



国际环境工程先进技术译丛



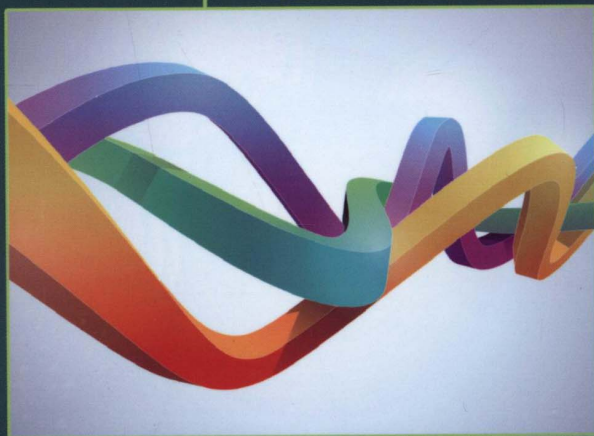
CRC Press
Taylor & Francis Group

面向可持续制造的 纳米技术

Nanotechnology for Sustainable Manufacturing

[英] 大卫·里克白 (David Rickerby) 主编

曹 峥 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书特色

纳米技术可能在提高范围广泛的工业部门的可持续性方面扮演重要的角色。纳米材料能够通过更洁净、少浪费的生产工艺为可持续制造做出贡献，并且能够替代传统的材料，导致在原料和能源上的节省。本书讨论了与资源和原料节省相关的能源与材料效率领域的最新进展，这是将纳米技术应用于工业环境的驱动力。



国际环境工程先进技术译丛

面向可持续制造的 纳米技术

[英] 大卫·里克白 (David Rickerby) 主编
曹 峥 译



机械工业出版社

本书通过弥合学术界研究和工业界之间的差距，对面向可持续制造的纳米技术进行了详细的介绍。书中对纳米技术在多个领域中的最新进展进行了综述，包括电子、农业食品、航天、纸浆和纸的制造、电池、催化剂、太阳能、燃料电池、饮用水、建筑材料等。此外，第 11 章和第 12 章还对生命周期评估被作为对基于纳米技术的产品和工艺进行可持续性评定的方法进行了讨论。

本书适合对面向可持续制造的纳米技术这一话题感兴趣的读者阅读，因为书中涉及的专业领域较为广泛，读者群的专业背景也相应较为宽泛，包括电子科学与技术、材料科学与工程、环境科学与工程、化学工程与技术、农业、林业、航空航天、建筑等专业。

译者序

纳米技术作为近年来频繁出现的一项高新技术，已经被成功应用于许多领域，涉及人们日常生活中的衣、食、住、行、医诸多方面。随着纳米技术的发展，其商业应用的范围也在不断扩大，经济效益十分巨大。据预测，截至 2020 年，全球纳米技术行业的市场将达到 758 亿美元。

庞大的制造业为中国经济创造了近年来的辉煌，但随之而来的环境问题却不容忽视。减少工业对于环境的影响已经被广泛地认为是实现可持续发展的一个重要的优先考虑。国家“十二五”科学和技术发展规划中提出了“建立支撑可持续发展的能源资源环境技术体系”这一目标，未来“十三五”规划也将“节能环保科技及产业发展”作为一项重要的战略任务。纳米技术可以通过有效利用资源和替代危险化学品等方式为可持续制造做出贡献。

尽管纳米技术在国内已经有了相对较长的发展历史，但针对可持续制造这一话题的书籍还很少，本书正是填补了这一空白。相比同类话题的相关书籍，本书的编写角度非常新颖，主要介绍了纳米技术在可持续制造中的应用，涉及的话题很广泛，包括电子、农业食品、航天、纸浆和纸的制造、电池、催化剂、太阳能、燃料电池、饮用水、建筑材料等领域，还对如何利用生命周期评估作为纳米技术可持续性的评定方法进行了阐述，是一本不可多得的参考书籍。

