

纳米产业发展呼唤职业安全与卫生标准体系

Rise of nanometer industry appeals its occupational safety and health standard system

王威¹, 孙品¹, 仇玉兰^{1,2}, 吴芬¹, 缪文彬¹, 夏昭林^{1*}

(1. 复旦大学公共卫生学院公共卫生安全教育部重点实验室, 上海 200032; 2. 山西医科大学公共卫生学院卫生毒理学教研室, 山西 太原 030001)

关键词: 纳米产业; 纳米技术; 职业安全与卫生; 安全性评价

中图分类号: R134.1 文献标识码: C

文章编号: 1002-221X(2007)01-0057-04

一纳米等于十亿分之一米, 大约是一个氢原子直径的10倍, 是普通金属原子的3倍。一般认为, 纳米技术指在纳米尺度(1~100 nm)研究物质的特性和相互作用, 以及利用这些特性的多学科交叉的科学和技术, 使人类认识和改造物质世界的手段和能力延伸到原子和分子。纳米技术的最终目标是以原子、分子及物质在纳米尺度表现出来的新颖奇异的物理、化学和生物学特性制造出具有特定功能的产品。

纳米技术是20世纪80年代末、90年代初逐步发展起来的交叉性新兴学科领域, 已引起全球范围内的科技、工业和农业等发生革命性变革。纳米材料具有许多优良且奇异的物理或化学性质(如由纳米尺度所引起的尺寸效应、量子效应、巨大的表面效应以及界面效应等), 因而在医药、工业、建筑、化妆品和环保等产业中具有诱人的前景。

随着我国对高新技术产业支持力度的加大, 纳米产业在我国得到迅猛发展, 提供了大量的就业机会。然而, 由于纳米材料的特殊性, 许多材料的毒性尚未被全面认识, 其潜在威胁易被忽视。一旦某种材料或者产品存在较强毒性效应, 首当其冲受到危害的就是直接接触纳米材料的研究和生产人员, 相应的保护措施急需加强。当务之急是加强纳米材料及其产品毒性研究和纳米材料及其产品接触者的健康效应研究, 建立纳米材料及其产品的职业安全与卫生标准体系。本文主要从以下几个方面讨论纳米材料及其产品职业安全与卫生标准体系建设的必要性和紧迫性。

1 纳米材料的潜在健康隐患

纳米材料潜在的负面效应已日益受到关注。人们担心纳米材料对环境、人类健康和社会潜在的有害影响最终是否会超过它给人类社会带来的效益。自2000年以来, *Science* 和 *Nature* 等杂志已先后多次发表文章, 探讨纳米技术的安全性和纳米材料的生物效应以及对人类健康、环境的不利影响^[1~6]。美国、欧盟和英国等分别设立研究基金支持有关纳米技术和

纳米材料对环境和人类健康风险评价的课题^[7]。目前为止, 已对纳米二氧化钛(TiO₂)、聚四氟乙烯、碳纳米管、富勒烯和纳米铁粉等部分纳米物质的毒性效应进行了初步研究^[8,9]。

1.1 纳米TiO₂

纳米TiO₂广泛应用在涂料、抗老化、污水净化、化妆品、防静电等方面, 产量较高, 对其毒性研究也较多。过去一直认为TiO₂是低毒粉尘, 在许多粉尘的毒理学研究中, TiO₂往往被用作无毒的对照粉尘。但是, Fern等^[10]研究发现超微TiO₂(平均直径为20 nm)引起的大鼠肺部炎症比相同空气质量浓度的微米级细TiO₂(平均直径为250 nm)更为严重。这使人们对颗粒毒性问题有了新的认识, 即使是无毒或低毒的细颗粒材料, 其超微颗粒也可能会变得有毒。因而此类曾被认为无毒或极低毒物质的纳米颗粒以及其他纳米颗粒成为毒理研究的热点。Renwick等^[11]在研究29 nm超细TiO₂和250 nm TiO₂颗粒对巨噬细胞株(J774.2MF)吞噬能力的影响时发现, 29 nm比250 nm的TiO₂颗粒对巨噬细胞吞噬能力的抑制作用更明显。故而推测纳米颗粒的粒径(表面积)和数目是其造成肺损伤的关键因素之一。

