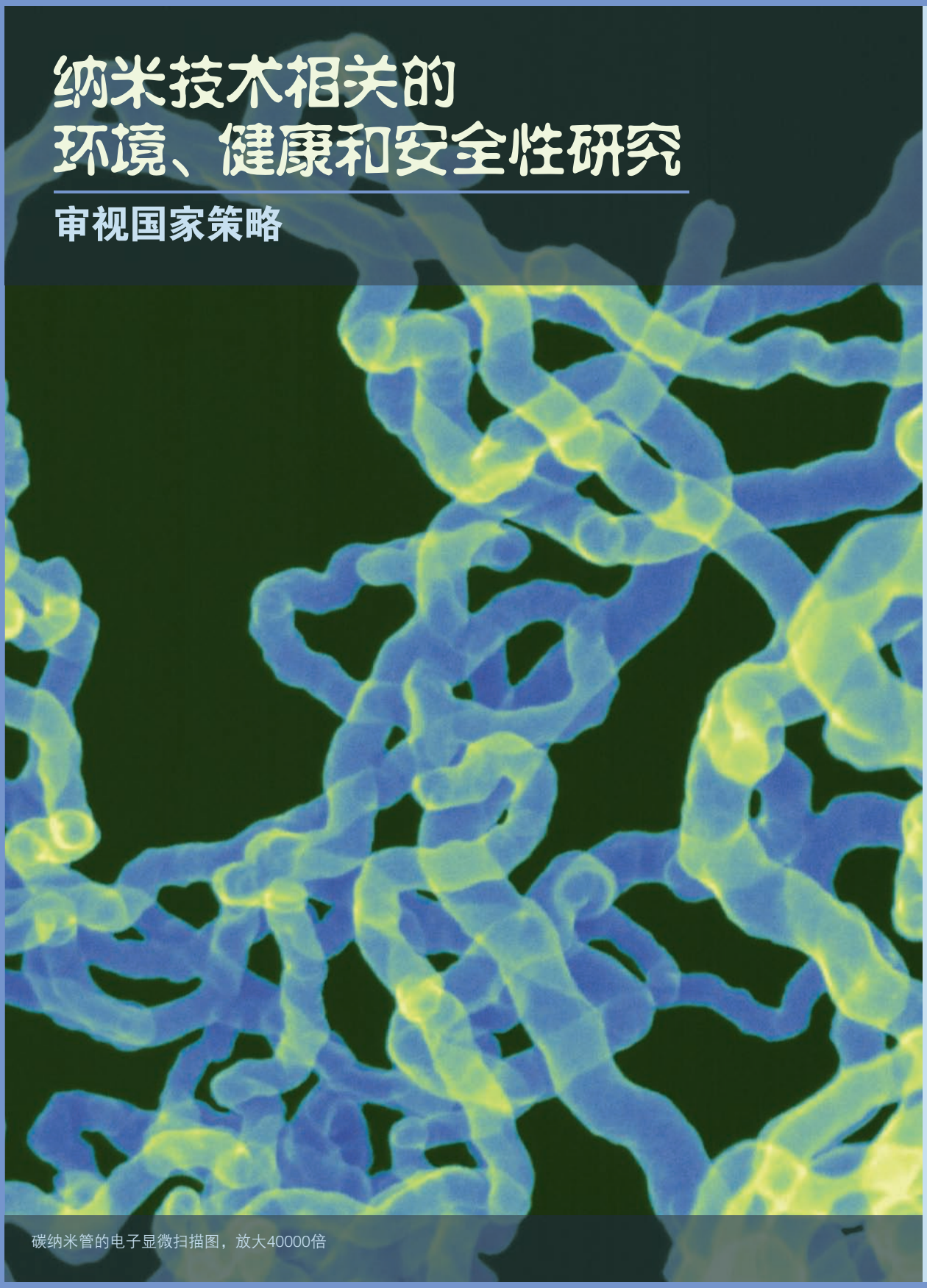
纳米技术相关的环境、健康和安全性研究

审视国家策略



碳纳米管的电子显微扫描图，放大40000倍

无论是一管防晒霜、一个网球拍、一个音乐播放器、或是任何一种消费品，都有可能是“纳米应用产品”，也就是说，包含了纳米级颗粒带来的一些有益的功能。据纽约的市场分析公司卢克斯研究（Lux Research）估计，2007年销售的应用纳米技术的商业和消费产品，价值约1470亿美元。援引该公司最新的估计，卢克斯分析师David Hwang预测，这一数字可能在2015年突破3万1千亿美元，让大家坚信，纳米技术正在引发新的工业革命。

然而，席卷市场的纳米技术已引起越来越多的人关注这些神奇的材料对人类健康的潜在影响。由于体积小（小于或等于100纳米），纳米材料具有独特的物理特性，可影响其在体内的吸收、分布和作用。事实上，有些纳米粒子已被证明可渗入细胞内，触发炎症反应和氧化应激。

最近，加拿大和美国加利福尼亚州迈出了前所未有的一步，要求授权公开纳米材料的使用和毒性评估数据。2009年1月29日实施的加拿大法律瞄准了每年制造或购买超过1公斤纳米材料的公司和机构。根据新的法规，如今这些公司必须申报，使用了多少纳米材料，如何使用，以及对于其毒性到底了解多少。2009年2月2日颁布的加州法律，将必须申报的纳米材料范围限制为碳纳米管，是在电子、光学和医学领域使用的一类纳米材料。根据新的法规，2010年2月开始，加州生产、进口或出口碳纳米管的公司必须公开其产品的毒性和环境影响的信息。

与此同时，纳米毒理学和风险评估专家的观点已越来越两极分化了，分别由由国家研究委员会（National Research Council, NRC）和国家纳米技术项目（National Nanotechnology Initiative, NNI），政府层面的合作由总统办公厅（Executive Office of the President）的国家科学与技术委员会（National Science and Technology Council）负责协调。