



纳米科学与技术

纳米材料生长动力学 及其环境应用

林 璋 吴智诚 庄赞勇 等 著



科学出版社



纳米科学与技术

纳米材料生长动力学 及其环境应用

林 璋 吴智诚 庄赞勇 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

围绕着如何实现环境中重金属污染物的有效分离及回收这一核心命题,本书致力于介绍纳米科学和前沿技术在以重金属为主体的污染物的去除中的研究及潜在应用。本书分为8章,第1章主要介绍作为21世纪前沿科学的纳米技术在当前环境保护需求中的研究契机;第2章主要介绍环境中重金属离子的危害及其污染概况;第3章介绍纳米材料和技术在环境重金属污染治理中的应用;第4章介绍利用纳米材料快速生长和物相转变来解决环境有害重金属的总体思路;第5章介绍纳米氢氧化镁在碳酸化过程中的聚集生长及其在含铬纳米废渣污染治理中的应用;第6章介绍纳米二氧化锡的快速生长原理以及废渣中锡的选择性回收。第7章介绍纳米氢氧化镁在回收水中阴离子型重金属中的应用研究;第8章介绍纳米氢氧化镁在回收水中低浓度稀土阳离子中的应用研究。

本书叙述深入浅出、循序渐进,科普与专业相结合,可供化学、物理、材料等相关领域的广大科研、教学、专业技术人员以及相关专业的本科生和研究生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

纳米材料生长动力学及其环境应用/林璋等著. —北京:科学出版社, 2014

(纳米科学与技术/白春礼主编)

ISBN 978-7-03-039147-9

I. 纳… II. 林… III. 纳米材料-动力学-研究 IV. TB383

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第206426号

丛书策划:杨震 / 责任编辑:张淑晓 刘志巧 / 责任校对:邹慧卿
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年8月第一版 开本:720×1000 1/16

2014年8月第一次印刷 印张:29 1/2

字数:600 000

定价:138.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《纳米科学与技术》丛书编委会

顾 问 韩启德 师昌绪 严东生 张存浩

主 编 白春礼

常务副主编 侯建国

副主编 朱道本 解思深 范守善 林 鹏

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

陈小明	封松林	傅小锋	顾 宁	汲培文	李述汤
李亚栋	梁 伟	梁文平	刘 明	卢秉恒	强伯勤
任咏华	万立骏	王 琛	王中林	薛其坤	薛增泉
姚建年	张先恩	张幼怡	赵宇亮	郑厚植	郑兰荪
周兆英	朱 星				

《纳米科学与技术》丛书序

在新兴前沿领域的快速发展过程中,及时整理、归纳、出版前沿科学的系统性专著,一直是发达国家在国家层面上推动科学与技术发展的重要手段,是一个国家保持科学技术的领先权和引领作用的重要策略之一。

科学技术的发展和应用,离不开知识的传播:我们从事科学研究,得到了“数据”(论文),这只是“信息”。将相关的大量信息进行整理、分析,使之形成体系并付诸实践,才变成“知识”。信息和知识如果不能交流,就没有用处,所以需要“传播”(出版),这样才能被更多的人“应用”,被更有效地应用,被更准确地应用,知识才能产生更大的社会效益,国家才能在越来越高的水平上发展。所以,数据→信息→知识→传播→应用→效益→发展,这是科学技术推动社会发展的基本流程。其中,知识的传播,无疑具有桥梁的作用。

整个 20 世纪,我国在及时地编辑、归纳、出版各个领域的科学技术前沿的系列专著方面,已经大大地落后于科技发达国家,其中的原因有许多,我认为更主要的是缘于科学文化的习惯不同:中国科学家不习惯去花时间整理和梳理自己所从事的研究领域的知识,将其变成具有系统性的知识结构。所以,很多学科领域的第一本原创性“教科书”,大都来自欧美国家。当然,真正优秀的著作不仅需要花费时间和精力,更重要的是要有自己的学术思想以及对这个学科领域充分把握和高度概括的学术能力。

