



学科发展战略研究报告 (2011~2020)

机械工程学科 发展战略报告

► (2011~2020)

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 (2011 ~ 2020)

机械工程学科发展战略报告 (2011 ~ 2020)

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

为了提高我国原始创新能力,服务创新型国家建设,深入促进学科均衡发展,根据国家自然科学基金委员会的统一部署,百余位活跃在机械工程领域科研一线的专家学者,站在国家利益的高度,把握国家自然科学基金委员会“更加侧重基础、前沿和人才”的战略导向,历时15个月的战略研讨形成了本书。本书既瞄准国家重大战略需求,又密切结合国际科技前沿发展,立足机械工程学科基本任务,将学科的传统内涵和创新发展方向相结合,其内容具有战略性、前瞻性和引领性。

全书共分12章,通过对机械工程学科战略地位和总体发展趋势的分析,提出了学科发展布局的指导思想,部署了学科未来5~10年优先资助领域和交叉领域,系统地阐述了其涵盖的研究范围、内涵、现状和发展趋势,明确了研究前沿、重大科学问题和发展规划。

本书为国家自然科学基金委员会工程与材料科学部工程科学二处(机械工程学科)遴选未来5~10年优先资助方向提供重要依据,也可供高等院校、科研院所等机构从事自然科学研究工作的科研人员以及参与科技管理和科技政策研究的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程学科发展战略报告(2011~2020)/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,2010
ISBN 978-7-03-029274-2

I. ①机… II. ①国… III. ①机械工程—发展战略—研究报告—中国—2011~2020 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第203152号

责任编辑:刘宝莉 陈 婕/责任校对:张凤琴

责任印制:赵 博/封面设计:鑫联必升

科学出版社

北京城根北街16号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

北京鑫联必升彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2010年11月第一版 开本:B5(720×1000)

2010年11月第一次印刷 印张:23 1/2

印数:1—3 500 字数:475 000

定价:80.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

Preface

“基础研究是科技进步的先导，是自主创新的源泉。”这是胡锦涛总书记对基础研究的高度评价。温家宝总理在首都科技界大会上所做的《让科技引领中国可持续发展》的重要讲话着重阐述了基础研究对国家竞争力的支撑作用。纵观世界科技发展的历史，每一场科技革命的出现，每一个新兴产业的崛起，无不依赖于基础研究领域的重大原始创新。

关于基础研究的战略定位，《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006～2020）》（简称《规划纲要》）已经做了明确说明，从学科发展、科学前沿、国家需求、重大科学研究计划等四个方面对基础研究进行了具体部署；并提出，发展基础研究要“根据科学发展的新动向，进行动态调整”，在把握当今世界科学发展的新特点、新趋势、新机遇的基础上，通过学科发展战略研究，实现对基础研究领域的科学布局。

作为国家支持基础研究的主要资助渠道，国家自然科学基金委员会（简称基金委）在落实《规划纲要》中十分重视学科战略规划的重要性和紧迫性，创新工作机制，分别与中国工程院和中国科学院开展合作，共同谋划我国学科未来发展战略。在与中国工程院的合作中，共同设立“中国工程科技中长期发展战略研究”联合基金，对未来20年影响我国可持续发展、影响国家竞争力、影响国家安全的重大工程科技发展战略开展研究，针对制约我国经济社会发展的工程科技瓶颈问题提出解决方案。在与中国科学院合作中，立足现在，着眼未来，展望到2020年我国各学科的发展趋势，谋划未来10年促进各学科均衡协调可持续发展的战略思路和政策措施。

基金委党组在充分酝酿和讨论的基础上，明确了本次战略研究的主要任务是分析我国学科发展规律、基础研究规律、人才培养规律和环境建设需求；提出了“立足科学发展、完善体制机制、体现科学民主”的指导思想；突出“更加侧重基础、更加侧重前沿和更加侧重人才”的战略定位；强调在统筹把握科学前沿发展需求和国家战略需求的基础上，深入分析学科发展特点和人才成长规律，明确未来一个时期促进我国基础学科均衡协调可持续发展的战略思路 and 保障措施。

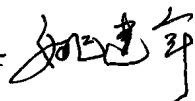
工程与材料科学是从工程实践和应用的基础上发展起来的技术基础学科。其学科发展战略研究，不仅应强调科学基金的基础性与前瞻性，更应密切结合国家重大需求，体现国家发展的战略目标。机械工程学科是支撑社会物质财富生产的