2008年2月，纳米技术对环境和健康的影响（Nanotechnology Environmental and Health Implications, NEHI）工作组发布了一个文件，题为《纳米技术相关环境、健康与安全研究战略》（*Strategy for Nanotechnology-Related Environmental, Health, and Safety Research*）。该文件旨在公布美国政府研究纳米粒子危害的议程，并介绍了2006年开展的246个有关项目，总投资6800万美元。该文件还声称“锁定优先研究领域……推动知识发展和支持风险决策，这两者都对纳米技术的发展至关重要。”

Clayton Teague主管国家纳米技术协调办公室（National Nanotechnology Coordination Office），负责起草联邦战略。他说，在与监管机构、研究组织、商业界和非政府组织进行广泛的咨询后制定了该战略，“我们相信，对于各机构计划要做的事情，其需求及一致协议正通过该战略计划体现出来，”他说，“提供资助的机构告诉我们，他们正在使用该文件，为该领域将来的研究制定招标。”

但是，2009年2月25日，NRC的一个小组发表了自己的报告，指出了该战略文件中存在的所谓严重缺陷。应NNI要求成立的NRC小组指出，在政府对纳米技术的潜在风险理解方面，该战略中暴露出了弱点，而且该战略也没有充分解决将来如何评估这些风险。NRC小组成员、杜克大学土木与环境工程教授Mark Weisner指出，NNI文件中的许多研究项目中，并没有真正关注环境、健康和安全（environmental, health, and safety, EHS）问题，“从表面看，联邦政府资助的纳米技术相关的EHS研究夸大了其努力的真实情况。”他说。

未知的毒性

如今，约2000种纳米材料已为商用或正开发为商用，但没有任何人体毒性资料。而美国罗切斯特大学医学和牙科学院环境医学教授Günter Oberdörster则认为，不能排除这些纳米材料对人体健康影响的风险。据Oberdörster所说，多壁碳纳米管被发现与石棉纤维，一个已知的人类致癌物，引起的反应相似。Oberdörster强调，这些调查结果仅在注射极高剂量碳纳米管的啮齿动物观察到。他说，现在需要的是能模仿现实生活中人类接触途径的吸入毒性数据。 Oberdörster说，他和同行们正在进行此类研究。

