



新能源发电技术

· 王长贵 崔容强 周 篁 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

新能源发电技术

王长贵 崔容强 周 篁 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

人类进入 21 世纪, 一场新的能源革命正在悄悄进行。根据经济社会可持续发展的需要, 人们迫切呼唤建立以清洁、可再生能源为主的能源结构逐渐取代以污染严重、资源有限的化石能源为主的能源结构。本书正是在这样的背景下编写的。全书分太阳能光伏发电技术、太阳能热发电技术、风力发电技术、生物质能发电技术、地热发电技术、潮汐能发电技术和燃料电池发电技术等几部分, 全面展示了近年来新能源发电的技术进步成果。

本书适合从事新能源发电技术的工程技术人员阅读, 也可供从事常规能源发电技术的工程技术人员和大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

新能源发电技术/王长贵, 崔容强, 周篁主编. —北京: 中国电力出版社, 2003

ISBN 7-5083-1648-7

I . 新… II . ①王…②崔…③周… III . 发电-新技术 IV . TM61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 053002 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 10 月第一版 2003 年 10 月北京第一次印刷
787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 20.25 印张 459 千字
印数 0001—3000 册 定价 35.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序

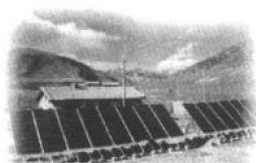
新能源发电预示着人类回归自然，反璞归真。

18~19世纪，伏打（Alessandro Volta, 1745）、安培（Andre Aarie Ampere, 1775）、麦克斯韦（James Clerk Maxwell, 1831）、爱因斯坦（Albert Einstein, 1879）等一大批科学家的发现、发明，奠定了电力世界的基础。如今，电力已是现代文明的象征，一个国家的人均用电量往往是该国经济发展水平的标志。仅依靠煤、石油、天然气和核能发电已面临资源枯竭和环境污染的双重压力，已不能适应世界人口和经济持续发展的需要，更无法解决当今世界20亿无电人口（世界银行统计）的用电问题。人们开始反思，为什么要把亿万年形成的煤、石油、天然气在200~300年内燃烧掉，为什么不能为我们的子孙后代更多留一点宝贵的矿藏？人们迫切地呼唤新能源，希望用清洁的、可再生的太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能、氢能发电来取代煤电、油电、气电和核电。一些发达国家已经拟定了到2050年，新能源发电将占本国电力市场30%~50%的目标，这意味着一场新的能源革命已在悄然进行，它必将带来新的经济繁荣、新的社会理念和新的生活方式。

本书全面展示了近年来新能源发电的技术进步成果，虽然新能源发电总量还不大，但其15%~40%的年增长速度已足以让世界惊叹，被誉为全球增长最快的能源。新能源发电是一门高新技术，是一门涉及广泛、内容丰富的科学与工程，它与数学、物理学、化学、生物学紧密相关，又强烈地依托于材料、机械、动力、电气、化工、自控和生物工程技术的发展。新能源发电可以为跨学科的科研、教学、生产和应用造就一大批精英人才。

新能源蕴藏量极为巨大，但大多数是分布广泛而品位较低的能源，太阳能、风能还具有季节性、随机性、间歇性等特点，因此，如何提高发电效率、降低发电成本并可

新
能
源
发
电
技
术



靠运行，包含着极其丰富的科学和工程问题，它比常规能源发电复杂得多，要不断解决这些新能源发电的难题和主题，还需要几代人的艰苦努力。实践证明，只要政府正确引导，给予政策支持，扩大市场需求，这些难题将被逐步克服，从本世纪开始，一个个更为清洁、安全、和平和幸福的新能源世纪即将来临。

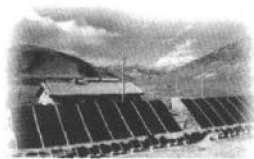
上海交通大学校长、教授 谢绳武

前

言



新
能
源
发
电
技
术



为保证人类稳定、持久的能源供应，必须优化现存的以资源有限、不可再生的化石能源为基础的世界能源结构，建立资源无限、可以再生、多样化的新的能源结构，走经济社会可持续发展之路。

