



纳米伦理: 研究现状、问题与挑战

王国豫, 龚超, 张灿

大连理工大学人文与社会科学学部, 科技伦理与科技管理研究中心, 大连 116024

E-mail: w_guoyu@hotmail.com

2010-08-08 收稿, 2010-10-26 接受

国家重点基础研究发展计划(2011CB933401)、国家社会科学基金(09BZX048)、辽宁省社会科学基金(L08BZX009)和大连理工大学人文社科科研重大项目(DUT10RW205)资助

摘要 20世纪90年代以来, 伴随着纳米科学与技术的蓬勃发展, 有关纳米技术的社会和伦理问题的研究悄然兴起并逐渐成为一门跨学科的研究领域. 本文主要从纳米伦理研究的兴起、纳米伦理研究的主要内容、以及纳米伦理研究所面临的挑战与应对等三个方面评述纳米伦理研究的现状、存在的问题以及未来发展的方向.

关键词

纳米技术
纳米伦理
风险
公众参与
全球治理

20世纪90年代以来, 随着纳米技术的迅猛发展, 有关纳米技术的社会和伦理问题的讨论也在国内外引起了广泛关注, 关于纳米技术与未来世界、纳米技术的可能性与可行性的争论不绝于耳: 一方面, 人们对纳米技术的前景充满了期待, 科技界和企业界更是将纳米技术看作是能够引领未来产业革命的核心技术; 另一方面, 种种关于纳米技术的担忧和顾虑与日俱增. 这些担忧包括纳米材料对人类健康和环境的负面影响, 纳米技术的利益与风险的公平分配, 纳米生物技术对人的隐私和自主权的挑战, 纳米计算机的自我复制以及由此带来的所谓“灰色黏质”可能毁灭世界的问题等等. 在这样的背景下, 一个新的科学技术伦理学的研究领域——纳米伦理应运而生.

1 纳米伦理研究的兴起

1.1 对纳米世界可能性的恐惧

对纳米技术伦理问题的关注和研究, 起源于人们对纳米技术的恐惧. 早在1986年, 美国的未来学家Drexler在他著名的《创造的发动机》(Engines of Creation)一书中, 就一方面描述了基于分子制造技术的纳米技术所带来的巨大变革和希望, 另一方面指

出了纳米技术隐藏着巨大的危险, 提出“创造的发动机”也可能是人类“毁灭的发动机”的假想: “可复制组装机和思维机器会对地球上的人类和生物产生根本性威胁. 今天的生物的能力离可能的极限还很远, 但是我们的机器进化得比我们更快. 在几十年内它们很可能就会超过我们. 除非我们学会如何安全地和它们共生, 否则我们的未来将既是令人激动的又是短暂的.”^[1] 2000年4月, 美国计算机工程师、太阳公司的创始人Joy发表了“为什么未来不需要我们”一文, 再次谈及纳米技术的可能危害和社会伦理后果, 特别是纳米技术与计算机技术、基因技术结合后所带来的巨大的毁灭性力量: “在基因工程、纳米技术和机器人(GNR)中的毁灭性的自我复制威力极有可能使我们人类发展嘎然而止. 自我复制是基因工程的一种主要研究方法, 它利用细菌的自我复制机制, 而主要的危险来自于纳米技术的灰质(gray goo)” (<http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>). Joy由此得出结论, 认为21世纪的技术——基因工程、纳米技术和机器人(GNR)的危险将远远超过包括核武器、生物武器、化学武器在内的大规模杀伤性武器(WMD). Joy的这篇文章在网上被广泛转载. “许多时

候,这篇文章被与爱因斯坦那封著名的反对曼哈顿计划的信相提并论”(http://qkzz.net/article/11096dc4-a8cc-474d-ae6c-9ca30f3a96aa.htm).很快,对纳米技术的恐惧、抵触和抵抗情绪在全世界蔓延.到了2000年底,美国《发现》杂志将纳米技术与生物技术、机器人技术等一起列为“21世纪的20大危险”之一(http://xn--gmq282eogn.cn/GB/guojij/25/95/20010102/368943.html).

Drexler和Joy关于自我复制的纳米机器人、纳米技术的“灰质”的想象也引起了一些非政府组织的关注.2002年3月6日,在加拿大注册的国际环保组织ETC(Action Group on Erosion, Technology and Concentration,简称ETC)发出了“纳米技术将我们引向深渊”以及“No Small Matter”的呼吁;2003年4月ETC再次引证说,已经有研究证明纳米颗粒将进入人体尤其是人的肺部,对人的健康带来威胁,并且警告道,纳米技术和生物技术结合而成的纳米机器人可能会失控,或成为“绿色黏质”(green goo),呼吁全球范围内暂停纳米技术的研究(http://www.etcgroup.org/en/issues/nanotechnology?page=3).

与此同时,绿色和平组织也在密切关注纳米科技的进展.2003年7月,绿色和平组织委托英国帝国理工学院生命科学院环境科学与技术系,环境政策与管理小组在著名的科学杂志《新科学家》上发表了题为《未来的技术,今天的选择》的研究报告.报告分析了纳米技术可能带来的危害,指出目前对纳米技术的社会和环境后果问题的研究严重滞后,呼吁政府和纳米产业界关注纳米技术的环境和社会伦理问题,认为如果纳米产业界不严肃对待公众关注的负面问题,最终将导致全面被禁的命运(http://www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/5886.pdf).

1.2 担心纳米科技的发展受到阻碍

纳米伦理研究兴起的另一个原因是因为担心纳米技术的发展受到限制或阻碍.20世纪90年代起,随着扫描隧道显微镜的成功研制和多种纳米结构物质,如碳60、碳纳米、量子点和纳米线等的成功合成和对其性质的研究,科学界和工业界都把眼光转向纳米技术,普遍认为纳米技术能够带来下一轮工业革命,带来未来生产方式和生活方式的巨大变革.2000年2月,美国政府正式启动了“国家纳米技术计划”(NNI).在最初的预算中,纳米技术的社会影响已

经被纳入规划.2000年9月,美国国家科学与技术委员会和纳米科学、工程与技术分会委托美国国家科学基金会组织了一个研讨会,就纳米技术的社会影响问题展开广泛的讨论.2001年3月,美国国家科学基金会的Roco和Bainbridge^[2]以《纳米科学与纳米技术的社会影响》为题编辑出版了这次讨论结果.其目的,正如Weil在“Ethical Issues in Nanotechnology”所述,一是考察纳米技术的风险,尤其是在公平公正、对个人权利和隐私的尊重方面可能造成的负面的社会影响,以增进参与决策的技术专家和政治家对纳米技术中的伦理问题的意识,促使技术政策的决策基于负责任的基础上,保证在加快纳米技术发展的同时减小其可能带来的风险;另一方面,提升研究及教育水平,通过对纳米技术知识的普及教育等工作的机制化,帮助公众全面认知和理解纳米技术及其社会影响^[3].报告从伦理与社会的视角给出了发展纳米技术的三条建议,并决定把对于纳米技术社会与经济的研究放在优先考虑的地位,成立国家纳米技术协调办公室(NNCO),建立知识基地和专门的机构,从近期(3~5年)、中期(5~20年)、远期(20年以上)来对纳米技术的社会伦理影响进行评估.