重要基础，其基本任务是以自然科学为基础，研究人造的机械系统与制造过程的结构组成、能量传递与转换、构件与产品的几何与物理演变、系统与过程的调控、功能形成与运行可靠性等，并以此为基础构造机械与制造工程中共性和核心技术的基本原理和方法，最终为各行业提供功能强大的高端装备系统与技术服务。目前，我国在高端装备制造等领域与发达国家还有一定差距，在支撑技术创新的原创性基础研究方面还有明显不足。以低碳排放为特征的工业发展新模式，要求机械工程学科必须突破传统思维束缚，通过机械与制造科学的新探索和技术方法的新构思、新实践，发现与创造可以面对世纪挑战的制造原理、过程和装备，建立起新的学科理论，形成融多学科为一体的机械系统，实现创造“和谐”的高端产品目标。机械工程学科的发展必将促进基础科学与技术科学的深度融合，催生全新的制造原理和技术，引发新的重大工程技术变革；同时，也必将为纳米、生物、医学、信息和新能源等学科领域的发展提供理论和技术支撑以及装备保障。基于此，机械工程学科在国家经济发展与学科发展布局中占据着重要的地位，承载着创造物质财富和改善人类生活质量的特殊历史使命。

基金委工程与材料科学部工程科学二处（机械工程学科）组织本学科领域的专家在广泛研讨的基础上，撰写出这本具有鲜明学科特色的《机械工程学科发展战略报告（2011～2020）》。本报告通过对机械工程学科现状、趋势、热点、发展规律及重大产业需求的深入分析，总结了机械工程学科在新时代背景下所呈现出的研究特点；面向国家重大需求并紧密结合学科未来的发展趋势和科学前沿，提出了机械工程学科未来5～10年发展的基本框架、优先资助领域和交叉领域，充分体现了基金委提出的“三个更加侧重”的战略思想，达到了本次学科战略规划研究的基本要求。

希望通过此次战略研究，我们能够以全球化的视野，从当今世界机械工程领域中寻找到关键的科学前沿问题，凝练出具有战略意义的科学问题，拓展机械工程学科基础研究的科学内涵，通过关键科学前沿问题和重大基础科学问题的突破带动中国机械工程学科基础研究的原始创新。同时，也希望在本报告的引导下，能有更多的科技工作者特别是青年科技工作者投身机械工程领域基础科学研究，围绕所凝练出的学科前沿领域，实现重大科学问题的突破，产生若干在国际上具有重要影响的原创性基础研究成果，为实现从“中国制造”向“中国创造”的目标提供有力的保障和支撑。相信机械工程领域的科学家能够肩负起这一崇高的使命。

中国科学院院士



国家自然科学基金委员会副主任

2010年10月

前 言

Foreword

机械与制造科学属技术科学范畴，研究机械系统与制造过程的基本原理和规律，为物质产品制造和各类工程活动提供工艺、装备、环境的科学原理和方法。机械与制造科学是社会创造产品和物质活动的基础，也在服务于社会和科学发展中不断变革与发展。

21 世纪面临诸多重大变革，如利用新能源、新资源制造产品和运转工程；物质社会活动与自然和谐共存；生命活动持续清洁、健康。实现这些发展目标，机械工程学科必须突破传统的思维局限，通过科学探索和技术发现，创造各种新制造技术、新功能装备和工程新系统。这是机械工程学科面临的时代挑战，也是本次战略研究需要回答的问题。

基于当今的时代背景和技术发展趋势，本学科必须瞄准持续发展的长远目标，洞察学科发展的大趋势，把握影响未来的主流发展方向，凝练重大的前沿科学问题，聚集基础研究队伍，引导学科纵深发展，通过 5 ~ 10 年的努力，形成支撑当代社会与科学发展的机械工程学科知识创新科学基础。这是本次战略研究的重要历史使命。