人类只有一个地球。日益剧增的化石能源的大量耗用，使人类生存的生态环境遭到破坏，严重威胁着人类的安全和生存。为了保护人类赖以生存的地球的生态环境，必须采取措施减少化石能源的耗用，大力开发利用清洁、干净的新能源和可再生能源，走与生态环境和谐绿色能源之路。

基于对上述两大能源战略原则的理解，为在我国更加广泛地开发利用新能源和可再生能源，我们编写了本书，以期对我国新能源和可再生能源的研究开发、推广应用、工程建设、人才培养和科学普及等有所裨益。

本书由王长贵、崔容强、周篁主编，第一章、第六章、第七章由王长贵编写，第二章由崔容强、孟凡英、周之斌、赵春江编写，参与第二章编写工作的还有徐林、陈凤翔、陈东、刘梅苍、丁尔峰等，第三章由刘鉴民编写，第四章由杜朝辉、徐佩珍、胡传玉编写，第五章由王经编写，第八章由曹广益、朱新坚编写。

由于水平所限，本书定有疏漏和不足，欢迎读者批评指正。

编 者

2003年6月

Topsola

交大泰阳

上海交大泰阳绿色能源有限公司是一家依托上海交大，以科研开发为基础，以生产技术为根本，注重人才优势，拥有强大规模生产力的综合性高新技术企业。

公司主要从事光伏电池和组件、户用和工业用光伏发电系统、光热系统工程、太阳能应用产品、光伏系统专用控制逆变器设备的研制、生产、销售。公司生产的系列规格太阳电池组件、薄膜电池、太阳电池性能测试台、太阳能草坪灯、庭院灯、太阳能充电器、光伏系统专用控制逆变器设备已在市场上得到广泛应用，同时还承接了众多光伏、太阳能屋顶工程项目。



Topsola

上海交大泰阳绿色能源有限公司
SHANGHAI TOPSOLA GROUP

上海市闵行区沧源工业园区剑川路951号 邮编/P.C: 200240
No.951 Jianchuan Road, Shanghai 200240, China

电话 / Tel: 0086-21-5471 9900
传真 / Fax: 0086-21-6435 5420
HTTP://www.topsola.com



SSEC

上海太阳能科技有限公司

是由上海航天汽车机电股份有限公司与上海空间电源研究所合资成立的股份公司，于2000年元月正式注册成立，主要从事太阳电池及其相关产品的研制，开发和生产。

公司拥有一流的专业技术人才和先进的进口设备，采用部分航天技术生产具有当代国际先进水平的单晶硅太阳电池组件，产品具有高效率，大功率，高可靠性及无污染等优点。

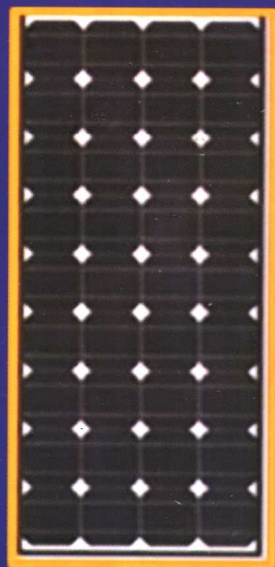
太阳能电池发电系统

长寿命，高性能，无需值守，
不间断供电，
直流无干扰电源
不受地理环境的影响



高效率单晶硅太阳电池组件

SSEC采用高效率单晶硅太阳电池，高透光率钢化玻璃，EVA/Tedlar，抗腐蚀铝合金边框等材料，使用先进的真空层压工艺以及脉冲焊接工艺制造太阳电池组件，确保了产品具有长寿命和高可靠性。



S-85C太阳电池组件

地址：上海苍梧路388号

电话：021-64954338

传真：021-64082388

邮编：200233

电子邮件：public@ssec-solar.com

太阳能电池金属网阵生产线

Solar Cell Metalization Line

ASYS 产品新亮点-太阳能工业 革命性的太阳能电池金属网阵生产线

ASYS Sets New Productivity Benchmark for Solar Industry With a Revolutionary Solar Cell Metalization Line

