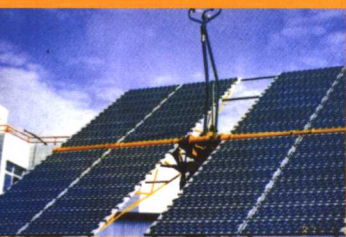


21世纪可持续能源丛书

太阳能利用技术

罗运俊 何梓年 王长贵 编著



化学工业出版社

21世纪可持续能源丛书

太阳能利用技术

罗运俊 何梓年 王长贵 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

太阳能利用技术/罗运俊, 何梓年, 王长贵编著.
北京: 化学工业出版社, 2005. 1
(21 世纪可持续能源丛书)
ISBN 7-5025-5680-X

I. 太… II. ①罗…②何…③王… III. 太阳能-
利用 IV. TK519

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 064735 号

21 世纪可持续能源丛书

太阳能利用技术

罗运俊 何梓年 王长贵 编著

责任编辑: 陈志良

责任校对: 郑捷

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 21½ 彩插 2 字数 377 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5680-X/TK·1

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

能源是人类社会存在与发展的物质基础。过去 200 多年，建立在煤炭、石油、天然气等化石燃料基础上的能源体系极大地推动了人类社会的发展。然而，人们在物质生活和精神生活不断提高的同时，也越来越感悟到大规模使用化石燃料所带来的严重后果：资源日益枯竭，环境不断恶化，还诱发了不少国与国之间、地区之间的政治经济纠纷，甚至冲突和战争。因此，人类必须寻求一种新的、清洁、安全、可靠的可持续能源系统。

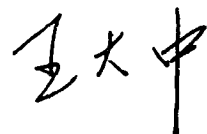
我国经济正在快速持续发展，但又面临着有限的化石燃料资源和更高的环境保护要求的严峻挑战。坚持节能优先，提高能源效率；优化能源结构，以煤为主多元化发展；加强环境保护，开展煤清洁化利用；采取综合措施，保障能源安全；依靠科技进步，开发利用新能源和可再生能源等，是我国长期的能源发展战略，也是我国建立可持续能源系统最主要的政策措施。

面临这样一个能源发展的形势，化学工业出版社组织了一批知名学者和专家，撰写了这套《21 世纪可持续能源丛书》是非常及时和必要的。

这套丛书共有 11 册，以每一个能源品种为一册，内容十分广泛、丰富和充实，包括资源评价，新的工艺技术特性介绍，开发应用中的经济性和环境影响，还涉及到推广应用和产业化发展中的政策和机制等。可以说，在我国能源领域中，这套丛书在深度和广度上都达到了较高的学术水平和实用价值，不仅为能源工作者提供了丰富的能源科学技术方面的专业知识、信息和综合分析的政策工具，而且也能使广大读者更好地了解当今世界正在走向一个可持续发展的、与环境友好的能源新时代，因此值得一读。

我们期待本丛书的出版发行，在探索和建立我国可持续能源体系的进程中作出应有的贡献。

中国科学院院士

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters '王大中' (Wang Dazhong).

2004 年 7 月 8 日

前言

能源是人类生存和社会发展的物质基础，而年人均能耗是评价一个国家贫富的重要标志。

我国的矿物能源储量虽然比较丰富，但是人均能源资源却只有世界人均能源资源的 $1/2$ 左右，年人均能耗仅为美国的 $1/12$ ，俄罗斯及西欧的 $1/5$ ，日本的 $1/4$ 。

从能源消费结构来看，我国是世界上最大的煤炭消费国，煤炭消费约占总能耗的 67% ，这是我国环境污染特别严重，生态恶化逐年加剧的重要原因。因此，大力发展新能源与可再生能源已成为中国 21 世纪发展国民经济和建设小康社会刻不容缓的主要任务和战略目标。

