

 面向2030

中国机械工程技术 路线图

TECHNOLOGY ROADMAPS OF CHINESE MECHANICAL ENGINEERING

中国机械工程学会 编著

绿色
智能
超常
融合
服务



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

 面向2030

中国机械工程技术 路线图

TECHNOLOGY ROADMAPS OF CHINESE MECHANICAL ENGINEERING

中国机械工程学会 编著

绿色
智能
超常
融合
服务



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

编写组织机构

指导委员会

主 任 路甬祥

副主任 潘云鹤 陆燕荪

委 员 (按姓氏笔画排序)

王玉明 卢秉恒 包起帆 任洪斌 李忠海 李培根
李新亚 张林俭

专家委员会

主 任 宋天虎

副主任 朱森第 钟 掘 高金吉

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁培璠 王立鼎 王至尧 王国彪 尤 政 冯培恩
朱剑英 任露泉 关 桥 李元元 李圣怡 李敏贤
沙宝森 林尚扬 屈贤明 胡正寰 柳百成 钟志华
徐滨士 曾广商 雷源忠 谭建荣 熊有伦 黎 明
潘健生

编写委员会

主 任 张彦敏

副主任 陈超志

委 员 (按姓氏笔画排序)

王长路	王凤才	王晓浩	方建儒	左晓卫	石照耀
叶 猛	田利芳	史耀武	朱 胜	任广升	刘世参
刘志峰	刘忠明	刘战强	闫清东	江平宇	祁国宁
孙立宁	孙守迁	孙容磊	杜洪敏	李志刚	李涤尘
李 斌	李 鲲	李耀文	肖志瑜	吴 江	张元国
张立勇	张 伟	张 杰	张 洁	张德远	陈立平
陈国民	陈 明	武兵书	苑伟政	林建平	周 明
赵西金	赵海波	顾剑锋	徐四宁	徐 兵	黄天佑
黄 兴	商宏谟	董 申	蒋 鹏	韩 旭	韩志武
程 凯	褚作明	蔡茂林	谭 锋	熊 计	檀润华

责任编辑 田利芳

编写委员会秘书 田利芳 (兼)

序 言

当今世界，科技创新日新月异，信息化、知识化、现代化、全球化发展势不可挡，新兴发展中国家快速崛起，国际经济和制造产业格局正面临新的大发展、大调整、大变革。我国制造业也将迎来新的发展战略机遇和挑战。

目前，我国制造业的规模和总量都已经进入世界前列，成为全球制造大国，但是发展模式仍比较粗放，技术创新能力薄弱，产品附加值低，总体上大而不强，进一步的发展面临能源、资源和环境等诸多压力。到2020年，我国将实现全面建设小康社会、基本建成创新型国家的目标，进而向建成富强、民主、文明、和谐的社会主义现代化国家的宏伟目标迈进。在人类历史上，大凡知识和技术创新，只有通过制造形成新装备才能转变为先进生产力。许多技术和管理创新也是围绕与制造相关的材料、工艺、装备和经营服务进行的。可以预计，未来20年，我国制造业仍将保持强劲发展的势头，将更加注重提高基础、关键、核心技术的自主创新能力，提高重大装备集成创新能力，提高产品和服务的质量、效益和水平，进一步优化产业结构，转变发展方式，提升全球竞争力，基本实现由制造大国向制造强国的历史性转变。

机械制造是制造业最重要、最基本的组成部分。在信息化时代，与电子信息等技术融合的机械制造业，仍然是国民经济发展的基础性、战略性支柱产业。工业、农业、能源、交通、信息、水利、城乡建设等国民经济中各行业的发展，都有赖于机械制造业为其提供装备。机械制造业始终是

国防工业的基石。现代服务业也需要机械制造业提供各种基础设备。因此，实现由制造大国向制造强国的历史性转变，机械制造必须要先行，必须从模仿走向创新、从跟踪走向引领，必须科学前瞻、登高望远、规划长远发展。

中国机械工程学会是机械工程技术领域重要的科技社团，宗旨是引领学科发展、推动技术创新、促进产业进步。研究与编写中国机械工程技术路线图，是历史赋予学会的光荣使命。一段时间以来，机械工程学会依靠人才优势，集中专家智慧，充分发扬民主，认真分析我国经济社会发展、世界机械工程技术及相关科学技术发展的态势，深入研究我国机械行业发展的实际和面临的任务及挑战，形成了《中国机械工程技术路线图》。

