



中国科学院年度报告系列

2016

高技术发展报告

High Technology Development Report

中国科学院



科学出版社

2016

高技术发展报告

High Technology Development Report

中国科学院

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

2016 高技术发展报告/中国科学院编. — 北京: 科学出版社, 2016. 8

(中国科学院年度报告系列)

ISBN 978-7-03-048895-4

I. ①2… II. ①中… III. ①高技术发展—研究报告—中国—2016 IV. ①N12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 136732 号

责任编辑: 侯俊琳 邹 聪 程 凤 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 有道文化

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail. sciencep. com

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

*

2016 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 8 月第一次印刷 印张: 23 3/4 插页: 2

字数: 480 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

创造未来的科技发展新趋势

(代序)

白春礼

当前，全球新一轮科技革命和产业变革方兴未艾，科技创新正加速推进，并深度融合、广泛渗透到人类社会的各个方面，成为重塑世界格局、创造人类未来的主导力量。我们只有认清趋势、前瞻擘划，才能顺势而为、抢抓机遇。从宏观视角和战略层面看，当今世界科技发展正呈现以下十大新趋势。

颠覆性技术层出不穷，将催生产业重大变革，成为社会生产力新飞跃的突破口。作为全球研发投入最集中的领域，信息网络、生物科技、清洁能源、新材料与先进制造等正孕育一批具有重大产业变革前景的颠覆性技术。量子计算机与量子通信、干细胞与再生医学、合成生物和“人造叶绿体”、纳米科技和量子点技术、石墨烯材料等，已展现出诱人的应用前景。先进制造正向结构功能一体化、材料器件一体化方向发展，极端制造技术向极大（如航母、极大规模集成电路等）和极小（如微纳芯片等）方向迅速推进。人机共融的智能制造模式、智能材料与3D打印结合形成的4D打印技术，将推动工业品由大批量集中式生产向定制化分布式生产转变，引领“数码世界物质化”和“物质世界智能化”。这些颠覆性技术将不断创造新产品、新需求、新业态，为经济社会发展提供前所未有的驱动力，推动经济格局和产业形态深刻调整，成为创新驱动发展和国家竞争力的关键所在。

科技更加以人为本，绿色、健康、智能成为引领科技创新的主流方向。未来科技将更加重视生态环境保护与修复，致力于研发低能耗、高效能的

绿色技术及其产品。以分子模块设计育种、增强光合作用、智能技术等研发应用为重点，绿色农业将创造农业生物新品种，提高农产品产量和品质，保障粮食和食品安全。基因测序、干细胞与再生医学、分子靶向治疗、远程医疗等技术大规模应用，将使医学模式进入个体化精准诊治和低成本普惠医疗的新阶段。智能化成为继机械化、电气化、自动化之后的新“工业革命”，工业生产向更绿色、更轻便、更高效的方向发展。服务机器人、自动驾驶汽车、快递无人机、智能穿戴设备等的普及，将持续提升人类生活质量，提升人的解放程度。科技创新在满足人类不断增长的个性化、多样化需求和增进人类福祉方面，将展现出超乎想象的神奇魅力。

“互联网+”蓬勃发展，将全方位改变人类生产和生活方式。新一代信息技术发展和无线传输、无线充电等技术实用化，为实现从人与人、人与物、物与物、人与服务互联向“互联网+”发展提供丰富、高效的工具与平台。随着大数据普及，人类活动将全面数据化，而云计算为数据的大规模生产、分享和应用提供了基础。工业互联网、能源互联网、车联网、物联网、太空互联网等新网络形态不断涌现，智慧地球、智慧城市、智慧物流、智能生活等应用技术不断拓展，将形成无时不在、无处不在的信息网络环境，对人们的交流、教育、交通、通信、医疗、物流、金融等各种工作和生活需求作出全方位及时智能响应，推动人类生产方式、商业模式、生活方式、学习和思维方式等发生深刻变革。互联网的力量将借此全面重塑这个世界和社会，使人类文明在继农业革命、工业革命之后迈向新的“智业革命”时代。

国际科技竞争日趋激烈，科技制高点向深空、深海、深地、深蓝拓进。空间进入、利用和控制技术是空间科技竞争的焦点，天基与地基相结合的观测系统、大尺度星座观测体系等立体和全局性观测网络将有效提升对地观测、全球定位与导航、深空探测、综合信息利用的能力。海洋新技术突破正催生新型蓝色经济的兴起与发展，多功能水下缆控机器人、高精度水下自航器、深海海底观测系统、深海空间站等海洋新技术的研发应用，将为深海海洋监测、资源综合开发利用、海洋安全保障提供核心支撑。地质勘探技术和装备研制技术不断升级，将使地球更加透明，人类对地球深部结构和资源的认识日益深化，为开辟新的资源、能源提供条件。量子计算

