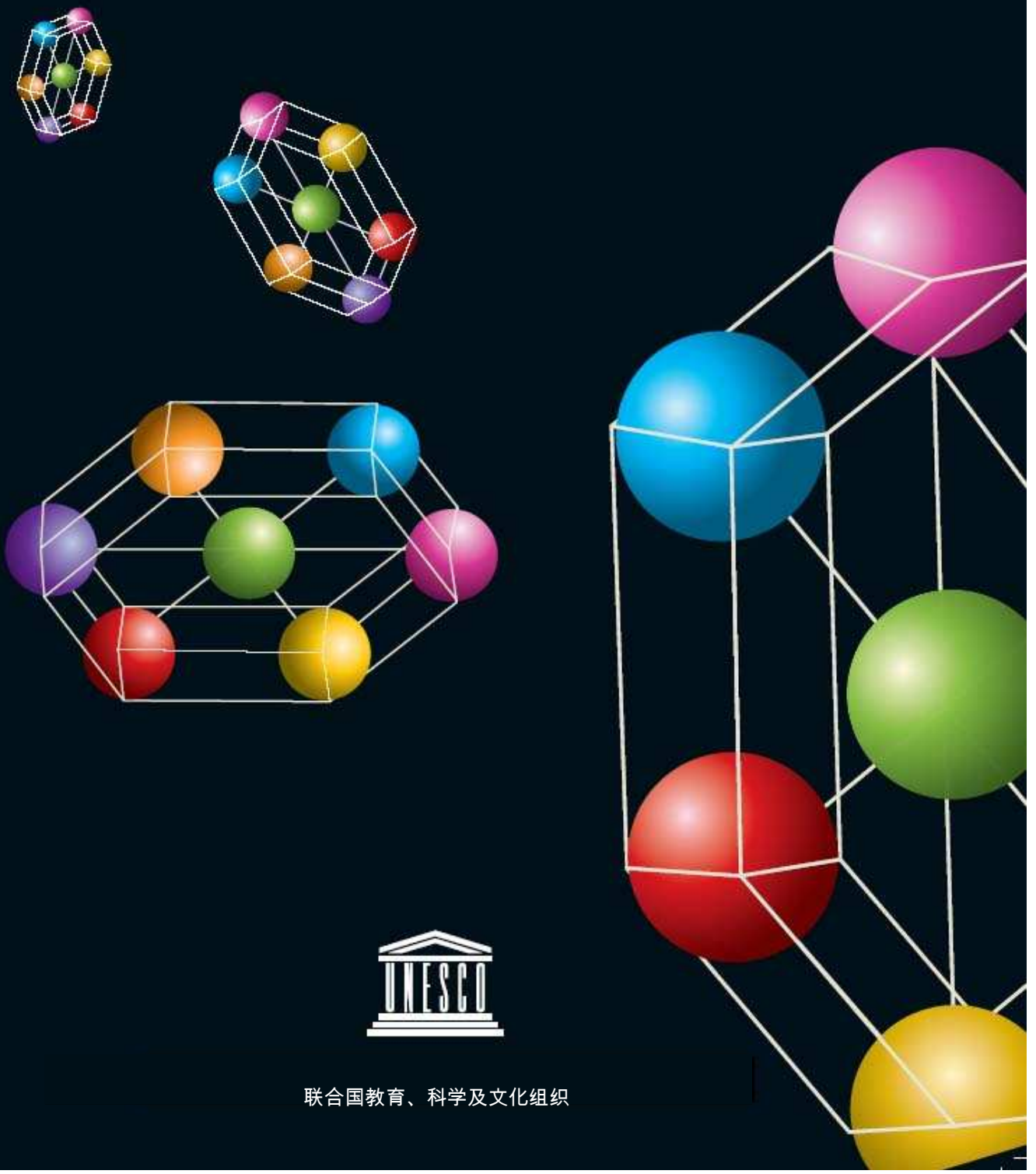


纳米技术的伦理与政治



联合国教育、科学及文化组织

美国莱斯大学的Christopher M. Kelty博士为本手册提供了专业知识方面的支持。

本出版物中所使用的所有名称和资料介绍均不暗示教科文组织关于任何国家、城市、地区或其政府当局的法律地位以及其国境边界的观点。

2006年

联合国教育、科学及文化组织出版

地址：7 place de Fontenoy, 75352 PARIS 07 SP

图形设计：Anna Mortreux

© UNESCO 2006

法国印刷

(SHS-2006/WS/10 REV)

纳米技术的伦理与政治



联合国教育、科学及文化组织

目录

1	导论	3
	1.1 教科文组织与纳米技术	3
	1.2 什么是纳米技术?	4
	1.3 纳米技术的历史	7
2	当前的纳米技术研究	11
3	纳米技术的伦理、法律和政治意义	13
	3.1 国际纳米技术	13
	3.2 纳米技术的毒性与环保意义	14
	3.3 风险评估之外	17
	3.4 科学伦理	17
	3.5 分心之说——伦理问题并非分心之说	19
4	结论	21
5	附录	22
	纳米技术报告索引	22



导论

从因特网兴起以来,纳米技术可能成为左右科技产业的最有影响的力量。纳米技术能提高存储器芯片的速度、除掉水和空气中的污染粒子、并迅速识别癌细胞。它能超越我们的控制,证实我们作为人类生存的终结。它还能减轻世界上的饥馑、清洁环境、治愈癌症、保障人类长寿或研制出可怕的超级武器。纳米技术或许还是一种新型石棉。我们可利用它的研究成果促进经济发展。然而纳米技术可能损害发展中国家穷人的机遇。纳米技术能让冰淇淋中的分子大小整齐划一。纳米技术可使数码相机在黑暗中工作。纳米技术能在原子级别上清除有毒废物。或许纳米技术将从根本上改变世界。它可能成为恐怖主义的工具。纳米技术可能引发下一次工业革命。它还能改造食品产业。通过纳

米技术,我们能够修补臭氧层。总之,纳米技术可能改变一切。

以上摘抄的其实都是以“纳米技术能……”为开头的报纸标题。我们到底要通过这些极端对立的前景和警示说明什么呢?为什么这种东西的潜能如此强大,以致引起公共关系专家和记者的浓厚兴趣呢?尽管纳米技术前景广阔,然而有些具体内容却值得感兴趣的公民、政治家、科学家和商界人士给予特别关注。为了正确评估其伦理、法律和政治方面的意义,我们必须将纳米技术可以预计的潜力和无法估计的可能性区分开来。本文件将简述什么是纳米技术、并提出国际社会将要面临的一些伦理、法律和政治问题。

1.1 教科文组织与纳米技术

科技的发展正在显著改变人类的生存状态。技术能让人活得更安全和更轻松。医学大大地改进了公民的健康和公共卫生。信息技术可让人类更有效地进行交流,从而拓展了信息交流的范围。通过生态科学,人类已经开发出可持续发展的生产和消费方式。同时,人类利用生命科学发明出新型产品和新型药物疗法。纳米技术与这些领域纵横交织从而提出了许多伦理问题。例如,科学能造福人类,但这种福利去向哪里?科学技术通常在发达国家研发出来,而使用的是欠发达国家的资源,但科研成果和产品却没有回馈到欠发达国家的手中。科学技术业已成为基本的国际活动。例如,医学研究正在世界各地的大型国际医疗中

终执行同一伦理标准。为了避免对科技伦理形成差别对待,迫切需要国际社会在此领域采取共同行动。

出于以上考虑,联合国教育、科学及文化组织会员国在其工作计划中对科技伦理学给予了优先地位。二十世纪七十年代以来,教科文组织不时关注生命科学中的伦理问题,特别是遗传学。1993年会员国建立了国际生命伦理委员会(IBC)。该委员会集中了来自世界各地具备不同学科背景的36名专家,让他们提供有关各种生命伦理问题的建议。经会员国请求,该委员会协助起草了规范标准,该标准可为各国提供有关生命伦理原则的框架。1997

心中展开。发展中国家公民成为发达国家的研
究项目中的受试者。然而，显而易见，各国并
非始

年联合国教科文组织会员国大会通过了《世界
人类基因组与人权普遍宣言》，随后在 2003 年

通过了《人类基因数据国际宣言》。考虑到全球生物伦理学的重要性，教科文组织会员国最近（2005年10月）通过了《生命伦理及人权普遍宣言》。但仅仅创设规范标准是不够的。为了有效地使用这些标准并确保其实际效用，相应配套工作已经进行。例如，伦理教育的推广，伦理委员会的建立以及伦理经验交流等。

1998年教科文组织会员国创立了世界科学知识与技术伦理委员会（COMEST），标志着世界人民对科技伦理问题的不断了解。该国际委员会由18名专家组成，其主要职责是就科学伦理学、环境伦理学和技术伦理学等应用伦理学领域为教科文组织提供咨询。世界科学知识与技术伦理委员会（COMEST）的具体使命是：（1）作为交流观点和经验的知识论坛，（2）以此察觉风险形势的早期迹象，（3）为该领域的决策人