1.2 纳米铁

由于纳米磁性材料是一种磁性强、制备相对简单, 而且生物相容性较好的材料, 在生物医学领域有着广泛应用。将表面包覆谷氨酸分子的球形 γ -Fe₂O₃和Fe₃O₄磁性纳米颗粒制成抗癌靶向材料, 有研究者对其进行了毒性检测, 未见Fe₂O₃磁性纳米材料对哺乳动物体细胞及生殖细胞有遗传毒性作用; 在剂量大于人体推荐注射量[国内: 0.56~0.84 mg/(kg·次)]的10倍以上, 连续对动物给药14 d后, 未发现该材料有毒性反应。而Fe₃O₄磁性纳米颗粒虽无体细胞致突变作用, 但经口染毒可能会对雄性生殖细胞有致突变作用^[12]。

1.3 聚四氟乙烯

Gunter^[2,9]将大鼠暴露于含20 nm聚四氟乙烯空气中15 min, 多数大鼠4 h内死亡; 而对照组大鼠暴露在含130 nm的聚四氟乙烯空气中未见影响。组织学研究表明, 消除外来物质的巨噬细胞在遇到超微颗粒时会因其穿透作用而无法清除。

2 我国纳米产业发展现状

我国纳米产业是在20世纪90年代逐渐发展起来的。十多年来, 这些纳米产业发展势头良好, 对我国纳米事业的发展做出了贡献。早期的纳米产业是以粉体材料为主, 到目前为止, 国内已建成50多条纳米粉体生产线, 能制备包括氧化物、氮化物、金属和合金、碳化物、纳米碳管和其他化合物

收稿日期: 2006-10-13

作者简介: 王威(1975-), 男, 博士生, 研究方向: 职业卫生与分子毒理。

* 通讯作者, 教授, E-mail: zkia@shmu.edu.cn.

粉体材料。

据不完全统计,我国纳米产业已达到1 000多家。在近1 000多家纳米材料技术应用产业中,应用纳米材料技术、提升传统产业约占72%,环境和水处理产业占6%,纳米药物产业占6%,纳米能源产业占4%,纳米电子产业占3%,交通和农业各占1%,高技术制造业占3%,其他行业占5%^[13]。从产业发展的势头来看,纳米产业将逐步壮大起来,将吸纳更多的劳动力。目前我国的纳米产品主要有如下几类。

2.1 纳米TiO₂

20世纪80年代以前,纳米TiO₂的研发目的主要是用于精细陶瓷原料、催化剂、传感器等,需求量不大,没有形成大的生产规模。80年代以后,纳米TiO₂用作透明效应和紫外线屏蔽剂,为纳米TiO₂打开了市场,使纳米TiO₂的生产和需求大大增加,成为钛白工业和涂料工业的一个新的增长点。由于纳米TiO₂在催化及环境保护等方面具有广阔的应用前景,并可用于日用产品、涂料、电子、电力等工业部门,因此,纳米TiO₂展现出巨大的市场前景。日本、美国、英国、德国和意大利等国深入研发纳米TiO₂,并已实现纳米TiO₂的工业化生产。目前国外已有十几家公司生产纳米TiO₂,总生产能力估计在6 000~10 000 t/年,单线生产能力一般为400~500 t/年。

目前,我国生产纳米TiO₂的公司约10家,总生产能力1 000多吨,纳米TiO₂生产能力已能满足现有市场的需求,但随着纳米产品的普及程度和人们消费观念的改变及整体经济稳步发展的态势,纳米TiO₂必将迎来广阔的市场发展空间^[14]。

2.2 纳米纺织品

纳米技术在纺织领域的应用所表现出来的多种优异性能,使其发展空间不断拓宽,特别是在屏蔽紫外线、抗老化、高强耐磨、抗静电、优良导电性、强杀菌等方面,具有特殊功能的纳米纺织材料的开发价值和前途较大。

韩国纤维产业联合会最近对国际纳米纺织品市场的需求和贸易状况进行调查分析认为,今后10年,国际市场对纳米纺织品的需求将迅速扩大,其贸易额将达到400亿美元。预测分析认为,今年全球对纳米纺织品的市场需求规模约为150亿美元,今后将以年均增长10.7%的速度扩大,到2007年和2012年,全球市场的纳米纺织品需要规模将分别上升为240亿美元和397亿美元的水平。用于制药、电子器件和生命工程科学的超高性能过滤纳米纺织品的需求规模将上升到96亿美元的规模,用于防生化武器、体育娱乐和休闲等领域的纳米纺织品的价值将达26亿美元,用于能源存储方面的纳米纺织品的需求将达到205亿美元^[15]。

