

樊春良

(中国科学院科技政策与管理科学研究所)

进入 21 世纪以来, 在各国政府的大力支持下, 纳米技术发展迅速, 成为引领世界科学技术发展的前沿领域之一。人们普遍认为, 纳米技术的发展将会给材料、生物技术、医药、电子、工程、传感、航空、食品质量、环境监测和气象学等方面带来广泛的应用, 甚至是革命性的变革。但是, 纳米技术的发展也存在着很大的风险和不确定性, 并且会带来一些社会和伦理问题。在发展和使用新兴的纳米技术满足人类和社会紧迫需要的同时, 如何充分而合理地去预见和减轻不利的影响或未曾想到的结果, 已成为各国政府和科学界关注和研究的一个重要问题。

中国纳米技术的研究开展较早, 在 20 世纪 80 年代中期就开始了。近十年来, 中国纳米技术发展很快, 据 Web of Science 数据, 在 1998-2008 年间, 中国纳米科学研究的论文总量达到 45394 篇, 仅次于美国 (51452), 居世界第二位。[1]在纳米技术的社会和伦理领域, 在安全性议题方面, 中国科学界也开展得比较早, 并取得了比较好成绩; 但是, 在纳米技术的伦理与其他社会议题方面, 与国外差距还比较大, 与中国纳米技术的发展不相适应。面对纳米技术蓬勃发展的前景, 应该加强纳米技术的社会和伦理问题的研究, 以应对和解决纳米技术发展带来的社会和伦理方面的挑战。

一、纳米技术的社会和伦理问题

目前, 国际上关于纳米技术还没有一个统一的定义。美国国家纳米技术行动 (NNI) 给纳米技术下的定义是: 纳米技术是在大约 1-100 纳米尺度范围内理解和控制物质, 在这个尺度, 独特的现象可以带来新奇的应用。纳米技术的范围包括纳米科学、工程和技术, 包括在这个尺度上对物质的成像、测量、建模和操作。[2]纳米技术是一个多学科交叉的领域, 包括物理学、化学、生物技术、材料科学与工程, 打破了传统的基础研究与应用研究之间的区分。当前, 纳米技术仍处于发展的早期, 相当于信息技术在 1960 年代和生物技术在 1980 年代的水平。纳米技术有广泛的应用前景, 被认为是因特网兴起以来左右科技产业最有影响的力量, 引导着下一次工业革命。

从世界范围看, 对纳米技术研究的支持早在 20 世纪 80 年代就开始了, 到 90 年代, 美欧日发达国家以及中国、印度等国都开始大力支持纳米技术的研究。2000 年, 美国 NNI 实施后, 极大地刺激了世界其他国家政府支持纳米技术的发展。之后五年之内, 大约有 60 个国家启动了纳米技术 R&D 计划。

随着大规模支持的开始, 在对纳米技术的产业和经济前景关注的同时, 关于纳米技术发展对社会的广泛影响也引起日益的重视。2000 年 7 月, 美国国家科学基金会 (NSF) 设立关于纳米技术的环境和社会涵义的研究与教育项目; 9 月, NSF 召开第一次关于纳米科学与纳米技术发展社会含义的研讨会。2001 年, 美国 NNI 正式实施, 纳米技术对伦理、法律和社会的影响和劳动力的教育与培训是 NNI 投资战略的五个目标之一。2003 年, 美国国会制定



《21 世纪纳米技术研究与发展法案》(公法 108-153), 专门设立有关纳米技术社会涵义的条款, 规定“设立研究计划以确认与纳米技术相关的伦理、法律和其他适当的社会关心的议题, 确保这样的研究结果可以得到广泛的扩散。”[3] 2003 年, Science 和 Nature 杂志开始讨论纳米材料的生物效应问题, 纳米材料的毒性引起科学界的重视; 2004 年 7 月, 英国皇家学会和皇家工程院发表《纳米科学和纳米技术: 机遇与不确定性》报告, 论述了纳米颗粒对健康、环境和安全可能的不利影响, 建议成立一个多学科的研究中心, 集中研究这些问题。同年, 欧盟发布《欧洲纳米战略》, 把纳米技术发展的公共健康、安全、环境和消费者保护作为其中一项重要内容。2005 年, 美国国家科学技术委员会 (NSTC) 纳米科学、工程和技术分委员会 (NSET) 成立了跨机构纳米技术环境和健康含义工作组 (NEHI WG), 联邦政府多个部门开始支持纳米技术的毒物学研究。2006 年联合国教科文组织发表《纳米技术伦理与政治》, 探讨了纳米技术的伦理、法律和政治含义。2007 年, NNI 计划对纳米技术的社会潜在影响部分进行了修订, 分为了两大类: 环境、健康和安全性 (EHS); 教育与社会。

