



纳|米|科|学|进|展|系|列

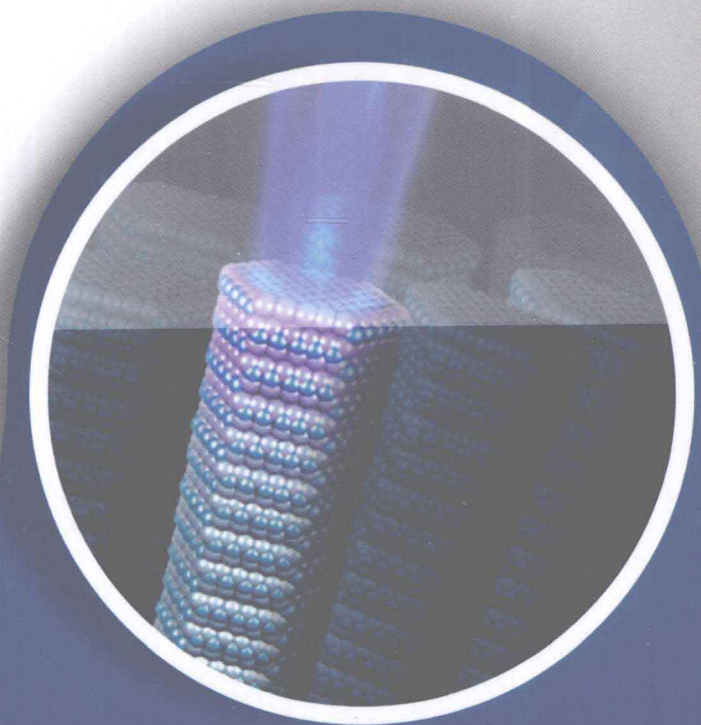
环境净化纳米技术

Nanotechnology for Environmental Decontamination

Manoj K. Ram

Silvana Andreescu

Hanming Ding



科学出版社

Nanotechnology for Environmental Decontamination

环境净化纳米技术

Edited by

Manoj K. Ram, Silvana Andreescu, and Hanming Ding



科学出版社

北 京

图字:01-2011-4894 号

Manoj K. Ram, Silvana Andreescu, and Hanming Ding

Nanotechnology for Environmental Decontamination

ISBN:978-0-07-170279-9

Copyright © 2011 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Bilingual edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and Science Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2011 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of the Singapore Branch of The McGraw-Hill Companies, Inc. and Science Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权双语版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和科学出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾)销售。

版权© 2011 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与科学出版社所有。本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

本版本只限于在中华人民共和国境内销售

图书在版编目(CIP)数据

环境净化纳米技术 = Nanotechnology for Environmental Decontamination; 英文/ (美)拉姆(Ram, M. K.)等著. —北京:科学出版社,2011.9
ISBN 978-7-03-032371-2

I. 环… II. 拉… III. 纳米技术-应用-环境自净-研究-英文 IV. X26

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 192709 号

责任编辑:田慎鹏/责任印制:钱玉芬

封面设计:耕者设计工作室

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>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 10 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011 年 10 月第一次印刷 印张:29

印数:1—1 800 字数:584 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

导 读

工业革命以来,随着世界各国工农业的迅速发展,环境污染问题也日趋严重,对地球生态系统和人类社会造成了严重的负面影响。各种物理的、化学的、生物的环境净化技术和方法应运而生。近年来,随着纳米技术的兴起和发展,各种纳米材料、纳米技术被广泛地应用到环境净化领域。由纳米级结构单元构成的纳米材料,在光、电、磁、热、机械等性能方面与普通材料有很大不同,具有辐射、吸收、催化、吸附等许多新特性。与传统方法相比,纳米技术处理工艺占地小,人力和能源消耗少,具有常规方法无法比拟的优势。

《环境净化纳米技术》就是在这样的背景下而成的。本书由来自多个国家的专家共同撰写,他们长期从事利用纳米技术进行环境净化的研究,内容涵盖使用各种纳米材料、纳米技术以及相应的工艺流程和工具来进行环境修复和污水净化。具体涉及应用各种纳米材料和技术净化和修复受各种污染物污染的地表水、地下水、空气、土壤等,以消除这些环境中的微生物、病毒、农药、重金属、化工原料、化学和生物战剂,以及其他各种有毒有害物质。

