



“十二五”国家重点图书出版规划项目
陕西出版资金资助项目

新兴微纳电子技术丛书

新能源与微纳电子技术

New Energies and Micronanoelectronic Technology

● 主编 胡 英



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



“十二五”国家重点图书出版规划项目
陕西出版资金资助项目

新兴微纳电子技术丛书

新能源与微纳电子技术

主编	胡 英		
参编	何 亮	张茂林	成博伟
	陈嘉彬	赵 群	常盼盼
	刘运国	廖应麟	翁锴强



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以微纳电子技术的发展及其新成果对新能源领域发展的影响为主要内容,介绍了微纳电子技术在材料、器件、体系性能及应用等诸方面对新能源领域的发展所起的作用。

本书共六章,分别为新能源及微纳电子技术、太阳能及太阳能电池、氢能及氢能发电体系、燃料电池、超级电容器、新能源成果及发展趋势。

本书可作为新能源与微纳电子技术相关专业本科生和研究生教材,也可供新能源与微纳电子技术相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

新能源与微纳电子技术/胡英主编. —西安:西安电子科技大学出版社, 2015.7

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3695 - 5

I. ① 新… II. ① 胡… III. ① 新能源—电子技术 IV. ① TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 128658 号

策 划 李惠萍

责任编辑 李惠萍 曹 锦

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2015年7月第1版 2015年7月第1次印刷

开 本 787毫米×960毫米 1/16 印张 13.5

字 数 273千字

印 数 1~3000册

定 价 24.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3695 - 5/TK

XDUP 3987001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

“十二五”国家重点图书出版规划项目
陕西出版资金资助项目

新兴微纳电子技术丛书

编写委员会名单

编委会主任 庄奕琪

编委会成员 樊晓桢 梁继民 田文超 胡 英 杨 刚
张春福 张进成 马晓华 郭金刚 靳 钊
娄利飞 何 亮 张茂林 冯 倩

前 言

本书是“新兴微纳电子技术”丛书中的一本，该丛书已入选国家“十二五”重点图书出版项目，同时获得了陕西出版资金的资助。

伴随着人类社会的发展，传统石化类能源的消耗持续增加。进入 21 世纪后，石化类能源已面临枯竭。这一严峻的局面，使得新能源的开发受到各国政府和科学家的密切重视，也推动着新能源技术的快速发展。新能源的发展，需要新理论的支持，也离不开新技术的支撑。在这方面，微纳电子技术的作用尤为突出。

本世纪以来，以集成电路为代表的微电子技术已从“微电子”尺度进入“微纳电子”尺度，从“摩尔时代”进入“后摩尔时代”，微纳电子技术的发展也逐步从“技术推动型”转入“需求牵引型”。微纳电子技术的发展为新能源技术的发展提供了新的技术手段。可以说新能源技术的进一步发展已离不开微纳电子技术。本书正是在此前提下编撰的。

全书主要围绕氢能及氢能发电体系(未来大规模发电体系能源)、太阳能及太阳能电池(未来家用分布式发电体系能源)、燃料电池(氢能燃料电池、甲醇车用燃料电池)、超级电容器(未来车用混合能源体系)等新能源展开论述。第 1 章概述新能源及微纳电子技术领域的发展及内在关联；第 2 章系统介绍太阳能及太阳能电池的种类与制作工艺，重点突出微纳电子技术在其中的应用；第 3 章介绍氢能及氢能发电体系，利用微纳电子技术低成本获氢是本章核心；第 4 章叙述燃料电池的概念、种类、原理，重点介绍微纳电子技术在固态燃料电池中的应用；第 5 章介绍超级电容器，重点突出超级电容器及微纳电子技术在车用能源体系中的应用；第 6 章总结新能源发展的成果，探索未来新能源及微纳电子技术的发展趋势。

本书由胡英任主编，第 1 章与第 6 章由胡英编写，第 2 章由何亮、成博伟共同编写，第 3 章由胡英、陈嘉彬、赵群共同编写，第 4 章由胡英、赵群、刘运国、翁锴强共同编写，第 5 章由张茂林、常盼盼、胡英、廖应麟共同编写。

