

中国纳米科技创新系统的 形成、演化及建议^{*}

欧龙新 胡志强

(中国科学院研究生院人文学院 北京 100049)

摘要 经过 20 世纪 80 年代中期至今近 30 年的发展,中国纳米科技队伍已经成为国际纳米科技界最为活跃的力量之一。这一发展历程经历了 3 个阶段,即纳米科学知识积累阶段、纳米科技创新系统形成阶段和创新价值链雏形阶段。为促进纳米科技创新系统的不断完善,今后应以促进产业目标实现为导向,重点推动系统各行为主体构建更为紧密的互动关系。

关键词 纳米科技,创新系统,政策建议

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2010.04.012



中国科学院

中国是世界上少数几个最先开展纳米科技研究的国家之一。20 世纪 80 年代中期,中国开始资助纳米材料研究和纳米技术仪器装备研制,目前中国的纳米科技基础研究已在国际上占有一席之地。本文回顾了我国纳米科技发展的历程,并建议今后应进一步加强对纳米科技的支持,将已有研究优势转化为产业优势,以更有力地促进中国自主创新能力的提高。

1 中国纳米科技创新系统的演化历程

1982 年发明的扫描隧道显微镜 (scanning tunneling microscope, STM) 和 1986 年发明的原子力显微镜 (atomic force microscope, AFM) 是纳米测量表征上的一个里程碑,标志着纳米科技从概念阶段,进入到实质性研究阶段。从 1988 年第一台计算机控制的 STM 和 1989 年第一台 AFM 研

制成功开始至今,中国纳米科技创新系统的形成及其演化过程,大体可分成 3 个阶段。

1.1 纳米科学知识积累阶段(20 世纪 80 年代中期—2000 年)

1.1.1 纳米科技研究方面的支持情况

政府对纳米科技研究的支持,始于 20 世纪 80 年代中期。1987 年,中科院化学所计算机控制的 STM 研制项目获中科院院长基金的资助。

自 1990 年以后,国家科委“攀登计划”资助了纳米科学研究。1999 年,国家科委开始在“973 计划”中单独设立“纳米材料和纳米结构”研究项目。“863 计划”在 1990—2002 年间,支持了将近 1 000 个纳米方面的课题。在 1991—2000 年间,国家自然科学基金委员会共资助纳米科技研究 9 000 多万元。

1.1.2 纳米科技的研究状况

中科院物理所的解思深于 1996 年在国

^{*} 修改稿收到日期:2010 年 6 月 28 日

际上首次发明了控制多层碳管直径和取向的模板生长方法,制备出离散分布、高密度和高强度的定向碳管;1998年合成了世界上最长的纳米碳管;2000年,又对管径仅为0.5nm的极小直径纳米碳管的力学、热学、光学和导电性质进行了系统研究。此系列工作在1998年、2000年分别被评为国内十大基础研究进展^[1]。

清华大学范首善课题组在国际上首次利用碳纳米管限制反应形成直径为3nm—40nm、长度达微米级的发蓝光的氮化镓一维纳米棒,在国际上首次把氮化镓制备成一维纳米晶体^[2]。该成果被评为1998年中国十大科技进展新闻。

中科院金属所的研究小组,在世界上首次发现纳米金属材料具备室温下的超塑延展性——纳米铜在室温下冷轧可延伸50多倍^[3]。

中科院金属所成会明研究组利用等离子蒸发技术成功地制备单壁碳纳米管材料,并获得优异的储氢性能,质量储氢容量可达4%^[4]。

1.1.3 纳米科技研究资源的整合和优化

随着政府对纳米科技关注度的提高,以及纳米科技发展对学科重组的内在要求,国内科研机构和高校开始自发地进行纳米科技资源整合和调整。

中科院化学所1987年建立了STM实验室(1994年改为中科院纳米科学与技术青年实验室)。主要研究扫描探针显微学和功能材料表面结构表征、生物和有机大分子的多样性和纳米生物学。

