

美国纳米技术的发展及战略部署

赵俊杰

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 十余年来, 美国政府对纳米技术的投入累计已超过120亿美元, 如果加上2011年近18亿美元的预算和2012年的21.8亿美元的申请预算, 总额则达到160亿美元。2011年2月, 奥巴马总统在《创新战略》中将纳米技术列为国家优先发展的战略领域, 对纳米技术寄予厚望; NNI2011战略规划和“Nano2报告”为纳米技术的未来发展指明了方向。

关键词: 美国; 纳米技术; 纳米结构; 纳米系统; 纳米技术商业化

中图分类号: TB383 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2011.11.005

一、纳米技术发展概况

纳米技术是在2000年前后, 由物理、化学、生物和工程领域的发现融合产生的。当时, 全球科学和社会的努力被两个关键因素所激发: 一是一个基于纳米尺度物质的独特性能以及系统控制和处理这些特性的纳米技术的综合定义; 二是对纳米技术的研究开发转化为社会效益的潜力的长期愿景和目标的描述, 包括一个连续介绍四代纳米技术产品的20年的愿景。

那时, 人们预计纳米技术将经历两个基本的发展阶段, 即从被动的纳米结构到复杂的纳米系统。

第一个基本阶段是在定义了纳米技术长期愿景后的第一个10年, 即2001-2010年。该阶段集中于纳米尺度的跨学科研究。其主要成果是纳米尺度新的现象、特性和功能的发现; 大量有未来潜在应用的构建单元组件的合成; 工具的开发; 现有产品与相对简单的纳米尺度组件结合方面的改进。该阶段由以科学为中心的生态系统所主导, 可称为“Nano1”。

第二个基本阶段(2011-2020年)将关注纳米尺度科学和工程的结合。计划向有较高时间分辨率的直接测量过渡; 基于科学的全新产品的设计; 以及

纳米技术多方面大规模的应用。研发和应用的重点将转向更复杂的纳米系统、新的相关领域以及全新的产品。该阶段将由社会-经济考虑所驱动的R&D生态系统所主导, 可称为“Nano2”。

(一)“Nano1”的进展

目前, 纳米技术发展的第一个阶段已经完成, 纳米技术的研究和发展取得了一系列惊人的进步。纳米技术已被公认为是科学和技术领域的革命, 堪比现代生物和电子信息的革命。

美国国家纳米技术计划(NNI)和世界上其他纳米技术计划的实施, 从更好地理解最小的存在结构、揭示纳米尺度物质的性能和用途到建立一个设备和系统的纳米结构构建单元库等方面取得了显著的成就。

纳米技术在不同领域取得了大量的研发成果和技术突破, 如先进材料、生物医药、催化剂、电子学和制药领域; 并不断扩展到新的领域, 如能源、水过滤、农业和林业; 同时, 纳米技术和其他新兴领域相结合, 如量子信息系统、神经形态工程学、合成和系统生物学; 不断产生新的领域, 如自旋电子学、表面等离子体光子学、超材料、分子纳米体系; “纳米制造”进展顺利, 正成为经济发展的重点。

纳米技术已经形成了包括跨学科专业团体、先

作者简介: 赵俊杰 (1968-), 女, 博士, 中国科学技术信息研究所 研究员, 硕士生导师; 研究方向: 科技政策。

收稿日期: 2011年9月9日

进的装备仪器、用户设施、计算资源、正规和非正规教育资源以及支持纳米技术相关的社会效益的完善的基础结构。在解决纳米技术的道德、法律和社会影响(ELSI)以及环境、健康和安全(EHS)问题方面,沟通、协调、研究和立法工作也获得了越来越大的动力^①。

2000-2008年,全球纳米技术领域的科学发现、发明,纳米技术从业人员、研发项目和市场规模以25%以上的年均增长率增长。2008年,从事纳米技术的研究人员和工人数量从2000年的6万人增长到约40万人(其中15万人在美国);从基于标题-摘要的关键词检索来看,纳米技术有关的科学引文索引(SCI)论文数从2000年的18 085篇增长到2008年的65 000篇;从前50个专利库申请的专利数量来看,纳米技术发明数从2000年的1200项(其中405项是向美国专利商标局(USPTO)申请的)增加到2008年的13 000项(其中3729是向USPTO申请的),年均增长35%;2008年,全球纳米技术产品市场规模从2000年的300亿美元增长到2000亿美元(其中美国800亿美元),2009年,全球纳米技术产品估计达2540亿美元(其中美国约910亿美元);2008年,全球公共和私人的纳米技术研发投入从2000年的12亿美元增长到150亿美元(其中美国37亿美元,包括联邦政府的15.5亿美元),年均增长35%;全球纳米技术领域的风险投资从2000年的2.1亿美元增长到2008年的14亿美元(其中美国11.7亿美元)^②。

