



新能源

—人类的必然选择

XINNENGYUAN RENLEI DE BIRAN XUANZE

王革华 编著



化学工业出版社

407.2
W82

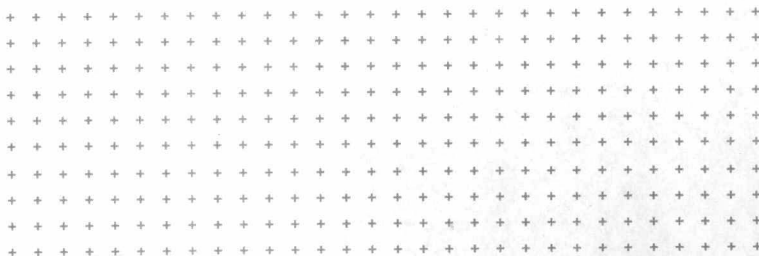


新能源

—人类的必然选择

XINNENGYUAN RENLEI DE BIRAN XUANZE

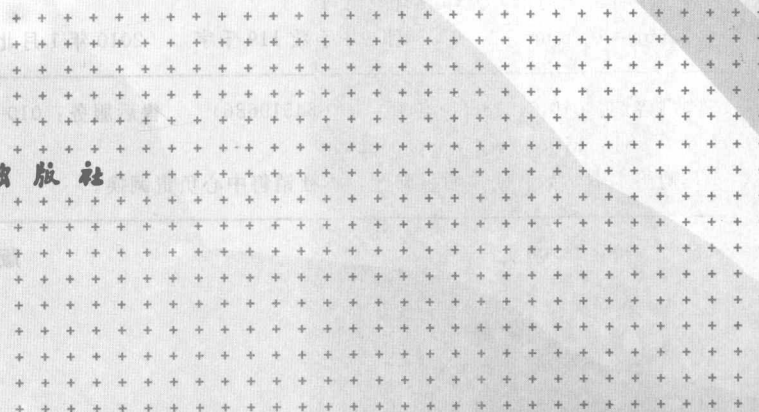
王革华 编著



化学工业出版社

·北京·

F407.2
W/82



图书在版编目 (CIP) 数据

新能源——人类的必然选择/王革华编著. —北京:
化学工业出版社, 2009. 12
ISBN 978-7-122-07098-2

I. 新… II. 王… III. ①能源政策-研究 ②能源
法-研究 IV. ①F407.2 ②D912.604

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 228481 号

责任编辑: 赵玉清
责任校对: 王素芹

文字编辑: 颜克俭
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 9 字数 119 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

当今，无论如何强调发展新能源和可再生能源的意义都不过分。我们的世界正面临着由于以化石燃料为基础而支撑的能源系统带来的一系列威胁：资源枯竭、环境污染、生态恶化、气候变化、贫富不均，直至由于能源问题而引发的国与国之间、地区之间的冲突、纠纷不断，直至战争。新能源和可再生能源具有资源可持续、清洁、分布均衡等特点，必将成为未来可持续能源系统的支柱。

我国的经济社会正在快速发展。在能源方面，我们既需要充足的能源供应以保障全面建设小康社会目标的实现，同时我们也面临着国内资源和环境的威胁，国际社会温室气体减排的压力。因此，国家把发展新能源和可再生能源作为长期能源战略的重要组成部分，而且制订了以《可再生能源法》为基础的一系列政策措施。几年来，新能源可再生能源在我国得到了快速发展，其广阔的前景正日益显现出来。

清华大学长期致力于能源科学研究和人才培养，形成了新型核能、太阳能、风能、生物质能以及新能源战略和政策等领域的新能源科研和教学体系，取得了一批有影响的科技成果。以这些科研和教学经验为基础，并吸收了国内外同行的大量研究成果，在化学工业出版社的支持下，几位教师编写了这套新能源丛书。