在国家自然科学基金委员会的统一部署和工程与材料科学部的具体安排下，机械工程学科成立了《机械工程学科发展战略报告（2011 ~ 2020）》（简称《战略报告》）指导评审组、工作组、撰写组和秘书组，先后于 2009 年 4 月和 5 月组织召开了以两院院士、国家杰出青年科学基金获得者和教育部“长江学者”特聘教授为主的两次机械工程学科发展战略研讨会，于 2009 年 7 月召开了撰写工作启动会，就本学科发展的基本科学问题、学科前沿热点和本次战略研究的目标、任务和内容选择等进行了充分的讨论，为开展本次战略研究的学术路线与队伍组织做好充分的前期准备。在战略研究过程中又陆续召开 7 次全体撰写研讨会、70 余次撰写组各小组讨论会和 7 次秘书组统稿会，就《战略报告》撰写中出现的共性问题、学科的发展规律、趋势、科学内涵和优先资助方向进行了深入探讨。期间十易其稿，汲取了百余位专家的意见，于 2010 年 9 月完成了报告。可以认为本《战略报告》既展示了我国机械工程领域专家学者的科学智慧，更倾注了几代人对本学科未来发展的期望。

《战略报告》共 12 章，学科体系依然由机械学与制造工程科学两大核心分支

贯穿整体。在涵盖本学科基本科学理论和方法的基础上,着重阐述当前发展热点和已显现的未来科学前沿,从中引导出优先资助方向。为在总体上更准确把握学科的发展脉络,专门编撰了第1章以阐明机械工程学科整体发展的基本科学规律和驱动力、学科与国家经济和社会发展的关系、社会责任和当前必须努力获取的学科前沿的创新知识,提炼出能反映当代自然科学和机械与制造科学交叉融合产生的跨学科规律,能解决现代复杂工程系统难题的重大应用基础规律和应对未来发展所期望的本学科认识规律的突破。第2~12章分别阐述11个优先资助领域的科学内涵、研究内容、发展现状与趋势、重大科学问题和优先资助方向,并在各章的开头部分给出了本章的核心内容。为忠实于当代学科新方向和新知识的发展变化,努力使各领域的名称既反映传统的学科属性又具有前沿新概念,以醒目突出学科发展的时代科学特征,体现基础与前沿结合、传统与发展结合、科学与技术结合的技术科学属性。基于此,11个领域内容的归纳、分类和标题都与传统有较大不同。希望通过这样的思考和编排能将本学科的科学前沿和时代任务突显出来。

本报告由百余位专家历经15个月的学习、思考、交锋、凝练、整理和编撰而成,过程十分辛苦。但欣慰的是,高密度的思维与思想撞击过程锻炼成长了一支本学科战略研究队伍,培养了一批知识丰富、思维敏捷、宏微科学逻辑结合、善于捕捉学科发展先机的中青年科学家,传承了老一辈科学家“战略眼光远大、国家利益为重”的优秀作风和无私奉献精神,这也是本项工作的重要成果。

在《战略报告》即将付梓出版之际,衷心感谢在这次战略研究工作中发挥了重要指导作用的老一辈科学家,他们高瞻远瞩的学术视野、实事求是的科学态度、以社会发展为己任的学术精神,为中青年学者树立了榜样。本次战略研究得到几十个高校和科研院所的大力支持,百余位学者的辛勤工作和无私奉献,在此一并致以诚挚的感谢!

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部
工程科学二处(机械工程学科)
2010年10月

目 录

序

前言

| | |
|--|----|
| 第 1 章 总论 | 1 |
| 1.1 机械工程学科的战略地位 | 1 |
| 1.1.1 机械工程学科为满足国家目标的物质需求基础提供技术科学支持 | 1 |
| 1.1.2 机械工程学科的突破将催生社会重大经济变革 | 7 |
| 1.1.3 机械工程学科拓宽自然科学的研究领域和视野, 并为之提供有效的研究途径 | 8 |
| 1.2 机械工程学科的总体发展趋势 | 8 |
| 1.2.1 机械工程学科发展趋势 | 9 |
| 1.2.2 机械工程学科的研究特点 | 13 |
| 1.3 未来 5~10 年发展战略 | 16 |
| 1.3.1 发展布局的指导思想 | 16 |
| 1.3.2 部署学科优先领域的建议 | 18 |
| 1.4 人才队伍、资助现状、重要成果与存在问题分析 | 19 |
| 1.5 未来 5~10 年机械工程学科发展的保障措施 | 22 |
| 参考文献 | 23 |
| 第 2 章 机构学与机械振动学 | 24 |
| 2.1 内涵与研究范围 | 24 |
| 2.1.1 机构学内涵与研究范围 | 24 |
| 2.1.2 机械振动学内涵与研究范围 | 26 |
| 2.2 在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 27 |
| 2.2.1 机构学在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 27 |
| 2.2.2 机械振动学在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 28 |
| 2.3 研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 29 |
| 2.3.1 机构学研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 29 |