此阶段,纳米技术的定义及前景激发了全球对纳米技术的研发热潮,继美国于2000年宣布实施国家纳米技术计划(NNI)后,日本、韩国、欧盟、德国、中国和台湾地区也先后宣布实施各自持续稳定的纳米技术研发计划。

事实上,2001-2004年,就有超过60个国家设立了国家层面的纳米技术研发计划。俄罗斯、巴西、印度和一些中东国家在2006年第二代纳米技术产品进入市场后,开始了新一轮的纳米技术研发投资热潮^③。目前,几乎每个支持研究与开发的国家都有国家层面的纳米技术计划^④。纳米技术已成为全球最大的、最具竞争性的研究领域之一。

(二)“Nano2”展望

Nano1取得的成果更清晰地表明了纳米技术发展潜力,为Nano2奠定了坚实的基础。

纳米技术的第二个10年,将以应用为导向,预计到2020年,在社会需求的引导下,纳米技术的研发将会引发大规模的全新应用,逐步实现2000年设定的“通用技术”的目标。纳米技术将从实验室研究进入消费领域,继而用于应对各类社会挑战,诸如可持续发展;产能、节能、蓄能及能源转换;更低成本、更易获取的医疗卫生服务等。

未来10年,以应用为驱动力的研发将产生新技术和新产业的科学发现和经济优化。纳米技术将会继续广泛地渗入到经济当中,在许多行业中产生广泛而深远的影响。许多重要产业部门将经历纳米技术改进,与此同时找到革命性、突破性的解决方案,推动新产品创新。有关纳米技术的研究、教育、制造和医学计划也将为社会造福。

由于新产品的不断成功进入,纳米技术市场规模和有关的工作岗位每三年将翻一番。预计2015年纳米技术产品的市场价值将达到2万亿美元,创造200万个相关的工作岗位;到2020年,纳米技术将包括被动的纳米结构、主动的纳米结构、纳米系统和分子纳米系统四代结构和功能更复杂的产品,达到3万亿美元的市场规模,产生600万个相关工作岗位^⑤。

① Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam. Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook. September 30, 2010.

② Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam. Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook. September 30, 2010.

③ Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam. Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook. September 30, 2010.

④ John F. Sargent Jr. NNI: Overviews, Reauthorization and Appropriations Issues. January 19, 2011

⑤ Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam. Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook. September 30, 2010.

未来 10 年,纳米技术的开发趋势将发生以下几个转变:

1. 从注重创造单个的纳米组件向注重创造主动、复杂的生态系统转变;

2. 从特定的或原型研究与开发向在先进材料、纳米结构化学品、电子器件和医药品中的大规模应用转变;

3. 从在先进材料、纳米电子器件和化学工业中的应用扩大到新的相关领域,如能源、食品和农业、纳米医药以及纳米尺度工程仿真等领域;

4. 从对纳米尺度的初步了解,到加速知识的开发;

5. 从几乎没有特定的基础结构向纳米技术研究、教育、处理、制造、工具和标准制度化的计划和设施转变。

目前来看,尽管对纳米技术短期内的期望值可能被高估了,但对纳米技术在医疗、生产率和环境保护方面的影响却被低估了。因此,在未来的几年中,对纳米技术的教育和社会问题应给予适当的重视。未来 10 年,纳米技术发展必须注重以下四个方面:

1. 纳米尺度科学和工程如何提高对自然的理解,保护生命,产生突破性发现和创新,预测物质的性能,通过纳米尺度的设计来构建材料和系统,即“知识进展”;

2. 纳米技术如何创造医疗和经济价值,即“材料进展”;

3. 纳米技术如何推动社会安全、可持续发展和国际合作,即“全球进展”;

4. 纳米技术如何管理,以提高生活质量和社会公平,即“道德进展”。

二、美国纳米技术发展及战略部署

美国纳米技术的研究、开发与应用主要是在国家纳米计划(NNI)框架下开展的。NNI 是美国联邦政府机构间跨部门的一项系统计划,主要目的就是协调美国纳米技术的整体研发,增强美国在纳米尺