中科院固体物理所1991年成立了纳米材料与纳米结构研究室,1995年成立纳米材料应用发展中心。主要研究纳米结构体系的设计与合成、介孔组装体系的表面和界面问题、低维阵列体系的光、电性质、纳米颗

粒、纳米材料的规模化生产和应用。

1997年9月,北京大学纳米科学与技术研究中心成立。主要研究短单壁纳米碳管的结构和电子学特性研究、超高密度信息存储有机复合膜的研究、纳米自组装技术和功能化修饰、用近场光学显微术研究微盘发光模式和生物样品。

1998年,天津大学纳米材料科学与工程研究中心成立。主要从事纳米金属材料宏量制备、超细分体分散、纳米催化、纳米结构符合材料等领域的研究。

1998年12月,南京大学成立了纳米科技研究中心,主要从事团簇物理与纳米结构、磁性材料、半导体纳米材料和纳米器件、纳米无机材料等领域的研究。

2000年10月30日,中科院纳米科学技术中心成立。该中心由中科院涉及纳米科研的22个研究单位和纳米科技网站以网络联盟的形式组成。

20世纪90年代后期,高校、研究机构、地方政府和企业纷纷成立纳米科技研发中心,推动了纳米科技研究的发展及成果产业化。

1.1.4 技术成果与产业应用状况

中国纳米科技发展伊始,纳米技术的应用就成为科研人员非常关注的方向。

中科院固体物理所自主开发的纳米硅基氧化物($\text{SiO}_2\text{-x}$),具有很高的比表面积($\sim 640\text{m}^2/\text{g}$)。与企业合作,已建成了百吨级生产线,并在纳米抗菌银粉、新型塑料添加剂、传统涂料改性等方面推出多项产品上市。

华东理工大学在纳米超细活性碳酸钡的工业性实验基础上,建成1.5万吨/年大规模生产线。北京科技大学在纳米镍粉制备技术方面取得进展,分别应用于国内最大的镍氢电池公司和日本新日铁公司。

北京化工大学于1994年发展了超重力

合成纳米颗粒的研究方法,并在广东建成年产 3 000 吨超重力纳米碳酸钙工业化生产线。天津大学研制纳米铁粉,使中国成为第二个能够工业化生产纳米金属粉体材料的国家。

1997 年以前,我国从事纳米材料生产开发的公司约有 20 多家;1999 年增加到 70 多家;到 2001 年底,中国纳米技术公司已发展到 330 多家^[5]。

与此同时,纳米材料也开始在传统产业中应用。1998 年 11 月,海尔集团批量推出了健康型抗菌冰箱,将纳米银加入塑料中,增加了冰箱储物盒的抗菌防霉性。2000 年山东推出小鸭纳米 426 洗衣机,使用无机银复合材料外桶阻止污垢在桶壁沉积,以保持洗衣机自身清洁。

但这一时期,市场上纳米产品良莠不齐,炒作“纳米”概念成为一种商业促销的手段,在公众中产生了一些负面影响。一些学者忧心忡忡地认为,纳米科技“热潮”有可能影响这一领域健康有序的发展。在此阶段的后期,理性讨论纳米科技的声音逐渐成为主流,业内人士希望公众和企业正确理解纳米科技的内涵,并开始反思纳米技术应用存在的技术、制度以及社会环境等问题,关注纳米技术的安全性、纳米技术标准化制定等关系纳米技术健康有序发展的核心问题。

1.2 纳米科技创新系统形成阶段(2000—2009 年)

2000 年,美国正式发布“国家纳米技术计划”(NNI)。各国普遍担心该计划有可能进一步增强美国在纳米技术上的垄断,并影响将来的产业竞争态势。基于这种考虑,中国纳米科技界开始向政府呼吁,加强对纳米科技领域的统筹协调,改变纳米科技资源分散局面,保持良好的研究态势,在关键领域迎头赶上。