本书的整体安排和构建，得到同行专家的有益建议和指导，以及笔者的家人及研究团队的鼎力支持，本书的出版亦得到西安电子科技大学出版社的大力支持，在此一并表示感谢。

主编 胡 英

2014 年 3 月

目 录

第 1 章 新能源及微纳电子技术	1
1.1 新能源领域的概念及发展史	1
1.1.1 新能源领域的概念	1
1.1.2 新能源发展史	2
1.2 微纳电子技术的概念及发展史	4
1.2.1 微纳电子技术的概念	4
1.2.2 微纳电子技术的发展史	5
1.3 微纳电子技术在新能源领域中的应用	6
第 2 章 太阳能及太阳能电池	8
2.1 太阳能及太阳能电池的概述	8
2.1.1 太阳能利用的种类及发展远景	8
2.1.2 太阳能电池种类与光伏发电原理	11
2.1.3 太阳能电池发展远景	15
2.2 晶体硅太阳能电池	16
2.2.1 晶体硅太阳能电池的工作原理及种类	17
2.2.2 晶体硅太阳能电池的制作工艺	18
2.3 非晶硅太阳能电池	25
2.3.1 非晶硅太阳能电池的工作原理及种类	26
2.3.2 非晶硅太阳能电池的制作工艺	29
2.4 化合物半导体太阳能电池	32
2.4.1 化合物半导体太阳能电池的种类及工作原理	32
2.4.2 化合物半导体太阳能电池的制作工艺	36
2.5 多结叠层太阳能电池	44
2.5.1 多结叠层太阳能电池的种类及工作原理	44
2.5.2 多结叠层太阳能电池的制作工艺	52
2.6 微纳电子技术在太阳能电池发展中的应用	53
2.6.1 量子阱太阳能电池	54
2.6.2 量子点太阳能电池	55
2.6.3 纳米线、纳米管太阳能电池	56

第3章 氢能及氢能发电体系	58
3.1 氢能及氢能应用领域	58
3.1.1 氢能简介及发展概况	58
3.1.2 氢能应用领域	61
3.2 氢的制取和存储	64
3.2.1 传统获氢技术	64
3.2.2 新型获氢技术	75
3.2.3 氢的存储和运输	84
3.3 氢能发电体系	86
3.3.1 氢能发电体系概念及原理	86
3.3.2 氢能发电体系应用技术	89
3.4 微纳电子技术在氢能中的应用	93
第4章 燃料电池	97
4.1 燃料电池及其发展远景	97
4.1.1 燃料电池的概念及工作原理	97
4.1.2 燃料电池的应用及发展	103
4.2 固态燃料电池及其性能参数	104
4.2.1 固态燃料电池的种类	104
4.2.2 固态燃料电池的概念及工作原理	106
4.2.3 固态燃料电池的性能参数	107
4.3 固态燃料电池的制造工艺	115
4.3.1 固态燃料电池的材料	115
4.3.2 固态燃料电池电极的制作	117
4.4 微纳电子技术在燃料电池中的应用	124
第5章 超级电容器	126
5.1 超级电容器及应用领域	126
5.1.1 超级电容器简介及发展概况	126
5.1.2 超级电容器应用领域	129
5.2 超级电容器的基本概念及原理	131
5.2.1 基本概念	131
5.2.2 基本原理	136
5.2.3 基本电性能	146
5.3 超级电容器的工艺及制作	150
5.3.1 双电层超级电容器	150
5.3.2 电化学超级电容器	154

5.4 车用超级电容器	161
5.5 微纳电子技术在超级电容器的应用	164
5.5.1 概述	164
5.5.2 分类	165
5.5.3 工艺制作	165
5.5.4 技术难点与发展趋势	169
第 6 章 新能源成果及发展趋势	171
6.1 新能源研究成果	171
6.2 新能源发展趋势	174
6.3 微纳电子技术未来在新能源领域中发展趋势	176
6.3.1 微纳电子技术未来在太阳能电池中发展趋势	176
6.3.2 微纳电子技术未来在燃料电池中发展趋势	179
6.3.3 微纳电子技术未来在超级电容器中发展趋势	182
参考文献	193

