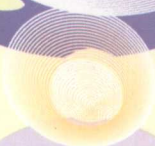




武汉太阳能

开发与应用

WU HAN TAI YANG NENG KAI FA YU YING YONG



武汉市科学技术局 编

武汉出版社



武汉太阳能

开 发 与 应 用

WU HAN TAI YANG NENG KAI FA YU YING YONG



武汉市科学技术局 编
武汉出版社

(鄂)新登字 08 号

图书在版编目(CIP)数据

武汉太阳能开发与应用/武汉市科学技术局编. —武汉:武汉出版社,2007. 12

ISBN 978 - 7 - 5430 - 3791 - 5

I. 武… II. 武… III. 太阳能 - 应用 - 武汉市 IV. TK519

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 179406 号

书 名:武汉太阳能开发与应用

编 者:武汉市科学技术局

责任编辑:何小敏

装帧设计:中新设计

出 版:武汉出版社

社 址:武汉市江汉区新华下路 103 号 邮 编:430015

电 话:(027)85606403 85600625

http://www.whcbs.com E-mail:wuhanpress@126.com

印 刷:武汉市劳兴印刷厂 经 销:新华书店

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16 字 数:261 千字 插 页:4

版 次:2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

定 价:98.00 元

版权所有·翻印必究

如有质量问题,由承印厂负责调换。

《武汉太阳能开发与应用》

编辑委员会

主 编：杨新年

副主编：马春华 张魁伟 孙明安 王亚宁 秦启鑫

成 员：李江玲 张 政 吴 翔 黄亚桥 胡 远 桂 军

顾问：吴麟章 于 军 陈宏愚

责任编辑：吴 翔 胡 远

编 审：黄亚桥 李江玲

编 辑：胡 远 吴春华 张 莹 李瑗珑 肖 瑜 张 宁

纪九军 李 铭 姚先桥

前言

进入新世纪以来，全球能源形势日趋紧张，电力、煤炭、石油等不可再生能源频频告急，能源问题成为制约国际社会经济发展的瓶颈，世界各国都在寻求新的能源替代战略，以求得在可持续发展和日后的国际竞争中取得优势地位。进入“十一五”时期以来，我国大力贯彻落实科学发展观，将资源的合理利用和环境建设放在了更为重要的位置，提出了建设“资源节约型、环境友好型”社会的目标。太阳能发电和热利用不仅被列入了国家《可再生能源产业发展指导目录》，而且国家高技术研究发展计划（“863计划”）也在“十一五”期间重点锁定“MW级并网光伏电站系统”和“太阳能热发电技术及系统示范”等三大先进能源技术领域。

根据武汉市的气候特点，相比其他的风力、地热、潮汐能等新能源，太阳能的利用更具有得天独厚的优势。特别在夏季，是武汉太阳能发电效率最高的季节，日辐射量可达到 $5\text{kWh}/\text{m}^2$ 以上。武汉一直高度重视太阳能的利用和推广工作，一批高校和科研院所在太阳能的推广应用方面具有相当强的研发实力；太阳能项目一直被作为科技攻关的重点项目得到了市委市政府和市科技局的高度重视，曾先后几次组织专家、太阳能企业代表围绕如何发展武汉太阳能产业等问题进行了深入探讨，并组织相关人员赴内蒙等地实地考察，学习其成功经验。此外，在大量调研资料的基础上编写了《武汉市太阳能产业发展规划》、《武汉市太阳能利用现状及发展对策》，编发了《太阳能专项动态》期刊。与此同时，市科技局在支持太阳能产业发展上投入了大

量的科技经费，从太阳能前期关键共性技术的攻关、太阳能光伏材料技术到生产工艺的研发，从单一太阳能工程到整体太阳能示范，这些都为武汉太阳能产业的发展奠定了良好的基础，使得武汉太阳能技术与产业呈现出了良好的态势。一批涉足太阳能开发利用的企业正逐步茁壮成长，不同类型的太阳能利用示范工程正在广泛地推广，取得了良好的经济和社会效益。

积极推动太阳能产业的发展，对于贯彻科学发展观，全面建设小康社会，实现武汉在中部地区率先崛起，具有十分重要的战略意义。在“十一五”期间，武汉推广和利用太阳能资源的工作将不断推进。规划重点扶持3-4家太阳能生产企业，加大对太阳能关键技术的攻关，即将组建“武汉太阳能工程技术研究中心”，并将太阳能相关技术的研究与产业化列为科教兴市重大产业科技攻关项目。