机、非硅信息功能材料、第五代移动通信技术（5G）等下一代信息技术向更高速度、更大容量、更低功耗发展。第五代移动通信技术有望成为未来数字经济乃至数字社会的“大脑”和“神经系统”，帮助人类实现“信息随心至、万物触手及”的用户体验，并带来一系列产业创新和巨大经济及战略利益。

前沿基础研究向宏观拓展、微观深入和极端条件方向交叉融合发展，一些基本科学问题正在孕育重大突破。随着观测技术手段的不断进步，人类对宇宙起源和演化、暗物质与暗能量、微观物质结构、极端条件下的奇异物理现象、复杂系统等认知将越来越深入，把人类对客观物质世界的认识提升到前所未有的新高度。合成生物学进入快速发展阶段，从系统整体的角度和量子的微观层面认识生命活动的规律，为探索生命起源和进化开辟了崭新途径，将掀起新一轮生物技术的浪潮。人类脑科学研究将取得突破，有望描绘出人脑活动图谱和工作机理，有可能揭开意识起源之谜，极大带动人工智能、复杂网络理论与技术发展。前沿基础研究的重大突破可能改变和丰富人类对客观世界与主观世界的基本认知，不同领域的交叉融合发展可望催生新的重大科学思想和科学理论。

国防科技创新加速推进，军民融合向全要素、多领域、高效益深度发展。受世界竞争格局调整、军事变革深化和未来战争新形态等影响，主要国家将重点围绕极地、空间、网络等领域加快发展“一体化”国防科技，信息化战争、数字化战场、智能化装备、新概念武器将成为国防科技创新的主要方向。大数据技术将使未来战争的决策指挥能力实现根本性飞跃，推动现代作战由力量联合向数据融合方向发展，自主式作战平台将成为未来作战行动的主体。军民科技深度融合、协同创新，在人才、平台、技术等方面的界限日益模糊。随着脑科学与认知技术、仿生技术、量子通信、超级计算、材料基因组、纳米技术、智能机器人、先进制造与电子元器件、先进核能与动力技术、导航定位和空间遥感等方面的重大突破，将研发更多高效能、低成本、智能化、微小型、抗毁性武器装备，前所未有地提升国防科技水平，并带动众多科技领域实现重大创新突破。

国际科技合作重点围绕全球共同挑战，向更高层次和更大范围发展。全球气候变化、能源资源短缺、粮食和食品安全、网络信息安全、大气海

洋等生态环境污染、重大自然灾害、传染性疾病疫情和贫困等一系列重要问题，事关人类共同安危，携手合作应对挑战成为世界各国的共同选择。太阳能、风能、地热能等可再生能源开发、存贮和传输技术的进步，将提升新能源利用效率和经济社会效益，深刻改变现有能源结构，大幅提高能源自给率。据国际能源署（IEA）预测，到2035年可再生能源将占全球能源的31%，成为世界主要能源。极富发展潜能的新一代能源技术将取得重大突破，氢能源和核聚变能可望成为解决人类基本能源需求的重要方向。人类面临共同挑战的复杂性和风险性、科学研究的艰巨性和成本之高昂，使相互依存与协同日趋加深，将大大促进合作研究和资源共享，推动高水平科技合作广泛深入开展，并更多上升到国家和地区层面甚至成为全球共同行动。

科技创新活动日益社会化、大众化、网络化，新型研发组织和创新模式将显著改变创新生态。网络信息技术、大型科研设施开放共享、智能制造技术提供了功能强大的研发工具和前所未有的创新平台，使创新门槛迅速降低，协同创新不断深化，创新生活实验室、制造实验室、众筹、众包、众智等多样化新型创新平台和模式不断涌现，科研和创新活动向个性化、开放化、网络化、集群化方向发展，催生越来越多的新型科研机构和组织。以“创客运动”为代表的小微型创新正在全球范围掀起新一轮创新创业热潮，以互联网技术为依托的“软件创业”方兴未艾，由新技术驱动、以极客和创客为重要参与群体的“新硬件时代”正在开启。这些趋势将带来人类科研和创新活动理念及组织模式的深刻变革，激发出前所未有的创新活力。

