

美国的前沿科学进展

罗 晖

(中国科学技术协会, 北京 100863)

摘 要: 本文研究了美国近年来在基础科学领域取得的主要进展、国家科学政策动向以及前沿领域的研究重点, 认为在生命科学、物质科学、能源科学、信息科学以及诸多交叉学科领域正孕育着革命性突破, 美国政府为确保国家在科学领域的世界级领导地位, 加大了联邦政府的资金投入。本文研究将为我国准确把握世界科学技术发展态势、整体部署前沿科学研究提供参考。

关键词: 美国; 前沿科学; 生命科学; 物质科学; 能源科学; 信息科学

中图分类号: F13/47; G32 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2010.10.004

进入 21 世纪, 人类社会所面临的能源、环境、气候变化、疾病、灾害、贫困等深层次矛盾日益严峻, 世界比以往任何时候都更加期盼下一轮科学革命的到来。回顾近年来前沿科学的发展, 成功与失败、进步与挫折并存, 但从未动摇科学家探索前沿科学的决心。在生命科学、物质科学、能源科学、信息科学以及诸多交叉学科领域正艰难地孕育着革命性突破, 我们有理由、也有信心, 期待人类最终能依靠科学技术实现可持续发展。本文研究了美国近年来在基础科学领域取得的主要进展、国家科学政策动向以及前沿领域的研究重点, 以期为我国准确把握世界科学技术发展态势、整体部署前沿科学研究提供参考。

一、美国在基础科学领域取得的主要进展

美国国家科学基金会(NSF)的报告显示, 在基础

科学领域美依然保持显著的领先优势^①。在科学论文方面, 美科学家发表的论文数量占全球总数的 35%, 反映论文质量的论文引用数和重复引用数分别占全球总数的 49%和 63%^②。近年诺贝尔奖获得者中美科学家的比例居各国之首, 集中反映了美国在延揽顶尖科学家方面的突出优势^③。特别是在生命科学、物质科学、能源科学、宇宙探测、信息科学、环境科学与气候变化等方面, 美国科学界取得了前沿领域领先世界的成就。

(一) 生命科学

生命科学一直是美国基础研究的重点领域, 也是最受关注的基础自然科学。随着先进仪器设备的应用以及物理、化学知识的发展, 科学家在认识生命现象、生命活动的本质、特征和发生、发展规律以及各种生物之间和生物与环境之间相互关系等方面不断取得新的进展。美国国立卫生院(NIH)作为

作者简介: 罗晖 (1968-), 女, 博士, 中国科学技术协会调研宣传部 副部长; 研究方向: 科技政策、区域创新。

收稿日期: 2010年8月11日

① 根据NSF的分类, 科学包括生命科学、工程学、物质科学、环境科学、数学和计算科学、心理学、社会科学、其他科学等八大领域

② 数据来源: NSF《2008年科学和工程指标》. 2008

③ 2008年美籍华裔科学家钱永健和美国科学家马丁·沙菲尔与日本科学家分享化学奖, 美籍日裔科学家南部阳一郎和日本科学家分享物理学奖; 2007年美国科学家马里奥·卡佩基、奥利弗·史密斯与英国科学家分享诺贝尔生理学/医学奖; 2006年度诺贝尔三项科学奖全部被美国科学家获得, 美国科学家罗杰·科恩伯格获得化学奖, 约翰·马瑟和乔治·斯穆特获得物理学奖, 安德鲁·法尔和克雷格·梅洛获得生理学/医学奖。

世界最大的医学研究和资助机构,近年来一直保持每年 300 亿美元左右的联邦研究经费预算,其中 2009 财年联邦预算支持高达 316 亿美元。

近年来,美国生命科学领域比较突出的成就主要集中在基因、蛋白质和神经科学等方面。具有代表性的进展包括:

人类基因组个体差异 2007 年美国科学家发表了一个完整的个体 DNA 图谱,贝勒医学院也发布消息称绘制完成一个个人基因图谱。这两项研究揭示了 DNA 的基本组成单元——单核苷酸之间的碱基差别即单核苷酸的多态性,科学界第一次彻底揭示了个体 DNA 之间存在的巨大差异,将为疾病研究与治疗提供新的途径,有望为未来的“个性化基因医疗”奠定基础。

皮肤干细胞及细胞重新编程 2007 年美国和日本科学家成功实现用小鼠皮肤制造了诱导性多能干(iPS)细胞,同年 11 月,两国科学家分别报告了用人类皮肤细胞制造胚胎干细胞的研究,解决了使用人类胚胎带来的生物伦理问题。2008 年科学家在细胞再编程方面取得了又一个里程碑式的进展,在活鼠实验中,科学家让细胞直接从一种成熟细胞变成另一种,打破了细胞单向发育的规则。重新编程细胞的研究为生物医学研究开辟了新的领域,一系列成功进展促使美国政府最终取消了对干细胞研究的禁令。

基因测序方法 测序技术的发展使得基因测序在更加广泛的领域得以应用。2008 年美国科学家用名为 454 测序法的“合成测序”系统制造出了已经灭绝的穴熊和尼安德特人的线粒体基因组及猛犸象的 80% 的基因组。美国太平洋生物科学公司开发出一种更快的基因组测序法概念,使测序方法更精确,成本继续下降。

