利益和学科总体的高度,从国际学科发展和中国实际出发,论述了机械与制造科学各学科的科学内涵与结构体系、重要地位、国内外研究现状和发展趋势,并论证和遴选出“十一五”的基础研究方向和优先资助领域。

本书为国家自然科学基金委员会工程与材料科学部机械与制造科学处遴选“十一五”优先领域提供参考,同时也可有关决策部门、科研院所及社会公众提供一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

机械与制造科学/国家自然科学基金委员会工程与材料科学部. —北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-016461-X

I. 机… II. 国… III. 机械制造 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 133241 号

责任编辑: 郝德平 田士勇 于宏丽/责任校对: 张怡君

责任印制: 安春生/封面设计: 王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年2月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006年2月第一次印刷 印张: 28

印数: 1—3 500 字数: 532 000

定价: 80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

**国家自然科学基金委员会工程与材料科学部
学科发展战略研究报告组织委员会**

主 任:周孝信

副主任:黎 明 高瑞平

委 员:车成卫 陈克新 苗鸿雁 马 劲 朱旺喜

雷源忠 王国彪 刘 涛 纪 军 黄斐梨

茹继平 李大鹏 李万红 张亚南 王之中

编 辑:田士勇

机械与制造科学发展战略研究报告编著委员会

(名单按姓氏拼音字母顺序排列)

丁 汉 冯培恩 高 峰 郭东明 黄尚廉 雷源忠 刘 飞
柳百成 卢秉恒 雒建斌 涂善东 王国彪 熊有伦 徐滨士
颜永年 叶声华 钟 掘

机械与制造科学发展战略研究报告评审委员会

(名单按姓氏拼音字母顺序排列)

艾 兴 白以龙 段宝岩 高增梁 顾佩华 海锦涛 胡海岩
胡正寰 黄 田 黎 明 李 柱 林尚扬 屈梁生 任露泉
阮雪榆 宋天虎 宋玉泉 唐晓青 王立鼎 杨叔子 张国雄
张嗣伟 钟群鹏 朱剑英

机械与制造科学发展战略研究报告撰写组

(名单按章序主要撰写人员排列)

钟 掘	虞 烈	杨华勇	秦大同	王益群	翟婉明	赵淳生	熊诗波	王艾伦
高 峰	陈 恩	王越超	朱向阳	张宪民				
雒建斌	周仲荣	刘维民	周 明	丁建宁	朱 胜			
涂善东	葛世荣	孟 光	赵永翔	阎楚良	梅雪松			
黄尚廉	袁慎芳	赵丁选	王庆丰	陈伟民				
冯培恩	查建中	殷国富	孙庆鸿	谭建荣	潘双夏	柴国钟		
柳百成	林忠钦	冯泽舟	钟志华	冯吉才	王华明	杨 合	熊守美	张治民
郭东明	董 申	李圣怡	刘战强	赵万生	蔡光起	朱 荻	左铁钊	徐西鹏
熊有伦	周祖德	杨文玉	王太勇	张承瑞				
叶声华	张书练	蒋庄德	秦树人	谭久彬	费业泰	郑继贵		
卢秉恒	张文栋	郭万林	黄文浩	史铁林	孙立宁	刘 俊		
颜永年	张德远	李涤尘	葛世荣	佟 金				
丁 汉	段吉安	陈 新	韩 雷	梅雪松	汤 勇	朱 煜		
徐滨士	刘光复	李剑峰	王成焘	张 伟				
刘 飞	祁国宁	宁汝新	邵新宇	曹华军				

序

未来十五年是我国科技事业发展的重要战略机遇期。胡锦涛同志在全国科学技术大会上指出,我们必须围绕建设创新型国家的奋斗目标,进一步深化科技改革,大力推进科技进步和创新,大力提高自主创新能力,推动我国经济社会发展切实转入科学发展的轨道。