本书共分为 14 章。第 1 章简要地概述了可应用于环境净化的各种纳米材料和纳米技术,包括纳米光催化降解、酶催化降解、纳滤膜技术、纳米材料吸附、以及纳米零价铁(nZVI)等。

纳滤膜技术是一种介于反渗透和超滤之间的新型膜分离技术,是目前世界上水处理领域研究的热点之一。纳滤膜具有纳米级孔径,通常表面带负电荷,选择性介于反渗透和超滤之间,可在较低的操作压力下高效地去除水中各种病原微生物、低分子量有机物、重金属离子等,而同时有效地保留水中对人体有益的微量元素和矿物质。纳滤膜技术是进行大规模污水处理的一种重要手段,目前在欧美、日本等发达国家的给水行业和家用净水中已得到大规模推广应用。本书第 2 章介绍了内皮层中空纤维纳米孔膜的制备和应用。中空纤维的管壁上具有数纳米至数百纳米的贯通纳米孔道,在一定的条件下可实现大小粒子的选择性分离。本章首先介绍了内皮层中空纤维纳米孔膜的制备,以及它在处理印钞污水上的应用。进一步在中空纤维内表面上自组装聚电解质多层膜,得到聚电解质复合膜,并应用到渗透气化和纳滤分离上。

光催化技术是利用光照活化半导体氧化物光催化剂,在其表面产生多种活性物质,驱动表面氧化还原反应,从而有效地氧化分解有机物、还原重金属离子、杀灭细菌和消除异味等。由于光催化技术操作条件温和、无毒无害、经济、无二次污染,是一项具有广泛应用前景的新型绿色环境治理技术,在土壤、水质和大

气的污染治理方面展现出十分诱人的应用前景。同时,由于部分光催化剂具有超亲水性,还可应用于抗雾和自清洁材料的制备,并具有杀灭癌细胞的作用,可用于医疗保健。本书第3章首先介绍了光催化的一般原理,在此基础上总结和讨论了各种具有可见光响应的光催化剂的结构和性能的关系,最后介绍了光催化技术用于病原微生物、污水中的各种染料分子、有机分子、重金属离子等,以及空气中的挥发性有机化合物、有毒气体等的降解和消除。第4章介绍了纳米二氧化钛催化剂在废水处理中的具体应用,详细讨论了纳米二氧化钛催化剂的制备、设备、操作条件、测量以及光催化反应机理等。第5章利用纳米 $\gamma\text{-Bi}_2\text{MoO}_6$ 和 BiVO_4 薄膜电极在可见光照射下光电催化降解有机污染物,具体研究了偏压的影响、反应过程中的活性物质以及中间产物等。第7章介绍了纳米光催化剂在太阳光照射下的水消毒和污水净化,具体讨论了影响光催化剂活性的各种因素(如底物浓度、催化剂用量、pH值、反应温度、光照强度、氧气浓度等)和提高光催化活性手段(如借助化学氧化剂、对 TiO_2 进行掺杂和修饰、光敏化、与其他深度氧化技术相结合等),以及实际应用时存在的问题,最后给出了光催化杀菌的效果。

与传统的抗生素、抗菌肽等相比,纳米颗粒属于一种新型的抗菌剂,具有成本低、药效高、安全无毒等特性,在食品生产包装、水净化、表面消毒等方面具有很大的发展空间。第6章介绍了纳米颗粒的灭菌作用。具体论述了纳米颗粒杀灭细菌的机制,以及纳米颗粒的结构组成,并讨论了纳米颗粒灭菌目前所面临的问题。