国际上把纳米技术发展带来的环境、健康、安全性、伦理、教育以及其他社会问题通称为纳米技术的社会和伦理问题 (Social and Ethical Issues)。根据美国 NNI, 纳米技术的社会和伦理问题主要包括三方面的内容:

纳米技术的环境、健康和安全性议题。主要指纳米技术对人类健康和环境的毒性及风险, 主要包括两个焦点: 纳米微粒的危害与暴露风险。前者涉及纳米微粒对人体或自然生态系统的生物和化学影响, 后者涉及纳米微粒的泄漏、流失、传播和附集问题, 以及由此给人体或生态系统带来的危害; [4]

纳米技术相关的教育活动, 包括大学本科生和中学的教育, 以及科普活动;

纳米技术的伦理、法律和其他社会问题。例如, 纳米研究材料的制造和检验应该遵守什么样的准则? 如何更安全地使用纳米材料? 如何让消费者获得充分的信息, 并赢得消费者的信任? 纳米技术有关的实验室和劳动场所应采取哪些安全措施? 等等。

二、国际上应对和解决纳米技术社会和伦理问题的措施

国际上对纳米技术的发展已形成一个理念——负责任地发展纳米技术, 即保持最大程度地促进纳米技术满足人类和社会紧迫需要的同时, 充分和合理地尽力去预见和减轻不利的影响或未曾想到的结果。[5] 在这样一个理念之下, 发达国家应对和解决纳米技术社会和伦理问题, 主要采取了以下几个方面的措施:

在国家政策层面, 出台相关的战略和政策文件, 为各方提供指导

大多数发达国家都出台了纳米技术社会与伦理问题的政策文件, 在指出纳米技术带来潜在利益的同时, 还指明纳米技术存在着人们还没有充分认识到的潜在的风险。2003 年, 美国国会制定《21 世纪纳米技术研究与发展法案》(公法 108-153), 专门设立有关纳米技术社会涵义的条款, 并于 2009 修订该法案, 大大扩充了纳米技术社会涵义的条款。NNI 发布了多个关于纳米技术社会涵义的重要文件。2004 年, 针对皇家学会和皇家工程院联合发布报告《纳米科学和纳米技术: 机遇与不确定性》, 英国政府出台了回应报告, 表示同意原报告中提出的建议。德国联邦教研部于 2008 年发布《纳米粒子, 小东西, 大效应: 机会和风险》, 讨论了阐明纳米粒子在健康方面的效应和风险。日本政府在第三期科技基本计划中 (2006-2010), 强调要促进社会对新技术的信任和接受, 鼓励研究人员要按照国际通行规则从事研究, 特别促进对纳米技术对社会影响开展全面和战略性的评估。澳大利亚于 2006 年发布《澳大利亚发展纳米技术中的环境、社会、法律、伦理方面的问题》。



2. 制订和发布伦理规范

2008年，欧盟发布《负责任地开展纳米科学与纳米技术研究的行为准则》，建议“成员国由行为规则设立的普遍原则指导，在实施国家的研究与发展战略，或者建立部门或机构的研究与发展标准时，遵循这些普遍的原则。”这些原则包括①有意义（meaning，研究对于公众是可以理解的）；②可持续性（Sustainability，研究是安全的、符合伦理原则，对可持续发展有贡献）；③预防（Precaution，研究活动要预知潜在的不利影响）；④广泛性（Inclusiveness，包含所有利益相关者，开放，透明）；⑤卓越性（Excellence，满足最好的科学标准）；⑥创新（Innovation，鼓励创造性和灵活性）和⑦负责性（Accountability，研究要为社会、环境和人类健康负责）。[6]

