

小型新能源 和可再生能源 发电系统建设 5 管理

王长贵 王 淳 董路影
叶东嵘 毛和瓚 高纪凡 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

小型新能源 和可再生能源 发电系统建设与管理

王长贵 李 渡 戴路影 编著
叶东嵘 毛和瓚 高纪凡



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

小型新能源和可再生能源发电系统建设与管理 /王长
贵等编著. —北京: 中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-1883-8

I. 小... II. 王... III. 再生资源: 能源-发电
IV. TM61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 108174 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

*

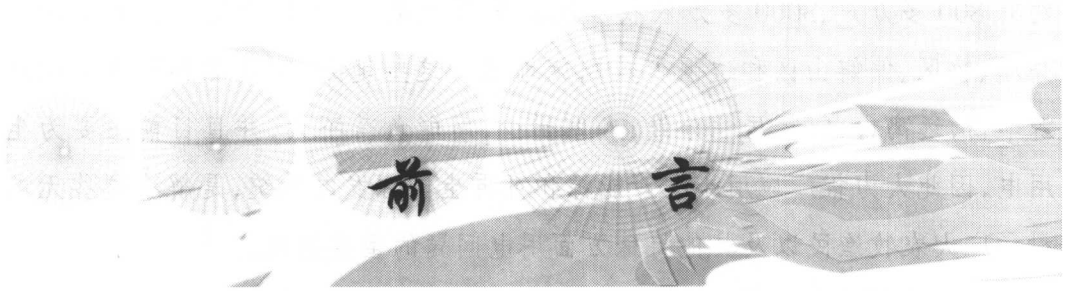
2004 年 2 月第一版 2004 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8 印张 174 千字

印数 0001—3000 册 定价 14.00 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)



1981年8月联合国在肯尼亚首都内罗毕召开的世界新能源和可再生能源会议提出的关于新能源和可再生能源的含义和特征是,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、地热能和氢能等。当前联合国开发计划署(UNDP)将新能源和可再生能源分为大中型水电、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、海洋能)和传统生物质能3大类。在我国,目前新能源和可再生能源是指除常规化石能源和大中型水力发电及核裂变发电以外的小水电、太阳能、风能、生物质能、地热和海洋能等一次能源以及氢能和燃料电池等二次能源。这些能源资源丰富,可以再生,清洁干净,与生态环境和谐,是最有前景的替代能源,将成为世界未来能源的重要基石。

新能源和可再生能源在我国经济社会可持续发展中具有重要作用,是我国能源发展战略的重要内容和组成部分,国家制定了一系列方针政策和措施促进其发展,前途广阔,未来光明。

电力是高品位的二次能源,具有便于转换、便于远距离输送、易于控制调节和使用方便、清洁干净等突出特点。国家在能源发展战略中明确提出,我国的能源建设“以电力为中心”。因此,新能源和可再生能源发电是新能源和可再生能源开发利用的基本技术和主要应用方式。

据统计,截止到2001年底,我国尚有1061个无电乡、2万多个无电村,共计

2AK64/07

约有 800 多万户、3000 多万农牧渔民尚未用上电,绝大部分居住在西部地区的高原、牧区、偏僻山区和边疆少数民族地区。这些地方,新能源和可再生能源资源丰富,远离大电网,居住分散,人烟稀少,用电负荷不大,并且目前主要为生活用电,因此大力推广应用小型新能源和可再生能源发电系统,是解决这些无电乡村和广大农牧渔民以及其他特殊方面用电问题的重要措施。

2002 年国家投资约 26 亿元实施“送电到乡”工程,安排用光伏发电和风光混合发电为 585 个乡、用小水力发电为 114 个乡解决供电问题。2003 年还将再投资约 20 亿元继续实施“送电到乡”工程,用光伏发电、风光混合发电和小水力发电等方式为其余的 362 个乡解决供电问题,使全国所有的乡实现通电。

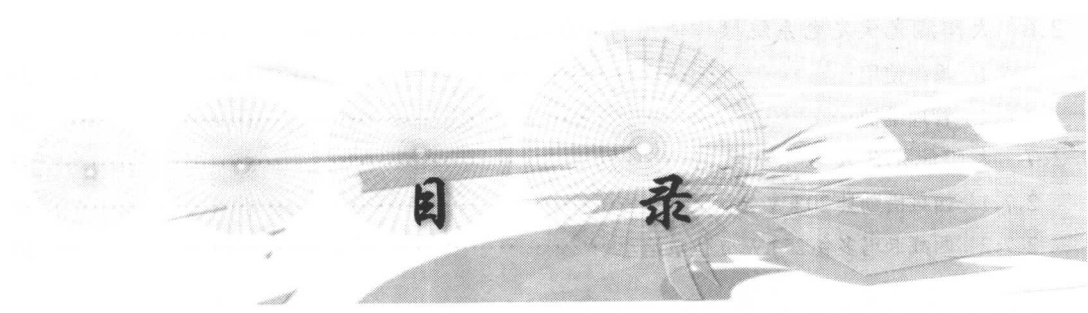
为适应“送电到乡”工程的需要,并为下一步实施“送电到村”工程作准备,我们编写了《小型新能源和可再生能源发电系统建设与管理》一书,供新能源和可再生能源发电系统的设计人员、施工建设人员、操作使用人员、管理人员、设备生产供应厂商以及其他有关单位的管理人员、科技人员阅读参考。

