



科爱传播
KE AI COMMUNICATIONS

· 导读版 ·

Water Recycling versus Desalination

水循环利用与淡化

Isabel C. Escobar, Andrea Schäfer



原版引进



科学出版社

Water Recycling versus Desalination

水循环利用与淡化

Isabel C. Escobar, Andrea Schäfer

科学出版社

北 京

前 言

可持续性意味着“既满足当代人的需求，又不对后代人满足其自身需求的能力构成危害的发展（布伦特兰委员会报告）”。尽管其原本意思是对避免污染忧虑的扩展，可持续性近年来却更多地指向资源的配置。它是资源利用的总体方法：利用所需要的资源，但要以尚能被其他人利用的方式返还给大自然；体贴其他物种，作为这个行星的成员考虑土地、树木和动物的利益。就其最重要的意义，可持续性是对我们祖先的理念和他们保护周围世界这一目标的回归。

但是，可持续性也认可社会发展、技术繁荣、人口增加的需要。这意味着消费资源和处置废物。支撑近 70 亿人口的资源需求是巨量的，对这个星球供养当代人的能力提出了严峻的考验，因而对保护后代的关注就少得多。Arnulf Grubler 在一个会议的主旨演讲中作为首个悖论如此解释，“我们需要绿色工程师以解决工程技术成功所带来的问题”，正是这个会议导致了包括《可持续性科学和工程》在内的丛书的诞生。换句话说，使当代人成为历史上最富有人群（以平均寿命、闲暇时间等指标来测度）的技术发展是以浪费巨量资源为代价来实现的。要继续这种增长需要用另外一种方式看待发展，另外一种方式消费我们的资源。

可持续性认识到这种巨量的财富并不是在地球上公正分配的。在发达国家的人民享受这种成果的同时，欠发达国家的人民还在忍受着实质的贫困。然而，环境挑战却是全球性的，而欠发达国家的人民对这种挑战还缺乏应对之策。因此，继续开发新技术以更好地利用稀缺资源，以使资源实现更公正的分配、世界人口持续繁荣，正是科学家和工程师的职责所在。

本书着眼于水的可持续性。水是维持生命所需要的基础资源之一，而自然产生的淡水资源的可获得性正在下降。如果我们要实现可持续的供水系统，就需要更好地利用现有的供水，需要鉴别从不可饮用的水资源生产饮用水的新方法，需要开发对抽出水源的再利用技术。尽管存在水资源挑战的解决办法，其在富裕国家广大人群的应用还受到经济上的制约，而在资源和能源都受到限制的偏远地区的应用却受到资源配置的更加实际的挑战。为了实现可持续的供水，就需要使用不显著增加成本或消耗能源的改进技术。

如果能够消耗有限的材料和更少的能源，膜技术将成为有潜力的可持续解决方案。理解这些过程，发展这些技术，将对可持续未来铺就可行之路。本书探索了这些概念，评估了备选技术，描述了其发展机会。建立在可能会很快到来的独

特技术之上，未来的愿景是充满希望的。

Martin Abraham

扬斯敦州立大学 扬斯敦 俄亥俄（美国）

（阮国岭 译）

致 谢

Isabel C. Escobar 感谢 Martin T. Geithmann 的帮助和支持，他花了很多时间帮助作者编辑书中的插图。我还要感谢所有编写者的工作与投入，这些作者根据我们的要求提供了相应的章节并处理了大量的修改意见。我的学生，Tilak、Colleen、Rick 和 Brett 在我们完成章节的写作中至关重要。然而，从我过去和现在的学生中分享和学到的知识实质上形成了我目前的知识和能力。还有，来自朋友的不断鼓励，尤其是 Maria R. Coleman、Cyndee Gruden 和 Nancy Ruiz。来自我所在的系、学院和大学的耐心和支持使我坚持写作本书。没有研究资助，就不会有编写本书的知识，因此我十分感谢过去和现在的基金机构，包括美国国家科学基金会、美国环保局、美国内政部垦务局和海军研究办公室。最后我感谢 Martin Abraham 给我出主意和动力去写本书，感谢 Andrea 同意来共同主编它。