担当顾问，（4）促进科学界、决策者和公众之间的对话。根据其职能，COMEST曾开展信息技术、水利用和水文技术、能量和空间技术等学科的分析研究。IBC也具有类似功能，但主要涉及生命伦理学，如促进人们对产生于生命科学的研究及应用的伦理和法律问题进行反省，尤其是通过教育鼓励观点和信息交流。

本文件主要是论述教科文组织的伦理使命。首先，我们必须识别并分析纳米技术的伦理问题，以便公众、专业组织及决策者能清楚地了解这一新技术的内涵。由于纳米技术发展迅速，预先的伦理探索是必需的。IBC和COMEST正持续跟踪纳米技术等新兴技术的利与弊。教科文组织也在开展诸如此类的工作：在世界范围内促进各国间的对话，为面临新兴技术道德问题挑战的决策者提供建议。

1.2 什么是纳米技术？

目前对纳米技术有几十种不同定义，人们对此还未形成一致的意见。有关纳米技术的定义也含有政治和伦理意义——因为这些定义能够决定人们将关注什么、担心什么、忽视什么或研究什么。纳米技术（如同生物工程等其他新兴科技一样）有许多定义这一事实提示，纳米技术可能混合了理论研究与应用研究、国家拨款研究与私人资助研究这些不同的固定范畴。因为有不同学科背景和不同国籍的科学组织对纳米技术的后果可能持不同的观点和关注。

首先，这是纳米科学或纳米技术吗？在本文中，“纳米技术”一词既包括基础科学研究也包括应用科学研究。许多研究活动我们可以视为“基础”研究，虽然它们也需要工具、实践、

此相似，许多活动我们称为工程，因为其涉及设备或机器制造，而现在的科学家却将其视为“基础研究”。因此，在纳米技术当中，科学和技术是紧密相关并互相依存的。

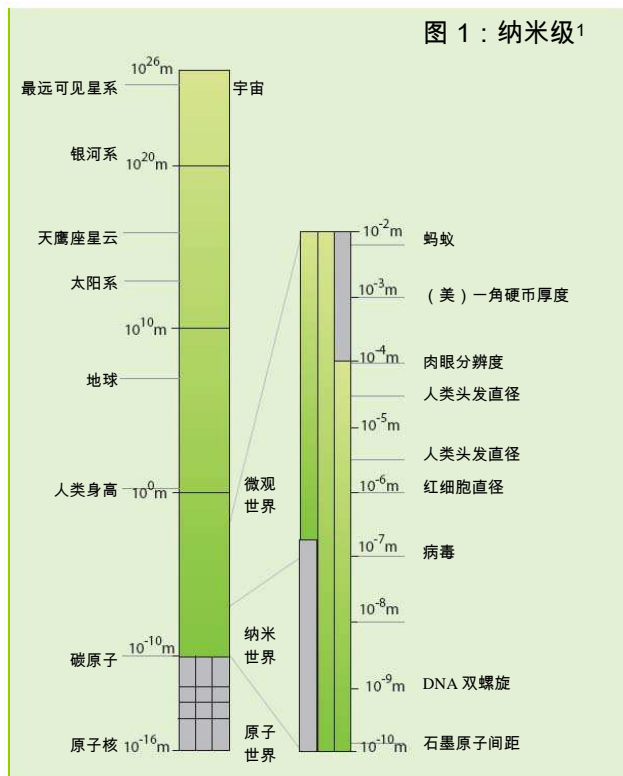
就纳米技术而言，人们熟悉的“应用”研究和“基础”研究的界线变得模糊不清了。这就容易使人们把科学家、工程师的实际研究与观察员、倡导者、金融家和热心科学家的预测结果混为一谈。通常当人们谈到纳米技术时，他们会将这些预测结果（纳米技术的潜在利益和风险）同实验室和公司的技术现状混淆起来。对科学的预测结果与社会政策是息息相关的——它们是、也应当是全体公民的辩论话题，而不仅仅是科学家或政治家的事。这些结果既不是不可避免的也不是由基础研究决定的，但

材料和基本的初始技术 (如计算机和软件, 复合显微镜, 理化测量和操作工具)。与 | 它们受制于基础研究。科学家作为公民

的职责是要迎击和批判那些不现实或危险的预想结果，而不是简单地提出美妙的设想。现在的纳米技术研究应当作为制衡机制的一部分而处于社会政策的中心而不应是构成这一政策的基础。

那么，纳米技术到底是什么？也许最简单、最宽泛的看法是，纳米技术是在纳米级（ 10^{-9} 米或一米的十亿分之一。参考：人类头发的直径大约 20 000 纳米）进行的研究工作。纳米有多小呢？（参见图 1）分子、病毒和原子的直径从不到 1 纳米（原子）到大约 100 纳米（大分子，如 DNA）。这些物体小到肉眼无法看见，即使用可见光显微镜也无法观察。因此，必须使用扫描隧道显微镜和原子力显微镜等新型显像技术，这些工具不仅能观察、也可处理这种微小物质。

这样定义纳米技术显然过于宽泛，但是在化学、物理学和生物学中的纳米级物质研究至少已有 100 年历史，而有关这些微小物质的结构、组成和存在的争论时间更长。例如，美国国家纳米技术创新组织等经常使用更具体的纳米技术定义（方框 1）。我们对原子、分子和物质世界运动的了解，主要是通过对较大级别物体的研究得到的（例如，棒球物理学或钻石硬度）。然而当在纳米级上进行研究时，观察到的物质特性是大不相同的。例如，自然光下



的大块黄金，人眼看到的是黄色，而微细纳米级黄金粒子（例如，浮动在水面时）则显红色，因为它们只反射红光。与此类似，尽管“纳米碳管”和钻石都由碳元素组成，但纳米碳管的导电性比钻石强得多，这是由于其分子级别（纳米级）的不同所致。上述定义所指的这些新特性可用于创新应用，而这正是人们对纳米技术心怀热情的原因所在。

框注 1

美国国家纳米技术创新组织所提供的正式定义是：纳米技术是在长度范围约从 1 纳米到 100 纳米之间的原子、分子或大分子级上所进行的纳米技术研究和技术开发，旨在基本了解纳米级的材料性质与现象，从而制造出具有由其微小尺寸决定的特殊性质和功能的结构、设备和系统。

根据其综合国力，世界各国对纳米技术有不同的定义。中国、日本和韩国注重纳米技术在材料尤其是电子设备上的应用与研究，而非洲和拉丁美洲的重点放在医学材料和环境科学材料方面。英国皇家学会对纳米科学和纳米技术做了区分：前者是对纳米级粒子的研究与操纵，后者则是关于纳米级的“结构、设备和系统”的“设计、创造和生产”。

¹ 引自 <http://invsee.asu.edu/nmodules/sizescalemod/unit3.htm>。

事实上,纳米级黄金粒子仅反射红光的特性已被用来设计实验系统,它能杀死正常可见光下的癌细胞,但不损害正常细胞。

人们还对纳米技术提出了许多更具体的定义,这些定义均涉及纳米级的控制作用。如果我们能够控制和利用这些特性从而制造出新奇的分子组合、新型的机器和设备甚至于微型工厂,则了解和观察这些特性(从工程学观点)就是非常有用的。纳米技术在定义上常被冠以“分子制造”的名称,因而过去二十年来一直对科幻小说作者产生巨大的诱惑。用这种方式定义纳米技术时,纳米技术的预想结果范围就大大变窄了——工程师和科学家设计新方法“自下而上”地制造各种产品和材料——意即产品是在纳米级工厂中以原子挨原子的方式制造出来的。这种原子挨原子的制造方式几乎具备无限灵活性,可用以创造任何物质、物体、设备、机器或材料。“自上而下”的生产方法即我们今天使用的方法是利用特定工序把天然的和人造的物质组合或建造成产品。今天还没有任何科学家制造出这种“自下而上”的机器,也几乎没人在这一领域进行工作,但是,在不存在有效实验²的背景下,人们仍对这一制造工艺的理论可能性进行了广泛的讨论。本文第三部分探讨其他近期的问题,这些问题较之“分子制造”的可能性和威胁性更为迫切。

纳米技术的定义包括纳米级设备的生产,而不仅仅是对物质进行纳米级的研究,根据这种理解,一些科学家提出了另外的定义或再定义。³“纳米生物技术”的研究把生物学及

化学(分子)中普遍的纳米级物体重新定义为“微型机器”。例如所有生物细胞周期中的必要组成部分 ATP 分子被称为“纳米发动机”。二重分子肌动蛋白(肌动蛋白/霉菌素),其功能是进行电刺激以使心脏跳动,也被称为相应的机器。⁴将生物学和化学重新定义为纳米生物技术似乎是用花招吸引人们关注传统科学,但是区别方法同上:如果这些微小生物发动机和机器能被利用和控制来做至今未知或不可想象的事情——如果 DNA 可被用作一把镊子,或者分子运动蛋白(prestin)能被用来旋转微小齿轮——那么,这种定义的重要作用就不仅在于研究,而是关系到利用分子发动机、生命分子和生命机器的问题。