本书在编写中参考和引用了不少书刊和文章的内容,在此谨向其作者致以谢意。

由于水平有限,时间匆促,定有不少不足甚至错讹之处,欢迎批评指正。

作 者

2003 年 10 月



前言

| | |
|----------------------------------|----|
| 1 概述 | 1 |
| 1.1 新能源和可再生能源及其发电的战略地位 | 1 |
| 1.2 新能源和可再生能源及其发电的重大作用 | 2 |
| 1.3 中国关于新能源和可再生能源及其发电的方针政策 | 2 |
| 1.4 中国新能源和可再生能源及其发电的现状与展望 | 4 |
| 1.4.1 现状 | 4 |
| 1.4.2 展望 | 5 |
| 2 独立型太阳能光伏发电系统 | 7 |
| 2.1 中国太阳能资源 | 7 |
| 2.2 中国太阳能光伏发电 | 8 |
| 2.3 太阳能光伏发电系统原理、组成及运行方式 | 12 |
| 2.3.1 原理 | 12 |
| 2.3.2 组成 | 12 |
| 2.3.3 运行方式 | 17 |
| 2.4 太阳能光伏发电系统设计 | 17 |
| 2.4.1 计算负载 | 18 |
| 2.4.2 蓄电池容量确定 | 19 |
| 2.4.3 太阳能电池功率确定及方阵设置 | 19 |
| 2.5 太阳能光伏发电系统建设 | 21 |
| 2.5.1 工程勘察 | 21 |
| 2.5.2 电站选址 | 22 |
| 2.5.3 竣工验收 | 23 |

| | | |
|----------|-----------------------|-----------|
| 2.6 | 太阳能光伏发电系统操作使用与管理维护 | 24 |
| 2.6.1 | 操作使用 | 24 |
| 2.6.2 | 管理维护 | 26 |
| 2.7 | 太阳能光伏发电系统案例 | 31 |
| 2.7.1 | 西藏措勤县 20 kW 光伏电站 | 31 |
| 2.7.2 | 西藏卡玛多乡 25 kW 光伏电站 | 36 |
| 3 | 独立型风力发电系统 | 47 |
| 3.1 | 中国风能资源 | 47 |
| 3.2 | 中国风力发电 | 50 |
| 3.2.1 | 独立型风力发电 | 50 |
| 3.2.2 | 并网型风力发电 | 51 |
| 3.3 | 风力发电特点、运行方式、机组分类与系统构成 | 51 |
| 3.3.1 | 风力发电特点 | 51 |
| 3.3.2 | 风力发电运行方式 | 52 |
| 3.3.3 | 风力发电机组分类 | 52 |
| 3.3.4 | 风力发电系统构成 | 52 |
| 3.4 | 风力发电机组 | 52 |
| 3.5 | 独立型风力发电系统设计与建设 | 54 |
| 3.5.1 | 设计 | 54 |
| 3.5.2 | 建设 | 56 |
| 3.6 | 独立型风力发电系统管理维护 | 58 |
| 3.7 | 独立型风力发电系统经济、社会与环境效益 | 59 |
| 4 | 小型水力发电系统 | 62 |
| 4.1 | 中国水能资源 | 62 |
| 4.2 | 小水电定义、分类及中国小水电建设 | 65 |
| 4.3 | 小型水力发电系统原理、构成与开发方式 | 67 |
| 4.3.1 | 原理 | 67 |
| 4.3.2 | 构成 | 67 |
| 4.3.3 | 开发方式 | 68 |
| 4.4 | 小型水力发电系统勘测设计 | 70 |
| 4.4.1 | 勘测 | 70 |
| 4.4.2 | 设计 | 71 |
| 4.5 | 小型水力发电系统建设 | 72 |

