



能源 ENERGY 4.0

顾为东 著

产业能源互联网重塑中国经济结构

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

能源 4.0：产业能源互联网 重塑中国经济结构

顾为东 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是未来中国能源、环境、食品安全和经济结构等重大挑战的前瞻性、实证性、启发性论著。这本著作中，用能源 4.0 的理论作为工业 4.0 的原动力，引导未来中国完成城市化、工业化、城乡现代劳动保障体系进程；实现途径是以能源 4.0 产业能源互联网这一新系统，突破人类工业革命以来传统经济学的禁锢，全面释放（引爆）改革开放特别是近年来一系列经济政策和科学技术成果积聚的生产力，推动中国乃至世界经济走出低迷，开始新一轮效率优先、兼顾速度的新常态、新发展。

本书可供政府部门、能源行业、互联网行业及金融行业的从业人员和高校相关的专业师生、研究人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

能源 4.0：产业能源互联网重塑中国经济结构 / 顾为东著. —北京：电子工业出版社，2017.2
ISBN 978-7-121-30913-7

I. ①能… II. ①顾… III. ①互联网络—应用—能源发展—研究—中国 IV. ①F426.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 024532 号

策划编辑：李 洁

责任编辑：谭丽莎

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：720×1 000 1/16 印张：24 字数：379 千字

版 次：2017 年 2 月第 1 版

印 次：2017 年 2 月第 1 次印刷

定 价：68.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：lijie@phei.com.cn。

我们正面临一场深刻的产业变革，这场变革的核心是智能制造、绿色能源和数字服务，三者相互结合，不可或缺。

——中央政治局常委 俞正声

人们可能可以像今天通过互联网近乎免费地生产和消费信息一样，借助能源互联网近乎免费地生产和消费能源，构建零边际成本社会。

在未来几年，几乎所有的经济领域都将引进“零成本”模式。在全球协同共享模式和各经济体依赖性不断深化的背景下，人类正迈入一个超脱市场的全新经济领域。

——美国著名未来学家 杰里米·里夫金

我深信，非并网风电将会在未来的可再生能源领域发挥重要作用，为我们带来一个 100%由可再生能源提供动力的世界。

——国际可再生能源机构总干事 海伦·佩露斯

顾氏风电非并网理论在世界上是首创，为风电的应用和推广提供了非常有价值的建议，对其他发展风能的国家也提供了借鉴。顾为东在 20 年前提出的这一理论，现在仍能领先世界先进水平，令我感到震惊，我将到世界各地广泛宣传这一理论。

顾为东博士提出了非并网风电系统理论，使非并网风电在世界影响日增，他开辟了世界大规模风电多元化应用的新领域，是这个领域的开拓者和先锋(EI:2010021619377)。

——2005 年，世界风能学会主席 普利本·麦加德

对非并网风电我还是有点体会的，目前非并网风电大会已经开了七届了，这个品牌也开始形成国际影响，这个是中国自己开创的事，应该做得更好。

因为在整个可再生能源方面，我们应该有自己的一些特殊想法，要引领

世界的潮流，不要被世界本身潮流裹胁，我们有自己的特色。

非并网是相对于并网和离网而言，实质是多能源协同，这一点及相应的基础理论研究，顾为东教授是走在世界前列的，为智能微网和分布式能源发展奠定了理论基础。

——中国工程院院士、清华大学教授 倪维斗

非并网风电直接用于高耗能产业，它的影响所及，不仅仅对江苏省，乃至对全国能源结构，能源布局都要产生重大影响，而且对高耗能产业的全国性产业布局，对全球经济都会产生重大的影响。

——国家发展改革委研究员 白和金

非并网风电是可再生能源领域中的全新概念，它把风能和其他不同的能源（多能源协同）联系在一起。非并网风电有很大的发展机会，不仅在发达国家如此，在发展中国家也是如此。

——世界风能协会会长 艾利奥·凯恩

大规模风电非并网在世界上还没有先例，会使中国在风电发展方面成为世界领先的国家。

——世界可再生能源理事会主席 沃尔夫冈

在全球范围内，非并网是风电的一种重要应用，而且这种应用不是小规模的，而是大规模的。非并网风电的研究与开发，揭示了人类大规模风电多元化应用的开端，我们将看到非并网风电在工业方面越来越多的应用。