把科技创新作为国家战略,走创新型国家发展道路,就是要实现经济增长方式从要素驱动型向创新驱动型的根本转变,使得科技创新成为我国经济社会发展的内在动力和全社会的普遍行为,最终依靠制度创新和科技创新实现经济社会持续协调发展。当代科学技术的发展趋势、世界主要发达国家的战略选择以及我国的基本国情,决定了我国不可能选择资源型发展模式或技术依附型的发展模式,而必须提高自主创新能力,走建设创新型国家的发展道路。提高自主创新能力,最关键的还是原始创新,而加强基础研究是提高自主创新能力的重要措施之一。“十一五”期间,国家自然科学基金应结合国家发展的战略目标和社会发展与经济进步的重大需求,准确把握国家自然科学基金“支持基础研究,坚持自由探索,发挥导向作用”的战略定位,完善和发展中国特色科学基金制,着力营造有利于源头创新的良好环境,推动学科均衡、协调和可持续发展,培养和造就一批具有国际影响力的杰出科学家和进入国际科学前沿的创新团队,提升基础研究整体水平和国际竞争力,力争在若干主要领域取得突破,为繁荣科学事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

学科是科学基金资助和管理的基本单元。根据国家中长期科学和技术发展规划,遵照学科发展的自身规律和基础研究的特点,认真分析和研究学科发展的国际前沿、动态和趋势,总结国内研究状况和未来的发展需求,把握本学科发展在我国科技、经济、社会发展中的地位 and 作用;从学科发展全局出发,制定学科发展战略规划,明确目标,遴选优先领域和重点研究方向,并对应采取的重大步骤和措施提出建议,是一件十分有意义的工作。制定学科发展战略规划,不仅可以明确科学基金的定位和发挥科学基金的导向作用,而且对实现科学基金资源的优化配置,提高科学基金的资助效益具有十分重要的作用。

作为学科发展战略研究,首先必须体现前瞻性、前沿性和战略性。学科发展战略报告的撰写应把握科学基金的职责和定位,结合国家科技发展战略目标和遵循科学发展规律,瞄准国际前沿。任何一门学科都有其自身的发展规律和特点。因此,在制定学科发展战略的过程中要处理好全局与局部的关系,既要注意发展战略

涵盖的范围,又要做到重点突出,坚持有所为、有所不为,同时也应考虑学科的发展状况以及与世界先进水平之间的差距,遴选适合我国国情的学科发展优先领域和重点研究方向。其次,学科发展战略研究还应体现科学基金的基础性。加强基础研究是提升国家创新能力、积累智力资本的重要途径,是跻身世界科技强国的必要条件。材料科学和工程科学是从工程实践和应用的基础上发展起来的技术基础学科,既有系统的理论体系和自身的客观规律,又有很强的交叉性、集成性和应用性。因此工程科学与材料科学的学科发展战略研究,不仅要体现科学基金的基础性,还应结合国家社会进步与经济发展的重大需求,体现国家发展的战略目标。另外,学科发展战略研究还要体现科学基金的导向作用。科学基金的导向作用不仅仅体现在基础研究的资助方向上,而且还应体现在营造良好的源头创新氛围、提倡严谨求实的学风和增强自主创新的信念上。在基础研究工作中,要耐得住寂寞,要敢于作难事,敢于做前人没有做过的事,敢于做外国人没有做过的事,切实提高我国的源头创新和自主创新能力。

工程与材料科学部各科学处组织相关领域的专家在研讨的基础上制定了本学科发展战略规划,为“十一五”期间学科的科学基金资助工作打下良好的基础。在学科发展战略规划的制定过程中,专家们站在国家利益和学科发展的高度,认真调研、客观分析、积极建议,体现出了高度的责任感和使命感。科学出版社对工程与材料科学部的学科发展战略报告的出版给了积极支持,并对发展战略报告的撰写和定稿提出了宝贵意见。在此表示衷心感谢。



2006年1月17日

前 言

《机械与制造科学发展战略研究报告》一书是我国机械与制造科学界百余位知名专家学者集体智慧和辛勤劳动的结晶,集中体现了他们对我国机械与制造科学未来发展的高瞻远瞩和真知灼见。它的撰写和出版,不仅是今年机械与制造学科的一件大事,同时也是我国机械与制造工程学术界的一件大事。

21 世纪已经过了 2000 多个昼夜。人类认识自然、改造世界的活动取得了前所未有的瞩目成就,在人类改造世界的如火如荼的活动中,制造是最为人们关注的。制造业的信息化、知识化、全球化改变着人类的生活方式和生活质量,同时也改变着制造业和制造科学本身。

21 世纪的中国已经成为制造大国而让世人瞩目。然而我国至今并没有成为制造强国,我国制造的有自主知识产权的仪器装备和高端产品至今并不多。如何改变这种落后局面?如何从“中国制造”走向“中国创造”?答案只有一个:在制造领域必须有我们自己的创新设计理论、方法和先进的制造技术!而其源头不是别的,只能是基础研究!因此,机械和制造科学的基础研究面临着新的机遇和严峻的挑战!

