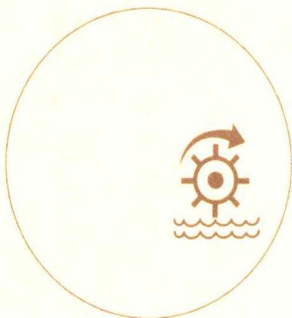


# 能源转型

## 数据、历史与未来

[加] 瓦科拉夫·斯米尔◎著

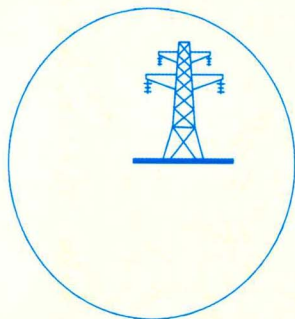
高峰 江文欣 李宏达◎译



追踪全球能源转型历程，  
看懂现代文明下的能源前景

## ENERGY TRANSITIONS

History, Requirements, Prospects



科学出版社



ENERGY TRANSITIONS

History, Requirements, Prospects

# 能源转型

## 数据、历史与未来

[加] 瓦科拉夫·斯米尔◎著

高峰 江文欣 李宏达◎译



北京市著作权合同登记 图字：01-2017-2099

Copyright ©2017 by Vaclav Smil

Originally published in 2017 in the United States by Praeger, an imprint of ABC-CLIO, LLC, Santa Barbara ,CA, USA, under the title ENERGY TRANSITIONS:GLOBAL AND NATIONAL PERSPECTIVES, 2ND EDITION.

This edition has been translated into and published in the Simplified Chinese language by arrangement with ABC-CLIO,LLC.

ALL RIGHTS RESERVED

---

图书在版编目(CIP)数据

能源转型：数据、历史与未来 / (加)瓦科拉夫·斯米尔 (Vaclav Smil) 著；高峰，江艾欣，李宏达译. —北京：科学出版社，2018.6

书名原文：Energy Transitions: History, Requirements, Prospect

ISBN 978-7-03-053789-8

I. ①能… II. ①瓦… ②高… ③江… ④李… III. ①能源-研究 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第137561号

---

责任编辑：徐 烁 / 责任校对：张怡君

责任印制：师艳茹 / 封面设计：张志凯

编辑部电话：010-64003228

E-mail:xushuo@mail.sciencep.com

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>

三河市荣展印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018年6月第一版 开本：720×1000 1/16

2018年6月第一次印刷 印张：22 1/4

字数：273 000

定价：68.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

2014年6月13日召开的中央财经领导小组第六次会议上，中共中央总书记、国家主席、中央军委主席、中央财经领导小组组长习近平指出，要研究中国能源安全战略，必须推动能源消费、能源供给、能源技术和能源体制四方面的“革命”。

那时的我在媒体、发电集团、煤炭公司已经摸爬滚打近十年，看到了能源革命的熹微晨光，激动不已，找到一批志同道合的朋友，筹备成立了北京能见科技发展有限公司，以“发现能源之新，推动能源革命”为公司主要任务。此后的三年多时间，我们接触了大量的能源创新公司，一路陪伴着一些创业公司从无到有、从有到强。

三年多时间过去了，我一直在思考两个问题：能源转型需要多长时间？能源转型可以依靠的力量是谁？

对于第一个问题，三年的实践和思考使我意识到，这一定

是一场持久战。在阅读比尔·盖茨最推崇的能源书籍作者瓦科拉夫·斯米尔的《能源转型》一书时，让我醍醐灌顶的一段话就是：因为人们对某种特定能源或原动机的依赖程度越高，这种特定能源的普及和转换程度就越高，与之相关的基础设施就越复杂、价格越昂贵也越持久耐用，因而其替代过程所需要花费的时间也越长。

在观察了人类历史上几次能源转型过程后，斯米尔指出：要想让一种新的能源、新的转型或者新的消费模式占据主导地位，或者最终占据全球主要能源需求的重大份额，则需要几十年而非仅仅几年的时间。他在书中这样写道：“一个没有化石燃料燃烧的世界可能是一个理想世界，乐观点讲，人类集体的决心、奉献与坚持会加快我们进入这一理想世界的速度。但实现这一目标不仅需要付出高昂的经济成本与组织成本，还需要坚定的奉献精神 and 极大的耐心。”

能源转型面对的是巨大的化石能源存量资产，新能源目前只是一种有益补充，要想成长为主体能源，将比过去任何一轮能源革命面临的挑战和困难都大。能见科技始终在关注本轮能源转型的进程，思考未来的路径演变，最终发现，任何一种可能的路径都离不开“集体的决心、奉献与坚持”，加入的群体越多，实现能源转型的速度才可能越快。