尽管国家纳米技术计划安排了专项资金用于开展对纳米伦理的研究,但在2003年以前,纳米伦理的研究还是没有引起足够的重视,纳米技术的伦理和社会影响的研究远远落后于纳米科学技术的飞速发展.Mnyusiwalla和Daar,Singer在“小心差距——纳米技术中的科学与伦理”一文中披露,2001年美国国家纳米技术计划(NNI)分配给纳米技术社会影响的研究经费在“1600~2800万美元之间,但是实际使用的还不到其中的一半”^[4].面对ETC组织等要求暂停对纳米技术的研究的呼声,Mnyusiwalla等认为,“避免停止的唯一方法就是立即缩小纳米技术与伦理之间的差距”,指出,如果纳米技术的伦理研究不迎头赶上的话,那么将会影响到纳米科学与技术本身的研究,纳米科技将会“慢下来”^[4].

在这样的背景下,2003年12月3~5日,美国国家科学基金会与纳米科学、工程、技术分委员会再次发布了《纳米技术:社会的影响——人类利益的最大化》的报告^[5].与此同时,英国政府也委托英国皇家学会和英国皇家工程院对纳米科学和技术的现状及未来的发展与影响进行了研究,并于2004年7月发表了《纳米科学与技术:机遇和不确定性》的报告,讨

论了目前和将来纳米技术的应用可能引起的健康、安全、环境、伦理和社会问题^[6]。

2003年开始,越来越多的社会组织、研究机构和包括哲学家、社会学家、法学家和科学家本身在内的许多学者开始关注纳米技术的伦理问题及其社会影响。2003年3月和10月,在美国的南卡罗莱纳州大学和德国的达姆施塔特技术大学分别召开了由哲学家和伦理学家与自然科学家、工程师共同参与的国际跨学科学术研讨会——“发现纳米尺度”,纳米技术的伦理问题成为这两次会议的主要议题。也就是在这次会议上,来自美国达特茅斯大学的 Moor 和澳大利亚查尔斯特大学的 Weckert 在题为“纳米伦理——从伦理的视角评价纳米尺度”的报告中,最早使用了纳米伦理这一概念。这篇报告后来被收录在由 Baird 等主编的文集《发现纳米尺度》(*Discovering the Nano-scale*)^[7]一书中。同年,在美国的加州州立大学,一个以纳米技术的伦理和社会问题为研究对象的独立组织——“纳米伦理研究组”(The Nanoethics Group)宣告成立。从此,“纳米伦理”这一概念悄然兴起。

2 纳米伦理的概念和研究现状

2.1 什么是纳米伦理?

纳米伦理是技术伦理学的一个分支领域。20世纪70年代开始,随着核技术、生物技术、信息技术等高新技术的蓬勃发展,技术对自然的干预已经深入到人自身,出现了许多前所未有的环境、社会和伦理问题,在某种程度上已经从“福音”走向其反面,变成了灾难。而传统的建立在个体伦理学基础上的一般规范伦理学,已经不能应对高新技术提出的伦理挑战。在这样的背景下,以技术和技术活动的伦理问题为对象,反思技术活动的伦理原则、规范和技术健康可持续发展的战略的新的应用伦理学学科——技术伦理学应运而生。鉴于技术伦理学以技术实践中的问题为指向,而各门技术的问题既有共同点也有差异,因此就出现了包括医学、生物学与基因伦理、计算机与网络伦理、核技术伦理、认知技术伦理以及纳米技术伦理等在内的不同的“部门”伦理或“专业”伦理^[8]。

最早提出纳米伦理这一概念的 Moor 和 Weckert 认为,纳米伦理的定义取决于纳米技术。“如果纳米技术指涉的就是简单的应用化学而不是其他的什么,那么,纳米伦理就是关于化学的伦理;或者,如果有

人认为纳米技术其实原则上不存在、仅仅是幻想的机制,那么关于纳米伦理的价值问题就是值得怀疑的”^[7]。为了避免在语词上的混乱和定义上的不一致, Moor 和 Weckert 建议将纳米技术理解为关于纳米尺度的物质,产品和方法。

然而困难在于,迄今为止,我们并没有一个关于纳米技术的确切定义。据联合国教育科学及文化组织(UNESCO)科学技术伦理处的统计,目前对纳米技术有几十种不同定义^[9]。德国学者 Schummer 从三个不同层面分析了现有的关于纳米技术的定义:第一,名义上的定义,或者说没有实质内容的定义。认为纳米技术是研究与操纵 1~100 nm 的物质,探究其新的性质并开发新的装置和性能的技术。第二,目的论的定义,或者说想象的定义。这一定义通过将来的目标来定义纳米技术。这些目标可以是健康、财富和安全等价值,如更小的电子元器件、更快的交通装备、更便宜的材料等。Drexler 以及其他科幻作家笔下的纳米机器人等属于此类定义。第三,实在的定义,或者说真实的定义。这种定义实际上是出现在政府研究计划、纳米研究中心以及相关学术杂志和会议中的与纳米技术相关的具体的研究课题的列表,包括诸如扫描探针显微镜、纳米粒子研究、纳米结构材料、生化传感器、靶向药物输送等在内的研究领域,其主要的特征是研究主题的多样性^[10]。澳大利亚学者 Sparrow 认为单数的“纳米技术”在一定程度上来讲是一种误称,这让人难免会认为它只是某种单一的技术,而实际上,它是一种多样性的技术的综合,涉及物理学、化学、生物学、电子学、材料科学等一系列与纳米尺度研究相关的各种技术,因此,将其称作“纳米相关技术”(nanotechnologies)更为合适,只不过包括从事纳米尺度研究领域的科学家、工程师等都已经习惯使用单数“nanotechnology”,但我们应将它理解成多学科的交叉与综合^[11]。

美国纳米伦理小组成员 Lin 和 Allhoff 为代表的一派主张将纳米伦理看作应用伦理学的一门独立的分支学科,并从较为宽泛的视角来理解“伦理”^[12]。在他们看来,纳米伦理是指由纳米技术引起的包括伦理、环境、医学、政治、经济、社会、法律等在内的诸多相关问题。另外一些学者对此则持中立的态度。例如,美国《新亚特兰蒂斯》杂志主编 Keiper 通过比较纳米伦理与生物伦理,指出二者最大的不同在于生物伦理探讨的问题很多都是现代生物技术领域经

过长期发展而涌现的问题,它的前提是现代生物技术已经发展到了一定的程度,而对于纳米伦理而言,由于纳米技术本身尚处于研究的早期阶段,很多纳米伦理探讨的主题也都仅仅是基于猜测和可能,就目前而言,还没有哪一门学科或技术在其发展的早期就受到如此多的关注与反思,因此将纳米伦理视为一门独立的学科还有待进一步的探讨^[13]。