癌症基因研究 美国国家人类基因组研究所资助的肿瘤系列工程在分析与癌症有关的变异基因方面取得进展。其中最突出的研究成果是在胰腺癌和胶质母细胞瘤两种最致命的癌症中确认经常发生变异的基因,一些研究已经把肺腺癌肿瘤和急性骨髓性白血病中的异常 DNA 识别出来。这些研究为肿瘤诊断和治疗提供了线索,有助于为肺癌、淋巴瘤、白血病和结肠癌患者提供有针对性地治

疗。

观察蛋白质工作 美国科学家获取了细胞蛋白质详图,这是迄今为止分子最高分辨率图像,该图揭示出了电压控制的钾通道,这些通道是负责钾离子进出细胞的看门蛋白质。美国的计算生物学家还证实了蛋白质在几十个不同构像之间的运动。通过跟踪个体蛋白质,科学家发现一个单个随机分子事件可以将某个细菌细胞从一种代谢状态转变成另一种。

大脑的功能 2006 年美国科学家发现了人类制造记忆的过程,大脑负责加强神经元之间连接的“长时程增强”过程很可能是大脑记忆的基础。科学家的研究还发现,人的记忆和想象扎根于大脑的海马区,该区是记忆的一个关键中心。这些研究使得科学界对人体内部的微观世界有了更深入的了解。

人体蛋白受体结构 美国科学家确定了人类 Beta2-肾上腺素能受体的结构。该受体是一个重要的 G 蛋白偶联受体 (GPCR),它通过传递体内的激素、血清素以及其他分子的信息管理人体的内部系统,并决定着当今近半数药物作用的发挥。这项研究不仅能够加速新型或改良药物的研究,还能拓宽人类对自身健康和疾病的认识,可广泛适用于类似的蛋白质研究,为破解人类基因组序列图中的数百个 GPCR 结构铺平了道路。

DNA 禽流感疫苗 美国国家过敏与传染病研究所支持研究出 DNA 疫苗,在动物实验中证明其对高致病性禽流感病毒 H5N1 和 H1N1 具有免疫效果,目前开始人体临床试验。

来自社会的需求也促使美国的生命科学研究高度关注威胁人类的重大疾病和传染病问题。比如艾滋病、禽流感、癌症、心血管疾病等。在这一领域美国科学界取得了一些重要进展,也遭遇了重大挫折。突出的是美国默克制药公司历经十年研制的一个艾滋病疫苗以失败告终,此前舆论认为这是最有希望成功的一个候选疫苗。2008 年美国国家过敏和传染病研究所宣布取消政府主导的艾滋病疫苗大规模临床试验,原因是对艾滋病疫苗与人体免疫系统如何相互作用的认识还不够。

(二)物质科学

物质科学包括:物理学、化学、天文学和地球科

学,是几乎所有自然科学学科的基础。美国对物质科学的重视具有悠久的传统,国家科学基金会(NSF)60亿美元预算中28%用于科学基础设施建设,其中大部分是物质科学研究基础设施。尽管前几年布什政府对物质科学的投入强度有所减弱,但总体来看,美国在物质科学领域的水平和进展依然保持着显著的领先优势。

近年来美国物质科学领域比较突出的成就主要集中在基础粒子、凝聚态物理和纳米等方面。具有代表性的进展包括:

费米子凝聚态 美国科学家在薄的费米气体中对“费米子对凝聚物”的发现是近年来物理学领域的重要进展之一,也是量子气体领域的关键性突破,预计将对多个学科领域产生深远影响。

量子霍尔效应 2005年美国 and 英国的研究团队首次以单层石墨片为研究材料,在低温下观察到量子霍尔效应。2007年科学家在室温下首次观察到了量子霍尔效应。此发现有可能催生低功率“自旋电子学”计算设备。

新的基本粒子 随着一批大科学装置投入使用,近年来美国科学家不断发现新的基本粒子。能源部费米国家实验室发现了欧米伽 b 重子,能源部斯坦福线性加速器中心探测并测量出底偶素家族能量最低的粒子 η_b ,加州大学科学家发现了一种称为激子的粒子。

“夸克-胶子等离子体” 能源部布鲁克海文国家实验室的科学家利用相对论重离子对撞机(RHIC)制造出“夸克-胶子等离子体”,这是一种全新的物质形态,曾广泛存在于宇宙诞生后的百万分之几秒内。

过渡金属氧化物 2007年美国科学家将两种氧化物结合在一起制造了带有各种有用的电子和磁性性能潜力的界面。科学家预计对过渡金属氧化物的研究有可能预示着下一个材料革命的到来。

超重同位素 美国科学家利用超导回旋加速器观察到了镁和铝的超重同位素,这一发现改变了已知的原子核图景,证明了一种常见元素的同位素可能存在,是探索不稳定原子核领域的重要成就。

美国在物质科学领域也遭受了一些挫折,主要是布什执政时期削减了一些重大实验项目和科学

装置运行经费。美国科学家批评这导致研究人才的流失和研究项目的中断,沉重打击了基础科学研究。奥巴马上台后,对基础科学的投入力度加大,重点支持物质科学和能源科学研究,使得这些领域的研究局面大为改观。

(三)能源科学

随着能源安全问题的日益严峻,美国不得不重新考虑加强能源领域的基础科学研究,对可再生能源如风能、太阳能以及新一代核能、氢能的研究升温。美国能源部(DOE)和国家科学基金委(NSF)是能源科学领域主要的资助部门,其中DOE科学办公室年度预算在40亿美元左右。