时至今日，加入能源转型的群体都有哪些？谁才是本轮能源转型可以依靠的力量？在能见科技看来，有两类群体值得我们重点关注。一类是已经小有规模的能源制造企业，一类是刚刚迈入能源消费创新领域的新进入者。

这一轮的能源转型发轫于物理化学等基础科学的进步，之后研究成果从实验室走向工厂，开启了新能源制造端在规模化效应下成本持续大幅降低的魔法时刻，风电机组、光伏电池板、锂离子电池、新能源汽车等产品

逐步具备了走向大众市场、走入千家万户的可能性，因此，未来我们将迎来能源消费革命的春天。

在能源制造端，已经成长出了一批小有规模的企业，这些新能源制造企业经历了残酷的市场竞争，稳步迈入了年营收百亿以上的规模，如金风科技、远景能源、天合光能、阿特斯、晶科、超威电池、天能电池等，没有这些企业在制造端的努力，没有成本的大幅下降，能源消费革命就是空中楼阁。反过来说，制造端的企业要迈上更高的台阶也必须依靠能源消费革命为其不断拓宽市场，才可能从今天的百亿营收规模走向千亿营收规模甚至万亿营收规模。

万亿新能源消费市场的打开，需要更多人加入其中。在中国，已经有很多人加入到这一行列中来。他们并不了解向千家万户售卖家庭光伏、微型电动汽车和能源转型这一宏大词语之间的关系，只是单纯逐利而已，逐利驱动下的少数公司故意售卖劣质产品，施工安装质量粗糙，但多数公司在不断总结学习，提高工程质量和产品质量，并且迸发了许多民间智慧。比如，为了让老百姓接受光伏这一新鲜事物，在夏季组织公司员工帮农民收割小麦；比如，为了满足老百姓安装遮阳棚式屋顶光伏的需求，和支架厂商共同设计防水支架；比如，为了扩大市场，公司依据当地的经济水平高低、县级区划大小，组织架构设计各有不同。

这些公司数量多、规模小，前景广阔，影响人群广泛，不少安装了家庭光伏的用户自发成为他们的宣传员，对新能源充满好感。

在新能源消费市场刚刚启动的今天，我们应该将掌声送给这样的企业，他们在一线实践，做的是最难的工作——让广大百姓接受清洁能源。在这场不见硝烟的革命中，他们从实践中来，到实践中去，根据客户需求设计方案，寻找最合适的产品；通过一个又一个工程，在细处下功夫；在激烈

的市场竞争中，思考最优的组织架构方式，他们是真正的无名英雄。

无名英雄在时代的洪流中，终将走向台前。也许，五年后再回顾能源消费革命的进程，会发现所有的偶然都蕴含着必然，而必然又是由偶然组成的。

而能见科技，有幸见证并参与这一伟大的过程。

高永钰

能见科技 CEO

能源是人类乃至地球生物赖以生存和活动的基础。随着认知水平的提升和科学技术的发展，人类开发和利用能源的方式不断地进步和革新，也进而推动了人类文明和社会的进步和变革。火的发现和利用，使得人类摆脱了茹毛饮血的时代，其可控生产则使得人类从石器时代步入青铜时代，而不断增长的能源需求使得火的来源从木材到木炭再到煤炭等不断改变。蒸汽机的发明、改进和普遍利用带来了工业革命，也使人类进入了现代社会，而蒸汽机这种能源利用方式也逐渐改进为内燃机和汽轮机等。

能源转型是能源生产、消费、体制、技术多元综合演变的过程，贯穿于人类发展的历史长河。早期的能源转型是自发的，依赖于技术和认知的自我进步。而近现代的能源转型则体现出自觉的特点，往往由政府等社会组织通过设置科技研发、



产业市场等方面的扶持政策和机制，推进满足设定目标的能源转型。2016年底《巴黎协定》的达成，则打开了世界范围内共同推动以低碳发展为目标能源转型新局面。

“以人为鉴，可以知得失。以史为鉴，可以知兴替。”本书作者，曾被《国外政策》杂志推选为全球最著名的50位思想家之一的瓦科拉夫·斯米尔 (Vaclav Smil)，基于海量的数据、丰富的历史资料，深入解读和分析了全球和中、美、德、日等九大经济体的能源转型过程，给出了能源转型的共性模式和不同时间和区域下的特性模式，为政府、企业、科研机构和社会大众探索现阶段能源转型，设定政策方向、投资方向、科研方向和工作方向提供了很好的参考。本书的中译名没有采用《能源转型》的直译，而是取用了《能源转型：数据、历史与未来》，以更加体现本书的特点和价值。本书原版成稿之时，美国新任总统特朗普还未就职，也还没有出现美国宣布退出《巴黎协定》的情况。这也体现了本书对能源转型做出的“能源系统虽然有些部分正在经历快速的转变，而其他部分却依然保持着惊人的惯性”这个判断的准确性和预见性。