第1章 新能源及微纳电子技术

能源和环境是人类面临的两大问题,传统的石化类能源的即将枯竭引发的能源危机,以及石化类能源的含碳排放引发的环境污染问题,迫使人类必须主动或被动开发和研究新型能源,这带来了新能源开发的机遇和挑战。另外,借助新兴微纳电子技术的成果,新能源领域从材料、器件到体系性能都得到整体提升,也因此推动了新能源应用的发展。

1.1 新能源领域的概念及发展史

能源有多种分类方法,按形成方式可分为一次能源(自然界中存在可直接使用的能源,如煤、石油、天然气、太阳能等)和二次能源(经加工转化成的能源,如电、煤气、蒸汽等);按循环方式可分为不可再生能源(石化燃料)和可再生能源(生物质能、氢能、化学能源等);按使用性质可分为含能体能源(煤炭、石油等)和过程能源(太阳能、电能等);按环境保护要求可分为清洁能源(绿色能源,如太阳能、氢能、风能、潮汐能等)和非清洁能源;按阶段成熟程度可分为常规能源和新能源。

1.1.1 新能源领域的概念

新能源与常规能源是一个相对的概念,随着时代的发展,新能源的内涵也不断变化、更新。目前,传统意义上新能源主要包括太阳能、氢能、核能、化学能、生物质能、风能、地热能 and 海洋能等。

随着科学和技术的发展,新能源的研究和开发不断加入新的内涵。从发电体系方面来说,不仅涉及产生新能源的具体材料及器件,还包括与整个发电体系相配套的核心器件及整体优化发电体系。如太阳能光伏发电体系,它不仅包括太阳能光伏器件(太阳能电池方阵),还包括蓄电池、控制器及将电能输入电网的逆变器等;燃料电池发电体系不仅包括燃料电池本身,还包括它的输入原料(氢气或甲醇)的获取、存储。对电能的合理存储和使用,超级电容器起到关键作用。超级电容器不是直接产生能量的器件,它是一个储能器件,主要起类似“水库”的“电库”作用,它也可以直接充当电源。如应用在电网上的超级电容器可

以有效调节用电高、低峰时电网的运转情况,使其处于最佳状态。当用户用电少时,如白天,可将多余的电吸纳进超级电容器存储起来,而在晚上用电高峰时再释放出来,以最佳利用电能。另外,车用超级电容器在制动或刹车时瞬间释放或存储大的能量,起到节能的优化作用。

1.1.2 新能源发展史

由于石化类能源(煤炭、石油、天然气等)与新能源相比具有低的成本,因此它在目前能源使用中仍占 90%。但石化类能源的碳排放问题带来的环境污染及地球的温室效应日益严重,是历届环境大会的主题。2009 年在哥本哈根召开的气候与环境大会上,中国政府承诺到 2020 年含碳减排 45%,因此节能减排及开发新能源是我们在相当长时期内的主要目标。更严峻的事实是,2050 年左右世界的石化类资源将会枯竭,这使我们研究和开发新能源的任务尤为急迫。

能源的发展经历了第一代能源——薪柴时代,第二代能源——煤炭时代,第三代能源——石油、天然气时代(20 世纪 50 年代中后期开始至今)。现在正是处于第三代能源即将结束、第四代能源即将开始的时期。

在新能源中,谁最有可能成为第四代能源的候选者?

1. 核能

核能是原子核结构发生变化时释放的能量。核能释放方式有核裂变和核聚变。核裂变中 1 g 原料铀就可释放相当于 30 t 煤的能量;而核聚变所用的氘仅用 560 t 就可以为全世界提供一年消耗的能量。海洋中氘的储量可供人类使用几十亿年,可以认为是“取之不尽,用之不竭”的清洁能源。

核能发电以其功率等级、原材料储量及成本等因素来说,极有可能成为第四代能源的主要候选之一。但在 2011 年 3 月 11 日日本发生强烈地震、海啸引发福岛第一核电站爆炸事故,安全因素使世界范围内对核电站的建设步伐放缓了。人们开始重新定位核能的地位,在考虑安全性、核废料处理等问题的基础上,可小范围、在偏远地区建设核电站,而不宜全球性广泛投建。在安全性问题解决前核能发电难以成为第四代能源的主流。