| | |
|---------------------------------|-----------|
| 2.3.2 机械振动学研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 37 |
| 2.4 未来5~10年的研究前沿与重大科学问题 | 43 |
| 2.5 未来5~10年的发展规划 | 44 |
| 参考文献 | 46 |
| 第3章 机械的驱动与传动科学 | 48 |
| 3.1 内涵与研究范围 | 49 |
| 3.1.1 内涵 | 49 |
| 3.1.2 研究范围 | 49 |
| 3.2 在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 54 |
| 3.3 研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 56 |
| 3.3.1 高效高可靠机械驱动与传动共性基础理论和特性生成机理 | 56 |
| 3.3.2 精密驱动与传动的设计制造及控制基础研究 | 60 |
| 3.3.3 基于功能材料的新型驱动与传动原理与方法 | 63 |
| 3.4 未来5~10年的研究前沿与重大科学问题 | 67 |
| 3.4.1 研究前沿 | 67 |
| 3.4.2 重大科学问题 | 70 |
| 3.5 未来5~10年的发展规划 | 71 |
| 参考文献 | 74 |
| 第4章 复杂机电系统的集成科学 | 76 |
| 4.1 内涵与研究范围 | 76 |
| 4.1.1 复杂机电系统及其特点 | 76 |
| 4.1.2 内涵 | 78 |
| 4.1.3 研究范围 | 79 |
| 4.2 在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 81 |
| 4.3 研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 83 |
| 4.3.1 复杂机电系统的工业发展现状 | 83 |
| 4.3.2 复杂机电系统的技术发展趋势 | 84 |
| 4.3.3 复杂机电系统的研究现状 | 86 |
| 4.3.4 复杂机电系统的研究趋势 | 89 |
| 4.4 未来5~10年的研究前沿与重大科学问题 | 98 |
| 4.4.1 研究前沿 | 98 |
| 4.4.2 重大科学问题 | 101 |
| 4.5 未来5~10年的发展规划 | 102 |