度上的科学研究合作力度,确保美国在纳米技术、工程技术方面的世界领先地位。

(一)美国纳米技术发展概况

1. 起步早

美国国家科学基金会(NSF)于 1991 年设立了第一个致力于纳米粒子的研究计划;1997-1998 年,设立题为“纳米技术伙伴”的跨学科计划。1999 年,美国国家科学和技术委员会(NSTC)发布了《纳米技术研究方向:未来 10 年纳米技术展望》^①(被称为“Nano1 报告”),对纳米技术进行了定义,描述了纳米技术的愿景,以及美国要从纳米技术的发展前景中受益所应采取的措施。

该报告后被 NSTC 采纳为官方文件。纳米技术的定义和长期愿景为 NNI 的出台铺平了道路。2000 年 1 月,时任总统克林顿在加利福尼亚技术学院的一次演讲中宣布了 NNI;2001 年,美国开始正式实施 NNI,并投入 4.64 亿美元用于促进纳米技术的发展,成为最早实施国家纳米技术计划的国家。

2. 投入大,参与机构多

在所有实施纳米技术计划的国家中,美国不但是最早的,也是投入最多的国家。十余年来,美国在纳米技术领域的投资不断增加,截至 2010 年,联邦政府对纳米技术的投入累计已超过 120 亿美元(如果将 2011 年的近 18 亿美元预算和 2012 年 21.8 亿美元的申请预算也计算在内,则近 160 亿美元),使 NNI 成为自阿波罗登月计划以来,最大的民用科学和技术投资计划。此外,美国的企业和州政府对纳米技术的投入更大。

10 年来,NNI 的参与机构也从最初的 8 个发展到 25 个,是美国参与机构最多的国家科技计划之一。各参与机构间的合理分工、统筹协调保证了 NNI 的顺利执行,同时也使 NNI 成为美国机构间开展合作研究的成功典范^②。

3. 世界领先,但领先优势正在缩小

可观的研发投入使得美国成为世界纳米技术研究、开发和商业化应用的领导者,NNI 已经成为美国和世界纳米科学和纳米技术发展的重要引擎。

^① Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade. Washington, DC: National Science and Technology Council. September, 1999.

^② National Nanotechnology Initiative Strategic Plan. February, 2011.

2008年,美国纳米技术领域研究人员和工人的数量从2000年的2.5万人增加到15万人,占世界的37.5%;公共和私营部门对纳米技术的R&D总投入从2000年的3.7亿美元增长到37亿美元,占世界的24.7%;风险投资从2000年的1.7亿美元增长到11.7亿美元,占世界的83.6%;发表的纳米技术相关的SCI论文数从2000年的5342篇增长到15000篇,占世界的23%;专利申请数从2000年的405项增长到3729项,占世界的29.2%;纳米技术产品市场从2000年的130亿美元增长到800亿美元,占全球纳米技术产品市场的40%^①。

此外,联邦政府对纳米技术的大力投入,还产生了80多个世界一流的纳米科学中心和网络。这些中心和网络为来自学术界、产业界和政府实验室等不同部门的研究人员从事跨学科的研究提供了机会,有利地促进了纳米技术的发展,使美国始终处于纳米技术的发展前沿^②。

目前,虽然美国在纳米技术的研发和商业化应用方面仍处于全球领导者的地位,但纳米技术巨大的科学、经济和社会价值使得很多国家不断地加速扩大他们的纳米技术研发计划,加大对纳米技术的投入,特别是中国、韩国和欧盟对纳米技术的大力投入,使得美国的领先地位逐渐缩小,世界纳米技术领域领导者的竞争日益激烈。

美国联邦政府对纳米技术的R&D投入虽然也不断增长,但增长幅度小于其他国家的增长幅度,其占世界上所有国家政府对纳米技术R&D投入总额的比例已经从2001年的30%下降到2009年的22%(将ARRA的额外投入计算在内,则占28%)。与欧盟相比,2001年,美国联邦政府对纳米技术的R&D投入是欧盟所有成员国政府对纳米技术R&D投入的两倍,为206%,而2009年这个比例则下降到90%(将ARRA的额外投入计算在内,则为116%)。