近年来美国能源科学领域比较突出的成就主要集中在聚变能研究、电能存储、碳捕获与封存、生物燃料方面。具有代表性的进展包括:

国际热核实验堆 2007年围绕国际热核实验堆(ITER)选址的争论终于结束,包括中国在内的多国将联合在法国建设世界第一座大型热核实验反应堆。美国作为主要发起者之一也参与了此项关系未来能源前景的国际大科学研究计划。

未来发电 DOE于2003年启动了“未来发电”项目,联合包括中国等多国在美建设世界上第一座集二氧化碳捕集和封存、发电、制氢于一体的研究型电厂,涉及整体煤气化联合循环(IGCC)洁净煤发电及先进的碳捕获与封存(CCS)技术的示范。2008年美对该项目进行了新的调整,联合企业建造IGCC发电站,并向2015年前实现CCS技术示范的发电站提供贷款,目的是使这项计划更具备商业可行潜力。

大容量、高稳定性电池 能源部阿贡国家实验室的科学家发现了一种用于电池阳极的新型材料,由独特的纳米晶体组成的层状结构构成,可提高可充电锂-铁电池的容量以及稳定性,电容量超过250毫安时/克,是传统的可充电锂电池所用材料容量的2倍以上。采用这种含有锰元素的材料替代更贵的含有钴、镍等成分的充电电池,可以降低电池成本。预计这一新技术将被应用于下一代混合动力汽车及消费电子产品、医疗仪器等领域。

非硅薄膜太阳能 能源部国家可再生能源实验室(NREL)2008年研发出新型非硅薄膜太阳能电

池,这种 CIGS 薄膜太阳能电池效率与标准的硅太阳能电池相接近,太阳光转化为能量的效率可达 19.9%。科学家认为这是一项重要的突破,当前光伏电池正面临着重大的技术转型,传统硅晶制造光伏电池在环保和耗材上与薄膜电池相比缺乏优势,但薄膜电池的问题在于转化效率较低,因此 NREL 的此项进展意义重大。

燃烧水 美国科学家开发了一种钴和磷混合的催化剂,可以用于电解水生产氢和氧,然后使氢用于燃烧,或是添加到燃料电池中将其重新与氧结合产生电。这种催化剂可以替代贵重金属如白金电解水,有希望利用水作燃料。

新型生物燃料 美企业开发出生物重整工艺,利用糖类生产常规汽油、柴油、航空用油和其他化学品。该技术的核心是水相重整(APR)工艺,经过催化将糖基组分转化为非氧化的碳氢化合物混合物,该混合物具有比乙醇高得多的能量密度,效率高且成本较低。科学家还开发出热化学-催化快速裂解技术,在较短时间(2分钟之内)和中等温度(400-600摄氏度)条件下,使得固体纤维素原料快速转化为包含多种芳香烃的液体。

(四)信息科学

在信息科学领域,目前最值得期待的是超微基础性器件和下一代网络的发展。在超微器件方面,随着科学家对物质微观结构认识的深化以及加工技术的发展,超微材料和器件的生产已经成为现实,特别是基于分子装配的纳米技术的应用,使得人们能够对物质的结构进行控制,根据需求制造超微智能器件。在这方面,IBM、英特尔等企业的投入是值得关注的现象,这显示出在基础研究特别是应用基础研究领域,私人与社会投资是可以利用的重要资源。出于竞争的需要,企业必须在更前沿的领域取得原始性创新优势。

在下一代互联网方面,美国国防部(DOD)与国家科学基金会(NSF)分别支持了两个重大项目的研究。DOD一直在推动采用IPv6以取代现在广泛使用的IPv4,而NSF则推出“后IPv6网络”GENI(网络研究的全球环境 Global Environment for Networking Investigations)。根据NSF的设想,GENI将超出目前DOD对互联网的渐进式改进,着力探

索新的互联网架构以促进科学发展并刺激创新和经济增长,顺应21世纪的迫切需求。GENI的目标包括:Internet新的核心功能(如新的命名技术、寻址技术和身份架构)、增强型功能(包括额外的安全架构和高可用性设计)、新的Internet服务和应用。

美国在信息科学领域具有代表性的进展包括:

国际互联网向IPv6转移 IPv6是美国国防部主导的下一代网络关键技术。出于巩固美国领先优势的考虑,美国一直不遗余力地促进IPv6在世界范围的普及。首先是美国内政部率先采用IPv6标准,比如白宫预算管理办公室要求联邦政府各级网络都必须能够发送或者接受IPv6地址。目前,全球互联网的域名解析根服务器开始增加IPv6地址,DNS服务器开始增加IPv6格式的网络地址,这也使得全球互联网从IPv4向IPv6转移基本成为定局。

GENI正式启动 2007年5月NSF宣布BBN科技公司被选中作为GENI项目办公室。在后续4年中该办公室每年将从NSF获得250万美元的经费。此举是NSF建立GENI研究基础设施的重要步骤,也标志着NSF向实现GENI跨出了重要的一步。

