



CRC Press
Taylor & Francis Group



国际先进工业技术译丛

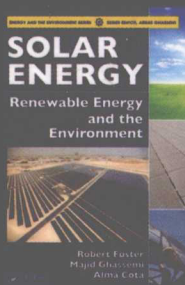
太阳能 —— 可再生能源与环境 SOLAR ENERGY Renewable Energy and the Environment

Robert Foster

【美】Majid Ghassemi 著

Alma Cota

本书翻译组 译



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



国际先进工业技术译丛

太阳能 —— 可再生能源与环境

SOLAR ENERGY Renewable Energy and the Environment

Robert Foster
【美】Majid Ghassemi 著

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

太阳能 : 可再生能源与环境 / (美) 福斯特 (Foster, R.), (美) 卡西米 (Ghassemi, M.), (美) 科塔 (Cota, A.) 著 ; 《太阳能: 可再生能源与环境》翻译组译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2010. 7

(国际先进工业技术译丛)

ISBN 978-7-115-22853-6

I. ①太… II. ①福… ②卡… ③科… ④太… III. ①太阳能—研究 IV. ①TK511

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第069969号

内 容 提 要

本书全面介绍了太阳辐射能转换为可利用能源的相关知识, 包括物理学基础、工程学基础和太阳能应用技术, 特别重点介绍了目前应用最广泛的光伏太阳能收集装置。本书还介绍了历史上太阳能应用中可供参考的经验和教训。

本书适用于太阳能基础研究、应用等方面的有关人员, 包括规划、设计、建设和运行人员。本书也可作为可再生能源相关专业的本科生和研究生的参考资料。

国际先进工业技术译丛

太阳能——可再生能源与环境

-
- ◆ 著 [美] Robert Foster Majid Ghassemi Alma Cota
译 本书翻译组
责任编辑 韦毅 刘朋
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19
字数: 443千字
印数: 1—3000册

2010年7月第1版

2010年7月北京第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2009-7684 号

ISBN 978-7-115-22853-6

定价: 65.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

版 权 声 明

Solar Energy: Renewable Energy and the Environment 1st Edition/by Robert Foster, Majid Ghassemi and Alma Cota/ISBN 978-1-4200-7566-3

Copyright © 2010 by Taylor and Francis Group, LLC

Authorized translation from English Language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC. All Right Reserved. 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下 CRC 出版社出版，并经其授权翻译出版。版权所有，侵权必究。

Posts and Telecommunications Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体字翻译版授权由人民邮电出版社独家出版并限在中国大陆地区销售，未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor&Francis Sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2009-7684 号

丛 书 前 言

改革开放 30 年来,我国工业得到了飞速发展,在短短 30 年的时间内完成了发达国家上百年的工业化发展历程,建立了相对完整的工业体系。我国已成为全球制造业基地,中国模式备受世人瞩目。在信息技术快速发展以及对节能减排和环境保护日益重视的今天,为了促进我国工业由大变强的发展,我们必须走新型工业化道路,解决工业化过程中面临的一些突出问题,比如如何进一步增强自主创新能力,如何完善对工业行业的管理,如何在一些核心技术和关键技术上有更大的突破,如何促进高新技术与传统产业的结合,等等。

为配合我国工业领域设备改造,推动我国工业领域与国际间、行业内的交流与发展,加速工业生产及制造技术的进步和设备更新换代的步伐,我们精选了国外有关现代工业技术的部分图书,翻译出版了“国际先进工业技术译丛”。本丛书内容主要涉及新型能源开发与利用、绿色设计与制造、资源节约和环境保护、能效管理等方面。这些图书的原著均由英美等国的知名出版集团出版,汇集了多个国家著名专家学者在工业技术领域的重要研究成果,集中反映了当前工业领域的先进理念、方法和技术,对于解决我国当前工业发展过程中的一些关键问题和突出问题具有较大的参考价值。