- 产量高达每小时2400片电池板
- 精度达±15 microns @ 6 sigma
- 印刷面积高达300 x 300mm

- throughput of up to 2400 cells per hour
- accuracy of ±15 microns @ 6 sigma
- print format up to 300 x 300mm



- 通过光学及时定位提高丝印速度和精度
- 通过智能化使生产线更具柔性和高投资回报率
- 通过控制精度达到高质量要求
- 灵活的设置使生产线更流畅
- 易操作的全自动生产线降低劳动力成本
- 模块化设计带来更大的投资回报率

- Speed and Accuracy Through Instant Optical Correction
- Flexibility and Cost-Effectiveness Through Smart Automation
- High Product Quality Through Controlled Accuracy
- Streamlined Production Through Clever Details
- No Need for Costly Labor Thanks to Simple Automatic Operation
- Profitability Through Flexible Modularity

中国区域办公室

新加坡亚系自动化私人有限公司上海代表处
上海市闸北区天目西路 99 号闸北广场 11 楼 F 室
邮编: 200070
电话: 021-6380 3046 传真: 021-6380 3024
电邮: info@asys.com.cn
www.asys-asia.com



亚太区域总部

Asys Automation Singapore Pte Ltd
462 Siglap Road, #02-07, Singapore 455940
Tel. (+65) 6444 1218, Fax (+65) 6444 2029
Email: info@asys-asia.com
www.asys-asia.com



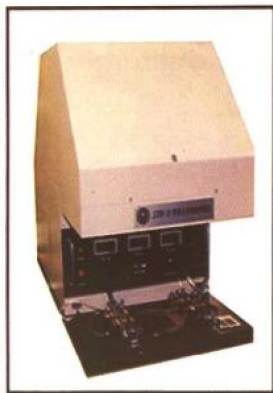
欧洲-集团公司总部

ASYS GmbH
Benzstrasse 10
89160 Dornstätt, Germany
Tel. (+49) 7348-9855-0, Fax (+49) 7348-9855-91
Email: info@asys.de
www.asys.de



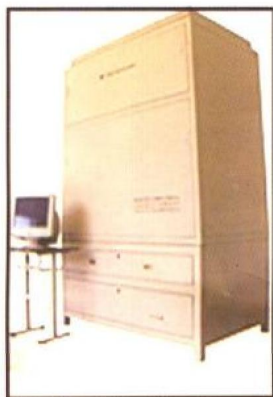
JoT

上海交通大学物理系太阳能研究所 上海交大光伏技术有限公司



JD02太阳能电池组件测试仪

上海交通大学太阳能研究所和上海交大光伏技术有限公司于1996年成立，依托物理系“光学”、“凝聚态物理”、“光学工程”博士点的学科优势，一直实行产学研一体化运作，承担GEF/世界银行，国家科技部，教育部，上海市科委下达的多个科研项目。取得了一批拥有自主知识产权的高水平科技成果. 并进行产业化开发，培养了一批中高级优秀人才。



JD01太阳能电池组件测试仪

- 太阳能电池测试仪（上海市科技进步二等奖）
- 带氮化硅纯化减反射膜的晶体硅太阳能电池
- 高透过率高电导优质TCO透明导电膜
- 多能互补生态能源房
（太阳能光电、光热、风能及低温热泵综合供能系统）
- 纳米硅薄膜太阳能电池研究
- 风光互补发电系统计算机仿真优化设计
- 整体式户用光伏系统等