微尺度器件的突破 IBM的科学家用低温隧道显微镜对单个铁原子进行控制,并将它们以原子登记的精度排列在一个特制的铜表面上,最后确定了各个铁原子的磁各向异性的趋向和强度。此进展可能催生数据存储微结构和装置的问世。IBM的科学家还描述了第一个单分子开关,能够在不破坏分子结构的前提下进行准确无误的操作,这是制造超微计算机芯片和记忆装置的基础,向分子尺度的计算器件迈出了重要一步。宾西法尼亚大学的科学家研制出以纳米线为基础的新兴存储器件,这一成果是研制新一代高性能信息存储技术的基础。

高性能计算 能源部洛斯阿拉莫斯国家实验室和IBM于2008年开发出世界首台运算性能每秒1000万亿次的超级计算机。IBM的新一代高效节能大型计算机主机SystemZ10于2008年上市,能在降低运行成本的同时处理海量互联网信息。

光学存储介质 美国纽约州洛切斯特大学的科学家发现了一种降低光速的新方法,能够在光强很弱的情况下缓冲图像存储速度,并完整无缺地对

图像进行还原。学术界认为这一发现加速了以光为信息存储、传输、编码和识别介质时代的到来。

(五)环境与气候变化科学

美国在这一领域最为突出的成就是科学家们以翔实的数据和无可争辩的事实证明了气候变化的严峻性。为此,前副总统戈尔与联合国政府间气候变化专业委员会(IPCC)一起获得了2007年度诺贝尔和平奖。获奖理由中特别强调了“在创造以及传递有关人为气候变化知识上所付出的巨大努力,以及在解决气候变化问题所需要的各种度量上所打下的坚实基础”。

2002年,美国正式启动了气候变化科学计划(CCSP)和气候变化技术计划(CCTP)。CCSP共有13个联邦政府部门参与,主要是对自然因素和人为因素引发的全球环境变化开展研究,并预测变化趋势,为决策者提供科学依据。CCTP主要是对与气候变化相关的技术进行集成管理,加速新技术和先进技术的研发、推广和市场化,通过技术进步来达到节能减排的目标。

美国在这一领域具有代表性的进展包括:

气候变化证据 美国以及有关国家科学家记录了南极洲和格陵兰岛冰原都加速融化的趋势。卫星资料和气象观测数据显示,南极变暖已经延伸至南极大陆西部,其中松岛冰川向海洋滑动的速度比20世纪70年代上升40%,史密斯冰川比1992年加快了83%,科学家分析冰川加速滑向海洋是由于阻止它们的漂浮冰架正在融化。据估算,南极大陆西部区域冰川年损失总量约为1140亿吨。科学家们还发现了人类活动与全球变暖的联系、北冰洋的冰盖持续减少以及鸟类迁徙模式的改变等。

生物多样性衰减 近年来有关生物多样性衰减的大型调查结果不断传来。其中保护国际和世界自然保护联盟与2004年组织500多位科学家对全球已知的5700种两栖动物进行了调查,发现30%以上的物种濒临灭绝,充分表明生物多样性衰减已到了非常严峻的程度。

地球危险的信号 包括美国在内的多国科学家提出了可能引发地球进入危险的九大因素,包括北极冰融化、格陵兰岛冰盖变薄、西部南极冰床崩塌、大西洋特定环流消失、恩索循环中厄尔尼诺和

拉尼娜现象导致的异常天气增多、印度洋夏季季风消失、西非季风中断、亚马孙热带雨林消退和北方针叶林的枯萎。科学家建议要通过实时监测和数据模拟来建立早期预警体系。

科学家批评布什政府在相当长的一段时期内拒绝承认气候变化的严峻性,意识形态和利益群体对气候变化科学研究的干扰阻碍了这一领域的进展。由于科学界的不懈努力和呼吁,美国政府不得不转变立场,接受科学事实,加入到国际社会应对全球变化的行动中。

(六)宇宙探测

人类对物质世界的探索一直在宏观和微观两个方向上不断拓展。近年随着空间技术和天文观测设备的发展,对宇宙和宏大天体的研究日益活跃。美国航空航天局(NASA)和海洋大气局(NOAA)是资助宇宙观测和空间探索、空间科学研究的主要部门,其中NASA的年度经费一直保持在170亿美元左右。

近年来美国在这一领域比较突出的成就主要集中在宇宙起源、寻找新行星等方面。具有代表性的进展包括:

太阳系外行星观测 由于观测技术的提高特别是在地球大气层外放置天文望远镜,近五年来对300多颗系外行星的观测都分别取得了突破。2008年美国科学家公布了对绕编号HR8799、距离地球128光年的恒星旋转的三个物体的观测结果,这是迄今发现的最大、距离主星最远的系外行星。天文学家还分析新发现的一些行星的光谱,期望找到线索得出它们的物理和化学性质。

太阳系行星探测 2004年NASA的“火星探测漫游者”发现火星上曾经有水的证据,这表明火星在数十亿年前是个湿润而温暖的星球。2008年“凤凰”号火星着陆探测器成功降落在火星北极区域,目前已经传回一批精细的图像,并采集了火星土壤样本。对火星的探测结果显示具备原始生命生存的条件。2008年“信使”号探测飞船对水星进行了探测,绘制地图并拍下90%的水星表面图像。