1.2.1 政府统筹机构的建立和国家纳米科技计划的实施

2000 年,组建国家纳米科技指导协调委员会,其主要任务是制定“国家纳米科技发展纲要(2001—2010)”。

2001 年,科技部、国家发展计划委员会、教育部、中科院、国家自然科学基金委员会联合颁布《国家纳米科技发展纲要(2001—2010)》,标志着中国纳米科技体系建设框架方案形成。

1.2.2 纳米科技实体机构的组建与行业组织的设立

纳米科技规划纲要的出台,加速了纳米科技实体性机构建设的步伐,同时促进了技术规范性组织的设立。

2002 年,由中科院纳米科技中心、北京大学、清华大学共同组建的国家纳米科学中心成立。该中心主要是做纳米科学的基础研究和应用研究,其目标是要建成具有国际先进水平的、面向国内外开放的纳米科学研究公共技术平台和研究基地。

2003 年,纳米技术及应用国家工程研究中心在上海成立,该中心由上海交通大学、复旦大学、华东师范大学、中科院上海微系统所、中科院上海硅酸盐所、上海医药工业研究院等 10 家单位组成。主要目标是围绕具有明确市场需求的技术与产品,开展研发与成果推广,促进纳米技术产业发展。

2006 年,中科院、江苏省政府、苏州市政府和苏州工业园区共同成立了中科院苏州纳米技术与纳米仿生所。该所围绕能源、环境、信息、生命与医学等领域开展研发工作。

2002 年,清华大学与台湾富士康科技集团共建的清华-富士康纳米科技研究中心正式成立。该中心从事以信息产业为背景的纳米科学与技术研究。



中国科学院

2003年,国家标准化管理委员会批准成立了“全国纳米材料标准化联合工作组”。2005年,国家标准化委员会正式批准成立全国纳米技术标准化委员会(SAC/TC279)。此后,又分别成立了纳米材料分技术委员会(TC279/SC1)、上海地区纳米技术工作组(TC279/WG1)、扫描探针显微镜标准化工作组(TC279/WG2)、微纳加工技术标准化工作组(WG3)和纳米压入与划入技术标准化工作组(WG4)。

1.2.3 国家立项状况

自然科学基金委员会于2002年启动了纳米科技基础研究重大计划,投资4 000万,为期5年。2009年,自然科学基金委员会资助了“纳米制造的基础研究”重大研究计划,主要开展纳米制造的基础研究,预算总经费为1.5亿元,预计执行期为8年。

“十五”期间,“863计划”支持纳米材料与微机电系统重大专项,经费投入4.34亿元。“十五”国家科技攻关计划支持纳米材料技术及应用开发项目,国家投入1.3亿元,地方和企业投入4.9亿元。“973计划”在“十五”期间,共设立15项与纳米领域相关的项目,主要分布于材料、信息等领域,年均投入约6 000万元。

2006年,国务院颁布《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》,认为纳米科技是中国“有望实现跨越式发展的领域之一”,并设立“纳米研究”重大研究计划。2006年和2007年的“纳米研究”重大科学研究计划共支持纳米材料、器件、生物与医学、能源与环境等29项,经费投入约2.5亿元。