在此，译者希望感谢一直以来支持自己的家人以及负责本书引进工作的机械工业出版社的朋友们。

译者

原 书 前 言

纳米技术在提高范围广泛的工业部门的可持续性方面扮演重要角色。本书包含的内容对该领域的一些最新进展进行了讨论，由来自欧洲、北美、亚洲和澳大利亚的相关研究领域的顶尖专家撰写。书中用到了我代表欧盟委员会与纳米技术研究所合作组织两次关于纳米技术的环境影响的研讨会、共同书写联合国环境署（UNEP）2007 GEO 年鉴中关于纳米技术与环境的一章，以及参与 2009 经济合作与发展组织（OECD）关于纳米技术的潜在环境收益的会议中所获得的个人经验。

本书的范围包括与资源和原材料节约相关的能源与材料效率领域，这是工业背景中应用纳米技术的驱动力。通过弥合学术界研究和工业界之间的差距，本书为与纳米技术主题相关联的不同话题之间的相互协同作用提供了创新的视角。涉及的话题对各自领域中的最新进展进行了综述，包括电子、农业食品、航天、纸浆和纸的制造、电池、催化剂、太阳能、燃料电池、饮用水和建筑材料等。尽管这一罗列不可能是全面的，但它确实为纳米技术和纳米材料的最新发展正在影响或可能影响到的广泛行业提出了一定的见解。此外，第 11 章和第 12 章讨论了生命周期评估被用作对基于纳米技术的产品和工艺进行可持续性评定的方法。

作为主编，本人得到了审稿人的专业团队的协助，他们的工作为终稿的质量做出了很大的贡献。因此，我希望借此机会对 R. H. Balasubramanya、S. Gössling-Reisemann、E. Golin、J. Huang、K. Kendall、R. Maguire、C. McCullough、K. McGuigan、M. Meiler、A. N. Skouloudis 和 M. Steinfeldt 的努力表示感谢。

David Rickerby
伊斯普拉，意大利

作者简介

David Rickerby 博士是位于意大利伊斯普拉的欧盟委员会联合研究中心环境和可持续研究所的一名资深科学官员，在剑桥大学获得博士学位后，他在宾夕法尼亚州立大学进行了博士后研究。他曾在魁北克大学任客座教授多年，并在特伦托大学和威尼斯大学讲授研究生课程。他目前的研究兴趣涉及对纳米技术的潜在风险和收益的评估，包括风险评估工具和方法的开发。他是共同书写 UNEP GEO 年鉴中关于纳米技术与环境一章的国际专家组中的一员，是 OECD 人造纳米材料工作组的指导小组 9（纳米技术的环境可持续利用）的一名成员。

作者名单

John Anthony Byrne

Nanotechnology and Integrated
BioEngineering Centre
University of Ulster
Newtownabbey, United
Kingdom

Vicente Cortés Corberán

Institute of Catalysis and
Petroleumchemistry
Consejo Superior de Investigaciones
Científicas
Madrid, Spain

Michael B. Cortie

Institute for Nanoscale Technology
University of Technology Sydney
New South Wales, Australia

Shangfeng Du

School of Chemical Engineering
University of Birmingham
Birmingham, United Kingdom

Sophia Fantechi

European Commission
Directorate-General for Research and
Innovation
Key Enabling Technologies
D.3—Advanced Materials and
Nanotechnologies
Brussels, Belgium

Pilar Fernandez-Ibañez

Plataforma Solar de Almería
(CIEMAT)
Tabernas, Spain

Bertrand Fillon

CEA/LITEN
Grenoble, France

Gregory Heness

Institute for Nanoscale Technology
University of Technology Sydney
Sydney, Australia

Prateek Jain

Central Institute for Research on
Cotton Technology
Mumbai, India

Frans W.H. Kampers

Wageningen UR
Wageningen, The Netherlands

Seongsin Margaret Kim

Electrical and Computer Engineering
Department
The University of Alabama
Tuscaloosa, Alabama

Patrick Kung

Electrical and Computer Engineering
Department
The University of Alabama
Tuscaloosa, Alabama

Larry Larson

Ingram School of Engineering
Texas State University-San Marcos
San Marcos, Texas

Zhihong Liu

Ingram School of Engineering
Texas State University-San Marcos
San Marcos, Texas

Eduardo Martínez-Tamayo

Institute of Material Sciences of the
University of Valencia
València, Spain

Natalia V. Mezentseva

Boreskov Institute of Catalysis
Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