斯米尔教授以客观的事实告诉大家要冷静地看待能源转型，对于小型经济体，能源转型可以快速实现，而大型经济体或全球能源转型则是一个旷日持久的过程，往往需要几十年的时间。不过作者也强调，如今的情况与过去明显不同，未来转型到非化石能源的速度要快得多，这是因为我们的认知、技术和材料基础都是前所未有的。作者也在援引比尔盖茨对加速能源创新的乐观态度时表示，如果能源研发费用大幅增加，这将显著加速全球脱碳进程。作者认为逐步降低人均能耗是更可行的一个路径，建议将

大幅提高能源转换效率与逐步降低人均能耗水平结合起来，成为最有力的推动当前能源转型的组合方案。

这个组合方案在中国正在进行的能源转型得到了升华。2014年6月，习近平总书记从新的高度提出了能源革命，强调“推动能源消费革命，抑制不合理能源消费”，“推动能源供给革命，建立多元供应体系”，“推动能源技术革命，带动产业升级”，“推动能源体制革命，打通能源发展快车道”，“全方位加强国际合作，实现开放条件下能源安全”，为我国未来能源的发展提出了纲领性目标。

能源互联网作为能源革命的实现手段和具体形态，正在中国如火如荼地进行中，受到政、产、学、研、金、用多方的关注。能源互联网是以绿色、协调、高效为目标，多种能源协同、供给与消费协同、集中式与分布式协同，大众广泛参与的新型生态化能源系统。在互联网理念、先进信息技术与能源产业深度融合基础上，通过多能协同的能源网络、信息物理融合的能源系统、创新模式的能源运营，实现物质流、能量流、信息流、业务流、资金流的优化配置。

今天的中国，已经是全球风电装机和制造第一大国，也是全球太阳能发电装机和制造第一大国，还是全球电动汽车销量最大的国家，可以说中国正在引领世界新一轮的能源转型，而能源互联网的模式将加速这一转型进程。相信本书未来再版时将会更加深入地研究和分析中国。

本书的翻译过程其实也是译者学习能源转型的过程。本书视野宽广，穿越岁月，逻辑清晰，论证有力，数据翔实，译者水平有限，难免错漏，还望读者不吝指正，请发邮件至 [fgao@tsinghua.edu.cn](mailto:fgao@tsinghua.edu.cn)。本书的翻译使用的

都是业余时间，因此我要特别感谢我的家人，尤其是我的妻子，在此期间承担了我本应尽的家庭责任。我还要感谢能见科技公司的席淑静和北京世纪藤原科技有限责任公司的邓丽、陈吟，以及科学出版社的徐烁，她们为本书的出版做出了很多的努力。

让我们携手共同努力，构建清洁绿色家园，实现美好明天！

高 峰

2017年7月于清华园

本书的第一版是于 2010 年出版的。当时全球能源发展仍受到 2008 年经济危机所带来的持续性影响。但随着全球石油价格从 2009 年的低点回升，美国广泛应用水力压裂法提高了石油和天然气的产量，欧盟、中国和美国大量地提高风力发电与太阳能发电的能力，全球能源走上了重振之路。之后，全球石油价格于 2014 年达到新高后又开始暴跌（最终止跌于 2016 年春），在此期间，无碳能源应用获得了进一步发展。2015 年 12 月，多国在巴黎达成了一项新的国际协定，旨在减少碳排放，至此全世界对能源转型的性质、速度和前景的兴趣达到了前所未有的高度，但时至今日过去的能源问题依旧存在。

因此，我认为在这个时间点重新修订这本书显然是一个恰当的选择。第二版对第一版进行了彻底的修订，同时也在内容上也进行了大幅度地扩充。两个版本虽然在基本结构上大致相

同，但是第一版只有四章，而第二版共有六章，作为结尾的第六章是针对关键结论的概述，类似于执行摘要。我将瑞典添加到了国家转型的研究中，并大量着墨于德国的“能源转型计划”（德语：*Energiewende*）。新版比原版增加了三分之一的内容，参考来源是原版的两倍以上，引入了截至 2015 年底的全球和国家发展情况，附录和插图也有所增加。

两个版本的目的都是一样的：追踪九大主要经济体（美国、中国、日本、俄罗斯、德国、英国、法国、荷兰和瑞典）乃至全球的能源转型过程，通过评估每个经济体过去所取得的进步及各国对未来几十年能源情景的现实预判，让读者能够相当系统地从历史及技术准确的角度来正确理解能源转型。

