



纳米伦理 :寻求未来安全的伦理*

文 / 王国豫

大连理工大学人文学院哲学系 大连 116024

大连理工大学科技伦理与科技管理研究中心 大连 116024

【摘要】 纳米伦理起源于人们对纳米技术风险的恐惧和担忧。迄今为止,纳米伦理经历了从最初的梳理纳米技术的伦理问题,到反思这些问题的可能后果,再到对反思的反思3个阶段,研究内容不仅涉及现实的、具体的层面,也包括未来的、概念性的以及评估的和管理3个层面。文章指出,对纳米技术风险的恐惧与担忧源于纳米技术的中介性和不确定性,纳米伦理学的任务在于探索和构建纳米技术活动的伦理规范,促进纳米技术在全球伦理的框架下健康、可持续的发展,以让人们走出担忧和恐惧,寻求一个安全的未来。

【关键词】 纳米技术 恐惧 担忧 纳米伦理

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2012.04.002

1 纳米伦理的起源与研究内容

对纳米技术的伦理学反思起源于人们对纳米技术风险的恐惧和担忧。

1986年,美国未来学家Drexler在《创造的发动机》(*Engines of Creation*)一书中,在充满希望地描述了将精确地控制单个的原子和分子的新形式的技术——纳米技术的巨大前景的同时,不无担忧地指出了可复制组装机(replicating assemblers)和思

维机器会对地球上的人类和生物产生根本性威胁的可能性,并发出了:除非我们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,明确指出纳米技术的可能危害,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,并由此得出结论,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)^[2]。Drexler和Joy

* 本文为国家重点基础研究发展计划(2011CB933401);国家社会科学基金项目(09BZX048);辽宁省教育厅高等学校科研基地项目(2009JD10)阶段性成果
修改稿收到日期 2012年6月28日

关于自我复制的纳米机器人、纳米技术的“灰质”的想象和担忧引起了国际上的普遍关注,并从两个方面推动了人们对纳米技术的伦理学反思:一方是以国际环保组织ETC、绿色和平组织等非政府组织为代表的技术怀疑论者,他们从要求技术“零风险”出发,发出了“纳米技术将我们引向深渊”以及“No Small Matter”的呼吁,要求全球范围内暂停纳米技术的研究^[3];另一方是以美国国家科学基金会Roco等为代表的技术乐观派。因担心纳米技术的发展受到限制或阻碍,提出为了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等,建议把纳米技术与社会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^[4]。在此背景下,一个以纳米技术为主要研究对象的新的技术伦理学研究方向——纳米伦理应运而生。

从纳米伦理概念的提出到今天,关于纳米技术的伦理反思已经有近10年的历史经历了3个阶段:从最初的梳理纳米技术的伦理问题,到反思这些问题的可能后果,再到对反思的反思。这些梳理、反思主要集中在3个层面:即现实的、具体的问题;未来的、概念性的问题以及评估的、管理的问题。

1.1 现实的、具体的问题

从现实的层面来看,纳米技术所带来的主要伦理问题是安全问题:首先是健康和环境的安全,即纳米粒子的无孔不入有可能对身体和环境造成危害;其次是隐私安全问题,指微型化的纳米器件对人们隐私的侵入。

纳米伦理的兴起始于人们对纳米材料安全的担忧^[5]。然而,长期以来,安全问题一直被看成是工程技术问题,似乎与哲学无涉。认为安全问题是纯客观的、实证的问题,是可以描述、计算或通