本书第8和12章介绍纳米技术在净化化学和生物战剂以及相关毒素中的角色和作用。化学战剂主要包括神经性毒剂[如沙林(GB)、梭曼(GD)、塔崩(GA)、维埃克斯(VX)等]糜烂性毒剂或发泡剂(如芥子气),全身中毒性毒剂,失能性毒剂,窒息性毒剂,刺激性毒剂以及其他的植物杀伤剂。纳米材料具有比表面积大、表面活性极高、表面离子数多等特点,对化学和生物战剂有超强的吸附能力,同时又具有高效的催化性能,因此可以降解和消除这些毒剂以及相关毒素。第8章讨论了各种纳米金属氧化物在催化水解和降解化学战剂中的特性和功能,具体研究了VX、GD、GB、HD、硫芥、沙林、芥子气、二甲基膦、氯甲酸乙酯硫化物等化学战剂在纳米金属氧化物如 MgO , Al_2O_3 , CaO , ZnO , TiO_2 , $\text{V}_{1.02}\text{O}_{2.98}$, 氧化锰及其复合催化剂上的反应和各自的净化机理。第12章首先介绍各种化学战剂、生物战剂,以及目前常用的清理方法。在此基础上,讨论了多种纳米金属氧化物及其复合材料应用于消除化学战剂和生物战剂。

生物修复技术是利用特定的微生物吸收、转化、清除或降解环境污染物,从而消除或减少环境污染。近年来生物修复技术得到了极大的重视,已应用于多种类型的环境污染治理。由于微生物代谢分解反应的温和性和多样性,与物理化学方法相比,生物修复技术在操作条件和处理成本上都具有明显的优势。本书第9

章讨论了用于环境生物修复的具有纳米结构的生物集合体。具体讨论了这些具有纳米结构的生物制剂的制备、固载，以及用于转化砷、降解酚类化合物和农药、生物脱硫等。

金属铁具有较强的还原能力，可有效催化还原多种有机和无机污染物，如卤化物、硝基苯、硝酸盐、高氯酸盐，以及重金属离子等。纳米零价铁由于具有比表面积大、反应活性高、易扩散等优点，应用于可渗透反应墙（PRB）技术中，可有效去除地下水和土壤环境中多种污染物，是目前颇有潜力的环境修复方法。本书第 10 章和第 13 章讨论了利用纳米零价铁处理土壤及地下水中重质非水相液体（DNQPL）污染物的研究进展。具体介绍了氯化 DNAPLs 对地下水和土壤的污染，讨论了纳米 ZVI 的合成方法和改性，以及影响纳米 ZVI 反应性及输运性表现的环境因素、筛选纳米 ZVI 的适用性站点的具体考虑，纳米 ZVI 的未来发展方向等。

第 11 章介绍了利用纳米技术检测和控制高残留农药。具体介绍了林丹、滴滴涕、环戊二烯类杀虫剂、灭蚁灵和开蓬等高残留农药的危害。在此基础上，讨论了对这些杀虫剂的检测和利用光催化将它们降解为无毒或低毒的化合物。最后一章即第 14 章对本书以上内容进行了概括和总结，对纳米材料和技术应用于环境修复和净化进行了展望。

本书可作为高等学校化学、材料、环境等专业和相关专业研究生的参考书，也可供从事环境修复和净化研究的相关研究人员参考。

丁 昂 明

华东师范大学化学系

前 言

纳米技术的最新发展表明，借助于多种纳米材料、工艺流程和工具，在可预见的未来将能够实现环境的净化。本书汇集的章节来自于多位作者的研究成果，他们都是在环境净化这一令人兴奋的领域里，利用纳米材料和生物催化剂从事相关研究工作的专家。本书全面概述了环境净化领域的最重要进展，包括纳米材料、纳米结构以及化学-生物去污的物理、化学和技术等方面的关键性细节，其中部分章节详细地阐述了如何利用纳米材料消除化学战剂、生物战剂，以及杀虫剂等。