最后,纳米技术有另一定义,即美国国家科学基金会所定义的“纳米-生物-信息-认知(NBIC)集成”。⁵这种定义认为纳米技术是一种新的科学,它跟生物学、信息技术和认知科学在纳米级上的结合使用有关。在某种程度上,此定义是最激进的,因其揭示了纳米技术将被用作“改善人体机能”的方法。在纳米级对物质进行研究和开发确实需要具备许多领域的专门技能,但是迄今只有少数科学家或实验室具备这些条件。

不同的机构对纳米技术有不同的定义,而这取决于它们的研究范围与预期目标——是否与人体和人类医学,环境,新材料或新生物体相关。这些定义也随着对此感兴趣的国家和社会人士的利益而变化。因为预期结果与实际研究之间仍然存在着距离,故纳米技术的定义

² 量子计算机和分子计算机的出现是一种例外,但是这些计算机不能生产任何东西,实际上它们也没有足够的实用可靠性。但运用这些计算机,我们能够证实使用纳米物质为计算存储器和记忆存储器制造半导体和晶体管的可行性。

³ Whitesides, G. M. 2001 年。《以前和未来的纳米计算机》。《科学美国人》,第 285 卷,第 3 号,9 月,第 78-83 页。

⁴ 古德塞尔(Goodsell), D. S. 2004 年。《生物纳米技术:自然的教训》。Hoboken, NJ, Wiley-Liss。

⁵ Roco, M. C. 和班布里奇(Bainbridge), W. S. 2003 年。《改善人类机能的集成技术》:纳米技术,生物工程

争论激烈，从而成为纳米技术的重要伦理与政治因素。根据教科文组织的看法，即使有的国家不

热衷于纳米技术研究，它们也应根据公平和公正的原则来定义纳米技术。如果这些国家不对纳米技术进行定义，此工作就会被最

热衷于谋求自身利益的国家和公司来作出。在当今进行定义的早期，每个国家的公民都应该了解什么是纳米技术以及纳米技术的未来。

1.3 纳米技术的历史

跟纳米技术的定义一样，纳米技术的历史、起源及重要历程也有多种说法。

著名物理学家 Richard Feynman 的《底部仍有大量空间》⁶ 演讲，也许是受到的最广泛讨论的有关纳米技术的起源。在这篇演讲中，Feynman 探索了所有能把微型化、计算机、信息技术和物理现象用于探索亚微世界的方法。他以自己典型的张扬方式列举了他自认为不远的未来不难完成的一系列工作。40 年后，许多工程师和科学家仍然为这些预言所激动，但这些预言一个都没有实现。偶尔被人们提到的还有 John von Neumann 当时的著作《永动机的一般逻辑理论》，这篇著作同样以自己的方式把物理学知识、工程和信息技术结合起来以制造一种永动机——尽管不在纳米级上。⁷

Feynman 和 von Neumann 都没有根据纳米技术这一术语来展开论述，但这一术语在纳米技术幻想家 K.Eric Drexler 的“未来历史”著作——《造物引擎》中得到了推广。⁸ 在这本书中，Drexler 用纳米技术描绘了他的幻想世界，在那里“分子制造”能让人们生产任何需要的东西——从汽车到牛肉片，而这仅

需通过把废物输入一个盒子里，然后此盒子使用纳米装配机将废物重新构成所需的東西(参见图 2)。Drexler 的著作今天通常被认为是反乌托邦式的而非乌托邦式的。Drexler 警告人们说，当这项技术被开发出来时，必须防止有自我复制能力的自动纳米机逃逸。因为它们如果失控并开始消耗或改造自然和人造世界，就可能把地球改变成不适于居住的一团“灰雾”。



图 2：
台式制造⁹

预想的台式分子制造装置。微小的机器把分子结合起来生成较大的零件，然后在集中装配工序里制造出诸如带有十亿处理器的计算机等产品。(图中所示的白色立方体为零件。)

⁶ 范曼 (Feynman), R. 1960 年。‘底部仍有大量空间’，《工程与科学》，第 23 卷，第 5 号，第 22-36 页。

多年来，Drexler 使人们对纳米技术喜惧参半。为了研究纳米技术可能的科学和社会影响，他还创立了一个研究机构（“前瞻研究所”）并写了一本理论工程书，声称“分子制造”具有可行性。¹⁰ 但在此时，即使是很简单的分子控制都无法通过实验或工程得到有说服力的论证，因而科学幻想所描述的纳米技术的“分子制造”设想受到了强烈反对，许多科学家和工程师认为这在科学上和社会上是不可行的。其中一位涉及纳米技术的著名科学家——莱斯大学的 Richard Smalley 控告 Drexler 宣称的未来前景缺乏科学根据并“吓唬我们的孩子”。¹¹ 由于“分子制造”这一概念受到科学界的冷淡与排斥，最近 Drexler 很后悔自己杜撰“灰雾”术语。

然而在过去的 40 年中，由于一系列科学和工程突破，许多科学问题已经转化成了新的纳米技术范畴内的问题。其中最重要的是扫描隧道显微镜和原子力显微镜的发明，它们能让科学家在前所未有的精度级别上对物质进行目测、研究和最终进行探索实验。在二十世纪七十年代晚期与 1983 年之间，Gerd Binnig 和 Heinrich Rohrer 为现代扫描隧道显微镜（STM）奠定了基础，由于这些成就，他们在 1986 年与设计了第一台电子显微镜的 Ernst Ruska 共同分享了诺贝尔奖。扫描隧道显微镜可依靠“量子隧道”神奇的量

子特性精密探索并测量电子环绕单个原子运行的构型。通过这些工作获得的信息，计算机能生成可视原子图像（见图 3）。

几年后在瑞士苏黎世的 IBM 公司，Gerd Binnig 又参与了原子力显微镜（AFM）的发明。自 1990 年以来，科学家方可在市场上买到原子力显微镜，它的工作原理非常类似传统唱机——带有尖端的悬臂可牵附到一表面上。通过激光器，当悬臂在原子样品上下颠簸时，尖端的纳米级变动能被记录下来并被转换为数字图像，这类似于扫描隧道显微镜。

这些工具能让工程师和科学家创建显示原子和分子构型的极佳组成图像。此外通过这些工具，工程师和科学家还能对原子进行控制、移动或人工配置。加利福尼亚州 IBM Almaden 研究中心的 Donald Eigler 是使用这些工具的领头人之一。1989 年 Eigler 使用这些工具在真空中将几个氦原子进行排列，最后拼写出“IBM”一词。后来，通过操纵原子和分子，Eigler 和他的学生能够生成多种图像；例如“量子栅栏”（见图 4），在原子水平上生动地显示了电子的波粒二象性；并通过使用排列精密可像多米诺骨牌一样“倒下”的一氧化碳原子来根据原子的输入“门”的不同显示逻辑门的存在（如在计算机中用来确定逻辑函数的“门”，如“和”、“或”和“非”等）。¹³



⁷ 冯·诺伊曼（von Neumann），J. 和伯克斯（Burks），A. W. 1966 年。《自我复制永动机的理论》。伊利诺伊州，厄巴纳，伊利诺伊大学出版社。另见本文献篇末由吉恩·皮埃尔·迪普伊（Jean-Pierre Dupuy）著的《当前的欧盟健康和环境报告》。

⁸ 德雷克斯勒（Drexler），K. E. 1986 年。《造物引擎》。纽约花园城市，Anchor Press/Doubleday 出版。

⁹ 图像提供：约翰·伯奇（John Burch），Lizard Fire 工作室，<http://www.lizardfire.com>。

¹⁰ 德雷克斯勒（Drexler），K. E. 1992 年。《纳米系统：分子机器，制造与计算》。纽约，Wiley。

¹¹ 2003 年 12 月《化学工程新闻》的一场公开和激烈的辩论，第 81 卷，第 48 号，第 37-42 页。

¹² Binnig, G. 和 Rohrer, H. 允许再版，1987 年。“扫描隧道显微镜学：从出生到青春”，《现代物理评论》，第 59 卷，第 3 号，第 622 页。

¹³ Eigler, D. M. 和 Schweizer, E. K. 的“量子栅栏”图像，1990。“用扫描隧道显微镜定位单个原子”，《自然》，第 344 卷，4 月 5 日，第 524-526 页。

图 3 : 原子显像¹²

美国物理学会版权 1997

另一项重要科学进展是“布基球”或“巴克敏斯特福勒球”的研制，它进一步激发了人们对纳米技术的热情。“布基球”是一种由60个碳原子组成的英式足球状分子。布基球(C_{60})以及其他球形碳(例如 C_{70})及其替代衍生物统称球壳状碳分子。