——世界风能理事会理事长 阿瑟劳斯·泽尔沃斯

发展非并网风电是一个很有意义的进步和创新，我非常乐意与你们共同开展这方面的研究和咨询。

——美国国家可再生能源实验室主任 Dan Arvizu

非并网风电的理论是风电发展的新思路，甚至说是一个很大的挑战，对这种创新思路应当给予鼓励和支持。

——中国宏观经济学会会长 房维中

顾为东博士提出的非并网这一创新理念和概念，对我国风电事业的发展肯定会发挥很重要的作用。

——国务院参事、中国可再生能源学会会长 石定寰

一场颠覆式的革命正在悄悄酝酿之中，假如我们沉醉于传统的进步，将在今后追悔莫及。转变发展方式是中国的时代需求，创新是根本驱动力，中国的改革势在必行。

——国务院参事、原科技部副部长 刘燕华

对于非并网风电我们应抓紧时间进行研究，再过几年等国外风电上网的矛盾激化而开始进行非并网研究时，由于他们人力、物力、财力比较雄厚，就会走在我们前面，造成墙内开花，墙外结果。

——中国风能协会副理事长 施鹏飞

错过了第一次工业革命和第二次工业革命、参与了第三次工业革命后，中国要力争成为这场（第四次工业）革命的主要推动者，赢得长远发展的主动权和竞争优势。

——清华大学国情研究院院长、教授 胡鞍钢

2015年，中国政府实现经济增长6.9%，也就是说，中国经济进入发展新常态后，仍将保持较高速增长。而随着“一带一路”和“亚投行”的成立，中国也将拥有一个国际化的大舞台，那么究竟是什么可以支撑起中国的新一轮发展呢？

首先，我们应该明白：按照目前中国的能源结构现状，中国经济的增长速度与能源消耗是成正比的。而长期以来，由于中国能源的过度消耗，已经给我们的环保带来很大压力，雾霾已经成为中国经济高速发展的副产品，并且非常深刻地影响到了人们生活的方方面面。

因此，在转变经济发展方式的同时，怎么样能够更加充分、健康地利用既有能源，也将是我们应该考虑的重大问题！

2015年，习近平总书记两次提及“能源革命”，将其与科技革命、产业革命并列新一轮全球性的“革命”。李克强总理也提出了“互联网+”的崭新概念，这是一个经济与社会发展的大平台，在这个平台上将演绎一场波澜壮阔、大众创新、万众创业的现代史诗。因此，我们要充分利用“互联网+”这一概念，“互联网+”的本质其实就是把互联网当成像水和电一样的基本工具。在这种思想指导下，笔者将自己的思考凝炼，提出第四次能源革命（产业能源互联网）的战略定位和理论思想，简称“能源4.0”。

令人欣慰的是，历史又给予了中国新的机会。在能源4.0方面，中国在基础理论研究和探索实践方面走在了世界前沿。随着第四次工业革命的到来，互联网化、协作化、智能化是世界工业发展的大势所趋，而中国能源事业的发展也在这一过程中找到了立足点，并且引领了世界能源事业的大方向。能源4.0是“互联网+”这一指导思想在能源领域的重大应用，也可称为“智慧能源”。

该怎么认识能源4.0呢？

能源与工业是一对兄弟，我们先从世界工业史说起。

纵观人类历史上的工业革命，每一次工业革命均有重大的能源革命与之伴生，并成为推动工业革命的原动力。在 18 世纪中叶，人类开始大规模使用煤炭替代薪柴，实现了第一次能源革命，可称为能源 1.0；它促使主要以煤炭为动力源的蒸汽机得以推广和普及，并促成了第一次工业革命，可称为工业 1.0。到 19 世纪中后期，人类开始大规模使用石油，人类社会实现了第二次能源革命，即能源 2.0，促使以石油为动力源的内燃机得以推广和普及，并促成了第二次工业革命，即工业 2.0。进入 21 世纪以来，人类通过互联网技术与可再生能源融合，将分散式的新能源和可再生能源进行集中使用，人类社会进入能源 3.0 时代，由此掀起了第三次工业革命浪潮，即工业 3.0。简言之，能源 1.0，使煤炭和蒸汽机结合，促成了工业 1.0；能源 2.0，使石油和内燃机结合，促成了工业 2.0；能源 3.0，使互联网技术和可再生能源结合，促成了工业 3.0。

如今，德国提出第四次工业革命，即工业 4.0，它利用互联网信息技术与先进的精密机械工业相结合的手段，实现制造业向智能化转型。作为以智能制造为特征的工业 4.0，必然需要可持续的绿色能源和节能、环保、低成本的基础材料做支撑。

