

中国机械工程技术 路线图

(第二版)

TECHNOLOGY ROADMAPS OF CHINESE MECHANICAL ENGINEERING
(SECOND EDITION)

中国机械工程学会 编著

绿色
智能
超常
融合
服务



面向2030

中国机械工程技术 路线图

(第二版)

TECHNOLOGY ROADMAPS OF CHINESE MECHANICAL ENGINEERING
(SECOND EDITION)

中国机械工程学会 编著

绿色

智

超常

融合

服务

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

中国机械工程技术路线图(第二版)/中国机械工程学会编著. —北京:中国科学技术出版社, 2016.11

(中国机械工程技术路线图丛书)

ISBN 978-7-5046-6419-8

I. ①中… II. ①中… III. ①机械工程—技术发展—研究报告—中国—2016 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第255705号

策划编辑	吕建华 赵 晖
责任编辑	夏凤金 赵 佳
装帧设计	中文天地
责任校对	刘洪岩
责任印制	张建农

出 版	中国科学技术出版社
发 行	中国科学技术出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm×1092mm 1/16
字 数	585千字
印 张	32.25
版 次	2016年11月第2版
印 次	2016年11月第1次印刷
印 刷	北京盛通印刷股份有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-6419-8/TH·64
定 价	178.00元

(凡购买本社图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换)

编写组织机构

指导委员会

荣誉主任 路甬祥

主 任 周 济

副 主 任 李培根 潘云鹤 陆燕荪

委 员 (按姓氏笔画排序)

卢秉恒 包起帆 任洪斌 李新亚 杨海成 陈 钢
林忠钦 钟志华 郭东明 蔡惟慈 谭建荣

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)

王至尧 王华明 王国彪 尤 政 立 鼎 任露泉
关 桥 李元元 李圣怡 李敏贤 吴国凯 沙宝森
邵钦作 林尚扬 屈贤明 胡正寰 柳百成 闻邦椿
徐志磊 徐滨士 雷源忠 熊有伦 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	王晓庆	王晓浩	邓朝晖	卢 刚	叶 猛
田利芳	史玉升	史耀武	冯泽舟	冯锦山	师俊东
朱 胜	向 东	刘红旗	刘志峰	刘辛军	刘忠明
刘战强	江平宇	孙立宁	孙守迁	孙容磊	纪杨建
李 斌	李宪凯	李艳婷	李涤尘	肖志瑜	吴进军
张 洁	张 曙	张德远	陆 辛	陈立平	武兵书
苑伟政	林 峰	周 明	赵宏伟	娄延春	秦永清
顾剑锋	顾新建	徐 兵	徐敬华	唐守廉	黄卫东
曹华军	盛晓敏	商宏谟	葛晨光	董 申	董志国
蒋 鹏	韩 旭	韩永生	韩志武	惠 明	程 凯
雷亚国	熊守美	檀润华			

责任编辑 田利芳 刘艳秋 钟永刚

秘 书 刘艳秋

总 序

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、世界机械工程技术和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 and 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 and 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。2011 年 6 月美国总统科技顾问委员会（PCAST）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增倍计划，实现研发投入占 GDP3% 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。



2011年8月

序

中国机械工程学会于 2010 年启动《中国机械工程技术路线图》研究与编写工作，并于 2011 年 8 月正式出版。路线图着眼于我国制造业大而不强、世界科技与产业创新变革和全球制造向绿色化、智能化、服务化发展的实际，制定了面向 2030 年我国机械工程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。力求引领我国机械工程技术产业的创新发展，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。路线图发布后，受到政府、企业和社会各界的广泛关注。该书先后 3 次印刷，累计发行量过万册，对我国机械工程技术创新与制造业转型发展产生了积极而深刻的影响。路线图研究已成为学会建设国家科技思想库的重要组成部分。

中国机械工程学会第十届理事会对路线图研究工作十分重视。在周济理事长积极倡导和亲自组织下，决定把路线图研究作为学会今后的长期工作持续开展。学会常务理事会于 2015 年决定对 2011 年出版的《中国机械工程技术路线图》（第一版）进行修订，编写《中国机械工程技术路线图》（第二版），同期还将编写若干分技术领域路线图。学会制定了路线图研究 1+X 计划，即《中国机械工程技术路线图》（第二版）+ 若干分技术领域路线图，包括物流工程、创新设计、设备管理与维修、塑性成形、特种加工、焊接、铸造、再制造、增材制造、无损检测、高端轴承等。并以此向中国机械工程学会成立 80 周年献礼。

当前，信息网络技术引领的技术创新和应用发展更为迅猛，全球制造产业和经济社会发展变革的方向和态势更加清晰；全球制造技术创新、产业结构、发展环境与生态发生了新的深刻变化；中国制造正面临新的历史机遇与双重挑战。中国机械工程