机械与制造科学是研究现代机电系统的性能、设计、制造过程及其系统的理论、方法和技术的一门工程科学,它包括机械学和制造科学两大领域。

机械学是研究机械结构和机械系统的性能及其设计理论与方法的科学。最早提出“机械”定义的是古罗马建筑师 Vitruvius,他指出:“机械是由木材制造且具有相互联系的几部分组成的系统。”我国古代对机械的论述最早见《韩非子》(卷十五·《难》)中的记述:“舟车机械之利,用力小,致功大。”美国 Robert Obrien 在其所著《机器》中提出:机械在英文的“machine”及拉丁文“mecina”原意都是指“巧妙的设计”^[1]。

制造科学是研究制造过程和制造系统的科学。“制造”(manufacture)一词源于拉丁语“manu”(意为“用手工”)和“fecere”(意为“制作”)^[1]。随着历史的演变和科学的进步,现代制造已经不仅是一门艺术或工艺,而且已经发展为一种技术、一门科学和一种商务^[2]。

[1] 陆敬严,华觉明. 中国科学技术史“机械卷”. 北京:科学出版社,2000

[2] Paul Kenneth Wright. 21 世纪制造. 冯常学等译. 北京:清华大学出版社,2004

自然科学的基本任务是认识自然、揭示自然的本质和规律、回答“是什么”和“为什么”的问题。工程科学的基本任务是认识自然、改造自然,主要回答“做什么”和“怎么做”的问题。机械与制造科学不仅是自然科学,更是一门工程科学,强调研究工作对实践的依赖性,其基本任务是解决工程前沿和工程实际中的关键科学技术问题,同时在改造自然和解决工程中的科技问题的过程中发展和完善学科本身。

随着世界的进步、国家的需求和学科的发展,机械与制造科学的发展出现了以下显著特点和趋势:一方面,高技术领域如光电子、微纳技术、航空航天、生物医学、重大工程技术的发展,要求机械与制造科学向这些领域提供更多更好的新理论、新方法和新技术,出现了微纳制造、生物制造和微电子制造等制造科学新领域;另一方面,随着机械与制造科学与信息科学、生命科学、材料科学、管理科学、纳米科学技术的交叉,产生了仿生机械学、纳米摩擦学、制造信息学、制造管理学等新的交叉科学。由于 21 世纪我国资源和环境面临空前的严峻挑战,要求机械与制造科学比以往任何时候更重视制造资源的节省、环境的保护、产品的安全性和绿色度、机电装备的再制造以及新能源制造领域的基础研究。此外,由于我国未来将大力推进拥有自主知识产权的先进仪器及装备技术,因此,基于自主创新的高技术仪器及装备的设计制造基础研究将得到更充分的重视和更快的发展。

国家自然科学基金委员会自成立后曾多次组织过发展战略研究。机械学科曾经组织撰写出版了《自然科学发展战略调研报告——机械学》、《自然科学发展战略调研报告——机械制造科学(冷加工)》、《自然科学发展战略调研报告——机械制造科学(热加工)》、《机械工程科学技术前沿》、《先进制造技术基础》和《机械工程科学前沿及优先领域研讨会论文集》等战略研究报告,这些战略研究报告为国家自然科学基金委员会优先资助领域的遴选起到了重要的作用。例如,这些研究报告对微型机械、快速原型制造、微电子与光电子制造、纳米摩擦学、纳米加工与测量、智能机械结构、仿生机械学和生物制造、绿色制造和再制造等领域重大重点项目提供了支持,并为我国机械与制造科学的发展发挥了导向作用,也为这次发展战略研讨和本书的撰写奠定了基础。

组织撰写本书的直接目的是为国家自然科学基金委员会遴选“十一五”优先领域提供参考,同时它也可以作为机械与制造工程领域的教授、研究人员、研究生、专家学者以及科技界有关领导、企业界有关人士的参考资料。