丛书按能源种类分册，内容涉及发展新能源的战略和政策，各类新能源资源核技术的特点、技术和产业发展现状、未来的发展趋势展望等。丛书内容丰富、通俗易懂，从中可以较清晰地了解发展新能源的意义，各种新能源技术的基本原理和发展路线、发展前景等，对于广泛和

系统了解和认识新能源，这是一套很好的读物。

当然，新能源的发展是一个很复杂的系统工程，是一个很长的产业链、政策链和基础设施链，牵涉到技术、体制、政策、社会和个体的行为。所以，要起到有份额的作用，还有很长的路要走，尤其和我国国情有十分紧密的联系。在此期间，各种技术的发展有可能不一致，会有很大的差异性。我们目前的认识，在技术发展有新突破、政策上有新措施的条件下将会有很大的变化。今天我们认为有前途的方向可能将来会“边缘化”，一些新的方向可能“异军突起”。总之，我们作为科技工作者应该结合国情不断变化地在技术创新方面下功夫，走出我国自己的新能源和可再生能源发展的道路来。相信这套丛书的发行，会在提高社会各界对新能源的了解，普及新能源知识，促进我国新能源快速发展方面做出应有的贡献。

虽然丛书中有有关可再生能源的描述，社会上的专家不见得完全意见一致，有些同志会有不同的看法，这是很正常的。一个新生事物的发展总不可避免的有各种看法，在争议中成长。但是，了解它是第一位的，只有不断深入的了解，不断实践才会逐渐接近真理，这套丛书的作用就在于此。

清华大学教授

工程研究院士

倪维斗

2009.12.4

前言

能源危机、环境恶化、气候变化等全人类共同面临的问题，使各国的科学家、政治家认识到：开发利用新能源和可再生能源是实现可持续发展的能源供应、应对全球气候变化的必然选择。新能源的研究已成为国际热点，新能源产业也得到了快速发展，关于新能源和可再生能源的论著也大量涌现。本书的目的是希望通过比较浅显的概念、利用大量的事实和例子，论述和介绍发展新能源的意义，以使更广泛的读者加深对新能源的认识。

全书共5章。第1章首先回顾了人类利用能源的历史及能源与人类社会进步的密切关系。第2章回顾和评价了化石燃料对人类现代文明的巨大贡献，同时分析当今以化石燃料为主的能源系统在资源、环境、安全等方面的不可持续性。第3章首先指出要实现人类社会的可持续发展必须开发利用新能源，并系统简要地介绍了各种新能源的技术、经济和环境特点及其发展形势。第4章分析了发展新能源面临的技术、经济和市场等障碍。第5章介绍了为克服新能源发展的障碍，国际上所采取的促进新能源发展的政策工具，我国的《可再生能源法》和配套政策及其对我国新能源和可再生能源发展的推动作用等。

本书是在国内外学者、专家、企业家、官员的大量研究和分析基础上编写而成的，集中了大批同仁的大量研究成果。由于参考和引用的文献较多，难以一一致谢，作者在此一并致以衷心的感谢。

作者希望本书能为从事能源系统分析研究的科研人员和大专院校教师、政策制定和相关管理者以及产业界人士提供参考，也可作为能

源及相关领域人员的科普教材。本书通俗易懂，适宜具有高中以上文化程度的各界人士阅读。

由于新能源技术发展迅速，加之作者研究和认识的深度和广度所限，书中不当之处，敬请读者批评指正。

编著者

2009年11月于清华大学

作者简介

王革华，1961年生，北京市人，清华大学核能与新能源技术研究院副院长，研究员。1984年毕业于清华大学自动化系，1987年毕业于清华大学核能技术研究所管理工程专业，工学硕士。1987~2002年在农业部规划设计研究院从事农村能源与环境保护领域的规划、政策等研究工作，曾任能源环保所所长。2002年4月起在核能与新能源技术研究院从事新能源与可再生能源经济、战略等方面的软科学研究和教学工作，并讲授《资源管理与可持续发展前沿专题》和《新能源概论》研究生课程。出版了《能源与可持续发展》、《新能源概论》、《农村能源项目经济评价》等著作。曾获农业部“中青年有突出贡献专家”称号。担任中国能源研究会常务理事、中国可再生能源学会理事、中国农业工程学会常务理事、中国农村能源行业协会副会长等。