2. 氢能

氢是未来最理想的二次能源。氢以化合物的形式存储于地球上最广泛的物质——水中,如果把海水中的氢全部提取出来,释放的总热量是地球现有石化燃料的 9000 倍。

氢气是燃料电池的燃料源,目前燃料电池的化学能/电能转换率已可达 60%~70%。由于氢能储量的丰富及燃料电池的高转换率,使氢能燃料电池发电体系可以拥有持续长时

间大功率发电的能力，它极有可能成为第四代能源的主流之一。使氢能燃料电池发电体系成为第四代能源主流需要跨越的最大障碍是，研究和开发能从海水中高效、低成本的获氢技术。

3. 太阳能

太阳能是人类最主要的可再生能源。太阳每年输出的能量到达地球的大约是其总能量的 22 亿分之一，约为 1.73×10^{11} MW，由于大气层的影响，其中辐射到地球陆地上的能量大约为 8.5×10^{10} MW。这个数量远大于人类目前消耗的能量的总和，相当于 1.7×10^{18} t 标准煤所释放的能量。

对于太阳能，现在成熟及应用较好的是利用它的热能——太阳能热水器应用。而太阳能光伏电池从 20 世纪 80 年代至今是新能源研究的持续热点之一。由于太阳能单节电池 20% 的光电转换率制约了投建大功率电厂的可能，但其适合建小功率的分布式家用发电体系。由于太阳光的普照性，太阳能电池分布式家用发电体系不仅可建在开阔的平原地区，而且可建在地形复杂地区（克服了建常规电网高投入及高能耗的缺点），因此太阳能电池的分布式家用发电体系是第四代能源的有效补充。对太阳能电池发电体系的研究，一方面从单体电池出发，继续在材料和器件结构方面提高光电转换率和降低器件成本；另一方面从发电体系方面研究优化体系，最大程度获得产电效率。

4. 化学能源

化学能源实际是直接把化学能转变为低压直流电能的装置，也叫电池。化学能源已经成为国民经济中不可缺少的组成部分，同时化学能源还可承担其他新能源的储能功能。

燃料电池被称为连续电池，属于化学能源，是一种在等温下直接将储存在燃料和氧化剂中的化学能高效而与环境友好地转化为电能的发电装置。燃料电池在反应过程中不涉及燃烧，能量交换效率不受卡诺循环的限制，转换效率可达 60%~70%。它的发电原理与化学电源一样，是由电极提供电子转移的场所，阳极进行燃料（如氢）的氧化过程，阴极进行氧化剂（如氧等）的还原过程，导电离子在将阴、阳极分开的电解质内迁移，电子通过外电路作功并构成电的回路。燃料电池的工作方式与常规的化学电源不同，更类似于汽油、柴油发电机。它的燃料和氧化剂不是存储在电池内，而是存储在电池外的存储罐中。当电池发电时，要连续不断地向电池内送入燃料和氧化剂，排出反应产物，同时也要排出一定的废热，以维持电池工作温度恒定。燃料电池本身只决定输出功率的大小，存储的能量则由储罐内的燃料与氧化剂的量决定。由于氢能燃料电池发电体系具有 60%~70% 的转换效率，因此它很可能成为第四代能源的主流之一。另外，甲醇类燃料电池可广泛应用于车用能源。

5. 超级电容器

超级电容器是一种介于传统电容器和电池之间的新型储能器件。它比传统电容器具有更高的比电容和能量密度,比电池具有更高的功率密度,可瞬间释放特大电流,具有充电时间短、充电效率高、循环使用寿命长、无记忆效应以及基本无需维护等特点。超级电容器在电网、电动汽车、通信、消费和娱乐电子、信号监控等领域中的应用越来越受关注,如声频-视频设备、PDA(掌上电脑)、电话机、传真机及计算机等通信设备和家用电器等。特别需要指出的是,车用超级电容器可以满足汽车在加速、启动、爬坡时的高功率需求,以保护主蓄电池系统,这使得电容器的发展被提升到了一个新的高度。超级电容器的出现,顺应了时代的发展,它涉及材料、能源、化学、电子器件等多个学科,成为交叉学科研究的热点之一。2011年8月16日,世界著名的美国汽车行业杂志 WardsAuto 公布,截至当日,全球汽车总保有量破 10 亿辆,中国位居第二。不论是从中国角度还是从世界角度,汽车消耗的能源已是很大一部分,因此更优化的含超级电容器的混合汽车动力体系是未来汽车能源的发展方向。