第 1 章导言部分对环境净化纳米技术做了一个全面的最新的介绍，并提供了其最前沿的技术资源。随着合成、理解、表征和模拟纳米材料能力的提高，我们有机会以前所未有的方式去控制化学反应的速率和产物。第 2 章论述了纳米多孔中空纤维复合膜的制备和应用。通过制备一层超薄的、无缺陷的选择层，该复合膜可作为渗透汽化分离过程的一个有效替代品。第 3 章论述了水和空气污染的光催化净化。该章介绍了各种基于能产生羟基自由基的深度氧化技术。这些技术广泛地应用于消除水溶液和气流中的各种有机和无机污染物，将它们最终转化为水、二氧化碳和无机盐等低毒或无毒的物质。第 4 章讨论了纳米 TiO_2 光催化剂用于各类废水中有机污染物的净化。第 5 章揭示了在可见光照射下，纳米半导体薄膜电极对有机污染物的光电催化降解。

第 6 章阐明了金属纳米颗粒在消毒方面的潜力。含金属纳米颗粒的抗菌活性已被广泛应用到众多净化设备当中，包括水净化、表面清洁，以及减少食品工业包装中的微生物数量。第 7 章论述了如何利用纳米材料制备的太阳能光电池来消毒和净化水，以及介绍了几种提高 TiO_2 光催化效率的办法。第 8 章论述了纳米技术在消除化学战剂中扮演的角色。迄今为止，已经设计合成了多个可消除剧毒化学战剂的去污产品。第 9 章论述了可用于环境生物修复的具有纳米结构的生物集合体。有毒的有机和无机化学品在工业和农业上的大规模生产和使用，造成了环境污染，给环境和人类健康带来了重大风险。第 10 章论述了活性纳米粒子是如何处理土壤及地下水中的重质非水相液体（DNAPL）氯化物。这方面的研究目前正在进行之中，并持续发展，为使用纳米粒子处理地下污染物的可行性提供了更多的技术支持。第 11 章论述了利用纳米技术检测和控制高残留农药。具有较大表面积纳米材料已广泛地用于开发高灵敏的检测系统，以精确检测和监控通过水传播的有害物质，如病原体，常见的通过空气传播的污染物，以及金属离子等。第 12 章论述的重点主要是具有潜在消除化学战剂、生物战剂以及相关毒

素的功能纳米材料的使用。第 13 章论述了新的纳米技术较之现有的处理技术具有的诸多优越性，为提高地下水中 DNAPL 的去除效果提供了一种很有希望和价值的技术手段。

此外，书中列出了一些积极参与到环境净化领域并取得成功的商业公司和研究机构的名单。我们有幸召集到在这一领域世界级研究机构的研究人员共同撰写此书，在此衷心地感谢他们。正是这些从事环境净化纳米技术研究的作者们的热情和努力汇集成了一本书，我们相信本书对于越来越多的从事这一领域研究的人员来说将是一本重要的参考书。Ram 博士也想借此机会感谢南佛罗里达大学纳米技术研究与教育中心主任 A. Kumar 教授，感谢他在本书的形成过程中提出了许多宝贵意见。最后，尤其重要的是，Ram 博士非常感谢他的妻子 Kumari，以及孩子 Natasha 和 Akash 的大力支持。

(丁昆明 译)

Contributors

Anne J. Anderson *Department of Biology, Utah State University, Logan, Utah*
(CHAP. 6)

Silvana Andreescu *Department of Chemistry and Biomolecular Science, Clarkson University, Potsdam, New York* (EDITOR; CHAP. 9)

Liyana Wajira Ariyadasa *Department of Chemistry, Western Michigan University, Kalamazoo, Michigan* (CHAP. 12)

Sunandan Baruah *Centre of Excellence in Nanotechnology, Asian Institute of Technology, Klong Luang, Pathumthani, Thailand* (CHAP. 11)

David W. Britt *Department of Biological Engineering, Utah State University, Logan, Utah* (CHAP. 6)

Michelle Crimi *Clarkson University, Institute for a Sustainable Environment, Potsdam, New York* (CHAP. 10)

Christian O. Dinkpa *Department of Biological Engineering, Utah State University, Logan, Utah* (CHAP. 6)

Hanming Ding *Department of Chemistry, East China Normal University, Shanghai, P. R. China* (EDITOR; CHAP. 3)

Joydeep Dutta *Centre of Excellence in Nanotechnology, Asian Institute of Technology, Klong Luang, Pathumthani, Thailand* (CHAP. 11)