诚然,纳米技术发展过程中涉及的相关具体的伦理问题,包括个人隐私、公正、人与机器的关系等,已经在技术伦理、生物伦理或医学伦理等学科中讨论过,从这种意义上来说,纳米技术并未引发新的独特的伦理问题,将纳米伦理作为一门独立的学科的提法有点夸大其词^[14]。但由于纳米技术作为“促能技术”或者新兴战略性技术中的核心技术,尤其是作为“汇聚技术”带来的伦理问题不仅超出了我们传统的认知范畴,也超出了传统的伦理规范体系,纳米伦理与一般伦理学、甚至与网络伦理、计算机伦理、生物医学伦理等现有的、基于人的现实行为(包括虚拟行为)或现存技术的其他专业科学技术伦理所面对的问题并不完全相同。纳米伦理与纳米科学技术一样所面对的还是一个可能的和未知的世界,所谓的纳米伦理问题在某种意义上还是一门关于未来可能世界伦理风险的可能的伦理。因此,无论是从所提出的问题还是在研究的方法论上来看,纳米伦理都为我们展示了一个技术伦理学的崭新的研究领域。

2.2 纳米伦理关注的焦点问题

(1) 纳米材料的安全问题。纳米伦理的兴起首先是因为纳米材料的安全问题。随着纳米科学和技术研究的进一步深入,纳米材料的安全问题逐渐引起人们的关注。2006年《自然》杂志发表了由Maynard领衔的14位一流的纳米毒理学专家提出的研究纲要。他们提出要在接下来的十五年里揭示出纳米材料与人类健康及环境的关系,包括开发出监测大气与水中纳米材料的装置;评估纳米材料毒性的方法;从纳米材料的生产、使用及最终的处理等一系列过程的预测与评估等^[15]。

然而,安全问题不仅是一个科学问题,而且首先是哲学、伦理学的研究对象。没有基本的安全,就不可能有好的生活,也不可能有自由、公正。早期功利主义的代表人物密尔就指出,有一项权利是社会应保护而使人人享有的,这就是安全。这种权利是人人

平等的,这是正义的最低限度的要求。这里所考察的安全首先是人的身体不受伤害、威胁以及基础设施的安全问题。由于纳米粒子的“无孔不入”,在研发、生产、储存、运输以及后处理过程中可能进入人体和环境,给人的健康和生态带来危害,因此,有关纳米粒子的毒性研究、危害和风险的识别、工作场地的选择和风险控制、工人对风险的知情问题,以及工人健康的医学保障等一开始就成为纳米伦理关注的话题^[16]。对此,纳米伦理从责任原则出发,强调科学家必须及时将有关纳米粒子毒性的研究情况告诉公众尤其是相关职业人员。在开发过程中,必须本着预防原则,制定切实可行的安全防范措施,注意保护工人的安全 and 健康。鉴于安全价值取向的多元性,还须考虑公众对纳米技术风险的认知、理解和可接受性,尊重工人对风险的知情权和选择权。此外,在关注人类健康和生命安全的同时,纳米伦理也关注纳米材料在环境中的释放对其他生物的生存环境所构成的环境安全问题。

(2) 纳米技术与个人隐私问题。纳米技术引人关注的另一个安全问题是个人隐私的保护问题。纳米器件具有非常广泛的用途,尤其是在医学、社会治安和国防等方面。但是另一方面,在对私人领域的侵犯和私人数据的保护方面,纳米技术也提供了前所未有的可能性。比如,可以把一个纳米发射器放在一个房间或者别人的衣服之中,以监视和跟踪一个目标,还有一些追踪监视设备可以被放进食物内,当人吞咽的时候,它就能进入到人体内任何需要的地方。随着纳米技术和无线发射器的发展,利用纳米器件捕捉信息,窥探特定的精神状态,例如愤怒和性兴奋,可能比较容易^[7]。

英国皇家学会在2004年出版的《纳米科学与技术——机遇和不确定性》报告中,描述了纳米技术与普适计算结合,可以将个人信息(如信用卡号)与特殊商品联系的可能性,这样有可能跟踪其购物商店和超市,逐渐增加对个人私人信息的收集^[6]。而可以储存一个人的全部基因和疾病信息的纳米芯片有可能成为被利用的工具,比如在劳资关系方面,成为企业用人歧视的理由或者成为保险公司限制患者自由的砝码^[17]。如此一来,纳米技术从保障安全和自由走向限制了安全和自由。由此引发出一个道德上的两难:我们究竟需要怎样的安全和自由?如何保障人的全面安全和自由?我们需要制定怎样的规范来限

制纳米技术被用于侵犯个人隐私?

Toumey 认为, 纳米技术对人的隐私侵犯的可能途径有 4 个方面: 1) 纳米技术的发展使得 DNA 鉴定涉及的隐私权和确定犯罪嫌疑人之间矛盾更加突出; 2) 纳米技术可以提高指纹鉴别的质量. 使用一种纳米粒子可以极大提高潜在的指纹鉴定. 但是即使这种技术被合法地使用, 我们不能保证指纹信息不会被滥用、误解和不正确地传播. 3) 纳米技术不仅仅可以提高指纹鉴别的质量, 还能够从指纹中推导出个人的生活信息和习惯. 但是谁将获得这些信息? 他们如何使用这些信息? 我们能保证这些信息不被误用和滥用吗? 4) 碳纳米管可以制造出真正的感应器, 包括生理感应器、化学感应器和生物感应器^[18].

最有争议的是纳米技术在脑科学方面的应用, 即通过在人脑中植入纳米器件以操纵、控制人们的行动^[6]. 如果纳米技术与脑神经技术的结合, 可以使得神经工程师能简单地“扫描”大脑, 读取大脑所有的必要的信息并将这些信息存储到一个“超级计算机”上进行分析, 那么我们所面对的已经不是一般的对人的行为的监控了, 而是对人的思想的监控和人的行为的操纵. 如果这样的事情允许发生, 那么, 我们还有多少私人空间? 人类还在多大程度上具有自主性? 人与机器的区别在哪里? 技术是人的存在方式, 技术的目的不是限制人的自由而是保障和发展人的自由. 纳米技术对人的自主性和自由的挑战已经超出了纳米技术伦理问题的范畴, 而促使人们更进一步地反思技术的目的、技术与人、技术自由与人的自由的关系.

(3) 纳米技术在医学中的应用. 纳米技术在医学领域具有广泛的应用前途. 从疾病诊断与筛查、到靶向药物输送、基因治疗. 虽然所带来的影响还很难预测, 但有必要研究其应用过程中的潜在伦理风险^[19]. Resnik 认为, 纳米技术的应用无疑加剧了有关风险的极小化、风险管理及面向公众的风险说明等通常出现在新药产品的临床实验中的问题^[20]. Schummer 指出, 纳米技术在医学领域可能带来的转变主要包括以下两个方面: 一是自我诊断及自动给药的设备的发展, 比如利用生物化学传感器来测量血液成分数据并计算自动注射所需的药物剂量, 这就涉及到责任主体的认定和对传统医学体系的挑战; 另一方面是从治愈疾病到超越健康水平的增强病人体质, 由此破坏了医学本身的伦理关切, 并占用了有限的

医学研究和治疗的资源^[10].

纳米技术在医学领域的应用中最引起伦理争议的问题, 是有关纳米技术在人类增强方面的应用. 所谓人类增强, 就是我们通过技术手段提高人的身体和心智的能力. 人们使用类固醇使自己变得更强壮, 用整形手术使自己变得更具有吸引力等等都属于人类增强的范畴. 借助于纳米技术, 人们不仅可以达到治疗疾病从而延年益寿的目的, 而且还可以使用药物来提高创造力、注意力、知觉等. 在未来, 纳米技术可以给人类提供一种植入物使人在黑暗中或者现在肉眼达不到的可见区域(例如红外)看见; “人造红细胞”可以使心脏病发作的受害者维持数小时的呼吸, 也可以让一个健康的运动员通过提供额外的氧气输送到其肌肉内, 从而提高其体能. 在不远的将来, 纳米计算机还可以嵌入到我们身体内部以协助我们更快地处理更多的信息, 甚至达到人机合一的程度.