宇宙构成的新发现 NASA科学家对“威尔金森微波各向异性探测器”五年收集资料的分析显示,有新的证据证明宇宙间充满了中微子;证明早

期恒星需要花费约 5 亿年才能形成“电子云”, 推翻了宇宙在诞生的瞬间就开始膨胀的理论。“威尔金森微波各向异性探测器”于 2001 年发射, 主要目的是分析“大爆炸”的回声, 即微波背景辐射。根据对“残留辐射”资料的分析, 科学家在 2005 年较为准确地推算出了宇宙的年龄为 137 亿岁。

太阳活跃周期 2008 年美国海洋大气局(NOAA)宣布太阳黑子活动显示新的为期 11 年的太阳活跃周期已经到来。随着太阳黑子活动加剧, 太阳风暴将在未来数年内逐年增强, 届时全球的电力系统、军用民用航空通信、全球定位系统信号, 甚至手机、银行自动提款机等都可能受到干扰。

发现月球上有水 美国半人马座火箭、月球坑观测和传感卫星相继撞击了月球南极附近的凯克斯坑, 科学家们从撞月激起的尘埃中发现了水蒸气和冰。月球不仅能为人类建立月球基地提供基本生存可能, 而且还可以为火箭等航天器提供燃料燃烧所需的氧气。这一重大发现是探索月球的重要进展。

美国在宇宙探测和空间研究领域遭遇的主要挫折是未来几年有可能出现航天飞机退役之后空间飞行器“断档”问题, 不得已将继续租借俄罗斯的飞船执行空间运输任务。经费不足影响了 NASA 在研制新的空间飞行器、重返月球和深空探测方面的进展。

二、当前美国国家科技政策的调整

美国的国家科技政策在二战之后出现显著变化, 从注重军事科技转为着力支持基础研究和公益性研究。当时的总统罗斯福提出希望美国的科学家能够为和平时期的国家发展服务, 以确保经济的活力、健康与安全^①。时任国家科学研究与发展局局长的麻省理工学院教授万尼瓦尔·布什提交了题为《科学: 无尽的前沿》报告 (Science, The Endless Frontier, 1945)^②, 提出: “科学研究是国家强盛、人类进步的必需, 政府有责任来支持、资助人类在这个

领域的活动”。在此报告的影响下, 1947 年美国国会批准、1950 年杜鲁门总统签署法案, 美国国家科学基金会(NSF)正式成立, 开启了国家支持基础科学研究的先河。该基金会实行的政府出资、科学家管理、通过同行评议分配科研经费的模式, 为美联邦政府其他部门以及世界许多国家资助基础科学研究时所采用。

美国科技界评价, 克林顿时期的科技政策是近年来比较成功的国家科技政策, 其核心是“科学与国家利益”和“技术与国家利益”。克林顿认为, 必须保持美国在所有科学知识前沿的领先地位; 增进基础研究与国家目标之间的联系; 鼓励合作以推动对基础科学的工程学投资; 造就 21 世纪最优秀的科学家和工程师; 提高全体美国人民的科学技术素养。克林顿执政时期联邦政府对研究开发的投入保持 2% 左右的年增长速度, 其中基础研究增幅最高, 达到年增长 7% 左右^③。克林顿把大规模网络与高性能计算计划 (也称为信息高速公路计划) 列为优先领域, 并启动了人类基因组研究计划、NASA 对木星卫星的探索和教育研究计划, 建设了国家散射中子源等一批大科学基础设施。对前沿科学的高强度投入使得信息、生物、纳米等诸多领域实现群体性创新突破, 催生了以信息产业为代表的高科技产业集群, 带动美国进入了“知识经济”时代, 实现了近十年的“黄金增长”。

尽管美国一直保持在科学前沿的全面领先优势, 但是, 科学界的忧患意识依然十分强烈。2005 年 10 月美国科学院和工程院联合发布了《站在正在聚集的风暴之上》^④报告, 分析了美国未来科技发展面临的挑战, 对人才短缺、研发经费不足等问题表示强烈的忧虑, 引起美国各界的积极反响, 从而促成布什总统在 2006 年 1 月国情咨文中提出《美国竞争力计划》。根据这一计划, 联邦政府今后 10 年中将增拨 1360 亿美元用于对研发、教育、创办企业与创新的投入, 特别是要将国家科学基金会(NSF)、能源部(DOE)科学办公室以及商务部国家标

① President Roosevelt's Letter on the Office of Scientific Research and Development. Science. Vol. 100, No. 2607. P542. 1944

② Bush, Vannevar. 1945. Science - The Endless Frontier. ARNO Press. Reprint Edition, 1980. New York, NY.

③ Melvin Henriksen. PRESIDENT'S FY 1999 BUDGET CALLS FOR LARGE INCREASE FOR BASIC RESEARCH. Mathematical Sciences. Volume 3, #1, March 15, 1998

④ Academy of Science. Rising Above the Gathering Storm. 2005.

