

· 新能源丛书 ·

分布式能源

——节能低碳两相宜

Distributed Energy — A Perfect Match of
Energy-saving and Low-carbon Technology

肖 钢 张敏吉 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

TK01
X291



郑州大学 *040108699420*

· 新能源丛书 ·

分布式能源

——节能低碳两相宜

Distributed Energy — A Perfect Match of
Energy-saving and Low-carbon Technology

肖 钢 张敏吉 ◎ 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

分布式能源——节能低碳两相宜/肖钢,张敏吉编著. —武汉:武汉大学出版社,2012.12

新能源丛书

ISBN 978-7-307-10394-8

I. 分… II. ①肖… ②张… III. 能源—研究 IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 316842 号

责任编辑:白立华 刘小娟

责任校对:邓 瑶

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:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:329 千字

版次:2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-10394-8/TK·3 定价:68.00 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……

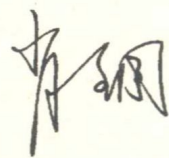
能源问题，是全球性问题，中国亦不可避免。从某种意义上来说，经济高速增长的中国存在着更为突出的能源问题，而中国人并非后知后觉，也不会熟视无睹。几百年的落后使国人自省，30多年的改革让国人自信，对变革的必要性我们有着清醒的认知，但使我们困惑和迷茫的是怎样付诸实践，向哪些国家学习，优先发展何种能源，以怎样的力度发展，达到怎样的效果，以及能否在改革中保持和谐稳定。

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？

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

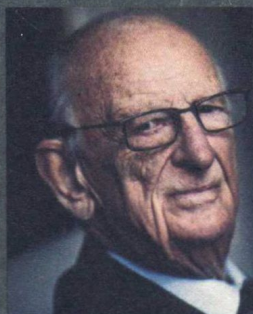
托普索先生序言原稿

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 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置。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

21 世纪是能源革命的世纪,将成为人类社会从物质文明向生态文明演化的变革时代。在物质文明和商业文明大繁荣的今天,人类无法抑制的商品需求和高速增长的生产力,导致了大量能源的消耗,而化石燃料的过度燃烧则造成地球生态环境恶化和全球气候变暖。因此,在有限的资源和严格的环保要求下,如何进一步完善能源利用形式,提高能源利用效率,改善能源产业的环境友好度,解决污染问题,已成为 21 世纪全球可持续发展战略的关键所在。

时代在进步,能源是基础。进入 21 世纪以来,无论是中国的“限电”问题,还是世界各地出现的“大停电”事故,都说明人类社会需要一个崭新的能源系统,以确保能源生产和消费的均衡和安全,确保能源利用的高效、合理和公平,最大限度地减少环境污染和温室气体排放,并推动能源结构的调整 and 新能源的替代。目前来看,能够同时实现上述目标的能源体系,非分布式能源莫属。分布式能源诞生于 20 世纪 70 年代,是能源经济、地球环境政策与科学技术进步的综合产物。40 年来,分布式能源体系和技术在美国、日本、丹麦、荷兰等诸多国家落地生根,并得到了长足的发展。分布式能源以其自身独有的特点为世界能源产业带来革命性的改变,不断推动人类社会朝着环境友好、发展可持续的生态文明方向前进。

在刚刚过去的 2012 年,中国共产党第十八次全国人民代表大会“坚定不移沿着中国特色社会主义道路前进为全面建成小康社会而奋斗”的报告提出了“努力走向社会主义生态文明新时代”的倡议,并要求“把生态文明建设融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程,努力建设美丽中国,实现中华民族永续发展”。以此为契机,分布式能源或将在我国迎来更大的发展机遇;而实现此目标,则需要让我国各行各业的学者、技术人员、管理者、决策者,或者是普通老百姓,都更加熟悉,更加了解,也更加关注分布式能源。

本书作为分布式能源的科普书籍,旨在唤起更多人对分布式能源的关注,提升大家对分布式能源的了解。因此,我们不妨通过这本书,一起来探究各种能源利用和转化技术,剖析国内能源供给系统的现状,借鉴国外分布式能源建设的经验,思考分布式能源的发展方向,共同来探讨并实践先进能源体系对生态文明建设的积极作用。