很显然, 要想找到一个明确的界限来区别治疗性的和非治疗性的人类增强, 是很困难的. 一方面, 作为一个物种, 我们期望变得更强壮、更聪明以及更长寿, 增强不仅一直是人类的梦想, 而且也是人的自由权利; 另一方面, “即使在一个民主、自由的国家, 我们也明白规则对于提高我们自由的价值. ……规则不仅保护我们的权利, 而且创造一个有序的过程”^[21]. Ebbesen^[22]认为, 人类能力的增强以及纳米结构和纳米机器植入人体后引发的超能力均涉及到超人类主义问题, 这类问题逾越了人类以及伦理学的限制. Hassoun^[23]从环境伦理学的视角来看待纳米技术引发的人类增强的问题, 认为对这个问题在道德方面的考察源自对人类作为一个物种的保留这一问题的关切. 他指出从物种的美学价值来看, 人类同其他物种一样具有美学价值, 纳米技术所带来的人类增强改变了人类的这一价值是不容许的; 同时人类还具有生态价值, 基于纳米技术的人类能力增强有可能破坏整个生态系统, 因此从道德上来说通过这种增强来改变人类这个物种也是不容许的. Lin 等人^[21]认为, 人类增强的问题, 主要涉及对于人的意义的再思考, 因为人作为遗传与环境作用下的一种存在, 难免受制于种种局限, 我们是否可以利用技术来弥补与他人天生具有的差异? 我们又能否利用技术来使我们自身获得超越他人的能力呢? 如果对人类增强问题不加以限制, 不仅可能会引发“增强后分化”的不平等问题等, 而且诸如赛博格(Cyborg)、生命

产品(Biofact)等技术的进一步发展将模糊人与机器、生命体与人工产品之间的界限,使得我们关于人与自然的基本概念发生动摇,什么是人、什么是自然等问题将变得不再是不言而喻的了。

(4) 纳米技术在军事上的应用。纳米技术在军事上的广泛用途是世界各国推动纳米技术与开发的一个重要动力。无处不在的纳米传感器、纳米机器人、纳米隐形材料等对于提高军队装备,包括衣服、盔甲、武器、个人通讯等具有重要的作用。比如说,集中纳米技术的优点制造出的既轻便又舒适的战斗服,不仅能像变色龙一样改变颜色,和周围环境融合起来,而且还具备防弹、防范生化武器的功能,可以达到保护士兵生命的目的;远程自动化和远程通讯设备可以代替军事人员帮助他们完成危险与复杂的任务,尤其是机器人在战场上或者在海上都具有重要的作用;而在提高人的能力包括体力和智力方面,纳米技术同样能起重要作用。比如可以制造一个类似人脑的机器用一个芯片植入脑中与人脑连接;通过视网膜的植入增强视力和通讯能力;增强人体生物医学的合成能力以弥补人类缺乏睡眠带来的不足等等。纳米技术在以上几个方面的应用还主要以防御为目的。从进攻主要是纳米技术在武器方面的应用来看,包括更具有穿透性、伪装性和精确定位功能的导弹;携带武器装备的大型或者小型机器人,包括生物技术的混合体。纳米技术将一方面使得弹药胶囊的释放更加安全,并更加准确地定位目标;另一方面,纳米技术使对目标的监控将更快、更灵敏和具有选择性(www.nanotec.org.uk/evidence/93cAltmann-EuroParlMilitary%20NT.pdf)。

对于伦理学来说,战争问题或者军事问题始终是一个棘手的问题。从和平主义的立场出发,无论什么样的战争都不能得到伦理辩护。那种认为为了挽救更多的无辜的生命的战争是正义的战争的观点,在现代战争中,由于无法非区分平民与武装人员,而事实上陷入悖论^[24]。从现实出发,军事伦理学主要关注的是战争的目的和手段以及战场中的武器的使用问题。而纳米技术武器的毁灭性功能可能是一般的大规模杀伤性武器所不能比拟的。在这种情况下,什么样的机制能够更好地保护人类的生命以及如何保护士兵,尤其是他们作为人的自主权和尊严的问题,是军事伦理学所面对的重要问题。此外,由于纳米技术的微型化趋势,特别是所谓“蚊子导弹”、“苍

蝇飞机”、“间谍草”等等的出现,使得这些武器的交易变得更隐蔽,恐怖组织获得这些武器的可能性也增加。一旦具有高杀伤力的纳米武器落入他们之手,其结果将不堪设想。

(5) 纳米技术利益与风险的公正分配问题。纳米技术作为新兴战略性新兴产业中的核心技术,无疑会带来巨大的经济和社会效益。但是,正如每一次新技术的出现都会导致效用价值和分配公正的冲突,纳米技术同样如此。例如以纳米生物技术为基础的医学治疗十分昂贵,以至于只有富贵阶层才能承担得起;以纳米技术为基础的装置设备需要大量的知识技能,只有受过教育的精英人士才能获得好处。其结果是只有社会的一小部分人能够从纳米技术中获益^[25]。

纳米技术无疑将会带来生产率的极大提高。纳米产品或者纳米制造业所带来的将是全新的生产方式,这样一来,现在许多制造技术将被纳米制造方法代替,这就意味着许多旧的非专业的劳动力被淘汰,大量的工人失业。也就是说,大量的中下层劳动力将会为纳米技术的产业化付出。而纳米技术所带来的利益却与他们无关。如果没有切实有效的法规和政策保障工人的权利,纳米技术将会加剧社会的相对贫困化^[26]。这不仅关系到社会公正问题,也关系到纳米技术的可持续发展。

如果没有公正的分配制度,巨大的经济效益将会变成巨大的社会问题,不仅在一个国家内部会造成巨大的贫富分化,而且会带来国与国之间、尤其是发展中国家与发达国家之间的“纳米鸿沟”^[27]。因为纳米技术的大多数专利和知识产权都掌握在几个主要的发达国家和大的跨国公司手中,这就使得发展中国家发展纳米技术的成本大大提高,这里涉及到的是纳米技术知识产权和专利的公正问题^[28]。Maclurcan认为“纳米鸿沟”将会导致南半球的国家在全球纳米技术创新中落后,因为南半球国家的纳米科学技术的研发能力较低,会遇到传统的障碍和纳米技术本身带来的新障碍^[29]。当然,纳米技术同样给南半球的国家提供了在全球创新中发挥重要作用的机遇。

Grunwald提出在纳米技术的公正问题上要区分代内公正和代际公正的问题。他认为纳米技术有可能通过节约物质资源,缩小对环境有害的副产品的影响范围,提高能源转化效率,减少能源消耗等,促进代际公正。当然,鉴于目前纳米技术在许多方面还处于

