



中国式低碳

Low-carbon in China

肖 钢  编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



中国式低碳

Low-carbon in China

肖 钢  编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大能源. 中国式低碳/肖钢编著. —武汉:武汉大学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-307-16746-9

I. 大… II. 肖… III. ① 能源—普及读物 ② 节能—中国—普及读物
IV. TK01-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 210108 号

责任编辑:孙 丽

责任校对:王亚明

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:武汉市金港彩印有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:13.25 字数:249 千字

版次:2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-16746-9 定价:860.00 元(全九册)

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。



“能源”，并不总是人们茶余饭后津津乐道的话题。说起“能源”，不少人会想到石油和国内三大石油公司的强大，还会联想到环境污染和全球气候变暖，但很少有人会想到“能源”本身，以及自己与“能源”的关系。然而，穷人类历史之长，尽人类足迹之远，仰人类文明之高，“能源”可谓与我们的生活息息相关，休戚与共，我们时时、处处都在利用它、依赖它。也正因为如此，“能源”反而更易被人们忽略，就像直到窒息时才想起原来我们是多么地依赖空气一样。日常生活中，我们不可避免使用能源，但很难挑选使用何种能源，无法影响或决定能源的来源、生产方式和价格，更无法通晓纷繁芜杂的能源技术及其发展方向。

时至今日，改变正在发生。随着资源、环境和气候问题的凸显，全球正在一步步迈入新一轮的能源变革，陈旧的能源开采、转化、利用方式正被逐渐淘汰，而新能源事业正悄然兴起，新资源、新技术、新理念层出不穷，一个崭新的时代即将到来，届时人与能源的关系都将发生改变。对于老百姓，不再是被动地接受能源，而是积极地创造，主动地分享，智能地消费。在中国，大多数人可能还无法想象很多丹麦人已经可以轻松地通过电脑软件，随时选择并任意切换不同来源、不同价格的电力供应；更无法想象不少西班牙人每天都会关注全国各地的天气预报，来估算自己在不同地方买下部分股权的太阳能电池能发多少电，并给自己带来多少利润；而美国人已经考虑在自己的车库里安装电网连接设备，用低谷电价给自己的电动汽车充电，并在用电高峰时送电上网，赚取差价……

能源问题，是全球性问题，中国亦不可避免。从某种意义上来说，经济高速增长的中国存在着更为突出的能源问题，而中国人并非后知后觉，也不会熟视无睹。几百年的落后使国人自省，30多年的改革让国人自信，对变革的必要性我们有着清醒的认知，但使我们困惑和迷茫的是怎样付诸实践，向哪些国家学习，优先发展何种能源，以怎样的力度发展，达到怎样的效果，以及能否在改革中保持和谐稳定。

曾经听过一则寓言：一只青蛙遇到了一条蜈蚣，青蛙自忖自己有四条腿，



跳跃自如，而蜈蚣却有无数条腿，竟也行走流畅。青蛙觉得很奇怪，便问蜈蚣道：“你有这么多条腿，那你行走时都是先迈哪条腿呢？”蜈蚣听了青蛙的问话，不由地思考了起来。不料，蜈蚣一思考，竟从此不会走路了。原来蜈蚣从不曾执着于这个问题，只是目视前方，一心向前，自然而然就朝前走了。自从考虑先迈哪条腿后，它忘记了向前看，只盯着自己的脚，结果无数条腿互相磕绊，从此再也迈不开步子了。我想，蜈蚣不久就会明白：孰先孰后并不重要，重要的是认准方向，明确目标，一心向前。中国的能源改革同样如此，我们百般纠结于眼前的主次和先后之时，是否已经找到并确定了改革的正确方向和终极目标呢？

本套书介绍的是高效的能源转化技术、方兴未艾的非常规能源勘探开发技术、梯级利用的节能技术和绿色低碳的可再生能源技术，共包括《中国式低碳》《生物能源》《固体氧化物燃料电池》《二氧化碳》《分布式能源》《天然气水合物》《页岩气》《海洋能》《煤层气》9分册。编者旨在通过本套书来唤起更多人对我国能源问题的思考，提升同仁们对未来能源事业的参与度和积极性。