为了实现武汉市“十一五”和中长期太阳能产业发展的战略目标，实现能源供应的优质化、产业化和规模生产，武汉市将高度关注当今国际开发太阳能的热点，切实抓住中部崛起战略的良好机遇，主动进取，创造条件，把太阳能技术的发展应用作为一项基本的能源政策。为大力宣传、推广我市太阳能的利用，在群众中形成使用新能源的良好的节能环保意识，市科技局组织人员编写了《武汉太阳能开发与应用》一书。该书分为太阳能利用基本知识介绍、国外和国内开发与利用情况和武汉太阳能开发与利用共四个部分，内容全面、层次分明。书中不仅介绍了国内外太阳能推广与应用的基本情况，更是重点、详尽地反映了我市推广与应用太阳能的现状和前景，是对我市推广和应用太阳能工作的集中展示。全书图文并茂，可读性强。书中大量的图片，既直观生动地介绍了太阳能利用的基本知识，适合作为科普读物阅览，又具体翔实地提出了我市推广和利用太阳能的政策建

议，为政府决策提供了良好的依据。

希望本书的出版能对太阳能光伏技术及产业的发展起到促进与借鉴作用。

在本书的编辑过程中，得到了各级领导、相关部门、有关专家及企业的大力支持，在此表示感谢！

由于时间仓促，难免存在不足之处，望广大读者批评指正！

编者

2007.11.28

目 录

第一章 太阳能开发及利用综述	001
第一节 能源短缺引发新能源行业需求.....	003
第二节 太阳能资源及其特点.....	005
第三节 太阳能资源利用的技术领域.....	008
第二章 国外太阳能开发利用	046
第一节 世界太阳能开发利用现状.....	046
第二节 国外太阳能开发利用产业及示范工程.....	060
第三节 世界各国促进太阳能开发利用的产业政策.....	076
第三章 我国太阳能开发利用	082
第一节 我国太阳能开发利用现状.....	082
第二节 我国太阳能开发利用产业及示范工程.....	109
第三节 我国促进太阳能开发利用的产业政策.....	137
第四章 武汉太阳能开发利用	157
第一节 武汉太阳能资源及技术利用.....	157
第二节 武汉太阳能企业及产品.....	161
第三节 武汉太阳能开发利用示范工程.....	170

第五章 未来武汉发展太阳能产业的思考	196
第一节 武汉市发展太阳能的经济环境分析.....	196
第二节 武汉市发展太阳能的技术优势分析.....	200
第三节 武汉市发展太阳能的产业优势分析.....	203
第四节 武汉市发展太阳能的市场前景分析.....	208
第五节 武汉市太阳能利用应优先发展的重点领域.....	215
第六节 未来武汉市发展太阳能产业的思考及建议.....	225
 结束语	 242
 参考文献	 243

第一章 太阳能开发及利用概述

在石油、煤炭等化石能源日益减少并对生态环境造成的危害日益突出之际,全世界都把目光投向了可再生能源,尤其是太阳能。丰富的太阳辐射能以其取之不尽、用之不竭、无污染、廉价、人类能够自由利用的特点,越来越引起人类社会的高度关注。太阳能每秒钟到达地面的能量高达80万千瓦,假如把地球表面0.1%的太阳能转为电能,转变率5%,每年发电量可达 5.6×10^{12} 千瓦小时,相当于目前世界上能耗的40倍。

资源环境约束和经济快速增长的矛盾,已成为未来世界经济社会发展的严峻挑战。由于利用太阳能光伏光热效应具有安全可靠、无噪声、无污染、制约少、故障率低、维护简便等优点,是缓解能源紧张的新途径,已经得到各国政府的极大重视,发展太阳能产业已成为各国高度重视并大力推动的方向。

目前,我国太阳能的开发和利用主要集中在以下几个方面:

太阳能热利用:太阳能热利用就是利用太阳能热水器等装置把太阳能转化为热能。我国是世界上最大的光热利用国家,技术较为成熟。截至2006年年底,我国太阳能热水器产量已达1800万平方米,使用量为9000万平方米,是世界最大的太阳能热水器生产国和应用国。我国在太阳能热利用产业现有的基础上,将进一步改进太阳能热水器的技术;发展太阳能采暖系统与设备;推广大规模应用,特别是要把太阳能采暖系统与设备更多地用于节能建筑,推广低能耗(甚至零能耗)建筑。

太阳能热发电:太阳能热发电产业是利用太阳能集热器将太阳辐射能转换成热能,并通过热-力循环过程获得电能。目前世界上的太阳能热发电系统有3类:槽式、碟式和塔式聚焦系统。国际上已有1万千瓦级的示范电站,但尚未进入实际应用。我国70千瓦塔式太阳能热发电系统已在江苏江宁建成,并成功发电。太阳能热发电产业的发展潜力十分可

观,但总体上在我国还处于中试阶段,目前该产业尚有几个问题需要解决:一是关键技术的突破、核心部件的研发和实验室试验以及中试与成套设备的生产,掌握中、高温太阳能热发电技术和兆瓦级以上大规模太阳能高温热发电系统。二是依靠技术进步、规模利用和政策扶植降低成本(运行成本、土地成本)。三是解决大规模电能储存或并网技术难题。