过实验求证的科学问题。因此,谈到纳米技术的安全问题以为就是毒理学或者管理学的事情。甚至在哲学界,人们也很少反思安全与伦理的关系。只是在涉及到安全事故的时候,从责任伦理的角度反思工程师和科学家的责任。其结果,将安全的责任降低为工程师和科学家的责任,忽视了对安全的深刻反思。然而,安全问题并不仅仅是一个科学问题,更不是纯客观的。安全既和人们对安全的感知相关,也和我们的价值取向、安全文化相关,尤其是当潜在安全隐患与现实的经济和政治利益发生冲突的时候,安全的伦理问题就凸显出来。比如说:我们是否有权力牺牲部分人的健康和安全来开发一项有可能在未来给大多数人带来美好生活的技术?现阶段在纳米技术对环境与健康的影响还不确定的情况下,是否应该先开发技术然后再谈治理的问题?如果公众知道了纳米技术的负面效应,有可能会产生一定的担忧甚至恐慌,因而影响纳米技术的发展;如果工人知道了纳米粒子对健康的潜在危害,会要求增加劳保补贴和职业体检,这样势必增加企业的成本,影响新技术的开发。我们是否因此就允许向工人、公众隐瞒纳米材料的潜在风险的一面?公众有没有权利全面了解纳米技术对健康和环境安全的影响?如何保障工人的基本权益^[6]?在经济价值、国防价值和生命价值彼此冲突的情况下,我们应该怎样选择才是负责任的?安全还不仅仅涉及生命和健康,也关乎人的心理安全。保护个人隐私就是保护人的心灵不受侵犯。而纳米器件在医学、社会治安和国防方面的应用却有可能对个人隐私带来威胁。比如利用微型纳米器件植入人体从而构成对人的行为甚至思想的监督,给人带来了不安全和不自由的感觉^[7]。这样的监督是否能在道德上得到辩护?

1.2 未来的、概念的问题

按照费曼的设想,纳米技术的目标是在原子和分子水平上重塑世界(shape the world atom by atom)。我们知道,碳原子的排列不同,导致了石

墨和金刚石的区别，硅原子的排列不同，导致了砂子和水晶的区别，而碳氢氧氮在生命体中的排列不同，不仅导致了疾病和健康的区别，也构成了生命体与非生命体的区别。在原子和分子水平上，生命体与非生命体的界限已经模糊甚至消失。基于我们生命体内细胞的生化反应都是在纳米尺度进行的这一事实，纳米生物技术正努力在分子层面整合生物模块，在纳米尺度制造功能性的结构单元。genomic intelligence、artificial biosystem 等概念已经出现在科学论文中，Biofact, Cyborg 等表示人机混合的概念正在挑战我们的传统概念：什么是生命？什么是自然？什么是人？我们迄今为止对世界的认识和理解都是建立在对这些最基本的概念的认知基础上的，一旦这些概念发生了改变，我们对世界的观察和解释是否会发生动摇？结果将会怎样？

根据 Drexler 的畅想，分子组装机将带来一个从未有过的革命。纳米技术的发展将帮助生命扩展到地球以外的空间，它可以让机器产生思想，它也能使我们的思想不断更新换代并重新塑造我们的身体^[11]。由此引发出关于超人类主义的争论。争论的焦点不仅在于人类增强后分化的不平等问题，更主要的是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？如果道德上允许的话，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？还有，我们都知道生态系统的演变是一个漫长的过程。人类增强是否有可能导致改变人类这个物种，从而破坏整个生态系统的平衡^[18]？

1.3 评估的、管理的问题

技术评估是技术伦理学的重要组成部分

分，也是制定纳米技术政策的主要依据。纳米伦理以对纳米技术的目的、过程与后果的价值评估为基础。但是，纳米技术从定义到研究方法再到应用目的和结果，整个过程充满着不确定性。这就对技术评估和风险管理带来了很大的挑战。