初级研究阶段,我们只能说纳米技术具有潜在的可持续性。但是对于代内来说,纳米技术更多地加剧了本来存在的分配不平等,因为纳米技术虽然可以提供更多的自由选择的机遇,但是这种机遇建立在个人的物质财富基础上,而国与国之间的经济竞争也会更加激烈。所以说,纳米技术将加剧代内的不公正^[17]。

德国斯图加特大学的 Renn 教授和美国国家基金会的 Roco 等人^[30]更关心纳米技术的风险和利益分配中的公正问题。指出,纳米技术的风险包括对科研人员的身心、心理和社会可能带来的伤害,以及对环境的可能影响等诸多方面。目前,不仅公众往往对这些风险的存在并不知情,即便科学家和工程师往往也忽略了技术风险的存在,而对于风险和利益分配中的公正问题,我们还缺乏研究,相关的政策法规也很不完善。

3 纳米伦理所面临的挑战与应对

伦理学是关于“应该”的科学。纳米伦理以纳米技术和技术活动中的伦理原则和道德规范为研究对象。然而,纳米技术在很大程度上还是一个正在发展中的可能性技术。从预防原则以及前瞻性责任原则出发,纳米伦理应该与纳米科学技术的发展同步,但是,面对纳米技术后果的不确定性,如何评价它的善恶,什么样的行为是伦理上可行的?我们判断纳米技术的伦理可行性的标准是什么?我们应该制定怎样的负责任的纳米技术发展战略等等,所有这些都构成对纳米伦理的重大挑战。

3.1 纳米技术的不确定性

纳米伦理以对纳米技术的目的、过程与后果的评估为基础。但是,纳米技术在某种意义上是一种不确定性的技术,且这一不确定性与我们通常所讲的技术发展的不确定性有本质的区别。通常我们讲的技术不确定性指的是技术系统在外界干扰(包括时间与空间以及行为者)的情况下可能存在的变量。而纳米技术的不确定性具有多重含义。首先是有关纳米技术的定义就不确定。纳米是一个尺度概念,以尺度为单位的定义融合了学科之间的界限,直接导致了研究方法的不确定性。今天,几乎所有的学科都有纳米的踪影,人们可以从不同的学科、不同的角度研究纳米。但是,正因为纳米微小到无处不在,人们也很难完整地认识它的特性。纳米研究应该是跨学科

的研究,但是真正意义上的学科整合还面临着许多方法论的瓶颈。纳米技术学科的不确定性构成了对传统的研究方法的挑战。其次,纳米技术的应用目的和结果的不确定性。纳米技术几乎可以应用于从航天航空到日常生活的任何领域。与传统的技术直接导致终极目的的特征相反,纳米技术的目的性并不明确,因而它也被看成是一门促能技术(enabling technology)。促能技术的意思是使不可能的变成可能,使可能的但不完善的变得更完善。它的本质性特征是中介性,即它本身既不是一个终极产品也不是一个特定的过程。作为新兴产业中的核心技术,它的应用可能性的范围很广,尤其是它与信息技术、生物技术和认知技术的结合形成的所谓“汇聚技术”(converging technologies),其发展的方向和结果究竟是怎样还很难预测。在这样一种目的和结果都不明确的情况下,对纳米技术的评价实际上意味着对可能性进行评价。再次,纳米技术的社会伦理后果的不确定性。和所有的新技术一样,纳米技术不仅带来的是生产方式的改变,而且还将带来生活方式甚至思维方式的改变。然而,虽然市场上已经有了一系列纳米产品,但是距离真正的纳米技术时代还相差很远,今天我们关于纳米技术的社会伦理后果的考量更多地是基于想象(“vision”)和可能。而既然纳米技术还是属于未来的技术,那么所有的可能性都是可能变成现实的,我们还不能确定它会带来怎样的社会伦理问题。

这些不确定性构成了对纳米伦理的极大挑战:即我们如何可能用今天的知识、规范和评价尺度去衡量潜在的、未来的技术,未来的技术活动?如果我们既不能用逻辑推理,也不能用经验论证的方法去评价纳米技术的后果^[17],而即便那种基于模拟的情景评价方法也同样是从现有的知识和规范模式出发的,那么,我们伦理评价和论证的合理性基础是什么?如何能令人信服?事实上,目前所有的关于纳米技术的“vision”和评价,无论是悲观主义的还是乐观主义的都存在着这样的问题。

我们面临的不仅是知识的困境,而且遇到了道德上的二难:一方面我们不能等到纳米技术完全成熟、当问题发生且不可逆转的时候进行评价并制定相应的规范;另一方面,对一个还不确定的 vision 进行伦理评价甚至道德规范,同样也面临着“道德风险”^[31]。因此,伦理学面临的是不仅不能回避评价和

规范的问题,而且还必须找到合适的方法,为自己的理性评价辩护。

但是,这样说并不是认为我们就可以无为或者无所作为了,更不能成为反对技术伦理可能性和重要性的根本理由^[17]。因为无为本身是对我们应该承担的责任的逃避。而技术后果的不确定性不仅不是反对伦理反思的理由,而且更加证明了它的必要性。因为风险活动涉及到人的生命和财产安全,在知识和经验无法帮助我们找到行为的界限的时候,确定行为的伦理框架就显得尤为重要。

Grunwald 认为,对于某些形式的技术发展的目的和技术活动的手段,我们可以不需要基于对技术后果的预测进行伦理反思。对于有些特定类型的技术,我们也可以根据其结构原则对其后果进行分析^[17,32]。目前针对纳米技术的不确定性的评价和规范基本上有3种方法:

(1) 前瞻性评价。即根据纳米材料和纳米技术的特征预测它可能的结果。迄今为止我们所讨论的纳米技术的可能性,包括正面的和负面的,一般都是基于这样的方法。这一方法对于评价纳米粒子对健康和环境的风险,从而制定相应的风险防范措施起到了重要的作用。

(2) 过程追踪性评价。主要通过对具体的纳米技术应用实例与现有的其他产品和过程进行比较的方法进行评估。德国卡尔斯鲁尔技术系统与技术后果研究所的研究人员在这方面进行了一系列的研究,比如将基于溶胶和凝胶技术的纳米涂料与水性、溶剂涂料和粉末涂料进行比较,将碳纳米管催化剂与氧化铁催化剂的生态影响进行比较,以确定纳米技术带来的潜在的生态方面的后果(<http://www.itas.fzk.de/tatup/042/stei04a.htm>),采取相应的防范措施。

(3) 建构性评价。建构性技术评估的理论前提是,技术的形成和发展是多种力量多重行动者共同构建的。如果我们把纳米技术的发展看作是一个从基础研究到技术开发、生产、使用和后处理这样一个过程,那么,在这个过程中涉及到不同的阶段不同的责任主体。强调对于不同的阶段分别进行评估并且发展出不同的阶段性预防措施,是这一评价方法的主要特征。Steinfeldt 认为,研究阶段预防的可能性空间最大,随着技术的逐渐成形,人们能够避免负面效应的可能性和采取措施干预的空间越来越小(<http://www.itas.fzk.de/tatup/042/stei04a.htm>)。美国科