此外,与2000年相比,2008年美国在从事纳米技

术的劳动力、发表的SCI论文、申请的专利和最终产品市场占世界总量的比例方面都有不同程度的下降:从事纳米技术的劳动力占世界总数的比例从41.7%下降到37.5%;发表的纳米技术SCI论文占比从29.5%下降到23%;申请的专利占比从33.8%下降到29.2%;最终产品市场占世界总量的比例从43.3%下降到40%。从中可以看出,美国在纳米技术领域的领先优势正在逐渐缩小,中国、韩国、德国、日本和欧盟等国家和地区在某些方面已经超过或接近美国,美国全球纳米技术领导者的地位开始受到威胁^③。

4. 面临一系列挑战,但前景依然广阔

除了其他国家的追赶使美国在纳米技术领域领导者的地位受到挑战外,由于纳米技术的复杂性、发展的早期阶段(很多潜在应用的商业回报尚需时日)以及大规模的潜在应用产生了一系列的公共政策问题,对美国保持在技术和商业方面的领导者地位施加了一系列技术、经济和政策上的挑战,包括:保护环境并确保人类的健康和安全;创建标准、参比物质、术语、方法和工具以使纳米材料和产品的制造可以计量;形成世界一流的纳米科技劳动力;将研究成果转化为产品,包括向私营部门有效的技术转移;了解公众的看法和态度,并促进公众对纳米技术的了解,保持公众对其安全性的信心;解决道德、法律和社会影响;保护知识产权;确保对早期研究、开发和商业化的投资;培育和促进国际合作和协调等^④。

虽然美国在纳米技术领域的全球领导者地位受到一系列的挑战,但在相当长的一段时期内其仍将主导全球纳米技术的研究、开发与应用。

一方面,自2000年开始,美国对纳米技术的支持从未间断,而且支持力度不断加大,2012财年的预算申请更超过21亿美元,巨大的投入可以保证美国持续开展纳米技术前沿领域的研究;经过十余年的研发与应用,美国在纳米技术领域取得了一系

① Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam. Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook. September 30, 2010.

② <http://www.nano.gov/initiatives/government/research-centers>.

③ The President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST). Report to the President and Congress on the Third Assessment of the National Nanotechnology Initiative. March, 2010.

④ John F. Sargent Jr. NNI: Overviews, Reauthorization and Appropriations Issues. January 19, 2011.

列重要成果, 占据全球在纳米技术产品市场的40%, 建立了许多世界一流的纳米技术研究中心, 形成了高水平的纳米技术研究力量, 为纳米技术未来的发展奠定了坚实的基础。另一方面, 美国一直走在世界纳米技术研究、开发与应用的的前沿, 对纳米技术的发展趋势保持着清晰的认识。2010年9月30日, 由美国国家科学基金会 NSF 发起、世界技术评估中心(WTEC)完成的《2020年满足社会需求的纳米技术研究方向》^①(被称为“Nano2 报告”)为未来10年纳米技术的发展指明了方向。

此外, 美国政府充分认识到纳米技术在美国经济复苏和长远发展中的重要作用, 在2011年奥巴马总统公布的《美国创新战略》^②中将纳米技术列为国家重点优先领域之一, 这为美国继续保持在纳米技术领域的前沿优势提供了新的机遇和重要保证。

(二)美国纳米技术发展战略部署

1. 政策规划

(1)加强相关立法

美国是一个法制社会, 任何技术的研发与应用都要在法律框架内进行, 对纳米技术等新兴技术发展更是如此。

2003年, 布什总统签署《21世纪纳米技术研究与开发法案》(公法 108-153)^③, 通过国家纳米技术计划使国家政策具体化, 该法案授权为 NSF、DOE、NASA、NIST、和 EPA 五个机构提供长期的资助。同时, 该法案要求美国科学技术委员会(NSTC)每三年制定一次 NNI 战略规划, 以引导 NNI 的活动, 实现各参与机构的目标、优先领域和预期的结果, 并阐述 NNI 如何为了社会的利益将实验室的研究成果转化为实际应用等。该法案已于2008年到期, 新的多年立法已经过多轮修改, 目前国会正准备对其再授权。

此外, 美国国会还提出了多项与纳米技术有关的立法。2009年以来, 第111届国会提出的与纳米技术有关的立法就有十余项, 如:《2009 纳米技术创新和奖励竞争法案》(2009.3), 目的是建立奖励计划