科技创新资源全球流动形成浪潮，优秀科技人才成为竞相争夺的焦点。一方面，经济全球化对创新资源配置日益产生重大影响，人才、资本、技术、产品、信息等创新要素全球流动，速度、范围和规模都将达到空前水平，技术转移和产业重组不断加快。另一方面，科技发达国家强化知识产权战略，主导全球标准制定，构筑技术和创新壁垒，力图在全球创新网络中保持主导地位，新技术应用不均衡状态进一步加剧，发达国家与发展中国家的“技术鸿沟”不断扩大。发达国家利用优势地位，通过放宽技术移民政策、开放国民教育、设立合作研究项目、提供丰厚薪酬待遇等方式，

持续增强对全球优秀科技人才的吸引力。新兴国家也纷纷推出各类创新政策和人才计划，积极参与科技资源和优秀人才的全球化竞争。

全球科技创新格局出现重大调整，将由以欧美为中心向北美、东亚、欧盟“三足鼎立”的方向加速发展。随着经济全球化进程加快和新兴经济体崛起，特别是国际金融危机以来，全球科技创新力量对比悄然发生变化，开始从发达国家向发展中国家扩散。从2006年到2014年，美国研发投入占全球比重由34.6%逐步下降到30%，中国研发投入所占比重从3.17%增加到12.97%。虽然以美国为代表的发达国家目前在科技创新上仍处于无可争议的领先地位，但优势正逐渐缩小，中国、印度、巴西、俄罗斯等新兴经济体已成为科技创新的活化地带，在全球科技创新“蛋糕”中所占份额持续增长，对世界科技创新的贡献率也快速上升。全球创新中心由欧美向亚太、由大西洋向太平洋扩散的趋势总体持续发展，未来20~30年内，北美、东亚、欧盟三个世界科技中心将鼎足而立，主导全球创新格局。

正如雨果所说：与有待创造的东西相比，已经创造出来的东西是微不足道的。科技创新的前沿永无止境，科技创新的未来激动人心。我们要准确把握世界科技发展新趋势，树立创新自信，抢抓战略机遇，实施创新驱动发展战略，加快建成世界科技强国，为实现中华民族伟大复兴的中国梦提供强有力科技支撑。

（本文刊发于2015年7月5日《人民日报》，收入本书时略作修改）

前 言

2015 年是全面完成“十二五”规划的收官之年，是全面深化改革的关键之年，也是高技术领域取得重大突破的一年。党的十八届五中全会提出“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念，明确要求把创新摆在国家发展全局的核心位置。举国上下深入贯彻实施创新驱动发展战略，高技术领域取得了北斗系统全球组网首星成功发射、多自由度量子体系隐形传态、国产大型客机 C919 首架机总装下线、首套“永磁高铁”牵引系统通过首轮线路试验等一批具有国际影响力的重大创新成果，自然科学类诺贝尔奖实现了零的突破，创新型国家建设取得重要阶段性进展。

《高技术发展报告》是中国科学院面向决策、面向公众的系列年度报告之一，每年聚焦一个主题，四年一个周期。《2016 高技术发展报告》以“信息技术”为主题，共分六章。第一章“2015 年高技术发展综述”，系统回顾 2015 年国内外高技术发展最新进展。第二章“信息技术新进展”，介绍电子材料与器件、传感器、量子信息、通信技术、软件技术、信息安全、未来网络、人工智能、机器人、虚拟现实、大数据等方面技术的最新进展。第三章“信息技术产业化新进展”，介绍云计算、控制技术、可穿戴设备、移动通信、集成电路、医疗电子、显示技术、信息安全、物联网、高性能计算等方面技术的产业化进展情况。第四章“高技术产业国际竞争力与创新能力评价”，监测分析我国高技术产业国际竞争力，重点关注通信设备制造业创新能力、计算机及办公设备制造业国际竞争力的演化。第五章“高技术与社会”，探讨海洋碳汇、纳米技术、人类基因编辑技术、人工智能等新技术的社会影响等公众关心的热点问题。第六章“专家论坛”，邀请国内知名专家就战略性新兴产业、知识产权强国建设、重大科技基础设施、大数据、集成电路产业等重大问题发表见解和观点。

