

ENERGY EFFICIENCY

Building a Clean, Secure Economy

能源效率

建立清洁、安全的经济体系

[美] 詹姆斯·L.斯威尼

清华四川能源互联网研究院 译



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

ENERGY EFFICIENCY

Building a Clean, Secure Economy

能源效率

建立清洁、安全的经济体系

[美] 詹姆斯·L.斯威尼

清华四川能源互联网研究院 译



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书分析了1973年美国能源危机前后的能源格局变化,揭示了相关政策、技术、法规、激励措施的效力,结合大量翔实案例,让读者能够直观地体会到发生在身边乃至国家层面的变化,力证了能源效率在改善能源经济、缓解环境污染和保障能源安全等方面所发挥的重要作用。本书对我国在能源研究方面具有十分重要的借鉴意义。

本书可作为从事能源行业、关注能源行业的管理人员以及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

能源效率:建立清洁、安全的经济体系/(美)詹姆斯·L.斯威尼(James L. Sweeney)著;清华四川能源互联网研究院译.—北京:中国电力出版社,2017.9

书名原文:Energy Efficiency: Building a Clean, Secure Economy

ISBN 978-7-5198-1128-0

I. ①能… II. ①詹… ②清… III. ①能源效率—研究—美国 IV. ①F206

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第216710号

北京市版权局著作权合同登记

图字:01-2017-5946号

First published as “Energy Efficiency: Building a Clean, Secure Economy” by the Hoover Institution Press, Stanford University, Stanford, California, U. S. A.

© 2016 Copyright by the Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University.

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:王春娟 高 芬(fen-gao@sgcc.com.cn) 安 鸿

责任校对:郝军燕

装帧设计:郝晓燕 左 铭

责任印制:邹树群

印 刷:北京瑞禾彩色印刷有限公司

版 次:2017年9月第一版

印 次:2017年9月北京第一次印刷

开 本:710毫米×980毫米 16开本

印 张:11.25

字 数:136千字

印 数:0001—2000册

定 价:68.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换



作者简介

詹姆斯·L.斯威尼 (James L. Sweeney) 教授是美国斯坦福大学Precourt能源效率中心创始人兼中心主任、管理科学与工程系教授及前系主任、胡佛研究中心高级研究员和经济政策研究院高级研究员，是美国能源经济协会和加州科技委员会的资深研究员，曾任国际能源经济学会副主席和阿诺·施瓦辛格州长的经济顾问。

Sweeney教授于1966年获得麻省理工学院电气工程学士学位，并于1971年获得斯坦福大学工程经济系统博士学位。他是著名的能源经济学家和管理学家，学术成果丰硕。曾在《American Economic Review》、《Econometrica》、《Journal of Economic Theory》、《Management Science》等顶尖学术期刊上发表多项重要研究成果，担任《自然资源与能源经济学手册》联合主编。Sweeney教授于2007年被美国能源经济学会授予Adelman-Frankel Award奖，并于2008年被国际能源经济学会授予杰出贡献奖。

Sweeney教授的著作包括《加州电力危机》和《自然资源与能源经济学手册》[共同作者：A. V. Kneese (北荷兰)]。



在全球应对气候变化日益紧迫的形势下，能源体系的变革已成为世界潮流。一方面是大力节能，提高能源效率，减少能源消费；另一方面是大力发展新能源和可再生能源，加速能源替代，促进能源结构的低碳化。从而建立高效低碳的能源供应体系和消费体系，减缓二氧化碳排放，努力实现全球控制温升不超过 2°C 的目标，保护地球生态安全和人类社会生存与发展。

在可持续发展框架下应对气候变化，核心是持续大幅度地降低单位 GDP 的能源强度和二氧化碳强度，也就是大力提高单位能源消费和单位二氧化碳排放的经济产出效益，以尽量减少能源消费和二氧化碳排放，支撑经济社会的持续发展。降低 GDP 能源强度的途径，既包含提高能源生产、转换及利用各环节的能源效率，以尽量少的一次能源消费，满足终端能源服务需求，即技术节能；也包含改变生产方式和消费方式，减少终端能源服务需求，以及调整经济结构，促进产业转型升级，提高产品增加值率等，即结构节能。而以新能源和可再生能源替代化石能源，则可降低单位能耗的二氧化碳排放强度。单位 GDP 能源强度下降与单位能耗二氧化碳强度下降两个因素的叠加，将使单位 GDP 的二氧化碳强度以更快的速度下降，从而实现经济发展与二氧化碳减排双赢的格局。