技术路线图研究也应该与时俱进。时隔五年,编写出版《中国机械工程技术路线图》(第二版)十分及时、非常必要,今后根据形势与环境变化每隔几年还可以修订再版。

开展路线图研究符合实施创新驱动发展战略、加快推进中国制造由大转强、支撑引领我国经济产业转型升级的需要;符合全球机械工程技术产业快速发展变革的实际;符合科技与产业创新永无止境理念。也是学会贯彻落实党和政府对学会加强科技咨询服务、建设机械工程科技智库的重要举措。

近五年来,全球气候变化、水土大气污染、雾霾天气频发,危及人们的生存发展环境与健康,更加受到社会关注。传统发展方式难以为继,绿色低碳生产与生活方式深入人心,可持续发展成为人类文明基本价值观念。清洁能源、智能电网,新能源汽车、低碳轨道交通,绿色低碳材料与清洁制造工艺、节能环保技术与产业,生态效益农业、生物医药与大健康产业、循环经济等快速发展,已渐成经济社会发展的新动力和新支柱。

信息网络、云计算、大数据、VR/AR、人工智能等技术创新和应用日新月异,对生产供给侧、应用消费需求、经营服务、金融和商业流通、公共管理与服务、创新创业的渗透、影响和冲击巨大而且深刻。今天的产品、装备和系统、设计制造服务都已同处于不断融合发展的全球物理·信息网络环境之中。

世界已跨入个性化需求拉动的数字化、定制式制造服务,创意设计、创新设计引领系统集成创新,创造新需求、创造更好的用户体验、开拓新市场的制造服务、新价值的时代;设计制造网络智能产品与装备、实现网络智能设计制造服务成为大趋势和新常态。

全球宽带因特网、物联网、无线传感网、全球精确定位等技术与应用不断发展升级。无处不在的信息网络使得全球信息、知识、人才、智力等创新资源可实现实时众筹、众包、众创和近零成本分享。全球科学技术、经济产业、经营服务的创新生态、产业业态发生了新的深刻变革。产学研用金跨界协同创新,大众创新、万众创业,开放合作、共创分享成为发展大趋势和时代新特点。

美国推出《先进制造业国家战略规划》,德国政府提出“工业4.0”战略,法国政府推出了《新工业法国》战略,日本政府公布了《机器人新战略》,并着力发展无人智能工厂等,都旨在抢占全球实体经济的支柱和核心——全球制造技术与产业的制高点,以保持其科技与产业创新的竞争优势与引领地位。

信息网络技术与先进制造技术深度融合,绿色智能设计制造、新材料与精准增材/

减材制造工艺、生物技术、大数据与云计算等技术创新引领带动全球制造业向绿色低碳、网络智能、融合创新、共创分享为特点的全球制造服务转变。

2014年5月习近平总书记在河南中铁集团考察时提出：“推动中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、中国产品向中国品牌转变”。这是对中国制造未来提出的总体战略目标。

制造业是国民经济的主体和脊梁，是国家安全和人民幸福安康的物质基础，是我国经济产业实现创新驱动发展、转型升级的主战场。2015年5月中国政府正式推出制造强国战略并组织实施《中国制造2025》，推出1+X行动计划。2015年党的十八届五中全会提出“创新、协调、绿色、开放、共享”发展新理念。《中国机械工程技术路线图》的修订再版工作，要全面贯彻党中央发展新理念，围绕制造强国战略实施，服务《中国制造2025》，引导支持以市场为导向、以企业为主体、产学研用金协同创新，加快实现总书记提出的“三个转变”。

中国机械工程学会要充分发挥专业智库优势，为中央和地方政府实施制造强国战略以及《中国制造2025》，提供重要产业技术发展路线指引和政策建议。同时也要为企业、行业，为产学研用金协同创新，促进制造业转型升级，突破基础共性、关键核心技术，创造引领世界产品、工艺技术重大装备、国际著名品牌和创造经营服务新业态与服务型制造等提供科学目标和路径指引。

期望路线图的持续研究能够为促进中国制造由大转强、加快实现制造强国梦做出新贡献！

沈月祥

2016年8月4日

修订说明

本书是对《中国机械工程技术路线图（第一版）》的修订完善，在继承第一版制定原则的基础上，着重考虑新一轮科技革命和产业变革对机械工程技术可能产生的影响和带来的变化；服务《中国制造 2025》，支撑制造强国战略；时间跨度为 2015—2030 年。