纳米科技已经成为 21 世纪前沿科学技术的代表领域之一,其对经济和社会发展所产生的潜在影响,已经成为全球关注的焦点。国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)会刊在 2006 年 12 月评论:“现在的发达国家如果不发展纳米科技,今后必将沦为第三世界发展中国家。”因此,世界各国,尤其是科技强国,都将发展纳米科技作为国家战略。

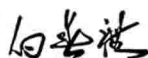
兴起于 20 世纪后期的纳米科技,给我国提供了与科技发达国家同步发展的良好机遇。目前,各国政府都在加大力度出版纳米科技领域的教材、专著以及科普读物。在我国,纳米科技领域尚没有一套能够系统、科学地展现纳米科学技术各个方面前沿进展的系统性专著。因此,国家纳米科学中心与科学出版社共同发起并组织出版《纳米科学与技术》,力求体现本领域出版读物的科学性、准确性和系统性,全面科学地阐述纳米科学技术前沿、基础和应用。本套丛书的出版以高质量、科学性、准确性、系统性、实用性为目标,将涵盖纳米科学技术的所有领域,全面介绍国内外纳米科学技术发展的前沿知识;并长期组织专家撰写、编辑

出版下去,为我国纳米科技各个相关基础学科和技术领域的科技工作者和研究生、本科生等,提供一套重要的参考资料。

这是我们努力实践“科学发展观”思想的一次创新,也是一件利国利民、对国家科学技术发展具有重要意义的大事。感谢科学出版社给我们提供的这个平台,这不仅有助于我国在科研一线工作的高水平科学家逐渐增强归纳、整理和传播知识的主动性(这也是科学研究回馈和服务社会的重要内涵之一),而且有助于培养我国各个领域的人士对前沿科学技术发展的敏感性和兴趣爱好,从而提高全民科学素养作出贡献。

我谨代表《纳米科学与技术》编委会,感谢为此付出辛勤劳动的作者、编委会委员和出版社的同仁们。

同时希望您,尊贵的读者,如获此书,开卷有益!



中国科学院院长

国家纳米科技指导协调委员会首席科学家

2011年3月于北京

前 言

重金属污染的去除及重金属的回收是环境科学研究中的重点和难点。由于重金属不可降解,传统的填埋、化学固定等方法无法避免重金属污染的环境蓄积效应,从而可能会引起人类食物链中重金属含量的持续上升。当前,面临重金属污染的严峻形势和更高的治理目标,环境科学工作者担负着重要的历史使命。

围绕着如何实现环境中重金属污染物的有效分离及回收这一核心命题,本书致力于介绍纳米科学和前沿技术在以重金属为主体的污染物去除中的研究及潜在应用。在阐述的过程中,采用深入浅出、循序渐进的方式,力图兼顾深度和广度,以实现科普与专业相结合的目的。具体说来,本书在总结较多的中外文献、介绍国内外重金属污染治理现状和方法的同时,也侧重介绍了笔者所在的研究团队近年来利用关于纳米晶生长动力学和机制研究的基础认识,实现对环境某些重金属的提取和回收。在工作介绍中,以纳米晶生长机制和动力学研究的基本认识为切入点,介绍了晶体的成核与生长的基本原理,阐述了通过表界面作用来调控纳米晶“取向接合”和聚集生长的基础研究,揭示了如何结合纳米晶的快速长大或者选择性生长来实现各类重金属的去除规律。结合上述研究,笔者团队也提出了利用表界面调控纳米晶快速生长来处理环境有害废弃物的思路。本书也较为详尽地描述了笔者所在的研究团队对环境几个具体实例的研究:①利用纳米氢氧化镁的快速生长机制和重金属六价铬在此过程中的吸/脱附机制,实现我国氯酸盐行业典型含铬纳米废渣中铬的全提炼和无毒含镁渣的有效分离。②利用表界面调控剂实现共存的铁、锡无定形氧化物中一种成分的选择性快速生长,从而分离出马口铁镀锡污泥中的纳米二氧化锡。③在利用上述纳米晶的快速生长原理,实现固体废弃物中各类物质的分类回收的研究基础之上,笔者团队近期还结合工业废水中各类低浓度离子的处理需求,发展了以环境友好的纳米氢氧化镁的生长及反应来实现盐湖中铀、稀土精炼企业中的低浓度稀土废水中贵金属离子的回收和富集的方法。