Maohong Fan *Department of Chemical and Petroleum Engineering, University of Wyoming, Laramie, Wyoming* (CHAPS. 2, 4)

P. Fernández-Ibáñez *Plataforma Solar de Almería (CIEMAT), Carretera Senés, Tabernas (Almería), Spain* (CHAP. 7)

Tissa Illanagasekare *Colorado School of Mines, Environmental Science and Engineering, Golden, Colorado* (CHAP. 10)

Cristina R. Ispas *Department of Chemistry and Biomolecular Science, Clarkson University, Potsdam, New York* (CHAP. 9)

Shulan Ji *Center for Membrane Technology, College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing, P. R. China*
(CHAP. 2)

Ashok Kumar *Nanotechnology Education Research Center, University of South Florida, Tampa, Florida* (CHAP. 1)

- Yangming Lei** School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, 800 Dong Chuan Road, Shanghai, P. R. China (CHAP. 4)
- Zhongzhou Liu** Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, P. R. China (CHAP. 2)
- Gregory V. Lowry** Carnegie Mellon University, Civil & Environmental Engineering, Pittsburgh, Pennsylvania (CHAP. 10)
- M. I. Maldonado** Plataforma Solar de Almería (CIEMAT), Carretera Senés, Tabernas (Almería), Spain (CHAP. 7)
- S. Malato** Plataforma Solar de Almería (CIEMAT), Carretera Senés, Tabernas (Almería), Spain (CHAP. 7)
- Sherine O. Obare** Department of Chemistry, Western Michigan University, Kalamazoo, Michigan (CHAP. 12)
- I. Oller** Plataforma Solar de Almería (CIEMAT), Carretera Senés, Tabernas (Almería), Spain (CHAP. 7)
- Tanapon Phenrat** Carnegie Mellon University, Civil & Environmental Engineering, Pittsburgh, Pennsylvania and Naresuan University, Civil Engineering, Phitsanulok, Thailand (CHAP. 10)
- G.K. Prasad** Defense Research and Development Establishment, Jhansi Road, Gwalior, India (CHAP. 8)
- Manoj K. Ram** Nanotechnology Education Research Center, University of South Florida, Tampa, Florida (EDITOR; CHAP. 1)
- Anastasia C. H. Scangas** Department of Chemistry and Biomolecular Science, Clarkson University, Potsdam, New York (CHAP. 9)
- Zhemín Shen** School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, 800 Dong Chuan Road, Shanghai, P. R. China (CHAP. 4)
- Lia Stanciu** School of Materials Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana (CHAP. 9)
- Jeffrey L. Ullman** Agricultural and Biological Engineering, University of Florida, Gainesville, Florida (CHAP. 13)
- Hongjie Wang** State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Science, and School of Environmental Science and Engineering, Beijing Forest University, Beijing, P. R. China (CHAP. 5)
- Wenhua Wang** School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, 800 Dong Chuan Road, Shanghai, P. R. China (CHAP. 4)
- Guojun Zhang** Center for Membrane Technology, College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing, P. R. China (CHAP. 2)
- Xu Zhao** State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Science, Beijing, P. R. China (CHAP. 5)
- Blin Zhou** State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Science, Beijing, P. R. China (CHAP. 5)

Preface

Recent developments in nanotechnology will allow environmental decontamination in the foreseeable future through several nanomaterials, processes, and tools. The book contains chapters from authors who have embarked on research programs in the exciting areas of decontaminating water using nanomaterials and biocatalysts. Several chapters detail the decontamination of chemical warfare agents (CWAs), pesticides, and biological warfare agents (BWAs) using nanomaterials. The book also provides a thorough overview of the most important developments in the field of decontamination, including critical details on the physics, chemistry, and technology of nanomaterials, nanostructures, and chem-bio decontamination.