十方来，十方去，共成十方事；万人施，万人用，同结万人缘。我诚望书中的一些知识能对有缘的读者提供小小的启发，并在此恭候各位的批评指正。

丛书主编 



肖钢博士简介

肖钢，英国皇家化学会院士（FRSC），中国国家“千人计划”特聘专家，美国Case Western Reserve University客座教授，现为能源央企首席科学家。著有《页岩气及其勘探开发》《天然气水合物综论》《新能源经济引领新经济时代》《低碳经济与氢能开发》《大规模化学储能技术》《分布式能源综论》《还碳于地球——碳捕获与封存》《燃料电池技术》《黑色的金子——煤炭开发、利用与前景》等书。作为主要发明人，享有国际及中国授权和受理的专利180余项。



序 言



当前，人类活动同自然界之间的相互影响进一步加深。面对全球温室气体排放及其引发的气候变化，有效促进资源可持续利用、环境可持续发展，努力实现人与自然的和谐，已经成为一个世界性的重大课题。这就需要我们开辟更多的途径，找到更好的办法，而优化能源结构、提高能源转化和使用效率尤其重要。

纵观当今世界，“绿色”不再是业余消遣，不再是流行口号，而是逐渐真正成为发展、建造、设计、制造、工作及生活的方式。当把环境保护等所有的成本都纳入进来时，包括非常规油气在内的新能源变成了最时尚、最有效率、成本最低的做事方式，这是世界正在经历的最伟大的转变。绿色从只是流行变得更加可用，从一种选择变成了一种必需，从一种时尚变成了必胜的战略选择，从一个无法解决的问题变成了一个巨大的机遇。

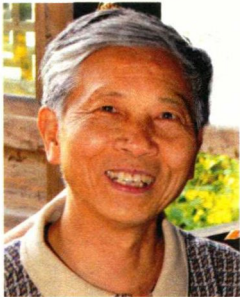
我们有理由深信：发展清洁的新能源和高效能源技术将会变成决定未来50年国家经济地位、环境健康、能源安全及国家安全的战略选择。这场清洁技术革命关系到国家强大与否。今天，我们为了走上绿色道路所做的每一件事都会使我们国家更强大、更健康、更安全、更具创新力、更有竞争力、更能受到尊重。我们在解决自身问题的同时也在帮助全世界解决问题。

从本质上来说，科技决定未来能源。在替代能源发展过程中，到底哪一种能源应该占主导地位，各种新能源应该如何布局，应该由技术论证、环境评测和市场验证来决定。对于这点，科技界提出了林林总总的方案，有些具备了产业化的条件，有些正在开发，有些处于研究阶段，还有些则属于大胆的设想。这些人类的大课题涵盖了很多的学科领域、很广的技术专业、很深的知识层面及很大的行业范围，因此很少有人以通俗易懂的方式将这些技术情况系统地展现给读者。

恰逢此时，我很高兴看到肖钢博士及其合作者正在编写一套“新能源丛书”，该丛书系统地介绍了高效能源转化技术、非常规天然气技术及可再生能源技术等诸多方面的最新进展，这对科研人员掌握国际上新能源发展现状大有裨益，也为希望了解新能源技术概况的人士提供了有用的信息。

肖钢博士是国家引进的海外高级人才，在能源领域成果丰硕。他已经出版了数本学术专著，希望他主持编著的这套《大能源》也会受到读者喜爱。

中国工程院院士 曾恒一



曾恒一院士简介

曾恒一，海洋石油工程专家，中国工程院院士。主持设计、建造了我国第一代海上石油钻探船、海上石油平台导管架下水大型驳船、海上浮式生产储油轮等。主持国家“863”工程的“海洋边际油气田资源开发技术”项目研究并组织编制了海上油气田总体开发方案。主持完成的科研成果“渤海五号、七号自升式钻井船”获国家科技进步二等奖。



前言



前言世界潮流，浩浩荡荡，顺之则昌。低碳经济既是人类应对气候变化的基本方式之一，也是21世纪世界经济发展的基本趋势之一。无论从属于哪个行业，企业都要研判大势，认清趋势，变挑战为机遇。

中国的能源安全，需要放到世界秩序重建和中国崛起这两个宏大的历史事件中去观察。低碳是一种新的游戏规则，是在原有的经济系统之中加入了一个新的且更为严格的约束条件。低碳影响到能源战略和能源安全的各个维度，发展低碳经济也是应对气候变化的必然选择。在经济安全与能源发展维度，低碳的能源战略要求国家必须推进节能减排；在经济安全与能源外交维度，低碳要求国家采取措施保障能源价格稳定，包括合理的碳价；在政治安全与能源发展维度，低碳要求国家保障企业“走出去”，介入热点油气勘探区，同时，在国内不同地区、不同行业之间合理分配减排指标；在政治安全与能源外交维度，要求国家保障供应稳定、来源多元化以及运输安全的同时，积极参与国际碳政治的博弈。低碳时代给国家能源战略和能源安全提出了全新命题，中国将面临来自非传统安全因素的更多挑战。