整部书稿的撰写得到了所在研究团队全体成员的支持。研究团队中已毕业的张静、刘炜珍、庄赞勇、林文文、洪杨平、郑晋生、薛小刚等博士和曹庆、邹婷、熊焱松等硕士,吕香英、李超然、黄洋、陈志等在读博士生,以及廖逸群、许新江、吴智诚等工作人员均为此书中所呈现的基础研究认识和工程化应用的探索做出了重要贡献。尤其值得一提的是,本书在编写过程中还得到了黄丰研究员的帮助和指正,特此致谢。本书由林璋定纲定稿,第1、2、3、5章由吴智诚协

助撰写，第4章由黄洋协助撰写，第6、7章由庄赞勇协助撰写，第8章由李超然协助撰写。

本书是笔者应科学出版社之邀为国家出版基金项目《纳米科学与技术》系列丛书所书，笔者才疏学浅，深感惶恐。尽管研究工作的进展和认识的深度均不足以系统成稿，但基于新材料和新技术研究在环境保护上的紧迫需求，笔者仍以在纳米材料生长动力学基础研究及其在环境应用结合上的一些初步认识为牵引努力成稿，旨在通过本书抛砖引玉，为推动纳米材料的发展及其在环境中的应用贡献一份绵薄之力。从笔者所在的研究团队来说，本书的完成仅仅是个开端，今后还需要做出更多的努力，取得更大的突破，为我国环境保护和可持续性发展的科学技术研究做出贡献。如果此书能激起部分读者的兴趣和灵感，甚至有幸使某些青年学子以此为契机，进入环境化学与纳米科学相结合的领域来共同探索研究，服务于环境保护的重大国家需求，笔者将备感欣慰。

本书研究工作是国家重大科学研究计划项目(2010CB933500)、国家自然科学基金(40772034)、国家杰出青年科学基金(21125730)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA09030203)、福建省自然科学基金计划项目(2010J0103)、福建省环保科技计划项目重点项目等多项基金资助所取得的成果；本书的出版得到了国家出版基金的支持。

在撰写的过程中，笔者虽尽力而为，但限于知识水平以及对学科交叉综合性的把握程度，疏漏和不足之处在所难免，诚望专家与读者不吝赐教并批评指正。同时，由于受参考文献数目限制和笔者在编写时的疏忽，某些应该引用和参考的文献可能被遗漏，敬请有关作者谅解。

目 录

《纳米科学与技术》丛书序

前言

第 1 章 绪论	1
第 2 章 环境中重金属离子的危害及其污染概况	9
2.1 环境中重金属离子的来源及危害	9
2.1.1 重金属离子的来源	10
2.1.2 重金属离子的危害	16
2.2 重金属离子污染现状	47
2.2.1 国外重金属离子污染现状	47
2.2.2 国内重金属离子污染现状	50
2.3 重金属离子污染防治技术现状	58
2.3.1 土壤中重金属污染修复方法	58
2.3.2 水中重金属污染修复方法	71
2.4 重金属离子的检测分析	82
2.4.1 水中重金属的检测分析	82
2.4.2 土壤中重金属的检测分析	86
2.4.3 大气中重金属的检测分析	89
2.5 重金属离子环境质量标准	90
2.5.1 地表水中重金属环境质量标准	90
2.5.2 地下水中重金属环境质量标准	91
2.5.3 污水重金属综合排放标准	92
2.5.4 土壤中重金属环境质量标准	94
2.5.5 空气中重金属环境质量标准	95
参考文献	96
第 3 章 纳米材料和技术应用于重金属污染治理的研究进展	104
3.1 纳米材料概述	104
3.1.1 纳米材料的发展	105
3.1.2 纳米材料的分类	113
3.1.3 纳米材料的特性	113
3.1.4 纳米科技发展简介	116

