

新能源开发方案

庄耀民 编译

水利电力出版社

内 容 简 介

本书系统介绍国内外除常规水力发电和火力发电以外的新能源技术开发的最新技术成果,其中包括太阳能、风能、海洋能、地热能、核能、氢能、浓度差能、生物能的利用技术,以及燃料电池、煤的气化技术、蒸汽-燃气联合发电系统、磁流体发电技术的开发现状。书中还简要介绍了国内新能源的开发现状。本书重视理论联系实际,收入大量切实可行的专利方案,许多新颖设计方案也立足于先进,以开阔视野,启发思路。本书适用于广大能源工作者、教学和科研部门师生和技术人员,以及广大新能源技术爱好者。

新能源开发方案

庄耀民 编译

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 8.375印张 183千字

1989年2月第一版 1989年2月北京第一次印刷

印数0001—2500册 定价3.70元

ISBN 7-120-00446-8/TK·86



前 言

能源是社会经济发展的动力，从全世界社会经济发展过程来看，每一次重大产业革命都源于新的能源和动力装置的产生。

目前世界上正在酝酿着一场新的技术革命浪潮。这一浪潮的突出特点是，从工业社会转入信息社会，在这个社会中将出现生物技术、微电子技术、新能源技术和新材料技术等一连串的技术突破，对今后的世界经济发展将产生巨大影响。

新能源技术的突破是指在能源危机的历史条件下，各工业发达国家力图摆脱对迟早会枯竭的石油等常规能源的长期依赖，加速发展石油替代能源——核能及其他再生自然能源，在各自的能源结构中逐渐增大这些能源的比重，以期在质和量两方面满足急剧增长的能源需求。

本世纪人类对常规能源的消费增加了十倍以上，假定在今后的年代，能源需求每年增长5 %的话，到了本世纪末，在燃料开采与需求之间每天将出现 $3.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 石油当量的差距。目前世界上所依靠的能源主要还是煤炭、石油及其他化石能源。无论世界上还会发现多少新的油田，都改变不了其蕴藏量日益枯竭的趋势。煤炭虽然蕴藏丰富，但利用期限也只有三、四百年的时间，何况大量燃烧石油和原煤还会产生严重的污染，而这些燃料又是很宝贵的化工原料，全部烧掉未免太可惜了。70年代出现的两次石油危机影响了依赖石油进口的工业发达国家，普遍感到石油已经成为战略商品，廉价的能源资源时代已经过去了。与此同时，各国对环境保

护的呼声也越来越高了。

在这一历史背景下，近年来各工业发达国家都制定了长期的新能源开发规划，不惜耗用巨额投资，加速发展了核电，开展了煤炭的气化和液化研究，太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能资源的开发和利用又重新受到了重视，同时加速高效率发电系统的研究与开发，其中包括发展高温燃气轮机，发展蒸汽—燃气联合发电系统，开发燃料电池、磁流体发电等。把下一个世纪的希望寄托在开发这些新技术、新能源上。

有些人认为，利用新能源远水不解近渴，许多新能源技术距离实际应用还相差甚远。但是，从目前获知的大量情报信息来看，形势有了很大变化，许多新能源技术上的突破比人们预想的要快得多。

据国际应用系统分析所最近的预测，到2030年，世界总人口估计为80亿，届时能源需求量将从1975年的 8.2×10^9 t标准煤，增加到 $2.2 \times 10^{10} \sim 3.6 \times 10^{10}$ t。那时，能源需求结构将发生很大变化，可能是：煤只占29%，核能将占23%，石油占22%，天然气占15%，水力和地热占7%，太阳能和其他再生能源将占4%。并指出，那时将有56%的煤用来生产气化或液化合成燃料。

日本预计到2000年煤占20%（1982年为18.5%），核电占16%（1982年仅为6.9%），石油占42%（1982年为61.9%），天然气占11%（1982年为7%），水力占5%（1982年为5.4%），地热占1%（1982年仅为0.1%），太阳能、风能、海洋能等新能源占6%~9%（1982年仅为0.2%）。