现代工业技术呈现开放性、智能化、信息化与网络化的特点,融合了自动化技术、信息技术、现代控制技术、网络技术、先进制造技术、环境保护技术及现代管理理论和方法等诸多学科的先进技术,需要各学科的专家及工程技术人员通力合作,从而实现多学科专业知识与系统的集成,形成现代工业发展的手段和模式。因此,“国际先进工业技术译丛”在选编时,以促进信息化和工业化融合、技术创新和节能减排为原则,紧密结合我国国情,力求突出实用性和先进性,希望有助于解决我国工业技术应用中的一些实际问题,促进我国工业技术及管理模式的变革,提高我国工业企业的技术创新能力。

“国际先进工业技术译丛”的翻译和审定工作主要由国内相关领域的知名专家学者和专业人士承担,力求准确真实地反映原著内容并便于国内读者理解和接受。本丛书致力于“传播国际先进工业生产管理理念,推广工业领域重大技术创新成果”,以便使我国工业领域内的相关人员能够对现代工业方面的知识和技术有更深入和全面的了解,并在我国现代化工业的建设中加以应用。今后我们将继续加强对国际上工业技术领域优秀图书的翻译和出版工作,欢迎专家学者以及广大读者提出宝贵意见和建议。

本书翻译组

翻译人员

刘长浥：前言等辅文、第 1 章、第 2 章（部分）、第 3 章、第 4 章（部分）、第 9 章、词汇和附录
王 真：第 2 章（部分）
范高锋：第 4 章（部分）
黄越辉：第 5 章、第 6 章
贺 敬：第 7 章
许晓艳：第 8 章
冯双磊：第 10 章
何国庆：第 11 章

全书校对、统稿

刘长浥

译者序

太阳能是太阳内部或者表面黑子连续核聚变反应过程产生的能量。广义太阳能包括的范围非常广，地球上几乎全部能量都可以归溯为太阳能。而狭义太阳能则只指太阳辐射能的光热、光电和光化学的直接转换。虽然地球上的太阳能资源总量非常丰富，但它的能量密度低，而且因地因时而变，人类难以操控；太阳能发电还存在成本高、转换效率低的问题。这些都构成了它的利用和推广的主要障碍。

据统计，国际能源署成员国 2008 年的累计光伏安装总量为 5.7GW，德国、日本和美国三国的光伏安装总量约占全球光伏累积安装容量的 70%。近年来，世界上光伏电池及组件产量以每年 30% 以上的速度增长，而中国的增长最为迅速。2008 年，我国大陆光伏电池产量达到 2.6GW，占全球产量 32.9%，居世界第一。但我国太阳能光伏发电安装容量仅为 140MW（其中并网容量 27MW），尽管同比增长数很高（40%），但绝对值不高。此外，中国光伏制造业的国外市场占 98%，内需仅占约 2%。我国光伏产品的利用远未达到普及程度，还有巨大发展空间。

我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国之一，煤炭约占商品能源消费的 76%，其燃烧排放物是我国大气污染的主要来源。大力开发新能源和可再生能源利用技术已成为减少环境污染和应对能源枯竭问题的重要措施。太阳能的利用无疑可以对此做出重大贡献。我国太阳能资源非常丰富，最丰富的地区包括宁夏北部、甘肃北部、新疆东部、青海西部和西藏西部等地，尤以西藏西部最为丰富，居世界第二位，仅次于撒哈拉大沙漠。

本书深入浅出，全面介绍了太阳辐射能转换为可利用能量的知识，包括物理学基础、工程学基础、太阳能应用技术，特别重点介绍了目前应用最广泛的太阳能热系统和光伏太阳能收集装置。本书注重太阳能实际应用知识，举出了众多应用实例，介绍了太阳能应用的成功经验和失败教训。目前国内还没有见到这样全面、深入介绍太阳能应用技术的专著。本书的三位作者 R. Foster、M. Ghassemi 和 A. Cota 都是可再生能源尤其是太阳能方面的专家，拥有太阳能利用方面的广博理论知识和长期实践经验。这使得本书在理论结合实际方面有其独到之处。

但需要指出的是，本书大量使用了与我国法定计量单位不同、主要在英美等国通用的英制计量单位。作者列举的实例也多是西半球美国、拉美等地的，背景情况与我国有一定差别。我们对我国读者在理解上可能有困难的地方做了适当说明，同时对原书的某些错误也做了更正。