| | | |
|------------|-----------------------|-----------|
| 4.5.1 | 水上建筑物 | 72 |
| 4.5.2 | 机电设备 | 73 |
| 4.6 | 小型水力发电系统运行与管理维护 | 77 |
| 4.7 | 小型水力发电系统经济、社会与环境效益 | 78 |
| 5 | 混合型发电系统 | 81 |
| 5.1 | 不同类型混合型发电系统工作过程、特点和构成 | 81 |
| 5.1.1 | 风力—柴油混合型发电系统 | 81 |
| 5.1.2 | 风—光混合型发电系统 | 85 |
| 5.2 | 混合型发电系统案例 | 88 |
| 5.2.1 | 内蒙古自治区混合型发电示范项目案例 | 88 |
| 5.2.2 | 青海省风—光混合型发电系统优化案例 | 91 |
| 5.3 | 柴油发电系统设计与建设 | 94 |
| 5.3.1 | 柴油发电机组 | 94 |
| 5.3.2 | 柴油发电系统设计与建设 | 101 |
| 附 录 | 阀控式密封铅酸蓄电池原理及应用 | 103 |
| 参 考 文 献 | | 118 |



概述

1.1

新能源和可再生能源及其发电的战略地位

(1) 中国可持续发展清洁能源的基础。能源是社会经济和人民生活的主要物质基础,对于社会经济的发展和生活水平的提高极为重要。中国的能源结构以煤炭为主,2002年煤炭消费占一次能源消费总量66.5%左右。煤炭是化石能源,其资源不可再生,总有一天是要枯竭的。煤炭又是不干净的能源,燃烧产生大量的烟尘、 CO_2 、 SO_2 、 NO_x 等,造成大气污染、臭氧层损耗和全球气候变化等一系列大气环境问题,威胁着人类的生存和发展。因此,如何在破坏或少破坏生态环境的前提下,满足社会经济发展和人民生活水平提高对于能源、特别是对于电力日益增长的需求,就成为中国能源建设所面临的一项严峻的挑战。应对这一挑战的重要办法之一,就是积极发展清洁能源,走可持续发展的能源道路。

所谓清洁能源,就是干净的能源,不污染和较少污染环境的能源。从狭义来讲,清洁能源仅指新能源和可再生能源,包括水能、太阳能、风能、生物质能、地热能以及海洋能等。这些能源消耗之后可以恢复补充,不产生或很少产生危害生态环境的污染物,因而被认为是未来理想能源结构的基础,在21世纪中叶之后,将成为世界能源舞台的主角、世界能源的基石。

(2) 中国可持续发展能源战略方针的重要组成部分。中国长期以来形成的以煤炭为主体的能源消费结构,给环境造成了巨大的压力。逐步优化能源结构、提高能源效率、发展新能源和可再生能源,是中国可持续发展能源战略的重要选择。中国政府十分重视新能源和可再生能源的开发利用,确定其为中国能源政策和能源战略的重要组成部分,列入了法律,并制定了一系列鼓励其发展的激励政策。

(3) 中国未来能源结构的基石。国际上对未来世界能源发展趋势的预测是:①21世纪上半叶世界能源结构将仍以化石能源为主,其中特别是天然气将得到大量开发利用,在世界能源消费中占有相当大的份额,与此同时,新能源和可再生能源也将得到大力发展;21世纪下半叶,新能源和可再生能源以及核聚变能快速发展,广泛应用,其份额将占到世界能源消费总量的一半以上。②要不断提高能源效率,节约能源,提高电力的比重。③环境保护成为能源开发利用的核心问题之一。④能源系统将向小型化、分散化和多样化发展。专家们关于为我国能源未来发展趋势的预测是:①能源是关系我国可持续发展的重大

领域，必须坚定地贯彻执行根据我国国情制定的能源发展战略和方针政策。②在 21 世纪上半叶，将逐渐形成一个以化石能源、核能与新能源和可再生能源为主的多样化的能源结构；在 21 世纪下半叶，将最终形成以新能源和可再生能源与核能为主的可持续发展的能源结构。

1.2 新能源和可再生能源及其发电的重大作用

(1) 就中国经济社会可持续发展而论，从长远来看，大力发展新能源和可再生能源，可以逐步改善中国以煤炭为主的能源结构，尤其是电力供应结构，促进常规能源资源更加合理有效地利用，缓解与能源相关的环境污染问题，使中国能源、经济与环境的发展相互协调，实现可持续发展的战略目标；从近期来看，开发新能源和可再生能源并把它们转化为高品质的能源——电力，不但可以增加和改善我国的能源供应，而且还对解决我国边疆、海岛、偏远地区以及若干特殊领域的用电、用能问题发挥重要的作用，使我国至今尚未用上电的乡（镇）、村及其人口都能用上电，实现农村电气化，广大农民的生产和生活条件大为改善。