3.1.5	国内外纳米科技发展战略和计划	120
3.1.6	纳米材料生物毒性和环境安全	124
3.2	纳米技术在环境领域的应用研究和现状	125
3.2.1	纳米光催化技术	125
3.2.2	纳米吸附性材料	140
3.2.3	纳米还原性材料	161
3.2.4	其他纳米材料	173
	参考文献	174
第4章	表界面调控下纳米材料的生长、相变与反应过程中的聚集生长	182
4.1	纳米晶材料的生长动力学概述	182
4.2	纳米晶材料的生长机制	183
4.2.1	奥斯特瓦尔德熟化机制	184
4.2.2	取向接合机制	187
4.3	纳米晶相变的动力学特点及相变方式影响因素	200
4.3.1	纳米晶相变的研究意义以及热力学对相变的影响	200
4.3.2	纳米晶相变动力学特点	201
4.3.3	表面环境对相变方式的影响	202
4.3.4	反应温度对相变方式的影响	202
4.3.5	生长机制对相变方式的影响	203
4.4	研究实例: 表面调控下 CdS 纳米晶的生长和相变机制	203
4.4.1	CdS 纳米晶的生长和相变机制概述	203
4.4.2	CdS 纳米晶生长与相变的实验分析	204
4.4.3	表面调控 CdS 纳米晶生长与相变的机制分析	208
4.4.4	小结	211
4.5	伴随纳米材料反应的非常规快速生长现象研究	211
4.5.1	反应过程中的聚集诱导晶体生长现象分析	211
4.5.2	反应过程中的聚集诱导晶体生长实验研究	213
4.6	纳米晶的快速生长现象及其在环境重金属提取中的意义	217
	参考文献	218
第5章	纳米氢氧化镁在碳酸化过程中的聚集生长及其在纳米铬渣处理中的应用	226
5.1	铬渣的产生	226
5.1.1	铬盐生产行业含铬废渣的产生	227
5.1.2	氯酸盐行业含铬废渣的产生	228
5.2	含铬废渣的治理技术现状	228

5.2.1 铬渣的解毒	228
5.2.2 铬渣的应用	231
5.2.3 铬渣的防渗堆存	234
5.3 氯酸盐行业含铬纳米废渣的处理研究	234
5.3.1 高温下纳米氢氧化镁物相变化、晶体生长和 Cr(VI)吸/脱附规律	235
5.3.2 常温下纳米氢氧化镁物相变化、晶体生长和 Cr(VI)吸/脱附规律	249
5.4 氯酸盐行业含铬纳米废渣治理的工程化应用	258
5.4.1 工程化放大实验	258
5.4.2 工艺条件优化	260
5.4.3 放大及吨级中试	261
5.4.4 脱毒上清液的回收和利用	263
5.4.5 脱毒粉末用途开发	264
5.4.6 小结	267
参考文献	268
第6章 纳米二氧化锡快速生长研究与废渣中锡的选择性提取	270
6.1 电镀污泥的现状与特征	271
6.1.1 电镀行业现状与电镀废水的来源	271
6.1.2 电镀污泥的来源、特点及其危害	272
6.2 电镀污泥的防治技术研究现状	273
6.2.1 无害化处置技术	274
6.2.2 电镀污泥的资源化利用	277
6.3 马口铁电镀污泥资源化利用技术研究现状	282
6.3.1 锡及其化合物的性质与应用	282
6.3.2 环境中锡的危害	285
6.3.3 电镀污泥中锡的回收技术现状	285
6.3.4 快速生长应用于电镀废渣中锡的回收	288
6.4 二氧化锡纳米晶水热生长动力学基础研究	290
6.4.1 水热生长动力学实验	290
6.4.2 水热生长机制研究	291
6.4.3 生长动力学过程分析和数据拟合	294
6.4.4 影响生长速度的机制和因素	295
6.4.5 小结	298
6.5 废渣中锡的选择性回收	298
6.5.1 污泥的分析和矿化处理	298
6.5.2 含锡电镀污泥中锡的回收处理	299