准和技术研究院 (NIST) 核心实验室的经费增加一倍, 这三个部门是物质科学研究的主要资助部门。国会众议院、参议院也于 2007 年 8 月 2 日通过了《美国竞争法》^①, 核心思想是加强创新和教育, 提升美国的国家竞争力。法案还要求大幅度提高研发投入, 加强科学、技术、工程和数学的教育, 发展创新基础设施等。这些举措得到了科技界的欢迎, 但是并未扭转科技界对共和党政府偏重军事扩张而忽视科技创新的批评。

奥巴马政府上台以来, 表现出在科学技术发展中积极作为的态势。奥本人认为, 技术创新将为“变革”提供手段, 承诺要增加对科学技术的投资, 并提出: 优先发展清洁能源和低碳技术应对能源环境和气候变化问题, 支持创新以提升产业竞争力, 加强卫生健康的科研和服务, 鼓励采用先进科技以改善乡村生活质量。奥还强调把科学、技术、工程和数学教育作为国家的首要任务, 创造高质量的就业机会, 投资现代化基础设施, 以技术推动政府改革, 巩固国家安全的科技领先优势。值得关注的是, 奥巴马还呼吁要鼓励自主创新, 通过研发税收抵免永久化等政策鼓励企业投资创新; 设立先进制造基金投资具有竞争力的制造新技术; 发展企业孵化器和产业集群以支持中小企业; 改革专利制度, 同时维护美国企业在海外的知识产权权益等^②。从新政府在研发预算上的安排来看, 奥巴马对支持科技创新的承诺正在逐步兑现, 2009 财年联邦研究开发预算拨款 1511 亿美元, 比 2008 财年增长 4.7%, 经济复苏与再投资计划中有 580 多亿美元直接投入科技创新。

奥巴马任命了新的总统科技助理兼白宫科技政策办公室主任、原伍兹霍尔研究所所长、哈佛大学教授约翰·霍尔德伦^③, 此举也反映了奥巴马对能源、气候变化与环境问题的高度关注, 奥巴马还表示期望霍尔德伦为他提出睿智的政策建议。霍尔德

伦在参议院任职听证会上的证词在一定程度上反映了新一届政府的科技政策走向:

1. 科技政策包含了两个主线: 为了科学技术的政策, 加强公共部门和私营部门的研究开发, 加强科学技术教育和培训, 鼓励科学技术最大程度地转化成为经济、安全 and 环境效益; 为了政策的科学技术, 经济政策、国防政策、空间政策、卫生政策、环境政策、农业政策等国家政策的制定, 需要源自于科学技术的远见卓识。

2. 白宫科技政策办公室 (OSTP) 面临的挑战是在总统领导下应对广泛而又复杂的问题, 同时保持与国会、联邦部门的互动。OSTP 的责任是要促使总统和国会采纳科学技术建议, 无论这些建议来自于政府还是民间。OSTP 主任所提供的科技信息和判断将不受意识形态的左右。

3. 美国在科技与经济、环境、国家安全结合方面所面临的主要挑战, 以及 OSTP 需要努力应对的方向是:

(1) 对科学技术的投资催生了诸多创新, 这是美国经济的基石。过去半个世纪以来美国经济增长的 50%~85%、生产率的 2/3 均为科技进步驱动。在目前经济危机时期, 必须抵制减少科技投入的动向。联邦政府持续的投入对科学技术十分重要, 过去 40 年的经济增长周期已经证明: 这些投入是有效的。

(2) 确保美国在科学领域的领导地位, 需要在保持联邦政府对研究开发支持的同时, 创造一个鼓励私人投资研究开发的环境。

(3) 空间研发计划意义重大, 尽管保持和扩展空间能力耗资巨大, 但是空间对国家安全、民用和军用通信、地理定位、气象预报和暴风雨监测、对地观测、宇宙探索等都至关重要。尽管面临经济危机的困难局面, OSTP 仍要协调解决美国航空航天局空间飞行器的“断档”问题。

① 法案全称为《为有意义地促进杰出技术、教育与科学创造机会》

② 罗晖. 美当选总统奥巴马呼吁自主创新. 2008

③ 霍尔德伦分别在麻省理工学院和斯坦福大学获得学士、硕士和博士学位; 先后在劳伦斯国家实验室、加州大学伯克利分校从事教学和科研工作。1996年起在哈佛大学肯尼迪政府学院任教, 并于2005年起担任哈佛大学肯尼迪政府学院科学、技术与公共政策研究中心主任。霍是美国科学院院士 (1991年)、美国工程院院士 (2000年) 和美国艺术与科学院院士 (1983年), 并于1995年作为“Pugwash Conferences on Science and World Affairs”的主要成员之一获诺贝尔和平奖。在克林顿执政时期, 霍曾担任总统科学与技术顾问委员会委员和美国科学促进会 (AAAS) 主席。

(4) 培育研究开发型企业, 促进研究开发成果转化为新的产品和服务, 使得更多的美国人从中受益。这对重塑美国经济至关重要, 对解决能源、环境、健康和国家安全问题至关重要。

(5) 新技术对于能源、国家安全和气候变化意义重大。提供经济可靠的能源不仅是经济的需要, 也是应对气候变化的需要。气候变化问题最为严峻, 需要科学技术使其得到控制, 同时还不能忽视其他环境问题, 如水质、空气质量、土壤和食物中的有毒物质、森林和海洋、生物多样性等。

(6) 信息技术是生产率提高的关键驱动力, 从根本上改变了人们沟通和工作的方式。信息技术能够改善卫生与健康、能效、气候监测的能力, 同时管理科研产生的海量数据; 信息技术还能够将美国政府带入 21 世纪, 促使内部运行流畅、降低成本、提高信息安全和及时响应; 能够提高基础教育和大学的教育质量, 不仅培养未来的科学家、工程师和数学家, 同时也提升劳动力素质, 为美国人民提供参与民主的工具。