本书共分 15 章,内容涵盖了机械与制造科学的主要领域,是在征集了 80 多位专家的书面建议并在镇江召开的 100 多位专家学者参加的“机械工程科学发展战略”研讨会以及在太原召开的审稿统稿会的基础上撰写成的,充分体现了科学民主和科学发展观。各章撰写组成员是国内这些领域研究工作的知名专家,他们的论述应当可以代表我国在该领域的水平和观点。为了寻求“战略研究报告”的公正性、代表性和权威性,特别邀请了国内机械与制造科学界的知名专家学者对本书进

行了评审和评述。机械学科雷源忠、王国彪负责组织了机械与制造科学的战略研讨及本书的撰写和评审工作。

这本学科战略研究报告比较难写,它要求既具有前瞻性和战略性,又具针对性和可操作性。要求站在国家利益和学科总体高度,论述国内外研究状况和发展趋势,把握学科发展方向;要求面向国家经济建设和社会发展的未来重大需求、面向国际学科发展前沿,从实际出发,论证和遴选面向国家机械和制造工程未来需求和学科前沿发展中的基础研究方向和重点研究领域,挖掘和论证其中的重要或重大科学问题,强调了基础性、新颖性和先导性。

作为学科发展战略研究报告,它具有系统性而又不求全,突出了重点和优先领域,对于学科交叉领域给予了足够的重视;具有较强的学术性和可读性。

我们认为,本书的出版将对国家自然科学基金委员会和我国在机械与制造科学领域未来的研究具有重要的参考价值和战略指导作用。

感谢所有参与《机械与制造科学发展战略研究报告》研讨、撰写和评审专家,感谢江苏大学和中北大学对此项工作的大力支持。

编者

2005年6月

目 录

序

前言

第1章 复杂机电系统	1
1.1 复杂机电系统的定义和特点	2
1.2 复杂机电系统的重要性	4
1.3 国内外研究现状与趋势	6
1.4 当前关注的复杂机电系统科学与技术问题	13
1.5 “十一五”重点支持方向	26
参考文献	27
第2章 机构与机器人	29
2.1 机构与机器人领域的科学内涵及结构体系、研究范围	29
2.2 机构与机器人领域在国民经济、社会发展和学科发展的地位和作用	30
2.3 机构与机器人领域国内外研究现状和发展趋势分析	31
2.4 机构与机器人领域“十一五”优先发展战略	49
参考文献	50
第3章 摩擦学与表面工程	52
3.1 摩擦学的定义、范围和重要性	52
3.2 摩擦学研究现状、发展趋势和存在的问题	53
3.3 “十一五”应当研究的重大或重要科学问题	71
参考文献	72
第4章 机械结构强度与失效	74
4.1 机械结构强度与失效学的研究内容与任务	74
4.2 发展结构强度理论与失效学的重要意义	77
4.3 机械结构强度理论与失效学的研究现状和发展趋势	85
4.4 基础研究存在的主要问题	96
4.5 重要科学问题	99
参考文献	102
第5章 智能结构及系统	105
5.1 智能结构及系统的定义、范围和重要性	105

5.2 研究现状和发展趋势	114
5.3 基础研究中存在的问题与差距	124
5.4 建议“十一五”研究的重大科学问题	126
参考文献	129
第6章 机电产品现代设计理论与方法	131
6.1 领域定义、范围和重要性	131
6.2 研究现状、问题和发展趋势	136
6.3 重点研究科学问题建议	156
6.4 政策、措施及建议	159
参考文献	159
第7章 先进成形制造科学与技术	161
7.1 成形制造的科学内涵、结构体系和研究任务	161
7.2 成形制造科学和技术的研究现状及发展趋势	162
7.3 该领域和学科“十一五”优先资助领域	183
参考文献	185
第8章 先进加工制造工艺与装备	187
8.1 高速/高效加工	187
8.2 精密/超精密加工工艺与装备	201
8.3 特种加工(非传统加工)	215
8.4 建议“十一五”期间先进加工制造工艺与装备领域研究的重大或 重要科学问题	232
参考文献	232
第9章 数字制造与数字装备	234
9.1 科学内涵及结构体系、研究范围和任务	234
9.2 国内外研究现状和发展趋势	236
9.3 基础研究中存在的问题与差距	240
9.4 重大或重要科学问题	240
9.5 策略措施及建议	249
参考文献	250
第10章 机械系统和制造过程中的传感、测量及仪器	252
10.1 领域定义、范围和重要性	252
10.2 研究现状、存在问题和发展趋势	254
10.3 新型传感原理及传感器	257
10.4 先进制造的现场、非接触、数字化测量	260
10.5 微/纳米级超精密测量	264