6.5.3 矿化剂对形核和晶粒生长的影响	304
6.5.4 总结与展望	305
6.6 聚集度诱导的纳米二氧化锡快速生长机制	306
6.6.1 纳米晶快速生长现象和理论	306
6.6.2 水热生长动力学实验	311
6.6.3 二氧化锡超快生长动力学过程分析	314
6.6.4 聚集度诱导的纳米晶快速生长机制	324
6.6.5 小结	326
6.7 意义和展望	328
参考文献	328
第7章 纳米氢氧化镁在回收水中阴离子型重金属中的应用研究	333
7.1 纳米氢氧化镁的研究背景	333
7.1.1 作为绿色安全水处理剂的应用与优势	333
7.1.2 结构、形貌与性能	333
7.2 可再生纳米氢氧化镁富集水中低浓度 Cr(VI)	338
7.2.1 实验设计	340
7.2.2 氢氧化镁的合成及用于低浓度 Cr(VI)的吸附实验	341
7.2.3 Cr(VI)的脱附和浓缩富集	342
7.2.4 纳米氢氧化镁的循环再生	343
7.2.5 结果讨论	344
7.2.6 小结	346
7.3 纳米氢氧化镁用于提炼水中低浓度铀的研究	347
7.3.1 铀的背景研究	347
7.3.2 纳米氢氧化镁对水中低浓度碳酸铀酰的吸附行为及机理研究	357
7.3.3 纳米氢氧化镁对水中较高浓度乙酸铀酰的吸附行为及机理研究	371
7.3.4 铀酰的脱附富集与回收	386
7.3.5 总结与展望	395
参考文献	396
第8章 纳米氢氧化镁在回收水中低浓度稀土阳离子中的应用研究	404
8.1 中国稀土资源利用情况	404
8.2 稀土元素概述	405
8.3 稀土用途	406
8.3.1 稀土发光材料	408
8.3.2 稀土永磁材料	409
8.3.3 稀土能源材料	409

8.3.4 稀土催化材料	410
8.4 稀土的分布、赋存状态	412
8.4.1 全球稀土资源分布	412
8.4.2 地壳中的赋存状态	417
8.5 稀土生产	420
8.5.1 选矿方法	420
8.5.2 北方稀土矿的分离工艺	423
8.5.3 南方稀土矿开采、提取工艺	425
8.5.4 稀土污染防治	432
8.5.5 清洁生产	436
8.6 稀土的回收研究进展	437
8.6.1 固态中稀土的回收研究	437
8.6.2 液态中稀土的回收研究	441
8.7 纳米氢氧化镁回收稀土实验研究	442
8.7.1 概述	442
8.7.2 稀土回收实验及结果	444
8.7.3 小结	449
参考文献	450
索引	453

第 1 章 绪 论

人类在与自然的长期共存和斗争中逐渐认识了环境。在生产力水平低下的远古时代，基于对山洪、火山、地震等自然力的恐惧，人类对自然界处于一种依附或顺应的关系。而同时，作为“万物之灵”的人类，又始终不曾放弃征服自然、改造自然的理想和豪情。例如，从远古之时传诵至今的大禹治水、女娲补天的故事，以及古希腊神话故事中的普罗米修斯等，均表现了人类敢于战胜恶劣的自然环境的豪迈气概和顽强意志。