太阳能的开发和利用是开发和利用新能源与可再生能源的重要内容。太阳能具有资源丰富、取之不尽、用之不竭、处处均可开发应用、无需开采和运输、不会污染环境和破坏生态平衡等特点。因此太阳能的开发利用将有巨大的市场前景，它不仅带来很好的社会效益、环境效益，而且还具有明显的经济效益。我国十分重视太阳能的综合开发利用，在北京已建成集光电、光热、热泵、空调、采暖为一体的新能源综合示范楼（见彩图 1）。

我国是太阳能资源十分丰富的国家之一， $2/3$ 的地区年辐射总量大于 $5\,020\text{MJ}/\text{m}^2$ 、年日照时数在 2 200 小时以上。尤其是大西北，太阳能的开发利用具有巨大的潜力，是一个十分诱人的产业。

为了普及、宣传和推广应用太阳能，我们编写了这本书。本书对太阳能光热转换和光电转换两大领域进行了叙述。具体内容包括太阳热水器、太阳灶、

太阳房、太阳能干燥、太阳能温室、太阳能制冷与空调、太阳能热发电系统和太阳能光伏发电系统等。本书对上述内容从原理、类型、结构设计、安装施工和典型实例等几个方面进行了介绍和分析。其中第 1、2、10、11 章由王长贵编写，第 3、7、9 章由何梓年编写，第 4、5、6、8 章由罗运俊编写。

本书在编写过程中，由于作者水平和掌握材料所限，难免有不足和欠妥之处，恳请广大读者给予批评指正。

编者

2004 年 8 月



图1 新能源综合示范楼



图2 家用平板太阳热水器



图3 热管真空管热水工程



图4 平板太阳热水工程（云南）



图5 大型住宅真空管热水工程(四平)

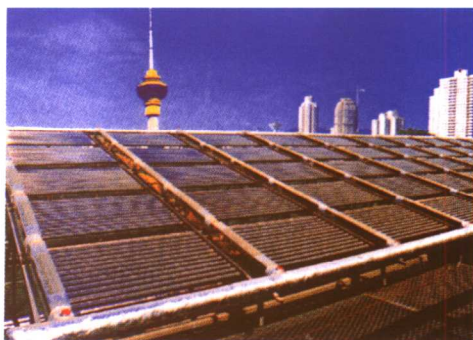


图6 真空管热水工程(北京)



图7 真空集热管生产车间



图8 箱式聚光太阳灶



图9 太阳房



图10 太阳能空调系统（山东）

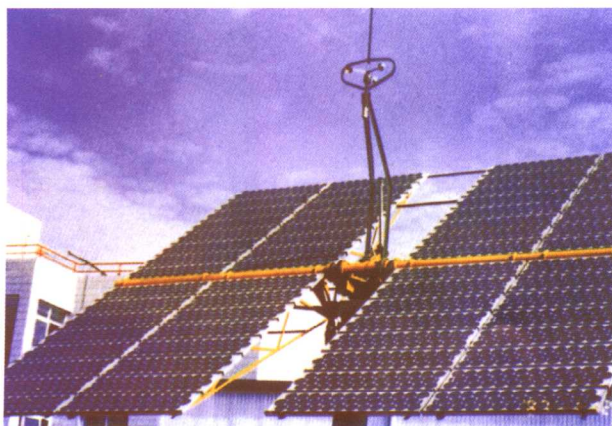


图11 大型太阳光伏发电装置



图 12 太阳能光伏发电系统 (80kW_p, 西藏)



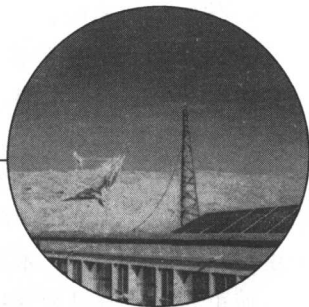
图 13 阴极保护系统用太阳能
光伏发电站 (新疆)



图 14 21 世纪中国乡村太阳
能示范学校 (河北)

第 1 章

概 论



太阳能是新能源和可再生能源的一种，因此本章首先介绍新能源和可再生能源的含义、特点及种类和开发利用新能源和可再生能源的重大战略意义，然后介绍太阳能利用简史和太阳能利用基本方式。