| | |
|--------------------------------------|------------|
| 参考文献 | 105 |
| 第 5 章 零件与结构的失效与安全服役科学 | 107 |
| 5.1 内涵与研究范围 | 107 |
| 5.1.1 内涵 | 107 |
| 5.1.2 研究范围 | 110 |
| 5.2 在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 112 |
| 5.3 研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 115 |
| 5.3.1 失效评价与寿命预测 | 115 |
| 5.3.2 修复与再制造 | 120 |
| 5.3.3 安全检测与健康监测 | 123 |
| 5.3.4 相关研究方向的国际竞争力比较 | 125 |
| 5.4 未来 5 ~ 10 年的研究前沿与重大科学问题 | 127 |
| 5.4.1 研究前沿 | 127 |
| 5.4.2 重大科学问题 | 130 |
| 5.5 未来 5 ~ 10 年的发展规划 | 131 |
| 5.5.1 本领域发展布局的指导思想 | 131 |
| 5.5.2 主要资助方向的建议 | 132 |
| 参考文献 | 133 |
| 第 6 章 机械表面界面科学与摩擦学 | 136 |
| 6.1 内涵与研究范围 | 136 |
| 6.1.1 内涵 | 136 |
| 6.1.2 研究范围 | 139 |
| 6.2 在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 140 |
| 6.3 研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 141 |
| 6.3.1 机械产品设计中的表面界面科学研究 | 142 |
| 6.3.2 机械制造过程中的表面界面科学研究 | 144 |
| 6.3.3 机械系统中的摩擦学研究: 摩擦、磨损、润滑、密封 | 145 |
| 6.3.4 生物医疗及仿生工程中的表面界面科学与摩擦学 | 150 |
| 6.3.5 机械表面界面科学与摩擦学的发展趋势分析 | 153 |
| 6.4 未来 5 ~ 10 年的研究前沿与重大科学问题 | 154 |
| 6.5 未来 5 ~ 10 年的发展规划 | 158 |
| 参考文献 | 160 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 第7章 生物制造与仿生制造科学 | 162 |
| 7.1 内涵与研究范围 | 163 |
| 7.1.1 内涵 | 163 |
| 7.1.2 研究范围 | 164 |
| 7.2 在国民经济建设和学科发展中的重要意义 | 166 |
| 7.3 研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 168 |
| 7.3.1 生物制造科学 | 168 |
| 7.3.2 仿生制造 | 172 |
| 7.3.3 生物医疗装备与器件制造 | 179 |
| 7.4 未来5~10年的研究前沿与重大科学问题 | 184 |
| 7.5 未来5~10年的发展规划 | 185 |
| 参考文献 | 187 |
| 第8章 高性能精确成形制造科学 | 189 |
| 8.1 内涵与研究范围 | 190 |
| 8.1.1 内涵 | 190 |
| 8.1.2 研究范围 | 190 |
| 8.2 在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 193 |
| 8.3 研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 196 |
| 8.3.1 高性能凝固精确成形 | 196 |
| 8.3.2 轻质高强板材复杂件精确成形 | 199 |
| 8.3.3 高效高性能精确体积成形 | 203 |
| 8.3.4 超常条件下焊接与高效焊接 | 204 |
| 8.3.5 特大型构件成形成性一体化制造 | 206 |
| 8.3.6 低成本批量微成形 | 208 |
| 8.3.7 高性能精确成形过程的建模仿真与优化 | 210 |
| 8.4 未来5~10年的研究前沿与重大科学问题 | 213 |
| 8.4.1 研究前沿 | 213 |
| 8.4.2 重大科学问题 | 214 |
| 8.5 未来5~10年的发展规划 | 215 |
| 参考文献 | 219 |
| 第9章 高能束与特种能场制造科学 | 221 |
| 9.1 内涵与研究范围 | 221 |
| 9.1.1 内涵 | 223 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 9.1.2 研究范围 | 224 |
| 9.2 在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 225 |
| 9.3 研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 227 |
| 9.3.1 光制造 | 227 |
| 9.3.2 载能粒子束制造 | 235 |
| 9.3.3 特种能场制造 | 241 |
| 9.3.4 基础研究和趋势分析 | 243 |
| 9.3.5 我国高能束与特种能场制造研究存在的问题 | 249 |
| 9.4 未来5~10年的研究前沿与重大科学问题 | 250 |
| 9.5 未来5~10年的发展规划 | 252 |
| 参考文献 | 255 |
| 第10章 高精度数字化制造科学 | 258 |
| 10.1 内涵与研究范围 | 258 |
| 10.1.1 内涵 | 258 |
| 10.1.2 研究范围 | 259 |
| 10.2 在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 261 |
| 10.3 研究现状、存在问题与发展趋势分析 | 263 |
| 10.3.1 数字化设计-加工-测量一体化 | 263 |
| 10.3.2 高效精密切削磨削加工 | 266 |
| 10.3.3 超高精度、高性能平面、曲面制造 | 270 |
| 10.3.4 特殊功能结构的特种加工 | 273 |
| 10.3.5 复杂机械系统装配性能保障 | 276 |
| 10.3.6 制造系统运行优化 | 278 |
| 10.4 未来5~10年的研究前沿与重大科学问题 | 280 |
| 10.4.1 研究前沿 | 280 |
| 10.4.2 重大科学问题 | 283 |
| 10.5 未来5~10年优先资助方向 | 283 |
| 参考文献 | 285 |
| 第11章 机械的制造与运行参数测量科学 | 288 |
| 11.1 内涵与研究范围 | 288 |
| 11.1.1 内涵 | 288 |
| 11.1.2 研究范围 | 289 |
| 11.2 在国民经济发展、社会发展和学科发展中的重要意义 | 292 |