布基球以著名的建筑师和未来主义者 Buckminster Fuller 的名字命名，它的网格球顶建筑具有该分子英式足球状的特征。跟钻石和石墨一样，布基球也由单一碳元素组成，但是由于其特殊形状和分子结构，它具有独特的性质。在1984年的一次实验中，莱斯大学(美国)的 Richard Smalley 和 Robert Curl 教授，研究生 Jim Heath 和 Sean O'Brien，以及萨塞克斯大学(英国)的 Harold Kroto 一起首次发现并描述了“巴克敏斯特福勒球”的特性。通过一套蒸发石墨、开有微小气孔的精密设备，布基球第一次被人工合成出来，Curl 将其描述为拥有60个以五角形和六角形交替排列的碳原子。但在那时，他们未把这项工作称为纳米技术，只是称为化学。这些分子的合成很快促使他们关注其是否具备可资利用的重大新特性。由于其出色的工作，Smalley、Curl 和 Kroto 在1996年获得了诺贝尔奖。

1991年，在日本电气公司(NEC)工作的 S. Iijima 发现了布基球的另一种变体——纳米管。纳米管有单壁式和多壁式两种，单壁式主要为一长形碳圆柱体，其两端各有半个布基球(见图5)。单壁式纳米管(SWNT)比布基球具有更多功能，一些研究人员预测它是迄今所发现的最坚固而又最柔顺的材料。另外，它们的导电性极高(能与铜和黄金匹敌，但所需导线少得多)，导热率也很高。这些特性促使研究人员对其前景进行了种种

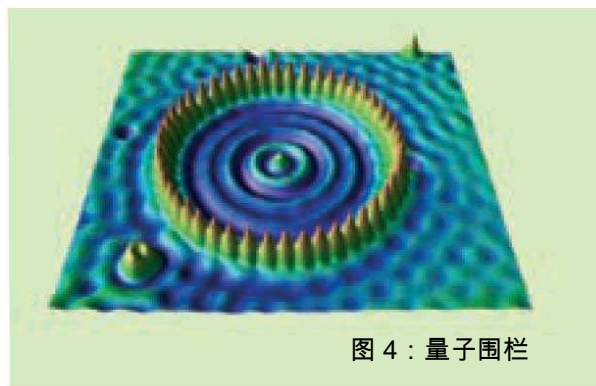


图4：量子围栏

预测——从普通想法(制造新纳米级导线传输能量和信息)到奇思妙想(‘太空升降机’——用由纳米管制成的长细‘缆线’把宇宙飞船拉上太空，而不是用火箭推动)。

魅力稍小但很快进入纳米技术研究领域的学科之一是高分子科学，该学科已有60多年历史，其任务是制造新材料，不论是天然材料还是合成材料。情况表明，碳纳米管特别适于制造特殊材料，如汽车保险杠或喷气式战斗机机翼，但是目前这些材料很难大量生产，这限制了它们的试验与推广。出于法律规章和环境条件的考虑，早期的商业投资主要用于满足大学和公司实验室的使用要求的单壁式纳米管生产

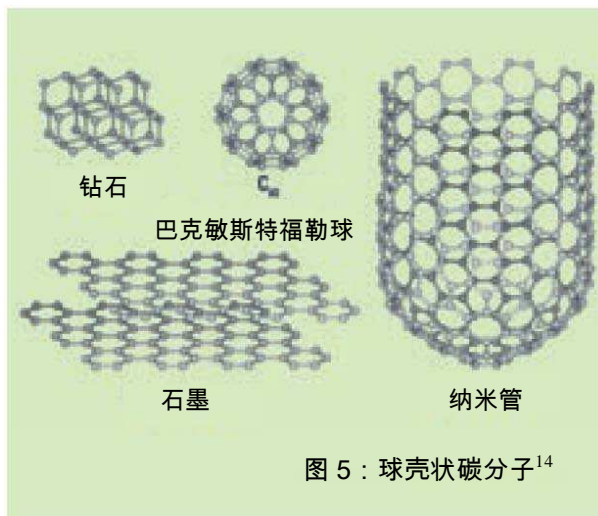


图5：球壳状碳分子¹⁴

¹⁴ 碳的图像来自 <http://cohesion.rice.edu/naturalsciences/smalley/emplibary/allotropes.jpg>.

。¹⁵ 例如，日本三菱公司已大力提高球壳状碳分子的产量。

对布基球和纳米管满怀激情的主要是化学家、化学工程师和物理学家。后来机电工程师，尤其是那些开发制造半导体及微电子的工程师，也很快开始应用纳米技术来促进电子设备和零部件微型化。晶体管自二十世纪四十年代晚期不声不响地问世以来，其用途范围一直不大，这使工程师们开始转向纳米级材料所显示的“新奇特性”。这些新特性表明，新型材料和新型结构对于设备小型化、快速化和降低能耗是必不可少的。迄今为止，“量子点”可能是人们研制的最小设备，它用来约束单个电荷，这是计算机的基础因素。自二十世纪九十年代早期以来，“量子点”即成为实验与研究课题，但还没有用于商业计算机。“量子点”还具有独特的光物理特性，目前正作进一步研究以用于生物医学成像。

除了化学和电气工程，过去 10 到 15 年来，分子生物学和遗传工程已成为在分子纳米水平上控制细胞生命基本成分的专门学科。生物化学家和分子生物学家能够使用的技术和工具，如重组 DNA 技术和聚合酶链反应(PCR)，已经大大地促进了对 DNA、RNA 和蛋白质的

各种实验与研究。如前所述，现在此项工作的部分内容正被重新定义为纳米技术，因为它的目标是要开发利用生物体或有机生命分子的特性。自 2000 年以来，纳米生物技术已经成为一门独立的研究学科。

1996 年以来，美国政府（及后来的日本和欧盟政府）开始重视纳米技术研究并为其提供资金。2001 年，美国创立了国家纳米技术创新计划——协调政府机构间的研究以便为纳米技术研究与开发提供资金。在美国，国家科学基金会是纳米技术的主要资金提供者，尤其是通过建立地区性的研究中心，以集中解决纳米技术中存在的具体问题。从 2005 年开始，共有 14 家研究中心为研究人员提供资金，并协调各个领域的研究计划与目标。

除了美国为纳米技术研究提供资金，其他几个国家也开始重视纳米技术的研究并提供资助。日本教育文化体育和科技省已为纳米技术研究投入了大约 250 000 000 美元。据英国皇家学会的报告，当前欧盟在纳米研究上每年花费大约十亿欧元，而英国目前每年大约花费 45 000 000 英镑。另外，中国、伊朗伊斯兰共和国、巴西和以色列都非常重视科学技术（包括纳米技术）的研究。

¹⁵ 参见 Tremblay, J.F. 2003 年。《成吨生产：三菱公司预计市场大量需求布基球》。《化学工程新闻》。第 81 卷，第 32 号，第 13-14 页。

2

当前的纳米技术研究

目前纳米技术的研究项目众多。由于近来各国对此项技术的重视与资助，几乎所有学科都参与纳米技术的研究。其中物理、化学、电气工程、分子生物学和计算机科学，对纳米技术的研究、特别是实际的开发与应用，具有核心作用；其他如材料科学、化学工程、环境工程、生物工程、医学研究、光学和光子学等都同纳米技术的发展有关。甚至社会科学和人文学科也为纳米技术的研究提出了一系列建议，尤其是针对它的伦理问题与政策方面。

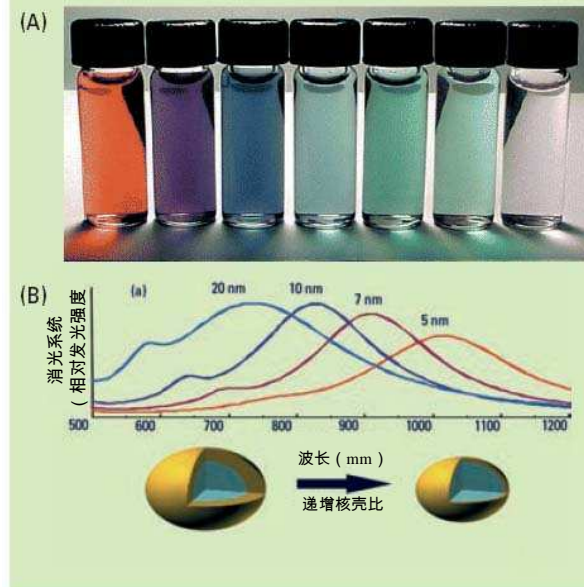
当前大多数纳米技术研究不是出自直接的应用目的，它们在很大程度上还处于探索与实验阶段，或从事作为任何学科的核心研究与调查。尽管对纳米技术的未来应用不乏各种建议，但是截止 2006 年它还处于过渡状态——老学科已意识到许多新问题与相邻学科相互覆