太阳能光伏发电:太阳能光伏发电是基于半导体材料的光电效应,用太阳能光电器件(太阳能电池)把太阳能转化为电能。这个产业在世界和我国均发展迅速,2005年我国太阳能电池产量达150兆瓦。深圳已建成1兆瓦太阳能光电系统,年发电百万千瓦时;西部光电计划中已建成光伏电站7座,西藏也已建成了光伏示范电站,2005年全国光伏发电能力为7万千瓦。

对于太阳能这个作为21世纪最具发展潜力的能源,越来越多的国家开始有步骤地实行“阳光计划”,积极开发和利用太阳能资源、发展太阳能产业尤其是太阳能光伏产业。1998年以来,世界光伏电池产量以30%~40%的增速发展,2004年创增速60%的纪录。欧洲和美国、日本、澳大利亚等发达国家与地区一直把发展太阳能光伏电池放在发展可再生能源的首要地位。这些国家在可再生能源方面的研究和开发投资逐年增加,高纯度硅的生产也多集中在这几个国家的几家公司。在太阳能示范利用方面,这些国家都发布了规模为吉瓦(GW)级的百万光伏屋顶计划。美国计划到2020年光伏发电要占全美届时发电装机增量的15%左右,累计安装量达到3600万千瓦;以色列制定了90%以上的热水来自太阳能的目标;马来西亚也推出了千家万户屋顶计划。预计到2010年太阳能光伏电池成本将降低到可以与常规能源竞争的程度,届时太阳能将得到大面积的推广应用。到21世纪中叶,太阳能光伏发电将达到世界总发电量的15%以上,成为人类的基础能源之一。未来的全天候太阳能电池也将极大地促进其广泛应用。

在国际光伏市场巨大潜力的推动下,各国的光伏制造业争相投入巨资,扩大生产,以争一席之地。中国作为世界能源消耗第二大国也不例外。与国际上蓬勃发展的光伏发电相比,我国落后于发达国家10~15年,甚至明显落后于印度。但是,我国光伏产业正以每年30%的速度增长,2005年底国内光伏电池生产能力已达200MW以上。在国家各部委立项支持下,我国实验室光伏电池的效率已达21%,可商业化光伏组件效率达14~15%,一般商业化电池效率10%~13%。我国太阳能光伏电池生产成本

已大幅下降，太阳能电池的价格逐渐从2000年的40元/瓦降到2003年的33元/瓦，2004年已经降到27元/瓦。这对国内太阳能市场走向壮大与成熟起到了决定作用，对实现与国际光伏市场接轨具有重要意义。而且我国太阳能发电正在由边远偏僻无电地区和特殊应用向并网发电和与建筑结合供电的方向发展。

我国太阳能资源非常丰富，理论储量达每年17000亿吨标准煤。太阳能资源开发利用的潜力非常广阔。我国地处北半球，南北距离和东西距离都在5000公里以上。在我国广阔的土地上，有着丰富的太阳能资源。大多数地区年平均日辐射量在每平方米4千瓦以上，西藏日辐射量最高达每平方米7千瓦。年日照时数大于2000小时。与同纬度的其他国家相比，与美国相近，比欧洲、日本优越得多，因而有巨大的开发潜能。我国政府初步明确的发展目标是：2010年，光热利用面积达到1.5亿平方米，光电达到30万千瓦；2020年，光热利用面积达到3亿平方米，光电达到200万千瓦（替代4千万吨标准煤）。

第一节 能源短缺催生新能源行业

如果说20世纪是石油世纪，那么21世纪则是可再生能源的世纪，太阳能的世纪。据权威专家估计，如果实施强化可再生能源的发展战略，到本世纪中叶，可再生能源可占世界电力市场的3/5，燃料市场的2/5。在世界能源结构转换中，太阳能处于突出位置。美国的马奇蒂博士对世界一次能源替代趋势的研究结果表明，太阳能将在21世纪初进入一个快速发展阶段，并在2050年左右达到30%的比例，21世纪中叶至末叶太阳能将取代核能居第一位。壳牌石油公司经过长期研究得出结论，21世纪的主要能源是太阳能；根据欧洲联合研究中心的预测，到2030年可再生能源在总能源结构中占到30%以上，太阳能光伏发电在世界总电力的供应中达到10%以上；2040年可再生能源在总能源结构中占50%以上，太阳能光伏发电将占总电力的20%以上；到本世纪末可再生能源在能源结构中占到80%以上，太阳能发电占到60%以上，显示出最重要的战略地位，如表1-1和图1-1所示。日本经济企划厅和三洋公司合作研究后则更乐观地估计，到2030年，世界电力生产的一半将依靠太阳能。正如世界观察研究所的一期报告所指出：正在兴起的“太阳经济”将成为未来全球能源的主流。