近十年来许多国家核电的增长速度很快。1984年美国核电容量已达68GW。法国1984年底，核电容量已达35GW（比

1983年增加20%), 占总装机容量的58.5%(1983年为48.3%)。同年苏联核电容量已达22.755GW, 1983年核电只占8%, 1985年达14.2%, 预计本世纪末将超过40%。日本1985年核电已突破20GW大关。联邦德国1983年核电只占6%, 预计到1995年可达到17%。截至1985年底, 全世界已有32个国家和地区的351座核电堆在运行发电, 总装机容量已超过 $2.5 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 最大发电堆的电功率为1.5GW。

目前正在建造和计划建造的核电机组分别为176个和130个。1985年欧洲经济共同体核电厂的发电量已占总发电量的30.6%。1986年4月苏联切尔诺贝利核电厂发生重大核泄漏事故后, 欧洲议会仍以压倒多数通过决议, 支持继续在西欧发展核电厂。

石油涨价以来, 世界地热电厂以每年15%~16%的速度剧增, 1984年中期, 全世界共有地热电厂137座, 装机容量约为3.19GW。各国已经订货、计划兴建的地热发电机组71台, 总容量2.878GW。

近年来, 太阳能利用技术有了很大进展。各种高效能的太阳能集热器供给热水、供暖、空调系统已大量投放市场。备有成套集热、供热和蓄热装置的太阳房的专利典型设计深受第三世界的欢迎。美国、日本、苏联等国建成的塔式和曲面镜式太阳热电厂已经历了试运行阶段, 不久可能出现1000MW级的太阳热电厂。大量信息表明, 太阳光发电远较太阳热发电更有前途。预计90年代廉价的单晶、多晶和非晶硅太阳电池板组成的电厂, 其成本将与常规火电相媲美, 效率将提高到15%以上。由太阳电池组成的电厂联成电网, 供给广大城乡用电已经不是遥远的事了。

利用太阳能制氢技术一经成功, 将为人类提供十分宝贵

的取之不尽的燃料。

各国研制的各种大中小型风力发电机，可称琳琅满目。美国、联邦德国、丹麦等国研制的100~500kW的风力发电机已有定型设计，批量生产，已销往第三世界国家。在美国风力资源丰富的地区建设起100余处由中小型风力发电机组组成的“风力场”，并联成强大的电网。计划本世纪末使风力发电占总发电量的10%。

海水温差发电、波力发电、潮汐（海流）发电和浓度差发电的研究试验工作，也取得了较大进展。

由于煤的液化和气化技术的突破，以及高温燃气轮机的研制成功，使热效率达45%以上的蒸汽——燃气联合循环电厂得到很大发展，预计到本世纪末，这类联合循环电厂将成为火力发电的生力军。

美、日等国研制的第一代磷酸盐1000kW级的燃料电池已经过试运行阶段，正在进行第二代熔融碳酸盐型和第三代固体电解质型燃料电池的研究试验工作。苏、美等国500~1000MW的磁流体发电装置业已研制成功，不久的将来将加入电网显示其威力。

以上列举的新能源技术的突破，形成未来能源结构变化的基础，非但可以大大缓和常规能源的危机，而且也将大大改善常规能源对环境的危害。此外，也有助于消除生产力布局不合理集中的弊端。

当前，我国能源的供需矛盾很突出，能源供求之间的缺口很大，尤其是电力缺得更多，这已成为制约我国经济发展的一个重要因素。党的“十二大”已把能源作为社会主义经济建设的战略重点，“七五”计划又进而提出“能源工业的发展要以电力为中心”，“七五”期间，全国发电量计划达