我国的纳米纺织品产业近几年发展很快。2005年,香港某财团在南昌兴建服装生产加工及运用纳米高新技术进行服装成衣及面料处理的染整基地。该服饰有限公司投资额达到1.8亿港元,于2006年6月建成投产,计划实现年销售收入9亿元;该纳米纺织有限公司一期投资1.9亿港元,除生产纳米面料外,还将生产纳米处理服装600万件,计划年实现销

售收入7亿元^[16]。

2.3 纳米碳酸钙

碳酸钙是一种重要的无机化工产品,是目前用途最广的无机填料之一。纳米碳酸钙由于其粒径不同适用于不同的领域,在橡胶、塑料、造纸、涂料、纺织、油墨等行业有着广泛的应用。我国纳米碳酸钙的研制开发始于20世纪80年代初期,80年代末期实现工业化生产。近年来随着我国经济的快速发展,尤其是涂料、塑料等行业产品的升级换代,对纳米级碳酸钙的需求量不断增加,同时,造纸工业生产工艺的不断进步,也将促进我国纳米碳酸钙的发展。2005年,我国对纳米碳酸钙的需求量达到约30万吨/年,但国内产量不能满足实际生产的需求,需进口量约为10万吨/年(包括纳米、亚纳米碳酸钙产品)^[17,18]。

3 职业安全与卫生标准体系建设需要解决一系列问题

由于纳米产品的大量生产和应用,增加了人们在生产生活中接触纳米材料及其产品的机会,并可经呼吸道、皮肤、消化道等途径进入体内。除了与普通人群相同的接触机会外,职业人群在工作期间与纳米材料接触的机会更多,受到的威胁更大。有些产品可能在应用中不存在毒性威胁,而在生产过程中则可能具有一定的危险性。由于我国纳米产业发展较快,职业接触人数众多,多为常规防护,且条件不一,一旦出现问题,则可能涉及人员较多,影响较大。职业安全与卫生标准体系建设着眼于职业人群的健康保护,需要解决一系列问题。

3.1 纳米材料安全性评价标准

各国的科学家们正在努力进行纳米材料安全性评价方面的研究, *Toxicological Sciences* 杂志对此予以充分关注,并于2005年开辟纳米材料安全性评价研究战略系列论坛,致力于(1)近期有关纳米材料安全性评价的会议和讨论总结;(2)政府、学术界和产业界建立强有力的纳米材料鉴定和安全标准方面最好的研究和检验战略的展望;(3)国际科学家在纳米材料安全性全球管理方面的思考等^[19]。刊出系列文章讨论有关纳米材料安全性评价研究战略:一是评价暴露于纳米尺度颗粒的人体健康问题^[20];二是纳米材料的毒理学和安全性评价,当前挑战和数据需求^[21];三是纳米尺度技术风险评估和公共卫生改善^[22];四是纳米颗粒的危险度评价^[23];五是研究分解在纳米颗粒生物学结局和效应中的作用^[24];六是毒理学评价中纳米尺度颗粒的特征^[25];七是评估消费者的纳米尺度颗粒的暴露^[26];八是开展基于危险度的纳米材料毒理学安全性评价的国际努力^[27]。

3.2 纳米材料工作环境检测标准

对于职业人群的健康保护需要从多方面来进行。工作场所的环境状况是一个重要方面。目前的检测手段仅限于微米级的材料,而纳米级材料的检测尚需研究合适的检测设备并且制定相关的检测标准。

3.3 纳米产业职业防护标准

不同的职业接触需要制定不同的职业防护标准,配备不同的个人防护设施和用品。个人防护用品是劳动者在劳动过

程中为免遭或减轻事故伤害或职业危害所配备的防护装备。它是保护职工安全与健康所采取的必不可少的辅助措施,在某种意义上,它是劳动者防止职业毒害和伤害的最后一项有效措施。