18 世纪工业革命以来，科学技术取得了突飞猛进的发展。人类借助科技的力量，在社会、经济等方面取得了非凡的成绩，整个人类社会进入了一个崭新的时期。人类进一步征服海洋、开垦草原、拦河筑坝……然而，随之而来的生态破坏和环境污染也在加速蔓延，特别是首先进入工业化进程的西方国家，在享受工业化带来的繁荣的同时也最早品尝到了工业化带来的副作用。工业革命的发展在某种程度上可以说是以自然环境的严重破坏为代价的。特别是 20 世纪 50~60 年代，虽然被称为“沸腾的 20 年”或资本主义发展史上的“黄金年代”，但也是各种“公害事件”层出不穷，导致成千上万的人患病的年代。不少人在“公害事件”中丧生，其中最严重的有八起污染事件，人们称为“八大环境公害”事件。正如恩格斯在《自然辩证法》一书中指出的那样：“我们不要过分陶醉于我们人类对自然的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都对我们进行了报复。”

环境污染的产生与发展往往与人类对自然的认识水平和技术能力相关。在工业社会初期，随着人类社会生产力水平的不断提高，人们征服及改造自然的能力急速提高，对自然的索取也迅速扩大。然而，由于人们对环境问题缺乏认识，在生产生活过程中常常忽视环境问题的产生和存在。于是在创造和享受现代文明的同时，人们也饱尝了高增长带来的资源短缺、生态退化、环境恶化、气候变化、灾害频发等苦果。这些问题的出现促使人们重新思考人类与自然的关系，重新思考人类行为的准则。

美国海洋生物学家雷切尔·卡森(Rachel Carson)于 1962 年出版了《寂静的春天》(*Silent Spring*)一书，这是人类历史上第一部关注环境问题的专著，也是被评为全球最具影响的著作之一。卡森在书中开始描绘了一个生机盎然的美国城镇：在春天，繁花点缀在绿色的原野上；在秋天，透过松林的屏风，橡树、枫树和白桦闪射出火焰般的彩色光辉，狐狸在小山上鸣叫，小鹿静悄悄地穿过了笼罩着秋天晨雾的原野；在冬天，道路两旁飞来无数小鸟，在出露于雪层之上的浆果

和干草的穗头上啄食。有些人来到小溪边捕鱼,这些洁净又清凉的小溪从山中流出,形成了绿荫掩映的生活着鲟鱼的池塘……然而,随着以双对氯苯基三氯乙烷(DDT)为代表的杀虫剂的广泛使用,一种神秘莫测的疾病袭击了成群的小鸡,牛羊病倒、死亡,到处是死神的幽灵。城里的医生也在为他们病人中出现新的疾病感到困惑。一种奇怪的寂静笼罩了这个地方,是什么东西使得美国不计其数的城镇的春天之音沉寂下来了呢?人类可能将面临一个没有鸟、蜜蜂和蝴蝶的世界。卡森详尽细致地讲述了以 DDT 为代表的杀虫剂的广泛使用,可能给我们的环境所造成的巨大的、难以逆转的危害。由于该书的警示,美国政府开始对剧毒杀虫剂问题进行调查,并于 1970 年成立了环境保护署,各州也相继通过禁止生产和使用剧毒杀虫剂的法律。

《寂静的春天》犹如旷野中的一声呐喊,用它深切的感受、全面的研究和扎实的论据改变了历史的进程。正如美国前副总统阿尔·戈尔为《寂静的春天》所作的序中指出:《寂静的春天》的出版应该恰当地被看成现代环境运动的开始。它的出版唤醒了人们的环保意识,也引发了人们对环境问题的注意。环境保护开始提到各国政府面前,促使联合国于 1972 年 6 月 12 日在瑞典的斯德哥尔摩召开了第一届人类环境大会,并签署了《人类环境宣言》,世界各国从此踏上了共同保护环境征程。此后,1972 年罗马俱乐部发表《增长的极限》,1987 年挪威首相布伦特兰在主持的报告《我们共同的未来》中第一次提出可持续发展的战略思想及内涵,1992 年联合国环境与发展大会发布《里约热内卢环境与发展宣言》和《21 世纪议程》,2012 年联合国可持续发展大会通过了《我们憧憬的未来》,走可持续发展道路已经成为世界各国的共识。