(7) 科学技术能够在国家应对各类威胁时发挥重要作用, 特别是应对一些新的挑战如不对称冲突、城市作战、维和任务、网络威胁和大规模杀伤性武器落入恐怖分子手中等。人们所熟悉的威胁也不断变化, 包括核武器、生化武器、弹道导弹、导弹防御技术和科技情报收集等。国防部先进研究计划局已经开展了很好的工作, OSTP 将继续关注这一领域的进展。

(8) OSTP 在国家安全与国际事务方面的作用是紧密相关的, 许多国家安全领域的问题依靠多边协议来解决比单边行动效果好得多, 核不扩散就是例证。OSTP 在国际舞台上的责任是需要和国际伙伴一起应对挑战, 需要更多的多边合作, 如气候变化、石油进口脆弱性和海洋环境等。同时, 先进加速器、天文望远镜、能源技术试验(如 ITER)等大型科

研装置的费用和复杂性也需要国际合作, 以分摊成本和风险。

三、未来美国科学研究前沿走向

面对金融危机带来的经济严重衰退局面, 美各界对科技创新给予希望, 期望新的创新突破推动世界经济恢复并进入新的增长周期。综合美科技界领导人的讲话和有关机构的报告, 分析美国基础科学的前沿方向主要包括:

(一) 增强物质科学研究能力

能源部(DOE)科学办公室和 NSF 是资助物质科学研究的主要部门。NSF 主任比门特表示^①, 先进科学基础设施是确保美国在科学前沿优势的基础, NSF 未来将继续支持科学基础设施建设。能源部(DOE)是世界上拥有大科学设施最多的机构, 仅科学办公室就拥有 42 个大型科学设施。目前 DOE、NSF 等部门积极牵头并参与一批国际大科学研究计划, 包括大型强子对撞机(LHC)、ALMA 毫米射电望远镜阵列^②、国际热核试验 ITER 等。同时, DOE 还支持超大规模计算(USSCC)、暗能量联合探测(JDEM)、直线加速器相干光源(LCLS)、稀有同位素加速器(RIA)、分子及其表征与成像、连续电子束加速器、散列中子源、先进光源、集成束试验等研究。NSF 获得经费启动总额 1.1 亿美元的大学重要研究基础设施建设项目、3200 万美元的激光干涉仪重力波天文台升级项目、超导回旋加速器(NSCL)升级等。预计未来这些领域会取得令人瞩目的进展。

(二) 发展新一代能源基础体系

能源部部长朱棣文在任职听证会上表示, 奥巴马总统希望他领导的能源部具有科学远见, 以应对气候变化和实现能源独立。OSTP 主任霍尔德伦认为建立新的能源体系必须解决以下问题^③: 改进插电式混合动力汽车的电池性能; 降低光伏电池成本; 改进煤气化技术, 在发电的同时制氢并捕获

① Dr. Arden L. Bement, Jr. "International Research Facilities and Infrastructure: Advancing Our Common Commitments". Symposium "Internationalization of Science: Looking Forward". AAAS Annual Meeting, Chicago, Illinois. February 15, 2009

② ALMA (the Atacama Large Millimeter Array) 是由美国国家天文台(NRAO)的毫米波阵(MMA)、欧洲的大南天阵(LAS)和日本等机构组建的一个新的毫米波天线阵列计划, 由50座直径12米天线为主阵列, 以及由4座12米、12座7米天线组成, 最长基线达到10公里以上, 工作频率从70到950GHz, 将计划放在智利的安第斯山脉上海拔5000米高的查南托高原(Chajnantor plain)上, 预计2012年投入使用。

③ 罗晖. 浅析候任白宫科技政策办公室主任霍尔德伦的学术观点和政策立场. 2008

CO₂;利用太阳能从水中制氢的新工艺;氢的存储方法;持续、高效的燃料电池;不影响粮食生产的生物燃料;先进裂变反应堆,具有反核武器扩散的燃料循环系统,尽量避免故障和人为失误;聚变;高效和宜人的公共交通;物质科学、生物技术、纳米技术、信息技术和加工工程等领域的广泛进展,也能够大幅度降低能源和资源消耗。NSF 主任比门特列举了当前必须尽快解决的能源环境科学问题^①,包括使太阳能更经济;通过聚变获取能量;开发碳捕获技术;提供清洁的水;管理氮循环;重建并改善城市基础设施等。NSF 报告显示,目前这一领域研究的热点在薄膜技术、功能塑料和催化剂,这些进展有助于高效转化太阳能和生物质能,提供可靠的可再生能源;同时,对新型智能交通的开发有助于降低交通运输对环境的危害。《科学》杂志预测:美国近期的科研热点将涉及植物基因组学、海洋研究和全球变暖等领域,玉米、大豆和粟等农作物的基因组图谱以及可用作生物燃料的一些植物的基因组图谱有望近期完成。

