

· 新能源丛书 ·

中国式低碳

——肖钢博士谈能源

Low-carbon in China
— Dr. Xiao Gang Talks about Energy

肖 钢◎ 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



· 新能源丛书 ·

中国式低碳

——肖钢博士谈能源

Low-carbon in China
— Dr. Xiao Gang Talks about Energy

肖 钢 ◎ 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



图书在版编目(CIP)数据

中国式低碳:肖钢博士谈能源/肖钢编著. —武汉:武汉大学出版社,2013.10
新能源丛书

ISBN 978-7-307-11080-9

I. 中… II. 肖… III. 节能—中国—文集 IV. TK01-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 138739 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:251 千字

版次:2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-11080-9 定价:38.00 元

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。

◎ 丛 书 序

“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？

此套丛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。编者旨在通过此套丛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。



◎ 序 言 (一)

(翻译稿)

能源是人类发展过程中最重要的因素，是发展的主要资源，对人类的衣、食、住、行等方面具有决定性的影响。同时，新能源对当今世界的重要性正在得到人们的普遍认同。作为世界工业催化行业的领军企业，哈尔杜·托普索公司也认为我们的世界正面临一个清晰而紧迫的需求——能源的新型、清洁和高效的利用方式。

我已经100岁了，比肖钢博士年长48岁，我们是难得的忘年交。大约20年前，年轻的肖钢博士在托普索公司开始他的职业生涯时，托普索家族就了解他并彼此成为好朋友了。从一开始结识他，他的才干以及他对多学科知识的驾驭能力便给我留下了深刻印象。我非常享受与他见面的时光，与他的每一次见面都是一个让我了解更多能源系统与大千世界的绝妙机会。时光飞逝，现在肖钢博士已经成长为一名世界级的领军科学家。他的科学技术知识面十分宽广，横跨无机化学、有机化学、电化学、物理化学和地球科学。他的热情、做事时的巨大激情以及他独特的人格魅力让人印象深刻。肖钢博士是英国皇家化学会院士，这是化学界一个殊胜的头衔，我为有这样年轻而优秀的朋友感到自豪。

肖钢博士近日告诉我他正在为中国读者编写一套“新能源丛书”。我非常高兴能为这套丛书作序，并借此机会向所有对新能源的进步感兴趣的同仁推荐肖钢博士的作品。

哈尔杜·托普索

托普索先生序言原稿

Energy is the most significant factor in human growth since it is the main resource for development and it determines food, transport, industry, housing and so on. At the same time, it is widely recognized that new energy is an area of increasing importance to our world. As one of the leading companies in the catalysis industry, Haldor Topsoe company fully shares the view that this world has a clear and compelling need to use our energy resources in new, clean and efficient ways.

I am now 100 years old. With an age difference of 48 years, I have enjoyed a friendship with Dr. Gang Xiao between generations. The Topsoe family has known Dr. Gang Xiao for 20 years, since he as a young man began his career with the company many years ago. Right from the beginning I was impressed by his talents and multidiscipline approach and I have always enjoyed his presence, and every time we are together I use the opportunity to learn more about energy systems and the wider world. Since our early encounters Dr. Xiao has developed into a world leading scientist with active knowledge across a broad spectrum of science and technology, including inorganic and organic chemistry, electrochemistry, physical chemistry, and geosciences. His enthusiasm, tremendous passion, and his unique appealing personality have always impressed me very much. Dr. Gang Xiao is a Fellow of the Royal Society of Chemistry (UK). This is a distinguished title in the chemistry world. I feel honored to have such a young and outstanding friend.

Dr. Gang Xiao recently told me that he is writing a set of books on new energy technologies to the Chinese readers. I am delighted to recommend Dr. Gang Xiao's books to all those interested in the progress and possibilities in the field of new energy.

Haldor Topsoe



哈尔杜·托普索先生简介

哈尔杜·托普索，1936年毕业于丹麦技术大学（DTU），1940年创立哈尔杜·托普索公司。公司成立70多年来，一直秉持着只有通过应用基础研究才能建立和保持独一无二的催化市场地位的理念，是世界工业催化领域家喻户晓的领军企业。由于成绩斐然，对社会的贡献巨大，哈尔杜·托普索先生曾被授予诸多国际荣誉，包括丹麦皇室授予的皇家大爵士勋章。

◎ 序 言（二）

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，希望他主持的这套“新能源丛书”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

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，而且我们必须在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

2013 年春

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。