10.6 超大尺寸精密测量·····	267
10.7 基标准及相关测量理论研究·····	270
10.8 “十一五”优先资助建议·····	278
参考文献·····	279
第 11 章 微纳机械学与微纳制造 ·····	281
11.1 科学内容及结构体系、研究范围·····	281
11.2 研究意义与重要性·····	296
11.3 研究现状和发展趋势·····	299
11.4 “十一五”优先资助建议和重大科学问题·····	308
11.5 政策措施及建议·····	309
参考文献·····	310
第 12 章 仿生机械与生物制造 ·····	312
12.1 该领域的科学内容及体系结构、研究范围和任务·····	312
12.2 该领域的国外研究现状和发展趋势·····	319
12.3 该领域国内研究现状及分析·····	326
12.4 本学科领域和学科“十一五”优先资助建议·····	334
12.5 策略措施及建议·····	341
参考文献·····	343
第 13 章 微电子与光电子器件制造 ·····	347
13.1 科学内涵及结构体系、研究范围和任务·····	347
13.2 国内外研究现状和发展趋势·····	349
13.3 “十一五”优先资助领域·····	363
参考文献·····	371
第 14 章 资源循环型制造与再制造——基于 4R 的基础理论和共性技术 ·····	373
14.1 科学内涵及结构体系、研究范围和任务·····	373
14.2 领域的国外研究现状和发展趋势·····	379
14.3 国内研究现状分析·····	386
14.4 本领域和学科“十一五”优先资助建议·····	393
14.5 策略措施及建议·····	397
参考文献·····	397
第 15 章 先进制造系统及管理运作 ·····	399
15.1 先进制造系统及管理运作的内涵、范围和重要性·····	400
15.2 先进制造系统及管理运作的国内外研究现状和发展趋势·····	414
15.3 我国先进制造系统及管理运作研究中存在的主要问题和差距·····	421
15.4 “十一五”期间建议研究的重大或重要科学问题·····	423

参考文献.....	426
附录.....	427
附录 A 机械与制造科学“十一五”优先资助领域	427
附录 B 机械学科历年来资助的重点、重大项目一览表	431

第 1 章 复杂机电系统

现代复杂机电系统是由机、电、液、光等多物理过程、多单元技术集成于机械载体而形成整体功能的复杂装备。

从工程角度认识复杂机电系统：

高速列车、高速轧机、数控中心、IC 制造装备、空天运载工具、大型盾构掘进机械等都是典型的复杂机电系统。复杂机电系统的功能特性由众多子系统集成产生。各子系统具有各自的物理过程和单元技术，通过系统集成激活子系统间的交互作用，在载体中实现能量、物质运动的各种演变，从而产生为人们所感知的功能与特性。人类集成创新的智慧，将各种复杂机电系统的功能推进到当代科学技术所能达到的极限，实现着人类的各种梦想。

从机械科学的角度分析复杂机电系统：

复杂机电系统是机械科学的集中载体，在一个复杂机电系统中包含了机械学科所涵盖的多个科学过程，这些过程将载体按一定规则联系为整体，过程间相互作用、激励、响应、传递与耗散，最终输出系统的功能。随着复杂机电系统功能日趋丰富，载有的物理参数更趋极限，集成的子系统更多，系统内各种物理过程的非线性、时变特征更为突出；过程之间的耦合、交融关系将更为复杂，某些科学过程可能会在更深层次被激发出来，复杂机电系统则将会涌现出各种新的科学现象与规律并决定着复杂机电系统的功能运行，成为我们在创新复杂系统时需要探索、认识与运用的新的科学规律。