我们知道，工业 4.0 的颠覆性在于“智能化”生产，这种智能依靠的是数据、运算和连接，实现了机器和材料、机器和机器、机器和产品的“无缝协作”，发挥了 1+1 远远大于 2 的综合性效应。那么不同性质的能源之间，是否可以通过互联网互通互联统一协作起来，并实现这种效应呢？就好像工业 4.0 并不是某种新设备、新机器的发明，而是整个工业系统在运作方面的升级一样，能源 4.0 并不在于某种“新能源”的开采和运用，而在于整个能源系统的升级！

这就如同在工业 4.0 时代，工厂需要直接对接消费者，随时按照消费者的要求进行生产，而在能源 4.0 时代，能源端也需要直接对接用户端，根据用户端的需求调节能源的供给。

无论是太阳能、风能、地热能，还是核能，每种能源都有它自己的优势和不足。如果能够通过一个调节系统将这些能源平衡起来，制衡能源彼此间的差异，这些能源的能量就能累加起综合效应，势必爆发一场能源大革命！这就

是能源 4.0!

移动互联网的去中心化、大数据的可预见性、互联网的无缝连接、云计算的超级运算等组合在一起,会将碎片化、多元化的能源组成一个“能源互联网”,其中互联网是“智慧能源”的基础,它利用先进的传感器和软件程序将能源生产端、传输端、消费端等数以亿计的设备连接起来,形成一个大能源生态系统。而大数据分析、云计算则使“智慧能源”具备了独立思考能力,它可以整合资源数据、环境数据、气象数据、电网数据、市场数据等,统一进行数据分析和运算,包括负荷运算、储备运算、转化运算、平衡运算,使能源系统成为一个有机整体。

能源 4.0 不仅实现了多种能源的累加综合效应,还实现了能源从消耗到产生之间的环环相扣。它将具备“智慧、协作、进化”的生命体特征,因此也就成为“智慧能源”。

对于能源 4.0 的提出,笔者在此想多用一些笔墨。人们常说“兴趣和爱好是最好的老师”,我自小热爱科学,对科学充满憧憬,20 世纪 70 年代在农村插队时克服重重困难进行了十余项科学实验,并于 1978 年获得江苏省政府“先进科技工作者”殊荣。“非并网风电”也是 1980 年我在家中做实验时,无意中发现的一种自然现象,即在特定条件下多种电流不仅可以共融而且互不干扰,当给予特定的信号源时可以实现按序输出电能的现象。当时我根据实验做的线路图,后经我国风电产业发展奠基人戴昌辉教授、农村能源(新能源)专家吴湘淦教授的指导,构建了多能源协同供电原理性模型,首次提出了“非并网风电”的概念。

当时确定其学术名称为“多能源协同”,但为了便于和“离网”、“并网”相区别及内在联系,就简称为“非并网”。经多年研究、宣传和实践,“多能源协同”已在全世界广为传播,成为目前分布式电源和智能微电网的理论基础。

1980—1986 年,我先后在《中国风能》、《江苏工学院学报》、《太阳能学报》等刊物上发表论文。直至 2006 年 3 月 25 日,在清华大学原副校长倪维斗院士、钱易院士及电力电子实验室主任柴建云教授的支持、协调下,在清华大学电力电子实验室用现代化的设备仪器和严谨的科学方法,重新演示了 1980

年我在家中做的实验。实验过程中，倪维斗院士、柴建云教授等反复实验，重复实现、验证了多能源协同效果，实验报告认为：“该实验数据准确，方法科学，结果可信。非并网风电直接应用于高耗能产业是一个值得探讨的方向，可在此基础上进一步进行工业性中试。”

这次清华园的验证圆满成功，为发展具有中国特色的风电产业走出了一条创新之路，也为构建能源 4.0——产业能源互联网理论奠定了基础。

非常庆幸，在 2007 年，我作为项目首席科学家承担了国家“973”计划“大规模非并网风电系统的基础研究”（2007CB210300），经过数十年的研究已经取得产业化成果，促使我国在宏观经济和能源科技发展的结合上，在能源 4.0 的战略框架下，对全球能源发展改革和经济结构调整开始思考，并将重塑我国乃至世界的经济结构！

