

汤鸿霄. 环境分子科学与环境纳米技术[J]. 环境科学学报, 2005, 25(1): 1-4

TANG Hongxiao. Environmental Molecular Sciences and Environmental Nano-Technology[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(1): 1-4

环境分子科学与环境纳米技术

汤鸿霄

中国科学院生态环境研究中心, 环境水质学国家重点实验室, 北京 100085

摘要: 传统的分子科学和新兴的纳米技术近年来广泛地渗入和覆盖了环境科学与技术, 对环境污染现象的微观过程与机理研究注入了新的活力, 进一步加深对环境污染从本质上的认识, 为环境保护开展更高效的技术工艺开辟了新的途径. 论文综合评述了环境分子科学与环境纳米技术的发展概况, 并对我国该领域的研究提出一些认识和讨论意见.

关键词: 分子科学, 纳米技术, 环境友好材料

文章编号: 0253-2468(2005)01-0001-04 中图分类号: X-1 文献标识码: A

Environmental molecular sciences and environmental nano-technology

TANG Hongxiao

SKLEAC, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085

Abstract: Traditional molecular sciences and new advancing nano-technology are infiltrating widely into all aspects of the environmental science and technology. They activated the study on microscopic processes and mechanisms of environmental pollution phenomena to enrich the knowledge in principle and opened a pathway to develop more efficient instruments for pollution control. In this paper, the progressing environmental molecular sciences and environmental nano-technology in the world are reviewed. Some concepts for the investigation in this area in China are discussed.

Keywords: molecular sciences; nano-technology; environmental nano-material

我国日益严重的环境污染已经成为制约经济建设和影响人民生活的显著问题, 因而得到人们的普遍关注. 生产建设和社会生活的管理操作体制应该是解决环境污染问题的关键因素, 而科学技术对高效而经济地消除污染无疑起着重要作用. 目前, 我国的环境科学与技术也与世界各国一样, 在各自的不同层次上向前发展着. 不过, 目前它在一定程度上对解决我国现实环境问题有些力不从心和脱节, 而与世界前沿的发展水平又尚难以完全同步, 还不能很好地适应中国当前崛起形势的迫切要求.

环境科学与技术研究包含着宏观及微观两大方面. 宏观研究涉及各空域, 地域, 水域, 工业流程, 生态群落, 社会人群的环境信息与控制战略, 微观研究探讨环境污染物质及各种转化过程的形态、反应、速率、效应、机理及转化的策略和技术, 只有两大方面紧密结合, 相辅相成, 才能做出正确而有效的环境保护决策.

本文主要介绍和评述国际上环境科技在微观研

究领域中近期的一些发展趋势, 并且结合我国的情况进行一些讨论, 提供思考.

1 环境分子科学研究成为新的潮流

世界上一些发达国家随着大量的宏观环境污染问题得到一定程度解决后, 潜在深层次的生态与健康的毒性伤害问题浮上水面, 形成新一轮环境污染浪潮, 因而把更深入地认识和有效控制微观环境过程和机理提上日程.

美国科学家经过数年的酝酿, 于 1995 年召开了一次全国性的“环境分子科学”重要学术会议, 讨论从原子分子水平深入认识和解决环境污染的问题. 会议对环境污染物的形态、活性、界面反应、迁移动态、生物毒性毒理等提出多方面的研究方向. 随后, 美国科学基金会与能源部联合投入数亿美元, 在西北太平洋国家研究中心建立了新的“环境分子科学实验室”(Environmental Molecular Sciences Laboratory, EMSL). 这是一个开放性的研究中心, 它拥有数百名

收稿日期: 2004-10-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(20037010)

作者简介: 汤鸿霄(1931-), 男, 研究员(中国工程院院士)

研究人员和多组大型现代仪器系统,作为联邦总室面向全国,对外协作开放提供应用.该实验室于1997年10月正式建成,随之,在美国和欧洲的各著名大学和研究单位,诸如美国 Columbia, Stanford, Ohio, Johns Hopkins, Stony Brook, Clarkson, Delaware, Oregon, 英国 Manchester, Bristol 等等,也都先后成立了以环境分子科学为名的研究所和研究室,一时成为热潮.互联网 Google 搜索引擎中该词组下的词条已达近140万条,可见一斑^[1].