到 $5.5 \times 10^{11} \text{kW} \cdot \text{h}$ 左右，原煤产量达到 10^8t 左右，原油产量达到 $1.5 \times 10^8 \text{t}$ 左右。但是这一计划指标，还不能满足我国广大农村的能源需求。目前我国农村总能耗量折合标准煤已达 $3 \times 10^8 \text{t}$ 左右，全国约 1.7×10^8 农户平均每年缺少三个多月的燃料，还有40%以上的农业人口没有用上电。全国平均每个农业人口每年用电只有 $57 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，还不到美国的1/100，不到苏联的1/50。

党和国家领导人多次指出，“解决农村能源要靠再生能源”，并且要求“用十到十五年的时间在有丰富风能资源，电网难以达到的农、牧、渔区推广风力发电”。

目前我国具备区域性开发价值的再生新能源主要有：太阳能、风能、地热能和潮汐能等。

我国太阳能资源相当丰富，各地太阳能总辐射量每年每平方米 $335 \sim 837 \text{kJ}$ 。太阳能在我国城乡已经得到多方面利用，如太阳能温室、地膜覆盖技术、太阳能热水器和太阳能干燥器等。国内已有三十多个厂家生产各类太阳能热水器，投入使用面积已达 $1.8 \times 10^5 \text{m}^2$ 。全国已有22个省、市、自治区对太阳灶进行研究和试点，投入使用的太阳灶约四万个。我国已开始从国外引进太阳电池的生产线，太阳光发电系统的研究和试验已经开始起步。

我国大约有三分之二的地区为多风地带，全年平均风速 3m/s 的时间有 $3000 \sim 5000 \text{h}$ 。其中风能资源以内蒙、西北、东北等部分地区及东南沿海地区最为丰富。可利用的风能资源有 $1.6 \times 10^5 \text{MW}$ ，已安装的风力发电装置2000多台，容量 420kW ，风力发电机已有40多种，大部分还停留在样机上， 2kW 以下的小型机组可进行批量生产。

我国地热资源丰富，已对五个地热带近三千多个地热显

示点进行了地质普查,发现 150°C 以上的高温地热田有近70处,并在广东丰顺县邓厝和西藏羊八井等地建成8座地热电厂,最大的羊八井地热电厂装机容量已达10MW。

我国拥有1万多公里的海岸线和许多沿海岛屿,蕴藏着大量的海洋能资源,可利用的潮汐能资源就有20GW,年发电量 $6.50 \times 10^{11} \text{kW} \cdot \text{h}$ 。现有江夏、白沙口、岳浦、海山、沙山、浏河和果子山潮汐电站7处,已运行的装机容量5MW。

此外,广大农村还有丰富的废弃生物资源(主要是农作物秸秆和人畜粪便),相当于 $3.6963 \times 10^8 \text{t}$ 标准煤,已建立沼气池450万个,年产气量约折合 $10 \times 10^8 \text{m}^3$ 优质天然气。小型沼气电厂已经星罗棋布。

我国已经具备一定规模的浓缩铀的制造和加工能力。核电厂的建设已经开始起步,我国自行设计自行建造的300MW压水堆秦山核电厂正在加紧施工中。广东核电合营公司引进的 $2 \times 900 \text{MW}$ 压水堆核电厂正在建设中。

我国从中央到地方已经逐步建立起一支开展新能源调查研究和推广工作的专业队伍,正在积极地推动我国新能源的开发、利用,并且已经初见成效。为了迎接全世界新能源技术革命的浪潮,使新能源这块未开垦的处女地得到有效的开发,以满足城乡经济建设和人民(特别是农民)生活对能源的需求。必须制定出长远的开发规划,投入更多的人力和物力,广泛调动中央和地方的科研机构和大专院校的智力财富,充分调动广大农民的积极性,密切结合我国实际情况,掌握和运用国内外新能源技术的最新成果,加速我国新能源的建设,使新能源日益发挥出其强大的威力。