1.1 新能源和可再生能源的含义、特点及种类

(1) 新能源和可再生能源的基本含义

1981 年联合国于肯尼亚首都内罗毕召开的新能源和可再生能源会议提出的新能源和可再生能源的基本含义为：以新技术和新材料为基础，使传统的可再生能源得到现代化的开发利用，用取之不尽、周而复始的可再生能源来不断取代资源有限、对环境有污染的化石能源；它不同于常规化石能源，可以持续发展，几乎是用之不竭，对环境无多大损害，有利于生态良性循环；重点是开发利用太阳能、风能、生物质能、海洋能、地热能 and 氢能等。

(2) 新能源和可再生能源的主要特点

新能源和可再生能源共同的特点，主要有：

- ① 能量密度较低并且高度分散；
- ② 资源丰富，可以再生；
- ③ 清洁干净，使用中几乎没有损害生态环境的污染物排放；
- ④ 太阳能、风能、潮汐能等资源具有间歇性和随机性；
- ⑤ 开发利用的技术难度大。

(3) 新能源和可再生能源的种类

- ① 联合国开发计划署（UNDP）分为 3 大类：
 - a. 大中型水电；
 - b. 新可再生能源。包括小水电、太阳能、风能、现代生物质能、地热能

和海洋能等；

c. 传统生物质能。

② 我国目前是指除常规化石能源和大中型水力发电及核裂变发电之外的生物质能、太阳能、风能、小水电、地热能、海洋能等一次能源以及氢能、燃料电池等二次能源。

a. 生物质能。是绿色植物通过叶绿素将太阳能转化为化学能储存在生物质内部的能量。有机物中除矿物燃料以外的所有来源于动植物的能源物质均属于生物质能，通常包括木材及森林废弃物、农业废弃物、水生植物、油料植物、城市和工业有机废弃物、动物粪便等。生物质能的利用主要有直接燃烧、热化学转换和生物化学转换等 3 种途径。生物质的直接燃烧在今后相当长的时期内仍将是我国农村生物质能利用的主要方式。当前改造热效率仅为 10% 左右的传统烧柴灶，推广效率可达 20%~30% 的节柴灶这种技术简单、易于推广、效益明显的节能措施，被国家列为农村能源建设的重点任务之一。生物质的热化学转换是指在一定温度和条件下，使生物质汽化、炭化、热解和催化液化，以生产气态燃料、液态燃料和化学物质的技术。生物质的生物化学转换包括有生物质-沼气转换和生物质-乙醇转换等。沼气转换是有机物质在厌氧环境中，通过微生物发酵产生一种以甲烷为主要成分的可燃性混合气体即沼气。乙醇转换是利用糖类、淀粉和纤维素等原料经发酵制成乙醇。

b. 太阳能。太阳能的转换和利用方式有光-热转换、光-电转换和光-化学转换。接收或聚集太阳能使之转换为热能，然后用于生产和生活的一些方面，是光-热转换即太阳能热利用的基本方式。太阳热水系统是目前我国太阳能热利用的主要形式。它是利用太阳能将水加热储于水箱中以便利用的装置。太阳能产生的热能可以广泛地应用于采暖、制冷、干燥、蒸馏、温室、烹饪以及工农业生产等各个领域，并可进行太阳能热发电和热动力。利用光生伏打效应原理制成的太阳能电池，可将太阳的光能直接转换成为电能加以利用，称为光-电转换，即太阳能光电利用。光-化学转换尚处于研究试验阶段，这种转换技术包括半导体电极产生电而电解水制氢、利用氢氧化钙或金属氢化物热分解储能等。太阳辐射能作为一种能源，与煤炭、石油、天然气、核能等比较，有其独具的特点。其优点可概括以下几点。

④ 普遍。阳光普照大地，处处都有太阳能，可以就地利用，不需到处寻找，更不需火车、轮船、汽车等日夜不停地运输。这对解决偏僻边远地区以及交通不便的乡村、海岛的能源供应，具有很大的优越性。