“纳米金壳”由薄的金壳和绝缘体微粒组成。通过改变微粒和外壳成份的相对尺寸，研究人员能让这些粒子吸收或分散电磁波谱中的可见光和大部分红外光。(A) 这些药水瓶包含黄金胶体(带有红色)或不同外壳厚度的“纳米金壳”。(B) Mie 散射理论预测的“纳米金壳”光学性质。对于给定尺寸的微粒，具有较薄外壳的颗粒能使光共振到更长的波长。

盖，新工具和新技术正在催生新一代科学家，他们能够研究并理解他们的导师无法明白的现象。

现举一例说明纳米技术在癌症医治中的应用。世界上许多大学和医疗中心的研究人员利用一种“纳米金壳”和正常可见光来杀死癌细胞。“纳米金壳”是表面涂有不同厚度黄金的微小玻璃珠。黄金的光吸收特性(此特性使它在白天显现黄色)随其厚度不同而变化，这样它只能吸收某些特定波长的光而反射其他波长的光。研究人员用老鼠做实验，把特定的抗体附着在这些“纳米金壳”上，然后把它们注入老鼠体内从而使它们只能附着在癌细胞上。然后把特殊波长的光(低功率激光发出的紫外光)射入老鼠体内，这些光能引起“纳米金壳”变热而杀死其周围的癌细胞。(见图 6)

图 6：纳米金壳¹⁶



¹⁶ 图像由 West, J. L. 和 Halas, N. J. 提供，2003 年。‘工程纳米材料用于生物光子学：改善传感，成像和治疗学。’《生物医学工程年度评论》，第 5 卷，第 285-292 页。

60nm 核半径
20nm 壳厚度

60nm 核半径
5nm 壳厚度

框注 2 纳米技术最新商业产品

- 滑雪设备保养腊 (Cerax nanowax)
- 德国弗朗赛纳公司 (Franz Ziener) 的防水滑雪服 (NanoTex)
- 防皱防脏纳米衣服
- 欧莱雅 (L'Oréal) 浸透性肤膏
- 柯达的 OLED (有机发光二极管) 照像机
- 墨镜式纳米薄膜防反射涂层
- Z-COTE (透明氧化锌微粒) 防晒油
- 百宝力 (Babolat) 纳米管网球拍
- 英迈特公司 (InMat) 纳米技术网球
- Shockjock Aerogel 暖脚器
- 西蒙斯公司 (Simmons) 的可洗床垫 (NanoTex)
- Maruman & Co.公司的纳米技术“钛福勒”高尔夫球杆
- 纳米动力高尔夫球
- Bionova“个性皮肤护理”
- 用于烧伤患者的“纳米银”Nuocryst 伤口敷料
- EnviroSystems EcoTrue 纳米乳化“军用”消毒剂
- 为建筑材料涂层以使其耐水的巴登莱胺苏打公司 Mincor 超亲水喷雾器
- Nanofilm's ClarityDefender 窗口喷雾器
- Flex Power 关节和肌肉疼痛乳膏 (使用“90 纳米微脂粒”)
- 3M 公司牙科粘结剂 (纳米羟基磷灰石)

以上只是纳米技术应用领域中的一部分，科学家和工程师正在继续扩展它的使用范围，

并与工业界及政府一起合作共同研究开发纳米技术，同时使纳米技术研究商业化并以面向消费市场为其研究的方向。

尽管至今只开发出少数纳米产品 (参见方框 2，摘自福布斯 2003 及 2004 年的“前 10 名”名单)，但是我们必须考虑到纳米产品商业化浪潮所带来的问题。因为纳米材料和纳米生产过程的迅速商业化会产生新的伦理和政治问题并触发老难题。许多公司开始关心新产品的公众接受程度，其理由当然是自私的——希望生产成功的产品，但也与近来公众强烈反对基因改良食品和基因改良生物体 (GM/GMO) 有关。从切尔诺贝利核事故和印度博帕尔灾难，基因改良食品辩论，英国和欧盟的疯牛病，到美国侵权诉讼案件的急剧增加，并考虑到科学现状，纳米科技人员已经意识到：在让纳米产品商业化之前，必须研究其潜在的危害性。科学人员的这种意识与谨慎态度是很重要的。

这对于国际贸易的意义也是显而易见的，如对基因改良食品而言，那些对健康和安全的纳米产品可能会导致国际贸易限制、禁令以及复杂的贸易冲突。近来，许多非政府组织和国际观察员呼吁各国对纳米产品进行更多相关研究，许多公司也认识到需要增加对纳米产品的安全、毒性、健康和环境影响以及伦理和政治问题的研究。根据自愿原则，制定国际标准并采用好的国际惯例来指导纳米材料的生产与研究是所有研究机构所关注的问题。但是由于这会牵涉各方的竞争利益，因而有效的组织体制还没有制定出来。教科文组织及其会员国能够担当起此职责，制定有效的标准来指导纳米产品的商业生产，并鼓励颁布相关的商业和学术研究的伦理标准。

3

纳米技术的伦理、法律和政治意义

纳米技术的研究遍及广泛的学科与技术领域，其所带来的伦理、政治和法律问题也是多方面的。在许多领域里，纳米技术与现有的政策问题或古老的伦理难题有关，其中几个是新出现的。

3.1 国际纳米技术

目前，全世界的发达和发展中国家都在进行纳米技术研究，但它们在融资和投资水平、科学和技术基础及使用的材料、地区间的合作等方面都有很大的不同。跟以前的科学技术一样，如果发展中国家不能在同等地位上与其他国家进行合作，它们就会因“知识差距”而被甩在后边。但证据不断表明，现今的这种差距比起 15 年前已大有不同。现在研究人员更可能通过因特网来获取相关资料，同时由于中国、巴西和印度经济水平的提高，美国和欧盟的研究人员更可能与这些国家的科学家进行合作。例如，就纳米技术开展的国际合作远比二十世纪八十年代和九十年代就生物技术所进行的合作为多。尽管在合作中会有国家利益冲突，但显然现今的这种“知识差距”的性质已有所变化。

在获取研究信息资料方面，国内的不平等现象可能比国际间更严重。不同国家间的专家和精英更容易和更经常进行较高水平的研究与开发交流，而在一个国家内部的专家和精英与较贫穷的及较少教育的人之间，则很少有这样的交流与合作。因

此，全世界的科学家及专家需要想法填补这种“知识差距”，以促进国内及国际间的信息交流与合作。

纳米技术研究的内容和方向能在多大程度上平等地惠及所有国家，这与知识差距的问题有关。2005 年《公共科学图书馆·医学》¹⁷ 的一篇文章指出，纳米技术能在能量贮存及转换，水处理，健康及疾病诊断和治疗等诸多领域帮助那些赤贫国家。文章进一步提出纳米技术的十大应用有助于发展中国家实现联合国的“千年发展目标”(见图 7)。

但是，应当建立什么样的机构来促进纳米技术研究呢？又应该怎样鼓励大学和公司的科学家去实现这些目标（而不仅仅是为了商业目的）呢？国际合作有助于指导科学家把研究工作投入到最需要和最有影响的领域。这些领域大多数具有良好的商业和开发可行性，需要各国及发展中国家共同努力来推动这些研究开发工作，以确保其在发展中国家不同的基础领域得到应用。

¹⁷ Salamanca-Buentello, F. Persad, D. L., Court E. B., Martin, D. K., Daar, A. S. 和 Singer, P. A. 2005 年。‘纳米技术与发展中国家’，《公共科学图书馆·医学》，第 2 卷，第 5 号，e97，第 302 页。

图 7：纳米技术的十大应用与联合国的“千年发展目标”(MDGs)

顺序 (得分)	纳米技术的应用	例子	与 MDs 相比较
1 (766)	能量生产和转换	基于纳米管的太阳能电池、量子点太阳能电池、有机太阳能电池、氢燃料电池、纳米管复合膜涂层中的碳纳米管	VII
2 (706)	提高农业生产率	用于植物生长的纳米肥料、纳米传感器、纳米除草剂、纳米灌溉系统、纳米生物农药、纳米生物肥料、纳米生物农药、纳米生物肥料	I、IV、V、VII
3 (682)	水处理及补救	用于水净化的纳米多孔性分子筛、纳米多孔性聚合物及凹凸棒石、用于水净化的纳米多孔性分子筛、纳米多孔性聚合物及凹凸棒石	I、IV、V、VII
4 (606)	疾病诊断及筛选	用于疾病诊断的纳米传感器、纳米生物传感器、纳米生物传感器、纳米生物传感器、纳米生物传感器、纳米生物传感器	IV、V、VI
5 (558)	药物发送	纳米颗粒、纳米胶囊、微脂粒、树状大分子、布基纤维、纳米磁粒、纳米磁粒、纳米磁粒、纳米磁粒、纳米磁粒、纳米磁粒	IV、V、VI
6 (472)	食品加工与贮存	纳米复合材料、纳米复合材料、纳米复合材料、纳米复合材料、纳米复合材料、纳米复合材料	I、IV、V
7 (410)	空气污染及补救	用于空气净化器的纳米催化剂、用于空气净化器的纳米催化剂、用于空气净化器的纳米催化剂、用于空气净化器的纳米催化剂、用于空气净化器的纳米催化剂、用于空气净化器的纳米催化剂	IV、V、VII
8 (366)	建筑	用于建筑材料的纳米材料、用于建筑材料的纳米材料、用于建筑材料的纳米材料、用于建筑材料的纳米材料、用于建筑材料的纳米材料、用于建筑材料的纳米材料	VII
9 (321)	健康监控	用于健康监测的纳米传感器、用于健康监测的纳米传感器、用于健康监测的纳米传感器、用于健康监测的纳米传感器、用于健康监测的纳米传感器、用于健康监测的纳米传感器	IV、V、VI
10 (258)	带菌体和害虫的探测与控制	用于探测害虫的纳米传感器、用于探测害虫的纳米传感器、用于探测害虫的纳米传感器、用于探测害虫的纳米传感器、用于探测害虫的纳米传感器、用于探测害虫的纳米传感器	IV、V、VI