能源 4.0 超越了以太阳能为核心的第三次能源革命的范畴，它构建了一个有机的高效、低成本、可持续、可调控的网络系统。一方面，能源 4.0 的核心是产业能源互联网，是互联网技术与智慧能源、智能电网、智能产业的结合，为工业 4.0 提供绿色、可持续的智慧能源和节能、环保的加工材料；另一方面，能源 4.0 为工业 4.0 提供清洁原材料，通过生产清洁产品，实现动态平衡生产，消除以传统能源实现工业 4.0 带来的“原罪”。

对于中国而言，当前经济与社会发展面临的国际、国内环境已比前 35 年改革开放时发生了根本性的变化，人口红利、环境红利和资源红利已基本消耗殆尽，这就要求我们在把握全球经济与社会发展的全局中，找准新一轮经济新常态发展的战略定位，并引领经济与社会的发展，顺利实现新常态。作为科研工作者，有责任为解决国家重大战略需求，为实现中华民族伟大复兴中国梦做出贡献。

在能源 4.0 时代，雾霾失去依附，将自生自灭。而研究能源 4.0 的价值和意义不仅在于对能源领域的认知，更在于其原理背后有深刻的生活原理，如如何协作、如何差异化、如何分配资源等，这将对我们今后的工作和生活起到一定的指导作用。

在这里还需要强调的是，我们的能源还可以利用“亚投行”进行融资生

产，利用“一带一路”进行产能输出，这就把能源 4.0 上升到了国际战略！

中国人历来崇尚“和而不同”，只有“不同”才能产生“和”。但是在工业 4.0 之前，这种情况很难发生。因为大部分产品都是标准化产品，标准化产品的区别是等级之别，有高有低，有三六九等，产品的等级造成各种等级。在一个等级遍布的社会，其实是很难和谐的，但是工业 4.0 就会制造出各种“不同”。

同样，在能源 4.0 时代，各种能源也会彼此协作，依托互联网的连接和大数据、云计算的应用，形成一个由各种能源组成的能源生态体系。

在《周易》里，事物的最高境界是“群龙无首”。其实我们往往都把这个词曲解了，将其理解成混乱而没有带头人的局面。实际上这个词的意义是：一条条的龙首尾相接，在天上盘旋。既然是首尾相接，也就不再有前后之分，大家地位平等，只是位置不同，彼此协作但又没有等级。“群龙无首”被认为是大吉之相，但是需要经过前面曲折的过程才能实现，如“飞龙在天”指的是事物发展的鼎盛阶段，“亢龙有悔”指的是事物鼎盛之后的低调，最后才是“群龙无首”的最高境界。

而能源 4.0 就是中国能源的最高境界！

能源 4.0 为我们建设低成本或零边际成本社会奠定了基础！

2014 年年底，《第三次工业革命》的作者里夫金又出版了《零边际成本社会》一书，并在书中预言：“在分布式太阳能和风能等得到充分发展和利用的未来，人们可能可以像今天通过互联网近乎免费地生产和消费信息一样，借助能源互联网近乎免费地生产和消费能源。”

能源 4.0 让“零边际成本”由概念到实践脱颖而出。在这一系统中可供挖掘的大数据和可以共享的丰富资源，提供了近乎免费且充分多样化和个性化的商品和服务，能够降低边际成本，有时甚至接近于零边际成本。因此，我国广袤、高耗能的传统行业一旦插上移动互联网的翅膀，站在风口上的“猪”也会飞上天。

通过对新能源的革命研究，发现科技创新是实现产业能源互联网根本性的动力。“互联网+”的年代让过去不可想象的事情变得容易，我们需要做的

就是进一步拓宽视野，探索低成本或零边际成本的产业能源互联网。当前，在本书介绍的能源 4.0 的“产业能源互联网体系”中，使用“高载能调峰工业”作为错峰储能载体，开拓了“储电”的新思路。海水淡化、氢能源汽车、电动汽车和污水处理及水回用等 10 多个高耗能行业也可以尝试借助互联网调峰，让发电、用电和高耗能产业降低或接近零边际成本。也就是说，在一些特定时段，通过大数据、云计算可以实现免费为汽车充电、洗衣、开空调和进行冰箱冷冻，免费生产淡化海水、氯碱、铝锭。可以说，能源 4.0 是一个真正的低成本或零边际成本的产业能源互联网，随着“随时使用，何必拥有”的观念被世人接受，闲置资源的利用和分享，让“零边际成本”随处而出（包括交通、运输互联网），为我们通过创新让供应商和制造商、消费者和生产者之间得以建立协同关系，汇成一个合作共赢的互联网新经济时代。