The introduction (Chapter 1) provides a comprehensive and up-to-date understanding and cutting-edge resource of nanotechnology used for decontamination. Advances in our ability to synthesize, visualize, characterize, and model these materials have created new opportunities to control the rates and products of chemical reactions in ways not previously possible. Chapter 2 discusses the preparation and application of nanoporous hollow-fiber composite membranes as an effective alternative in achieving an ultrathin, defect-free selective layer for pervaporation separation processes. Chapter 3 addresses the photocatalytic inactivation of water and air pollution. This chapter describes various advanced oxidation processes based on the production of hydroxyl radicals that are widely used to remove organic and inorganic contaminants from aqueous solutions and gaseous effluents by converting them to less harmful substances such as water, carbon dioxide, and inorganic salts. Chapter 4 discusses the application of nano-TiO₂ catalysts to decontaminate organic pollutants in various types of wastewaters. Chapter 5 reveals the photoelectrocatalytic degradation of organic contaminants at nanosemiconductor film electrodes under visible-light irradiation.

Chapter 6 shows the potential of metal nanoparticles in disinfection. Antibacterial activity of metal-containing nanoparticles is being used in many settings including water purification, surface

cleaning, and reduction of microbial load in packaging for the food industry. Chapter 7 shows how solar photocells are used to disinfect and decontaminate water using nanomaterials and describes several approaches to improve the photocatalysis efficiency of TiO_2 . Chapter 8 reveals the role of nanotechnology in decontaminating CWAs. Several decontamination formulations have been devised so far for neutralizing highly toxic CWAs. Chapter 9 presents nanostructured bio-assemblies that are used to bioremediate the environment. Widespread production and use of toxic organic and inorganic chemicals in many industrial and agricultural applications contribute to environmental contamination, posing a significant risk to the environment and human health. Chapter 10 shows how reactive nanoparticles treat chlorinated, dense, nonaqueous-phase liquids in soil and groundwater. Research in this area is ongoing and continues to grow, providing additional support for the viability of using nanoparticles to treat subsurface contaminants. Chapter 11 deals with persistent pesticides detection and control using nanotechnology. Large surface-to-volume ratio nanostructured materials have been widely used to develop highly sensitive sensing systems to accurately detect and monitor waterborne harmful agents such as pathogens, common airborne pollutants, and metal ions among others. Chapter 12 focuses primarily on the use of nanomaterials that have demonstrated potential to successfully decontaminate CWAs, BWAs, and related toxins. Nanotechnology presents a promising beneficial tool to enhance removal of DNAPLs in groundwater, providing advantages over established treatment technologies is shown in Chapter 13.

In addition, the book lists several successful commercial companies and research institutions who are actively involved in the areas of decontamination. We are fortunate to have assembled contributions from world-class authorities in this field and sincerely thank all of them. The enthusiasm and efforts of the contributors in the field of environmental decontamination with nanotechnology have culminated in this book, which we believe will be an essential reading to the increasing number of researchers in this field. Dr. Ram would also like to take this opportunity to thank Professor A. Kumar, Director Nanotechnology Research & Education Center, University of South Florida, Tampa, for his valuable suggestions throughout the preparation of this book. Last, but not least, Dr. Ram warmly acknowledges the gracious support of his wife, Kumari, and his children, Natasha and Akash.

目 录

撰稿人

前言

第 1 章 利用纳米技术去污.....	1
Manoj K. Ram and Ashok Kumar	
1.1 引言	1
1.2 饮用水净化	2
1.2.1 使用碳过滤器进行水净化	3
1.2.2 碳纳米管作为过滤材料	5
1.2.3 功能化碳纳米管用于吸附	6
1.3 TiO_2 与有机和无机化合物的光催化作用	6
1.4 酶净化	8
1.5 用于消除化学战剂的纳米材料	10
1.5.1 基于纳米零价铁的净化	11
参考文献	14
第 2 章 内皮层中空纤维纳米多孔膜的制备和应用	21
Guojun Zhang, Shulan Ji, Zhongzhou Liu, and Maohong Fan	
2.1 引言	21
2.2 内皮层中空纤维多孔膜的制备	22
2.3 内皮层中空纤维多孔膜在处理印钞废水上的应用	25
2.3.1 工艺流程	26
2.3.2 全规模的系统	27
2.3.3 厂区运行状态	27
2.3.4 经济效益分析	31
2.4 内皮层中空纤维多孔膜在聚电解质多层膜(PEMMs)自组装上的应用	33
2.4.1 内皮层中空纤维聚电解质多层膜的自组装	34
2.4.2 内皮层中空纤维聚电解质多层膜的应用	39
致谢	41
参考文献	41