实现全球控制温升不超过 2°C 的目标，在保障全球 GDP 以年均 3.0% 左右增长的同时，全世界 GDP 的二氧化碳强度年下降率需尽快提高到 4% 以上，从

而实现到 2030 年比当前下降 20% 以上，到 21 世纪下半叶实现“净零排放”的减排路径。2005~2014 年，全球 GDP 的二氧化碳强度年下降率只有约 1%，发达国家平均也只有 2% 左右，而中国则达 4.5%，我国节能降碳成效世界瞩目。由于中国工业化、城市化快速发展阶段特有的产业结构特征以及以煤炭为主的能源资源禀赋，当前 GDP 的二氧化碳强度仍然高于世界平均水平，还存在较大的下降空间和潜力。应对气候变化是为了全人类的共同利益，世界各国都需要进一步加大能源变革和低碳转型的力度。我国实现在《巴黎协定》下提出的“到 2030 年单位 GDP 的二氧化碳强度比 2005 年下降 60%~65%”这一国家自主贡献目标，单位 GDP 的二氧化碳强度年下降率也需保持在 4% 以上，特别是实现到 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值并争取早日达峰的承诺，届时 GDP 的二氧化碳强度年下降率仍必须保持在 4%~5% 的水平，以支撑届时年均 GDP 4%~5% 潜在增长率的实现，以大幅度降低单位 GDP 的碳强度抵消 GDP 增长带来的二氧化碳排放增量。届时新增能源需求则依靠增加非化石能源供应来满足，化石能源消费总体上不再增长。

在加速促进 GDP 的二氧化碳强度下降过程中，当前和今后相当长时期内，节能和提高能效将起主要作用。2005~2016 年，我国单位 GDP 的二氧化碳强度年均下降 5.0%，其中 GDP 能源强度年均下降率为 4.2%，单位能耗的二氧化碳强度年均下降率为 0.87%，节能和能效提高导致能源强度的下降对 GDP 的二氧化碳强度下降的贡献率达 80% 以上。今后随新能源和可再生能源的快速发展，非化石能源比例的基数增大，对化石能源的替代加速，能源结构低碳化的贡献率将会逐步提高。在实现全球控制温升 2℃ 目标的减排路径下，当前 GDP 的二氧化碳强度年下降率要尽快提升到 4% 以上，其中 GDP 能源强度年下降率要达 2.5%~3.0%，单位能耗二氧化碳强度年下降率要达 1.0%~1.5%，节能和提高能效仍将发挥重要作用。

詹姆斯·L. 斯威尼教授新作《能源效率：建立清洁、安全的经济体系》这本书，深入浅出地揭示了能源效率的本质以及提高能源技术效率和经济产出效益的重要作用及途径。望本书的出版，可促进全社会共同努力，推动我国能源生产和消费革命，促进经济发展方式向绿色低碳转型。

国家气候变化专家委员会副主任

清华大学原常务副校长

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Qian Qun' (钱群), written in a cursive style.

2017年8月

序 二



今年元月我又到访斯坦福大学，获朋友赠本书英文版，回程飞机上便迫不及待地翻阅，发现它语言朴实、数据充分、观点鲜明、论证有力，不仅让我了解到美国能源效率管理与政策的方方面面，其严谨的研究方法也使我受益匪浅。当前，我国正处于能源消费革命的关口，美国的经验教训对于我国制定能源发展战略、法规、政策、标准等都有十分重要的借鉴意义，由此萌生让清华四川能源互联网研究院翻译本书的念头。

中国已成为世界上最大的能源消费国，《BP 世界能源统计年鉴 2016》显示，2015 年中国能源消费占全球消费量的 23%，全球 2015 年年均净增长能源中有近 1/3 被中国消费。改革开放以来，伴随着经济的蓬勃发展，能源需求量迅速攀升，能源缺口日益扩大；2015 年，我国能源对外依存度达到 15.9%，其中原油对外依存度最为严重，突破 60%，能源供给形势依然严峻！