(2) 就全球而论，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、缺能人口和特殊用途解决现实的能源供应出发，发展新能源和可再生能源并将其转变为电力，均具有重大作用。其重大作用可概括为如下 3 点：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。②新能源和可再生能源清洁干净、很少污染物排放，是与人类赖以生存的地球的生态环境相协调的清洁能源。③新能源和可再生能源是不发达国家约 20 亿无电、缺能人口和特殊用途解决其供电、用能问题的现实能源。

1.3 中国关于新能源和可再生能源及其发电的方针政策

中国政府十分重视新能源和可再生能源及其发电的发展，制定了一系列方针政策，并在资金与经济上给予一系列的实际支持。

(1) 中国历届国家领导人都十分关心新能源和可再生能源及其发电的开发利用。早在 20 世纪 50 年代，毛主席在武汉、安徽等地就视察过沼气，并指示说：“沼气又能点灯，又能做饭，又能作肥料，要大力发展”，“要好好推广”。70 年代，周总理亲自过问新能源的发展，要求加强太阳能（主要是空间太阳能电池和太阳灶）的开发利用。80 年代，邓小平、胡耀邦等党和国家领导人对新能源和可再生能源及其发电的发展给予关心和支持，指出：“能源要多样化，水电、火电，还有太阳能、沼气、潮汐能和风力发电，各种能源一起来。”“八亿农民需要电”。“科学在进步，新能源有很大前途。”90 年代，江泽民主席和李鹏委员长多次参观和实地考察新能源和可再生能源技术，发表了许多关于支持小水电、沼气和其他农村能源技术的讲话。江泽民主席于 1998 年 8 月在为世界太阳能委员会的致词中说：“可再生能源的开发利用曾对人类文明和社会发展发挥过重要作用，在能源、环

境和可持续发展受到普遍关注的今天，它又能为人类构筑未来的能源体系带来希望。促进可再生能源的应用，减少污染，保护生态环境，是一项造福全人类的事业，需要国际社会的共同努力和广泛参与才能完成。我借此机会重申，中国政府完全支持联合国教科文组织发起的世界太阳能 1996~2005 年计划，并祝愿这项计划取得圆满成功。”1999 年 4 月，朱镕基总理在中美第二次环境与发展讨论会的讲话中说：“我们正积极发展新能源和可再生能源，努力改善能源结构，支持在农村和边远地区开发利用生物质能、太阳能、风能、地热能等新能源和可再生能源”。

(2) 国家拨专款进行新能源和可再生能源的研究开发和科技攻关。新中国成立以后，我国即着手进行新能源和可再生能源的研究工作，相继建立了一大批科研机构，政府为此提供了大量的科研经费和行政事业费。从“六五”开始，国家计委和国家科委又把新能源和可再生能源技术作为重点内容列入国家重点科技攻关计划，进行了长期的研究开发和试验示范。在这方面的投入仅中央政府的资金就已成倍地增加。科技部 1996~2000 年支出的新能源和可再生能源国家重点科技攻关项目费用每年约为 1 亿元左右。1995 年，国家计委、国家科委和国家经贸委共同制定了《新能源和可再生能源发展纲要（1996~2010）》及《新能源和可再生能源优先发展项目》，进一步加大了对研究开发的支持力度。2000 年 8 月，国家经贸委制订颁发了《2000~2015 年新能源和可再生能源产业发展规划要点》，以加快中国新能源和可再生能源的产业化建设。除此之外，国家还在“星火计划”、“火炬计划”、“863 计划”、“973 计划”以及技术改造的“双加工程”中都列入了新能源和可再生能源的内容，给予积极的支持，进一步加速科技成果的转化和产业化发展。

(3) 国家把新能源和可再生能源列为能源政策的基本组成部分，并确立了其相应的法律地位。1995 年 2 月颁布了《中华人民共和国电力法》。该法第一章“总则”中明确宣布，国家鼓励和支持利用可再生能源和清洁能源来发电；在第六章“农村电力建设和农业用电”中进一步强调指出，农村利用太阳能、风能、地热能、生物质能和其他能源进行农村电力建设，增加农村电力供应，将得到国家的支持和鼓励。并在电力发展一节论述农村能源时，强调了因地制宜地开发利用小水电、风能、太阳能、地热能和生物质能的必要性。1996 年 3 月，八届全国人大四次会议审议并通过了“中华人民共和国国民经济和社会发展‘九五’计划和 2010 年远景目标纲要”，正式确立了“以电力为中心，以煤炭为基础，加强石油、天然气资源的勘探开发，积极发展新能源，改善能源结构”的能源发展方针和政策。1997 年 11 月，又颁布了《节约能源法》。该法再次肯定了新能源对于节能减排、改善环境的重要战略作用和地位。一些地方政府也制定并出台了关于新能源和可再生能源的法律、法规和条例，使该地区新能源和可再生能源的发展依法进行，得到法律的保障。