上海交通大学太阳能研究所是教育部研究中心的主管单位
太阳能学会



地址：上海嘉定区南翔镇
电话：021-62933549
电子邮件：rqcui@sjtu.edu.cn
联系人：崔容强



生态能源房

TOYO
國際環保電源

蓄天地之能

放澎湃電力



通過ISO9001 國內·國際認證

中外合資廣東省番禺恒達電源實業有限公司，固定資產投資1.3億元，占地面積8萬多平方米，位於廣州市番禺區，距蓮花港口岸三公里，水陸交通十分便利。

本公司主要生產TOYO牌6GFM系列及GFM系列新型閥控式免維護密封鉛酸蓄電池。其產品廣泛應用於通信、電力、UPS電源、太陽能、風能等新能源發電系統、警報系統、消防系統、應急照明等行業和設備中。本公司引進九十年代美國、奧地利及澳大利亞全套自動化設備進行生產，並設有產品檢測中

心，配備德國檢測設備，對生產原材料、半成品和產成品進行嚴密的監控。年生產能力為60萬千伏安，是全國鉛酸蓄電池生產十強企業，其產品暢銷全國、遠銷歐美、韓國及東南亞。九九年出口創匯一千多萬美元。

本公司奉行“用科學方法工作，供安全高效精品，讓顧客稱心如意。”的質量方針，九六年通過了ISO9001質量體系國內、國際雙重認證。今年又獲中國“十佳蓄電池品牌”稱號。

為用戶提供價宜物美的產品和優質周到的服務，永遠是恒達的經營宗旨。



Certificate No. QSC-5558

ISO9001國際質量體系認證

恒達  電源

廣東省番禺恒達電源實業有限公司
(中外合資)

總經理：邵敏 電話：020-84862203 傳真：020-84863889
新能源市場開發部：柳曉光 電話：84864236 13660271819 傳真：020-84864886
地址：廣東省廣州市番禺石樓鎮潮田工業區 郵編：511447
網址：WWW.CHINATOYO.COM

目

录

新
能
源
发
电
技
术



序	
前言	
第一章 概述	1
第一节 能源含义、分类及历史演变	1
第二节 中国能源现状、问题与对策	6
第三节 中国新能源与可再生能源现状与前景	9
第二章 太阳能光伏发电技术	17
第一节 概述	17
第二节 太阳能电池工作原理	26
第三节 太阳能电池制造工艺	87
第四节 太阳能光伏发电系统设备构成	101
第五节 独立光伏发电系统	117
第六节 并网光伏发电系统	127
第三章 太阳能热发电技术	138
第一节 太阳能热发电技术研究发展概况	138
第二节 太阳能热发电站基本系统与构成	141
第三节 塔式太阳能热发电系统	148
第四节 槽式太阳能热发电系统	159
第五节 盘式太阳能热发电系统	166
第六节 太阳池热发电系统	169
第七节 太阳能热气流发电系统	170
第八节 太阳能热发电技术发展前景	172
第四章 风力发电技术	176
第一节 风与风力资源	176
第二节 风力机工作原理	186
第三节 风力发电设备	192
第四节 风力发电运行方式	201
第五节 风力发电现状与展望	208
第五章 生物质能发电技术	215
第一节 概述	215

第二节	生物质能的转化与发电技术	216
第三节	生物质热裂解发电技术	229
第四节	生物质能利用现状	234
第五节	生物质能发电前景预测	238
第六章	地热发电技术	241
第一节	地热能基本知识	241
第二节	地热发电原理和技术	244
第三节	地热资源	259
第四节	世界地热发电	265
第五节	中国地热发电	268
第七章	潮汐能发电技术	273
第一节	潮汐和潮汐能	273
第二节	潮汐能发电	276
第三节	世界潮汐能发电	287
第四节	中国潮汐能发电	291
第八章	燃料电池发电技术	298
第一节	燃料电池的基本原理	298
第二节	磷酸型燃料电池	302
第三节	熔融碳酸盐型燃料电池	304
第四节	固体电解质型燃料电池	308
第五节	固体高分子型燃料电池	311
第六节	直接甲醇型燃料电池	313
参考文献		315