今天,人们提出了人与自然的和谐发展,谋求走可持续发展的新型工业化道路,体现了人与自然的和谐共存、科学精神与道德思想相结合的理性光彩。这个理念变化发展的过程,同样见证了人类改造自然、正视自然,不断谋求自身发展和完善的进步历程。只有真正处理好经济社会发展与自然环境的协调与和谐,人类才能在优美的生态环境中工作和生活,从而为后代子孙留下更好的生存空间。

然而,今日之中国,一方面是自 1978 年改革开放以来,经济持续的快速增长,GDP 平均年增长率超过 9%;另一方面则是环境的持续恶化。发达国家所走过的工业化的历程告诉我们,传统的工业化道路是一种“以牺牲环境为代价的发展”,在创造巨大物质财富的同时,也付出了沉重的环境污染和生态破坏的代价,带来了无法弥补的损失。

面对这一潜在的危机,我国 20 世纪 80 年代即确立了环境保护的基本国策地位,明确了“预防为主,防治结合”、“谁污染,谁治理”、“强化环境管理”的三大政策体系,制定了环境影响评价等多项环境管理制度。进入 90 年代,提出由污染防治为主转向污染防治和生态保护并重;由末端治理转向源头和全过程控制,

实行清洁生产,推动循环经济;由分散的点源治理转向区域流域环境综合整治和依靠产业结构调整;由浓度控制转向浓度控制与总量控制相结合,实施了“三河”(淮河、海河、辽河)、“三湖”(太湖、滇池、巢湖)、“两区”(二氧化硫控制区和酸雨控制区)、“一市”(北京市)、“一海”(渤海)等重点流域区域污染治理工程,开始集中人力、物力、财力治理流域性和区域性环境污染。然而,从环境保护的主体实施单位来说,也存在着不少企业为了减低成本,逃避环境责任,从而引起环境持续污染和公共安全危机的现象,如水污染、雾霾笼罩、食品中重金属含量超标等。2013年1月发布的《迈向环境可持续的未来——中华人民共和国国家环境分析》报告显示,中国最大的500个城市中,只有不到1%达到了世界卫生组织推荐的空气质量标准;世界上空气污染最严重的10个城市(太原、米兰、北京、乌鲁木齐、墨西哥城、兰州、重庆、济南、石家庄、德黑兰)之中有7个在中国。此外,全国的河流湖泊普遍受到污染,中国的七大水系中,42%的水质超过Ⅲ类标准,全国有36%的城市河段为劣Ⅵ类水质,全国75%的湖泊出现了不同程度的富营养化,90%的城市水域污染严重。对我国118个大中城市的地下水调查显示,有115个城市地下水受到污染,其中重度污染的约占40%。由环境污染导致的癌症患者急剧增多,且有明显低龄化趋势。由于水污染直接关系到饮用水问题,雾霾的大面积发生也影响着空气的质量,大米更是与食品安全息息相关,全国各地不断发生的环境事件已成为公众关注的焦点。我国历经60多年的飞速建设发展,许多发达国家几百年逐步显露的问题,在我国被压缩到几十年内集中显现,环境污染带来的问题早就不是潜在的问题。

近年来,我国暴发的若干严重环境问题使人们不得不重新审视自己的发展方式。中国作为一个正在崛起的发展中大国,在现代化进程中一定要汲取别国和本国在对待自然界方面的经验教训,注意保护生态和环境,走经济、社会、人与自然和谐统一的可持续发展之路。