美国环境分子科学实验室的图标就是人与自然的图像.该实验室包括若干研究部门,从各部的研究内容和仪器设备中可以看到他们对研究领域的考虑.归纳起来,有以下一些主要研究领域和装备设施.

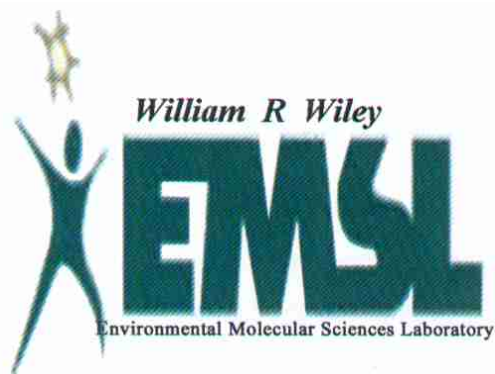


图1 美国环境分子科学实验室的图标

Fig. 1 Sign of Environmental Molecular Sciences Laboratory

1.1 复杂系统的化学和物理学

该领域主要内容是为发展清洁能源、认识和减轻能源利用及污染释放对环境冲击提供科学基础.研究重点包括环境中液-固-气各界面间所发生各种过程的分子信息;热力、光源、辐射推动的化学转化机理;废液、固体污染物溶解于水和地下水的分子反应;生物系统的单分子光谱及高分辨图像技术;天然和人工化合态的实时分析技术.仪器设施则有表面、界面和固体内部的光活性及能量反应过程测定;大气化合态实时精确量超灵敏气体分析;固体表面结构的室温 UHV 扫描隧道显微镜;鉴定清洁及吸附界面结构可用的各种温度下 UHV 扫描隧道显微镜等.

1.2 生物地球化学和环境光谱学

该领域研究内容是矿物及微生物表面,土壤、沉积物和地下水区域的环境非均相样品,它们有关的化学现象和机理模式,有毒废物的化学结构及动态学和环境中的化学过程.重点包括铁铝氧化物、碳酸

盐、层状硅酸盐的表面化学;铁锰矿物对有机物和金属污染物的氧化还原反应;铁锰氧化物的细菌还原和生物矿化的生物地球化学;矿物的表面结构和动力学模式;高离子强度下的污染物活性及热力学.仪器设施有多种激光荧光、光声、喇曼等光谱,色谱,质谱,电镜,分子模拟硬件及软件等.

1.3 生物及人体的环境污染损害(核磁共振和电子顺磁共振)

该领域研究内容是生物和人体的污染影响及环境修复有关的分子结构,结构生物学,研究生物过程,生物修复,健康影响.重点包括细胞受化学或辐射损伤时大分子如蛋白质、DNA、RNA 的结构;涉及金属簇的膜蛋白络合物构象变化;NMR 鉴定结构和功能基因组;材料和催化剂的固体表征;非侵入式生物成像;应用集成 NMR, 慢扫描 NMR, 共集显微镜等研究细胞系统.仪器设施主要是高场强核磁共振(NMR)及电子顺磁共振(EPR)仪,有12台300~900 MHz 的 NMR 仪,脉冲 EPR 仪,可在高场强进行液态、固态和微区鉴定;光学与磁共振联合显微镜;金属-蛋白质化学及结构的低温探针;通过安全级的互联网可以远程实时应用该 NMR 仪系统.