概 述

第一节 能源含义、分类及历史演变

一、能源的重要性

能源是国民经济发展和人民生活所必需的重要物质基础，对社会、经济发展和提高人民物质文化生活水平极为重要。现代社会的生产和生活，依赖于能源的大量消费。要实现把中国建设成为社会主义现代化国家的战略目标，能源是重要的物质条件，因此，在中国的社会主义现代化建设中，必须充分重视能源问题。

能源在现代工业生产中占有重要地位。从技术上来说，现代工业生产有3项不可缺少的物质条件：一是原料和材料，二是能源，三是机器设备。任何机器进行生产，都必须有足够的能源供应作保证。现代工业生产离开了能源，机器设备就不能运转，生产就将停止。

能源和现代化农业的关系十分密切。在现代化的农业生产中，耕种、灌溉、收割、脱粒、烘干、贮藏、运输等环节都要直接消耗能源；使用化肥、农药、除草剂需要间接消耗能源。随着中国农业机械化、电气化的发展，农业生产对能源的需求量将日益增加，能源工业的发展水平将直接影响农业生产的发展。

现代化的交通运输工具更离不了能源。没有煤炭、石油和电力的供应，无论是火车、汽车，还是飞机、轮船，都无法行驶。现代的交通运输也是以强大的能源工业作为基础的。

能源在国防建设中具有重要作用。汽车、装甲车、坦克、舰艇等摩托化、机械化的武器离不开石油；喷气式飞机、火箭、导弹等新式武器在使用中要消耗大量石油制品和其他燃料。实现国防现代化必须依靠发达的能源工业。

人民日常生活和公用事业也要消耗大量能源。在我们的日常生活中，从照明、取暖、做饭，到听广播、看电视，



新
能
源
发
电
技
术



样样都离不开能源。至于吃、穿、用、住、行等各方面，也都是依靠能源生产的。随着人民生活水平的提高，煤气的使用量将不断增加，家用电器将迅速发展，能源在人民生活 and 公用事业中的作用将越来越重要。

当代社会最广泛使用的能源是煤炭、石油、天然气和水力，特别是石油和天然气的消耗量增长迅速，已占全世界能源消费总量的 60% 左右。但是，石油和天然气的储量是有限的，许多专家预言，石油和天然气资源将在 40 年、最多 50~60 年内被耗尽。煤炭资源虽然远比石油和天然气资源丰富，但是直接应用煤炭严重污染环境，因此亟需研究把煤炭转化成为气体或液体燃料的技术。看来，人类如不及早采取对策，在不远的将来会面临一场全面的能源危机，这是当前人类面对的一项重大挑战。

为了保证大规模的能源供应，当前世界各国都在制订规划、采取措施、组织力量、增加投资，大力开发太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能以及核聚变能等新能源技术，力争在不太长的时间内，将目前的以化石能源为基础的常规能源系统，逐步过渡到持久的、多样化的、可以再生的新能源系统。只要应用现代科学技术，广泛开发利用新能源，大力提高能源利用效率，采取合理的能源政策，完全可以避免能源危机的出现。

人类已经进入 21 世纪，21 世纪将是一个知识经济的时代。我们应把开发利用新能源技术作为以信息技术为核心的新科技革命的重要内容和重要技术支柱，高度重视，大力发展。

二、能源的含义及其分类

我们把能量的来源称为能源，它是能够为人类提供某种形式能量的自然资源及其转化物。换言之，自然界在一定条件下能够提供机械能、热能、电能、化学能等某种形式能量的自然资源叫做能源。

能源的种类很多。它的分类方法也很多。

(1) 按照能源的生成方式可分为一次能源和二次能源。一次能源，又叫做自然能源。它是自然界中以天然形态存在的能源，是直接来自自然界而未经人们加工转换的能源。煤炭、石油、天然气、水能、太阳能、风能、生物质能、海洋能、地热能等都是二次能源。一次能源在未被人类开发以前，处于自然赋存状态时，叫做能源资源。世界各国的能源产量和消费量，一般均指一次能源而言。为了便于比较和计算，习惯上把各种一次能源均折合为“标准煤”或“油当量”，作为各种能源的统一计量单位。二次能源是人们由一次能源转换成符合人们使用要求的能量形式。电能、汽油、柴油、焦炭、煤气、蒸汽、氢能等都是二次能源。一次能源只在少数情况下以它原始的形式为人类服务，更多情况下则要根据不同的目的进行加工，转换成便于使用的二次能源，以满足需要，或提高能源的使用效率。随着科学技术的发展和社会的现代化，在整个能源消费系统中，二次能源所占的比重将日益增大。