目 录

1 人类发展需要能源作动力 / 1

1.1 火使人类迈向了文明	1
1.2 薪柴和木炭一直是人类的重要能源	4
1.3 煤炭的利用推动了产业革命	5
1.4 石油奏响了现代文明的主旋律	7
1.5 能源与现代国民经济发展的关系十分密切	11

2 化石燃料对人类的贡献及面临的危机 / 13

2.1 化石燃料支持了现代社会的生产和生活	13
2.1.1 能源与现代社会生产	13
2.1.2 能源与现代生活	15
2.2 化石燃料资源正面临着枯竭	16
2.3 化石燃料的开发利用引发严重的区域环境问题	18
2.3.1 酸雨	19
2.3.2 烟雾和灰尘	23
2.3.3 氮氧化物	25
2.3.4 破坏地表和植被	25
2.4 全球环境问题——温室气体与气候变暖	26
2.5 能源——战争的导火索	38

3

可持续发展的动力：新能源 / 44

3.1 新能源是未来能源系统的支柱	44
-------------------	----

3.2 太阳能：取之不竭、用之不尽	46
-------------------	----

3.2.1 太阳能热利用	47
--------------------	----

3.2.2 太阳能光伏发电	52
---------------------	----

3.3 风能：崭露头角的清洁能源	55
------------------	----

3.4 生物质能：用途广泛、常用常新	62
--------------------	----

3.4.1 厌氧消化	64
------------------	----

3.4.2 造粒	66
----------------	----

3.4.3 直接燃烧和热-电联用	66
------------------------	----

3.4.4 热解	70
----------------	----

3.4.5 气化	71
----------------	----

3.4.6 生物燃料	71
------------------	----

3.5 氢能：氢经济的基点	73
---------------	----

3.6 海洋能：极具潜力的新能源	77
------------------	----

4

大规模发展新能源还有一定障碍 / 79

4.1 要不断研发新的技术	79
---------------	----

4.1.1 光伏发电的技术问题	79
-----------------------	----

4.1.2 风电产业发展的技术问题	81
-------------------------	----

4.1.3 生物质发电的技术问题	81
------------------------	----

4.1.4 生物燃料的技术问题	83
-----------------------	----

4.2 要达到能与常规能源竞争的成本	84
--------------------	----

4.2.1 目前光伏发电经济性不强	84
-------------------------	----

4.2.2 风电项目经济性并不明显	86
-------------------------	----

4.2.3 生物质发电难以与火电竞争	87
--------------------------	----

4.3 要培育新能源市场	88
--------------	----

5 促进新能源发展的政策措施 / 94

5.1 国外促进新能源发展的政策工具及其实践	94
5.1.1 固定电价制度	95
5.1.2 配额制	97
5.1.3 能源税	100
5.1.4 特许权政策	104
5.1.5 财政补贴	105
5.1.6 公共效益基金	106
5.2 我国《可再生能源法》的主要法律制度	107
5.2.1 立法的背景及目的	107
5.2.2 主要法律制度	108
5.3 《可再生能源法》的实施	112

附录 / 117

附录1 世界10大新能源和可再生能源工程	117
附录2 《可再生能源法》	125

参考文献 / 132

1

人类发展需要能源作动力

能源是指能够提供某种形式能量的物质或物质运动。在人类历史的演化中，能源的利用与人类社会的发展几乎是同步发生的事情。火是人类最早开发与利用的能源。自此之后，人类走出了野蛮与蒙昧，并一步步开发与利用了柴薪、畜力、煤炭、石油、电力、核能、太阳能、风能、水能、氢能等种类繁多的能源。