1.4 蛋白质和基因的环境损伤精细研究(质谱和离子阱光谱)

该领域研究内容集中在细胞蛋白质和高分子体系的环境影响精细研究.重点包括全细胞浆的蛋白质分析;有机蛋白质和大分子络合物的分析;生长介质的同位素标记定量研究;亚细胞片段目标蛋白质分析;RNA 和 DNA 低聚物的核酸分析等.仪器设施有7~12 tesla 的 FTICR 质谱;4极飞秒时级的 QSTARR 质谱,可操控超低流极微样品鉴定;电喷雾3维4极 LCQ 离子阱光谱仪,质量范围在150~2000~4000 m/z 等.

1.5 环境界面与纳米科学技术

该领域研究内容是环境界面,纳米科学和纳米技术,新材料,新药剂,过程控制传感器,新分离技术,新的废物储存形式.重点包括氧化物矿物膜及界面,气溶胶界面,各种纳米材料如电子和多相催化材料,化学和微流体传感器和微量分析材料,微纤维及分离材料等.仪器设施有薄膜沉积系统如分子束晶体取向外延,化学蒸气沉积等;高分辨电镜,液体及超高真空扫描探针; NO_x 及气体检测仪等.

1.6 环境分子科学计算系统

该系统拥有强化研究能力的计算机硬件软件系

统、图像系统、精细结构计算系统,包括高性能超级计算机和集成软件,用于在位和远程的分子科学各种数据的解析、汇编计算。主要应用内容有地球化学、孔隙区域化学模拟,重元素化学,分子热力学、动力学、激发态计算,地下水流模拟,纳米颗粒、纳米管模型计算等。仪器设施有 11.8 teraflops 和 6.8 terabytes 存储的高性能超计算机,是世界最快计算机之一;独有的集成软件如:环境化学扩展计算,分子结构量子力学计算(MWChem),高性能便携式集成计算软件(PaSoft)等;还有图像录像馆。

从以上的研究内容和设施条件可以看出,当前环境科学与技术的研究已经由最前沿的基础科学理论和最先进的仪器手段及计算系统所覆盖,从微观本质上来进一步认识和解决环境污染问题。在这样的研究体系中,有可能展现新的环境保护技术前景。我国目前尚没有条件建立类似的巨大研究体系,但对于世界在此领域的发展现状和趋势却不能不有所认识,有所期待,面对我国国情和环境现状作出适当的思考和决策。

2 纳米科学与技术提供高效的环境污染控制手段

进入 21 世纪前后,纳米科学与技术的发展成为热潮,甚至提出纳米科技是本世纪主导技术之一,有可能改变时代面貌。确实,纳米科技的研究和应用在国际上已几乎遍及各个领域,各国都投入大量经费和人力,集中开发纳米材料,图书期刊、国际会议发表的有关研究文献难以数计。我国在此领域也已形成热点,中国科学院、国家自然科学基金委已建立了专门的研究体系和规划,取得相当的进展。当然,也要防止“纳米”概念的商业炒作和庸俗化。

国际上,纳米技术在环保领域的开展已经涉及到各个方面,而且在较高的层面上进行探索和开发,有些已达到实用阶段。我国环境界也已有不少学者开展了纳米技术的研究开发工作,提出许多课题,并且取得了一定进展。

美国环境界权威杂志“环境科学与技术(ES & T)”于 2003 年 3 月发表一篇专论,综合了纳米技术在环境领域的研究状况,认为“运用纳米技术进行污染防治、处理和修复,确实能够强化环境质量及其可持续性”。并且提出若干方向性的意见^[3]。国际水协会(IWA)于 2003 年 9 月在瑞士召开了“水和废水处理中的纳米和微米颗粒物”国际学术会议,发表了有关纳米材料及颗粒物在水处理过程中的行为、

表征和应用的 50 余篇论文。环境纳米技术有关的学术会议和文献已经形成一个专门的领域。

综合起来,纳米科学与技术对环境科学与技术的启示和意义可以有以下的认识。

2.1 环境纳米污染物(ENP)