* 纳米技术每项应用的最大总分数为 819。DOI : 10.1371/journal.pmed.0020097.t001

3.2 纳米技术的毒性与环境意义

目前纳米技术中最紧迫的问题是其对人类和环境的毒性及风险。这些主要是安全和健康问题，不是伦理或政治问题。但人们觉察到纳米技术的新奇性后，越来越担心它可能会造成新的危险或风险，从而提出了怎样应对的新问题。大多数公司和研究人员通过“风险管理”——小范围的高技术评估——来处理这些问

至今，针对这些风险人们进行了相应研究。其中最近有几份报告(参见本文献篇末内容)对研究的现状作了详细的论述，主要包括两个关注：纳米微粒的危害与暴露风险。前者涉及到纳米微粒对人体或自然生态系统的生物和化学影响，而后者涉及到纳米微粒的泄漏、流失、传播和富集问题，以及由此给人体

题。尽管这种方法能准确地说出新近制造的物质、材料和设备所带来的风险（有时还能说出其好处），但它不能解决由这些风险所带来的伦理或政治问题，例如谁应为风险负责？它将怎样在国际分配？以及谁有权根据这些分析来做出相应的决定？

或生态系统带来的危害。

只有少数几种被定义为“纳米微粒”的纳米材料能在不久的将来得到广泛应用。其中最常见的是布基球、单壁式和多壁式碳纳米管等碳纳米材料。其他诸如二氧化钛、

框注 3 欧盟委员会健康与保护消费者总司的建议

1. 为纳米材料制定新的命名原则。
2. 为新的纳米微粒指定新的化学摘要服务登记号 (CASRN)。
3. 通过对新纳米微粒收集数据和进行分析来促进科学发展。
4. 开发新的测量仪器。
5. 制定标准化的风险评估方法。
6. 推广风险评估的优秀惯例。
7. 建立相关机构监控纳米技术研发。
8. 建立与公众和工业界的对话渠道。
9. 为纳米材料的生产、处理、商业化和风险评估制定指导原则和标准。
10. 重新评估现有标准，并根据纳米技术的发展作相应修改。
11. 严格控制现有的游离纳米微粒。
12. 防止纳米微粒释入自然环境。

氧化锌或纳米金粒的纳米材料也可能（或已经）在不同环境中得到应用。通常纳米微粒可分为三类：“工程”纳米微粒（例如布基球和黄金纳米壳）、“附带”纳米微粒（例如焊接烟气，烹饪和柴油机尾气中的微粒）和“天然”纳米微粒（来自海洋中的盐喷或森林火灾）。目前，对“工程”纳米微粒的研究还处于初级阶段，其中布基球是唯一受到认真研究的“工程”纳米微粒，但“附带”纳米微粒（通常定义为“超细颗粒物”，例如用于汽车尾气）已受到广泛研究。迄今对球状碳分子毒性的研究表明，这种物质确实是危险的，但能在工程上减小其毒性，例如在布基球表面增加其他化学物质，就能改变其化学性质。¹⁸ 同时这些研究结果也表明，决策者需要改变观念，因为他们要关注的问题不是“该纳米技术安全吗？”而是“怎样使纳米技术更安全？”。国际合作也能为这些纳米物质的制造与检验制定伦理规范：科学家的任务不仅是宣布发现或创造这些纳米微粒，而且还要提出安全使用或确保比使用其他物质更安全而又可达到同样目的的要求。

纳米微粒对环境和生态的影响也极难评估。鉴于生态循环的复杂性，以及不能对自然环境进行直接实验，我们对纳米微粒在生态中的危害和暴露风险的知识很不足。然而，正如其他许多情况一样，当前最紧迫的问题可能不是确定纳米微粒是否确有毒性，而是制定新规范或执行老规范来约束制造或加工这些物质的工业界。当前，许多国家对砷和汞等明确的危险化学品监管不力，如果纳米微粒的毒性比这些物质的毒性还低，则这些国家的规章制订者将受到巨大的挑战。那些倡导绿色化学、开发循环工艺和废物利用的公司与未采取此类措施的公司相比，造成的毒物暴露风险自然要少，但如何激励成本更高的做法，这个问题比纳米技术本身古老得多。

欧盟和美国已建立监督系统对纳米技术可能带来的危害与暴露风险进行评估。欧盟委员会已就有关处理这类暴露风险的可能程序公布了一份初步报告。另外，欧盟新法规《化学品注册、评估和授权》将对在未知后果的前提下生产纳米微粒的化学工业产生深远影响。

¹⁸ 已有研究人员对球状碳分子 (fullerenes) 的毒性进行了几次研究，其中包括证实对鲑鲈大脑氧化损害的研究 (Oberdörster, E. 2004 年。‘制造的纳米材料[fullerenes, C 60]对小鲑鲈大脑的氧化影响’，《环境卫生展望》，第 112 卷，第 10 号，第 1058-1062 页) 和对在老鼠中的布基球细胞毒性的测量研究 (Colvin, V. L. 2003 年。‘工程纳米材料的潜在环境影响’，《自然生物工艺学》，第 21 卷，第 10 号，第 1166-1170 页)。

¹⁹ <http://europa.eu.int/comm/enterprise/reach/overview.htm> (2006 年 1 月 17 日评估)。

美国环境保护署(美国 EPA),美国食品和药品管理局,美国职业安全与健康管理局和国立职业安全与卫生研究所已开始研究是否需要改变现有制造工艺以适应纳米技术发展的必要性。例如,美国环境保护署正在评估一家申请批准生产碳纳米管的公司提交的首份“制造前通知”。除了这些机构颁发的规章条例外,有几个机构还资助有关工程纳米材料危害和暴露风险的校内外研究项目。

英国皇家学会最近也发表了一份报告,建议在政府为纳米技术制定新规则之前,应促使有关公司和大学在2到5年内对纳米材料的毒性和管理程序进行研究和理解。

与毒性密切相关的一个问题是消费者意识、对纳米微粒的标识和规章制度的推行。今天,与任何科学或技术物质的生产有关的核心问题之一是消费者和公民对所获信息的信任程度。对于大多数有意投资于纳米技术的公司而言,基因改良食品是一个明显而又惊人的例证。由于一些公司既未经公众许可、又未对其食品作相应标记就开始生产和销售基因改良食品,以致后来导致公众的强烈反应,同时也触发了人们对食品标识、政府及公司监督和保障基因改良食品安全性的讨论。

纳米技术也面临类似的问题,特别是当像“灰灰雾”那样的情景被用来煽情或说服目的时。即使没有危言耸听,但由于有关健康和安全的正常报道产生了许多互相矛盾而且往往是片面的警示或赞同意见,故很难有效传达纳米微粒的确切风险。然而问题更为复杂的是,对于监督或标识而言,迄今人们还没有就纳米材料或纳米微粒到底应视为全新的物质、还是应视为现有物质的一个分支达成一致看法。因而负责材料监督的标准组织,从国家标准化组织到国际标准化组织(ISO)都将面临如下挑战:判明什么原因使纳米微粒成为有别于具有相同化学成分的大分子结构物质。只有这样决策者才能知道是该调整现有规则还是建立新的标准。

如果人们熟悉的材料在纳米级范围内发生性质变化,那么,现有风险评估方式就有可能把握不住新的潜在危险。欧洲专家要求制订纳米级新微粒的新标准、工具、命名法和具体测量系统来解决其中一些问题(方框3)。同时国际组织能发挥相应作用以促进这些新标准及新工具的广泛使用,不仅在美国和欧洲,更应在中国、印度、巴西和伊朗伊斯兰共和国等发展中国家,因为这些国家已开始启动纳米技术研究项目和监控措施。