本书系统介绍国内外新能源技术开发的最新技术成果,

其中包括太阳能、风能、海洋能、地热能、核能、氢能、浓度差能、生物能的利用技术，以及燃料电池、煤的气化技术、燃气轮机和蒸汽-燃气联合发电系统、磁流体发电技术的开发现状和各种革新方案。书中还简要介绍了国内新能源的开发现状。本书尽量作到理论联系实际，介绍大量切实可行的开发方案，一些研究中的方案，也立足于先进，以开阔人们的眼界，启发思路。作者所提供的新能源开发信息希望能对我国新能源的开发工作做出一点小小贡献。

由于作者水平所限，难免有疏漏和错误之处，欢迎专家和广大读者批评指正。

目 录

前言

一、太阳能的利用	(1)
(一) 太阳能的利用范围	(1)
(二) 利用太阳能热水、采暖和空调	(2)
1. 太阳能热水器	(2)
2. 太阳房	(10)
(三) 太阳热发电	(15)
(四) 太阳光发电和太阳电池	(23)
(五) 其他途径的太阳能利用方案	(32)
二、风能和风力发电	(40)
(一) 风能的特征	(41)
(二) 风力发电系统的开发动向	(42)
(三) 风力发电机和风轮的典型设计方案	(51)
(四) 我国风能开发现状	(72)
三、海洋能及其利用途径	(79)
(一) 海水温差发电(OTEC)	(80)
(二) 波力发电	(90)
(三) 潮汐发电	(104)
(四) 海流发电	(112)
四、地热能及其利用	(115)
(一) 地球内部的热能	(115)
(二) 地热资源	(115)
(三) 地热流体的化学性质	(117)
(四) 地热开发现状	(120)
(五) 地热发电的类型	(124)

(六) 技术开发课题和发展远景	(127)
(七) 地热能利用专利方案	(127)
五、核能和核电厂	(134)
(一) 核能	(136)
(二) 核电厂的堆型	(138)
1. 轻水堆(LWR)	(138)
2. 石墨反应堆	(143)
3. 重水堆	(143)
4. 高温气冷堆	(143)
5. 钠冷快中子增殖堆(FBR)	(145)
6. 热中子增殖堆	(147)
(三) 核燃料循环	(148)
1. 铀的浓缩	(149)
2. 再处理	(149)
3. 放射性废弃物处理	(150)
(四) 核聚变	(151)
六、氢能及其利用方案	(153)
(一) 氢燃料的特点	(153)
1. 资源	(153)
2. 燃料	(153)
3. 自然循环	(153)
4. 能源输送	(154)
5. 能源贮存	(155)
6. 氢的用途	(155)
(二) 氢能应用技术的现状和远景	(155)
1. 制氢方法	(155)
2. 氢的输送与贮存	(164)
3. 氢的用途	(168)
七、生物能及其利用	(173)

(一) 生物能源	(173)
(二) 生物能的转换方式	(174)
1. 利用发酵法生产乙醇	(176)
2. 利用发酵法生产丙酮丁醇	(177)
3. 甲烷(沼气)厌氧发酵	(177)
(三) 生物能利用方案	(183)
八、浓度差能	(195)
(一) 基本浓度差能系统	(195)
(二) 试制的水溶液浓度差能装置	(198)
(三) 利用浓度差能系统回收排热	(200)
(四) 利用海水与淡水的渗透压能的动力装置	(203)
(五) 浓淡电池法	(205)
(六) 利用浓度差能来收集、贮存和输送各种能量	(206)
(七) 分离工质的浓度差能动力发生装置	(208)
(八) 多级浓度差能装置	(211)
九、燃料电池	(214)
(一) 发展简况	(214)
(二) 燃料电池的种类和发电原理	(214)
(三) 燃料电池的特点	(220)
(四) 燃料电池的改进方案	(221)
十、蒸汽-燃气联合发电	(228)
十一、磁流体发电	(243)
主要参考文献	(253)