第 3 章 光催化去活:空气-水	43
Hanming Ding	
3.1 引言	43
3.2 基于 TiO_2 的光催化	45
3.2.1 金属离子掺杂和植入	47
3.2.2 非金属离子掺杂	47
3.2.3 光敏化	50
3.2.4 TiO_2 -碳纳米复合材料	51
3.3 其他具有可见光响应的光催化剂	51
3.3.1 铋相关的化合物	51
3.3.2 铁基氧化物	53
3.3.3 含银化合物	54
3.4 水和空气的光催化净化	54
3.4.1 病原微生物的消毒	55
3.4.2 染料降解	59
3.4.3 其他水体中典型有机污染物的光降解	63
3.4.4 可溶性重金属离子的转化	66
3.4.5 室内空气污染物的消除	67
3.5 小结	69
参考文献	70
第 4 章 纳米二氧化钛催化剂在废水处理中的应用	85
Zheming Shen, Yangming Lei, Wenhua Wang, and Maohong Fan	
4.1 引言	85
4.2 材料与方法	87
4.2.1 电解装置	87
4.2.2 TiO_2 纳米复合催化剂的制备和特性	88
4.2.3 操作	88
4.2.4 分析测量	88
4.3 纳米 TiO_2 的特性	90
4.4 金红石相 TiO_2 的催化电解	91
4.4.1 掺杂 TiO_2 的电解结果	93
4.4.2 制备条件的优化	93
4.4.3 催化和氧化机理	97
4.5 结论	104
参考文献	105