人类的存衍是人类文明发展的基础和载体，而能源又是人类存衍的物质基础之一，因此人类文明的每一次推进都离不开能源的支持。同时人类所创造的文明的每一次突破又扩大了人类利用能源的范围。能源开发和利用与人类文明这种相互推动使人类社会从原始的穴居生活过渡到现代文明。尤其是从现代社会能源与物质生产资料和生活资料的生产和配置过程上看，能源是现代社会文明发展的基础和动力。

1.1 火使人类迈向了文明

火的使用是人类利用能源的开始。正是由于人们对火的发现和利用，人类才迈出了走向文明的步伐。对于人类社会的发展与进步最重要的莫过于人们对火的发现和利用。

火原是大自然中的一种自然现象，如火山爆发引起的大火、雷电击树木或含油物质所产生的天然火。这些野火远在人类诞生以前就存在于地球上了，在人类的童年时代人们还不会用火。据考古学研究，在旧石器时代早期，原始人类学会了用火。但是，是谁首先发明了火的控制技术，这一问题已经无从考证了。种种迹象表明，人类首次使用火是在

380 万年前。

在我国，距今 170 万年前的元谋人的遗址、距今六七十万年前的北京人遗址，都留有用火的印记。在元谋人遗址的地层里，炭屑的厚度约有 3m；北京人遗址中的灰烬和灰屑更多，有些成堆，有些成层，有一处灰烬层厚达 6m。这两处遗址相当于考古学的旧石器时代前期和中期。火的使用标志着人类开始了对能源的使用^[1]。

原始人用火可能有两个阶段，最初只是利用天然火。当他们初次品尝到经大火烧熟的野物时，觉得比起生吃野物的味道美得多，而且更易咀嚼，于是开始变生食为熟食，逐渐告别了“茹毛饮血”的原始状态。到了化石智人阶段，开始了人工取火。最早的取火方法是用黄铁矿打击燧石，冒出火花点燃引火物而获得火种。到了旧石器时代晚期，随着钻孔和磨制技术的发展，才发明了摩擦的人工取火方法。在中国文化传说中，流传最广的人工取火故事便是“钻木取火”了：上古时人们因生食而伤胃生疾，于是便“有圣人作，钻燧取火以化腥臊，而民说之，使王天下，号之曰燧人氏”。

人类发现火与掌握火的控制技术后，在火的使用过程中，逐步改变了自身的外观和内质，改进了生存与生活方式，一步步走进了远古文明^[2]。

火扩大了人类的食物来源，改变了食物的内部结构，从而增强了人类的体质，促进了大脑的发育。大量过去不能吃的块根植物和植物种子成为熟食；火用来帮助狩猎，提高了原始人的狩猎水平，野牛、野猪、剑齿虎等原来不易捕获的大型猛兽在烈火中成为原始人的美餐。原始人类从生食到熟食，使他们的体力和脑力获得了划时代的发展。由于熟食能缩短消化过程，使更多的养料被人体吸收，并使血液中的化学成分有所改变，促使人的体力增加、脑髓发达。如 30 万年前的北京人的平均脑容量为 1059ml，1 万年前的山顶洞人的脑容量为 1200~1500ml，已达到现代人的脑容量变化范围，身高也与现代华北人的身高接近。

火改善了原始人的生活状况。夜间，原始人在其栖息的地方燃上一堆篝火，既解决了晚上的照明问题，还可防止各种野兽的偷袭，从而能获得安逸的睡眠。经过烧烤的肉食可储存起来备荒，由此摆脱了“饥则觅食，饱则弃余”的境况。

用火来加工武器和工具。木棒是原始人的重要生产工具之一，用火可以使木棒得到进一步的加工，如将木棒变尖、弯曲、切断，而且，经过火烤的木棒防腐耐用。木矛用火烧后再冷却，它的尖部变得坚硬。火的使用还提高了原始人制造生产工具的能力。过去原始人只能捡拾一些砾石和风化石来打制石器，自从懂得了用火之后，他们就可火烧水泼的方式从岩层中剥落大量的片状石块，源源不断地打制所需的石器。我国的考古工作者在广东南海市的樵山、四川汉源县的富林镇和内蒙古大青山南麓的大窑村发现了石器时代火烧水泼开采石料和打制石器的遗迹。人类还用火制舟，即在一段整木上烧出一道深槽，制成独木舟，进行水上捕捞。