以鼓励纳米技术领域的成就;《纳米技术进步和新机会法案》(2009.2), 目的是支持负责任的开发和管理纳米技术;《推动学校的纳米技术法案》(2010.3)和《纳米技术教育法案》(2010.2), 以增强那些有条件的学校的能力, 提供纳米技术教学;《2010 纳米技术安全法案》(2010.2)、《2010 化妆品安全法案》(2010.7), 以确保纳米技术负责任的开发。

(2)战略规划统领

2000年, 美国发布国家纳米技术计划(NNI), 提出了美国政府发展纳米科技的战略目标和具体战略部署, 标志着美国进入全面推进纳米科技发展的新阶段。在 NNI 总的框架下, NNI 各参与机构间相互合作与协调, 全面而又各有重点地开展纳米技术的研究与开发活动。

此外, 根据《21世纪纳米技术研究与开发法案》的要求, NSTC 每三年要制定一次 NNI 战略规划, 根据技术的发展情况和社会需求, 调整纳米技术的研发重点。据此, NSTC 已先后于2004年12月、2007年12月和2011年2月发布了三次 NNI 战略规划。2011年最新版规划保留了上一版规划的整体构想、四个目标和八个计划组成领域, 并首次列出了每一个目标下的具体子目标和实现路径, 进一步展示了主要计划领域和25个参与机构的任务、兴趣和需求之间的关系, 概述了 NNI 成员机构为达到 NNI 的愿景和目标将采取的具体步骤^④。新规划体现了美国政府对纳米技术的高度重视和在这一领域保持优势的具体措施。

(3)规范预算管理

美国对计划项目的预算管理非常严格。国家科学技术委员会每个财年都要向总统提交 NNI 年度预算报告, 详细说明 NNI 预算在各组成领域和各参与机构间的分配及变化情况, 以及为实现 NNI 的战略目标所要开展的活动, 为本财年纳米技术的研发活动提供指导。

(4)加强评估工作

美国联邦政府非常重视对技术计划的评估工

① Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam. Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook. September 30, 2010.

② A Strategy for American Innovation: Securing Our Economic Growth and Prosperity. February 2011.

③ http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=108_cong_public_laws&docid=f:publ153.108.

④ National Nanotechnology Initiative Strategic Plan. February, 2011.

作。《21 世纪纳米技术研究与开发法案》要求由国家研究委员会、国家纳米技术顾问小组定期对 NNI 进行评估。NNI 实施以来,根据上述法案和总统 13349 号执行命令^①已经对其进行了三次评估,最近的一次评估是在 2010 年 3 月进行的,从计划管理、取得的成果以及环境、健康和安全三个方面进行了评价,总结了各方面的成就并提出了改进的建议。

及时有效的评估有利于把握纳米技术的发展状况和发展方向,发现计划实施过程中出现的问题,及时调整 NNI 的研究重点和前沿领域,以确保美国在纳米技术领域的世界领先地位。

2. 战略目标

美国国家纳米技术计划要实现四个基本的战略目标,即:推进世界级纳米技术研发计划;为了商业和公共利益,促进新技术向产品转化;形成和保持能够促进纳米技术发展的教育资源、技术劳动力和支撑设施;支持负责任的纳米技术开发。在具体战略部署上主要集中在以下几个目标上^{②③}:

(1)保持美国纳米计划的世界领先地位;继续加大支持研发力度;酝酿启动至少 5 个跨机构、跨学科的纳米技术研发计划;确定并支持以国家优先领域为目标的纳米技术研究;开发定量手段以评估美国纳米技术研发计划的绩效。

(2)加大纳米技术商业化、产品化的力度;延伸研发链条,加速大规模生产,促进商业化;增强对纳米技术商业化的关注和对公-私伙伴关系的支持;加强基础设施建设,建立和维护国家的用户设施、联合研究中心和区域创新计划,以加速纳米科学从实验室转化为商业化产品;通过联邦政府的 R&D 资金和法律环境扶持纳米技术相关的中小企业;增强美国在纳米技术领域的国际化参与程度,以促进负责任、可持续的商业化、技术转移、创新,以及与纳米技术产品和过程有关的贸易。