本书适用于太阳能基础研究、应用等方面的有关人员，包括规划、设计、建设和运行人员；也适用于可再生能源有关专业的本科生和研究生；还可用于教学培训。

本书翻译组成员都是中国电力科学研究院新能源研究所的科研人员，对太阳能发电技术有较深入了解。但本书内容还涉及天文、气象、热力、化学、经济学等方面的内容，专业覆盖面一定程度上超越了我们熟悉的领域，译文有可能不够准确或存在错误，还望有关方面的专家不吝指教。本书第3章（工程学基础：热力学和传热学）译文得到清华大学刘颖教授的指正，谨在此表示感谢。

译者

丛书^注序言

由于全球人口增长和发展中国家的经济扩张，到 2050 年，世界能源需求可能翻番甚至增加两倍。地球上的全部生命都依赖于能源和碳循环。能源对经济及社会发展都至关重要，但这也带来了环境方面的挑战。我们必须探索能源生产与消费的各个方面，包括提高能效、清洁能源、全球碳循环、碳资源、废弃物和生物质，还要关注它们与气候和自然资源问题之间的关系。能源知识可以使人类享有我们的前辈难以想象的繁荣。

世界对化石燃料的依赖约始于 200 年前。我们是否在耗尽石油？当然不是，但我们确实在耗尽自 20 世纪 50 年代起作为世界经济动力的用得起的石油。我们知道如何开采化石燃料，从中获取能量，从而运行发电厂，驱动飞机、火车和汽车。这样做的后果是改变了碳循环，排放了额外的温室气体。于是，人们对矿物能源的利用产生了很大的争议，包括化石能源可用性、石油生产峰值时期和化石燃料预期终结时期、各种可再生能源及其使用与价格和环境影响的关系、碳足迹（carbon footprint）、温室气体排放与控制（包括限量与交易）以及“绿色电力”的产生。

我们目前依赖的能源主要是：石油（移动式消费）、煤炭、天然气、核能和水力（固定式消费）。为综合说明能源问题，必须考虑到能源的复杂性。任何能源，包括石油、煤炭、风力、生物质，都是复杂供应链的一个环节，必须把从生产到消费的过程作为一个系统加以总体考虑。这个系统的所有环节都是相互关联和相互依存的。例如，考虑石油时要考虑它与所有环节（包括勘探、钻井、生产、水源、运输、精炼、精炼产品和副产品、废弃物、环境影响、配送、消费/使用及最后的排放）的相互联系。

这个系统的任何一个部分效率低下都会影响整个系统，其中的任何一个环节的瓦解都会导致严重的消费中断。如我们过去曾经历过的，勘探中断会导致生产中断，使精炼和配送受限，产生消费短缺。因此，任何解决能源问题的建议方案都必须经过仔细的评估，例如在提议把氢作为车载燃料时，这很可能就是实施建议的关键障碍之一。

尽管人们在提高燃料能源的能效方面做出了可赞赏的努力，但我们仍然面对多方面的严峻挑战，包括人口增长、新兴经济体、新用途和用途扩展、自然资源有限等。所有能源解决方案都包含某种程度的风险，包括技术障碍、市场需求及经济驱动力量的变化等。在提出一种涉及未经试验的替代能源技术的解决方案时，要特别注意这些风险。

注：这里所说的丛书指的是 CRC 出版的“可再生能源系列”丛书。

人们担心，化石燃料产生的排放会导致气候变化，带来灾难性后果。过去 50 年，甚至在提高能效获得效益的速度超过人口增速的情况下，全世界的温室气体排放仍然显著增加。很多人认为，我们已经提高了能效，节省了能源，减少了温室气体排放，避免了气候灾难。但由于种种原因，提高化石燃料能效并没能减少温室气体的总排放量，而且这些行动对大气中温室气体含量产生的效果也不大明显。尽管能源使用和温室气体排放之间的关系是个有争议的问题，但既能控制排放又可以提高能效（甚至从化石燃料生产的过程中）的手段是存在的。新兴技术和工程上的替代手段也可以控制向大气排放的气体成分，但是需要充分理解和小心使用能源。