低碳经济是一场能源革命。这场能源革命意味着能源生产和消费方式都要发生改变。能源消耗企业要增加清洁能源利用的比重；而能源生产企业除提供传统化石能源外，也要增加清洁能源生产的比重。低碳将产生巨大的绿色技术驱动力。低碳的本质还具有复杂性。“低碳”与“绿色”、“环保”等概念的含义不完全相同。一个很“环保”的企业未必是一个“低碳”企业。在低碳背景下，一个传统意义上的环保企业可能因为碳排放过多而失去继续生存的空间。今天的企业为环境和“低碳”买单实际上是为企业未来所做的投资，而不能视为当下的成本。

正直、慈悲的团体和个人，应该用宏大的思维来思考人与自然。我们需要认识到，地球上的生命系统是统一的，我们只是自然的一部分而非独立其外，而且我们必须自然允许的界限内生存；人类虽然拥有改变全球环境的潜在能力，但我们必须谨慎地使用这种能力。我们需要从历史中吸取教训，不单单是从科学技术中吸取真知灼见，还要从世界伟大的哲学和文化等更广阔的知识遗产中攫取智慧。西方16世纪以来的科技革命，使人类的信仰和对大自然的敬畏普遍淡化，科学代之而起，成为左右一切的新权威。人类认识的主攻方向转为以观察、分析、比较、归纳、实验等整理感性材料的精密科学方法，从物质层面穷研宇宙，力图征服自然，以增加物质财富。在这个被经济利益所驱动的时代，速成成为时尚，人为的不择手段渗透到各个领域，为我们的生存带来了

极大隐患。殊不知，身外的一切财物终会“改嫁”他人，抓紧不放乃是徒劳无功。人类向大自然贪婪地索取，什么都要，立刻就要，好像我们是生活在地球上的最后一代人。然而，世界上的物质、事物都是变化无常的，是贪不够的，我们应该留一点给子孙后代！

本书是我几年来所写的一些文章汇总。随着时光的流逝、形势的变化，一些文章的内容已经不够与时俱进，但为了尊重原貌，未做刻意删改，请读者见谅。在文章的撰写过程中，我受到诸多能源大家的观点启发，受益巨大，很多大师的睿智见地被我摘录或融入作品之中，在此我对各位师长深表谢意。书中的一些内容是承蒙很多年轻朋友和记者的鼎力相助才得以成稿的，在此一并拜谢。

说到能源，无外乎“阳光”和“大地”两个来源。在埋头索取物质能源的同时，我们是否也能从这对父母那里学到些精神财富呢？“愿众生有朝一日能够变得像阳光——普照无私之慈悲，像大地——滋养包容之胸怀！”编者谨以这句话与诸位有缘朋友共勉。

年前我一时冲动，答应出版这本集子，及至静心整理，顿感自己才疏学浅，惶恐得汗流浹背。然而，已经答应的事，不好反悔，还是硬着头皮拿出来供有缘的读者批评指正吧。

肖 钢

2015年6月

目 录

综合能源篇	1
1 世界新型工业化道路及我国能源战略思考	3
1.1 世界能源局势分析	3
1.2 中国能源战略的思考	4
2 我国能源产业的问题、背后的矛盾和问题的解决方案	7
2.1 我国能源产业的五大问题	7
2.2 能源问题背后的四大矛盾	17
2.3 我国能源问题解决方案	18
3 保障能源安全的路径	21
3.1 能源来源多元化	21
3.2 节能	21
3.3 能源战略与政策	22
4 用创新思维进行能源创新	23
5 世界能源金融一体化趋势	25
5.1 能源金融一体化体系的建立	25
5.2 “十二五”期间我国能源金融一体化	27
6 新能源不是传说——从世界新能源发展看我国新能源的未来	29
6.1 丹麦——新能源事业的先驱者	29
6.2 日本——新能源事业的开拓者	30
6.3 美国——新能源事业的领跑者	32
6.4 各国经验对我国发展新能源事业的启示	33
7 新能源产业寻求“破局”之路	35
8 可持续发展与低碳 石油企业的责任感——第 20 届世界石油 大会之行随想	36
9 煤炭推动人类社会可持续发展	38
9.1 煤炭——安全的能源供应	38