复杂机电系统所出现的新现象和科学新问题，既有其所属学科的属性，又将其所处环境的科学过程融入其中，而使新现象的本身融入了复杂的多因素影响，具有了复杂系统的一些重要特征。这些问题因涉及更多科学过程的复杂关联演变而变得模糊、不确定，甚至表现出某些性能的异化和系统失稳，成为复杂机电系统发展中的难题。这是 21 世纪创造更为完善的复杂机电系统所面临的重要科学挑战，也是我们编写此章的出发点。

研究复杂机电系统的目的是不仅要以揭示系统规律去认识和使用已有的复杂装备，还要在科学地认识系统规律的基础上耦合多物理过程、运用先进技术精确地构建功能更为丰富、卓越和完善的复杂装备。

1.1 复杂机电系统的定义和特点

现代复杂机电系统是机、电、液、光等多物理过程融合于载体的复杂物理系统。也是将多种单元技术集成于机电载体，形成特定功能的复杂装备。在完成高度复杂的多物理过程中，系统及内部各子系统与环境间进行着能量、物质与信息流的多种传递、转换和演变。

现代各种高效生产设备、大型空天运载工具、高速列车等无一不是耦合高度复杂、功能异常丰富、运行控制能力十分强大的复杂机电系统，图 1.1 为几种典型复杂机电系统。



图 1.1 几种典型复杂机电系统

20 世纪以来，不断深入和发展的现代科学极大地促进了高新技术的发展，使复杂机电系统有可能集成各种多功能单元技术，构成功能强大的复杂装备，特别是在信息技术的带动下，信息感知和处理能力的增强使得复杂机电系统更具有自律性、自适应性和对作业全过程的可观测性和可控性。与传统机械相比，现代复杂机电系统从结构的组成到功能的多元化都正在发生重大的变化，形成了现代

复杂系统的新内涵、新概念。可以认为,现代机械装备就是将机械工程、材料技术、电气工程、控制工程、信息技术等通过信息流融合与信息驱动,按复杂规律运行的机电系统。

对于处在迅速发展中的复杂机电系统,这些概念能否准确概括其科学内涵和工程特征,也许仍然是一个值得继续探讨的问题,不过认识上的不统一对于复杂机电系统自身发展来说并不是一件坏事——它表明了这一领域是充满活力而不是僵化的;是年轻而不是古老的。目前在缺乏统一定义的情况下,越来越多的专家学者采用复杂机电系统这一术语来描述他们在各个领域所研究的对象和系统,这些对象和系统中不乏各种现有机电学科知识不能涵盖的内容。

至少下面几个方面仍然不失为现代复杂机电系统的共有特征(钟掘等 1999, 2003):

(1) 复杂机电系统是由多种高技术集成的多功能机电装备。

(2) 系统由多个相同和不相同层次的子系统组成;各子系统之间通过耦合构成结构复杂的有机整体。

(3) 系统具有动态性和开放性。在系统内部以及系统与外部环境之间,通过耦合和协同进行能量、物质与信息流的传递、交互及转换,实现多个复杂的物理过程并形成系统的基本功能。

(4) 由复杂机电系统在结构、功能、耦合关系和物理过程等各方面所具有的复杂性,而使其表现出一般复杂系统的典型特征:

- 系统中的非线性因素,导致宏观行为产生微演变,甚至非常态的系统功能生效——功能精度、稳定性和不确定性。

- 一个复杂机电系统的整体行为不能通过独立分析其各部分的行为来确定,需要建立基于物理耦合与多异域技术协同的系统研究方法。

复杂机电系统不再是仅由专家学者所提出的一种概念和框架,而是现代机械工程实践的必由之路。

作为一个交叉学科研究领域,越来越多的专家学者对于复杂机电系统问题的研究表现出浓厚的兴趣,并且已经出现了各种专门性的国际会议和刊物为基本标识的国际交流平台。

虽然提出复杂机电系统问题的本身并不意味着一场变革,而只是机械产品发展进化过程的必然反映,但是复杂机电系统为现代机械产品的研究进程提出了时代性路标。

可以预见,由于传统工程学科、计算机科学和自然科学相互交汇所取得的新成就,信息技术革命的持续发展,无线通信、智能传感和控制工程的发展以及其他不可预见的科技进步,人类对于产品性能的完美性和对工程设计变革的需求,都将为21世纪复杂机电系统的不断进化提供必要和可能的空间。复杂机电系统