对纳米技术风险的预测已从吸入的研究开始，特别是那些针对纳米尺寸的超细煤烟颗粒的研究。吸入体内后，其中一些粒子穿过上皮和血管内皮细胞进入血液和淋巴循环，将他们运送至潜在的敏感部位，包括骨髓、淋巴结、脾脏、心脏和中枢神经系统。体外实验和动物实验显示，根据剂量和化学成分的不同，这些粒子可以诱导一系列的炎症作用，而流行病学调查结果证实，这些粒子与呼吸系统和心血管疾病有关联。

所有纳米粒子都具有较高的表面质量比，造成了对身体独特的反应，“化学反应往往发生在粒子表面，”美国环保局（EPA）科学政策办公室的科学事务副主任Jeff Morris解释到，“鉴于其面积超过其质量，与具有相同化学构成的大颗粒物相比，人体对纳米颗粒的反应往往更大。”

然而，工程纳米颗粒和烟尘在许多方面都存在差异。特别

© 2009 Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

是，每个烟尘粒子在颗粒大小、化学特性、表面特征和其他成分上面都是不同的，而工程用的纳米颗粒，有均匀一致的形状，包括球形、管形、线形、环形和平面。由于他们具有相似的高表面体积比，这两类粒子都能引发类似的生物学效应，Oberdörster补充说到。

然而，颗粒的均匀性也会影响到纳米材料的动力学和毒性，但原因不明。例如，新兴纳米技术项目（The Project on Emerging Nanotechnologies）的科学顾问Andrew Maynard指出，与其他粒子相比，某些煤烟颗粒和其他不均匀混合物对人体的危害更大。新兴纳米技术项目是皮尤慈善信托基金（Pew Charitable Trust）和伍德罗威尔逊国际学者中心（Woodrow Wilson Center for International Scholars）的合作项目，“在这种情况下，有害颗粒的毒性会被其他毒性较低的粒子所稀释，”他解释说，“但当工程粒子设计得非常精确的话，就会失去这种稀释效应，并有机会增加其对人体毒性的危险。”

寻找一种策略

NRC小组成员希望看到一个全国性的、以健康为基础的纳米技术研究战略，有明确的目标、里程碑和评估进展情况的机制。Maynard强调，不仅需要确保纳米产品的安全性，而且还需避免公众对这项技术的排斥，如果未进行适当的健康风险评估，公众的排斥心理将会增加。然而，NNI的战略文件——NRC专家小组成员声称——只是一个联邦基金资助项目的概述，没有统一的观点或共同的目的。NNI列出的每个项目均可归类为五个研究类别中的一种：仪器仪表、计量和分析方法，纳米材料和人类健康，纳米材料与环境，人类和环境暴露评估，以及风险管理方法。

在Maynard看来，这些项目并不是针对公众关注的问题而成立。相反，它们是调查者们推动的研究，以每个科学家自己的利益为激发点，他断言到：“科学家们不喜欢被告知需要做什么，”梅纳德承认，“但他们所感兴趣，与应用纳米技术的公司及管理部门的实际需要，两者之间是脱节的。”

NIEHS院长办公室的高级科学顾问、国家科学技术委员会（National Science and Technology Council）的纳米科学、工程和技术（Nanoscale Science, Engineering, and Technology, NSET）委员会联合主席Sally Tinkle表示，在没有任何具体的针对纳米毒性研究的联邦同意案的情况下，联邦机构的这种做法也是不得已而为之，“在并不充足的经费预算内，联邦机构尽可能地资助有优先权的研究。”她说。