我们需要退一步并重新考虑我们在能源利用方面的角色和知识。传统的温室气体排放的微观管理方法长期以来都是不可行或功能性的。影响碳循环需要更有效的方法，它将在近几年出现。调整循环意味着我们必须考虑到控制大气温室气体的所有方面，包括各种生产、消费形式和处理能源的方法。我们必需面对现实，认真地寻找替代能源的方法。某些技术看来是有帮助的，但并非所有技术都是可行的。提出的方法不能是“速成的”，而应该是基于科学和积极进取的态度研发更综合的长期（10 年、25 年甚至 50 年以上）方法。提议的方法必须能纳入我们现有的能量链。同时，我们必须不断提高热能和电能的转换效率。

确定可持续发展的最好方法之一是通过长期的、用得起的可用资源来定义。对可持续发展还存在很多潜在的制约因素，其中首要的制约因素便是能源生产、制造业及农业因淡水在消费和发展中的短缺带来的水资源竞争。可持续发展还取决于地球上数量有限的土地。在不久的将来，我们必须将恢复和建设土地作为可持续发展的一部分。因此，可能的解决办法必须是综合性的，并以把能源利用与碳、水和地球上生命的自然管理相结合为基础。后者的代表性形式就是碳循环和水文地质循环。

显然，控制大气中的温室气体所面临的挑战是巨大的，而且为实现可持续发展，需要“跳出框框”的思维、革新的方法、想象力和大胆的工程措施。我们需要更富创造性地利用能源，并把它的利用与大气温室气体控制结合起来。在今后几个世纪，对人类社会的可持续发展来说，继续开发和利用能源是不可缺少的。

各种替代能源技术并不都是等同的，它们都有各自的风险和缺陷。在评价能源选项时，我们必须考虑它们的所有方面，包括用已知判据评估它们的性能、基本经济性和效益、效率、处理和利用要求、基础设施要求、补贴和信贷、废弃物和生态系统及其所带来的非预期的后果，如对自然资源和环境的影响。此外，我们还必须把基于目前及将来努力改变使用化石燃料的情况而产生的总体变化及将会出现的能源状况包括在内，评估资金和水等其他资源的投入得到的能源回报。

编写本丛书的显著推动因素集中在替代能源和环境方面，源于以能源、环境和水源等自然资源为题的全国巡回教学及课堂教学。水在西部（这里指美国西部——译者注）通常是一种珍贵商品，在西南部尤其宝贵。由于能源和水资源之间的关系，以及水资源与环境与可持续性问题的重大关联，它对包括替代资源在内的能源生产有重大影响。人们了解这些环节之间的相互关联、它们之间如何关联以及它们的相互影响，然而把替代能源与能源环境整合在一起的问题却没有得到充分讨论。

而且，很多国家的可再生能源技术的实施无论从国内还是国际方面都在不断改进，对经验丰富、训练有素的人力资源的需求也继续成为未来就业的一个推动因素。这也推动了大学、

社区学院和中专学校开设可再生能源和可持续发展课程的初级培训，有时是高级培训。随着这一领域的发展，对得到培训、能把这些技术用于日常工作的操作员、工程师、设计人员及建筑师的需求也在增长。此外，人们还为对太阳能、风能、地热能、生物质能及其他能源感兴趣的群体开办了各种各样的短期课程，我们每天都收到如潮水般涌来的这类传单、电子邮件以及文件。它们都打着开创个人事业，提供与金融界、政界和产业机构互动所需资源的旗号。

在这一领域，我有多年从业经验，也曾探索以适当方式编写论述替代能源的综合教材，它应能作为大学潜在课程的提纲，并为涉足这一领域的群体提供合用的参考材料。我已经确定了一些与能源、能源系统和资源（如化石资源、核资源、可再生能源及能源转换）主题有关的书籍，还有与能源和环境有关的自然资源可用性、它的利用及影响等题目下的一些具体书目。然而，相关的详细介绍各个方面的书籍极为稀少。