⑤ 无害。利用太阳能作能源，没有废渣、废料、废水、废气排出，没有噪声，不产生对人体有害的物质，因而不会污染环境，没有公害。

③ 长久。只要存在太阳，就有太阳辐射能。因此，利用太阳能作能源，可以说是取之不尽、用之不竭的。

④ 巨大。一年内到达地面的太阳辐射能的总量，要比地球上现在每年消耗的各种能源的总量大几万倍。

它的缺点如下。

⑤ 分散性。也即是能量密度低。晴朗白昼的正午，在垂直于太阳光方向的地面上， 1m^2 面积所能接受的太阳能，平均只有 1kW 左右。作为一种能源，这样的能量密度，那是很低的。因此，在实际利用时，往往需要一套面积相当大的太阳能收集设备。这就使得设备占地面积大、用料多、结构复杂、成本增高，影响了推广应用。

⑥ 随机性。到达某一地面的太阳直接辐射能，由于受气候、季节等因素的影响，是极不稳定的。这就给大规模的利用增加了不少困难。

⑦ 间歇性。到达地面的太阳直接辐射能，随昼夜的交替而变化。这就使大多数太阳能设备在夜间无法工作。为克服夜间没有太阳直接辐射、散射辐射也很微弱所造成的困难，就需要研究和配备储能设备，以便在晴天时把太阳能收集并储存起来，供夜晚或阴雨天使用。

c. 风能。是太阳辐射造成地球各部分受热不均匀，引起各地温差和气压不同，导致空气运动而产生的能量。利用风力机可将风能转换成电能、机械能和热能等。风能利用的主要形式有风力发电、风力提水、风力制热以及风帆助航等。

d. 小水电。所谓小水电，通常是指小水电站及与其相配套的电网的统称。1980 年联合国召开的第二次国际小水电会议，确定了以下 3 种小水电容量范围：小型水电站 (small)， $1\,001\sim 12\,000\text{kW}$ ；小小型水电站 (mini)， $101\sim 1\,000\text{kW}$ ；微型水电站 (micro)， 100kW 以下。我国国家发改委现行规定，电站总容量在 5 万千瓦以下的为小型；5 万~25 万千瓦的为中型；25 万千瓦以上的为大型。我国 20 世纪 70 年代以来，小水电一般是指单站容量在 1.2 万千瓦以下的小水电站及其配套小电网。但随着国民经济的发展，自 1996 年起小水电的容量范围提高为按单站 5 万千瓦计算。我国农村村级以下办的小水电，目前多数属于容量为 100 千瓦左右的微型水电站。小水电的开发方式，按照集中水头的办法，可分为引水式、堤坝式和混合式 3 类。

e. 地热能。地热资源是指在当前技术经济和地质环境条件下，地壳内部能够科学、合理地开发出来的岩石的热能和地热流体中的热能量及其伴生的有用组分。地热资源按赋存形式可分为水热型（又分为干蒸汽型、湿蒸汽型和热水型）、地压型、干热岩型和岩浆型 4 大类；按温度高低可分为高温型

($>150^{\circ}\text{C}$)、中温型($90\sim 149^{\circ}\text{C}$)和低温型($<89^{\circ}\text{C}$) 3 大类。地热能的利用方式主要有地热发电和地热直接利用两大类。不同品质的地热能,可用于不同的目的。流体温度为 $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ 的地热能,主要可用于发电和综合利用; $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的地热能,主要可用于发电、工业热加工、工业干燥和制冷; $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的地热能,主要可用于采暖、工业干燥、脱水加工、回收盐类和双循环发电; $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的地热能,主要用于温室、采暖、家用热水、工业干燥和制冷; $20\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的地热能,主要用于洗浴、养殖、种植和医疗等。

f. 海洋能。是指蕴藏在海洋中的可再生能源,它包括潮汐能、波浪能、潮流能、海流能、海水温度差能和海水盐度差能等不同的能源形态。海洋能按储存能量的形式可分为机械能、热能和化学能。潮汐能、波浪能、海流能、潮流能为机械能,海水温度差能为热能,海水盐度差能为化学能。海洋能技术是指将海洋能转换成为电能或机械能的技术。