《2016 高技术发展报告》是在中国科学院白春礼院长亲自指导和众多两院院士及有关专家的热情参与下完成的。报告由中国科学院曹效业副秘书长总策划，中国科学院发展规划局、学部工作局、科技战略咨询研究院的有关领导和专家对报告的提纲和内容提出了许多宝贵意见，李喜先、封松林、徐波、李晋闽、高志前、王昌林、郑念、王春法等专家对报告进行了审阅并提出了宝贵的修改意见，在此一并表示感谢。报告的组织、研究和编撰工作由中国科学院科技战略咨询研究院承担。课题组长是穆荣平，副组长是樊永刚，成员有张久春、李真真、杜鹏、曲婉、郭京京、王孝炯和蔺洁。

中国科学院“高技术发展报告”课题组

2016年7月15日

目 录

创造未来的科技发展新趋势（代序）	白春礼	i
前言	中国科学院“高技术发展报告”课题组	vii
第一章 2015 年高技术发展综述	樊永刚 张久春	1
第二章 信息技术新进展		45
2.1 半导体材料与器件技术新进展	杨德仁 张 卫 沈 波	47
2.2 有机光电材料与器件技术新进展	吕 琨 张建齐 张亚杰 魏志祥	53
2.3 传感器技术新进展	褚君浩	60
2.4 量子信息技术新进展	史保森 郭光灿	67
2.5 通信技术新进展	张 平	74
2.6 软件技术新进展	赵 琛 武延军 陶秋铭 薛云志 丁治明	81
2.7 信息安全技术新进展	冯登国 苏璞睿	91
2.8 未来网络技术新进展	刘韵洁 黄 韬 谢人超	99
2.9 人工智能技术新进展	周志华 俞 扬	107
2.10 机器人技术新进展	王天然 于海斌	115
2.11 虚拟现实技术新进展	王荣刚 黄铁军 陈小武 高 文 赵沁平	121
2.12 大数据技术新进展	梅 宏 王亚沙 李 戈	129
2.13 大数据时代的生物信息学与系统生物学新进展	陈洛南 曾 涛	140
第三章 信息技术产业化新进展		149
3.1 云计算产业化新进展	高 巍 李 洁 郭 雪 王 月	151
3.2 控制技术产业化新进展	陈吉红	160
3.3 可穿戴设备产业化新进展	安 晖 李 扬 江 华 耿 怡	166
3.4 移动通信技术产业化新进展	杨 旻	171

3.5	集成电路产业化新进展		闫江	178
3.6	医疗电子产业化新进展	王磊 邹浩	颜延	187
3.7	显示技术产业化新进展	许祖彦 毕勇	张文平 高伟男	193
3.8	信息安全技术产业化新进展	孟丹 夏鲁宁	杨芸	200
3.9	物联网产业化新进展	叶甜春 陈大鹏	王何轶 王艳	207
3.10	高性能计算技术产业化新进展		曹政 孙凝晖	214
3.11	软件产业化新进展	左春 张正	王洋	222
第四章 高技术产业国际竞争力与创新能力评价				229
4.1	中国高技术产业国际竞争力评价		曲婉	231
4.2	中国通信设备制造业创新能力评价	王孝炯	穆荣平	251
4.3	中国计算机及办公设备制造业国际竞争力评价	蔺洁	穆荣平	268
第五章 高技术与社会				289
5.1	海洋碳汇：社会意义、研究进展及展望			
	焦念志 张锐 张瑶 张永雨 刘纪化 张飞 吕宗青 杜鹏			291
5.2	走向善治的纳米技术	杜鹏	胡亚南	301
5.3	人类基因编辑技术的伦理反思	缪航	黄小茹	309
5.4	从人工智能到机器伦理		徐英瑾	316
第六章 专家论坛				325
6.1	“十三五”时期加快发展壮大战略性新兴产业的总体思路与部署		姜江	327
6.2	关于“中国特色、世界水平”知识产权强国建设若干问题的思考	韩秀成	李牧	335
6.3	面向世界科技强国战略目标 推进重大科技基础设施建设	樊永刚 穆荣平 乔黎黎	王慧中	343
6.4	推进中国大数据发展的思路与若干建议		邬贺铨	351
6.5	加快发展中国集成电路产业的若干思考		叶甜春	360