Padraig G. Moloney

Rice University
Houston, Texas

Mark Morrison

The Institute of Nanotechnology
Glasgow, Scotland

Deb Newberry

NSF NanoLink Center
Dakota County Technical College
Rosemount, Minnesota

Bruno G. Pollet

School of Chemical Engineering
University of Birmingham
Birmingham, United Kingdom

David G. Rickerby

European Commission
Joint Research Centre
Institute for Environment and
Sustainability
Ispra, Italy

Vicente Rives

GIR-QUESCAT, Department of
Inorganic Chemistry
University of Salamanca
Salamanca, Spain

Vladislav A. Sadykov

Boreskov Institute of Catalysis
Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

Prasad Satyamurthy

Central Institute for Research on
Cotton Technology
Mumbai, India

Thomas P. Seager

School of Sustainable Engineering and
the Built Environment
Arizona State University
Tempe, Arizona

Geoffrey B. Smith

Institute for Nanoscale Technology
University of Technology Sydney
Sydney, Australia

Michael Steinfeldt

Universität Bremen
Bremen, Germany

Nicholas Stokes

Institute for Nanoscale
Technology
University of Technology Sydney
Sydney, Australia

Walt Trybula

The Trybula Foundation, Inc.
Austin, Texas

and

Ingram School of Engineering
Texas State University-San Marcos
San Marcos, Texas

Nadanathangam Vigneshwaran

Central Institute for Research on
Cotton Technology
Mumbai, India

Iain Weir

Optimat Ltd.
Glasgow, United Kingdom

Ben A. Wender

School of Sustainable Engineering and
the Built Environment
Arizona State University
Tempe, Arizona

Leonard L. Yowell

NASA Johnson Space Center
Houston, Texas

Quigkai Yu

Ingram School of Engineering
Texas State University-San Marcos
San Marcos, Texas

目 录

译者序

原书前言

作者简介

作者名单

第1章 绪论	1
1.1 纳米科学与纳米技术	1
1.2 对可持续性的影响	2
1.2.1 资源的利用效率	2
1.2.2 危险化学品的替代	3
1.3 工业应用	3
1.3.1 催化剂	4
1.3.2 能源的产生与存储	4
1.3.3 运输	5
1.3.4 饮用水与废水处理	6
1.3.5 电子	7
1.3.6 农业食品和林业产品	7
1.3.7 建筑	8
1.4 可持续性评估：生命周期分析	9
致谢	9
参考文献	9
第2章 电子工业中的纳米技术	15
2.1 简介	15
2.2 半导体晶体管	16
2.3 碳纳米结构	19
2.4 石墨烯电子学	20
2.5 量子点电子学	22
2.6 小结	26
参考文献	27

第3章 光伏与纳米技术：从创新到产业	32
3.1 简介	32
3.2 欧洲光伏产业项目集群	33
3.3 光伏项目的范围	33
3.4 主要的发现和可能的突破	36
3.5 光伏项目与全球光伏工业需求的相关性	39
3.6 纳米技术项目与欧洲光伏政策目标和策略的相关性	40
3.7 商业机会	44
3.8 应用与创新展望	45
3.9 纳米技术在解决光伏产业技术挑战中所担当的角色	47
3.10 小结	50
第4章 纳米技术如何提高农业食品行业中的可持续性	51
4.1 简介	51
4.2 初级生产中的应用	51
4.2.1 农业	52
4.2.2 园艺	53
4.2.3 畜牧业	54
4.2.4 水处理	55
4.3 采后加工	55
4.3.1 工艺创新	56
4.3.2 新食品	57
4.4 零售与消费者	58
4.4.1 包装	58
4.4.2 物流	60
4.4.3 便利	61
4.5 农业食品中应用的社会接受程度	61
4.5.1 风险感知	62
4.5.2 监管问题	62
4.6 讨论与小结	63
参考文献	64
第5章 纳米纤维素的生物生产及其在农业和林业产品行业中的潜在应用	67
5.1 简介	67
5.2 NCC 的生物生产	68