能源 4.0 是与工业 4.0 相适应、面向全球的能源发展战略，也是中国领先世界的原创性科学技术成果，更是我国科技工作者的原创性理论贡献。随着能源 4.0 战略的实施，将推动一个高效、绿色、共享、可持续发展、零边际成本、高效率时代的到来。

实施能源 4.0 战略，我们具有领先优势，因此要在全球视野下抢占世界能源发展和能源革命的先机，通过能源 4.0 战略发展智慧能源，建立全球化的产业能源互联网体系，从而推动我国引领全球重塑经济结构，成为经济优化升级、实现新常态的重要抓手；也是全面、准确贯彻落实党的十八大和十八届三中、四中、五中全会精神，深入贯彻五大发展理念，推动全面深化改革，为实现中华民族伟大复兴的“中国梦”做出贡献。

著者

2016 年 10 月

第一章 能源的历史沿革 / 1

第一节 工业 1.0 和工业 2.0: 从煤炭到石油 / 2

一、工业 1.0: 煤炭与蒸汽机 / 2

二、工业 2.0: 石油与内燃机 / 3

第二节 工业 3.0: 互联网与可再生能源大融合 / 4

一、第三次工业革命: 新经济模式改变世界 / 4

二、制造业数字化革命与 3D 打印 / 5

第三节 工业 4.0: 互联网与能源协同化 / 11

一、工业 4.0: 德国国家战略 / 12

二、一个网络、两大主题、三项集成 / 14

三、智慧工厂与机器人 / 16

第二章 重塑世界经济结构: 从工业 4.0 到能源 4.0 / 28

第一节 能源是工业革命的基础 / 29

一、工业革命的动力来源 / 29

二、能源 4.0 的模式和超越 / 31

第二节 互联网是能源 4.0 的基础 / 32

一、产业能源互联网颠覆了传统电网供电模式 / 33

二、能源 4.0 的五大特征 / 34

第三节 能源 4.0 和产业能源互联网革命 / 36

一、改革: 打破原有平衡, 建立新的平衡 / 37

二、能源 4.0: 建立产业能源新平衡 / 39

第四节 工业 4.0 引发全球格局调整 / 42

- 一、美日工业 4.0 较量：工业互联网和人工智能 / 42
- 二、德日工业 4.0 比较：从历史到今天 / 48
- 三、中国工业 4.0 战略：“中国制造 2025” / 55

第三章 能源理论体系 / 61

第一节 能源研究与社会变革 / 62

- 一、科学家成长记：梦想照进现实 / 62
- 二、永不停歇的追梦人：数十年如一日的研究历程 / 64
- 三、一脉相承理论体系：从非并网风电到能源 4.0 / 68

第二节 我国能源现状和思考 / 73

- 一、全球风电发展的指数时代 / 73
- 二、中国风电快速发展背后隐藏危机 / 77
- 三、中国弃风限电现象的理性思考 / 89

第三节 当前困境和阻碍 / 94

- 一、能源结构和电网构造对煤的过度依赖 / 94
- 二、新能源发展对电网、经济和环境的负效益 / 97
- 三、产业层次对产业发展的路径依赖 / 99

第四章 能源 4.0 的智慧体现 / 101

第一节 认知诞生理论 / 102

- 一、构想：风能资源开发苏北滩涂 / 102
- 二、理论：走向世界的非并网风电系统 / 104
- 三、应用：非并网理论与海上风能开发 / 108
- 四、非并网风电在中国 / 111
- 五、非并网风电在美国 / 117
- 六、非并网风电在非洲 / 120