最主要的环境污染物和颗粒物大多是纳米级物质即胶体和高分子之类。它们往往在形态、结构、界面、毒性等特征上具有纳米物质的特异性能,从而在环境污染中发挥显著作用。笔者已专门论述过^[3],不再赘述。纳米物质不只由于其尺度在纳米范围,而更重要的是其结构组成及有序性符合一定特征才能发挥特异性能。对各种环境污染物从纳米科学的角度进行研究,探讨其在环境中的行为和机理,有可能得到更有效进行控制的策略。

2.2 减轻环境污染负荷

在工业生产和社会生活中使用纳米材料能够高效并降低能源和材料的消耗,减少有害有毒废物的排放,从而间接减轻对环境污染的负荷。例如,利用纳米技术的居室照明可以降低 10% 的电能消耗,美国据计算每年可以减少碳排放 2 亿吨。以生物高分子及纳米印刷术制成生物芯片来代替现有的半导体芯片,可以节省大量材料和能源消耗。以纳米金属颗粒在赖氨酸聚合物材料中组成结构线和网路制成芯片,可以具有环境中生物可降解性。以碳纳米管制成的各种监视器屏幕代替现有的阴极射线管和液晶,不但显著减少材料及能源消耗而且消除了多种有毒重金属等等。因此纳米技术发展的环境友好器件可以实现绿色化学的清洁生产,从源头降低污染负荷。

2.3 强化环境技术功能

在环境技术中应用纳米物质的材料和器件达到高效的功能,已经提出多种可能,一部分已经接近到实用程度。

监测传感器:纳米材料的器件可以在分子水平更灵敏精确地监测环境污染物及人体健康状况。纳米管传感器对 NO₂、NH₃ 等气体分子在室温中也有高得多的灵敏度。硅纳米线传感器接入胺和氧化物官能团时可感知 pH 值变化。纳米棒编码器可以高度倍增痕量污染物的测定而用于环境监测。

氧化还原催化剂:纳米颗粒 ZnO 表面涂附有机或无机染料可以把光效应从 UV 扩大到可见光及太阳光。纳米金属颗粒可以降解许多种难降解污染物如过氯酸,硝酸,重铬酸等。纳米双金属颗粒如铁/钯、铁/银、锌/银可以作高效的还原剂和催化剂,处