《中国机械工程技术路线图》是面向 2030 年我国机械制造技术如何实现自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来的战略路线图。路线图力求引领我国机械工程技术和产业的创新发展，进而为我国建设创新型国家，实现由制造大国向制造强国的跨越，提升综合国力和国际竞争力发挥积极作用。

路线图的编写努力坚持科学性、前瞻性、创造性和引导性。科学性就是以科学发展观为指导，立足于科学技术的基础，符合科学技术和产业发展的大趋势。路线图不是理想主义的畅想曲，而是经过努力可以实现、经得起实践和历史检验的科学预测。前瞻性就是用发展的眼光看问题，不仅着眼于当前，而要看到 10 年、20 年后甚至更长远的发展。我们今天所面临的挑战和问题，很多都不是短期能够解决的，而是需要经过 10 年、20 年，甚至更长时间的持续努力才能根本化解。我们不仅要立足我国的发展，也要放眼世界的发展，对可能出现的科技创新突破、全球产业结构和发展方式的变革要有所估计。我们不仅要考虑已有的科学技术，还要考虑未来的科技进步与突破，如物理、化学、生物、信息、材料、纳米等技术的新发展，考虑它们对制造业可能产生的影响和可能带来的变化。对一些

重要领域和发展方向、发展趋势要有一个比较准确的把握和判断。创造性就是根据我国国情进行自主思考和创新。路线图的编写是一个学习过程、研究过程、创造过程。我们既要学习借鉴国外的技术路线图，学习借鉴国外的成功经验和先进技术，又不完全照搬、不全盘模仿。路线图不仅要符合世界发展的大趋势，更要符合中国的实际国情。引导性就是要对机械制造技术和产业发展起引领和指导作用。路线图不是百科全书，也不同于一般的技术前沿导论，它是未来创新发展的行动纲领。路线图既要有清晰的基础共性、关键核心技术的提炼，同时也要有代表重大创新集成能力的主导性产业和产品目标，要适应企业行业的整体协调发展。路线图最终衡量的标准是先进技术是否能够转变成产业，是否能够占领市场。

《中国机械工程技术路线图》对未来 20 年机械工程技术发展进行了预测和展望。明确、清晰地提出了面向 2030 年机械工程技术发展的五大趋势和八大技术。五大趋势归纳为绿色、智能、超常、融合和服务，我认为还是比较准确的。这 10 个字不仅着眼于中国机械工程技术发展的实际，也体现了世界机械工程技术发展的大趋势，应该能够经得起时间的考验。八大技术问题是从小机械工程 11 个技术领域凝练出来的，是对未来制造业发展有重大影响的技术问题，即复杂系统的创意、建模、优化设计技术，零件精确成形技术，大型结构件成形技术，高速精密加工技术，微纳器件与系统（MEMS），智能制造装备，智能化集成化传动技术，数字化工厂。这些技术的突破，将提升我国重大装备发展的基础、关键、核心技术创新和重大集成创新能力，提升我国制造业的国际竞争力以及在国际分工中的地位，将深刻影响我国制造业未来的发展。

编写路线图，还要考虑如何为路线图的实施创造条件。如果没有政府的理解和政策环境的支持，没有企业积极主动的参与和有关部门的紧密合作，如果不通过扩大开放，改革体制，创新机制，为人才育成和技术创新创造良好的环境，促进企业为主体、以市场为导向、产学研用结合的技术

创新体系的形成，如果没有一系列有力举措和实际行动，路线图所描绘和规划的目标就可能只是寓于心中的美好愿望和一幅美丽的图景。我认为，创新、人才、体系、机制、开放，是路线图成功实施的关键要素。

尤其值得关注的是，国际金融危机后，发达国家重视和重归发展制造业的势头强劲。美国总统科技顾问委员会（PCAST）2011年6月向奥巴马总统提交的《确保美国在先进制造业中的领导地位》报告，就如何振兴美国在先进制造业中的领导地位提出了战略目标和政策的建议，建议联邦政府启动实施一项先进制造计划（AMI）。AMI所建议的项目实施经费由商务部、国防部和能源部共同分担。项目基金最初每年5亿美元，四年后提高到每年10亿美元，并将在未来的10年里，实现美国国家科学基金委员会、能源部科学办公室和国家标准与技术院等三个关键科学机构的研究预算倍增计划，实现研发投入占GDP 3%的目标。着力为先进制造技术创新和产业的振兴提供更有吸引力的税收政策，建设可共享的技术基础设施和示范工厂等，加强对基础、共性、关键技术创新的支持，吸引和培养先进制造的创造人才，培育支持中小制造企业创新和发展等。