这里还有政治和文化因素——即各国政治家和公民对风险和规则的态度。图8说明了对这些问题的态度分布,其中左边显示欧盟规则的预防风格,而右边显示美国的市场和公司友好风格。具有预防风格的前者认为,目前没有充分的数据证明纳米技术是安全有效的,因此对纳米产品的营销应当采取谨慎的态度。而具有市场友好风格的后者却认为,正是因为没有充分的数据证明纳米技术是不安全的,所以在产品投入市场前无需另订规章。²¹



²⁰ 数字由生物与环境纳米研究中心的 Kristen Kulinowski 提供。保留一切权利

²¹ 关于预防风格, 请参见 COMEST 报告:《预防原则》, 教科文组织, 2005 年。

美国的总体情况：现有规章令人满意
欧盟的建议：要求采用分层评估风险的方法

全球化已使国家规则和安全保障的效力更加政治化和难以把握，而这正是造成这两种风格差异的原因所在。

3.3 风险评估之外

显而易见，纳米材料的安全性、毒性和环境影响是非常重大的问题，对此需要进行进一步研究和国际监督。然而，这些问题属于相对狭窄的技术问题，最好通过精密的风险分析技术、科学实验和从法律上对现有监控系统进行再评估加以解决。

但是，还有一系列其他问题严格说来无法通过技术风险分析进行处理。这些比较宽泛的伦理和政治问题包括科学研究成果的知识产权、保密性和合法性、以及由于资金和知识产权法律内涵所造成的可能的知识鸿沟。从广义上讲，这一问题涉及纳米技术作为一门科学，是否类似于

昔日的传统科学，或其是否会在政治、社会和法律压力下演变成一种不为我们所熟悉的东西。

近来对生物技术和基因改良食品的研究，揭示了在科学的纯洁性和无私性方面的某种“纯真缺失”。今天在许多国家对基础科学的公开监督和社会导向已不再是禁忌。由于受到日趋增加的各种外部压力——不仅有商业压力，而且还有来自公众社会和国家部门的压力，纳米技术有可能成为科学家本身不能进行自主研究的第一批学科之一。此种新互动的结果如何，尚未得知。

3.4 科学伦理

纳米技术提出的最大难题之一与科学本身的结构相关，而不局限于纳米技术。危险涉及科研成果的合法性，公众对这些科研成果的信任度以及政府、公司或非营利团体对这些科研成果的使用和滥用。20 世纪的科学日渐受到新的监督方式和压力的影响，它们左右科学信息的创作、出版和共享。其一，知识产权和奖励体制明显扩大；其二，公众对科学研究的监督日臻加强，要求科研公众对负责；最后，政府根据保密原则和新的反恐需要利用和滥

化以及互联网的扩张，谁将从这些可能的威胁中获益或受害的问题再次模糊起来。前景良好的科学需要强大的基础设施进行管理，而发展中国家由于缺乏基础设施从而导致没有先进可靠的科技知识和实践，因为它们买不起昂贵的科技信息，或者无法查阅数码存储的科技数据和资料。这种数码鸿沟以及某些国家对网络技术实行的人为政治控制，可能会影响未来纳米技术在全球的传播。

用科学信息。这些压力综合起来可能对科学的种类和质量产生消极影响，并可能建立有悖于科学的客观性和真实性价值的奖励机制。

此外，很大程度上由于科学研究日渐全球

在有关危害和暴露风险方面，最大的问题在于我们对知识财产的利弊了解不多。因为目前几乎还没有证据可以证明日臻增加的专利权或版权保护的经济效益，也没有任何证据证明减少保护是否有

益。但是，我们能够参照其他科学领域以及知识产权保护的经验来指导纳米技术的研究。

最近围绕知识产权在科学和科学商务应用界有三种争论争得热火朝天：过于宽松的专利权授予可导致诉讼费用增加，并使公司和政府间的交叉许可制度及专利贸易制度高度复杂化；新数据库法律能有效地授予公司事实权（世界知识产权体系早就明确反对），甚至由于引起极贵费用而阻碍了最无害的基础研究；信息技术中所谓“商业方法”专利的增加。

“商业方法”专利是知识产权过度扩张化的典型例子。这种专利授予用计算机技术完成传统工艺的公司广泛的权利（网上拍卖专利和网上购物专利就是两个出名的例子）。由于被定义为“探索已知材料的新奇特性”，此种占地为牢式的专利也可能泛滥到纳米技术领域。

纳米技术过度专利化会带来“专利丛林”或“反公地悲剧”的危险。由于基本纳米微粒专利与使用纳米微粒的工艺专利最终都可能具备极其精微的特性，故谁能生产一种新奇材料（如利用碳纳米管生产清洁饮用水的水过滤系统），谁就有可能在专利主张的竞争和互相重叠的专利方面面临无穷的麻烦。因而在着手研究之前需要法律专长，这不仅使商业利益承受风险，也使相关大学和学术中心的学术研究承受风险。这不仅不会产生获利激励，反而会使人们产生焦虑——即使使用天然产品或自然工艺也会承担法律责任。此种令人心寒的影响可能会将除巨富之外的其他人逐出某些研究领域。

当受保护的东西是科学信息，而不是某些必要工序或设备时，这些影响更加显著。例如基因序列的使用，数据库信息或其他输入科学工序的重要却无形的信息。在此情况下，即使使用纳米产品的信息也需要付出特许费用和签订合同。尽管发展中国家可能在国内制定了

知识产权法，但依然会面临这些问题。过去 10 年以来，世界知识产权组织，世界贸易组织和某些工业集团（其唯一的商业收入来自知识产权，例如电影和音像工业）等国际组织一直在努力协调和强化世界各地的知识产权法。

解决这个问题的方法是鼓励——就各国政府而言，是要求——开放公共资助的研究成果和材料。目前对知识产权的保护有日趋加强之势，但其复杂性轻则可能大大增加交易费用，重则可压抑科学家独立进行研究和验证科学问题的能力。竞争激励容易产生，但知识产权这一僵局很难突破。专利制度并非取代同行评议和重复的高招，但激励却能促使科学家从事创新的和可取得专利的研究，而不是模仿那些很少有实际应用价值的成果或实验证据。同时，公共资助的研究成果不仅要以电子方式，而且要在那些因特网的使用还不完善的国家里以印刷形式进行广泛的传播。同时还要大力宣传为公众资助的科学家制定的新规范，以鼓励科学家首先将其研究成果公诸于众，然后再寻求知识产权保护。只有鼓励科学家们把全世界的公共利益作为工作目标时，才能维持开放的、可靠并可复制的科学系统。

另一种科学压力来自公众对科学研究及其研究成果日趋加强的监督。由于许多引人注目的事件——从对重组 DNA 发明的 Asilomar 辩论、切尔诺贝利核事故和印度博帕尔灾难、疯牛病危机、到对欧洲基因改良食品的公开辩论，政府和民众已不敢随意相信科学家的声明。正是出于同样的原因，科学研究已越来越多地考虑社会和民众的要求，例如艾滋病积极分子要求医疗界增加对此种疾病的医学研究，而环境学家的努力也促进了野生动物栖息地的建立和保护。科学家与公众之间的这种互动新模式受到了大公司利益的协调。尤其是纳米技术，公众应更早地介入其中，以避免出现如对基因改良食品之类的抵制运动。

国际机构(如教科文组织)可以充当促进公众和科学家之间对话的有效调解人或服务机构。如果说社会纳米技术研究是为了解决与大多数人利益攸关的迫切问题,那么公众和机构应与科学家、投资者及企业家联合起来,并与当地其他技术领域(例如环境补救以及发展中国家的水或能源政策)的专家合作。

第三种科学压力的确定性小得多:即来自保密性要求和恐怖主义威胁的压力。这里涉及两大问题:首先是恐怖分子可能使用纳米技术的研究成果制造新型的恶毒武器,或者这些武器由某些国家制造出来,但最后落到了

恐怖分子手上。这也迫使人们对纳米技术的研究进行分类或将大部分纳米技术研究(包括生物技术或化学)加以保密。第二个问题正好相反:某些国家政府滥以恐怖主义威胁为借口,对研究进行分类,或者更可能的是,当研究成果与其政治目标不一致时,就放弃这些研究。这个问题与其说跟政府的具体目标有关,不如说跟科研成果的合法性(包括科学研究与政府利益的有效分离)有关。两者的分离程度越低,尖端科学对国家或全球的公众的合法性和无私性越差。再次,国际组织可以在这里发挥作用以确定科学行为规范,此规范将能在科学开放的要求与阻止潜在的危险信息传播的政治压力之间取得平衡。