9.2 煤炭与未来能源	39
9.3 煤炭与可持续发展	39
9.4 煤炭面临的机遇与挑战	41
非常规能源篇	43
1 沉睡的气体	45
2 页岩气开发要借鉴“美国经验”	47
2.1 美国页岩气发展的监管经验	47
2.2 “美国经验”对我国的启示	49
3 非常规天然气开发的环保黄金准则	51
3.1 非常规天然气的发展	51
3.2 非常规天然气发展的环境风险	52
3.3 环境风险的防范以及消除	53
4 从美国经验看构建页岩气可持续发展的“大环境”	56
4.1 美国页岩气革命成功的社会环境	56
4.2 美国页岩气发展对自然环境的冲击及对策	57
4.3 我国为页岩气发展铺就的社会环境及建议	61
4.4 我国页岩气发展面临的自然环境挑战	63
5 42 万亿的诱惑	66
6 煤层气科技可助力海洋石油二次跨越	68
6.1 美国煤层气发展现状	68
6.2 我国煤层气发展现状	69
6.3 制约我国煤层气发展的主要问题	69
6.4 中海油发展煤层气的科技策略	70
7 “可燃冰”——“冰与火”结合的奇妙新能源	72
7.1 什么是“可燃冰”？	72
7.2 沉睡的巨量新能源	72
7.3 带刺的玫瑰——好用却难采	73
7.4 不能等靠国外成熟技术	74
7.5 开采成本高，大型国企或独享可燃冰开采商机	74
7.6 结束语	75

8 非常规天然气资源之致密砂岩气	76
8.1 致密砂岩气	77
8.2 致密砂岩气的特点	77
8.3 北美致密砂岩气发展现状	78
8.4 我国致密砂岩气现状	79
8.5 结语	79
低碳能源篇	81
1 低碳,世界在行动	83
2 低碳,让城市生活更美好	85
3 低碳——中美利益的汇合点	88
4 分布式能源:节能低碳两相宜——兼谈分布式能源利用与中海油 煤制天然气(SNG)的关联	91
5 海洋能成为新能源发展的重点	94
6 海洋温差能发电技术的研究现状及发展前景	97
6.1 前言	97
6.2 海洋温差能概述	99
6.3 海洋温差能发电技术	100
6.4 海洋温差能示范工程	106
7 从杀戮利器到必备能源	131
8 能源新贵——汽车动力电池	134
8.1 动力电池背景需求	134
8.2 我国现有动力电池技术基础及差距	135
8.3 国内动力电池发展方向	136
8.4 结语	137
9 新能源汽车期待自主发力	138
10 人类与 CO ₂ 的博弈	140
10.1 从源头挖掘碳减排潜力	140
10.2 CO ₂ 排放后处理	142
10.3 结语	146
11 未雨绸缪应对碳税	147
11.1 “碳税”之争	147

11.2 能源企业应未雨绸缪	148
12 大规模化学储能技术及应用	151
12.1 大规模化学储能技术的发展	151
12.2 大规模化学储能技术的应用领域	153
媒体互动篇	159
1 “海归”新人情系新能源	161
2 览煤炭世界 采珍贵“黑金”	163
3 伸开双手赶在美好时代来临前——走进肖钢的清洁能源系列丛书	165
4 找回阅读	167
5 化石能源清洁利用:转换思路看新能源	169
6 肖钢:中海油新能源的护航人	171
7 CCS 还碳于地球——对话新能源专家肖钢	174
8 从新能源开始重新确立能源格局	176
9 今天的“非常规”就是明天的“常规”	180
人文科技篇	183
1 视无界、智无穷、心无疆——建设创新型国家关键在于提高企业的 自主创新能力	185
1.1 从战略高度充分认识科技创新的重要意义	185
1.2 我国的可持续发展需要科技创新的支撑引领	186
1.3 我国科技创新战略的思考	187
2 至乐莫如读书	190
3 为时著书 修己惠人	192
4 科学与禅境	194

综合能源篇

从多样化水平来看，我国能源结构性风险仍然存在。尽管我国对石油和天然气的需求在不断增长，但煤仍占主要地位；而可再生能源占消费总量的比例较小，增长较慢。相对原煤储量来说，我国的石油、天然气资源有限，依靠大量进口石油和天然气解决能源需求，从长远来看，存在诸多安全隐患，应当大力开发各种新能源。