比如说纳米技术的定义。纳米技术一般是指在 0.1—100 纳米的尺度里，研究电子、原子和分子的运动规律和特性，并利用这些特性制造具有特定功能材料和器件的技术。从降低表面能的角度考虑，纳米物质尤其是纳米粒子总是倾向于以较大的团簇的形式出现。国际标准化组织(ISO)认为，纳米物质由不同的粒子、团块、集合体组成。但是在胶囊系统纳米物质是以聚合的或集结的状态分散在产品中，直径可达到 300 纳米。对于这样的材料能否称为纳米材料，国际上至今没有统一的标准^[9]。这样一来，对于有些企业是否属于纳米企业或者是否使用了纳米材料就难以界定。尤其是当我们在评估纳米技术在食品中应用的风险问题时，这一不确定性给评估带来了很大的困境。在风险管理层面，如果我们没有统一的标准和尺度，有些企业就会钻空子，当谈到纳米技术的巨大优越性的时候，它们就是纳米技术企业，而如果论及纳米技术的风险的时候它们又都不是纳米技术企业了。

纳米技术的应用目的和结果，尤其是它与信息技术、生物技术和认知技术的结合形成所谓的会聚技术（converging technologies），其发展的方向和结果以及社会效应、影响究竟会怎样还很难预测。这些也引起了关于纳米技术伦理学研究的方法论问题的讨论：即我们如何与不确定性交往？基于对物质世界的确定性所建构的概念和方法系统是否能够应用于不确定性的对象？我们如何可能用今天的知识、规范和评价尺度



中国科学院

去衡量潜在的、未来的技术,未来的技术活动?如果不能,那么我们伦理评价和论证的合理性基础是什么?我们面临的不仅是知识的困境,而且遇到了道德上的两难: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^[5]。

2 纳米伦理与纳米技术的新特征

对纳米技术风险的恐惧与担忧源于纳米技术的新的特性。

纳米技术又被称为 促能技术 (enabling technology)。作为促能技术的纳米技术,它的第一个特征是目的多样性与结果的间接性。在许多情况下,制造和使用纳米技术的目的并不十分明朗。与传统的技术可以直接带来终极产品不同,纳米技术本身并不会制造出新的产品和系统,而其关键的作用是在各种应用中促进新的产品、功能和系统的实现。这种 促能 特征使得它具有广阔的应用,因为通常情况下我们并不了解哪种产品和系统有被促进的可能。纳米技术在应用层面的开放性使得我们对它的社会影响、机会以及风险等的了解都具有不确定性,什么都将是可能的,什么也可能都难以控制^[10]。

其次,是纳米技术系统运作中的复杂性和不确定性。从技术系统论的视角来看,任何技术都有一个包括技术理念、原材料和人力的输入、输出和反馈过程^[11]。对于传统技术而言,从输入到输出的这一流程是相对简单和确定的。技术中出现的误差和损耗通常可以通过信息的反馈进行人工调整和干预。因此,即便在技术中由于偶然的自然或者人为的因素等造成偏差,但技术总体上是遵循了因果律且由人掌控的。而基于原子分子层面上的纳米技术却带有很大的不确定性。这些不确定性有的来自于纳米材料自身的新特性,包括小尺寸效应、比表面积效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应等。比如金到了纳米尺度以后,会

变得易燃易爆,在火中或者更低温度中就会熔化^[12]。有的来自于纳米材料对环境的依赖性。比如,纳米银是应用极为广泛的一种纳米材料,其分散性与颗粒稳定性等性质受到环境中多种因素的影响,从而造成其性质的不确定性。研究发现,环境中的离子强度、离子价态、温度以及生物分子均可影响纳米银颗粒的稳定性^[13]。