要扭转这一局面，应从“开源”和“节流”两方面入手，即扩增产量，缩减需求。如何在不制约经济发展的前提下降低能源强度（单位 GDP 所消耗的能源）已成为能源发展的关键问题。尽管近年来我国能源强度持续平稳下降，“十二五”期间下降幅度超过 16%，但截至 2016 年，我国能源强度仍然高于欧美发达国家、印度以及世界平均水平。《“十三五”节能减排综合工作方案》提出：到 2020 年，全国能源强度比 2015 年下降 15%。经济发展需要消费能源，在保障国民经济蓬勃发展的同时要降低能源强度，就必须全面提升能源在生产、输送和消费过程中的效率。2014 年的全国能源系统总效率不到 40%，将

近 2/3 的能源浪费在生产、输送和终端能源消费环节。因此，提升能源系统综合效率是我国能源发展的核心目标之一。习近平主席曾在 2014 年 6 月中央财经领导小组第六次会议上强调：面对能源供需格局新变化，国际能源发展新趋势，保障国家能源安全，必须推动能源生产和消费革命！这不仅需要制定明确的发展战略，也需要借助一系列法规、政策、标准、激励措施等方可完成。

詹姆斯·L. 斯威尼教授在斯坦福大学长期从事美国能源法规、政策、标准等方面的研究，长期为政府谏言献策，对能源法规政策和标准的制定及执行效力有着全面而深刻的认识，大量的研究成果在本书中得以体现。斯威尼教授通过分析 1973 年美国能源危机前后的能源格局变化来揭示相关政策、技术、法规、激励措施的效力，结合大量翔实案例，让读者直观地看到发生在身边乃至国家层面的变化，力证了能源效率在改善能源经济、缓解环境污染和保障能源安全等方面所发挥的重要作用。此外，通过本书我们也了解到在推动能源效率提升的过程中，提升能源管理水平与节能技术显得同样重要，因此二者需要齐头并进。

本书凝聚了詹姆斯·L. 斯威尼教授以及清华四川能源互联网研究院全体同事的汗水和心血，希望广大从事能源行业和关注能源行业的管理人员、研究人员、工程技术人员能从本书中汲取有用的知识，为打造一个健康高效的能源体系而共同努力。

清华大学电机系主任、教授
清华大学能源互联网研究院院长

Handwritten signature in black ink, consisting of two characters: '曾' (Zeng) and '嵘' (Shao).

2017 年 8 月于清华园



在传统的能源行业中，对能源生产端的重视程度要大于能源传输和消费端。过去几十年，我国能源发展的重点都在提升能源生产力，以满足经济发展需求，能源效率问题没有得到应有的重视。随着能源供给波动加剧和大气污染问题日益严重，能源的经济性、安全性和环境性（即书中的能源政策“三角”）受到了越来越多的关注。在解决这些问题的过程中，提升能源效率可以与扩大和优化能源生产扮演同等重要的角色。要推动提升能源效率逐步走向能源舞台的中央，发挥其可以发挥的重要作用，需要研究机构、政府部门和能源生产、传输及消费企业，乃至每个人的共同努力。而推动能源效率的提升，正是清华四川能源互联网研究院组建能效研究课题组和翻译《能源效率：建立清洁、安全的经济体系》一书的初衷。

《能源效率：建立清洁、安全的经济体系》一书由斯坦福大学教授詹姆斯·L. 斯威尼编写。译者在初次拿到英文书籍时，一气呵成完成了通篇阅读，不忍释卷。詹姆斯·L. 斯威尼教授在能源经济学与政策研究领域成果卓著，他对全球气候变化、能源效率、电力市场和能源市场结构均有极为深刻的研究。詹姆斯·L. 斯威尼教授是斯坦福大学 Precourt 能效研究中心的创始人兼中心主任。该中心以提升能源效率为宗旨，通过分析高效益和可执行的能源政策，策划能效项目，研究能效技术，为美国政府提供决策建议，发起商业化能效项目，推动市场格局的革变。清华四川能源互联网研究院与詹姆斯·L. 斯