3.5 分心之说——伦理问题并非分心之说

当谈到纳米技术的伦理或社会问题和风险时,最近有两场讨论吸引了公众的注意:即所谓的“灰雾”情景和“后人道主义”忧虑。其中“灰雾”情景基于一种恐惧:人们担心纳米技术设计产生自我复制的程序,或它们将“进化”成为有自我复制能力的设备,并将继续复制下去直到摧毁整个自然界。目前,还没有出现具有自我复制能力的纳米物质(除非把DNA和病毒之类的物质纳入纳米物质的定义之中,而这会进一步搞乱讨论)。然而,根据哲学家、伦理学家和许多科学家的通常说法,好像这些物质现在已经存在、或在不久的将来就会出现。这些说法往往犯有“技术决定论”的毛病,根据这种理论,不管是其倡导者或反对者都假定,技术能够自动发展而不受人类、社会或政府的控制。由于缺乏实验科学的支持,这一辩论很快被两极分化:对纳米技术一个人要么反对要么支持。

“灰雾”场景的说法是一种分心之说,因为它只是从未来研究的可能技术风险来讨论纳

实际研究监督与管理系统进行研究。“灰雾”情景本身只是一种假说,它转移了科研人员的注意力,而当前最重要的是要做好研究和监督工作,而不是想像未来的情景。

另一种分心之说起源于对“后人道主义”的讨论。这一辩论涉及把纳米技术用于改善、修复、替换或者扩大人类特性的问题。这些改进措施包括附加在视网膜上能改善视力的纳米级传感器、能改善听力的电子耳蜗、供运动员使用的运动增强技术以及新型整形外科手术。

“后人道主义”讨论所遇到的问题恰与“灰雾”情景相反:这些人士认为,我们必须对纳米技术未来给人类造成的伦理窘困做好准备,然而实际上,现今我们就面对了这些问题,例如体育中运动兴奋剂的使用、用于改善人类特性的基因筛选、或对与我们控制躯体信息技术有关的隐私权的担忧。无论如何,纳米技术应该能提供一种机会,让我们重新审视这些担忧,并尽力为现在和将来出现的

米技术的伦理和社会问题，而不是从现今的

问题找到真实答案。教科文组织发表了可资利用的分析结果（例如，《克隆人类：伦理问题》），稍做修改旧的用于通过纳米技术改进人类本身的问题。

如果决策者、受命官员和非政府组织等机构不因这两场讨论而分散注意力，那么还有许多其他紧迫的问题需要严肃讨论，同时相关政策和监督制度也有待建立。这些问题包含：纳米技术的毒性、环境损害和暴露风险；商品标识、消费者意识和产品监督；知识产权、保密性和国际科学研究的可靠性及合法性；

科学和技术的国际差距，以及最重要的，推广纳米技术的使用以帮助解决大多数人的最迫切需求。

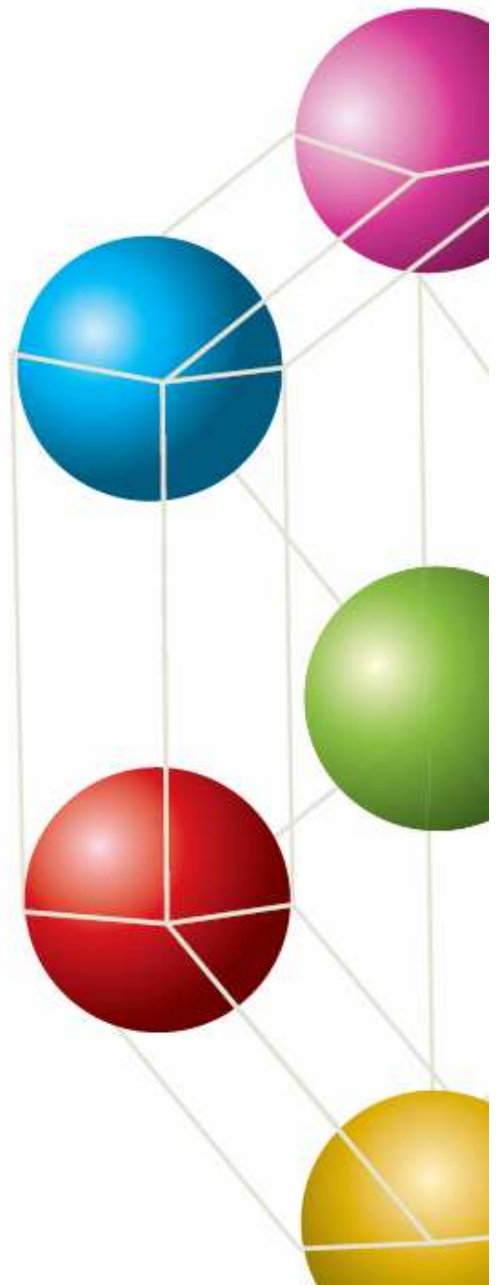
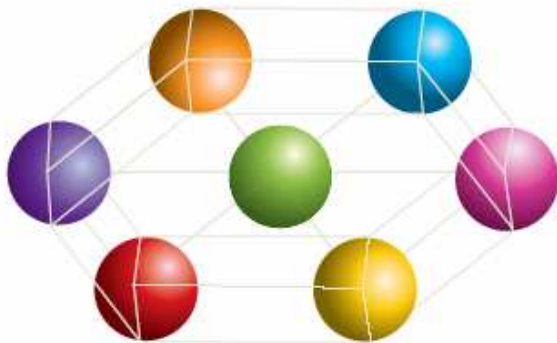
这些问题大多数与当前的其他伦理和政治讨论有关，因而对这些问题研究必须建立在这些讨论的基础上。例如，生物技术和信息技术的知识产权问题已经受到了广泛的讨论；同样，有关人类机能的提升、医疗风险和人类受试者等问题已在医疗伦理学讨论中受到关注。尽管纳米技术是一种新型的、振奋人心的技术，但它所提出的伦理和政治问题并非完全不同于我们已经面对的问题——它为我们提供了可能更成功地解决这些问题的机遇。

4

结论

纳米技术正处于十字路口。能否就纳米技术的方向、安全性、合意性和资助等问题达成一致意见，取决于人们如何对它进行定义以及如何决定它的牵涉人员。可以这样说，当我们越来越依赖科学技术，而且公众的安全意识持续提高时，各种各样的“参与者”都将介入到科学研究工作中来。

此外，政府、非营利组织、公司和积极分子组织等都对纳米技术产生了强烈的关注与热情，这就需要进行步伐一致的协调工作。显而易见，组建更多新的机构的需要减少了，人们更需要强化各种现有机构及组织的职能。





附录

纳米技术报告索引

本索引包含最近发表的涉及纳米技术及其社会、政治或伦理问题的一系列报告。

- 英国皇家学会和皇家工程学院报告
《纳米科学和技术：机会与不确定因素》
<http://www.nanotec.org.uk>
- 反对侵蚀、慎用技术、重组资源行动组织 (ETC)
《大衰落》
<http://www.etcgroup.org/documents/TheBigDown.pdf>
《人在农场》
http://www.etcgroup.org/documents/ETC_DOTFarm2004.pdf
<http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=485>
- **Demos**
《透视科学》
<http://www.demos.co.uk/catalogue/paddlingupstream>
- 欧洲公共卫生和消费者保障委员会
《纳米技术：初步风险分析》
2004 年 3 月 1-2 日
http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/events_risk_en.htm
- 瑞士再保险公司 (Swiss Re) 的研究报告
《纳米技术——物质细小而未知太多》
<http://www.swissre.com/INTERNET/pwswpspr.nsf/alldocbyidkeylu/ULUR-5YAFFS>
- 美国国家科学基金会 (NSF) /子午线国际研究所
《有关风险、纳米技术、穷人和监控不力的对话》
<http://www.nanodialogues.org>
- 美国国家科学基金会 (NSF) “融合技术”(NBIC 技术) 报告
《改善人体功能的融合技术》
<http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies>
- 国家研究委员会
《小小奇迹，无边疆界：国家纳米技术创新回顾》(2002 年)
<http://www.nap.edu/openbook/0309084547/html/1.html>
- 英国纳米评判 2005
<http://www.nanojury.org>
- 伍德罗·威尔逊 (Woodrow Wilson) 报告
《纳米技术与监控：TSCA 事件》
<http://nanotechcongress.com/Nanotech-Regulation.pdf>

教科文组织 (UNESCO) 科学技术伦理处

科学技术伦理处的职责旨在研究和处理科学技术的伦理问题，重点是生物伦理。本组织的中期策略目标之一是“推广有关原则和伦理规范以指导科技的发展和社会改革”。

科学技术伦理处的任务是为教科文组织会员国提供支持，其中包括科技伦理的教学规划，国家伦理学委员会及联合国教科文组织的会议及教科文组织教席。

科学技术伦理处也为 3 个国际伦理学机构提供秘书处服务，即世界科学知识和技术伦理委员会 (COMEST)，国际生物伦理学委员会 (IBC) 和政府间生物伦理学委员会 (IGBC)。

联合国教育、科学及文化组织 (UNESCO)

联合国教育科学及文化组织 (UNESCO) 科学技术伦理处

社会科学及人文科学部门

1, rue Miollis

75732 Paris Cedex 15

France

<http://www.unesco.org/shs/ethics>



纳米技术