Andrea I. Schäfer 感谢 Isabel 邀请其参与本书并承担了绝大部分的工作内容。Isabel 是一个特殊的贵人，与她共同工作是最愉快的事情。还要特别感谢 Bryce 和我们的孩子们，Moana、Tane 和 Riko，在许多个深夜妈妈都奋战于笔记本屏幕前。希望我们工作的效果将会使世界变成更美好的家园。我的研究团队无论是过去或现在都通过艰苦的工作和许多愉快的事件对积累的知识做出了贡献。我一直期望与这些精力充沛的年轻学者共同工作更长的时间并目送他们在自己的事业上展翅高飞。

Isabel 和 Andrea 还希望感谢 ELSEVIER 的编辑 Derek Coleman 的持久鼓励和不竭的耐心。

(阮国岭 译)

导 读

水是基础性的自然资源，也是战略性的经济资源，更是生态系统和环境的控制要素。因此，水的重要性怎么强调都不会过分。随着经济社会的发展和人们生活水平的提高，水危机正变成人类本世纪面临的最大挑战之一。

水资源在时空分布上的不均衡、社会经济发展的不平衡和气候变化及环境污染，又使原本严重的水危机雪上加霜。可以说水危机是对人类智慧的一场挑战。要解决这个问题需要世界各国政府和社会的共同努力，用全世界的群体智慧去应对人类在水资源方面的生存挑战。

解决水资源不足需要开源节流并举，在遏制水污染的前提下用好存量资源、挖掘增量资源。在解决水危机的众多措施中，水的淡化与再生利用都属于增量措施，更被有识之士认为是实现水资源可持续利用的根本途径。与其他方式相比，水淡化与再生利用的优势是显而易见的，包括：①变废为宝，增加淡水资源总量且不受季节和气候的影响；②随着技术的不断进步，其产水的质量还会提高，成本仍可下降，发展空间巨大；③在得到淡水的同时，有助于源水区的生态环境改善，对环境的负面影响可能会小于远距离调水。由于这些优势，近 20 年来水淡化和再生利用在全球快速发展。以水淡化为例，目前全球日产淡化水（国际淡化协会 IDA）6700 万 m^3/d ，有 2 亿多的人口受惠于水淡化技术，其使用的国家和地区既包括了中东的产油国家，也包括了西班牙、以色列、澳大利亚这样的发达国家。进入新世纪以来，其增长速度更是居高不下，应用领域不断扩大，正在成为沿海国家和地区应对水资源危机的主要措施。另外，把城市污水处理厂的二级排水进一步处理，实现水的再生利用也在全球有近 40 年的经验。近年还与膜技术结合，实现了污水的高级别回用，甚至间接或直接的用作饮用水，美国、新加坡等发达国家在此方面有众多的案例可供借鉴。

尽管水淡化与再生利用已经取得了长足的进步，但其面临的挑战仍然很多。首先，海水淡化是一种以能源换取水资源的技术，水淡化的能源消耗是社会普遍关注的问题；其次，海水淡化的取水和浓盐水排放会对海洋环境产生一定的影响，尤其是内陆苦咸水淡化的浓水排放是必须解决的问题，迫切需要废水零排放的淡化技术；再者，污水再生之后如果回到生活系统还有一个供水安全和民众接受的问题，这又是一个复杂的系统工程；最后，就现在的技术水平而言，无论是水淡化或再生利用的成本都还较高，还需要进一步降低成本和提高质量。鉴于以上事实，近年来水的淡化和再生利用成为各国的研发热点，许多国家相继出台专项计划，旨在促进学科交叉、用技术创新推动这项事业的发展。2008 年美国科

学院出版名为《淡化，国家的未来》的研究报告，检讨美国的海水淡化技术政策，以加强海水淡化的研发，使美国回归海水淡化领军者的地位。

我国的海水淡化技术研究起步于上世纪 60 年代，进入新世纪得到了快速的发展，已成为完全独立掌握海水淡化技术的少数国家之一。目前全国的海水淡化产水能力已从 10 年前的不足 3 万 m^3/d 提升到 50 万 m^3/d 。近几年废水回用技术也取得较大进步，全国已经有数十套采用超/微滤+反渗透的双膜法深度处理及回用工程投入运行，环境和社会效益良好。这两个方面的进展都引起了国际社会和学术机构的普遍关注，国外的相关企业也相继在中国设立机构开拓这个巨大的市场。然而，我国的水淡化与再生利用技术与发达国家相比还有一定的差距，主要表现在原始创新不足，关键材料和设备（膜组件、高压泵、能量回收等）还相当依赖进口，工程经验不足，领军企业有待培育，大型工程的市场份额有待提高等，这些都是迫切需要解决的问题。