6. 其他类能源

生物质能、风能、海洋能、地热能、可燃冰等,由于其受地域性或特殊条件等因素的限制,只能成为个别区域能量的有效补充。

各种新能源在成为成熟能源之前,都需借助先进的工艺制造技术提高转化率和降低成本,使之成为可被市场接纳的有一定性价比的能源。可以说,任何新能源的开发和发展都离不开材料合成、器件制作及体系搭建和优化等。

1.2 微纳电子技术的概念及发展史

本节从工艺角度引入微纳电子技术的概念,叙述其发展历程,并通过综述微纳电子技术的先进工艺,介绍其在新能源领域中的材料合成、器件性能的提升及体系优化等方面的成果,以及先进的工艺对新能源应用化的发展所产生的积极促进作用。

1.2.1 微纳电子技术的概念

微电子学(Microelectronics)是电子学的一门分支学科,主要研究电子或离子在固体材料中的运动规律及其应用。微电子学通常是以实现电路和系统的集成为目的的,所实现的电路和系统又称为集成电路和集成系统。在微电子学中的空间尺寸通常以微米(μm , $1\ \mu\text{m}=10^{-6}\ \text{m}$)和纳米(nm , $1\ \text{nm}=10^{-9}\ \text{m}$)为单位。微电子技术是建立在以集成电路为核

心的各种半导体器件基础上的高新电子技术，其特点是体积小、重量轻、可靠性高、工作速度快。微电子技术对信息时代具有巨大的影响。

微纳电子技术既考虑了微米科技的巨大潜力与作用，又着眼于纳米科技发展的前景，把“纳”看做是“微”的逻辑发展方向，又把“微米”与“纳米”科技有机、辩证地结合。可以把微纳电子技术所涉及的范围和视野放得更广泛一些，将微纳电子学的概念贯穿于材料、器件和系统研究的整个过程，其内容可包括：当材料、器件的尺度进入微纳量级时，材料及器件所具有的与普通常规材料及器件不同的性能、集成电路进入纳电子时代的特殊性质等。

1.2.2 微纳电子技术的发展史

微电子技术是现代电子信息的直接基础，它的发展有力推动了通信技术、计算机技术和网络技术的迅速发展，并成为衡量一个国家科技进步的重要标志之一。美国贝尔研究所的三位科学家因研制成功第一个结晶体三极管(简称晶体管)，获得1956年诺贝尔物理学奖，并开启了微电子时代。晶体管的研制成功也奠定了集成电路技术发展的基础，现代微电子技术就是建立在以集成电路为核心的各种半导体器件基础上的高新电子技术。集成电路的生产始于1959年，其特点是体积小、重量轻、可靠性高、工作速度快。

衡量微电子技术进步的标志主要有三个方面：一是缩小芯片中器件结构的尺寸，即缩小加工线条的宽度；二是增加芯片中所包含的元器件的数量，即扩大集成规模；三是开拓有针对性的设计应用。

随着真空电子学、微电子学、纳电子学的发展，电子计算机经历了几代更迭，而每代更迭都是以存储或处理信息的基本电子学单元的尺度变化为标志的。从20世纪80年代开始，科学家开始探索特征尺寸为纳米量级的电子学，纳电子学主要研究以扫描隧道显微镜为工具的单原子或单分子操纵技术。这些技术都有可能在纳米量级进行材料及器件的加工，目前已形成纳米量级的信息存储器，存储状态已可维持一个月以上，人们试图用此技术去制作16 GB的存储器。德国的福克斯博士等制作出了原子开关，达到了比现今芯片高100万倍的存储容量，获得了莫里斯奖。量子力学告诉我们，电子与光同时都具有粒子波的特性，今天的微电子学和光电子器件将缩到0.1线宽，电子的波动性质再也不能忽视了，把电子视为一种纯粹粒子的半导体理论基础已经动摇。这时电子所表现出来的波动特征和拥有的量子功能就是纳电子学的任务。科学家们已经预言，纳电子学将导致一场电子技术的革命，而这场革命将体现在以下几个方面：