| | | |
|-------------|--------------------------------------|------------|
| 11.3 | 研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 295 |
| 11.3.1 | 新型传感器原理与仪器 | 295 |
| 11.3.2 | 计量与测试新原理、新方法 | 297 |
| 11.3.3 | 系统运行参数检测与表征 | 299 |
| 11.3.4 | 制造参数高精度测量与误差理论 | 302 |
| 11.4 | 未来5~10年的研究前沿与重大科学问题 | 304 |
| 11.4.1 | 研究前沿 | 304 |
| 11.4.2 | 重大科学问题 | 307 |
| 11.5 | 未来5~10年的发展规划 | 309 |
| | 参考文献 | 314 |
| 第12章 | 微/纳制造科学与技术 | 316 |
| 12.1 | 内涵与研究范围 | 319 |
| 12.1.1 | 内涵 | 319 |
| 12.1.2 | 研究范围 | 320 |
| 12.2 | 在国民经济、社会发展和学科发展中的重要意义 | 322 |
| 12.2.1 | 对国民经济和社会发展具有重要的带动作用 | 322 |
| 12.2.2 | 对制造科学和技术的发展具有重要的推动作用 | 324 |
| 12.3 | 研究现状、存在问题和发展趋势分析 | 324 |
| 12.3.1 | 微/纳设计与器件原理 | 324 |
| 12.3.2 | 微加工 | 327 |
| 12.3.3 | 纳米加工 | 329 |
| 12.3.4 | 微/纳复合加工 | 331 |
| 12.3.5 | 微/纳操作、装配与封装 | 332 |
| 12.3.6 | 微/纳测试与表征 | 336 |
| 12.3.7 | 微/纳制造装备 | 338 |
| 12.4 | 未来5~10年的研究前沿与重大科学问题 | 340 |
| 12.5 | 未来5~10年的发展规划 | 341 |
| | 参考文献 | 344 |
| 附录 | 机械工程学科资助重点项目一览表 (2006 ~ 2010) | 348 |

Contents

Preface

Foreword

| | |
|--|----|
| Chapter 1 Overview | 1 |
| 1.1 Strategic Positioning of Mechanical and Manufacturing Science | 1 |
| 1.1.1 Technologic and Scientific Contributions to Substantial Needs of National Strategic Plans | 1 |
| 1.1.2 Social and Economic Revolutions Simulated by Mechanical and Manufacturing Breakthroughs | 7 |
| 1.1.3 Area Expansion and Innovative Approaches for Natural Scientific Research | 8 |
| 1.2 Development Outlook | 8 |
| 1.2.1 Development Trends | 9 |
| 1.2.2 Research Characteristics | 13 |
| 1.3 Development Planning; 5—10 Year Horizon | 16 |
| 1.3.1 Strategic Planning | 16 |
| 1.3.2 Proposed Prior Research Areas | 18 |
| 1.4 Current Status and Challenges | 19 |
| 1.5 Implementation Strategies; 5—10 Year Horizon | 22 |
| References | 23 |
| Chapter 2 Mechanisms and Mechanical Vibration | 24 |
| 2.1 Introduction | 24 |
| 2.1.1 Mechanisms | 24 |
| 2.1.2 Mechanical Vibration | 26 |
| 2.2 Broad Impacts on National Economy, Social and Academic Development | 27 |
| 2.2.1 Mechanisms | 27 |
| 2.2.2 Mechanical Vibration | 28 |

| | | |
|------------------|--|-----------|
| 2.3 | Overview, Challenges, and Development Outlook | 29 |
| 2.3.1 | Mechanisms | 29 |
| 2.3.2 | Mechanical Vibration | 37 |
| 2.4 | Research Frontiers and Big Scientific Questions: 5—10 Year Horizon | 43 |
| 2.5 | Development Planning: 5—10 Year Horizon | 44 |
| | References | 46 |
| Chapter 3 | Mechanical Drive and Transmission Science | 48 |
| 3.1 | Introduction | 49 |
| 3.1.1 | Definitions | 49 |
| 3.1.2 | Research Areas | 49 |
| 3.2 | Broad Impacts on National Economy, Social and Academic Development | 54 |
| 3.3 | Overview, Challenges, and Development Outlook | 56 |
| 3.3.1 | Fundamental Theories and Properties Evolution Mechanism of Efficient, Reliable Drive and Transmission | 56 |
| 3.3.2 | Fundamentals in Design, Manufacturing and Control of Precision Drive and Transmission | 60 |
| 3.3.3 | Principles and Methods of Novel Drive and Transmission | 63 |
| 3.4 | Research Frontiers and Premier Questions: 5—10 Year Horizon | 67 |
| 3.4.1 | Research Frontiers | 67 |
| 3.4.2 | Big Scientific Questions | 70 |
| 3.5 | Development Planning: 5—10 Year Horizon | 71 |
| | References | 74 |
| Chapter 4 | Integrated Science of Complex Electromechanical Systems | 76 |
| 4.1 | Introduction | 76 |
| 4.1.1 | Complex Electromechanical Systems and Their Characteristics | 76 |
| 4.1.2 | Definitions | 78 |
| 4.1.3 | Research Areas | 79 |
| 4.2 | Broad Impacts on National Economy, Social and Academic Development | 81 |
| 4.3 | Overview, Challenges, and Development Outlook | 83 |
| 4.3.1 | Industrial Applications | 83 |
| 4.3.2 | Technology Trends | 84 |
| 4.3.3 | Research Status | 86 |
| 4.3.4 | Research Trends | 89 |