由于本书编者的理论水平和实践经验有限,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2012 年 11 月

目 录

1 能源和能源问题	1
1.1 能源概述	3
1.1.1 能源的定义	3
1.1.2 能源的来源	7
1.1.3 能源的分类	9
1.1.4 能源和人类发展的关系	14
1.1.5 全球能源开发和应用的现状	17
1.2 能源问题综论	22
1.2.1 世界能源问题	22
1.2.2 中国能源问题	22
1.2.3 能源问题解决方案	28
1.2.4 “分”与“合”的哲学思考	32
2 分布式能源解析	37
2.1 分布式能源概述	39
2.1.1 分布式能源的定义	39
2.1.2 分布式能源资源	43
2.1.3 分布式能源系统	54
2.1.4 分布式能源体系	62
2.2 分布式能源的发展和引入	71
2.2.1 分布式能源的起源	72
2.2.2 国外分布式能源的发展	74
2.2.3 我国分布式能源的引入和现状	76
2.3 我国分布式能源的前景	80
2.3.1 我国分布式能源发展的途径	80
2.3.2 我国发展分布式能源的意义	82
2.4 “智能电网”的提出及其发展	92

2.4.1 “智能电网”提出的背景	93
2.4.2 智能电网的起源和演变	96
2.4.3 智能电网和分布式能源的关系	97
2.4.4 智能电网的特征	100
2.4.5 国际智能电网的实践	103
2.4.6 我国智能电网的讨论	104
2.4.7 分布式能源和智能电网的未来	106
3 分布式能源技术	109
3.1 热电联产技术	112
3.1.1 蒸汽轮机	115
3.1.2 往复式发动机	117
3.1.3 燃气轮机	119
3.1.4 微型燃气轮机	121
3.1.5 燃料电池	130
3.1.6 热泵	140
3.2 可再生能源发电技术	150
3.2.1 太阳能发电	150
3.2.2 风力发电	194
3.2.3 生物质能发电	211
3.2.4 水力发电	230
3.2.5 海洋能发电	246
3.2.6 地热能发电	260
参考文献	267

1 能源和能源问题

当今世界，能源供需间的矛盾，能源利用和环境保护间的矛盾，以及能源安全问题，已成为全人类共同关心的焦点问题。这些问题能否有效解决，已成为维持我国经济可持续发展的关键性课题。能源问题的解决方向国际上公认是以“智能电网”为代表的智能化能源供给体系，切实可行的解决方案就是分布式能源。



1.1 能源概述

能源是人类生存的物质基础。从某种意义上讲,人类文明的发源和发展都源自对能源和先进能源技术的利用。当今世界,能源供需间的矛盾,能源利用和环境保护间的矛盾,以及能源安全问题,已成为全人类共同关心的焦点问题。这些问题能否有效解决,已成为维持我国经济可持续发展的关键性课题。

1.1.1 能源的定义

1973年和1978年两次世界性的“石油危机”,及其衍生的全球大范围的经济衰退,令“能源”一词深入人心。此后30年里,在相对稳定的能源供给条件下,世界经济取得了较大和较快的发展;然而,在利用能源推动经济发展、社会进步的同时,人们也遇到了一系列无法回避的能源安全、能源短缺,以及能源过度使用造成的环境污染等棘手问题。国际上,能源政策已经从国家层面,被提升到区域甚至全球高度;而在我国,能源保障体系也成为关乎我国复兴之路的一条名副其实的“龙脉”。

那么,究竟什么是“能源”?怎样描述?如何定义这种战略资源?事实上,国内外文献中对于“能源”的描述非常丰富。例如:

- ① 世界能源大会(WEC)认为:“能源是使系统能够产生对外部活动的能力”;
- ② 《科学技术百科全书》说:“能源是可从其获得热、光和动力之类能量的资源”;
- ③ 《大英百科全书》说:“能源是一个包括着所有燃料、流水、阳光和风的术语,人类用适当的转换手段便可让它为自己提供所需的能量”;
- ④ 《日本大百科全书》说:“在各种生产活动中,我们利用热能、机械能、光能、电能等来做功,可利用来作为这些能量源泉的自然界中的各种载体,称为能源”;
- ⑤ 我国《能源百科全书》说:“能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源”;
- ⑥ 《2006 节能手册》的定义为:“能源是可以直接或通过转换提供人类所需的有用的资源”。

归纳总结上述描述,我们大致可以概括出“能源”的定义:能源是自然界中对人类有利用价值,并可以通过一定转换技术获取的能量及其载体。

该定义包括几个要素,而这些要素也是判断一种资源能否被称为“能源”的主要依据:

首先,能源包含两层含义:“能”和“源”,既囊括了人类需要的能量,又包括承载这些能量的物质资源;

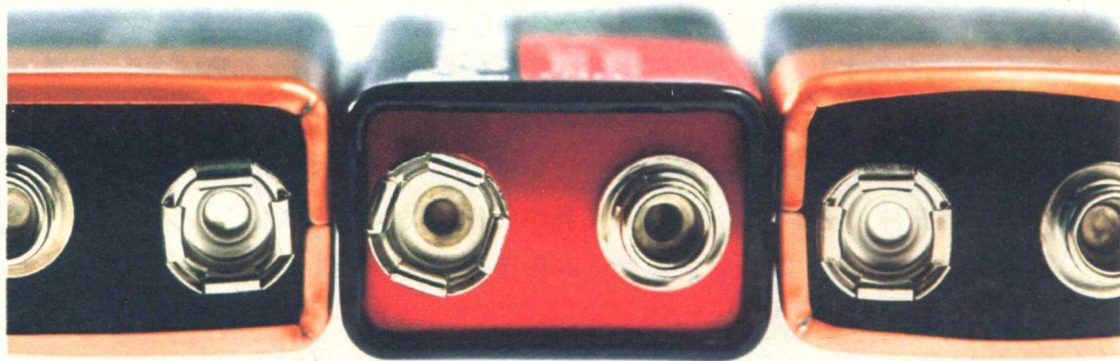
其次,这些能量和物质资源应该是自然界中天然存在的物质,不包括经过工业加工的人造物品;

再次,这些资源所包含的能量必须是人类需要的,存在利用价值,并可以满足人类的特定用途;

最后,这些能量的获取和转化,可以通过人类现有的技术手段加以实现。

1.1.1.1 电池是能源么?

以上述几点作为判断依据,我们不难看出,任何形式的电池都不是能源,因为电池虽然拥有载体,蓄有能量,有利用价值,也可以通过技术手段加以提取转化,但并非天然物质,不是能量的自然载体,所以我们通常称之为“电源”,而不会称之为“能源”。非但电池不是能源,“电”本身也不是能源,人类使用的电力并非取之天然;与之类似,经过工业加工的汽油、柴油、酒精、清洁煤这类人造的“燃油”和“燃料”,虽然经常被称为“二次能源”,但其本质上与能源也是有区别的。习惯上,我们通常在讨论“能源储量”和“能源结构”时,完全不考虑“二次能源”;而在谈及“能源供给”和“能源安全”时,又将能源与之混为一谈,这些约定俗成的说法,下文中就不再一一解释。



1.1.1.2 粮食是能源么？

这个问题,我们必须从两个角度去思考。首先,粮食作为食物,并非通过技术手段提取、转化,并利用的,而是凭借人类自身的消化循环系统吸收,通过人类的本能而非技能获取,那么就不能称之为“能源”,就像我们并不把“人力资源”称为“人力能源”。但换一个思路,如果食物被当做原料,通过化学手段来制造乙醇或其他生物质燃料,甚至直接用来燃烧,在这种情况下,粮食就当被认为是一种最原始的能源——生物质能。生物质能是人类最先掌握的一种能源,其利用广泛且历史悠久。由于我国人口众多,耕地有限,而粮食又是保证人民日常生活和国家安全的重要战略物资,其价格对国民经济更有着重大的影响,所以我国政府并不允许将粮食作为“能源”来加工利用。