(1) 纳电子学在器件级的革命在于，以对电子、量子行为的控制替代传统微电子学中对固体中电子作为准粒子的运动的控制来实现信息处理，可使电子器件比传统微电子极限

值再改善数个数量级，同时纳电子器件将为新的信息处理系统，如量子元胞自动机（QCA）、量子计算机等的实现提供基础。

(2) 纳电子学中的电子信息处理新系统，将有能力处理复杂的非线性问题和知识问题，SOC(片上系统)在纳电子学阶段将在芯片上实现这些纳系统。

(3) 纳电子学对于微电子学是一场革命，正如微电子学在上一世纪中之对于真空电子学一样。

表 1-1 所示为真空电子学、微电子学和纳电子学的基本区别。

表 1-1 真空电子学、微电子学和纳电子学的基本区别

	真空电子学	微电子学	纳电子学
信号处理媒介	真空中的电子	半导体中准粒子电子	固体和分子中电子的量子行为
基本器件	真空电子器件	MOSFET (其他 BJT 等)	纳电子器件
估计器件最佳优值 主要信号处理	$\sim 10^{-8}$ J 放大、振荡 等模拟信号处理	$< 10^{-19}$ J (-170°C) 快速 数字信号处理(模拟信号处理)	15×10^{-23} J (4.2 K) 知识信息处理
最大集成密度	1	$\sim 10^9 \sim 10^{10} / \text{cm}^2$	SOC
性能价格比	低	高	甚高
寿命	低	高	很高
工作温度	高	中	低

1.3 微纳电子技术在新能源领域中的应用

在新能源领域，随着半导体工艺技术(包括微纳电子技术)的不断发展及更新换代，新能源技术在材料、器件及体系各个方面得到不同阶段的提升。太阳能电池经历了三代的发展：第一代太阳能电池是基于半导体晶片的，如单、多晶硅太阳能电池，其生产主要采用拉单晶的半导体工艺。第二代太阳能电池主要指薄膜电池(非晶硅薄膜电池、化合物半导体薄膜电池、多结薄膜电池等)，各种成膜技术特别是 CVD 及 MBE 等已涉及器件的结构及膜厚等(微米或纳米量级)。在第二代太阳能电池之后，采用各种新技术、新工艺生产的电池都可归为第三代太阳能电池，纳电子技术的量子阱概念出现在了第三代太阳能电池中，使它具有远高于 Shockley - Queisser 极限(32.8%)的高效率。另外，纳米微结构可形成量子阱超晶格，具有灵活的带隙调谐能力，其微带效应提高了对太阳光谱的吸收，使转

换效率得以增长；量子点阵列利用量子隧道效应，降低了材料对载流子输运的限制，抑制了载流子的复合；纳米线具有低的反射率，纳米薄膜具有良好的光吸收特性；特别的是，许多量子点和纳米晶粒被证明具有多激子产生的能力，可以有效提高电池的转换效率。预计未来在纳米微结构的太阳能电池集成阵列中，微纳电子技术将会对新型太阳能电池性能的改进有很大的促进作用。

另外，目前在氢能及氢能发电体系、燃料电池级、超级电容器中所用材料步入纳米尺寸，已给材料带来性能提高及改性。未来器件步入微结构阵列将会对器件性能有更大的提升。

第 2 章 太阳能及太阳能电池

在众多的新能源中,太阳能因为它的分布广泛、绿色环保、储量巨大、用之不竭、技术及市场化相对成熟等特点,一直受到人们的青睐。太阳能的光热效应、光伏效应、光化学效应,被广泛应用于家庭分布式采热、发电等。其中太阳能电池的家庭分布式发电极有可能成为第四代能源的有效补充(主要为民用方面)。

2.1 太阳能及太阳能电池的概述

太阳的表面温度约为 5000°C ,中心温度高达 $2\times 10^7^{\circ}\text{C}$,并不断向外辐射能量,这源于太阳内部不断发生的核聚变反应。在太阳内部,不断进行着由“氢”到“氦”的原子核反应,这种聚变反应伴随着巨大的能量不断辐射向宇宙空间,可以维持几十亿至上百亿年的时间,这种能量就是太阳能。