各种纳米器件

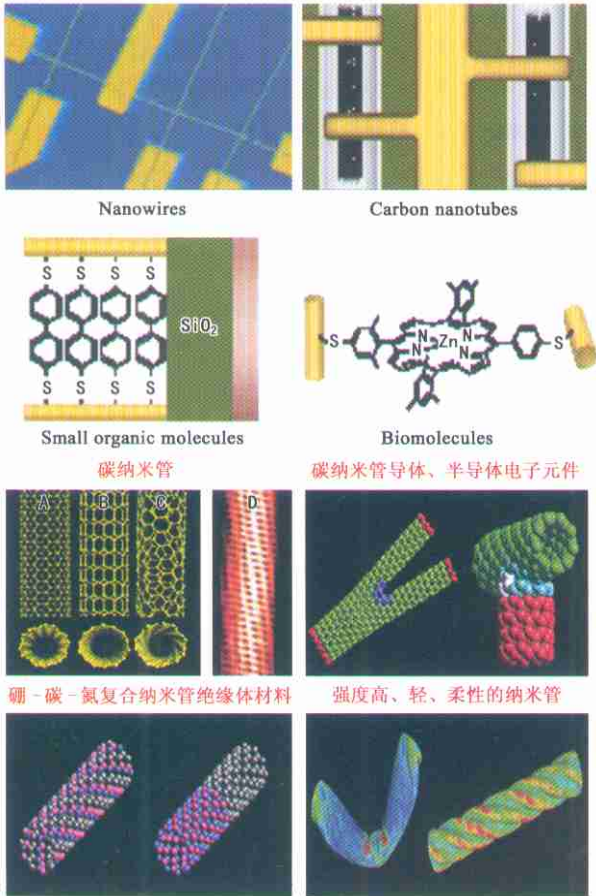


图 2 各种纳米器件和材料^[4]
Fig.2 Nano-Material and products

理 PCBs、有机氯农药及卤化物。吸附剂絮凝剂。碳纳米管吸附剂的吸附亲和力比活性炭高若干数量级，对二噁英的吸附能力是活性炭的约 3 倍。枝状纳米螯合剂制成高分子超滤膜，成为高效能的水处理材料。纳米级十三铝聚合物具有高电荷及枝状聚集性，可以制成高效能絮凝剂。纳米颗粒可能吸附和聚集微生物发挥更强的生物氧化作用等。

污染控制修复：纳米颗粒由于其大量微界面，可以强化各种界面反应，在污染治理中发挥更显著作用。例如，纳米功能颗粒可以结合在母体膜及纤维网上，在水及废水处理中应用。纳米颗粒可以加入泥浆反应器中处理污染的土壤、沉积物和固体废弃物。纳米级金属铁颗粒以重力或压力注入地下可以就地修复地下水及土壤的有机物污染等。

2.4 防止纳米材料污染

纳米材料和纳米器件确实能够以优异特性显著

提高多方面的技术性能，但是在自然及人类社会中广泛应用后，也会大量进入环境。它们作为一种新的人造物在环境中继续存在，有无可能造成新的环境问题，成为污染物聚集载体，或者由于其特殊结构而显示毒害，并且因其自组装性能而不断成长发展，这些都还是未为人知但可以想见的问题。因此，纳米技术的发展有可能成为对生态环境的双刃剑，既能成为高效治理环境的利器，又可能本身成为新的或二次环境污染物。这种可能趋势已经引起国际上的关注，开始组织专题研究。一方面要强调纳米技术研究者提高环境认识，开发环境友好的纳米材料，同时要探讨纳米材料在生态环境中可能发生的负面影响。

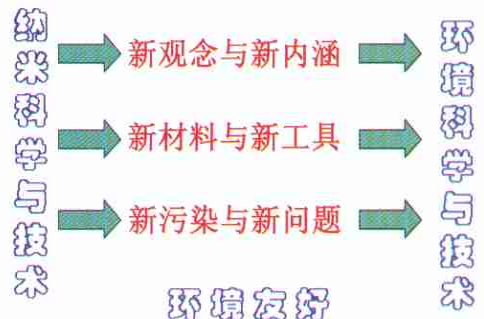


图 3 纳米技术与环境
Fig.3 Nano-tech and environment

图 3 对二者应有的协调关系提出一幅简图，说明纳米科技既能够为环境科技在理论上赋予新观念和新内涵，开发出新材料和新工艺，但又可能带来新污染和新问题，关键是紧紧把握对环境友好这一原则。在我国发展纳米科技并用于环境保护的同时，也要大力宣传这一观念，并且对纳米材料可能对环境的影响进行研究。

参考文献:

[1] Kendall R A. Molecular Science in Environment[M]. NERSC3 Greenbook, EMSL, 1998

[2] Masciangoli T, Zhang Wei-Xian. Environmental technologies at the nano-scale[J]. Environmental Science & Technology 2003, 37(5): 103A—108A

[3] 汤鸿霄. 环境纳米污染物与微界面水质过程[J]. 环境科学学报, 2003, 23(2): 146—155

[4] Tseng G Y, Ellenbogen J C. Toward nanocomputer[J]. Science 2001, 294: 1293

[5] Service R F. Powering the Nanoworld[J]. Science 2000, 290: 1528

[6] Kao T. Self-Assembly of phase-segregated liquid crystal structures [J]. Science, 2002, 295: 2414—2418