人工取火扩大了原始人的生活领域。当原始人掌握了人工取火技术后，就可离开山洞或原始森林，沿着河流去寻找新的生活场所，向过去未曾生活过的地区扩散。迄今在中国发现的旧石器时代遗址，遍布全国二十几个省、市、自治区，说明古人类在这块大地上的活动范围已经相当宽广。生存领域的拓展提高了原始人的生存适应能力，同时使他们的体质和智力（特别是智力）得以显著发展。

火促进了原始农业的发展。在长期使用篝火的过程中，人们发现泥土制品经过火烧变得坚硬牢固，遇水也再不会变成泥巴了，这样人们就学会了制造陶器。陶器的发明使人们有了储水的器皿，也有了煮食的工具。随着用火本领的提高，人们开始冶炼金属，使用青铜器。以后由于鼓风技术的诞生，人们进一步发明了生铁的冶炼。有了青铜器和铁器后，人类大规模地砍伐森林、开垦荒地，使发展农业和开发牧场成为可能，于是在农业上发展到“刀耕火种”的时代。“刀耕火种”对人们定居下来起到了很重要的作用，对于完全依靠自然赐予的古代人类来说，

是一个很大的进步。

1.2 薪柴和木炭一直是人类的重要能源

人类发现与利用火以后，从远古时代直至中世纪，在长达 300 多万年的时间里，柴薪以及木材制成的木炭一直是主体能源。在这段漫长的时期中，人类创造了丰富的文明成果。冶炼金属、制造生产及生活工具，都极大地提高了人类的生产、生存能力。在这个基础上，人类的科学技术水平也得到了发展。

在旧石器时代，火的基本燃料是枯草、枯枝；到新石器时代中、后期以后，人类利用砍木工具砍伐柴薪，并将木柴制成早期的二次能源——木炭。木炭作为无烟燃料，用于家庭做饭、室内取暖甚为方便。人们还用柴薪和木炭烧制陶器、冶炼金属，制成各种生产与生活用具。

到了 16 世纪欧洲文艺复兴时期，欧洲各国工业逐步得到发展。随着工业和社会各方面的发展与技术的提高，社会对木材的需求量增加很快。木材除了作为燃料外，还被广泛用来建筑房屋、制作家具、修造航船。并且自从史蒂文森发明火车以后，随着铁路的普及，大量木材被用作铁路枕木，社会对木材的需求量增加更快。与这些建设方面用材相竞争的用作燃料的木材的供应出现了困难。燃料短缺，使工业发展陷入困境。为此，欧洲各国加剧采伐木柴，使森林相继变为原野。滥伐森林使环境遭受严重破坏，经济发展也处于停滞不前的状态。欧洲社会文明面临着可否持续的危机。恰在这时，煤炭的大量开发和利用使人类走出了这场危机的泥沼。