2.1.1 太阳能利用的种类及发展远景

太阳向宇宙空间的辐射功率为 $3.8\times 10^{20}\text{ MW}$,虽然辐射总能量很大,但只有 22 亿分之一的辐射总能量到达地球的大气层,约为 $1.73\times 10^{14}\text{ kW}$,这其中又有 30% 的能量被大气层反射,23% 被大气层吸收,其余的才能到达地球表面。尽管如此,地球表面接受到的太阳辐射能量仍是十分可观的,据估计,太阳每秒钟照射到地球上的能量就相当于 500 万吨标准煤燃烧所释放的能量。进入 21 世纪以来,利用太阳能光和热产生的成熟产品太阳能热水器及太阳能电池年产量一直保持 30% 以上的增长,太阳能利用被称为“世界上增长最快的能源利用形式”^[2]。

下面主要从太阳能的光热、光化学、光伏等方面综述对太阳能的利用。

1. 光热利用

太阳能光热利用是对太阳能最直接的一种利用方式,主要涉及以热能转换为主的转化和利用过程,它通过将太阳能转换为热能,实现热水供应、热发电以及驱动动力装置、空调制冷和强化自然通风等。

光热利用最广泛、最成熟的技术是利用太阳能集热器对水、空气或其他流体进行加

热。集热器主要分为平板型集热器、真空管集热器和聚焦集热器三种。光热利用典型的代表为太阳能热水器、太阳灶等。太阳能制冷主要有氨-水吸收式制冷和溴化锂吸收式制冷。太阳能制冷的研究主要集中于两个方面，一是开发中温聚焦式太阳能集热器，并且和现有制冷机组进行有机组合；二是研究与现有普通太阳能集热技术结合的低温热源驱动空调制冷法。在以上应用的基础上，人们着力于研究太阳热能利用与建筑的一体化，通过合理的设计，在新型建筑中能够通过太阳能实现采暖、采光、热水供应、空调制冷、强化自然通风、部分电力供应以及水质净化等功能，这也是当今节能和绿色建筑理念下的重要发展方向。

太阳能热发电是光热利用的另一主要领域。太阳能热发电也叫聚焦型太阳能热发电，通过大量镜面反射、折射聚焦，将太阳热能聚集，加热工质(实现热能和机械能相互转化的媒介物质)，产生高温、高压蒸汽，进而驱动汽轮机带动发电机发电，其基本构架如图 2-1 所示。太阳能热发电主要采用聚焦集热技术，分为槽式、塔式、碟式、菲涅尔式发电技术。其中槽式技术相对成熟，目前应用最广泛；塔式技术在效率提升与成本降低方面最具潜力；碟式技术转换效率最高，便于模块化部署；菲涅尔式造价最低且适于系统的小型化。由于太阳能热发电热-功转换部分与常规火力发电机组相同，因此大大降低了研发成本，技术成熟度也相对较高，特别适宜大规模应用。太阳能热发电的缺点在于对太阳的跟踪精度和机械磨损会影响系统的稳定性，另外，整个系统的占地面积也相对较大。

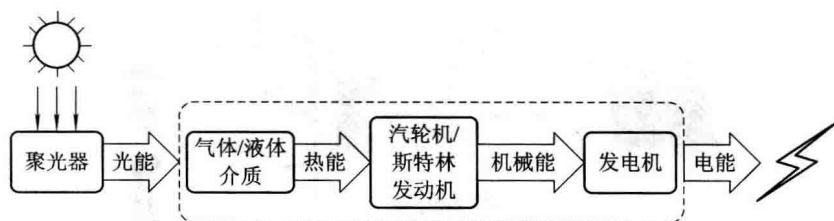


图 2-1 太阳能热发电系统组成构架

太阳能光热利用在可再生能源利用中是仅次于传统生物质、水力发电的第三大利用方式。《可再生能源中长期发展规划》中指出，我国将在城市推广普及太阳能一体化建筑、太阳能集中供热水工程，并建设太阳能采暖和制冷示范工程。预计到 2020 年，全国太阳能热水器总集热面积大约达到 3 亿平方米，加上其他太阳能热利用，年替代能源量达到 6000 万吨标准煤^[2]。

2. 光化学利用

太阳能的光化学利用是一种利用太阳辐射能直接分解水制氢的光-化学转换方式。通过太阳能光化学转换，能量由间歇性的太阳能转变为可储存的氢燃料，实现这一转变的途径包括太阳能热分解制氢、太阳能电解制氢和太阳能光催化制氢等。