(3)强化教育资源,加强技术培训,促进创新:启动、支持并提升教育培训项目,保持熟练的纳米

技术劳动力;实施扩大的和非正式教育项目并发布相关信息,以促进学生、劳动者和公众熟知纳米技术产业的机遇、潜在的环境、健康和安全(EHS)问题以及道德、法律和社会影响(ELSI);加强纳米技术 R&D 基础设施的提供、维护和共享。

(4)支持负责任地发展纳米技术:将纳米材料的安全性加入到纳米产品生命周期的考量当中;加强与国际社会在标准化研究方面的协作;确定和管理纳米技术产品和过程研究的道德、法律和社会影响;运用纳米技术和可持续发展的最佳实践来保护和改善人类的健康与环境。

3. 战略优先领域

NNI 战略规划提出 8 个基本的组成领域,为 NNI 的活动分类提供了一个组织框架,这些领域的投入和进步对于实现 NNI 的愿景和目标是至关重要的。这 8 个领域包括:基本的纳米级现象和过程;纳米材料;纳米器件和系统;仪器研究、测量技术和标准;纳米制造;主要研究设施和仪器的获取;环境、健康和安全;教育和社会维度。

1999 年 9 月,在国家科学技术委员会(NSTC)的支持下,以纳米科学、工程和技术工作组(IWGN)主席 Mihail C. Roco 博士为首撰写的“Nano1 报告”对纳米技术进行了定义,描绘了纳米技术未来 10 年发展愿景,指明了纳米技术的发展方向,为国家纳米技术计划的出台铺平了道路。2010 年 9 月,在国家自然科学基金会 NSF 的支持下,Mihail C. Roco 博士又主持撰写了“Nano2 报告”,总结了纳米技术第一个 10 年的进展、经验及发展趋势,谋划纳米技术第二个 10 年的发展方向。报告指出了未来 10 年纳米技术发展的战略优先领域^④:

(1)继续支持纳米科学和工程前沿的基础研究、教育和基础设施。

(2)推动重点研发计划,如“signature initiatives”、“grand challenges”以及其他专项资助计划,支持关键研发领域优先工具和制造能力的开

① Executive Order 13349:Amending Executive Order 13326 to Designate the President's Council of Advisors on Science and Technology to Serve as the National Nanotechnology Panel. July 23, 2004.

② National Nanotechnology Initiative Strategic Plan. February, 2011.

③ 美国发布2011纳米技术发展战略. http://www.most.gov.cn/gnwkjdt/201104/t20110420_86164.htm.

④ Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam. Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook. September 30, 2010.

发。探索纳米技术开发与其他新兴、会聚技术开发的融合。

(3)发展产业界、学术界、非政府组织、各类机构以及国际组织的高级伙伴关系。对创建区域纳米研发中心和面向系统的学术中心、早期纳米技术教育、纳米制造以及纳米技术的环境、健康和安全(EHS)问题给予高度重视。

(4)在卫生、能源、制造、商业化、可持续发展、纳米技术的EHS和ELSI等领域,支持预竞争研发平台、系统应用平台、公私联营和网络建设,以确保跨学科、跨部门纳米尺度的基础研究和应用之间的“持久”联系。

(5)推动全球合作,以开发和维护切实可行的国际标准、术语表、数据库、专利及其他知识产权保护。探索对上述活动的国际联合资助机制。为纳米技术的EHS(如安全测试和风险评估与减缓)以及ELSI(如扩大公众的参与及缩小发展中国家和发达国家之间差距)等活动寻求国际协作。建立维护数据库、术语、标准和专利等的国际联合资助机制。

(6)开发多种纳米结构化合物暴露和毒性的实验及预测方法。

(7)在纳米技术教育方面,支持横向、纵向和系统集成,创立或扩展区域学习和研究中心,将面向K-16学生的纳米科学和纳米工程教育制度化。运用奖励和竞争的方法,使学生和教授利用他们自己的能力来探索纳米技术。

(8)利用纳米信息学和计算科学等预测工具来开发跨学科、跨部门的纳米技术材料、器件、工具和过程的信息系统。

(9)打破性别、收入和种族障碍,探索新的纳米技术研发相关的知识扩散、公众意识和参与战略。

(10)建立稳定的组织和计划来资助和引导纳米技术活动,将纳米技术研发、教育、制造、医药、EHS、ELSI和国际项目制度化。主要包括基于奖励、自下而上的研究、教育和公众参与计划。