政府在推动机械工业发展中具有关键作用。政府的政策支持是机械工程技术路线图顺利实施的重要保障。路线图向政府及各有关部门提出了一些具体建议，包括制订中国未来20年先进制造发展规划、设立科技专项、创新科研体制机制、改进税收政策和投融资等，希望得到各方面的理解和支持，共同为我国实现制造强国的目标而努力。

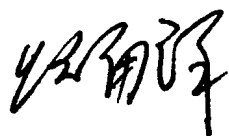
人才是实现制造强国之本，教育是育才成才之源。在通向路线图目标的种种技术路径上，既需要从事基础前沿研究的科学家，也需要从事技术应用创新的工程师，还需要更多的优秀技师、高级技工等高技能人才。我们不仅要提高人才培养的质量，更要注重优化人才结构，发展终身继续教育。

对于中国机械工程学会而言，组织编写完成《中国机械工程技术路

线图》只是迈出了第一步。只有路线图的研究成果得到政府和社会的大力支持，只有吸引企业和广大科技工作者的积极参与，路线图的实施才能成为广泛、深入、创造性的实践，路线图的目标才可能实现。因此，宣传普及、推介实施路线图是学会下一步更加重要而紧迫的任务。此外，路线图的持续研究、及时补充完善与修改，要成为学会今后长期、持续性的工作，成为学会建设国家科技思想库的重要组成部分。

期望《中国机械工程技术路线图》经得起实践检验，期望中国机械工程技术取得创新突破，期望中国机械工业由大变强，期望中国尽快成为制造强国乃至创造强国！

是为序。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '杨斌彦' (Yang Binyan), written in a cursive style.

2011年8月

目 录

引 言	1
第一章 机械工程技术发展的国内外环境	3
第一节 后金融危机时代国际经济和技术发展形势的变化	3
第二节 我国经济转型升级迫在眉睫	4
第三节 我国机械工业发展态势	5
第四节 世界机械工程技术发展预测	9
第二章 机械工程技术五大发展趋势	18
第一节 绿 色	18
第二节 智 能	20
第三节 超 常	21
第四节 融 合	22
第五节 服 务	23
第三章 产品设计	26
概 论	26
第一节 创新设计技术	29
第二节 生态化设计技术	31
第三节 智能设计技术	34
第四节 保质设计技术	37
第五节 组合化系列化设计技术	40
第六节 文化与情感创意设计技术	42
第四章 成形制造	47
概 论	47
第一节 铸造技术	50

第二节 塑性成形技术	56
第三节 焊接技术	63
第四节 热处理与表面改性技术	68
第五节 粉末冶金成形技术	74
第六节 增量制造技术	80
第五章 智能制造	87
概 论	87
第一节 制造智能	90
第二节 智能制造装备	96
第三节 智能制造系统	103
第四节 智能制造服务	108
第六章 精密与微纳制造	117
概 论	117
第一节 精密与超精密制造技术	117
第二节 微纳制造技术	127
第七章 再制造	138
概 论	138
第一节 再制造拆解与清洗技术	140
第二节 再制造损伤检测与寿命评估技术	143
第三节 再制造成形与加工技术	147
第四节 再制造系统规划设计技术	152
第八章 仿生制造	159
概 论	159
第一节 仿生机构与系统制造	161
第二节 功能性表面仿生制造	168
第三节 生物组织与器官制造技术	175
第四节 生物加工成形制造	183
第九章 流体传动与控制	191
概 论	191
第一节 液压传动与控制技术	192

第二节	液力传动与控制技术	195
第三节	气动技术	198
第四节	橡塑密封技术	201
第五节	机械密封和填料静密封技术	204
第十章	轴 承	209
概 论		209
第一节	基于科学实验及理论分析的高性能轴承设计技术	211
第二节	面向制造全过程的控形控性制造技术	212
第三节	面向用户多样性安全、可靠及融合系统的服役技术	214
第四节	创新轴承结构技术	215
第五节	重大产品工程	216
第十一章	齿 轮	220
概 论		220
第一节	齿轮基础技术	223
第二节	关键设计技术	224
第三节	关键加工技术	225
第四节	齿轮材料及热处理技术	226
第五节	润滑、冷却与密封技术	227
第六节	关键工艺装备技术	227
第七节	齿轮技术路线图	229
第十二章	模 具	233
概 论		233
第一节	模具数字化设计制造技术	234
第二节	模具材料和热处理技术	237
第三节	冲压模具技术	241
第四节	塑料模具技术	243
第五节	锻造模具技术	247
第六节	铸造模具技术	250
第十三章	刀 具	255
概 论		255