因此，我们着手编写一套丛书，它的每本书内容都针对可再生能源范围内的具体技术。本丛书中已经编写的有风能、太阳能、地热能、生物质能、水力方面的图书，其他形式能源的书籍尚待编写。这套丛书面向的对象是有坚实科学、数学基础知识的高年级在校生、研究生和知识广博的读者。这套丛书可能对参与可再生能源领域的设计开发、希望得到可供科技人员使用的参考资料的个人和单位、咨询机构、资料馆等都有所帮助。每本书都介绍相应的基础知识，提出一系列启发创造性思考的数字问题和概念问题，并给出问题解答。

我在此对我的妻子 Maryam 深表感谢。她是一位鼓励者和充满智慧的伙伴，而且为此付出很多。没有她的支持、鼓励、忍耐和参与，本丛书是不可能完成的。

理学博士 Abbas Ghassemi

序

21 世纪正在迅速演变成“全面能源风暴”，现代社会正面对爆炸性的能源价格、不断增长的环境关注以及能源安全问题。如今的社会建立在一种有限的能源——碳氢燃料的基础上。它是国际冲突的主要催化剂，而且在将来很可能进一步加剧这种冲突。全球能源需求的胃口十分巨大，它代表每年超过 6 万亿美元的产值，占全球国民生产总值（GDP）的约 13%。不幸的是，这一能源的绝大部分都耗费在建筑物、车辆及工业的低效率使用之中。尤其是在美国，它的人均和单位 GDP 耗能量大约都是欧盟和日本的两倍。能源的低效使用加剧了全球能源危机。现在是抛弃那种过时的“烧吧，宝贝，烧吧”（burn, baby, burn）¹ 的碳氢能源观念而采取新能源观的时候了，采用清洁能源解决办法的时代就在眼前。只有提高能效和采用可再生能源技术，现代文明才能从全面能源风暴中解脱出来。

美国热衷于消费化石燃料。这个国家的能量五分之二来自石油，四分之一来自煤炭，另有四分之一来自天然气。美国三分之二的石油是进口的，如果按这样下去，则到 2020 年，该国将有四分之三的石油是进口的。2006 年，美国花费 3 840 亿美元进口石油。到 2030 年，如果一切照旧，则美国的碳氢燃料将仍占其使用能源的 86%。美国每年耗能约 10^{17} BTU²（29 000 TWh），其中 39% 用于建筑物，33% 用于工业，28% 用于运输。与欧盟和日本的平均耗能相比，它的工业耗能是其 1.4 倍，建筑物耗能是其 2.5 倍，运输耗能是其 1.8 倍。这些国家与美国一样，也高度依赖进口石油。然而与美国相比，日本的人均能耗仅为 53%，单位产值能耗仅为 52%，而欧盟的这两个能耗仅分别为 48% 和 64%。

全球能源的新现实把能源价格推到了历史最高位。能源价格的持续反复无常还将继续，能源价格的大起大落将追随全球经济走势。很多人预期石油生产会在下一个十年到达峰值。北美的能源基础设施和劳动力正在老化。中国和印度现在是对一次燃料价格产生重要冲击的全球能源新消费者。到 2030 年，预计中国进口的石油会达到美国现在的进口规模。一些突发事件，如停电、台风、洪水和火灾都会加剧因供应紧张造成的价格多变性。能源需求增加还会造成食品、金属和运输价格上涨。

除化石燃料的成本和可用性之外，温室效应的罪魁祸首 CO₂ 排放每年增加数百万吨也使环境情况更加恶化。未来 CO₂ 排放的增加主要源于发展中国家的人口增长和工业发展。目前

1 “burn, baby, burn”（烧吧，宝贝，烧吧）是一首由英国摇滚乐队 Ash 演唱的歌曲，曾获得多个奖项并风行欧美——译者注。

2 BTU 是英国热量单位的缩写，1 BTU ≈ 1056 J——译者注。

大气中的 CO₂ 平均浓度是 400ppm³——是地球有史以来的最高值。如果继续维持像今天这样对化石燃料的依赖程度，到 2050 年，这一浓度会超过 700~800ppm。