3.4 纳米产业职业健康监护规范

职业健康监护主要包括职业健康检查、职业健康监护档案管理等内容。职业健康检查包括上岗前、在岗期间、离岗时和应急的健康检查。接触不同的纳米材料,相应的健康检查项目、周期等也不相同,因此需要根据实际接触情况研究具体内容。

3.5 纳米产业事故应急救援预案

纳米材料的特殊性质可能带来特定的安全问题,需要制定针对性的事故应急救援预案。要从容地应付紧急情况,需要周密的应急计划、严密的应急组织、精干的应急队伍、灵敏的报警系统和完备的应急救援设施。

3.6 纳米产业职业危害控制管理

需要根据不同纳米材料的特性逐步发展相应管理和工程控制措施。主要根据纳米材料的特性、毒性、用量和工作要求,提出相关的有针对性的控制指南卡,包括工作场所出入口管理、设计和设备、维护、检查和测试、清洁和整理、个人防护用品、培训、监督以及劳动者检查清单等内容。

4 纳米产业职业卫生标准体系建设具有重要意义

纳米产业职业安全与卫生标准体系的建设首先是贯彻和落实《中华人民共和国职业病防治法》的需要,能够维护劳动者的健康及其相关权益,保护我国的劳动力资源。

纳米产业职业安全与卫生标准体系的建设可以带动许多方面的发展。当前,纳米材料及其产品的研究方面,我国基本与世界同步,国家目前也在增加投入,力争在这个领域处于领先水平。而针对纳米材料特性的相关职业卫生标准,世界各国也处于同一个起跑线上,我国如果能在这个方面加快研究步伐,既可保护从业人员健康,又可在该项研究方面取得突破,使其处于领先水平,促进科技进步。纳米产业职业安全与卫生标准体系的建设对于保证纳米技术产业的健康、长期和可持续发展也有十分重要的意义。

纳米产业职业安全与卫生标准体系的建设,将对应用于纳米产业的个人防护用品、作业环境快速检测设备、应急救援设备以及救援机构的资质认可提出更规范的要求,从而推动我国防护用品、检测设备和急救设备等相关产业和技术的发展。

我国于2005年2月28日发布并于当年4月1日起实施的首批7项纳米材料标准,包括1项术语标准、2项检测方法标准和4项产品标准^[28]。这表明了我国纳米产业的发展已逐步规范起来。然而,相应的职业安全与卫生标准体系尚未建立起来,需要加快该方面建设的步伐。

令人欣慰的是,纳米材料对环境和人类安全性的问题已引起各个领域专家学者的广泛关注,有关专家已认识到纳米材料的安全隐患问题,相应的工作已经逐步开展。当然,对纳米材料安全性研究以及职业安全与卫生标准体系的建设不

是一劳永逸的事情,需要政府管理机构的科学决策和加大投入力度,更需要有关专家和职业安全与卫生工作者的不懈努力。

参考文献:

- [1] Service R F. Is nanotechnology dangerous? [J]. Science, 2000 290 (5496): 1526-1527.
- [2] Service R F. Nanomaterials show signs of toxicity [J]. Science, 2003, 300 (5617): 243.
- [3] Brumfiel G. Nanotechnology: A little knowledge [J]. Nature, 2003, 424 (6946): 246-248.
- [4] Service R F. Nanotechnology grows up [J]. Science, 2004 304 (5678): 1732-1734.
- [5] Amato I. Nano's safety checkup [J]. Technology Review, 2004, 107 (1): 22-23.
- [6] Colvin V I. The potential environmental impact of engineered nanomaterials [J]. Nature Biotechnology, 2003 21 (10): 1166-1170.
- [7] 朱小山, 朱琳. 人工纳米材料生物效应研究进展 [J]. 安全与环境学报, 2005, 5 (4): 86-90.
- [8] 汪冰, 丰伟悦, 赵宇亮, 等. 纳米材料生物效应及其毒理学研究进展 [J]. 中国科学 B 辑, 2005 35 (1): 1-10.
- [9] 陆荔, 马明, 张宇, 等. 纳米材料生物安全性研究进展 [J]. 东南大学学报 (自然科学版), 2004, 34 (5): 711-714.
- [10] 应杏秋, 朱心强. 超微颗粒毒性研究进展 [J]. 国外医学·卫生学分册, 2005, 32 (1): 6-10.
- [11] Renwick L C, Donaldson K, Clutter A. Impairment of alveolar macrophage phagocytosis by ultrafine particles [J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2001, 172 (2): 119-127.
- [12] 马明, 朱毅, 张宇, 等. 四氧化三铁纳米粒子与癌细胞相互作用的初步研究 [J]. 东南大学学报 (自然科学版), 2003, 33 (2): 205-207.
- [13] 张立德. 我国纳米产业面临的新转折和挑战 [J]. 新材料产业, 2005, (10): 48-51.
- [14] 魏绍东. 纳米二氧化钛的现状与发展 [J]. 中国涂料, 2005 20 (2): 9-10 16.
- [15] 刘丰, 王晓丽, 孙长高, 等. 纳米纺织品国内外研究现状及其产业化前景 [J]. 纳米科技, 2004, 1 (6): 17-19.
- [16] 庚莉萍. 纳米纺织品的技术和市场进展 [J]. 天津纺织科技, 2006, 44 (2): 2-4 29.
- [17] 崔小明. 纳米碳酸钙的生产应用及市场前景 [J]. 四川化工, 2004, 7 (4): 38-41.
- [18] 吴迪慧. 纳米碳酸钙的生产市场应用前景 [J]. 上海建材, 2004, (4): 38-39.
- [19] Holsapple M P, Lehman-McKeeman L D. Forum series: research strategies for safety evaluation of nanomaterials [J]. Toxicological Sciences, 2005, 87 (2): 315.
- [20] Thomas K, Sayre P. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, part I: evaluating the human health implications of exposure to nanoscale materials [J]. Toxicological Sciences, 2005 87 (2): 316-321.
- [21] Holsapple M P, Farland W H, Landry T D, et al. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, part II: toxicological and safety evaluation of nanomaterials - current challenges and data needs [J]. Toxicological Sciences, 2005, 88 (1): 12-17.

(下转第62页)

1.5 在实际工作中需配制标准气浓度系列,按浓度与出峰面积计算回归方程。为了说明方便,以配制苯 0.040 μg/ml 标准气浓度点为例。用 1 μl 微量注射器,取 1.0 μl 苯液体打到 100 ml 注射器的芯子上,挥发后,注射器抽入 100 ml 清洁空气,此时为苯浓气。取浓气 0.46 ml 注到另一支 100 ml 注射器中,抽入清洁空气至 100 ml,则苯标准气浓度为 0.040 ± 0.001 μg/ml (2位有效数字)。

1.6 用岛津 GC-9A 色谱仪分析样品,按标准浓度点的公式计算, $C = (A \times C_S) / (A_S \times V_0) \times D \times 100$

C: 检测样品浓度, mg/m³; A: 样品出峰面积, μV·s (为积分值,即微伏与秒的乘积); C_S: 标准浓度 μg/ml; A_S: 标准浓度出峰面积 μV·s; V₀: 标准状况下的采样体积 (L); D: 样品的稀释倍数; 100: 样品解吸至 100 ml, 实际进样 1 ml。

近似数运算规则为:在乘除运算中,应按相对误差最大的数值,即有效数字位数最少的值来保留有效位数^[3]。采样体积和标准气浓度值均为 2 位有效数字,因此,结果也应保留 2 位有效数字。

【例 1】A=9 800, A_S=390, C_S=0.040 μg/ml, V₀=7.06L, D=10,

$C = (9\ 800 \times 0.040) / (390 \times 7.06) \times 10 \times 100 = 142.37 = 1.4237 \times 10^2 = 142 = 140$ (mg/m³), 为表示有效数字位数可写成 14 × 10 或 1.4 × 10²

【例 2】A=980, A_S=390, C_S=0.040 μg/ml, V₀=7.06 L, 样品未稀释。

$C = (980 \times 0.040) / (390 \times 7.06) \times 100 = 1.4237 = 1.4$ (mg/m³)

为了探讨既合理又简单实用的表示方式,我们仍按以上计算方法,假设取不同的样品出峰面积 A, 不同的稀释倍数 D, 将 a、b、c 三种浓度表示方式列出,见表 1。

由表 1 可见, c 种表示方式数值的小数点对齐,看起来较美观,实际上有效数字的保留位数有错误,因为只有 2 位有效数字,如当数值为 142.37 时,只有百位上是准确的,十位上已经为不确定值。b 种表示方式是正确的,有效数字很明确,符合数据处理原则,但表示方法与习惯有一定差距。a 种表示方式考虑到了有效数字问题,表示方法简单、直观,结