(4) 在我国已确定的经济与社会可持续发展战略中，把发展新能源和可再生能源作为重要内容。选择可持续发展的道路，不仅是当前的需要，也是我国未来发展的需要。国内外实践证明，通过高消耗获得经济数量的增长和先污染后治理的传统发展模式，已不再适应当今和未来发展的要求，而必须寻求经济、社会、环境和资源相互协调的可持续发展的

道路。在这种背景下，我国积极参与了联合国环境与发展大会的筹备，1991年6月在北京召开了41个发展中国家环境与发展的首脑会议，发表了《北京宣言》。1992年6月李鹏出席了联合国环境与发展大会的首脑会议，并发表了重要讲话，签署了《里约环境发展宣言》、《21世纪议程》和《关于森林问题原则声明》、《气候变化框架公约》等重要文件，再次强调和表明了中国坚持实施可持续发展战略重大决策的决心和信心。会后，1992年8月，国务院批准了《中国环境十大对策》，明确提出要“因地制宜地开发利用和推广太阳能、风能、地热能、生物质能等新能源”。其后，并于1994年制定并发布了《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境与发展白皮书》。这是环发大会之后全世界各国的第一份议程，是我国向国际社会做出的庄严承诺，也是我国今后经济建设和社会发展的纲领性文件。议程中强调：“可再生能源是未来能源结构的基础”，要“把开发可再生能源放到国家能源发展战略的优先地位”，“广泛开展节能和积极开发新能源和可再生能源”，并提出了相应的政策措施和近期优先实施的项目。

(5) 制定政策，健全机构，不断加强对新能源和可再生能源开发利用工作的领导。20世纪60年代初，为加快农村电气化和小水电的开发工作，在水利电力部成立了农村电气化司。70年代成立了全国沼气办公室，专门负责沼气发展工作。80年代，国务院又组建了以李鹏为组长的国务院农村能源领导小组，全面协调并主持农村能源和可再生能源技术的发展。90年代，为适应实施可持续发展战略的需要，国家计委、国家经贸委和科技部设立了相应的机构管理这项工作，并加强协作分工，进一步加强了对我国新能源和可再生能源的领导和协调。2003年5月，新改建的国家发展和改革委员会成立了能源局，负责全国新能源和可再生能源的全面规划和方针政策的制定等宏观管理工作。

与此同时，各有关部门还制定并实施了一系列经济激励政策。这些政策分别从财政补贴、贴息或减息贷款、优惠价格和减免税收等方面，对小水电站的建设、风力发电及沼气和其他生物质能技术的推广、微型风力发电机组的普及和家用光伏电源的应用等新能源和可再生能源技术，给予积极的支持，取得了很好的效果。

1.4 中国新能源和可再生能源及其发电的现状与展望

1.4.1 现状

在国家的重视、提倡和支持下，经过全国各方面的努力，20多年来，中国新能源和可再生能源及其发电发展迅速，成绩显著，已具有相当高的科学技术水平，已拥有不小的研究、开发和生产、推广队伍，初步形成了产业，推广应用面广、量大，取得了很大的经济、能源、社会和环境效益。从能量的观点看，目前全国新能源和可再生能源每年提供的能量量，包括传统生物质能在内，2000年底已达约3亿tce之巨，成为现实能源系统的重要组成部分，在经济社会发展中发挥了重要作用。我国新能源和可再生能源及其发电的应用现状如表1-1所示。