在高 CO₂ 浓度下，地球平均温度只要有少许升高就会对粮食安全、水源、生态系统和环境造成严重影响。目前，地球平均温度仅升高 0.5℃就足以产生灾难性的自然灾害。为达到 21 世纪末限制海平面升高不超过 1m、物种损失不超过 20%的目标，新增变暖必须限制在 1℃以下。这意味着需要把大气中 CO₂ 浓度稳定在 450~500ppm。美国是 CO₂ 排放大国，目前排放全球 CO₂ 的 23%，需要在 21 世纪中期降低 60%~80%。如果格陵兰冰盖融化，全球海平面会上升 7m；如果南极洲东部和西部的冰盖融化，海平面要上升 70m。由于广泛使用化石燃料，人类正在制造恐龙灭绝以来的最大生态灾难。

然而也并不是坏消息。也有些选择可以延缓自然媒质的破坏，其中的关键是适当使用资源。近十年来，全世界，最重要的是各国政府，对气候变化和能源问题都达到了很高的意识水平。未来各国需要使用安全、清洁、可靠和用得起的能源。降低对石油的依赖并转而采用清洁能源技术将创造当地新的工作岗位。非洲、亚洲和中东等地数百万失业和未充分就业的人可以在这个新行业找到有益的就业机会。为启动这一转变，必须制定向清洁及可持续能源方式迈进的政策。为向更可靠、更清洁的能源未来迈进，大规模提高可再生能源产能和提高能源使用效率是我们现在就可以采取的两项基本措施。

美国可以提高可再生能源（如太阳和风力）的产能。某些州，如加利福尼亚、新墨西哥和得克萨斯，在制定可再生能源配额标准方面已经处于领先地位。奥巴马政府在制定要求提高可再生能源（如太阳能、风能和地热能等）发电量的国家标准方面已经取得了进展。执行可再生能源发电量 2012 年达到 10%和 2025 年达到 25%的总统规划非常必要。由于各州提出了配额要求及联邦发电税收抵扣，风力发电的发展已经相当兴旺。美国现有风电装机已经超过 25 000MW，生产全国用电的 1%，另有 8 500MW 的在建容量。能源部的目标是风电发出 20%的全国电量，这需要 300 000MW 风电装机。由于中西部风力资源丰富，这是一项可达到的目标。

尽管欠发达国家过去 30 年里在电气化项目下投入巨资——经常付出重大环境和社会代价——但仍有约 20 亿发展中地区的人口缺少满足基本需求和经济发展的电力。全球有数亿家庭只能以煤油灯照明，用一次性电池收听收音机，某些情况下，用每周充电的汽车蓄电池看电视。这些人不能得到良好的保健、教育和可靠收入。他们中的大部分人不太可能在可预见的未来从常规电网获得电力，但可再生能源可以为他们提供当地工作岗位，改善他们的生活水平。

通过输电线和配电线向无电村庄供电的成本很高，特别是通常家庭用电负荷很小，很多村庄与现有电网距离遥远，地形复杂。而孤立太阳能或风能装置可以在成本效益可接受的条件下向他们提供照明、通信、风扇、冰箱、抽水等需要的较简陋的电力。某些政府和电力机构，如巴西、中国、中美洲、南非和墨西哥等，使用低成本光伏和风电设备，既把它作为电气化规划的集成开发工具，也把它作为集中或分布发电的方案。

在提供电力、创造就业机会、推动清洁能源经济发展方面，太阳能和风能目前是全球农村地区经济发展和社区发展的最低成本选项。在未来几年，美洲的农村地区将从太阳能及风

3 1ppm = 10⁻⁶——译者注。

能电气化中极大受益。光伏技术可以为远方抽水和社区水源消毒提供动力。对较大负荷需求，可以组合使用光伏和风电技术加柴油机来发电和储能。与单独使用一种技术相比，这种混合配置可以以合理的成本获得很高的系统可靠性。