中科院“知识创新工程”在2000—2004年间共支持纳米科技研究5 000多万元。“十一五”期间,中科院在纳米、先进制造与材料创新基地建设中,对纳米科研项目和平

台建设的支持力度进一步加大。

1.2.4 研究工作与产业化推进情况

这段时期,中国的纳米科技基础研究在材料、表征与检测、器件方面取得一系列研究进展。复旦大学设计合成了具有高度有序的、六角形纳米尺度孔的大范围有序排列的纳米多孔材料,带动了介孔材料的可控合成研究^[6];中科院沈阳金属所利用纳米尺寸的生长孪晶强化金属,实现了材料的超高强度和高导电性^[7];中科院化学所系统地研究了有机分子自组装形成的纳米有序结构,为自下而上技术路线中构筑单元提供了一种选择的可能^[8];中国科学技术大学利用STM诱导分子的化学结构变化,成功地实现了对单分子自旋态的控制^[9];中科院物理所制备出一个近似理想的、势阱宽度可调的一维方势阱体系,并且观察到了量子阱的形成对费米能级附近电子态密度和电声子耦合强度的调制行为^[10];中科院物理所和化学所在轮烷分子固体薄膜上记录了点阵结构,在分子尺度上诱导了两个数量级的导电特性转变,是实用化光盘信息存储密度的近百万倍^[11];中科院化学所采用晶核原位外延的方法得到了有机半导体单晶纳米带,为开展有机半导体单晶纳米电路的研究打下了基础^[12];中科院上海硅酸盐所研究发现,直径几百纳米的颗粒可以在外磁场的引导下在血管中承载和运输药物到指定区域再可控释放^[13],该研究被评为2005年中国十大科技进展新闻。

这一阶段,纳米科技研究人员直接进入研发基地,与企业共同开发纳米技术产品。2002年,中科院化学所与香港金威集团公司共同在北京成立中科纳米技术工程中心有限公司,并建成中科院纳米技术产业化基地。主要通过中科院化学所相关的产业化项目,研发、生产和推广纳米织物、纳米涂料和工程塑料产品;由中科院化学所、金属所纳

米产业化项目组提供技术支持的中科纳米技术工程(苏州)有限公司成立,随后还成立了中科纳米涂料技术(苏州)有限公司、苏州中科纳米高弹材料有限公司、中科波司登纳米服饰(苏州)公司。这些公司主要生产纳米织物处理材料、纳米复合涂料等。

经历了纳米技术市场盲动的虚火后,纳米技术产业化回归常态。尽管在 2005 年前,科研机构与企业共同组建了若干纳米技术生产和研发基地,而且在国家重点新产品计划中有关纳米技术项目有 100 余项,但纳米技术应用并没有突出表现,说明纳米科技创新还有相当长的一段艰苦路程要走。

1.3 纳米科技创新价值链的雏形(2009 年开始)

在纳米方面,中国基本形成了政府积极介入为主导的各创新主体不断加强互动的体系框架。但是,整个系统还不能成为改变目前产业态势的独立技术体系。2009 年,中科院化学所纳米绿色印刷技术的出现,让业界看到了纳米技术可能会对传统行业带来革命性影响。我们以此为例论述。

1.3.1 印刷行业技术现状

中国是世界第三大印刷市场,2007 年有近 10 万家印刷企业;2007 年行业总产值约 4 600 亿人民币^[14],约占国内经济总产值(GDP)的 1.84%。1995—2007 年,中国印刷行业总产值平均年增长率为 16.7%,为同期 GDP 增长的 1.8 倍^[15]。

中国印刷行业迅猛发展的关键在于自主创新印刷技术推动的印刷产业革命。20 世纪 80 年代,王选院士研发了激光照排技

术后,中国报业和印刷业掀起了一场“告别铅与火、迎来光与电”的技术革命。1993 年,国内 99% 的报社和 95% 以上的书刊印刷厂采用了国产激光照排系统^[16]。