作为《可持续性科学与工程》丛书的重要组成部分，本书的主编是美国托莱多大学化学与环境工程系的 Isabel C. Escobar 教授和英国爱丁堡大学工学院环境工程系的 Andrea I. Schäfer 教授。两位女科学家长期从事膜分离技术研究，膜法淡化和水净化技术是其专长。参与本书编写的其他作者大多来自国际知名大学和专业机构，他们从不同的视角展示了水淡化和再生利用的最新国际成果，对国内的相关研究有较大的启迪和借鉴作用。

本书由五部分构成。第一部分介绍水现状，重点介绍水淡化和废水再生利用的现状；第二部分介绍水淡化技术，重点介绍反渗透、膜蒸馏、离子交换膜过程和技术，还介绍了盐分梯度能的利用；第三部分介绍水循环利用，重点介绍了亚硝基二甲胺这一水中的微污染物、 TiO_2 先进氧化和膜生物反应器技术；第四部分介绍浓缩液处置方式，重点介绍了美国拉斯维加斯苦咸水淡化浓缩液零排放处置的研究案例；最后一部分是水淡化与再生利用的比较，重点给出了澳大利亚对于水淡化和再生利用的民意调查结果与分析，强调与可再生能源的结合。纵观全书，可以发现如下的特点：

一、内容丰富、结构紧凑、图文并茂、简明易懂。书中的各章节都提供了全面的参考文献，包括经典的综述性文献和最新的研究进展报告，侧重引入水淡化和再生利用领域的新知识、新概念、新方法，为相关的研究人员提供了一本难得的参考书；另外，书中插入大量图表，极大方便了专业人员的阅读并有助于给出准确的判断。

二、主题鲜明、前瞻性强。这不是一部介绍水淡化与再生利用领域成熟技术的书籍，而是紧扣水资源可持续利用的主题，重点讨论实现该主题的水淡化与再生利用前沿技术。例如，在水淡化技术中，除了详细介绍目前流行的反渗透技术之外，重点介绍国际研究的热点——膜蒸馏技术，后者因为可利用品位更低因而更廉价的热源、占地面积小、造价低、抗污染能力强而有较大的发展空间；另外

还介绍了离子交换膜的最新进展,该膜在一些领域的应用研究国内还没有得到足够的重视;对盐分梯度能及其新进展的介绍为水资源富裕地区用水换能提供了新视角。在水再生利用中不仅详述了 TiO_2 高级氧化和膜生物反应器这两种最具前途的再生技术的原理和最新进展,也介绍了难以被膜有效截留的亚甲基二甲胺的存在、危害和国外的标准规范情况,提请人们关注微污染物的管理。这些都体现了本书的特色性、针对性和前瞻性。

三、明确的导向性。既然要实现水资源的可持续利用,无论是水淡化或水的再生利用都必须解决其自身的能源和环境问题。因此,本书不仅介绍了这两种技术与可再生能源^①的结合,而且专门介绍了内陆苦咸水淡化的浓缩液排放问题,并以拉斯维加斯谷的浅层苦咸水淡化为例说明实现浓缩液的零排放^②不是不可能的;对于水的再生利用,重点介绍了 TiO_2 这一绿色化学与工程和大量减少污泥排放、提高出水质量的膜生物反应器过程。虽然这些技术都处于发展过程中,但其在实现水资源可持续利用中的导向性却是不容置疑的。

四、引用资料的客观性和结论的公正性。从本书的英文名字来看,容易让人想到是讲水淡化与再生利用的技术对决,通读全书却发现无论是今天的水淡化或再生利用技术都是以膜技术为支柱,形成了你中有我、我中有你、共生共荣的格局,共同支撑着水资源的可持续利用。本书第 13 章给出了澳大利亚完成的淡化水和再生水的 13 种用途的民意调查结果,对于民众对这两种水的接受程度做了客观的介绍和分析,第 14 章又介绍了这两种技术各自面临的挑战以及学科交叉必要性的共性因素,体现了本书的客观性和公正性。