纳米技术最大的不确定性来自于会聚技术。会聚技术(converging technology)被用以指称纳米技术、生物技术、信息技术和认知科学的融合与汇聚。比如说近年来发展迅速的纳米生物技术。以纳米药物传输和靶向治疗为例,一些纳米材料以其特殊的化学结构、表面性质和微小粒径,成为潜在的新型药物载体并用于靶向治疗。虽然这种治疗模式能有效提高药物生物利用率、减小负面效应、降低成本和对其他器官的毒性等,但一些研究表明,纳米材料的生物效应并不完全是有益的,它们在细胞、亚细胞和蛋白质水平上影响着生物学行为。吸入的纳米颗粒可能避开免疫系统的吞噬作用,蓄积在某些靶器官,也可跨越不同生物屏障,重新转运分布到身体的其他组织器官,产生系统的健康效应^[14]。也就是说,纳米颗粒一旦进入人体后,其作用的方向和效应并不遵循传统技术中的输入输出的模式,也不是通过简单的反馈能够调节的。纳米材料与环境 and 生物体的作用是一个复杂的过程。就像我们对生命过程的了解还非常有限一样,我们对纳米技术在生命体内的运作及其后果知道的还非常有限。

这些不确定性,用哲学的术语说,来自于纳米技术的中介性。中介是有一定结构的。它包括相关联的因素的总和与它们之间可能的关系,作为松散的耦合系统(lose gekoppelte Systeme),只有当这些因素被激活(Anstoss)为工具时联结才被确定,从而实现因果目的^[15]。在《可能性的艺术》一书中,胡比希对中介性与可能性的内在结构做了深刻地剖析。他区分了两种可能性:(1)潜在的可能性(potential possibility),在这一层次预设了某物的足迹或轨道,而且是作为内在的中介性与外在

的中介性;(2)现实的可能性(real possibility)。在这一层次上,现实的可能性将其足迹留在事件中^[15]。纳米技术在和其他技术的结合中自身的足迹已经消失或消融在体系中,使得我们不仅无法控制其结果,甚至不了解它的目的、过程和结果,在此意义上,纳米技术表现的是一种潜在的可能性。正如费曼所言:在原子水平上,我们将获得新的力量,新的可能性、新的效应^[16]。只是这种新的力量、新的可能性不仅是美好的、令人憧憬的,也可能是毁灭性的、令人担忧的。

3 纳米伦理与纳米技术的目的

反思纳米技术的伦理问题,目的就是要探索和构建技术活动的伦理规范,让人们走出担忧和恐惧。

伦理的目的是为了构建美好生活。伦理学在希腊文中(ethics, ἠθικός)的最初含义是风俗、习俗或符合习俗的。但习俗有多种多样、形形色色。在原始社会中,某些习俗以及行为方式,逐渐被认为要比其他的习俗和行为方式更为重要,原因在于这些习俗和行为方式直接影响到该部落全体成员的生命和幸福。或者因为它们间接影响到该部落的安全、食物供应和全体成员的舒适问题。所以为了保证遵循这些习俗或维护这些行为方式,就形成了各式各样的禁忌^[17]。

而技术的目的同样是为了安全与美好生活。技术 *tèchne* 在希腊文中的意思是编制、建造。最早的技术被认为是造房技术。而房子 *Hûs* 的最初的意思就是保护、覆盖。这与汉语中“安”的意思是一致的:从甲骨文来看,“安”字是外面一座房子,房中坐着一位面朝左的女人,也即是女居室中为安。全在古代汉语中乃完整、完好、保全与完备之意。如《正字通·入部》:全,保也。

德国哲学家 A. 盖伦从人的本能的缺乏的人类学视角,论证了在人类早期,发明

技术与伦理制度的目的都是为了维持人的内在的稳定性和安全性,让人从对自然的恐惧中解放出来。在盖伦看来,人作为一个有缺陷的生物,不能像动物那样依靠先天的、特定的器官和本能适应环境的间隙(Hiatus)。人的生理的非专业性,它的有机体的无助性以及它令人吃惊的本能的缺乏,造就了他的世界的开放性(Welttoffenheit)特征^[18],即生存环境的极大的不稳定性 and 自身本质的非确定性。为了求得稳定和安全,它必须塑造适应能力(die Formierung von Plastizität),通过活动构建稳定的结构,通过制度和组织为自己的活动定向^[18]。也就是说,制度和技术一起在这里起到了替代人的不健全的器官,从而为人的活动导向的作用。这样,盖伦不仅为技术的诞生提供了人类学的解释,同时也为制度的存在进行了理论论证。二者的区别在于,技术主要是通过有组织的活动,将自然改造成符合自己的目的的样子,即塑造第二自然;而制度的作用主要是通过一定的规范礼仪约束人的行为,尤其是人的内在本能,即塑造人本身。而共同点在于,都是为了让人们走出恐惧和担忧,构建安全和幸福的生活。