威尼教授和 Precourt 能效研究中心均建立了紧密的合作关系，并在信息交流、学术研究和能效项目方面已开展了合作。研究院希望以翻译此书为契机，在国内倡导、践行通过提升能源效率来改善能源经济性、安全性和环境友好性的理念，为我国正在开展的“能源革命”贡献一份力量。

在本书的翻译过程中，课题组尽量尊重原著中的分析思路和方法，保留了原文的计量单位，如美元、英镑、英国热量单位（BTU^①），希望读者加以注意。

课题组成员（不分先后）：高文胜、刘毅、高浪、何正旭、李少婷、李敬、熊天龙、周粲、谢涸、张小卉、胡逾超、陈衢渠。

译 者

2017年7月

① BTU (British Thermal Unit)，英国热量单位（简称英热单位），定义 1BTU 为将 1lb 水的温度升高 1°F 所需要的热量。1BTU 约等于 251.9958Cal、0.293Wh 或 1.055kJ。



世界正处于能源变革时代，美国也不例外。此前低收入国家由于经济发展需求迫切，能源需求旺盛。除此之外，从中国人对新鲜空气的渴望就能看出，人们对于能源与气候、环境相互影响的认识正在逐渐加深。当然，能源对国家安全的深刻影响也在能源危机之后深入人心。

詹姆斯·L. 斯威尼多年以来一直在研究能源问题，尤其是关注如何更加有效地使用能源的研究。本书对此问题的讨论提供了大量翔实可靠的信息，并得出结论：迄今为止，能源效率对于我们达成能源目标做出了巨大的贡献。

最干净的能源是什么？没有被使用的能源。最便宜的能源是什么？没有被使用的能源。最安全的能源是什么？没有被使用的能源。所以能源效率就像三重奏。

能源的有效利用有许多方法，比如单纯的能源意识就能促进能源效率的提升。曾经加州电力危机时，我们将办公大楼走廊的灯光调暗，不仅缓解眩光，还增加了光感舒适度。同时还关闭了无人办公室的电灯。结果是，节省了13%的电能。这一过程中既没有任何新发明，也未带来任何不便之处。

当然，价格也是提高能源效率的一个主要动力，相关图表在1973年都出现了转折点，本书描述了这些有趣的现象。

我还记得当年的情景，时任财政部长的我曾经发出警告，中东动荡局势的主要威胁在于能源供应。美国在赎罪日战争之际为以色列提供补给，因此导致

了阿拉伯国家的石油禁运，这给整个美国历史留下了深远的影响。圣诞节灯光暗淡、周末加油站关闭的景象仍历历在目，能源战略的重要性就此以独特的方式呈现在人们面前。

虽然结束石油禁运后，石油价格有所下降，但仍波动不断，比如 1979 年伊朗革命时期油价再次上涨，以及最近 20 年来油价的居高不下。

1973 年的转折点清晰有力地证明了人们有能力应对高额的能源价格和能源供应短缺的问题。本书还进一步地提供更多有关应对措施案例，例如，广泛使用 LED 照明将对用电量产生重大影响。

通过本书分析可以清楚地看到，能源效率对美国能源现状的贡献远大过其他单一因素，数量上甚至超过了美国国内所有新增的能源供应之和。此观点不是低估替代能源的重要性，而是敦促人们持续关注能效的提升。

就我个人而言，我在斯坦福大学的屋顶上安装了太阳能电池板，我的电动车也非常节能。长期以来，我节约的电费早已超过太阳能电池板的成本，电动车用电量远远低于太阳能电池板产生的电量，可以说我实际是依靠太阳能来开车的，这有什么不好的呢？

我一直提倡碳税中立。本书中的图片证明了人们会对价格做出反应，所以，让我们继续关注哪些措施有效以及哪些措施会持续有效。詹姆斯·L. 斯威尼的这本书充满了思想和论据，引领我们创造更美好的未来。

美国前国务卿、财政部长 乔治·P. 舒尔茨

托马斯 W. 和苏珊·B. 福特讲习研究员

加州斯坦福大学胡佛研究院

致 谢



2006年10月，Precourt 能源效率中心（Precourt Energy Efficiency Center, PEEC）在校友 Jay A. Precourt 的慷慨捐赠下于斯坦福大学成立。PEEC 作为斯坦福大学的研究机构之一，充分利用全校的科研资源，推动节能技术、制度和实践的落地，尤其重视经济性。Jay A. Precourt 在资金、精神、管理和技术方面的持续支持保障了 PEEC 的正常运营，他也资助了斯坦福大学 Precourt 能源研究所，而 PEEC 是 Precourt 能源研究所的一部分。