第二节 逻辑产生智慧 / 123

- 一、新理念催生新科技：智能供电系统特性 / 123
- 二、新科技催生新成果：智能供电系统开发 / 125

第三节 协同演化多元化 / 127

- 一、能源 4.0 的非并网多能源协同供电系统 / 127
- 二、能源 4.0 的智慧能源体系 / 128

第五章 能源平衡与构建高效零边际成本社会 / 132

第一节 传统电网适应能力遇到严重挑战 / 133

- 一、一个挑战：电网调峰能力严重不足 / 133
- 二、一个思路：开发大规模蓄能技术装备 / 136

第二节 高耗能产业浴火重生，用户侧管理成为新型蓄电池 / 137

- 一、华丽转身、用户侧管理：高耗能产业成为电网的大型调峰电站 / 137
- 二、战略意义：高耗能产业功能升级推动供应侧改革 / 140

第三节 新型智能产业调峰与零边际成本时代的到来 / 147

- 一、能源 4.0 的“三个颠覆、两个重塑” / 147
- 二、产业能源互联网与零边际成本社会 / 149
- 三、创新要有文化基础，要形成学派 / 152

第六章 能源 4.0 时代，开放型经济放飞新梦想 / 155

第一节 突破美日 TPP、TTIP、TISA 全面竞争和扼制的利器 / 156

- 一、“修昔底德陷阱”下的中美关系 / 156
- 二、中美“最惠国待遇”的十年较量 / 158
- 三、WTO 框架下的中国国际化进程 / 161
- 四、加入 WTO 的成功要素：中美关系微妙变化 / 164
- 五、重返亚太：美国二次全球化的序幕 / 167
- 六、TPP、TTIP、TISA：对中国的连续扼制和制衡 / 168
- 七、中国对策：“一带一路”外部突破、练好内功，实现全球价值链再分工 / 171
- 八、“一带一路”战略：中国已成净投资国，外部战略框架必须重构 / 175

- 九、能源 4.0 战略：中国练好内功的关键 / 177
- 第二节 新 35 年改革构建开放型经济新机制 / 178
 - 一、“大包干”星火燎原的启示 / 179
 - 二、全面深化改革急需战略突破口 / 181
 - 三、两个弊端转化为比较优势 / 183
 - 四、能源 4.0 与工业 4.0 的协同、协调关系 / 185
 - 五、能源 4.0 水滴石穿的作用 / 188
- 第三节 能源 4.0，“一带一路”的路条和护身符 / 192
 - 一、“一带一路”构建长效合作机制 / 193
 - 二、“一带一路”的风险要素和风险规避 / 194
 - 三、“一带一路”的能源互联互通战略和机制 / 195
 - 四、“一带一路”背景下的产业能源互联网 / 199
- 第四节 能源 4.0 时代，雾霾将自生自灭 / 201
 - 一、雾霾产生于中国能源现状 / 202
 - 二、美国新能源：页岩气革命 / 203
 - 三、能源 4.0 时代的雾霾将自生自灭 / 204

第七章 中国能源 4.0 塑造全球产业、能源新格局 / 206

- 第一节 智能供电大型铝电池零边际成本调峰电站 / 207
 - 一、智能供电大型铝电池零边际成本调峰电站的新理念 / 207
 - 二、经济效益、社会效益、环境效益三位一体 / 219
 - 三、从实验室到产业化，从中国到世界 / 222
- 第二节 氯碱工业实现电网零边际成本调峰 / 225
 - 一、氯碱工业零成本调峰原理和机制 / 225
 - 二、真理易被勇于实践者所掌握 / 232
- 第三节 风生水起：海水淡化零边际成本与零排放 / 236
 - 一、淡水危机困扰全球 / 236
 - 二、取之不尽+用之不竭=风生水起 / 241

三、政府对新能源海水淡化的垂青和支持 / 256

四、非并网风能海水淡化一体化成套装备的实现和人类梦想 / 263

第四节 新能源汽车系统与零电费 / 268

一、零边际成本的高效智能供电制氢系统 / 269

二、新能源汽车与中国沿海氢能高速公路 / 277

三、新能源汽车将迎来零电费时代 / 290

第五节 绿色冶金清洁化 / 292

一、快速增长的产业与日益严重的污染 / 292

二、新思维推动产业绿色化、清洁化转型 / 295

第六节 城市污泥取暖制冷与污水回用 / 301

一、全球污泥、污水治理形势与趋势 / 301

二、湿式空气氧化法污泥处理工艺 / 308

三、污泥、污水和新能源智能一体化利用新系统 / 312

第七节 新能源嫁接传统能源与温室气体“零”排放 / 317

一、新能源+煤化工=绿色加工材料产业 / 317

二、开辟一条非石油的烯烃产业路线 / 336

第八节 城市牧场、城市粮仓与农业生物大革命 / 341

一、有机农业引领生态地球的重要基础：微生物工程 / 341

二、城镇化、人口增长与粮食安全 / 344

三、SCP，人类蛋白质的新来源 / 346

四、城市牧场、城市粮仓：新理念推动农业工业化大革命 / 353

后 记 / 361