大型风电装置在经济上越来越具有吸引力。它的大量发电成本仅为 0.06~0.08 美元/kWh。大型太阳能热系统成本约为它的两倍。尽管光伏不像大规模风电和太阳热能那样有经济吸引力，但在农村地区，由于可靠性高及其固有的模块化特性，作为偏远分布式电源，它可以起更重要的作用。联网光伏电力的成本已经从 20 世纪 70 年代的 60 美元/kWh 降低到 80 年代的 1 美元/kWh，如今更降到 0.25 美元/kWh。组件效率也在提高，商用组件效率已经达到 15%~22%，而实验室电池显示的效率已超过 40%。商用光伏组件的可靠性已改进到可使用 30 年以上。

本书的目的是为工程师及学习工程的学生详细介绍太阳辐射能转换为适用能量的知识。本书介绍了太阳能技术基础知识，使读者能够清楚了解如何为进一步使用而捕获太阳能。可以用两种装置收集这类能量：一种是将太阳能转换为热能的太阳热能集热器，另一种是将阳光含有的能量直接转换为电能的光伏组件。另一种重要的太阳能接收器是透镜或反射镜，它们将太阳辐射改变方向，射向太阳能集热器，目的是将尽可能多的能量聚焦到某一点或某一体积内。

几位作者在太阳能方面的经验加起来有一个世纪那么长，而且在全球各地进行过大量太阳能研究和项目实施，其中很多都在本书中提到。在太阳能技术方面，人们已经取得了重大进展，但很多太阳能系统装置却失败了，其实原因通常很简单，本书也讨论了这些教训。因此，本书特别注重太阳能技术的实际应用方面。在发展太阳能产业的未来、为有麻烦的地区提供当地工作岗位、提供清洁能源以及降低全球温室气体排放方面，经济学、政治学、能力建设、技术能力、市场建设及模式复制都起着主要支持作用。当世界范围的全面能源风暴逼近时，利用太阳能是减轻潜在有害影响的关键之一。作者希望，使用本书的学生和读者会受到鼓舞，去追求清洁能源的未来，选择太阳能发展的道路。

丛书^注主编简介

Abbas Ghassemi 博士是新墨西哥州立大学化学工程教授和能源与环境学院 (IE&E) 院长。除教学与研究外,他还监督 WERC (一个环境教育和技术开发财团)、西南技术开发学院 (SWTDI, Southwest Technology Development Institute) 和 Carlsbad 环境监测研究中心 (CEMRC) 的运营,近 20 年来曾参与全美很多产业部门的能源、水资源、风险评估、过程控制、污染预防和废弃物最低化领域的研究。他还成功地领导和管理了美国能源部、美国环境保护局、国家实验室及产业界的很多环境、水资源、能源项目的同行学术评估工作。Ghassemi 博士在风险评估和决策理论、可再生能源、水资源的数量与质量、污染控制技术、预防、能效、过程控制管理及改进、废弃物管理及环境恢复等领域有 30 多年的产业和学术经验。他还撰写和编辑了好几本教科书、很多出版物和论文,专业领域为能源、水资源、废弃物管理、过程控制、传感器、热力学、传输现象、教育管理以及教学革新方法等。Ghassemi 博士还担任很多公共和私立委员会、编辑委员会和同行评议委员会的成员。他拥有新墨西哥州立大学化学工程硕士和博士学位,辅修科目为统计学和数学,还拥有俄克拉荷马大学化学工程学士学位,辅修科目为数学。

注:这里所说的丛书指的是 CRC 出版的“可再生能源系列”丛书。

作者简介

Robert Foster 有 25 年的太阳能和风能技术应用经验，并在 30 多个国家实施了数百项太阳能和风能工程。他从 1989 年起供职于新墨西哥州立大学（NMSU），任西南区太阳能试验站的工程学院及能源与环境学院的项目经理。他目前正在喀布尔执行一项 NMSU 的任务，任美国国际开发署（USAID）阿富汗水利及农业技术转让项目组的副主管。他参加了美国能源部（DOE）、可再生能源国家实验室、Sandia 国家实验室、USAID、国家航天及空间管理局、国家科学基金会、Winrock 国际公司、世界银行、国际教育研究院、产业界、电力部门及外国政府主办的很多可再生能源项目。1992—2005 年，他任 USAID/DOE 可再生能源项目下属 Sandia 国家实验室的技术主管，1997—1999 年，任 Winrock 国际公司为多米尼加共和国实施的 USAID 电力产业重建项目的技术顾问。