第一节	刀具材料技术	259
第二节	刀具结构设计技术	263
第三节	刀具表面涂层技术	266
第十四章	影响我国制造业发展的八大机械工程技术问题	272
第一节	复杂系统的创意、建模、优化设计技术	272
第二节	零件精确成形技术	274
第三节	大型结构件成形技术	277
第四节	高速精密加工技术	278
第五节	微纳器件与系统 (MEMS)	280
第六节	智能制造装备	282
第七节	智能化集成化传动技术	284
第八节	数字化工厂	287
第十五章	机械工程技术路线图的实施	
	——走向美好的 2030 年	291
第一节	路线图成功实施的关键要素	291
第二节	实施路线图的政策保障	293
后 记		296

引 言

我们正处在一个变革的时代。当今世界，科学技术日新月异，科技创新精彩纷呈，一场以信息、能源、材料、生物和节能环保技术为代表的科技革命和产业革命正在我们身边悄然发生，无时无刻不在影响和改变着我们的工作和生活方式。今后10~20年，世界科技和产业格局将发生重大变化，先进的科学技术和新的经济发展模式，在展现美好图景的同时，也提出了巨大的挑战，为中华民族实现伟大复兴提供了历史机遇。工程技术是科学的实践和应用，我们只有坚持不懈地刻苦攻关，努力实现原创性突破，才能使我国工程技术跻身世界前列。

机械工程技术是工程技术的重要组成部分，它是以自然科学和技术科学为理论基础，结合生产实践中的技术经验，研究和解决在设计、制造、安装、使用维修各种机械中的理论和实际问题的应用学科。各种机械的发明、设计、加工与制造以及使用与维修所涉及的技术均属机械工程技术的范畴。

技术路线图是通过时间序列，系统描述技术创新过程中技术、产品和市场之间互动关系的一种规划方法。它通过研究技术创新的方向和态势，按照时间序列给出不同时间节点的发展重点、技术发展路径、实现时间等要素，确定影响未来主导产品（产业）的关键技术及其发展路径，为科学制订研发计划、有效组织产品研发、合理配置创新资源提供支撑。围绕机械工程技术提出未来20年技术发展方向、发展路径，制定机械工程技术发展路线图，对机械工程技术的未来发展具有重要指导意义。机械工程技术路线图分析了经济社会发展需求、机械工程技术研发、市场实现之间的关系，可以从未来市场实现出发组织技术研发，重点突破薄弱环节和关键技术，使未来机械工程技术研发的目标、应用前景和市场定位更加明确。在机械工程技术路线图制定过程中，综合集成了经济、社会、科技、企业等方面专家的意见和建议，形成共识，增强了指导性和权威性。

本书分为十五章，第一章、第二章论述了机械工程技术发展的环境和五大发展趋势；第三章至第八章论述了机械工程技术中最重要的产品设计、成形制造、智能制造、精密与微纳制造、仿生制造、再制造六大技术领域的技术路线图；第九章至第十三章论述了在我国机械工业发展中处于基础地位、对主机和成套设备性能产生

重大影响的齿轮、轴承、液压件/气动件/密封件、模具、刀具五大领域的技术路线图；第十四章凝练出了影响我国制造业发展的八大机械工程技术问题；第十五章提出了路线图成功实施的关键要素和政策保障。本次技术路线图的制订遵循以下原则：①具有前瞻性与可操作性，不仅能为政府决策服务，也能为企业制定发展战略和规划起到指导作用；②体现变革、跨越，把握机械工程技术“绿色、智能、超常、融合、服务”的发展方向；③以技术为切入点，并与相关学科发展、产业应用相衔接；④时间跨度为 2011 ~ 2030 年。