同年，英国皇家学会发布《负责任的纳米准则》，提出了七条纳米技术发展的7条准则：①广泛的责任性；②相关利益者介入；③工人的健康和安全性；④公共健康、安全和环境风险；⑤更广泛的社会、环境、健康和伦理涵义和影响；⑥与商业伙伴合作；⑦透明和信息披露。[[7]

3. 开展纳米技术社会与伦理问题的研究

美国NNI从一开始就设立专题，研究纳米技术的社会涵义问题。2005年开始设立关于环境、健康和安全性议题的研究，NSET还于2008年2月提出《NNI关于纳米技术相关的环境、健康和安全性研究的战略》，研究资助稳定上升，2010财年上升8800万（请求的），比2005年3500万增加到2倍多。关于教育、伦理和其他社会议题的研究预算2010年也达到3610万。[8]另外，2003年，美国NSF成立国家纳米基础网络（NNIN），“纳米技术伦理与社会问题”是其研究的重点领域之一；2005年，NSF在加州大学圣坦巴巴拉分校和亚利桑那州立大学建立社会中的纳米技术研究中心（Centers for Nanotechnology in Society），专门从事纳米技术与社会关系的研究与教育活动。

欧盟从第五个框架计划就开始就设立关于纳米技术社会与伦理议题方面的研究，表1是第七个框架计划中与纳米技术社会与伦理问题相关的项目。德国政府在2006年由联邦教育及研发部发布《纳米计划-2010年行动方案》，并设立NanoDialog项目，研究纳米技术的社会和伦理问题。英国经济与社会研究理事会2004年设立专门的项目：纳米技术——风险和可持续性（2004-2006）。

表1：欧盟框架计划资助的纳米社会与伦理方面的课题

框架计划	课题	承担单位	期限
第七			
框			
架			



计

划

为规范纳米科学和纳米技术负责任的发展而搭建国际各有关利益方对话平台 瑞士顾问公司 The Innovation Society 等 5 家机构 2008.5-2010.5

关于纳米科学和纳米技术出版物的网络目录、研究人员数据库和在线论坛，以公告并促进欧盟和 ICPC RTD 的网络联系 葡萄牙 Sociedade Portuguesa de Inovação 等 6 家机构 2008.6-2012.5

纳米医药的伦理、规范、社会和经济环境 英国基因利益小组等 9 家机构 2009.1-2009.12

开发在欧洲消费者市场的纳米技术审议进程平台 英国曼彻斯特大学等 6 家机构 2008.1-2009.6

基于科学的和经济专家对纳米技术分析的欧洲观测台 来自欧洲 8 个国家的 16 家机构 2008.4-2012.3

来源: Hullmann,A.2008 European activities in the field of ethical, legal and social aspects (ELSA) and governance of nanotechnology. European Commission,15-44

4.开展科学与社会对话

与生命科学技术和环境等领域活跃的局面相比，纳米技术领域的科学与公众对话才刚起步，一些国家开始了相关的活动，例如，2004 年意大利开展纳米技术公众调查，法国 2005 年开展关于纳米粒子对环境和健康风险的辩论，美国 NSF 建立了“在社会中的纳米技术”和“纳米技术非正式科学教育”网络。在这方面做的最好的是英国，2005 年，英国科学与创新办公室（OST，现改为政府科学办公室）资助成立了纳米技术参与组（NEG），目的是鼓励关于公众参与纳米技术的研究与实践，并协调纳米技术领域的科学普及和公众参与等活动。

三、中国纳米技术社会与伦理问题的研究现状

在纳米技术的社会和伦理研究领域，在安全性研究方面，中国科学界开展得较早，几乎与国际科学界同步，并取得了不错的成绩；在纳米技术的伦理、教育以及其他社会议题方面，中国学术界研究与国外差距较大，急需加强。