X 面向可持续制造的纳米技术

5.2.1 纤维素的微生物水解	68
5.2.2 通过控制纤维素的微生物水解生产 NCC	68
5.2.3 纳米纤维素生产的连续批次工艺	69
5.2.4 通过微生物水解生产的 NCC 的纯化与表征	69
5.2.5 通过纤维素的酶水解生产 NCC	72
5.3 纳米纤维素在农业和林业产品行业中的应用	74
5.3.1 纸和纸板中的纳米纤维素	74
5.3.2 薄膜和涂层中的应用	74
5.3.3 阻隔膜中的应用	75
5.3.4 食品包装中的应用	75
5.4 小结	76
致谢	76
参考文献	76
第 6 章 纳米技术在航天领域的应用	79
6.1 简介	79
6.2 传感器	79
6.3 电磁干扰/静电放电	81
6.3.1 深空探测飞船上的纳米材料	81
6.4 航天电子学/电子学	82
6.4.1 面向太空飞行的纳米材料基存储器	82
6.4.2 布线	83
6.4.3 电子学中的热管理	83
6.5 结构	84
6.5.1 主要和次要结构	84
6.5.2 无损检测	85
6.6 推进	85
6.6.1 燃气涡轮发动机	85
6.6.2 推进剂	85
6.7 功率和能量存储	86
6.7.1 锂离子电池	86
6.7.2 超级电容器	87
6.7.3 发电	88
6.8 生命支持系统	89
6.9 可持续性：维修和加工	90
6.10 辐射防护与检测	90
6.11 面向航空领域的纳米材料所面临的挑战	90

6.12 可负担性和可制造性	91
6.13 挑战：管理预期	92
参考文献	92
第7章 纳米材料在燃料电池中的应用	97
7.1 燃料电池简介	97
7.2 纳米尺寸效应的收益	100
7.2.1 面向燃料电池电极的纳米材料	100
7.2.2 电解质增强的离子传导性和结构稳定性	114
7.3 膜电极组件 (MEA)	117
7.3.1 面向低温燃料电池的新型 MEA	117
7.3.2 无电解质 SOFC	119
7.4 面向燃料电池的纳米材料的当前局限性	120
7.4.1 MEA 与燃料电池的制造	121
7.4.2 纳米材料的劣势	121
7.5 小结	122
致谢	123
参考文献	123
第8章 纳米结构金属氧化物催化剂	134
8.1 简介	134
8.1.1 催化与纳米技术	134
8.1.2 金属氧化物催化剂：相关性与特定性能	135
8.1.3 金属氧化物催化剂与纳米尺度	135
8.1.4 本章范围	136
8.2 纳米尺寸氧化物催化剂的制备方法	137
8.2.1 传统方法及其局限性	137
8.2.2 非传统方法：前体的使用	137
8.2.3 无序前体的合成	139
8.2.4 案例分析：纳米尺寸 TiO_2	141
8.3 纳米颗粒氧化物催化剂	143
8.3.1 简介	143
8.3.2 面向燃烧的纳米尺寸氧化物催化剂	144
8.3.3 面向 ODH 的纳米尺寸氧化物催化剂	146
8.3.4 利用 CO_2 作为氧化剂的纳米氧化物催化剂	150
8.4 纳米复合氧化物催化剂	152
8.4.1 简介	152

XII 面向可持续制造的纳米技术

8.4.2 结构特征	153
8.4.3 表面特征	156
8.4.4 氧的移动性	157
8.4.5 催化活性	160
8.5 介孔氧化物中的纳米结构	164
8.6 小结和展望	166
参考文献	167
第9章 面对发展中国家的太阳能光催化饮用水处理技术	176
9.1 对于安全的饮用水的需求	176
9.2 水的太阳能消毒	179
9.3 面向 SODIS 的增强技术	181
9.4 面向饮用水消毒的太阳能反应器和 CPC 集热器	182
9.5 半导体光催化	186
9.5.1 光催化机制	186
9.5.2 光催化材料	187
9.5.3 固定光催化剂与悬浮光催化剂的对比	187
9.6 水的光催化消毒	188
9.7 需要解决的问题	193
9.7.1 光反应器的设计	193
9.7.2 光催化剂的寿命	194
9.7.3 可见光活性光催化材料	194
9.8 小结	196
致谢	196
参考文献	196
第10章 纳米技术在建筑行业中的应用	202
10.1 简介	202
10.2 光谱选择性涂层	203
10.2.1 窗户和玻璃上的被动涂层	203
10.2.2 窗户或玻璃上的活性或智能涂层	206
10.2.3 建筑物上的其他光谱选择性涂层	210
10.3 具有非光学功能的产品	212
10.3.1 催化活性建筑材料	212
10.3.2 抗菌和抗真菌涂层	213
10.3.3 耐腐蚀	213
10.3.4 保温	214