1994年国务院第十六次常务会议审议通过的《中国21世纪议程》明确指出:“科学技术是综合国力的重要体现,是可持续发展的主要基础之一。没有较高水平的科学技术支持,可持续发展的目标就不能实现。”2012年的中国共产党十八大报告也首次单篇论述生态文明的内涵,首次把“美丽中国”作为未来生态文明建设的宏伟目标,把生态文明建设摆在总体布局的高度来论述。而生态文明就是以人与自然、人与人和谐共生、全面发展、持续繁荣为基本宗旨的文化伦理形态。建设美丽中国描绘了建设社会主义生态文明的美好蓝图,是对当前出现的环境保护与修复的高标准要求,是对我国可持续发展提出的震撼性的呼吁。针对目前日趋严重的环境问题,也为了我们共同的生存环境,实现建设美丽中国的愿景,广大科技工作者应携起手来,共同努力,为解决我国重大环境问题做出贡献,促进环保事业的发展。

纳米科技是 20 世纪 80 年代末逐步发展起来的交叉前沿学科, 纳米技术已被世界公认为 21 世纪最重要、发展最快的战略高新技术产业之一。它被认为与 150 年前微米科技一样具有重要的意义。纳米技术涉及的是一个全新的范围, 研究领域主要集中在尺寸为 1~100nm 的物质的特性和相互作用, 当物质小到纳米尺度时, 会呈现出许多既不同于宏观物体, 也不同于单个孤立原子的新性能。例如, 金属纳米材料的电阻会随尺寸下降而增大, 而原来是绝缘体的氧化物达到纳米级时电阻反而下降。在纳米尺度上, 物质因具有量子尺寸效应、表面效应和宏观量子隧道效应等特点而表现出不同于宏观尺度下的物理、化学性质。正是纳米尺度上的物质表现出的特殊物理化学性质, 人们期待纳米科学技术在未来的科学技术革命中能起到重要的推动作用。因此, 世界主要发达国家无不加强对纳米科技发展的战略研究, 加大资金投入, 推动纳米科学向纳米技术及产业化的方向发展。我国也于 2000 年成立了国家纳米科学技术指导协调委员会。2006 年国务院发布了《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020 年)》, 提出纳米科技是我国“有望实现跨越式发展的领域之一”。基于水体环境中的持久性有毒污染物和重金属对健康所造成的危害已经成为 21 世纪各国政府、工业界、学术界和民众关注的一个热点问题, 因此, 近年来, 纳米科技对环境改善的作用也越来越受到重视。其重要的结合点在于: 纳米材料和纳米组装技术具有独特的纳米效应和结构可调控性, 衍生出大量的有众多奇异功能的反应平台和通道, 在水/纳米材料界面, 一些典型的污染物分子有非常独特的物理化学行为。纳米材料和技术的飞速发展经济、有效、安全地解决水中污染物难题提供了前所未有的机遇和选择。科技部于 2012 年发布的《纳米研究国家重大科学研究计划“十二五”专项规划》中指出, 未来 20~30 年, 纳米科学技术有望广泛应用于环境保护等领域, 纳米技术可望用于解决原先传统技术难以治理的一些水、空气和土壤污染难题, 并提出要发展可饮用水和净水处理技术、重金属离子和农药残留的快速检测方法、土壤中重金属离子和有机污染物固定和去除方法、新型纳米过滤材料及技术等。

如上所述, 纳米材料具有大的比表面积、高的反应活性和高的吸附能力、结构的可设计性等特点, 可以在重金属污染土壤治理及污水净化中发挥显著作用。因此, 近年来, 随着纳米科学技术研究的深入, 以环境中存在的持久性有机有毒污染物质和重金属为两大研究对象, 在世界范围内已有一些学者着手开展纳米材料和技术对环境保护和污染防治方面的应用研究, 并取得了卓有成效的研究成果。例如, 利用零价纳米还原性材料及氧化物纳米材料可有效去除水中的重金属离子。美国科罗拉多州杜兰戈曾利用纳米零价铁修复地下水中的重金属污染, 结果表明纳米零价铁能够极大地降低地下水中 As、Mn、Mo、Se、U、V 和 Zn 的迁移性, 从而使其从水体中去除。利用光催化纳米材料也能够很好地去除水中的有机和无机污染物。例如, 作为光催化应用典型代表的纳米 TiO_2 材料在