Foster 先生是一位从多米尼加共和国和平队（1985—1988 年）归国的志愿者。他在该国建设社区供水工程，并与太阳能协会（Enersol Associates）合作开拓了农村光伏系统在发展中国家的应用。此前，他在得克萨斯州 Austin 制造安装太阳能热水器的 Cole 太阳能系统公司工作。他拥有多个太阳能蒸馏方面的专利，并在得克萨斯与别人合作创建了生产太阳能水净化装置的 SolAqua 公司。他因在墨西哥 Chihuahua 州开发可再生能源获得了州长奖励，还获得了危地马拉太阳能基金会的可再生能源奖。他拥有 Austin 得克萨斯大学的机械工程学士学位和 NMSU 的 MBA 学位，在攻读后一学位期间，完成了有关墨西哥光伏市场的学位论文。他曾任得克萨斯太阳能学会和 El Paso 太阳能协会的主席和执委会成员。他曾发表过太阳能、风能、蒸发冷却、废热和地热能方面的文章 120 余篇，技术报告 90 余份。他还为全球数千名工程技术人员进行过 160 多次可再生能源技术方面的讲座。

Majid Ghassemi 是新墨西哥采矿技术大学（NM Tech）工程研究与应用研究学院的副教授。目前他正在为美国能源部进行一项节能墙板研究。他还任以光伏供电节能建筑物来减少大气废物方面的 DOE 联合首席专家。他在 2002 年入 NM Tech 任副教授，并曾参与多项科研工作，包括在马格达莱纳岭天文台进行的可持续能源和节能领域的研究。他一直与麻省理工学院（MIT）和通用电气公司的研究人员合作进行新墨西哥州的风电研究，还研究用太阳能生产燃料电池用的氢气。Ghassemi 博士参与了工程研究与应用研究学院空间应用方面的储能工程、微电磁泵及液体金属热管道项目的工作。他教授热力学、传热学和液态流体系统设计方面的课程。2002 年，他在 El Paso 的得克萨斯大学任客座副教授，进行燃料电池和太阳能水净化装置的研究。他现在是伊朗德黑兰 K. N. Toosi 大学的副教授，负责热力学领域的本科

及研究生课程教学，包括热传导、对流和传热学、传热学理论基础及热力学的高级课程。

Ghassemi 博士指导了数名本科、硕士和博士研究生。他曾任德黑兰 Sharif 大学的副教授，教授热传导课程。1997—2002 年，他任德黑兰 AERC 热力部主任，负责小型卫星和空间应用热力设计和制造。1996—1997 年，他还帮助设计了伊朗国家能源实验室。从 1995—1996 年，他曾任新墨西哥大学机械工程教授。从 1993—1994 年，他担任新墨西哥州 Albuquerque 研究所的高级学者，从事热能和环境科学研究。

Ghassemi 博士于 1993 年在艾奥瓦州立大学获得机械工程博士学位。他在密西西比大学获得机械工程学士和硕士学位。他与其他人合作出版了 5 本传热学和热力设计方面的著作，发表了杂志论文 21 篇，会议论文 30 多篇。

Alma Cota 是墨西哥 Ciudad Juárez 自治大学的教授，在化学系讲授化学、能源和环境方面的课程。她拥有新墨西哥州立大学的化学工程博士学位，并在该校完成了光伏发电系统方面的博士后工作。她分别在 Sonora 大学和墨西哥国立自治大学能源研究中心获得化学工程学士学位和硕士学位。**Cota** 博士在各式各样的太阳能系统方面有丰富经验，包括太阳能污泥干燥与消毒、水消毒等。她曾在西南区太阳能试验站进行光伏系统工作长达 6 年，在 1998—2004 年参加了由 Sandia 国家实验室开展的 DOE/USAID 墨西哥可再生能源项目。