10.3.5 控制表面物理性质的产品	214
10.4 建筑照明中的纳米技术	215
10.5 小结	216
参考文献	217
第 11 章 单壁碳纳米管锂离子电池的预测型生命周期评估	219
11.1 简介	219
11.1.1 走向预测型生命周期评估	219
11.1.2 新型纳米技术的生命周期评估	219
11.1.3 范围、生命周期评估以及热力学极限	221
11.2 案例研究：面向锂离子电池的单壁碳纳米管	222
11.2.1 从环境的角度考虑 SWCNT 的制造	223
11.2.2 HiPCO 工艺的机理	223
11.2.3 HiPCO 工艺的完善度	224
11.2.4 类似的经验曲线建模	225
11.2.5 SWCNT 阳极锂离子电池使用阶段的性能边界	226
11.2.6 讨论和新方向	227
11.3 小结	228
致谢	228
参考文献	228
第 12 章 基于纳米技术应用的生命周期评估	233
12.1 生命周期评估方法	233
12.2 LCA 研究中对基于纳米技术的产品和应用的评估	234
12.3 前瞻型生命周期评估作为纳米技术的前瞻型技术评估的一个方法	239
12.4 对于特定制造的纳米颗粒的评估	240
12.5 小结	246
参考文献	247

第 1 章 绪 论

David Rickerby 和 Mark Morrison

1.1 纳米科学与纳米技术

关于纳米技术及其应用的研究在近年来有了迅速的增长，以纳米技术为基础的产品越来越多地被商业化^[Maynard 2007]。目前销售的产品往往是增量型或演变型，其中纳米颗粒、碳纳米管或纳米复合材料被合并到产品中，或者一种利用纳米技术实现的工艺被用于生产制造，例如纳米加工或纳米图案化。在降低成本和减少废物的同时，通过开发更高性能的材料与已有产品进行竞争，其结果是纳米技术在工业界的应用将在数量上迅速增加。然而，在产品中使用到的纳米材料只是总成本的一部分。纳米技术的经济影响主要来自于这些材料在制造产品中被使用时所带来的附加值，而不是材料本身的固有价值。

术语纳米技术被用于指代原子或分子水平上的工程。它涵盖了一系列的技术，这些技术使对物质在纳米尺度上的操纵成为可能，从而可以创造新型的材料、结构和设备。在这个尺度下，固体物质的化学和物理性质发生了显著的变化，使加工更强、更轻以及更有效的结构成为可能。因为具有提高了的比表面积，纳米材料表现出优异的性质，这使得它们具有更强的化学反应性，并且因为量子效应，它们具有新的光、电和磁的属性。工程纳米材料旨在对小尺寸所派生出的不同性质进行利用。

然而，目前人们对什么是纳米技术的确切定义并没有一个普遍的共识。美国国家科学和技术委员会（NSTC）^[NSTC 2011]将纳米技术定义为“对尺寸在 1 ~ 100nm 的物质的理解和控制，其中独特的现象使新型的应用成为可能”。一篇英国政府的委托报告^[The Royal Society and The Royal Academy of Engineering 2004]对其与纳米科学进行了区分：纳米科学是“对原子、分子和大分子尺度下的材料的现象和操纵的研究，其中材料的性质与更大尺度下的性质显著不同”，纳米技术涉及“通过控制纳米尺度下的形状和尺寸，对结构、设备和系统进行设计、表征、生产和应用。”

对于什么构成纳米材料也不存在一个国际公认的定义。经济合作和发展组织（OECD）的人造纳米材料工作组^[OECD 2008]提供了一个定义：“有意生产的纳米材料具有特定的性质或特定的组成，其尺寸通常在 1 ~ 100nm，材料或是一个纳米