1.关于纳米技术安全性的研究

中国科学界对纳米技术的安全性问题关注较早，建立了专门的研究机构，多次召开相关的学术研讨会，取得了比较突出的成果。

2001 年 11 月，中国科学院高能物理所并开始组建“纳米生物效应与安全性实验室”。2003 年，纳米生物效应与纳米安全性开放实验室成立。2006 年 6 月，国家纳米科学中心—中国科学院高能物理研究所“纳米生物效应与安全性联合实验室”成立。自成立以来，该实验室在纳米材料对生物与环境的影响研究方面取得了重要的进展，根据 Science Direct 公布的世界毒理学领域的论文排行榜，从 2005 年第 4 季度至 2008 年 7 月，每季度都有该实验室发表的纳米毒理学论文进入世界前 25 篇最热门的论文，2007 年该实验室研究人员在美国出版了该领



域的第一本专著《纳米毒理学》(Nanotoxicology, 赵宇亮等), 2008年应邀为 Nature 系列的杂志撰写纳米毒理学方面的评述文章。[9]

在 2003 年和 2005 年, 国家自然科学基金分别设立了碳纳米材料的毒理学效应和纳米材料生态与环境效应的重大项目。“十一五”期间, 国家重点基础研究发展计划(973)和国家高技术研究发展计划(863)都设置有关于纳米材料生物的重大项目。中国科学院也在知识创新工程重大创新方向项目中, 设立了纳米材料应用安全议题的项目。

在学术会议方面, 近几年, 香山会议两次举办以探讨纳米风险为主题的会议, 国家纳米科学中心、中国毒理学会与中国科学院高能物理研究所合作举办了三次关于纳米毒理学与纳米安全的会议, 这些会议促进了纳米毒理学以及纳米生物效应、纳米安全性及评价等研究领域的学术交流, 使更多的人开始注意纳米这项新技术的风险和安全性问题。

2. 关于纳米技术的伦理、教育与其他社会议题的研究

在纳米技术的伦理、教育与其他社会议题研究方面, 中国学术界与国际差距较大。据中国学术期刊网络出版总库(CNKI)检索, 在 2001-2009 年间, 在伦理与社会议题方面(按篇名和关键词检索: 伦理+道德+规范+风险+社会影响+治理), 中国研究人员发表的论文不足 20 篇, 大多集中在讨论纳米技术的风险方面。根据 Web of Science 数据库检索, 在 1990 到 2009 年, 中国在纳米技术伦理与社会方面在 SCI、SSCI 仅发表了 7 篇相关论文, 居第 11 位, 位于美国(148)、英国(28)、德国(19)、法国(14)、瑞士(12)、加拿大(10)、日本(9)、澳大利亚(9)、韩国(8)和印度(8)之后, 与中国国际科学论文位居世界第二的地位很不相配。[10]

在纳米技术社会与伦理问题学术交流方面, 近年来取得一些进展。在 2008 年举行的第二届全国生命伦理学年会上, 首次把纳米伦理学作为一个专题。2009 年 1 月 14-15 日, 由英国研究理事会举办的中英研讨会“纳米: 治理与创新——社会科学和人文学科的任务”(Nano: Regulation & Innovation: The Role of the Social Sciences and Humanities)于在北京举行, 来自英国专家 9 名专家和中国 10 多名专家对纳米科技所面临的多重挑战和人文社会学家的作用进行了深入研讨。2009 年 11 月 29-30 日, 中国自然辩证法研究会科学技术与工程伦理专业委员会与国家纳米研究中心在大连联合举办了“纳米科学技术与伦理”的跨学科学术研讨会, 国家纳米科学中心首席科学家、清华大学物理系副主任薛其坤院士, 中国科学院大连化学物理研究所包信和院士, 中科院高能物理研究所赵宇亮研究员等 9 位从事纳米科学研究的科学家, 与国内生命伦理界和工程伦理学界著名的学者邱仁宗研究员和李伯聪教授等从事科学哲学、科学社会学和科技政策研究方面的 10 余名学者, 共同探讨了纳米科技的广泛应用前景和伦理规则在规避纳米技术风险中的作用。本次研讨会是科学家与人文和社会科学家之间就纳米技术的发展与伦理问题展开的第一次跨学科对话。这几次学术会议表明, 纳米技术的社会和伦理议题的重要意义已经在中国自然科学界和社会科学形成广泛的共识。

3. 小结: 成绩与问题

从纳米安全性问题受到重视, 到各种相关会议对这些问题的讨论与交流, 以及安全性研究的深入开展, 表明中国科学界和社会科学界对纳米技术这一新兴技术的伦理意识和社会责任感正在提高。