一、太阳能的利用

太阳是一个巨大的自然能源，世界上一切生命和能量几乎都来自太阳。地球上每年接收到的太阳辐射能高达 $2.555 \times 10^{21} \text{kJ}$ ，大体上相当于地球上所贮藏的矿物燃料的12.5倍。然而，地球表面积很大，每单位表面积所能接收到的太阳辐射能却很小，最多 1 kW/m^2 。因此，要把低密度、低品位能量收集并贮存起来，加以利用，存在着很多困难。又因为它还随昼夜、气候和季节的变化而变化，所以，要想从太阳辐射能获取有效的能量，就必须解决太阳能的收集、转换、储存、输送等一系列实际问题。

近年来，随着整个科学技术的进步，在各国政府和科学家的努力下，已经在太阳能应用方面开辟了许多新的领域，并获得了很大进展。

我国具有丰富的太阳能资源。据估算，我国陆地表面每年接受的太阳辐射能量为 $335 \sim 837 \text{ kJ/cm}^2$ 。全年日照时间大于 2000 h 的地区，约占总面积的三分之二，为有效地利用太阳能提供了十分有利的条件。

（一）太阳能的利用范围

广义地说，人类所利用的大多数能源都是由太阳能直接或间接转换而来的。大体上可分为热利用和光利用两种方式。在这两大类中，又分为间接利用（通过自然过程加以利用为主）和直接利用（人工地直接利用为主）两类。例如利用水力资源的水力发电就是太阳热间接利用的典型例子。在建筑物屋顶常见到的太阳能热水器就是太阳能直接利用方

式。薪柴和木炭的利用是太阳光的间接利用方式，太阳电池是太阳能直接利用的实例。上述分类列于表 1。

表 1 太阳能利用方式分类

分类	热 利 用 方 式	光 利 用 方 式
间 接 利 用	水力发电 风力发电 波力发电 海水温差发电	光合作用产物的利用 - 薪炭、柴草等直接利用； - 生物能转换(甲烷、乙醇、氢)； - 能源植物(青珊瑚、桉树等) 光合作用的利用 - 人工栽培(控制光亮、温度、CO₂等) - 人工光合作用*
直 接 利 用	利用太阳热采暖、制冷、供热 水太阳池 利用太阳热蒸馏(海水淡化) 太阳灶、太阳炉、太阳热发电 利用太阳热加工 利用太阳热制氢	太阳电池、利用太阳光发电 光化学电池* 光化学制氢和发电

* 依不同利用方式又都有直接利用和间接利用方式。

由此可见，太阳能利用的领域十分广泛，种类繁多。本章仅限于叙述太阳能直接利用的各种途径。

(二) 利用太阳能热水、采暖和空调

目前直接利用太阳热能最普遍的形态就是通过有效的集热和蓄热方式利用太阳能热水、采暖和空调。

1. 太阳能热水器

把太阳能转换成热能普遍的方式就是用平板集热器来加热水(也可用来加热空气或其他流体)。用水作集热介质的

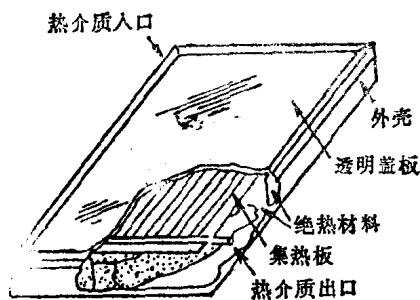


图 1-1 典型的平板集热器结构

集热器已经商品化，广泛用作采暖、空调、供热水或蓄水池加温等方面。典型平板集热器结构如图1-1所示。平板式集热器一般长约1.5~2m，宽约1m。表面一般覆盖1~2层透明玻璃或塑料，透明盖板与集热板之间的间隔约为10~30mm。集热板主要用普通钢、铝、低碳钢或不锈钢等金属制造，集热管紧固在集热板上，或者把两块板子连接起来，使集热介质在内部流过。集热板表面涂成黑色或制成选择性吸收面，以便有效地吸收太阳辐射能。此外，在外壳中还填充以绝热材料，用以减少集热器散失热量。阳光透过透明盖板后，为集热板吸收，变成热能而将管内的集热介质加热。将集热板制成选择性吸收面的集热器比只涂黑色涂层的集热器集热效率要高一些。目前日本常用的几种选择性吸收面的集热器吸收率和辐射率如表2所示。