学家和社会学家 Guston 和 Sarewitz 也在对纳米技术的风险进行评估方面发展了一种“实时技术评估”(real-time technology assessment, 简称 RTTA)的技术评估模式。该模式的特点是,从一开始就把社会科学与自然科学和工程研究的相关政策研究结合在一起,并且特别注重的不是技术本身的危险性及其防范,而是公众对技术后果的可接受性。RTTA 模式包括4部分内容:(i) 类比案例研究(Analogical Case Studies)。主要是通过研究过去已实现转型的技术创新的案例并与纳米技术的现状进行对比,从中归纳出应对纳米技术风险的战略。比如,通过研究转基因食品的案例,可以有助于我们预测公众对纳米技术的可接受性。(ii) 制定研究方案(Research Program Mapping)。即分析相关创新企业的资源和能力以确定重要研发趋势、主要参与者及其作用、组织机构和他们之间的关系。通过现有的研究方案的制定可以反映和评估不同地区和国家纳米技术的研发状况和水平。(iii) 沟通与预警(communication and early warning)。通过建立包括科学家、社会学家和伦理学家在内的跨学科的纳米技术研究中心,举办专业研讨会、公众听证会和公民共识会议,了解利益相关者对纳米技术的认知、观念和态度。(iv) 技术评估和选择(Technological Assessment and Choice)。从科学、伦理、社会、法律和政治的视角出发,分析和评估纳米技术潜在的社会影响,以期形成研究战略和目标,并使得纳米技术的发展更大程度地与公众的期望相吻合^[33]。

所有这些评估方法的一个核心内容都是强调改变以往回溯性的技术评估模式,从责任原则出发,对技术的应用范围进行前瞻性的、引导性的评价和估量。事实上,如果我们不拘泥于伦理学仅仅是对技术活动的结果进行道德评价,而是“转变范式”^[34]真正参与到技术对社会的建构中去,对其可能的发展方向及其可能性的条件进行前瞻性的评估,那么对纳米技术的道德评估不仅可能,而且应该。

3.2 公众对纳米技术的认知和公众参与问题

鉴于纳米技术的不确定性和面向未来的特征,以及社会价值观的多元化,我们很难就纳米技术的发展找到一个公正的、能够反映各方意见的技术发展战略原则。另一方面,从纳米技术对未来社会的影响看来,纳米技术将决定着我们的未来。从社会正义的伦理原则出发,只有广泛吸收社会各界参与有

关纳米技术的讨论,使公众参与到对纳米技术发展的决策中去,纳米技术的发展才是道德上可以得到辩护的.首先,公众有权了解纳米技术对其生活和未来的社会影响.目前,无论是在中国还是在海外,纳米技术基础研究和开发的经费主要来源于国家财政.作为纳税人,公众有权利知道这些研究的发展方向,有权利参与纳米技术的公共政策制定.其次,纳米技术不仅可能带来巨大的经济和社会效应,也可能带来巨大的生态和健康风险.鉴于价值追求的多元化,人们不得不考虑,消费者和公民是否愿意接受纳米技术以及带来的风险?此外,现代高科技所带来的利益与风险的分配是不对称的,即通常是少数一些人收获经济利益,而大部分人却要为此承担生态和健康风险.从权利与义务、风险与利益分配的正义主张出发,公众有权利全面了解纳米技术的社会后果.再次,欧洲与美国的经验已经证明,离开了公众的支持,纳米技术很难持续、健康地发展.“没有认真的沟通工作,纳米技术可能会面临公众不公正的消极对待.……公众对纳米技术的信任和认可对纳米技术的长期发展至关重要,使我们可以得到潜在的利益”^[33].尽管从总体上看,中国公众大部分对科学技术还抱有积极乐观的态度,但是,从媒体上有关转基因水稻大面积种植所引起的讨论和抵制的情况来看(<http://www.wyxxsx.com/Article/Class4/201001/124069.html>等),人们对技术的知情权和参与选择权的要求越来越高.

从 STS 的视角来看,科学技术知识的生产同时也伴随着社会秩序和社会生活方式的生产,而社会秩序和社会生活方式也同样影响着科学技术知识的生产.所以,知识生产绝不仅仅是科学家和工程师的事情.正如 Jasanoff 指出的那样,知识及其物质体现是社会制造的产物,同时,知识及其物质体现也构成了社会生活的形式.自然知识和知识得以生产的社会秩序是互相内嵌、共同生产出来的^[35],因此,无论如何,对纳米技术的伦理评价或道德决策都不应该仅仅限于科技专家内部或者科技职业责任伦理范围,把公众排除在外,而应该在整个公共伦理空间实施^[36].纳米技术不仅应该由社会公众参与“共同生产”,而且也应该由社会公众一起共同承担对社会与未来的责任.

然而,纳米科技是一项十分复杂的高科技.无论是在欧洲还是在美洲,或者在中国,公众对纳米技术

的认知还十分有限,这对于公众参与对纳米技术的意见构成了严峻的挑战.

在这样的背景下,公众有权要求科学家公开、透明全面地阐明纳米技术的利弊.这是公众的权利,也是科学家的伦理责任. McGinn 认为,科学家与工程师对纳米技术的伦理责任包括 4 个方面: (1) 不要在工作中做任何她或他知道(或应该知道)将会造成(或创造出不合理风险导致)对他人或公共财产的伤害; (2) 努力保护可能被她或他的工作(或许还包括其同事、所在组织的工作)影响到的群体. (3) 警示可能被此类工作影响到的群体,告知这些人他们正处于受伤害的风险中,即使警示人并不是当事者或没有能力阻止. (4) 对于那些受雇于某个组织或牵涉到某个客户的科学家和工程师,应该在工作中竭尽所能地维护其雇主或客户的合法利益(http://sei.nnin.org/doc/NANOTECHNOLOGY_AND_ETHICS_GUIDE.pdf).

Pidgeon 以纳米技术对健康方面的影响为例探讨了公众对纳米技术的参与问题.指出,这是一种“上游的”参与,即在研究尚未取得进展,以及确定的公众态度尚未形成之前的公众参与,它并不简单的采用过去公众参与所遵循的分析的慎重的过程,而是需要设计出有关风险的讨论和风险传播的形式,从而引出有关价值与未来发展的讨论^[37]. Stebbing 强调公众的参与应该体现分层次的梯度原则,如通过组织座谈小组、特别任务组及咨询委员会等形式,让公众参与到纳米伦理问题优先解决方案的辩论中,而特别任务组可以在研究人员、决策者和社会团体中起到重要的调节作用;通过论坛的形式可以为不同意见的公众表达其观点创造机会^[38]. Bowman 等人指出开放和透明的政策协商以及广泛的公众讨论将在保护公众的利益、获取公众对于纳米技术的信任和接受等方面起到关键的作用^[39]. Renn 和 Roco 认为,为了让公众更好地参与,应该设计一个有效的风险沟通方案.这一方案需要考虑与风险相关的区分:一方面是人类健康和生物系统,另一方面是基础设施建设(生物系统的环境).相应的沟通策略包括: (1) 应能启发有关利益和风险以及确定和量化这些风险的方法的讨论.沟通工具是基于科学研究文献、因特网、产品标签、新闻公报、消费者热线以及其他类似的工具. (2) 应能指导从伦理学、社会学视角所进行的对于纳米技术应用的可行性的广泛讨论. (3) 提供公开的信息,这些信息包括测试纳米技术产品的原理和

程序,评估潜在的健康和生态影响,告知公众在研发和产品中的投资政策.如果有人能确保政府当局对新技术予以特殊关注以保护公众免遭新技术的不可预期的影响,那么公众就会对社会控制风险和后续的不确定性的能力报以更多的信心^[30].