总之,水的可持续利用是本世纪人类面临的重要挑战,已经引起了越来越广泛的关注。在此背景下,本书的出版和引进将促进我国水淡化和再生利用的学科发展,推进水资源的可持续利用。本书为研究生及相关的研究人员提供了一本很好的水处理先进技术导论,不仅适合海水利用、水处理、环境科学与工程的研究人员阅读,也可供化学、材料、工程、能源等领域的研究生及相关科研人员阅读参考。

阮国岭

国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所

① 356 页中有两处 MW 应为 GW。

② 348 页,表 6 中的第一列数据与第二列数据颠倒。

LIST OF CONTRIBUTORS

Souhail R. Al-Abed

National Risk Management Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, 26W. Martin Luther King Dr., Cincinnati, OH 45268, USA

Gary Amy

UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands

Pierre Bérubé

Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, BC V6T 1Z4, Canada

Rick G. Bond

Black and Veatch

Hyeok Choi

Department of Civil Engineering, University of Texas at Arlington, 416 Yates Drive, Arlington, TX 76019-0308, USA

Yoram Cohen

University of California, Los Angeles, CA 90095-1592, USA

Brett Digman

Chemical and Environmental Engineering Department, The University of Toledo, Toledo, OH 43606-3390, USA

Dionysios D. Dionysiou

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45221-0071, USA

Sara Dolnicar

Marketing Research Innovation Centre, School of Management and Marketing, University of Wollongong, Northfields Ave., 2522 Wollongong, NSW, Australia

Isabel C. Escobar

Chemical and Environmental Engineering Department, The University of Toledo, 2801 West Bancroft Street, MS 305, Toledo, OH 43606-3390, USA

Christopher J. Gabelich

Palos Verdes, CA 90275, USA

Colleen Gorey

Chemical and Environmental Engineering Department, The University of Toledo, Toledo, OH 43606-3390, USA

Tilak Gullinkala

Chemical and Environmental Engineering Department, The University of Toledo,
Toledo, OH 43606-3390, USA

Richard Hausman

Chemical and Environmental Engineering Department, The University of Toledo,
Toledo, OH 43606-3390, USA

Anna Hurlimann

Faculty of Architecture Building and Planning, The University of Melbourne,
Melbourne 3010, Australia

Maria D. Kennedy

UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands

Sabine Lattemann

Institute for Chemistry and Biology of the Marine Environment (ICBM),
University of Oldenburg, Oldenburg, Germany

Joseph F. Leising

Applied Research and Development Center, Southern Nevada Water Authority,
Las Vegas, NV, USA

Panagiotis Lianos

Department of Engineering Science, University of Patras, 26500 Patras, Greece

Sybrand Metz

Wetsus, Centre of Excellence for Sustainable Water Technology, P.O. Box 1113,
8900 CC Leeuwarden, The Netherlands

William Mitch

Department of Chemical Engineering, Yale University, New Haven, CT 06520,
USA

Albert Munoz

Environmental Engineering, University of Wollongong, NSW 2125, Australia

Kitty Nijmeijer

Membrane Technology Group, Institute of Mechanics, Processes and Control
Twente (IMPACT), University of Twente, P.O. Box 217, 7500 AE Enschede,
The Netherlands

Martin Reinhard

Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University,
Stanford, CA 94305-4020, USA

Bryce S. Richards

School of Engineering and Physical Sciences, Heriot-Watt University, Edinburgh
EH14 4AS, UK

Andrea I. Schäfer

School of Engineering, University of Edinburgh, Edinburgh EH9 3JL, UK

Jan C. Schippers

UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands

Shane A. Snyder

Applied Research and Development Center, Southern Nevada Water Authority, Las Vegas, NV, USA

Benjamin D. Stanford

Applied Research and Development Center, Southern Nevada Water Authority, Las Vegas, NV, USA

Elias Stathatos

Department of Electrical Engineering, Technological-Educational Institute of Patras, 26334 Patras, Greece

H. Strathmann

Institute of Chemical Engineering, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany

Emma Teuten

School of Engineering, University of Edinburgh, Edinburgh EH9 3JL, UK

B. Van der Bruggen

K.U. Leuven, Department of Chemical Engineering, Section Applied Physical Chemistry and Environmental Technology, W. de Croylaan 46, B-3001 Heverlee (Leuven), Belgium

Sophie Walewijk

Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA 94305-4020, USA

Pei Xu

Colorado School of Mines, Golden, CO 80401-1887, USA

FOREWORD

Sustainability means “development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs” (Brundtland Commission report). While originally envisioned as an expansion on concerns of pollution prevention, sustainability more directly addresses the issue of resource allocation. It is a holistic approach to the use of resources: use what you need, but return it to nature in a form in which it can then be used by others. Be considerate of other species; as stewards of the planet have concern for the well-being of the land, the trees, and the animals. In the grandest sense, sustainability is a return to the ideals of our ancestors and their goal of protecting the world around them.