平板集热器的集热性能，可以通过理论计算，在室外用阳光进行集热试验，及在室内用太阳模拟器人工模拟阳光进行集热试验获得。

根据集热介质的循环方式可分为自然循环型和强迫循环型。前者利用集热介质在集热板中被加热后密度减小而产生

表 2 集热器常用选择性吸收面的吸收率和辐射率

选择性吸收面	吸 收 率	辐 射 率
理想吸收面	1.00	0.00
矢崎的选择性吸收面	0.93	0.11
黑 铬	0.93	0.10
黑色氧化铜	0.88	0.12
黑色涂料	0.97	0.097
特殊不锈钢黑色选择性吸收面	0.96	0.115
第二次电解着色	0.90~0.94	0.05~0.12

的升力进行循环，后者利用水泵强迫集热介质进行循环。目前多采用自然循环型。

目前防冻方法是采用双回路系统，在一次系统中加入丙烯乙二醇防冻剂。

集热器的集热量是集热器在一定时间内所吸收到的有用热能，它等于集热器吸收的热量和逸散的热量之差。而集热效率就是某段时间内集热量与同时间内的太阳入射量之比。集热量和集热效率受气候条种、集热器的集热特性、设置条件、系统和使用条件等因素影响。

平板集热器的缺点是热损失较大，特别是对流热损失。国外减少集热器热损失的方法有：

(1) 采用蜂窝式集热器 在透光板和吸热板之间加透明塑料或玻璃蜂窝式结构物分隔，减少对流热损失，其效率比一般平板式高30%~60%。美国提倡用玻璃作蜂窝结构材料。

(2) 采用真空圆管型集热器(图1-2) 将外圆管的内部保持在0.013Pa以下的高真空，以使内圆管之间能够真

空绝热，以减少热损失。但此种集热器成本较高，适合于70℃以上的高温集热。适用于机关团体太阳能空调，冬夏都能维持较高的热效率。

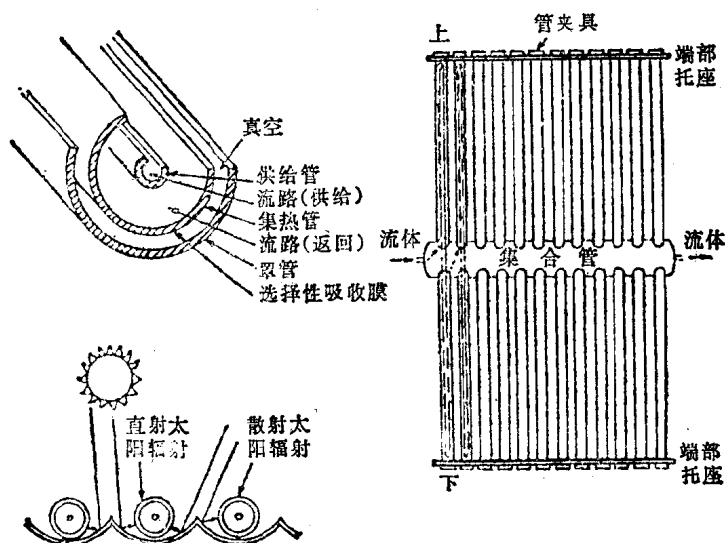


图 1-2 真空圆管型集热器的结构

(3) 采用双层透光板 如日立的产品，第一层采用3mm特制的半强化玻璃，透光率91%以上，第二层采用25μ特制的高分子塑料板，透光率93%以上，集热效率比一般平板型高25%。

(4) 采用热陷阱集热器(图1-3) 它使用一块透明的固体甲基丙烯酸酯，与普通平板集热器平板靠近。甲基丙烯酸酯的可见光和近红外透射率高，长波透射率低，而且导热系数小，因而热效率较高，有效工作小时数也长，组受断续的云层影响较大。