在沟通科学与公众,促进公众对纳米技术的认知方面,人文和社会科学家可以发挥重要的作用.一方面,他们是受过专业训练的公众利益的代表,并能够作为纳米技术专家和公众或者政府官员之间沟通的桥梁和中介者,他们的意见有助于将纳米技术的社会效益最大化并同时减少公众争议的可能性^[33];另一方面,哲学和伦理学还具有重要的反思功能.如果我们不认为任何一项技术的发展是必然的、决定论的,那么,我们就不能不反思这项新技术将会对人类产生什么影响.反思什么是幸福的生活?这项新技术对幸福生活的实现会有影响吗?我们需要什么样的社会?这项新技术是如何关涉该类社会等问题.对新技术进行严格的评判,可以扩大人们思考的视域,为公众做出一个明智判断和选择提供新的视角.

3.3 纳米技术的全球治理

在技术和经济全球化的今天,纳米技术的伦理问题亦如能源问题、环境问题以及生物技术的伦理问题一样,不是基于一个国家的力量所能解决的.全球性的问题呼唤着全球治理.

“治理”(governance)源自拉丁语“gubernare”或者希腊语“kybernan”,原意为驾驶、掌舵、导航,后用于国家、社会的政治系统或者私人的和公共组织系统的管理和调节.在涉及到政治事务时经常与“统治”(government)一词交互使用.世界银行在1989年首次使用了“治理危机”(crisis in governance)一词.但现今治理已经超越政府运作范围,而强调权力关系、组织制度和公共事务管理等层面^[40].Messner认为,治理即“为了应对全球性挑战和解决跨地区持续出现的问题,发展一种国际合作的新的机制和制度与调节体系”^[41].与政府统治相比,治理的内涵更加丰富,它既包括政府机制,同时也包括非正式的、非政府的机制;它们虽未得到正式授权,却能有效发挥作用.它不是一整套规则,也不是一种活动,而是一个过程.治理过程的基础不是控制,而是协调;治理既涉及公共部门,也包括私人部门;治理不是一种正式的制度,而是持续的互动^[42].

纳米技术的全球治理强调的是谨慎而负责任地发展纳米技术,促进纳米技术在社会伦理规范的框架下健康、可持续地发展.目前,联合国教科文组织以及美国、欧盟、加拿大等主要发达国家都针对纳米技术的伦理问题制定了相关的政策建议,如联合国教科文组织2007年发布了《纳米技术与伦理——政策及其行动》的报告;欧盟2008年推出了《关于纳米材料的法规问题》的报告等.但实际上,由于纳米技术等新兴技术被认为能够全面提升一个国家的经济、技术和军事的竞争力,各国从各自的利益出发,都在极力推动这些技术的研究和开发,因此有关纳米技术法规政策的制定仍然存在着诸多值得关注的问题.Schummer提到至今尚未在任何国家制定针对纳米技术的特定的法律框架,而实际上这涉及到许多法律问题,例如职业健康与安全、环境保护、消费者权益保护、医药法规、隐私及公民自由、知识产权保护等.法律作为实现公正的手段,应充分考虑像纳米粒子的潜在毒性等问题,以此保护人类的健康与环境;在知识产权保护与公众利益之间也应保持一种适当的平衡关系.而一旦国家之间与纳米技术相关的法律框架存在不同,就不可避免地会导致国际间合作研究的障碍,以及全球纳米技术风险与利益分配不公等问题.因此,有必要在一定的国际法体系下,就纳米技术发展中的某些基本的标准、原理达成一致意见,实现各国相关法律体系的协调^[43].

Roco在“纳米技术的全球治理的可能性”(http://www.euronanoforum2007.de/CD/files/P2-Possibilities%20for%20a%20global%20governance%20of%20nanotechnology..pdf)一文中,分析了在纳米科技全球治理方面取得的进展,并提出未来全球治理的可能性.作者把2000~2020年间纳米产品及其可能的潜在发展划分成互有重叠的4个阶段:即开发被动式的纳米结构、主动式纳米结构、纳米结构系统以及基于原子设计的分子纳米系统.进而提出了全球治理的框架结构.这一结构包括:(1)支持变革的影响,包括投资政策和创新;(2)推进负责任的发展,包括卫生,安全和道德问题;(3)鼓励国家和全球伙伴关系;(4)致力于对人类长远发展负责任的规划.Roco指出,目前在纳米技术牵涉到的人类利益的问题上,特别是在第三、第四代纳米产品上,尚未达成国际性的一致意见.与纳米技术相关的国际贸易活动在关键领域并未建立起来,在发展纳米技术的国家之间、在实施纳

米技术战略的国家之间以及将受到纳米技术影响的国家之间(这类国家没有前面两类国家发展纳米技术的基础设施以有效应对技术的发展)的控制和权力的水平都存在差距^[30]。当前还没有一个全球层次的国际性的纳米检测和监管的框架协议,相关的纳米技术的标准化规范还有待建立。

鉴于纳米技术伦理风险的跨学科和全球化特点,只有在对纳米技术的伦理问题深入反思的基础上,制定全球性的能指导纳米技术发展的伦理原则,促进成员国和公众对于纳米技术伦理问题的讨论,才能真正推动纳米技术风险的“善治”。对纳米技术的伦理反思和全球治理并不是拒绝和反对纳米技术的发展。相反,如果没有一个全球治理的框架协议,将导致纳米技术发展中的恶性竞争,从而最终阻碍技术的发展。

2007年,联合国教科文组织科学技术伦理处下属的世界科学知识和技术伦理委员会(COMEST)公布了有关纳米技术与伦理的政策建议。建议对伦理问题探讨的行动方案分为三个阶段:第一,联合国教科文组织设立跨学科的专家组,对伦理层面的问题做出辨析;第二,检验潜在的国际间行动的相关性;第三,提升潜在行动的政策可行性,在国际合作的基础上形成跨文化的纳米技术伦理框架协议,成立国际技术与伦理委员会,为包括纳米技术、信息技术、

生物技术以及认知技术在内的汇聚技术的全面治理,提供一个永久的平台。

4 结语

由于纳米技术本身非常复杂,涉及的学科门类很多,关于其引发的伦理问题的研究还有待于深入。从目前国内外的研究状况来看,在哲学层面的反思还不够,更多地还是基于社会学视野的安全与风险分析。另外,从整体上来看,有关纳米技术伦理与社会问题的研究还远远滞后于纳米技术自身的发展。我国在纳米伦理领域的研究还刚刚起步,在国际上几乎还没有我们的声音,公众对纳米技术伦理问题的意识还几乎没有形成,公众对纳米技术本身的了解还很不够。Drexler的预言似乎有些危言耸听,但是,他提出三个问题却是十分严肃的:什么是可能的,什么是可实现的,以及什么是我们想要的?今天,纳米科技不仅将可能的逐步转化为可实现的,而且正在不断超越自然法则的限制,开拓新的可能性。问题是,什么是我们想要的?是否所有的可能性都应该变成现实的?谁来决定我们想要什么,什么样的可能性应该转变为现实性?一句话,我们的未来应该如何?谁来决定我们的未来?这些不仅是纳米伦理学应该反思的,也是我们每一个人应该思考的问题。