g. 氢能和燃料电池。氢能是世界新能源和可再生能源领域正在积极开发的一种二次能源。除空气以外,氢以化合物的形态储存于水中,特别是广阔海洋的海水中,资源极其丰富。在自然界中,氢和氧结合成水,必须用热分解或电分解的方法把氢从水中分离出来。如用煤炭、石油和天然气等化石能源产生的热或所转换的电去分解水制氢,既不经济又污染环境,显然不可行。现在看来,高效率制氢的基本途径,将是利用太阳能,走太阳能-氢能的技术路线。氢能不但清洁干净、效率高,而且转换形式多样,可以制成以其为燃料的燃料电池。在 21 世纪,氢能将会成为一种重要的二次能源,燃料电池将成为一种最具竞争力的全新发电方式。

1.2 开发利用新能源和可再生能源的意义

不论是从经济社会走可持续发展之路和保护人类赖以生存的地球的生态环境的高度来审视,还是从为世界上约 20 亿无电人口和特殊用途解决现实的能源供应出发,开发利用新能源和可再生能源都具有重大战略意义。

(1) 新能源和可再生能源是人类社会未来能源的基石,是大量燃用的化石能源的替代能源

在当今的世界能源结构中,人类所利用的能源主要是石油、天然气和煤炭等化石能源。1998 年世界一次能源(包括生物质能)消费总量为 140.50 亿吨标准煤^①,其消费构成为:石油占 33.9%,天然气占 19.6%,煤炭占 22.7%,

① 1 吨标准煤 (1tce) 发出热量为 $2\,926\times 10^7\text{J}$ ($700\times 10^7\text{cal}$)。

核电占 6.1%，大中型水电占 3.9%，新可再生能源占 2.0%，传统生物质能占 11.8%。随着经济的发展，人口的增加，社会生活的提高，预计未来世界能源消费量将以每年 3% 的速度增长，到 2020 年世界一次能源消费总量将达到 200 亿~250 亿吨标准煤以上。

根据“BP Statistical Review of World Energy, June 2003”的统计，2002 年世界一次能源消费量为 94.05 亿吨石油当量。截至 2002 年底，世界石油可采储量为 1 427 亿吨，可采 40.6 年；天然气为 155.78×10^4 亿立方米，可采 60.7 年；煤炭为 9 844.5 亿吨，可采 204 年。

我国的能源资源储量不容乐观。根据最新资料，现有探明技术可开发能源总资源量超过 8 230 亿吨标准煤，探明经济可开发剩余可采总储量为 1 392 亿吨标准煤，约占世界总量的 10.1%。我国能源剩余可采总储量的结构为：原煤占 58.8%，原油占 3.4%，天然气占 1.3%，水能占 36.5%。我国能源经济可开发剩余可采储量的资源保证程度仅为 129.7 年，其中：原煤仅为 114.5 年，原油仅为 20.1 年，天然气仅为 49.3 年。

我国人口众多，人均能源资源占有量非常低。据有关资料报道，我国人均能源探明储量只有 135 吨标准煤，仅相当于世界拥有量 264 吨标准煤的 51%。其中：煤炭人均探明储量为 147t，是世界人均值 208t 的 70%；石油为 2.9t，为世界人均值的 11%；天然气为世界人均值的 4%；即使是水能资源，按人口平均，也低于世界人均值。而我国所面临的却是能源需求量成倍增长的严重挑战。如果 2050 年我国的人口总数为 15 亿左右的话，届时一次能源的需求量将为 30 亿~37.5 亿吨标准煤，约为目前美国能源消费总量的 1.5~2 倍，为届时世界一次能源消费总量的 16%~22%。

由以上分析可见，在人类开发利用能源的历史长河中，以石油、天然气和煤炭等化石能源为主的时期，仅是一个不太长的阶段，它们终将走向枯竭而被新的能源所取代。人类必须未雨绸缪，及早寻求新的替代能源。研究和实践表明，新能源和可再生能源资源丰富，分布广泛，可以再生，不污染环境，是国际社会公认的理想替代能源。根据国际权威机构的预测，到 21 世纪 60 年代，即 2060 年，全球新能源和可再生能源的比例，将会发展到占世界能源构成的 50% 以上，成为人类社会未来能源的基石，世界能源舞台的主角，是目前大量应用的化石能源的替代能源。