果容易看清,不仅符合一般习惯,而且也符合《数值修约规则》相关要求。

表 1 不同表示方式的比较

| A | A _S | V ₀ | D | a 方式 | b 方式 | c 方式 |
|-------|----------------|----------------|-----|-------|------------------------|---------|
| 9 800 | 390 | 7.06 | 100 | 1 400 | 1.4 × 10 ³ | 1423.69 |
| 9 800 | 390 | 7.06 | 10 | 140 | 1.4 × 10 ² | 142.37 |
| 9 800 | 390 | 7.06 | 未稀释 | 14 | 1.4 × 10 | 14.24 |
| 980 | 390 | 7.06 | 未稀释 | 1.4 | 1.4 | 1.42 |
| 98 | 390 | 7.06 | 未稀释 | 0.14 | 1.4 × 10 ⁻¹ | 0.14 |
| 10 | 390 | 7.06 | 未稀释 | 0.015 | 1.5 × 10 ⁻² | 0.01 |

2 讨论

随着高灵敏度仪器的发展,样品检测的精密度和准确度有了极大的提高。现行的职业接触限值,挥发性有机毒物大部分在每立方米几十至几百毫克的浓度水平。对于毒性较大的毒物,浓度阈限值较低。此时的分析、计算更应精确和准确,有效数字的保留、近似数运算及数据修约更应规范化。按照数据处理的规则,本例中我们的采样体积只有 2 位有效数字位数,结果报告的数值不能超出 2 位,在公式运算过程中可以保留 3 位。我们现在采用的是 a 种浓度表示方式,与 2002 年颁布的国家职业卫生标准 GBZ2—2002《工作场所有害因素职业接触限值》中表列的形式相一致。

我们必须清楚工作中自始至终各步骤所涉及数据的有效数字位数。记录分析结果时,只应保留一位不定数字。在计算中弃去多余数字时,以“四舍六入五成双”为原则。几个数相加减时,根据绝对误差的大小,保留一位不定数字。几个数相乘除时,以有效数字位数最少的数为标准,弃去过多的位数,然后进行乘、除。在计算过程中,可以暂时多保留一位数字,得到最后结果时,再弃去多余的数字。未检出值用“低于检出限”及“低于最低检出浓度”表示,并注明方法的检出限或最低检出浓度。通过数据处理,我们在结果中能正确、清楚地表示出高、低浓度数值以及未检出数值。

参考文献:

[1] 中国预防医学科学院劳动卫生与职业病研究所. 车间空气监测检验方法 [M]. 第 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 1990: 499-507.
 [2] GB8170—87. 数值修约规则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 1-3.
 [3] 中国实验室国家认可委员会. 中国实验室注册评审员培训课程 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 59-61.

(上接第 59 页)

[22] Balshaw D M, Philbert M, Suk W A. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials part III: nanoscale technologies for assessing risk and improving public health [J]. Toxicological Sciences, 2005, 88 (2): 298-306.
 [23] Tsuji J S, Maynard A D, Howard P C, et al. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials part IV: risk assessment of nanoparticles [J]. Toxicological Sciences, 2006, 89 (1): 42-50.
 [24] Bom P, Klaessig F C, Landry T D, et al. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials part V: role of dissolution in biological fate and effects of nanoscale particles [J]. Toxicological Sciences, 2006, 90 (1): 23-32.

[25] Powers K W, Brown S C, Krishna V B, et al. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials. part VI: characterization of nanoscale particles for toxicological evaluation [J]. Toxicological Sciences, 2006, 90 (2): 296-303.
 [26] Thomas T, Thomas K, Sadrieh N, et al. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials. part VII: evaluating consumer exposure to nanoscale materials [J]. Toxicological Sciences, 2006, 91 (1): 14-19.
 [27] Thomas K, Aguar P, Kawasaki H, et al. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials. part VIII: international efforts to develop risk-based safety evaluations for nanomaterials [J]. Toxicological Sciences, 2006, 92 (1): 23-32.
 [28] 郭静. 我国发布 7 项纳米材料国家标准 [J]. 石油工业技术监督, 2005, 21 (3): 53.