参考文献

- 1 Drexler K E. *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. New York: Anchor Press, 1986
- 2 Roco M C, Bainbridge W S. *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001
- 3 Weil V. Ethical issues in nanotechnology. In: Roco M C, Bainbridge W S, eds. *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 244–251
- 4 Mnyusiwalla A, Daar A S, Singer P A. “Mind the gap”: Science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology*, 2003, 14: R9–R13
- 5 Roco M C, Bainbridge W S. *Nanotechnology: Societal Implications I —Maximizing Benefits for Humanity*. Berlin: Springer, 2006
- 6 Royal Society and Royal Academy of Engineering. *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*. London: Royal Society & Royal Academy of Engineering, 2004. 53–54
- 7 Moor J, Weckert J. Nanoethics: Assessing the nanoscale from an ethical point of view. In: Baird D, Nordmann A, Schummer J, eds. *Discovering the Nanoscale*. Amsterdam: IOS Press, 2004. 301–310
- 8 Pieper A, Thurnherr U. *Angewandte Ethik. Eine Einführung*. C. H. Beck Verlag München, 1998. 4
- 9 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation. *The Ethics and Politics of Nanotechnology*. Paris: UNESCO, 2007
- 10 Schummer J. Identifying ethical issues of nanotechnologies. In: Henk A M J, ed. *Nanotechnologies, Ethics and Politics*. Paris: UNESCO, 2007. 79–98
- 11 Sparrow R. The social impacts of nanotechnology: An ethical and political analysis. *Bioethical Inquiry*, 2009, 6: 13–23
- 12 Allhoff F, Lin P. What’s so special about nanotechnology and nanoethics? *Int J Appl Philos*, 2006, 20: 179–190
- 13 Keiper A. Nanoethics as a discipline? *The New Atlantis*, 2007, spring, 55–67
- 14 Grunwald A. Nanotechnology—A new field of ethical inquiry? *Sci Eng Ethics*, 2005, 11: 187–201

- 15 Maynard A D, Aitken R J, Butz T, et al. Safe handling of nanotechnology. *Nature*, 2006, 444: 267–269
- 16 Schulte P A, Salamanca-Buentello F. Ethical and scientific issues of nanotechnology in the workplace. *Environ Health Perspect*, 2007, 115: 5–12
- 17 Grunwald A. *Auf dem Weg in eine nanotechnologische Zukunft*. Verlag Karl Alber, Freiburg / Muenchen, 2008
- 18 Toumey C. Privacy in the shadow of nanotechnology. *NanoEthics*, 2007, 1: 211–222
- 19 Spagnolo A G, Daloiso V. Outlining ethical issues in nanotechnologies. *Bioethics*, 2009, 23: 394–402
- 20 Resnik D B, Tinkle S S. Ethical issues in clinical trials involving nanomedicine. *Contemp Clin Trials*, 2007, 28: 433–441
- 21 Lin P, Allhoff F. Nanoethics and human enhancement: A critical evaluation of recent arguments. *Nanotechnol Percept*, 2006, 2: 47–52
- 22 Ebbesen M, Andersen S, Besenbacher F, et al. Ethics in nanotechnology: Starting from scratch? *Bull Sci Technol Soc*, 2006, 26: 451–462
- 23 Hassoun N. Nanotechnology, enhancement, and human nature. *Nanoethics*, 2008, 2: 289–304
- 24 麦金泰尔 A. 德性之后. 北京: 中国社会科学出版社, 1995. 4
- 25 Schummer J. Cultural diversity in nanotechnology ethics. *Interdisciplin Sci Rev*, 2006, 31: 217–230
- 26 Hede S. Molecular materials and its technology: Disruptive impact on industrial and socio-economic areas. *AI Soc*, 2007, 21: 303–313
- 27 Sheetz T, Vidal J, Pearson T D, et al. Nanotechnology: Awareness and societal concerns. *Tech Soc*, 2005, 27: 329–345
- 28 Barker T F, Fatehi L, Lesnick M T, et al. Nanotechnology and the poor: Opportunities and risks for developing countries. In: Allhoff F, Lin P, eds. *Nanotechnology & Society: Current and Emerging Ethical Issues*. Dordrecht: Springer Science + Business Media B.V., 2009. 243–264
- 29 Maclurcan D C. Southern roles in global nanotechnology innovation: Perspectives from Thailand and Australia. *Nanoethics*, 2009, 3: 137–156
- 30 Renn O, Roco M C. Nanotechnology and the need for risk governance. *J Nanopart Res*, 2006, 8: 1–41
- 31 Lumann N. Die Moral des Risikos und das Risiko der Moral. In: Bechmann (Hrsg.). *Risiko und Gesellschaft. Grundlagen und Ergebnisse interdisziplinärer Risikoforschung*. Westdeutscher: Verlag, 1997. 32
- 32 Ropohl G. Theorie der Technisierung. *Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis* 16
- 33 Ebbesen M. The role of the humanities and social sciences in nanotechnology research and development. *Nanoethics*, 2008, 2: 1–13
- 34 李三虎. 纳米现象学: 微细空间建构的图像解释与意向伦理. *哲学研究*, 2009, 7: 85–91
- 35 Jasanoff S. *States of Knowledge: The Co-Production of Science and the Social Order*. London: Routledge, 2004
- 36 李三虎. 纳米技术的伦理意义考量. *科学文化评论*, 2009, 3: 14–27
- 37 Pidgeon N, Rogers-Hayden T. Opening up nanotechnology dialogue with the publics: Risk communication or ‘upstream engagement’? *Health, Risk & Society*, 2007, 9: 191–210
- 38 Stebbing M. Avoiding the trust deficit: Public engagement, values, the precautionary principle and the future of nanotechnology. *Bio-ethical Inquiry*, 2009, 6: 37–48
- 39 Bowman D M, Hodge G A. Nanotechnology and public interest dialogue: Some international observations. *Bull Sci Technol Soc*, 2007, 27: 118–132
- 40 俞可平. 治理和善治引论. *马克思主义与现实*, 1999, 5: 37–41
- 41 Messner D. Globalisierung, Global Governance und Perspektiven der Entwicklungszusammenarbeit. In: Franz Nuscheler (Hrsg.). *Entwicklung und Frieden im 21. Jahrhundert*, Bonn 2000, S. 267–294
- 42 The Commission on Global Governance. *Our Global Neighborhood*. Oxford: Oxford University Press, 1995
- 43 Schummer J, Pariotti E. Regulating nanotechnologies: Risk management models and nanomedicine. *Nanoethics*, 2008, 2: 39–42

Nanoethics: Research progress, problems and challenges

WANG GuoYu, GONG Chao & ZHANG Can

School of Humanities and Social Sciences, Centre for Ethics and Management of Science & Technology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

With the fast developing nanoscience and nanotechnology, studies on societal and ethical issues concerning nanotechnology have also sprung up and become an interdisciplinary research field since the 1990s. In this article, the state of the art, existing problems and future development of the research on the nanoethics are reviewed. They are discussed in depth revolving the rise of nanoethics, the main research topics and the challenges we are facing.

nanotechnology, nanoethics, risk, public participation, global governance

doi: 10.1360/972010-1487