随着技术和经济的发展,今天的技术目的,已经从保障安全和需求转变为满足人的欲望(包括真实与虚假的需求),技术活动的方式也随着复杂系统、大科学的出现,特别是科学的技术化与技术的科学化进入 Black Box,而技术活动的结果更多地从确定性走向不确定性、从直接性到间接性、长远性。技术发展不再是线性的和阶段性的,而是与多维度的语境(Context)结合在一起,包括社会的、经济的利益、潜在的政治权力与文化价值。技术的目的已经变得更加多元化、更加扑朔迷离。最先进的技术并不一定就能给人带来安全和美好生活。在这种情况下,对技术目的、过程和结果的正



中国科学院

当性的审视和反思,就成为技术伦理学不可回避的责任。

纳米技术对于保护国家和人民的安全、构建美好生活具有重要的意义。如果纳米技术的发展破坏了人的生存环境、带来的是不安全感甚至是危险,那么,也违背了纳米技术发展的宗旨。仅就而言,发展纳米技术必须首先把安全放在第一位。从安全伦理出发,科学家有责任及时地将对纳米粒子毒性的情况告诉公众尤其是相关职业人员,反之,要求被告知暴露在纳米粒子中的风险是所有涉及纳米粒子的从业和公众的权利;在开发纳米技术的过程中,应该本着预防原则,制定切实可行的安全防范规范,注意保护工人的安全与健康,尊重工人对风险的选择权,是政府和企业的责任^[5]。

鉴于纳米技术的不确定性和面向未来的特征,以及当代社会价值观的多元化特征,只有广泛吸收社会各界参与有关纳米技术的讨论,由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伦理上可以得到辩护的。因为作为纳税人的公众有权了解纳米技术对其生活和未来的社会影响。从科学技术与社会的关系来看,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。因此,关于纳米技术的伦理讨论应该在整个公共领域实施。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承担对社会与未来的责任。

此外,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。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,促进纳米技术在全球伦理的框架下健康、可持续的发展。

4 结语

Drexler在指出了纳米技术既可能是创造的

发动机也可能是毁灭的发动机之后,提出了3个问题:什么是可能的,什么是可实现的,什么是我们想要的?这也是我们今天对纳米技术伦理反思的主题:我们不仅要思考什么是可能的,还要思考什么是可行的以及我们究竟想要怎样的未来,怎样的世界。Drexler的回答是,首先,科学和工程知识描绘了关于可能性的界限的远景。虽然还很模糊和不完善,这幅图像还是界定了未来可以在其中运动的永久性的框架。其次,进化的法则决定了哪条路可行,并设置了实现的限度。包括低端限制,至于什么是想要的和不想要的,可以这么看,我们的各种梦想刺激我们寻求多样性的空间,而我们共同的恐惧则驱使我们寻求一个安全的未来^[1]。