感谢 Precourt 能源效率中心的大力支持，此书才得以完成并出版。

胡佛研究院的 Shultz-Stephenson 能源政策工作小组致力于研究美国能源政策及其对美国国内和国际政治重大事项的影响，特别是对美国国家安全的影响。这个工作小组的负责人是乔治·舒尔茨。他鼓励我写一本书，并经常提醒和督促我。几十年以来，他一直是我写作的动力来源。

感谢埃克森美孚公司通过斯坦福经济政策研究院为本书的编纂提供了部分资金支持。

最后，感谢美国能源部的能源信息署（Energy Information Administration, EIA），其网站上丰富的高质量数据对本书的量化统计至关重要。

在撰写本书的过程中，许多人提供了宝贵的帮助。我的妻子苏珊·斯威尼一直鼓励我，并对本书做出评价，在写作过程中一直陪伴着我。此外，还有很多人之前的书稿提供了有用的意见、想法、批评、知识产权上的援助和语言

建议，包括：克里斯蒂娜·安吉利迪斯、嘉莉·艾莫、杰夫·宾格曼、拉尔夫·卡瓦纳、罗斯·沙南、约翰·克纳莫斯、丹尼·柯伦华德、大卫·费多尔、温迪·福克、马克·金、大卫·戈尔茨坦、凯特·肯尼迪、乔纳森·库梅、斯科特·利策尔曼、托尔·马尔金、罗伯特·马克斯、杰伊·普雷库尔、加布里埃尔·罗森塔尔、安苏曼·萨胡、安德烈亚斯·沙费尔、乔治·舒尔茨、迈克尔·西瓦克、丹尼尔·施佩林、杰里·斯威尼、玛格丽特·泰勒、罗兰·王和约翰·韦安特。最后特别感谢乔治·斯威尼和戴安·格鲁尼奇对本书提出的宝贵意见。

清华四川能源互联网研究院

清华四川能源互联网研究院（简称研究院）成立于2016年3月，由清华大学与四川省共同创建。研究院依托清华大学电机系，致力于践行习近平总书记提出的“四个革命、一个合作”（推动能源消费革命、供给革命、技术革命和体制革命，全方位加强国际合作，实现开放条件下的能源安全）的战略思想，积极开展能源互联网的科技研究、成果转化和产业培育。

作为中美“2+2”合作的重要技术依托、交流平台和承载单位，研究院积极响应“能源革命”和“互联网+”行动的号召，以提升我国能源科技创新能力、推进我国能源结构调整、提高我国能源支撑保障能力、促进全社会节能减排与能源消费转型升级为目标，积极开展能源领域国际合作，全力打造能源互联网人才汇聚平台，科技创新中心和产业发展高地。



图 1 美国能源净进口量：实际能源消费以及有限能效基准下的能源消费	4
图 2 导致美国经济碳排放强度降低的主要因素	5
图 1-1 能源政策“三角”	9
图 2-1 冰箱的能效	23
图 2-2 1973 年后冰箱的年平均耗电量、容量和价格趋势	24
图 2-3 1923~2013 年美国上路汽车的燃油经济性	26
图 2-4 新型汽车的平均提速时间	29
图 2-5 车辆行驶里程美国所有道路的数据	30
图 2-6 轿车和轻型卡车能耗：实际情形和假设情形的三种有限能效情形下的基准能耗	31
图 2-7 燃油经济性标准和轿车、轻型卡车的实际燃油经济性年度数据与实际汽油价格（按 2014 年美元价格核算）对比图	33
图 2-8 新型汽车的销量加权平均 MPG	34
图 2-9 飞机的能效提升	36
图 2-10 联邦政府设施的能源强度变化	44
图 2-11 用于监测能源使用的微软仪表盘	47
图 2-12 认证航空公司的能源强度	50
图 2-13 航空公司乘客英里和油耗	52