1 世界新型工业化道路及我国能源战略思考

笔者近年来有幸接触很多国际国内的能源界领军人物,并聆听他们对当今世界局势的分析及对我国的能源之路应该如何走的看法,收获甚丰。在这里我想谈谈本人的一些思考。

当前,人类正经历着有史以来范围最广、程度最深的变革时期。世界的重心正在从欧美东移,其标志是一批发展中国家的快速崛起。人类正在进行的三大革命——能源革命、产业革命和生活方式革命,使原来公认的全球发展和治理的模式变得过时,按“曾经”的思维来判断世界的问题已经失去准确性。全球金融危机乃至经济危机的出现是因为这个世界的“根本”正在发生变化。具体来说,就是高科技的日新月异导致了人类生产方式和生活方式的变化。全球新的产业分工正在形成,市场规模正在急剧扩大。其结果是,市场边界发生变化,原有的市场经济理论已经很难再被依赖;新生产力大大提高,经济边界日益模糊。比如,前些年电汇是件较慢的事,而现在,每秒钟都有无数笔巨款以电流的速度从世界各个角落汇入汇出。以前的很多理论都是以国家为边界,而现在仅用单个国家的常规手段来治理自己的国家已经捉襟见肘(除非这是个极端封闭的国家),因为整个世界已经互相关联在一起。例如,其他国家货币汇率的微小变动就会对自己国家的产品出口造成重大影响。然而,目前面临的问题是,迄今为止,共同治理世界的理论还没有被找到。

世界经济格局的发展已经形成“经济三世界”,即以美国、英国为代表的高端消费和擅长金融创新的群体,以德国、日本和中国为代表的以制造业和外贸为主的群体,以中东为代表的拥有资源的资源型国家群体。此“经济三世界”之间的巨大差异和所面临问题的不同使得人们很难找到一个方法来同时解决大家面临的所有问题。目前,各国都在积极努力地寻找一条新型的工业化之路——一个新的全球一体化的发展模式。

1.1 世界能源局势分析

西方一度推崇的金融创新是世界金融危机的主要原因之一。人类无法长期依靠金

融创新来生活,因为不创造物质财富的世界只是虚拟世界。在金融危机的阴影下,人类的进步和社会的发展迫切需要新的、创造物质财富的产业来带动。这主要包括两方面内容:一是高科技带来的新产业,另一个是新的能源革命。现在的基本情况是,发达国家 12 亿人的能耗占全球能耗总量的 50%,而世界上其他国家的五十多亿人消耗另 50% 的能源。试想,如果“金砖四国”将近 30 亿人口都向美国看齐,不要谈接轨,只要达到发达国家水平的一半,那么全球的能源已远远不够用。所以,发展中国家未来的发展只能走一条新型工业化的道路。而笔者认为,新型工业化道路的三个关键词应该是:节约资源、节约能源和保护环境。

1.2 中国能源战略的思考

中国能源战略,需要思考“一个加法”、“三个减法”和“一个制约条件”。

①“一个加法”是指要解决能源增量的问题。

从以上分析可以看出,在 30 亿人即将同时进入工业化时代的背景下,能源的短缺是最为突出的问题。纵观世界能源储量及其分布,哪种大宗能源能够提供如此大的能源增量呢?答案是,从中国到全世界,煤炭是最现实可行的、可以解决人类能源增长需求的能源。这就是我们说的加法,即提出用储量巨大的煤炭来满足能源需求的增量。传统化石能源的清洁利用可以被归入新能源的范畴,煤的高效清洁转化利用就是这种情况。研究煤炭的利用必须解决两个问题,即煤炭转化过程的清洁化和所排放的二氧化碳的资源化,而且最好能把这两个问题结合并集成起来考虑。可再生能源对能源增量的贡献也不可忽视。随着科技的进步和政策的倾斜,可再生能源占能源总量的份额会越来越高。同时,我们也应该注意到可再生能源的新生产方式与传统能源的传统生产方式有很大区别,只有把传统能源与可再生能源各自的特点和优势互补性地结合在一起,才能使两者均显现出旺盛持久的生命力。

②“三个减法”是指能源转换过程中的节能、能源使用过程中的节能和常规意义上的节能减排三个方面。

《资治通鉴》中说:“取之有度,用之有节,则常足。”先人的智慧对我们今天的能源事业仍有重要指导意义。清洁能源体系的要素之一是效率。虽然我们应该最先考虑的是清洁能源技术的创新,但是我们不能把明天全部压在技术创新上,必须大力提高能源效率和自然资源生产力,以较少的成本换取更多的发展。开发能够生产清洁可靠、廉价丰富的能源的新技术可能需要耗费很多时间,但是改进能源和资源的生产力(即提高能源和资