主要参考文献

- 1 Drexler K E. Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology. New York: Anchor Press, 1986.
- 2 Joy B. Why the Future doesn't Need us. 下载日期:2012年2月16日. 下载地址: <http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>.
- 3 ETC. 下载日期:2012年2月16日. 下载地址: <http://www.etcgroup.org/en/%20issues/nanotechnology?page=3>.
- 4 Roco M C, Bainbridge W S. Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- 5 王国豫, 龚超, 张灿. 纳米伦理:研究现状、问题与挑战. 科学通报, 2011, 56(2): 96-107.
- 6 Schulte P A, Salamanca-Buentello F. Ethical and scientific issues of nanotechnology in the workplace. Environment Health Perspectives, 2007, 115(1): 5-12.
- 7 Royal Society and Royal Academy of Engineering. Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties. London: Royal Society & Royal Academy of Engineering, 2004, 53-54.
- 8 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.
- 9 Lin P, Allhoff F. Nanoethics and human enhancement: A critical evaluation of recent arguments. Nanotechnology Perception, 2006, 2: 47-52.
- 10 Hassoun N. Nanotechnology, enhancement and human-

- nature. Nanoethics, 2008, 2: 289-304.
- 9 Grobe A, Renn O, Jaeger. A report for IRGC: Risk Governance of Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics. International Risk Governance Council, Geneva, 2008.
- 10 Grunwald A. From Speculative Nanoethics to Explorative Philosophy of Nanotechnology. Nanoethics, 2010, 4: 91-101.
- 11 Ropohl G. Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der allgemeinen Technologie. Muenchen /Wien, 1979.
- 12 薛其坤. 纳米科技:小尺寸带来的不确定性与伦理问题. 中国社会科学报, 2010.
- 13 刘伟, 周群芳, 刘稷燕等. 典型环境及生物因子对商品化纳米银颗粒稳定性的影响. 科学通报, 2011, 56(1): 27-34.
- 14 周国强, 陈春英, 李玉锋等. 纳米材料生物效应研究进展. 生物化学与生物物理进展, 2008, 35(9): 998-1 006.
- 15 Hubig C. Die Kunst des Moeglichen I. Technikphilosophie als Reflexion der Medialitaet. Bielefeld: Transcript, 2006.
- 16 Richard P. Feynman. There's Plenty of Room at the Bottom. 下载日期:2012年6月12日. 下载地址:<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.
- 17 汤姆·L·彼彻姆(美). 哲学的伦理学. 北京: 中国社会科学出版社, 1990, 12.
- 18 Gehlen A. Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt. Wiesbaden: Aula, 1997.

Nano-ethics: Ethics Seeking for the Future Safety

Wang Guoyu

(Department of Philosophy, School of Humanities, Center for Ethics and Management of Technology,
Dalian University of Technology 116024 Dalian)

Abstract Ethical reflections upon nanotechnology, which originate from fears and concerns of the nanotechnology risks, has so far been studied and gone through three phases: first to sort out ethical problems of nanotechnology, then to reflect on nanotechnology's potentiality, and finally to reflect on the previous reflections. Reflective studies on Nanotechnology ethics also involve three levels: the real and specific spectrum consideration, future and conceptual speculative as well as the perspective assessment and management of nanotechnology. Studies show that the fears and concerns originate from new properties of nanotechnology, namely the intermediaries and uncertainty. Therefore, it is the responsibility of nano-ethics to explore and construct an ethical framework for nanotechnology activities, in order to promote its healthy and sustainable development and for a safe future free of fears and concerns that people hold.

Keywords nanotechnology, fear, concerns, nano-ethics

王国豫 大连理工大学人文学院副院长、哲学系主任、德国技术哲学研究中心主任、教授、博士生导师。主要研究方向科学技术与工程伦理学、德国技术哲学与伦理学。中国自然辩证法研究会科学技术与工程伦理专业委员会秘书长、技术哲学与工程哲学专业委员会常务理事、中国环境伦理学会常务理事、生命伦理学协会理事。主持和参与国家社会科学基金项目、国家自然科学基金项目、国家重点基础研究发展计划等项目16项。2009年以来就纳米伦理问题在《哲学研究》等国内外核心期刊上发表文章10余篇,组织哲学与纳米科学的跨学科跨文化对话和讨论多次,并应邀在国内外纳米伦理研讨会上做邀请报告和主题报告10余次。E-mail: w_guoyu@dlut.edu.cn