CONTENTS

New Trends of Science and Technology: Shaping the Future	i
Introduction	vii
Chapter 1 Overview of High Technology Development in 2015	41
Chapter 2 Progress in Information Technology	45
2.1 Semiconductor Materials and Devices	53
2.2 Organic Optoelectronic Materials and Devices	60
2.3 Sensor Technology	66
2.4 Quantum Information Technology	73
2.5 Communication Technology	81
2.6 Software Technology	90
2.7 Information Security	98
2.8 Future Network Technology	106
2.9 Artificial Intelligence	115
2.10 Robotics	121
2.11 Virtual Reality Technology	128
2.12 Big Data Technology	139
2.13 Bioinformatics and Systems Biology in Big Data Era	147
Chapter 3 Progress in Commercialization of Information Technology	149
3.1 Commercialization of Cloud Computing	160
3.2 Commercialization of Control Technology	166
3.3 Commercialization of Wearable Devices	171
3.4 Commercialization of Mobile Communication	178

3.5	Commercialization of Integrated Circuit	186
3.6	Commercialization of Medical Electronics Devices	192
3.7	Commercialization of Display Technology	200
3.8	Commercialization of Information Security Technology	206
3.9	Commercialization of Internet of Things	213
3.10	Commercialization of High Performance Computing Technology	222
3.11	Commercialization of Software	228
Chapter 4 Evaluation on High Technology Industry Competitiveness and Innovation Capacity		229
4.1	International Competitiveness of Chinese High Technology Industry	251
4.2	Innovation Capacity of Chinese Telecommunication Equipment Manufacturing Industry	267
4.3	International Competitiveness of Chinese Computers and Office Equipment Manufacturing Industry	286
Chapter 5 High Technology and Society		289
5.1	Ocean Carbon Sinks: Significance, Progress and Perspective	300
5.2	Towards the Good Governance of Nano Technology	309
5.3	Ethical Reflections on Human Gene Editing Technology	316
5.4	From Artificial Intelligence to Machine Morality	323
Chapter 6 Expert Forum		325
6.1	Perspective on Accelerating the Development and Expansion of Strategic Emerging Industries During the Period of the 13th Five-Year Plan	335
6.2	Some Thoughts about the Construction of Intellectual Property Power with Chinese Characteristics and World Levels	342
6.3	Promoting the Development of Large Research Infrastructures with a View of Building China a Leading Country in Science and Technology	350
6.4	Suggestions about Promoting the Development of Big Data in China	359
6.5	Comments on Speeding Up the Development of China's Integrated Circuit Industry	365

第一章

2015年高技术 发展综述

Overview of High
Technology Development
in 2015

2015 年高技术发展综述

樊永刚 张久春

(中国科学院科技战略咨询研究院)

2015 年世界经济增速为 6 年来最低,主要经济体增长乏力,新兴市场和发展中经济体总体增速出现下滑。在这样的大背景下,科技和创新受到空前重视,各国纷纷采取措施抢占新一轮科技和产业革命制高点,推动高技术领域持续快速发展。美国奥巴马政府在任期内第三次发布“美国创新战略”,明确精准医疗、脑科学计划、先进汽车、清洁能源和节能技术、教育技术、空间探索和高性能计算等九大国家优先发展领域。德国持续推进“新高技术战略”,法国推出“未来工业”战略,日本启动“科技创新综合战略 2015”,试图打造新一轮经济增长的技术和创新引擎。我国明确将创新发展作为五大发展理念之首,深入实施创新驱动发展战略,全面推动“大众创业、万众创新”,在高技术领域涌现出大批创新成果,并实现了自然科学类诺贝尔奖零的突破,迈出了从科技大国向科技强国转变的坚定步伐。

一、信息技术

2015 年,信息技术领域不断推陈出新,取得多项重大突破。集成电路领域推出 7 纳米芯片,进一步推迟了摩尔定律的终结时间,新型类脑芯片、忆阻器等新原理器件不断涌现;人工智能受到前所未有的广泛关注和讨论,深度学习、虚拟现实技术和设备层出不穷;第五代移动通信(5G)标准取得重要进展,超高速全光通信、可见光通信等向应用迈出重大步伐;量子计算和量子通信领域进展显著,取得多自由度量子体系的隐形传态等多项重大成果;云计算、大数据、物联网等新一代信息技术与应用领域结合日益紧密,引领和催生各行业发展方式的革命性转变。

1. 集成电路

2015 年 7 月,美国 IBM 领导的联盟宣布研制出世界上首个 7 纳米节点测试芯片^[1]。当前,应用于服务器、数据中心和移动设备等的微处理器多采用 22 纳米和 14 纳米技术,10 纳米技术尚在研发中,而 IBM 此次超越 10 纳米技术实现了 7 纳米芯片的研发,是一个巨大的进步。为了使 7 纳米芯片性能更高、能耗更低,研发人员跳出