表 1-1

中国新能源和可再生能源及其发电应用现状

| 序号 | 能源类型 | 项 目 | 应 用 现 状 |
|----|------|-----------|--|
| 1 | 小水电 | 小水电 | 到 1999 年底, 全国已建成小水电站 4.3 万座, 总装机容量 2348 万 kW, 年发电 720 亿 kWh, 居世界之首。到 2000 年底, 全国共建成小水电站 4.8 万座, 总装机容量 2480 万 kW, 年发电 800 亿 kWh |
| 2 | 太阳能 | 太阳热水器 | 到 2000 年底, 全国太阳热水器保有量达 2600 万 m ² , 是世界最大的太阳热水器产销国。2000 年全国产销太阳热水器 600 万 m ² , 产值达 60 亿元 |
| | | 太阳灶 | 到 2000 年底, 全国太阳灶累计保有量达 33.2 万台, 居世界第一位 |
| | | 太阳房 | 到 2000 年底, 全国已建成太阳房约达 1800 万 m ² |
| | | 太阳能电池 | 到 2000 年底, 全国太阳能电池发电装置累计装机容量约达 20 MW |
| 3 | 风能 | 独立型风力发电机组 | 到 2000 年底, 全国累计安装独立型风力发电机组约达 19.8 万台, 总装机容量 5.28 万 kW |
| | | 并网型风力发电机组 | 到 2000 年底, 全国已建成并网风力发电场 26 座, 总装机容量 34.4335 万 kW |
| 4 | 生物质能 | 家用沼气池 | 到 2000 年底, 全国已累计推广家用沼气池 763.7 万个, 产气 25.9 亿 m ³ , 居世界之首 |
| | | 生活污水净化沼气池 | 到 2000 年底, 全国已建成生活污水净化沼气池 49322 个 |
| | | 大中型沼气工程 | 到 2000 年底, 全国已建成大中型畜禽养殖场能源环境沼气工程 1000 多处, 产气 10 亿 m ³ |
| | | 秸秆气化 | 到 2000 年底, 全国已建成秸秆气化集中供应点 388 处, 产气 1.5 亿 m ³ |
| | | 蔗渣发电 | 到 2000 年底, 全国已建成蔗渣发电工程 800 多 MW |
| 5 | 地热能 | 地热发电 | 到 2000 年底, 全国已建成地热发电约 27.78 MW, 其中西藏羊八井地热电站装机容量 25.18 MW |
| | | 地热直接利用 | 到 2000 年底, 全国约有地热直接利用点 1300 多处, 利用总量达 2443 MW, 其中利用量最大的是地热采暖, 全国已运营的冬季地热供热系统的供热面积超过 1000 万 m ² |
| 6 | 海洋能 | 潮汐发电 | 到 2000 年底, 全国已建成潮汐电站 8 座、潮洪电站 1 座, 总装机容量 10.65 MW |

1.4.2 展望

展望未来, 中国新能源和可再生能源及其发电前途光明, 应用广阔, 将有跨越式的发展, 将在中国经济社会可持续发展中发挥日益重要的作用。

(1) 国家计委在关于我国新能源和可再生能源“十五”至 2010 年期间的发展建设设想中提出的总目标是: “提高转换效率, 降低生产成本, 增大在能源结构中所占比例; 新

技术、新工艺有较大突破，国内外已成熟技术要实现大规模、现代化的生产，形成比较完善的生产体系和服务体系；实际使用数量要达到 3.9 亿 tce 以上（包括生物质能传统利用方式的利用量），为环境保护和国民经济持续发展做出贡献”。并提出了到 2010 年的具体发展设想，主要是：风力发电装机容量达到 100 万~110 万 kW；太阳能利用总量达到 467 万 tce；薪炭林达到 1340 万 ha；沼气用户（包括集中供气户）达到 1235 万户，沼气供应量达到 40 亿 m³；生物质能发电装机容量达到 30 万 kW；建成 5000 个秸秆气化示范工程（2005 年）；地热发电和地热直接利用总量达到 151 万 tce；小水电（不包括微水电）装机容量达到 2788 万 kW，发电总量达到 1170 亿 kWh。

(2) 国家经贸委在其于 2000 年 8 月印发的《2000~2015 年新能源和可再生能源产业发展规划要点》中提出：“新能源和可再生能源产业发展目标是：加速技术和产品的推广应用；增强我国设备制造和生产能力；建设产业化配套服务体系；健全法规和机制，实现新能源和可再生能源开发利用的商业化发展。到 2015 年新能源和可再生能源年开发量达到 4300 万 tce（不包括生物质能的传统利用），占我国当时能源消耗总量的 2%（如果包括小水电，则将达到 3.6%）；该产业将成为国民经济的一个新兴行业，拉动机械、电子、化工、材料等相关行业的发展；对减轻大气污染、改善大气环境质量作用明显，将减少 3000 多万 t 碳的温室气体及 200 多万 t 二氧化硫等污染物的排放；提供近 50 万个就业岗位，为 500 多万户边远地区农牧民（约 2500 多万人口）解决无电问题”。并提出了 2015 年达到的具体指标：家庭住宅太阳热水器普及率达到 20%~30%，市场拥有量达到约 2.32 亿 m²；太阳能电池发电系统市场拥有量达到 320 MW；并网风电累计装机容量达到 700 万 kW；离网风电累计装机容量达到 10.5 万 kW；地热采暖面积累计达到 3000 万 m²；地热发电累计装机容量达到 110 MW；累计建成处理工业有机废水的大中型沼气工程 2500 座，形成年生产沼气能力 40 亿 m³，相当于 343 万 tce，年处理工业有机废水 3.75 亿 m³；累计建成农业废弃物沼气工程 4100 个，形成年生产沼气能力 4.5 亿 m³，相当于 58 万 tce，年处理粪便量 1.23 亿 t；累计建成秸秆气化站 4540 个，总产气量达到 20 亿 m³，相当于 57 万 tce。