但是，关于纳米技术的社会与伦理议题的研究还存在着一些需要解决问题：（1）在纳米技术的宏观政策和学科战略上，社会与伦理议题的地位不高；（2）虽然中国比较早地开展了纳米技术的安全性研究，并取得了突出的研究成果，但在整体上，尚缺乏一个关于纳米技术相关的安全性研究的战略；（3）与纳米技术安全性方面的深入研究进行相比，中国在纳米技术相关的伦理、法律和其他社会等议题的研究十分薄弱，与国外差距比较大。

四、关于加强中国纳米技术社会与伦理问题研究的建议

对于 21 世纪方兴未艾的新兴纳米技术，与国际科学界主导思想一致，中国科学界认为应该负责任地发展纳米技术。正如白春礼教授在 2004 年主题为“纳米尺度物质的生物效应”的第 243 次香山科学会议上所指出的，纳米科技的发展不能走 20 世纪“先发展后治理”老路。在新世纪，我们需要“科学发展观”的新思想：在发展纳米技术的同时，同步开展其安全性的研究，使纳米技术有可能成为第一个在其可能产生负面效应之前就已经过认真研究，引起广泛重视，并最终能安全造福人类的新技术。”[10] 同样，加强伦理和其他社会议题的研究，有助于深入理解纳米技术带来的更广泛的社会影响，更有效促进纳米技术与社会得和谐发展，最大限度造福于人民。

为加强中国纳米技术的社会与伦理问题研究，本文建议：

1. 在国家宏观科技决策与咨询层面，开展关于纳米技术社会与伦理议题的政策咨询研究，为决策提供咨询；
2. 制定国家纳米技术安全性研究的战略，进一步促进纳米技术安全性方面的研究；
3. 在国家纳米技术的学科发展规划中，纳入伦理和其他社会议题的内容，使其成为中国纳米技术整体发展的一个有机组成部分；
4. 在国家科技部、国家自然科学基金委以及相关纳米技术研发计划中设立相应的伦理和其他社会问题的研究计划，制定研究议程，开展前沿性和应用性研究，培养研究队伍。
5. 大力向公众宣传科学知识，使公众者真正了解纳米技术、纳米材料及其与生活的关系，充分了解纳米技术的益处和可能的风险；同时，了解和认识公众对纳米技术发展的看法和意见，建立公众参与纳米技术研究发展的渠道。

参考文献

[1] [10]侯海燕 龚超 王国豫 路春婷.2009.国外纳米技术与伦理研究现状:科学计量分析.大连：“纳米科学技术与伦理”学术研讨会

[2] www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html



[3] Public Law 108-153, DEC 3 ,2003 www.ostp.gov/galleries/Issues/Nano%20Act%202003.pdf

[4] UNESCO. The Ethics and politics of Nanotechnology . 2006:14

[5] NRC.A Matter of Size: Triennial Review of the National Nanotechnology Initiative .2006: 73

[6] Commission of the European Communities. Commission Recommendation on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research .2008.7.2

[7] Responsible Nano Code .www.nanotechia.org

[8] NSTC. NNI Supplement to the president' 2010 Budget. 2009: 9.

[9] 纳米安全性：保证量子点安全应用的途径——纳米生物效应与安全性联合实验室研究工作取得重大进展 http://www.nanoctr.cas.cn/xwdt/yndt/200906/t20090604_490888.html

[11] 香山科学会议探讨纳米安全性 (2004-12-17)
http://www.cas.cn/jzd/kxhy/jxshyjb/200412/t20041217_1690181.shtml

Considerations on Strengthening China's Research

on the Social and Ethical Issue in Nanotechnology

Fan Chunliang

(Institute of Policy and Management,CAS 100190 Beijing)

With the rapid development of nanotechnology, more and more countries pay great attention to the social and ethical issues (SEI) of nanotechnology . This paper firstly elucidates the meaning and content of the SEI of nanotechnology , then discusses the measures with which the developed countries deal with the SEI. Based on the analysis of the current situation of research on the SEI in nanotechnology in China, this paper makes some suggestions for strengthening China's research on the SEI Nanotechnology.