但是，直到现在，薪柴仍然是一些不发达国家和地区的主要能源（图 1-1）。

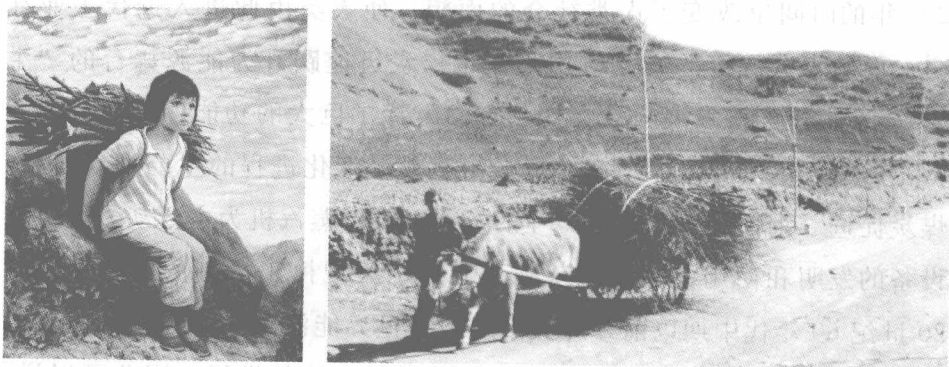


图 1-1 拾柴

1.3 煤炭的利用推动了产业革命

18 世纪，欧洲发生了产业革命。产业革命首先发生于英国。18 世纪 60 年代棉纺织领域工具机（也叫工作机）的革命，揭开了产业革命的序幕。起初的织布机、纺纱机是以人的体力为动力，之后又发展为以水力为动力。水力机虽然比人力机强大，但是明显地受到地域与水量的限制。寻找一种新的能源，发明更强大、更稳定的动力机，成为产业革命继续前进的关键与核心。

1698~1782 年，从英国工程师托马斯·塞维利、铁匠托·纽可门到大学仪器修理工瓦特，一步步制成、改进、完善了燃煤蒸汽机。瓦特发明的联动旋转式蒸汽机，实现了标准化，成为通用式动力机。马克思对此发明的意义给予了高度评价，他认为直到瓦特发明第二种蒸汽机，即所谓的双向蒸汽机后，才找到了一种原动机，它消耗煤和水而自行产生动力，它的能力完全受人控制，它可以移动，同时它本身又是推动的一种手段；这种原动机是在城市使用的，不像水车那样使生产分散在农村；它在工艺上的应用是普遍的，在地址选择上不太受地点条件的限制^[2]。

产业革命因燃煤蒸汽机的发明与推动而得以波澜壮阔，它在不到

200 年的时间里改变了人类社会的面貌，使人类由此进入近代工业社会。而燃煤蒸汽机的广泛应用又使得煤炭迅速跃升为能源舞台的“主角”，在促进经济发展与社会变革方面发挥了巨大的功能。在将近两个世纪的第一次工业革命期间，煤炭一直是工业化进程的主要推动力量。煤炭促进了钢铁工业和电力工业的发展以及以蒸汽机为主要动力的机器设备的发明和使用，并在此基础上促进了大规模工厂制的出现。直到 20 世纪 60 年代中期以前，煤炭始终占据世界能源的主导地位，用煤炭产生的热源、动力源和电力源，推动着世界经济的发展。因此可以说，自产业革命开始主要是靠煤炭推进了人类文明的进程。

以煤炭作燃料的蒸汽机的应用，使人类社会的生产力在人类历史上第一次摆脱了束缚自己发展的桎梏。瓦特去世后，后人在纪念他的讣告中是这样形容他发明改进的蒸汽机的：它武装了人类，使虚弱无力的双手变得力大无穷，健全了人类的大脑以处理一切难题。它为机械动力在未来创造奇迹打下了坚实的基础，将有助并报偿后代的劳动。

产业革命后，蒸汽机在工业、交通运输等领域的广泛使用，极大地促进了对地下丰富的矿物燃料——煤炭的开发利用。1860~1920 年，煤炭在世界能源构成中所占的比重由 24% 递增至 62.4%，取代柴薪和木炭，一跃成为第二代主体能源。从 20 世纪初期开始，世界进入了“煤炭时代”。



专栏 1-1 德法煤铁之争

煤炭作为早期资本主义发展的主要能源，逐渐渗透到现代工业社会的各个方面，它的重要性随之大大得到加强，其政治性也开始逐渐显露出来。随着工业化的发展，资本主义国家之间对原料产地、商品市场的争夺逐渐加剧。19 世纪末 20 世纪初，各资本主义国家向帝国主义过渡，资源成为发展最主要的动力。煤炭、钢铁作为当时最主要的工业材料不再仅仅是一种经济资源，而是成为各国竞相争夺的政治资源。这一时期，法国和德国的资源冲突