| | | |
|------------------|---|------------|
| 4.4 | Research Frontiers and Premier Questions; 5—10 Year Horizon | 98 |
| 4.4.1 | Research Frontiers | 98 |
| 4.4.2 | Big Scientific Questions | 101 |
| 4.5 | Development Planning; 5—10 Year Horizon | 102 |
| | References | 105 |
| Chapter 5 | Failure and Service Safety of Mechanical Elements and Structures | 107 |
| 5.1 | Introduction | 107 |
| 5.1.1 | Definitions | 107 |
| 5.1.2 | Research Areas | 110 |
| 5.2 | Broad Impacts on National Economy, Social and Academic Development | 112 |
| 5.3 | Overview, Challenges, and Development Outlook | 115 |
| 5.3.1 | Failure Assessment and Life Prediction | 115 |
| 5.3.2 | Repair and Remanufacturing | 120 |
| 5.3.3 | Safety Inspection and Health Monitoring | 123 |
| 5.3.4 | International Competitiveness Comparisons in Related Areas | 125 |
| 5.4 | Research Frontiers and Premier Questions; 5—10 Year Horizon | 127 |
| 5.4.1 | Research Frontiers | 127 |
| 5.4.2 | Big Scientific Questions | 130 |
| 5.5 | Development Planning; 5—10 Year Horizon | 131 |
| 5.5.1 | Strategic Planning | 131 |
| 5.5.2 | Proposed Research Prior Areas | 132 |
| | References | 133 |
| Chapter 6 | Surface and Interface Science in Machinery and Tribology | 136 |
| 6.1 | Introduction | 136 |
| 6.1.1 | Definitions | 136 |
| 6.1.2 | Research Areas | 139 |
| 6.2 | Broad Impacts on National Economy, Social and Academic Development | 140 |
| 6.3 | Overview, Challenges, and Development Outlook | 141 |
| 6.3.1 | Surface and Interface Science in Mechanical Design | 142 |
| 6.3.2 | Surface and Interface Science in Mechanical Manufacturing | 144 |
| 6.3.3 | Tribology Research in Mechanical Systems; Friction, Wear, Lubrication, | |

| | |
|--|------------|
| and Sealing | 145 |
| 6.3.4 Surface, Interface and Tribology Science in Biomedical & Bionic Engineering | 150 |
| 6.3.5 Development Outlook of Surface, Interface and Tribology in Machinery | 153 |
| 6.4 Research Frontiers and Big Scientific Questions; 5—10 Year Horizon | 154 |
| 6.5 Development Planning; 5—10 Year Horizon | 158 |
| References | 160 |
| Chapter 7 Biomanufacturing and Bionic Manufacturing Science | 162 |
| 7.1 Introduction | 163 |
| 7.1.1 Definitions | 163 |
| 7.1.2 Research Areas | 164 |
| 7.2 Broad Impacts on National Economy, Social and Academic Development | 166 |
| 7.3 Overview, Challenges, and Development Outlook | 168 |
| 7.3.1 Biomanufacturing Science | 168 |
| 7.3.2 Bionic Manufacturing | 172 |
| 7.3.3 Biomedical Equipments and Devices Manufacturing | 179 |
| 7.4 Research Frontiers and Big Scientific Questions; 5—10 Year Horizon | 184 |
| 7.5 Development Planning; 5—10 Year Horizon | 185 |
| References | 187 |
| Chapter 8 High Performance Precision Forming Manufacturing Science | 189 |
| 8.1 Introduction | 190 |
| 8.1.1 Definitions | 190 |
| 8.1.2 Research Areas | 190 |
| 8.2 Broad Impacts on National Economy, Social and Academic Development | 193 |
| 8.3 Overview, Challenges, and Development Outlook | 196 |
| 8.3.1 High Performance Precision Solidification Forming | 196 |
| 8.3.2 Precision Forming of Lightweight and High Strength Sheet for Complex Components | 199 |
| 8.3.3 High Performance Precision Bulk Forming with High Efficiency | 203 |
| 8.3.4 Efficient Welding and Welding under Extreme Conditions | 204 |