瓦科拉夫·斯米尔

## 本书存在的理由

“转型”一词的一般解释是：从一种情况或行为转变到另一种情况或行为的过程。这种解释很直观，非常容易理解，但在它的前面加上“能源”二字，理解起来就比较复杂了。众所周知，“能源”本身就是一个很难直观下定义的概念，涵盖了多种多样的状态和过程，也正因为如此，我们有必要对“能源转型”这一术语做出进一步的解释。首先，我们要知道能源转型具有多重含义，因为只追踪单一变量的变化会使我们的理解比较片面，因此我们应该从国家和全球的层面上，采取多种不同的方式来追踪能源转型的复杂性。

尽管目前“能源转型”尚无正式的定义或公认的含义，但这一术语常常被用于描述“一次能源供给构成（结构）的变化

过程”。这一过程的最重要和最普遍的案例就是从传统的生物燃料（木材、木炭和农作物残留物）到化石燃料（煤和碳氢化合物）的转型。在这次伟大的转型中具体涵盖了：用更低污染的木炭替代木材来取暖的转型；用更方便处理、更清洁的石油替代煤炭作为家用和工业燃料的转型；增加天然气发电、减少煤发电的转型；以及从化石燃料直接燃烧到以火电方式间接利用的转型。

在研究能源供给结构变化时，我们通常会着眼于时间段，即从一种新的一次能源资源的出现，到这种新能源在整个市场中占据大量的份额，或者甚至成为贡献最大或者主导性的供给能源。除了从时间跨度上来关注能源供给的发展之外，我们也应该密切关注转型过程中的绝对量变与质变，因为它们拓宽了能源的实用性，使得那些能源在应用上更灵活、更高效、更便利，同时也将降低它们对环境的影响。只有综合以上的各个方面，我们才能很好地理解能源转型的过程。

此外，在研究能源转型时我们还应当关注替代了动物和人类肌肉将一次能源转化为机械动力的“新型非生物原动机”的逐渐普及。关注“原动机”让我们明确了一个前沿的概念，那就是——转型是技术创新和资源替代这两大普遍过程的具体分支。如果没有化石燃料的大量燃烧，现代文明就不可能诞生，然而对化石燃料的强依赖却是大气中 CO<sub>2</sub> 增加的源头，是导致人为全球变暖的主要原因。这也正是为什么在推动能源转型时，我们会重点关注碳减排和化石燃料的替代，提高对无碳可再生能源的依赖程度。

在对全球能源转型和国家能源转型进行研究时，我将会采用上面所提及的所有方法来进行评估。值得一提的是，大型经济体或全球性的能源转型必然是一个旷日持久的过程，因为转型需要技术与基础建设（许多经济学家称之为“锁定效应”或“路径依赖”，我认为这种称法并不太准确），

并且转型可能会带来大量不可预见的对社会、经济及环境的影响。资源丰富的小经济体则已经快速地实现了能源转型，想想荷兰或科威特吧。然而，在能源使用的特定类别中，要想让一种新的能源、新的转型或者新的消费模式占据主导地位，或者最终占据全球主要能源需求的重大份额，则需要几十年而非仅仅几年的时间。

因为人们对某种特定能源或原动机的依赖程度越高，这种特定能源的普及和转换程度就越高，与之相关的基础设施就越复杂，价格越昂贵也越持久耐用，因而其替代过程所需要花费的时间也越长。但是这一明显的结论常常被人们所忽视，否则我们对各种新的能源生产或转换装备即将大获成功的预测怎么会一再地落空呢？另外，大规模能源转型内在的渐进属性，也是除了一些不同一般和前所未有的投资、监管活动外，当前可再生能源加速替代化石燃料的承诺在很大程度上没有兑现的关键原因。

一个没有化石燃料燃烧的世界可能是一个理想世界，乐观点讲，人类集体的决心、奉献与坚持会加快我们进入这一理想世界的速度。但实现这一目标不仅需要付出高昂的经济成本与组织成本，还需要坚定的奉献精神和极大的耐心。与过往一样，正在开展的全球能源转型也将花费几十年的时间，现代文明对化石燃料的依赖不会因政府制定的目标而终结。要理解现代文明下的能源前景，首先必须先理解这些能源发展的基本现状，可能没有什么比这个更重要了。这就是这本书存在的理由，这也是一条关键的信息。



推荐序  
译者序  
新版序  
引言

## 01 能源系统：基本特性

资源与原动机 / 006

能源的转换及消费 / 016

基础设施及影响 / 021

## 02 能源转型：通用模式

过程与步调：能源转型的复杂性 / 033

伟大的燃料序列：从生物质到煤和碳氢化合物 / 043

新的特质：电力时代 / 065

原动机的发展史：从肌肉到机器 / 077

量化转型：不确定性与趋势 / 096

## 03 各国能源转型：共性与特性

英国和法国：欧洲列强 / 128