1.3.2 中国印刷行业的主要技术

中国目前印刷行业主要采用激光照排技术,属于第四代激光照排系统,使中国彻底告别了铅字,其工艺流程见图 1。

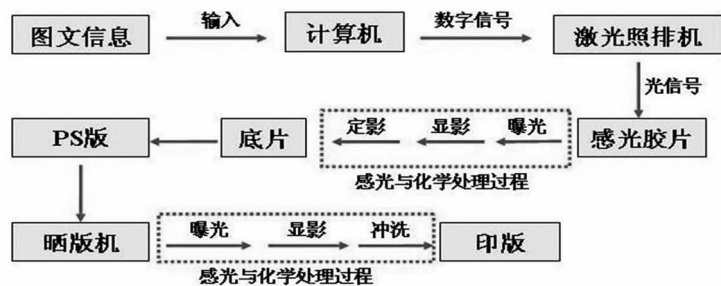


图 1 激光照排技术工艺流程

1.3.3 发达国家主要的印刷技术

目前发达国家主流印刷技术是 CTP (computer to plate) 技术,其优点是具有良好的制版性能并且不用软片,其工艺流程见图 2。

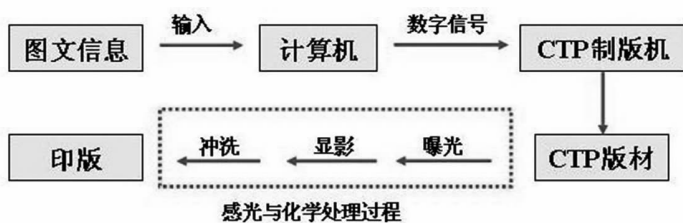


图 2 CTP 技术工艺流程

1.3.4 纳米绿色印刷技术的优势

激光照排和 CTP 技术存在的问题:一是感光成像,避光操作;二是化学显影,污染严重,资源浪费。

中科院化学所在 2009 年推出了纳米绿色印刷产业化项目,其工艺流程见图 3。其优势是省去了感光预图层以及后续的清洗



中国科学院

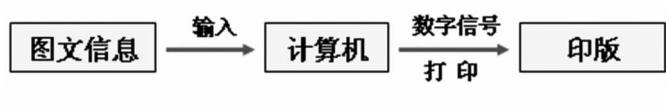


图3 纳米绿色印刷技术工艺流程

环节,在消除环境污染的同时大大降低了成本;简化了制版流程,无需暗室避光操作;直接在印版上打印图文,图文质量大大提高。

利用该技术研制出直接制版样机,单板印刷5万印张以上。2009年,该技术的中式示范线建成,并与TCL和联想投资公司签定了《纳米材料绿色印刷制版产业技术创新战略联盟》意向书。

该技术能否被印刷行业广泛接受目前还不明朗。该技术研发源自科研人员主动对印刷行业的介入,而非行业技术需求牵引,因此,在与行业沟通方面,尚需进一步努力。

2 中国纳米科技创新系统未来发展

建议

经过近30年的发展,中国纳米科技创新系统中主体之间的互动关系已经出现。高校和国家科研机构在知识和技术方面占有绝对优势,纳米技术的应用和研发基地的形成主要依赖于高校和科研机构的技术扩散,并在纺织、能源、建材、医药等多种行业进行尝试。

尽管最近出现的纳米绿色印刷技术可能会对印刷行业带来工艺、材料和产业集群重新组合的革命效应,但由于纳米技术普遍存在可靠性和与行业结合度低等问题,技术应用的广度和推进行业产业升级方面还没有出现重大突破,对市场尚未形成较大的影响力。2005年之后,纳米技术市场应用逐渐趋冷,中国科技体制传统的评价和经费争取向重新抬头,进一步影响了纳米技术研发人员与市场结合的愿望。

由于大规模的商业应用尚未出现,因此,可以认为中国纳米科技创新系统还处于

创新价值链构建阶段。但在世界各国加紧部署纳米技术产业化的形势下,中国纳米科技发展亦不能趋人之后。特别是在《纳米科技发展纲要(2001—

2010)》即将结束之际,应进一步为促进纳米科技创新系统的完善未雨绸缪。未来中国纳米科技创新系统应在巩固已有优势的基础上,以促进产业目标实现为导向,重点推动系统内部各行为主体构建更为紧密的互动关系。

进一步明确政府在纳米科技创新系统的主导作用。确立国家纳米科技指导协调委员会统筹全国纳米科技发展的作用,吸收经济部门作为成员单位参与纳米科技指导协调委员会,以促进纳米技术在经济部门的应用,同时成立独立的委员会办事机构和评估机构。

增加政府对纳米科技研究的经费投入,主要面向基础研究,公共技术平台的运行,中小企业与高校、公共研究机构合作开发。在保持纳米科技研究专项投入的同时,促进纳米科技计划与国家其他科技资助计划的结合。