(三)增进对气候变化的了解和预测

OSTP 主任霍尔德伦认为,在应对气候变化方面,目前最为急迫的需求是增加对气候变化的了解,研究导致冰川融化和 CO₂ 从土地中挥发出来的气候变化转折点;研究开发和示范 CO₂ 存储技术;监测海洋的变化,研究海洋生态结构、功能,从而更好地了解气候变化的进程;研究采用地质工程方法缓解气候变暖是否可行;对各种方法和可能性的评估。NSF、国家航空航天局(NASA)、国家海洋大气局(NOAA)、国家地质调查局(USGS)等部门都已经部署了对海洋、大气、地质和生态系统的监测项目,了解气候变化的影响并预测进程。NSF 支持的新一代大洋钻探船(SODV)将于2009年投入使用并筹备拓展环境和海洋观察站计划(OOI),并计划建造新的北极研究船。值得关注的是NSF支持了一项检测亚洲地区灰尘和污染物项目,使用HIAPER(环境研究高性能仪器航空平台)对亚洲地区污染物和灰尘向北美移动的情况进行监测。

(四)鼓励基于网络系统的虚拟研究

NSF 主任比门特认为,信息网络的发展使得每

年都会产生兆级的海量数据,并且以光速超越机构和国家的界限向世界传播。为适应这一变化,NSF 将致力于建设新的网络基础设施,使科学家建立并发展虚拟研究和教育网络,虚拟研究将加速技术融合,并提高科学家对快速膨胀的网络世界的响应能力。目前在新兴学科特别是交叉学科或海量数据处理领域,虚拟研究以及基于网络的合作研究日益普遍,比较典型的范例是国家地震工程网络模拟系统(NESS)、TeraGrid 高性能计算环境、纳米技术基础网络(NNIN)和计算纳米技术网络(NCN)等。为了支持虚拟研究发展,NSF 正在建设下一代互联网 GENI,支持网络工作级分布系统的基础研究、为开放式研究提供研究能力的超级计算装置等项目。

(五)促进生命科学与其他学科的交叉融合

国立卫生院(NIH)前院长泽霍尼向国会提出了 NIH 优先研究领域,主要有:开发应对传染病的疫苗,包括预防艾滋病、禽流感、埃博拉病毒、西尼罗河病毒和 SARS 等;通过基因研究寻找治疗遗传性疾病和精神病的方法;进一步了解人的生命,在人类基因组研究基础上,在分子和蛋白质层面获取信息,目标是在疾病征兆出现之前就能够识别并采取预防措施,同时研究药物治疗的有效途径;研究心血管、癌症等对美国人威胁较高的疾病,减轻患者病痛,降低死亡率。为此,NIH 鼓励数学家、化学家、物理学家、工程师、生物成像专家、计算机科学家、行为科学家和医生一起开展跨学科研究合作,鼓励生物医学与信息、纳米、计算机等其他学科的交叉融合。国家科学基金会也支持交叉学科研究,并启动一项 5200 万美元的计划,将计算机原理增加到生物学、物质科学和工程学中。

当前,美国的基础科学正面临一次重要的机遇。面对经济结构严重失衡、金融危机未见起色的局面,美国唯有依靠科技创新实现结构调整和经济复兴。奥巴马曾表示,他所领导的政府将是拥护科学技术的政府,并承诺要增加对科学技术的投资。他强调气候变化和基因研究是优先要务,并要求加大对能源科学的投入,宣称“现在是我们重新将科学视为当务之急,并努力重建美国在世界上科技领袖地位的时候了”。我们将密切关注美国基础科学

^① Dr. Arden L. Bement, Jr. In the Barash Tradition: Imagining the Shape of Things to Come". Purdue University. March 3, 2009

的前沿进展,以期准确把握住世界新一轮科学革命兴起的脉搏。■

参考资料:

- [1] 罗晖.促进经济恢复与增长的科技政策
- [2] Lawrence H. Summers. Foreign Policy.2004
- [3] NSF《2008 年科学和工程指标》.2008
- [4] President Roosevelt's Letter on the Office of Scientific Research and Development. Science.Vol.100,No.2607.P542. 1944
- [5] 1 Bush, Vannevar. 1945. Science - The Endless Frontier. ARNO Press. Reprint Edition, 1980. New York, NY
- [6] Melvin Henriksen. PRESIDENT'S FY 1999 BUDGET CALLS FOR LARGE INCREASE FOR BASIC RESEARCH. Mathematical Sciences. Volume 3, #1, March 15, 1998
- [7] 任洪涛. 美国生物质转化碳氢化合物燃料技术最新进展. 2009
- [8] 1 Academy of Science.Rising Above the Gathering Storm. 2005
- [9] 罗晖. 美当选总统奥巴马呼吁自主创新. 2008
- [10] 罗晖. 浅析候任白宫科技政策办公室主任霍尔德伦的学术观点和政策主张. 2008
- [11] Dr. Arden L. Bement, Jr. International Research Facilities and Infrastructure: Advancing Our Common Commitments. Symposium "Internationalization of Science: Looking Forward". AAAS Annual Meeting, Chicago, Illinois. February 15, 2009
- [12] Dr. Arden L. Bement, Jr. In the Barash Tradition: Imagining the Shape of Things to Come". Purdue University. March 3, 2009

The Progress of Frontier Science in the United States

LUO Hui

(China Association for Science and Technology, Beijing 100863)

Abstract: The paper studies the main progress of basic science, the trend of S&T policy and research focus in the United States, and points out a revolutionary breakthrough will be resulted from life science, physical science, energy science, information science and interdisciplinary, the U.S. federal government increased R&D investment to enhance the world-class leadership in the science field. The study will be reference for China to understand the world S&T development, and make plan for frontier science research.

Key words: United States; Frontier science; Life science; physical science; Energy science; Information science