(2) 新能源和可再生能源清洁干净，只有很少的污染物排放，是与人类赖以生存的地球的生态环境相协调的清洁能源

化石能源的大量开发和利用，是造成大气和其他类型环境污染与生态破坏的主要原因之一。如何在开发和使用能源的同时，保护好人类赖以生存的地球

的环境与生态,已经成为一个全球性的重大问题。目前,世界各国都在纷纷采取提高能源效率和改善能源结构的措施,以解决这一与能源消费密切相关的重大环境问题。这就是所谓的能源效率革命和清洁能源革命,也就是我们通常所说的节约能源和发展清洁干净的新能源和可再生能源。

全球气候变化是当前国际社会普遍关注的重大全球环境问题,它主要是发达国家在其工业化过程中燃烧大量化石燃料产生的 CO_2 等温室气体的排放所造成的。因此,限制和减少化石燃料燃烧产生的 CO_2 等温室气体的排放,已成为国际社会减缓全球气候变化的重要组成部分。

自从工业革命以来,约 80% 的温室气体造成的附加气候强迫是人类活动引起的,其中 CO_2 的作用约占 60%。可见, CO_2 是大气中的主要温室气体类型,而化石燃料的燃烧是能源活动中 CO_2 的主要排放源。1990 年全世界一次能源消费量 114.76 亿吨标准煤,其中煤炭、石油、天然气分别占到 27.3%、38.6% 和 21.7%。据政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第一工作组 1992 年度工作报告报道,1990 年全球化石燃料向大气排放了大约 60 亿~65 亿吨碳。据统计,1998 年全世界化石燃料向大气排放了约 61 亿吨炭。

观测资料表明,在过去的 100 年中,全球平均气温上升了 $0.3\sim 0.6^\circ\text{C}$, 全球海平面平均上升了 $10\sim 25\text{cm}$ 。如果不对温室气体采取减排措施,在未来几十年内,全球平均气温每 10 年将可升高 0.2°C , 到 2100 年全球平均气温将升高 $1\sim 3.5^\circ\text{C}$ 。IPCC 预测,21 世纪全球平均气温升高的范围可能在 $1.4\sim 5.8^\circ\text{C}$ 之间,实际上升多少,取决于 21 世纪化石燃料消耗量和气候系统的敏感程度。

我国的能源开发利用对于环境造成的污染非常严重。我国是世界上少数几个能源结构以煤炭为主的国家,也是世界上最大的煤炭消费国。2000 年中国能源生产总量为 10.9 亿吨标准煤,其中煤炭占 67.2%; 能源消费总量 12.8 亿吨标准煤,其中煤炭占 67%。若不包括我国,1999 年全球一次能源结构中煤炭的比例已降到 20.2%, 远低于石油所占的比例,也低于天然气所占的 25.5% 的比例。煤炭燃烧所产生的温室气体的排放量比燃烧同热值的天然气高 61%, 比燃油高 36%。1999 年我国排放 6.69 亿吨碳,居世界第 2 位,其中 85% 是燃煤排放的。2000 年我国排放 SO_2 1 995 万吨,居世界第 1 位,其中 90% 是由燃煤排放的; 排放烟尘 1 165 万吨,其中 70% 是由能源开发利用排放的。由于能源利用和其他污染源大量排放环境污染物,造成全国有 57% 的城市颗粒物超过国家限制值; 有 48 个城市的 SO_2 浓度超过国家二级排放标准; 有 82% 的城市出现过酸雨,面积已达国土面积的 30%; 许多城市的 NO_x 有增无减,其中北京、广州、乌鲁木齐和鞍山超过国家二级排放标准。 SO_2 和酸雨造成的经济损失已约占全国 GDP 的 2%。近年来,由于城市汽车大幅度增加,