继续支持以纳米材料应用为主的产业化发展方向,建立鼓励企业从事纳米技术研发活动的机制。在政府财税政策、研究和试验经费补贴方面给予支持,降低和分摊研发风险。

加强公共技术平台和信息资源平台的建设,促进平台设施和公共信息的开放共享。资助基础设施和平台的运行维护,待平台运转稳定后纳入国家常规计划支持。

为鼓励行为主体的互动,继续支持联合、协作的研究和共建活动。主体互动所形成的知识产权和成果共同拥有,并在评价制度中体现共有性。

加大人力资源的培养力度,制定专门的

人力资源计划。高校和公共研究机构在各类政府资助的纳米科技计划中应体现研究人才培养和对本科生的培训义务。

在制度建设方面,政府应以法规的形式保障纳米科技投入和组织机构运行的长期稳定性;继续推进有企业代表参与的纳米技术标准制定和研究。

主要参考文献

- 1 科技部基础司.纳米科技发展调研报告.2002.
- 2 Han W Q, Fan S S, Li Q Q et al. Science, 1997, 277:1 287.
- 3 Lu L, Sui M L, Lu K. Science, 2000, 287:1 463.
- 4 Liu C, Fan Y Y, Cheng H M et al. Science, 1999, 286:1 127.
- 5 张立德.在平稳发展中走向理性.纳米观察, 2007,3.
- 6 Tian B, Li X, Yu C et al. Nat Mater., 2003, 2:159.
- 7 苏青.2009 年中国重大科学、技术与工程进展.新
 华文摘, 2010,6:121.
- 8 Wan L J. Acc Chem Res, 2006, 39:334.
- 9 Zhao A, Li Q, Chen L et al. Science, 2005, 309:1 542.
- 10 Yang G, Zhang Y F, Bao X Y et al. Science, 2004, 306:1 915.
- 11 Wen Y Q, Wang J X, Hu J P et al. Adv. Mater., 2006, 18:1 983.
- 12 Tang Q, Li H, Song Y et al.. Adv. Mater., 2006, 18: 3 010.
- 13 Shi J L. Angew. Chem. Int. Ed, 2005 JACS(2005).
- 14 中国印刷年鉴编辑部. 2007 年中国印刷业运行基本态势述评. 中国印刷年鉴 2008. 北京: 中国印刷工业协会出版社, 2008, 13.
- 15 蒲嘉玲. 从数据看中国印刷产业发展(上). 印刷工业, 2008, (8): 11.
- 16 武文祥. 新中国印刷业发展的脉络. http://www.chinaprint.org/upfile/www_xzgysfz.doc



中国科学院

The Formation, Evolution Process of Nanotechnology Innovation System in China and Suggestions on Countermeasures

Ou Longxin Hu Zhiqiang

(College of Humanities and Social Sciences, CUCAS 100049 Beijing)

Abstract The development of nanotechnology in China has gone through nearly 30 years since the mid 1980s. The development process can be divided into three stages, namely, nanotechnology knowledge accumulation, the formation of system of nanotechnology innovation, and embryonic form of the value chain of innovation. To promote the continuous perfection of the system of nanotechnology innovation, the authors suggest that in the future, the government should promote the realization of the industry goal as the orientation, and focus on promoting the building of the various main bodies of act in the system for closer interaction.

Keywords nanotechnology, system of innovation, and suggestions on policies

欧龙新 中科院研究生院人文学院博士研究生。1969 年 11 月出生。1993—2004 年在中科院人事局、办公厅工作。2004—2007 年,任国家纳米科学中心主任助理,参与国家纳米科学中心发展规划工作。现任中科院北京分院副院长。E-mail:lxou@cashq.ac.cn

胡志强 中科院研究生院人文学院教授,博士研究生导师。1964 年 6 月出生。主要研究方向为科学哲学、科技政策。E-mail:hzzq@ucas.ac.cn