But sustainability also recognizes the need for society to develop, for technology to flourish, and for humanity to expand. And this means the consumption of resources and the disposal of our wastes. The resources needed to support a population of nearly 7 billion are tremendous, placing an enormous strain on the ability of the planet to provide for the current generation, much less to look to the protection of future generations. Arnulf Grubler, during his keynote address to the conference that kicked off this book series, and included in the book *Sustainability Science and Engineering*, explained this as the first paradox: “We need green engineers to solve the problems created by the success of engineering.” In other words, technological development that has made the current generation the wealthiest in history (as measured in terms of average life expectancy, leisure time, and similar) has been achieved at the expense of huge resource consumption. To continue this growth requires another way of looking at development, another way of consuming our resources.

Sustainability recognizes that this tremendous wealth is not distributed equitably across the planet. While people in developed nations enjoy the fruits of these developments, those in lesser developed countries continue to suffer in substantial poverty. However, our environmental challenges are global, and those in lesser developed nations do not have the means to address these challenges. Thus, it is incumbent upon scientists and engineers to continue to develop new technologies that make better use of our scarce resources, so that resources can be distributed more equitably and the world’s population can continue to flourish.

The current book looks at the issues of water sustainability. Water is one of the primary resources needed to sustain life, and the availability of naturally occurring fresh water is declining. If we are to achieve a sustainable water system, we need to make better use of existing water supplies, we need to identify new ways to create drinking water from nonpotable sources, and we need to develop technologies that reuse the water that we have already extracted. And while solutions to the water challenge exist, their application across a broad population in wealthier nations poses an economic constraint, while their application in remote locations in which limited resources and energy exist poses a more practical challenge to resource allocation. Improved technologies that can be applied without great cost or consumption of energy resources are needed to achieve a sustainable water supply.

Membrane technologies are a potential sustainable solution, if they can be applied with limited materials consumption and a small energy footprint. Understanding these processes and developing these technologies provides a possible pathway to a sustainable future. The current book explores these concepts, evaluates alternatives, and describes opportunities. It is a promising vision of the future, built around a particular technology whose time has perhaps come.

Martin Abraham
Youngstown State University
Youngstown, OH

ACKNOWLEDGMENTS

Isabel C. Escobar would like to acknowledge the help and support of Martin T. Geithmann, who spent many hours helping her edit figures. I also thank the work and commitment of all of the authors who submitted chapters according to our requests and dealt with our numerous comments. My students, Tilak, Colleen, Rick, and Brett, were crucial in the writing of our chapter. However, knowledge shared and learned from all my past and present students was essential to my knowledge and abilities. Encouragement was unending from my friends, especially Maria R. Coleman, Cyndee Gruden, and Nancy Ruiz. The patience and support from my department, college, and university allowed me to pursue the goal of developing a book. Without research funding, knowledge would have never been available to write and edit this book, so I thank the past and present funding agencies, the U.S. National Science Foundation, U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Department of Interior – Bureau of Reclamation, and Office of Naval Research. Lastly, I thank Martin Abraham for giving me the idea (and the push) to write this book, and Andrea for agreeing to co-edit it with me.

Andrea I. Schäfer would like to thank Isabel for her invitation to contribute to this book and taking the lion's share of the workload. Isabel is a very special peer and most wonderful to work with. A special thank you also to Bryce and our children Moana, Tane, and Riko, for putting up with the many late nights of Mama stuck to a laptop screen. Let's hope that the impacts of our work will make our world a better place. My research group, in the past and the present, has contributed to the knowledge we have accumulated through hard work and much enjoyable fun events. I am looking forward to many more years of working with energetic young researchers and seeing them fly off to their own careers.

Isabel and Andrea also would like to thank the constant encouragement and unending patience of their Elsevier editor, Derek Coleman.