NRC报告尚未发表的副本于2008年12月10号被泄露给了新闻界。随后媒体的关注促使NNI在2009年1月5日将长达18页的反驳内容贴在其网站上，http://www.nano.gov/，声明该战略文件不是、也从来没想过成为一个战略计划或执行计划，而是一个更高级别的、对纳米技术相关EHS研究的机构间合作的说明；“之所以写成一份联邦机构的战略文件，是为了协调、鼓励合作，并在可能的情况下，执行合作研究，”该声明接着列出了在NRC评估种所谓的技术性错误。虽然这些错误已于2009年2月报告最终发表时改正过来了，但NRC并没有改变其总体的结论。

Wiesner说，最重要的是纳米技术的暴露和毒性研究间适当的平衡，“我们不想毒性研究工作进展地太快，将暴露研究远远地落在后面，但毒性研究可以帮助确定暴露研究工作的重点，”他说，“我们需要达到毒性和暴露研究之间的这种微妙的平衡，这也是目前整个研究界正在努力和奋斗的目标。”

纳米技术的暴露研究的确带来了独特的挑战，Wiesner承认。科学家还有待于进一步找出普遍接受的方法，将纳米材料引入活体系统，如细胞培养。由于纳米材料的表面能与细胞大分子和盐相互作用，这将奇妙地改变这些纳米材料的特性。这些变革，Wiesner说，直接影响了有效接触–剂量反应的诠释。

透明度问题

与此同时，根据卡尔维特集团有限公司下属的贝塞斯达投资公司的高级研究分析师Ellen Kenney的说法，由于越来越多的审查，在使用纳米材料方面，工业界对于其公众形象已变得更加敏感。在其股东报告中，公司已经声明不再使用纳米材料，她说，这反映了这些材料可能被视为一种社会责任。

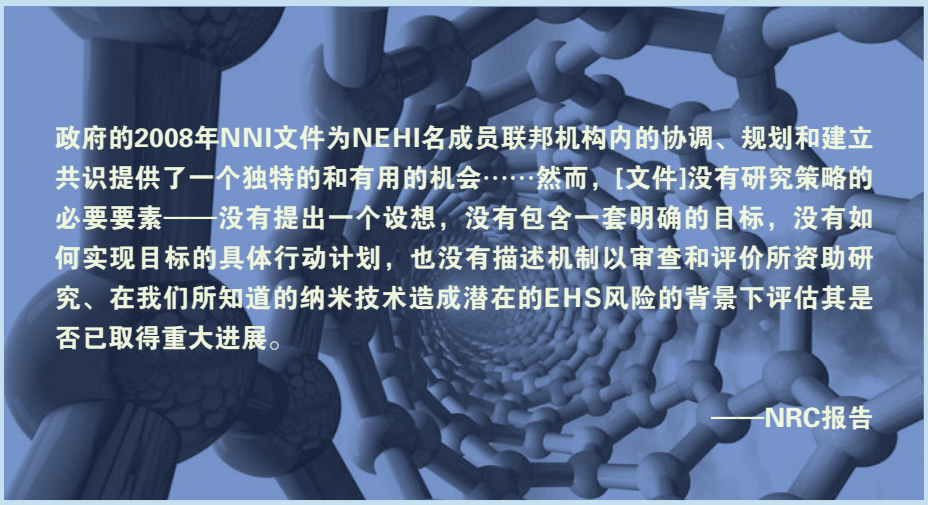
事实上，许多公司都不愿意主动公开纳米材料的使用情况和毒性数据。随着2008年1月28日纳米级材料管理计划（Nanoscale Materials Stewardship Program, NMSP）的启动，EPA敦促公司提供有关工程纳米级材料生产、进口、加工或使用的信息。这一为期两年的计划，旨在为最终的纳米材料管理决策提供信息。据卢克斯研究的数据，从事纳米技术生产或使用的公司总数可能增至1000个。EPA动员了150多家公司和11个行业协会自愿提供相关的数