(2) 按照各种能源在当代人类社会经济生活中的地位，人们还常常把能源分为常规能源和新能源两大类。技术上比较成熟，已被人类广泛利用，在生产和生活中起着重要作用的能源，称为常规能源。例如煤炭、石油、天然气、水能和核裂变能等。目前世界能源的消费几乎全靠这 5 大能源来供应。在今后一个相当长的时期内，它们仍将担任世界能源舞台上的主角。目前尚未被人类大规模利用，还有待进一步研究试验与开发利用的能源，称

为新能源。例如太阳能、风能、地热能、海洋能及核聚变能等。所谓新能源，是相对而言的。现在的常规能源在过去也曾是新能源，今天的新能源将来也会成为常规能源。

(3) 一次能源还可以按照其是否能够再生而循环使用，分为可再生能源和非再生能源。所谓可再生能源，就是不会随着它本身的转化或人类的利用而日益减少的能源，具有自然的恢复能力。如太阳能、风能、水能、生物质能、海洋能以及地热能等，都是可再生能源。而化石燃料和核燃料则不然，它们经过亿万年形成而在短期内无法恢复再生，随着人类的利用而越来越少。我们把这些随着人类的利用而逐渐减少的能源称为非再生能源。

(4) 一次能源又可以按照其来源的不同，分为来自地球以外天体的能源、来自地球内部的能源和地球与其他天体相互作用产生的能源 3 大类。来自地球以外天体的能源，主要是指太阳辐射能。各种植物通过光合作用把太阳能转变为化学能，在植物体内贮存下来。这部分能量为动物和人类的生存提供了能源。地球上的煤炭、石油、天然气等化石燃料，是由古代埋藏在地下的动植物经过漫长的地质年代而形成的，所以化石燃料实质上是贮存下来的太阳能。太阳能、风能、水能、海水温差能、海洋波浪能以及生物质能等，也都直接或间接来自太阳。来自地球内部的能源，主要是指地下热水、地下蒸汽、岩浆等地热能和铀、钍等核燃料所具有的核能。地球与其他天体相互作用产生的能源，主要是指由于地球和月亮以及太阳之间的引力作用造成的海水有规律的涨落而形成的潮汐能。

为了一目了然，可绘成各种能源的分类表，如表 1-1 所示。

表 1-1 能源分类表

类别		来自地球内部的能源	来自地球以外的能源								地球与其他天体相互作用产生的能源		
一次能源	可再生能源	地热能	太阳能	风能	水能	生物质能	海水温差能	海水盐差能	海洋波浪能	海(湖)流能	潮汐能		
	非再生能源	核能	煤炭		石油		天然气		油页岩	油岩		
二次能源		焦炭	煤气	电力	氢气	蒸汽	酒精	汽油	柴油	煤油	重油	液化气	电石

为满足人类社会可持续发展对能源的需要，防止和减轻大量燃用化石能源对环境造成的严重污染和生态破坏，近年来世界各国政府和能源界、环保界等均大声疾呼：必须走可持续发展的能源道路，即清洁能源道路。清洁能源可分为狭义和广义两大类。狭义的清洁能源仅指可再生能源，包括水能、生物质能、太阳能、风能、地热能和海洋能等，它们消耗之后可以得到恢复补充，不产生或很少产生污染物，所以可再生能源被认为是未来能源结构的基础。广义的清洁能源是指在能源的生产、产品化及其消费过程中，对生态环境尽可能低污染或无污染的能源，包括低污染的天然气等化石能源、利用洁净能源技术处理的