2 独立型太阳能光伏发电系统

2.1 中国太阳能资源

太阳内部进行着剧烈的氢聚变成氦的热核反应，以 $E = mc^2$ (E 为能量， m 为物质的质量， c 为真空中的光速) 的关系进行质能转换 (1 g 物质可转化为 9×10^{13} J 能量)，并不断向宇宙空间辐射出巨大的能量。太阳每秒钟向太空发射的能量约达 3.85×10^{26} J，相当于每秒钟烧掉 1.32×10^{16} tce 所放出的热量。其中有 22 亿分之一投射到地球上。投射到地球上的太阳辐射被大气层反射、吸收之后，还有约 70% 投射到地面。投射到地面上的太阳能，一年高达 1.05×10^{18} kWh，相当于 1.3×10^6 亿 tce。其中我国陆地面积每年接收的太阳辐射能相当于 2.4×10^4 亿 tce。按照目前太阳质量消耗速率计，太阳内部的热核反应足以维持 6×10^{10} 年，相对于人类发展历史的有限年代而言，可以说是“取之不尽、用之不竭”的能源。

太阳能是巨大的可再生能源，它资源丰富，分布广泛，既可免费使用，又无需运输，并且清洁干净，对环境没有污染。但它也存在着能流密度低、不连续、不稳定等重要缺点，限制了开发利用。

我国地域辽阔，地处北半球欧亚大陆的东部，主要处于温带和亚热带，具有比较丰富的太阳能资源。地球上太阳能资源的分布，与各地的纬度、海拔高度、地理状况和气候条件等有关，具有明显的地域性。太阳能资源的丰度一般以太阳能年总辐射量 [单位为 $\text{kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$] 和年平均日照时间 (h) 表示。根据对太阳能辐射总量的测量，从太阳能资源开发利用的角度，可将全国划分为 4 个太阳辐射资源带，如表 2-1 所示。这 4 个太阳辐射资源带的分布如图 2-1 所示。由图 2-1 可见，我国太阳能利用资源条件较好的地方约占国土总面积的 2/3 以上，年辐射总量大于 $5020 \text{ MJ}/\text{m}^2$ ，年日照时数在 2200 h 以上。除四川盆地和毗邻地区外，我国绝大部分地区的太阳能资源相当或超过国外同纬度地区的太阳能资源，特别是青藏高原中南部太阳能资源尤为丰富，具有极好的开发利用价值。

表 2-1

中国太阳辐射资源带

| 资源带号 | 名称 | 指标 |
|------|-------|---|
| I | 资源丰富带 | $\geq 6700 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ |
| II | 资源较富带 | $5400 \sim 6700 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ |

续表

| 资源带号 | 名称 | 指标 |
|------|-------|-----------------------------------|
| III | 资源一般带 | 4200~5400 MJ/ (m ² ·a) |
| IV | 资源贫乏带 | <4200 MJ/ (m ² ·a) |

注 MJ/ (m²·a) - 兆焦/ (平方米·年)。

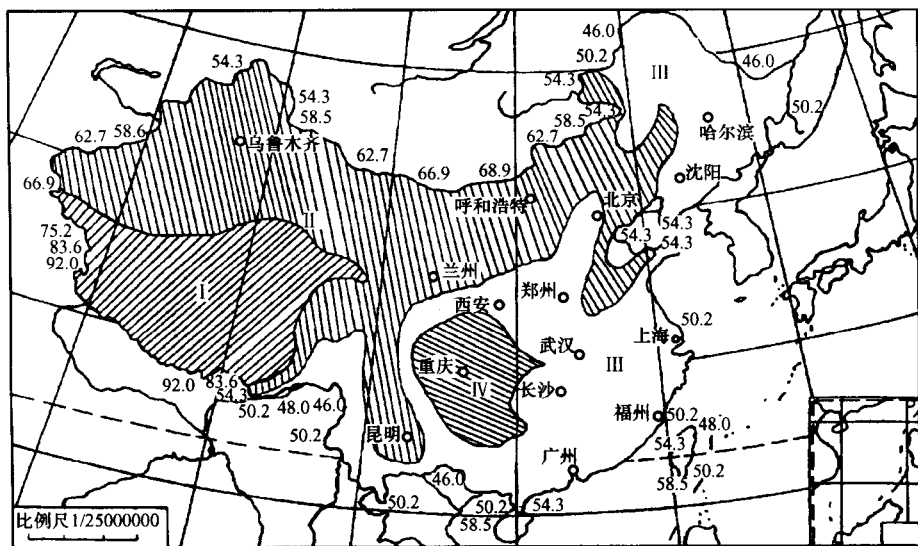


图 2-1 中国太阳能资源分布图 [$10^8 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]