据，Hwang说，但2009年1月12号NMSP公布的临时报告中，只有29家公司对此作出了反应。总的来说，这些公司公布了123种纳米材料化合物的数据。

EPA化学品管理部门的主管Jim Willis说，这些结果让该计划参与人员感慨万千。他说："一方面，对于一项志愿者计划来讲，我们认为其应答情况还是不错的，但另一方面，我们知道还有很多其他纳米材料未上报。这清楚地表明，如果我们要更好地掌握他们正在生产什么纳米材料、生产水平到了什么程度、以及人类如何暴露于这些纳米材料，我们必须做更多的努力。"

本文的受访者们一致认为，纳米材料对社会是十分有益的，这些纳米材料能够提供给我们更好的药物、更强更轻的产品和更好的环境和能源技术。但为确保公众对该技术的支持，需要更广泛地提供纳米颗粒的毒性数据。自然资源保护委员会（Natural Resources Defense Council）的科学家Jennifer Sass说，通常在公司内部报告中可以看到这些数据，但它们并不公开，也不发表在经同行评审的研究期刊上。新兴纳米技术项目的副主任Julia Moore声称，哪些公司使用纳米材料，以及如何使用，公众获得这些信息的机会十分有限，"这些资料并不掌握在政府管理部门手中，"她说，"华尔街的市场分析师们掌握这些信息，但他们不打算无偿提供。"

工业界认为，许多利益集团夸大了纳米材料的危险性，"恐惧的散播抑制了企业以公开的方式来使纳米技术品牌化，也使小型企业很难吸收资本和寻找合作伙伴来为市场带进创新产品，"总部设在伊利诺伊州Skokie的贸易集团——纳米产业联盟（Nanobusiness Alliance）的执行主任Sean Murdoch说。他引用碳纳米管和温石棉间的比较作为一个例子。他指出，几十年来，开采了百万吨石棉的工人没有任何保护措施，但与之不同的是，处理碳纳米管的实验室人员遵守的是严格的安全性操作规程。此外，他说，碳纳米管本身，一旦制成产品，是没有任何生物利用度的，"在暴露方面根本就没有可比性。"他说。



但是，这一论点不涉及对产品生命周期结束的关注，许多专家说。Tinkle说："即使公司设计的产品对于立即使用者是完全安全的，在产品生命周期结束时，我们仍关注纳米颗粒的暴露状况。一旦纳米产品被抛弃，并开始分解或降解——或日常使用时就开始磨损——纳米颗粒可释放到环境中。在产品的整个生命周期中，需要注意控制其暴露。"

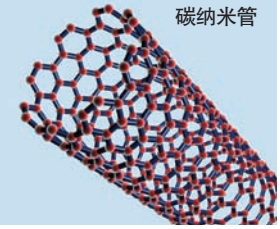
根据实际生活中的接触条件，Oberdörster个人认为纳米粒子是良性的，"我认为存在一定的毒性问题，"他说，"但是，直到我们搞清楚这些毒性之前，我们应当小心，避免过分暴露于纳米颗粒。可以做许多高剂量的体外试验并识别纳米颗粒的危险，但首先要确定暴露风险的存在。"

不过，假设增长的趋势继续下去，纳米材料将生产得越来越多，公众和环境暴露将相应地上升。鉴于这一现实，该行业的未来很可能取决于其公众监督的透明度。

–Charles W. Schmidt

译自 *EHP* 117:A158–A161 (2009)

碳纳米管的"辣"清理方法



碳纳米管，由1个原子厚度的石墨卷曲而成的超强材料，有出色的电子特性，被广泛用于电脑、电视机和其他产品。碳纳米管生产过程中的意外散落导致的这些物质的普遍存在，有朝一日会造成严重的环境负担。2008年11月12日《纳米通讯》（*Nano Letters*）发表的一项研究提出了一种"辣"的办法解决碳纳米管污染：一种长期用于免疫学研究的辣根过氧化物酶可以破坏碳纳米管。虽然需要更多的研究来完善降解过程和确定潜在的副产品，但是这种方法在相关的环境状态下已经证明是成功的。

–Erin E. Dooley

译自 *EHP* 117:A102 (2009)

sgame/Shutterstock