根据纳米技术的发展趋势,NNI每财年的预算报告中都会提出本年度的研发重点。2011财年的预

算报告提出,纳米技术计划将研发重点由纳米尺度的组件转向纳米系统。NNI在继续履行联邦政府对基础研究、基础设施的开发和技术转移的支持作用的同时,2011年申请的投入将着重加速从基础研究与开发的进步向支撑国家优先领域(如能源、制造、医疗和环境保护)的创新转变。

NNI也加大对与纳米技术相关的环境、健康和安全(EHS)研究的投入^①。同时,为加快纳米技术发展,从而更好地支持总统的优先决策及创新战略,OSTP和NNI成员机构提出了《2011纳米技术签名倡议》计划,该计划包括三个子计划,即《2020及未来纳米电子学》(Nanoelectronics for 2020 and Beyond)、《可持续纳米制造-创造未来的产业》(Sustainable Nanomanufacturing - Creating the Industries of the Future)和《太阳能集成与转换中的纳米技术》(Nanotechnology for Solar Energy Collection and Conversion)。这三个倡议计划也将是未来一段时间NNI投入的重点领域^②。

在2012财年预算报告中,白宫科技政策办公室主任约翰·霍尔德伦在前言中提出了2012财年NNI的研发目标;NNI 2012财年21亿美元的预算申请将促进对纳米级现象的理解以及构建纳米级装置和系统的能力,以解决奥巴马总统在《美国创新战略》中提出的诸如可再生能源、下一代电子学和可持续制造等国家优先发展领域和全球挑战。

同时,NNI的投入继续保持对重要的、开创性的R&D研究基础设施(世界一流的中心、网络和用户设施)以及教育和培训项目提供必要的支持,这些是构成美国创新的主要源泉。最后,纳米技术研发投入也将继续支持NNI的战略性和综合性方法,以解决由纳米技术引起的健康、社会和道德问题^③。

由此可见,未来一段时期内,NNI将以支撑美国创新战略中提出的国家优先领域为重点,加大对三个纳米技术签名倡议的投入力度,同时努力解决纳米技术相关的EHS及ELSI问题。

4. 发展路径

美国纳米技术的前景和战略目标还要继续依

① AAAS Report XXX V. Research & Development FY 2011.

② NNI Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry. Supplement to the President's 2012 Budget. February 2011.

③ NNI Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry. Supplement to the President's 2012 Budget. February 2012.

靠 NNI 的活动来实现,即各联邦参与机构间的协调、合作与交流,在这方面,要不断探索改进各管理层之间跨机构的交流方法。此外,各参与机构要找到加强纳米技术领域各利益相关方参与的机会,包括区域、州和地方的纳米技术计划,以及国家和国际层面来自工业部门、非政府组织和标准组织的代表的参与,同时就某些具体的技术主题探索定向的多边协调机制。

利益相关者有目的的参与和不断的外部评估也将加强 NNI 的工作,促进 NNI 目标的实现。

三、小结

纳米技术经过十余年的发展取得了惊人的进步,并得到初步应用,纳米技术产品已经形成了一定的市场规模。下一个 10 年,纳米技术的研发将以应用为导向,从发现驱动向社会经济需求驱动转变,众多实验室的研发成果将转化为产品,走向消费领域。预计到 2020 年,纳米技术将实现大规模的全新应用,全球纳米技术产品的市场规模将达到 3 万亿美元,逐步实现“通用技术”的目标,为人类经济和社会发展以及应对各类挑战做出重要贡献。

美国是最早开始纳米技术研发的国家,始终处于纳米技术发展的前沿,在纳米技术的发展中起着引领和促进作用。无论在研发投入、劳动力数量、基础设施、论文及专利产出及纳米技术产品的市场占有率方面都处于世界领导者的地位。虽然美国也面临来自其他国家的追赶以及技术和社会方面的挑战,但同时也面临着新的发展机遇。2011 年 2 月,奥巴马总统在《创新战略》中将纳米技术列为国家优先发展的战略领域,对纳米技术寄予厚望;NNI 2011 战略规划和“Nano2 报告”为纳米技术未来的发展指明了方向。

总的来说,政府的重视保证了美国对纳米技术的可观投入;NNI 高效的研发、管理与协调机制保证了纳米技术稳步有序的发展;及时有效的评估有利于了解 NNI 的执行状况,发现问题及时改进;定期的 NNI 战略规划可以使 NNI 跟上纳米技术的发展趋势和方向,使其始终处于纳米技术发展的前沿;公私伙伴关系的形成及利益相关者的参与,有利于纳米技术负责任的开发和向实际应用的转化,