目 录

作者名单	xiii
前言	xvii
致谢	xix

第一部分 水 现 状

1. 全球水现状总论	3
<i>Isabel C. Escobar</i>	
参考文献	5
2. 全球水淡化现状	7
<i>Sabine Lattemann, Maria D. Kennedy, Jan C. Schippers, Gray Amy</i>	
1. 绪论	7
2. 发展历程	8
3. 全球水淡化装机能力	11
4. 水淡化区域现状	17
5. 海水淡化的环境问题	24
6. 概要与结论	35
参考文献	38
3. 全球水回用现状	41
<i>B. Van der Bruggen</i>	
1. 绪论	41
2. 再生利用的短期历史	43
3. 今日的水循环利用	44
4. 美国的水循环利用	45
5. 亚洲的水循环利用	52
6. 欧洲的水循环利用	54
7. 澳大利亚的水循环利用	56
8. 世界其他地方的水循环利用	58
9. 结论和未来的挑战	60
参考文献	61

第二部分 淡 化 技 术

4. 淡化：反渗透与膜蒸馏	65
<i>Tilak Gullinkala, Brett Digman, Colleen Gorey, Richard Hausman,</i>	

Isabel C. Escobar

1. 反渗透	65
2. 膜蒸馏	83
参考文献	91
5. 盐分梯度能	95

Kitty Nijmeijer, Sybrand Metz

1. 绪论	95
2. 盐分梯度能的理论潜力	97
3. 压力延缓渗透	101
4. 反电渗析	118
5. 总结评述	136
参考文献	137
6. 水处理的离子交换膜过程	141

H. Strathmann

1. 绪论	141
2. 离子在膜和溶液中的传递	152
3. 离子交换膜、性能与制备	160
4. 离子交换膜分离过程的设计	165
5. 离子交换膜分离过程的应用	185
符号表	196
参考文献	198

第三部分 水循环利用技术

7. 水循环利用中的微污染物：来自水和食物中的亚硝基二甲胺的案例研究 ...	203
---	------------

Andrea I. Schäfer, William Mitch, Sophie Walewijk, Albert Munoz, Emma Teuten, Martin Reihard

1. 绪论	204
2. 亚硝基二甲胺的特征、形成与来源	205
3. 亚硝基二甲胺的人体接触	211
4. 饮用水中亚硝基二甲胺的规范	216
5. 水中亚硝基二甲胺的控制	217
结论	222
参考文献	222
8. 用于水净化和再利用的以 TiO₂ 为基础的先进氧化纳米技术	229

Hyeok Choi, Souhail R. Al-Abed, Dionysios D. Dionysiou, Elias Stathatos, Panagiotis Lianos

1. 先进氧化技术在创新水处理中的作用	230
2. TiO_2 光催化过程：绿色化学与工程	232
3. TiO_2 光催化机理	232
4. 水和废水的光催化处理和净化	237
5. TiO_2 光催化的应用	241
6. TiO_2 光催化用于水处理的挑战与问题	242
7. TiO_2 光催化的最新进展	246
8. TiO_2 光催化的经济核算	249
9. 总结评述：先进氧化纳米技术与可持续性	250
致谢	251
参考文献	251
9. 膜生物反应器：废水回用的理论和应用	255
<i>Pierre Bérubé</i>	
1. 绪论	255
2. 膜生物反应器基础	256
3. 污染物去除	270
4. 膜生物反应器在废水回用中的应用	275
参考文献	289

第四部分 浓缩液处置方式

10. 内陆淡化的浓缩液处理	295
<i>Christopher J. Gabelich, Peixu, Yoram Cohen</i>	
1. 绪论	295
2. 背景	296
3. 浓缩液的产生	297
4. 反渗透浓缩液处理技术	301
5. 结论	319
参考文献	322
11. 内陆淡化：目前的实践、环境关注以及内华达州拉斯维加斯的案例研究	327
<i>Benjamin D. Stanford, Joseph F. Leising, Rick G. Bond, Shane A. Snyder</i>	
1. 绪论	327
2. 内陆浓盐水处置战略：液体零排放与流化床结晶器	330
3. 合理利用浓盐水副产物	334
4. 拉斯维加斯谷浅层地下水研究	335
5. 用流化床结晶器的液体零排放研究	339