2.2

中国太阳能光伏发电

中国于 1958 年开始研制太阳能电池，1959 年第一块有实用价值的太阳能电池诞生。中国于 1971 年 3 月首次应用太阳能电池作为科学实验卫星的电源，开始了太阳能电池的空间应用。中国于 1973 年首次在灯浮标上进行应用太阳能电池供电的试验，开始了太阳能电池的地面应用。

(1) 产业及产品。经过 40 多年的努力，中国的光伏发电技术已具有一定的水平和基础。到 2002 年底，已建成 10 个初具规模的光伏电池专业生产厂，光伏电池组件的年生产能力约为 10 MW，其中单晶硅电池为 8 MW，非晶硅电池为 2 MW。

中国光伏电池的主要产品是单晶硅电池、多晶硅电池和非晶硅电池。商品单晶硅电池组件的转换效率为 11%~14%，功率为 35~70 W_p。商品多晶硅光伏电池组件的转换效率为 10%~13%，功率为 35~70 W_p。商品非晶硅光伏电池组件的转换效率为 4%~6%，功率为 11~12 W_p，为单结 p-n 电池。

2002 年中国光伏电池组件的产量约为 9 MW，其中单晶硅和多晶硅光伏电池组件约为 8 MW，非晶硅光伏电池组件约为 1 MW。在单硅和多晶硅光伏电池组件中，包括用进口光伏电池封装的组件，未包括出口的草坪灯等消费品用的光伏电池。在非晶硅光伏电池组

件中，未包括出口的电子计算器等消费品用的光伏电池。

2002年中国单晶硅和多晶硅光伏电池组件的售价为33~40元/W_p，非晶硅光伏电池组件的售价为24~26元/W_p。

(2) 研究与开发。经过几十年的努力，中国光伏发电技术的研究开发工作取得不小的成就。中国主要光伏电池的实验室效率和尺寸如表2-2所列。有关研究单位、高校、企业先后开展了单晶硅和多晶硅高效电池、非晶硅薄膜电池、CdTe薄膜电池、CIS薄膜电池、多晶硅薄膜电池及应用系统关键技术的研究。近年来，在国家科技部和北京市的支持下，国家新能源工程中心和北京市太阳能光电中心等取得了一些可喜的研究成果。在晶体硅电池方面，2 cm×2 cm单晶硅高效电池效率达到20.4%，5 cm×5 cm刻槽埋栅单晶硅电池效率达到18.6%，2 cm×2 cm多晶硅电池效率达到14.5%，10 cm×10 cm多晶硅电池效率达到12.0%~13.0%；在薄膜电池方面，采用快速热CVD技术在非活性衬底上制备的多晶硅薄膜电池效率达到13.6%，采用PECVD技术制备的微晶硅/非晶硅迭层薄膜电池效率达到9.5%。

在光伏发电平衡系统方面，也取得了不小的进步。“八五”、“九五”期间开发出了独立光伏发电系统用的15 kW和30 kW的正弦波DC-AC逆变器，逆变效率大于90%；研制出了一系列光伏专用的控制器和太阳模拟器等检测仪器；研制出了并网逆变器、智能控制器和光伏电站微机监控装置等平衡设备。

在光伏水泵系统、通信光伏电源系统、独立光伏电站、输油输气管道阴极保护光伏电源系统、家用光伏电源系统、光-风混合发电系统、小型并网光伏发电系统等系统技术方面，也取得了不少的研究成果和工程经验。

表 2-2 中国主要光伏电池的实验室效率和尺寸

| 电池类型 | 最高效率 (%) | 最大尺寸 |
|--------------------------|-----------|--------------------|
| 单晶硅电池 | 20.4 | 2 cm×2 cm |
| | 14.0~15.0 | 10 cm×10 cm (实用型) |
| 砷化镓电池 | 20.1 | 1 cm×1 cm |
| 多晶硅电池 | 14.5 | 2 cm×2 cm |
| | 12.0~13.0 | 10 cm×10 cm (实用型) |
| 聚光电池 | 17.0 | 2 cm×2 cm |
| 非晶硅电池 | 11.2 (单结) | 几个平方毫米 |
| | 11.4 (双结) | 几个平方毫米 |
| | 8.55 | 10 cm×10 cm |
| | 7.88 | 20 cm×20 cm |
| | 6.17 | 30 cm×30 cm |
| CdS/Cu ₂ S 电池 | 12.0 | 几个平方毫米 |
| CuInSe ₂ 电池 | 8.57 | 1 cm×1 cm |
| CdTe 电池 | 7.0 | 3 mm×3 mm |
| 二氧化钛纳米有机电池 | 10.0 | 1 cm×1 cm |
| 多晶硅薄膜电池 | 13.6 | 1 cm×1 cm (非活性衬底上) |