这些都为美国保持纳米技术世界领先地位提供了保证。■

参考文献:

- [1] Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam. Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook. September 30, 2010.
- [2] Nanotechnology Market Forecast to 2013: [http://www.reportlinker.com/p0118193/Nanotechnology - Market-Forecast-to.html](http://www.reportlinker.com/p0118193/Nanotechnology-Market-Forecast-to.html).
- [3] John F. Sargent Jr. NNI: Overviews, Reauthorization and Appropriations Issues. January 19, 2011.
- [4] Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade. Washington, DC: National Science and Technology Council. September, 1999.
- [5] National Nanotechnology Initiative Strategic Plan. February, 2011.
- [6] <http://www.nano.gov/initiatives/government/research-centers>.
- [7] The President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST). Report to the President and Congress on the Third Assessment of the National Nanotechnology Initiative. March, 2010.
- [8] A Strategy for American Innovation: Securing Our Economic Growth and Prosperity. February 2011.
- [9] http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=108_cong_public_laws&docid=f:publ153.108.
- [10] AAAS - AAAS Report XXX V Research and Development FY 2011.
- [11] AAAS - AAAS Report XXXVI Research and Development FY 2012.
- [12] NNI Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry. Supplement to the President's 2012 Budget. February 2011.
- [13] NNI Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry. Supplement to the President's 2012 Budget. February 2012.
- [14] Executive Order 13349: Amending Executive Order 13326 to Designate the President's Council of Advisors on Science and Technology to Serve as the National Nanotechnology Panel. July 23, 2004.
- [15] 美国发布 2011 纳米技术发展战略. http://www.most.gov.cn/gnwkjdt/201104/t20110420_86164.htm.

Development and Strategic Deployment of Nanotechnology in United States

ZHAO Junjie

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: Over the past decade, US government has invested more than \$12 billion in nanotechnology, and the total investment reached \$16 billion if adding \$1.8 billion of 2011 and \$2.18 billion of 2012 to the budget. In February 2011, President Obama classified nanotechnology as the prior strategic area in “Innovation Strategy”, and “NNI2011 Strategy Plan” and “Nano2 Report” give directions for the future development of nanotechnology. The paper highlighted the development of nanotechnology in the U.S.

Key words: United States; nanotechnology; nanofabrication; nanometer system; nanotechnology commercialization

科学家发现严重登革热症状与两类基因有关

登革热是由蚊子传播的仅次于疟疾的第二大疾病,据估计每年全球有1亿人感染登革热病毒。但被感染人群的症状却有很大差异,有的病人症状非常轻微,有的人却高烧不退,甚至危及生命。特别是儿童病患,发生登革休克综合征后常会导致死亡。目前,对登革热还没有研制出疫苗。

以往的研究表明,某些特定人群对登革热病毒较敏感,易出现严重症状,这提醒了科学家去探寻人类的何种基因特性使得他们出现这种情况。在越南胡志明市,卫尔康生物医疗慈善信托基金(Wellcome Trust)、剑桥大学医学研究小组和新加坡基因组研究所的科学家们联合对此学说进行了研究和实验,并取得了一定成果:他们通过研究发现了人类的两类基因变体会导致人体发生严重的登革热感染症状。

科学家们首先针对登革热易感儿童与对比人群进行基因组相关性研究。他们对2008名患者和2018名对比人群展开研究,随后将研究结果在1737名患者和2934名对比人群中进行了验证。

研究发现,儿童患者体内两类基因上的DNA代码发生变化将会导致他们更易发生登革休克综合征。这两类基因是第六染色体上的MICB和第十染色体上的PLCE1。

科学家认为,MICB在人体免疫系统中发挥重要作用,它的某种变体会激发人体的免疫细胞更加积极地抵抗病毒感染;反之,如果这些免疫细胞无法正常工作,登革热病毒就会在人体内占据上风。

研究人员还发现,某种PLCE1的变体会导致登革热出血点的出现,这是登革休克综合征最显著的临床特点。

此项研究由英国卫尔康生物医疗慈善信托基金和新加坡科技研究局资助,研究成果刊登在《自然遗传学》杂志上。

资料来源:摘自科技部门户网站 www.most.gov.cn 2011-11-09