在章节设置上有所调整，新增“增材制造”“绿色制造”“服务型制造”“优质制造”等四章；将原“流体传动与控制、轴承、齿轮、模具、刀具”等五章合并为一章，为“机械基础件”。在研究内容上，对机械工程技术五大发展趋势“绿色、智能、超常、融合、服务”的内涵、特征进行拓展；将“八大机械工程技术问题”调整为“十二项影响我国制造业发展的重大机械工程技术”。

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与需求和五大发展趋势；第三章至第十一章论述了机械工程技术中最重要的机械设计，成形制造，精密、高速与微纳制造，增材制造（3D 打印），智能制造，绿色制造，再制造，仿生制造，机械基础件等九大技术领域的技术路线图；第十二章、十三章论述了机械工程中起重要作用的服务型制造和优质制造的技术路线图；第十四章凝练出了影响我国制造业发展的十二项重大机械工程技术；第十五章提出了路线图成功实施的关键要素和政策保障。

希望本书能为中央和地方政府提供重要产业技术发展路径和政策建议；为企业、行业和产学研用金协同创新提供科学目标和路径指引。

目 录

第一章	机械工程技术发展环境与需求	1
第一节	新一轮科技革命与产业变革	1
第二节	各国制造业发展战略	6
第三节	我国经济发展对机械工程技术的需求	11
第四节	世界机械工程技术发展预测	14
第二章	机械工程技术五大发展趋势	21
第一节	绿 色	21
第二节	智 能	23
第三节	超 常	24
第四节	融 合	25
第五节	服 务	27
第三章	机械设计	29
	概 论	29
第一节	创新设计	33
第二节	定制设计	38
第三节	智能设计	43
第四节	虚拟设计	50
第五节	绿色设计	55
第六节	性能设计	61
第七节	外型设计	66

第四章	成形制造	79
	概 论	79
	第一节 铸造技术	81
	第二节 塑性成形技术	90
	第三节 焊接技术	99
	第四节 热处理与表层改性技术	106
	第五节 粉末冶金成形技术	115
第五章	精密、高速与微纳制造	124
	概 论	124
	第一节 精密与超精密制造技术	126
	第二节 微纳制造技术	135
	第三节 高速加工技术	146
	第四节 复合加工技术	154
第六章	增材制造 (3D 打印)	164
	概 论	164
	第一节 增材制造基础技术	168
	第二节 金属增材制造	175
	第三节 非金属增材制造	181
	第四节 生物增材制造	191
第七章	智能制造	203
	概 论	203
	第一节 制造智能	207
	第二节 智能制造装备	214
	第三节 智能制造系统	221
	第四节 智能制造服务	228
	第五节 智能制造工厂	235
第八章	绿色制造	245
	概 论	245
	第一节 绿色制造管理	247
	第二节 再资源化技术与装备	254

第三节	绿色制造服务	260
第九章	再制造	269
概 论		269
第一节	面向多寿命周期的再制造设计与信息技术	272
第二节	再制造拆解与清洗技术	278
第三节	再制造无损评价与寿命评估技术	281
第四节	再制造成形技术	286
第五节	再制造产品升级与延寿技术	290
第六节	再制造标准体系	294
第十章	仿生制造	299
概 论		299
第一节	仿生机构与系统制造	302
第二节	功能性表面仿生制造	308
第三节	生物组织与器官制造技术	315
第四节	生物加工成形制造	323
第五节	仿生医疗器械制造	329
第十一章	机械基础件	337
概 论		337
第一节	流体传动与控制	338
第二节	密 封	346
第三节	轴 承	353
第四节	齿 轮	361
第五节	模 具	370
第六节	刀 具	377
第十二章	服务型制造	394
概 论		394
第一节	医疗器械服务型制造	402
第二节	新能源汽车服务型制造	408
第三节	航空发动机服务型制造	413
第四节	服装定制服务型制造	419

第十三章	优质制造	427
	概 论	427
	第一节 优质设计	429
	第二节 制造系统精益优化及过程控制	435
	第三节 产品全生命周期的质量管理	438
	第四节 基础质量设施保证技术	445
第十四章	影响我国制造业发展的重大机械工程技术	454
	第一节 复杂系统的创意、建模、优化设计技术	454
	第二节 零件精确成形技术	457
	第三节 超大型结构件成形制造技术	459
	第四节 高速精密加工技术	461
	第五节 微纳器件与系统 (MEMS)	463
	第六节 新一代机器人技术	465
	第七节 智能制造装备	467
	第八节 工业大数据的采集、管理与分析技术	470
	第九节 智能化工厂	473
	第十节 智能化集成化传动技术	476
	第十一节 增材制造技术	479
	第十二节 远程监控、故障诊断与健康保障技术	481
第十五章	机械工程技术路线图的实施——走向美好的 2030 年	486
	第一节 路线图成功实施的关键要素	486
	第二节 实施路线图的政策保障	490
	索 引	493
	后 记	498