第 5 章 利用纳米半导体薄膜电极在可见光照射下光电催化降解有机污染物 107

Hongjie Wang, Bin Zhou, and Xu Zhao

5.1 引言 107

5.2 材料与方法 108

5.2.1 $\gamma\text{-Bi}_2\text{MoO}_6$ 和 BiVO_4 薄膜的制备和表征 108

5.2.2 降解实验 109

5.3 在 Bi_2MoO_6 膜电极上染料的光电催化(PEC) 110

5.3.1 $\gamma\text{-Bi}_2\text{MoO}_6$ 膜的表征 110

5.3.2 染料的降解 112

5.3.3 施加偏压的影响 115

5.3.4 参与 K-2G 的 PEC 降解过程中的活性物种 118

5.3.5 PEC 降解中间体的分析 120

5.4 有机污染物在 BiVO_4 膜电极上的光电催化 123

5.4.1 BiVO_4 薄膜的表征 123

5.4.2 BiVO_4 薄膜的光电催化活性 128

5.5 结论 133

致谢..... 135

参考文献..... 135

第 6 章 利用纳米粒子消毒..... 139

Christian O. Dimkpa, David W. Britt, and Anne J. Anderson

6.1 引言 139

6.2 纳米粒子-细菌细胞间的相互作用:机制 140

6.2.1 表面电荷,附聚,以及细胞与纳米粒子的接触 142

6.2.2 纳米粒子的配方 143

6.2.3 银纳米粒子:复合材料及活性 145

6.2.4 其他具有抗菌活性的含金属纳米粒子的配方 146

6.3 纳米粒子处理所面临的问题 151

6.4 化学品的降解 154

参考文献..... 155

第 7 章 利用纳米光催化剂在太阳光照射下的水消毒和污水净化..... 161

S. Malato, P. Fernández-Ibáñez, M. I. Maldonado, and I. Oller

7.1 引言 162

7.2 太阳能多相光催化的主要技术参数 162

7.2.1 反应物初始浓度 165

7.2.2 催化剂的用量 166

7.2.3	pH 值	166
7.2.4	温度	168
7.2.5	辐射通量	169
7.2.6	氧气浓度	170
7.3	太阳能半导体纳米光催化的增强	171
7.3.1	化学氧化剂的使用	171
7.3.2	掺杂和改性 TiO_2 的使用	174
7.3.3	TiO_2 光催化与光敏化剂的耦合	177
7.3.4	半导体光催化与其他高级氧化技术的耦合	178
7.4	太阳能光催化的硬件	179
7.4.1	太阳能集热器	180
7.4.2	光催化剂问题	181
7.5	太阳能光催化杀菌	183
7.5.1	光照对微生物的破坏效果	184
7.5.2	TiO_2 光催化的水消毒	186
	致谢	189
	参考文献	190
第 8 章	纳米技术在净化化学战剂中的作用	193
	G. K. Prasad	
8.1	引言	194
8.2	纳米金属氧化物合成方法的简述	197
8.2.1	纳米粒子的化学合成路线	197
8.2.2	溶液中的成核和生长	198
8.2.3	化学还原法制备金属及金属间纳米粒子	198
8.2.4	燃烧合成法	199
8.2.5	溶胶-凝胶法	199
8.2.6	气凝胶过程	200
8.3	细颗粒物的稳定化以防止团聚	201
8.4	促进化学战剂净化的性质和功能性	201
8.5	化学战剂的反应以及各自在纳米金属氧化物上的净化机理	210
8.5.1	VX、GD、GB 和 HD 等毒剂与纳米 AP-MgO 、 $\text{AP-Al}_2\text{O}_3$ 和 AP-CaO 的反应	210
8.5.2	硫芥在氧化锌纳米棒表面的解毒反应	212
8.5.3	氧化锌纳米晶用于净化沙林和二甲基膦	214
8.5.4	芥子气和沙林毒气在二氧化钛纳米管上的净化	217
8.5.5	改性二氧化钛纳米管用于净化芥子气	221

8.5.6	硫芥和沙林在 $V_{1.02}O_{2.98}$ 纳米管上的反应	223
8.5.7	介孔氧化锰纳米带用于沙林、芥子气、氯甲酸乙酯硫化物的净化	226
8.6	化学战兴奋剂在金-二氧化钛复合材料上的催化降解	229
8.6.1	机理	230
8.6.2	同多酸浸渍 Al_2O_3 纳米粒子作为反应吸附剂脱除硫芥	230
8.6.3	2-氯乙基乙基硫醚在纳米分子筛上的吸附,解吸和热氧化	231
8.6.4	基于二氧化钛纳米管的逐层纳米薄膜的太阳光辅助自清洁涂层	231
8.6.5	未来发展方向	232
	参考文献	233
第9章	用于环境生物修复的具有纳米结构的生物集合体	237
	Cristina R. Ispas, Anastasia C. H. Scangas, Lia Stanciu, and Silvana Andreescu	
9.1	引言	237
9.2	生物制剂及其在环境净化中的潜力	239
9.3	生物功能化纳米结构的制备	243
9.3.1	生物固载在环境领域的益处:通过在纳米结构上的固载来增强生物活性和稳定性	243
9.3.2	微胶囊技术	244
9.3.3	纳米结构材料上的生物固载	247
9.4	生物功能化纳米结构的环境生物修复	251
9.4.1	砷的环境生物修复	251
9.4.2	酚类化合物的酶降解	254
9.4.3	农药的生物降解	257
9.4.4	生物脱硫	260
9.5	结论	262
	参考文献	263
第10章	用于处理土壤及地下水中氯化重质非水相液体(DNAPL)的活性纳米粒子	271
	Tanapon Phenrat, Michelle Crimi, Tissa Illanagasekare, and Gregory V. Lowry	
10.1	引言	272
10.1.1	氯化 DNAPL 对地下水和土壤的污染	272
10.1.2	纳米技术处理 DNAPL:进展和技术挑战	278
10.2	利用零价铁(ZVI)对有机氯化物进行脱氯	280
10.3	纯纳米 ZVI 的合成方法	281
10.3.1	气相合成:溅射-气体-聚合(SGA)共沉积	281