第一章 机械工程技术发展的国内外环境

第一节 后金融危机时代国际经济和技术发展形势的变化

一、新技术革命的步伐加快

全球进入空前的创新密集和产业变革时代,科学技术领域发生革命性突破的先兆愈加明显。信息技术向其他领域加速渗透并向深度应用发展,将引发以智能、泛在、融合为特征的新一轮信息产业变革,引领机械产品向智能化方向发展。增长模式深度调整的巨大压力,将促进新型环保节能技术、新能源技术加速突破和广泛应用,推动机械产品绿色化发展。同时,重大技术创新将更多地出现在学科交叉领域,各类技术之间的相互融合也将更加频繁,将会产生新的技术系统变革、重大学科突破以及新一轮科技革命及产业革命。可以预计,在今后的5~20年中,这些技术将发生重大创新突破,并将有可能引发机械工程技术的巨大变革,推动机械工业向绿色化、智能化、服务化方向发展。

在当前科技创新步伐不断加快的形势下,无论是发达国家,还是发展中国家,都在进一步调整科技政策,加大科技投入,以科技创新培育新的经济增长点和创造新的就业岗位。工业发达国家纷纷将科技创新提升为国家发展的核心战略,高度重视培育可能引领全球经济的新能源、新材料、生物技术、信息技术等高新技术产业和新兴产业,抢占未来发展战略制高点的竞争将更趋激烈。美国奥巴马政府出台了《美国创新战略:推动可持续增长和高质量就业》,旨在进一步提高美国的持续创新能力。2006年欧盟推出了《创建创新型欧洲》和《欧洲研究基础设施路线图规划》。日本政府于2007年通过《创新25》报告,提出将日本发展成为世界领导者之一的创新型国家。英国于2008年出台《创新国家》白皮书,强调使英国成为世界上最适宜创新企业和创新公共服务发展的国家。

二、全球经济向绿色经济转型

全球气候变化、能源安全等重大问题已成为当前大国之间博弈的焦点。未来20年,新能源和绿色经济将成为引领科技和产业革命的重要方向,世界各国在新能源

科技领域的投入加大，竞争日趋激烈。美国未来几年将投资 1500 亿美元支持新能源发展，英国和法国均出台了新能源科技创新政策和资金支持措施。中国承诺，到 2020 年将把单位国内生产总值（GDP）碳排放放在 2005 年的基础上减少 40%~45%。能源安全问题促使各国在提高能效和发展新能源等方面加强部署，美国提出《清洁能源和安全法案》，日本制定《国家新能源战略》、欧盟出台《促进可再生能源利用指令》。发达国家凭借其科技优势，借助政治和外交手段，试图建立有利于维护自身竞争优势的国际技术标准和贸易规则。

三、各国经济发展战略加速调整

国际金融危机使世界经济进入一个新的调整期，发达国家逐步回归实业的态势加强，全球原有经济增长方式面临挑战，各国加速调整国家经济发展战略。全球总需求对世界经济增长的贡献将有所下降，美国及欧盟一些国家的储蓄率有所上升，消费方式的变化导致总需求对世界经济增长的拉动有所减弱，发达国家正在依此调整经济发展战略。出口导向型经济发展模式面临严峻考验，国际市场萎缩难以在短期内改变，提高内需比重将成为未来出口导向型国家拉动经济增长的重要战略。主要发达国家提出“再工业化”，即重新重视制造业。如美国奥巴马政府的总统科技顾问委员会在 2011 年 6 月提出《保证美国在先进制造业的领导地位》的报告，分析了美国制造业领导地位下降的影响、创新政策的需要以及如何保证美国在先进制造业领导地位的战略和建议，并提出美国启动“先进制造业振兴计划（AMI）”的具体方案。这使得发展中国家的国际市场将由此而受到挤压。就我国而言，外需市场萎缩将是一个较长时期的过程，这对我国依靠过剩生产能力的外向型发展模式是一个极大的挑战，如何增强内需对经济增长的贡献率，将是我国经济发展战略调整中需要解决的主要问题。

第二节 我国经济转型升级迫在眉睫

改革开放 30 年以来，我国综合国力明显增强，国民经济持续较快发展，工业化、城镇化、市场化、国际化步伐加快，对外贸易迈上新台阶，国家财政收入大幅度增加，国际地位明显提高。但纵观这 30 年的发展历程，多年来我国经济过度依赖于资源和资金的大规模投入，发展方式粗放。这种高投入、高消耗的发展模式虽然带来了经济高速增长，但却使我们付出了沉重的代价，带来了诸多问题：能源资源日渐短缺、环境污染日趋严重；过度依赖规模增长，劳动生产率低下；资源加工业增长过快，低水平产品生产能力过剩，产业结构不合理；技术对外依存度高，自主