表1-1 欧洲联合研究中心对未来能源发展预测

项 目	在能源结构中的比例 (%)	
	2050年	2100年
可再生能源	52	86
太阳能 (包括太阳能热利用)	28	67
太阳能发电 (包括太阳能热发电)	24	64

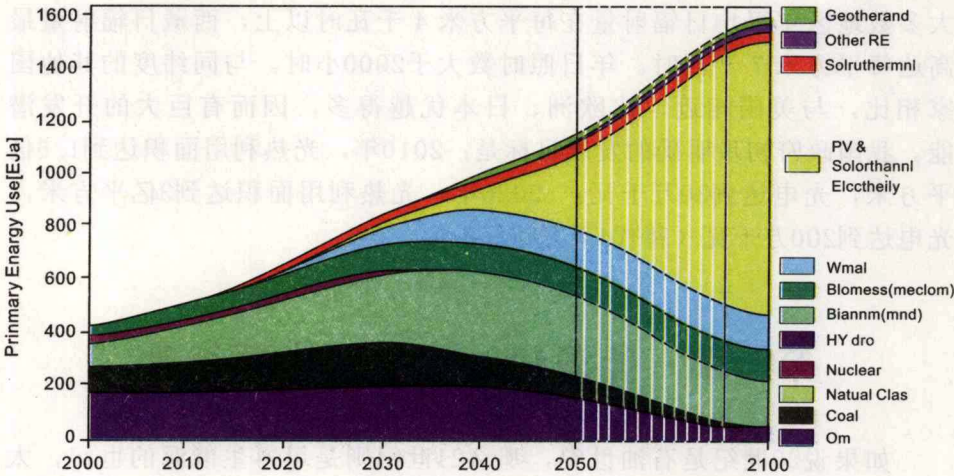


图1-1 欧洲联合研究中心对未来能源发展预测

欧洲光伏工业协会（EPIA）对光伏发电的预测：2020 年世界太阳能光伏组件年产量40GW，光伏发电总装机容量195GW，发电量274TWh，占全球发电量的1%，太阳电池光伏组件成本1美元/WP；2040年光伏发电量7368TWh，占全球发电量的21%（Renewable Energy World, 2003）。

发展替代能源是我国经济实现可持续发展的前提。2005年2月28日，《中华人民共和国可再生能源法》获得通过；2005年3月，国家发改委发布公告，宣布中国将在2005年到2007年间，实施可再生能源和新能源高技术产业化专项计划；《“十一五”规划的建议》中明确提出“加快发展风能、太阳能、生物质能等可再生能源”；国务院总理温家宝2007年3月在十届全国人大五次会议上作政府工作报告时提出，要大力抓好节能降耗、保护环境。国家一系列相关政策的出台和政府工作报告中有关节能降耗、保护环境的精神，无疑是中国太阳能产业发展的一把“尚方宝剑”，良好的政策环境，给太阳能产业以更大的发展空间。

表1-2 中国可再生能源发电的发展规划(至2020年)和预测(至2050年)

公历年		2004	2010	2020	2030	2050
小水电	装机(万千瓦)	3400	5000	7500	10000	20000
	年发电量(亿千瓦时)	1000	1545	2300	3200	6400
风电	装机(万千瓦)	76	500	3000	10000	40000
	年发电量(亿千瓦时)	11.4	105	690	2300	9200
生物质发电	装机(万千瓦)	200	550	2000	5000	10000
	年发电量(亿千瓦时)	51.8	212	835	2250	5000
光伏发电	装机(万千瓦)	6.5	35	180	3000	60000
	年发电量(亿千瓦时)	0.78	4.2	21.6	420	9000
可再生能源比例(%)		6.5 (3)	10 (4.2)	16 (8)	20 (14.6)	30 (22.5)

注：按照1KWh=350克标煤折算，不含大水电；

最后一行前面的数字是可再生能源装机容量所占的比例，括号中是年发电量的比例。

第二节 太阳能资源及其特点

太阳能是各种可再生能源中最重要的基本能源，生物质能、风能、海洋能、水能等都来自太阳能，广义地说，太阳能包含以上各种可再生能源。在可再生能源中，太阳能是新能源和可再生能源中最引人注目、开发研究最多、应用最广的清洁能源，是最重要、最基本的能源。广义的太阳能所包括的范围非常大，狭义的太阳能则限于太阳辐射能的光热、光电和光化学的直接转换。太阳能既是一次能源，又是可再生能源。它资源丰富，既可免费使用，又无需运输，对环境无任何污染，因而具有安全可靠、清洁卫生、节省开支、自动工作、可长期使用等优点。因此，太阳能是未来新能源体系中极其重要的战略能源。太阳能作为可再生能源的一种，则是指太阳能的直接转化和利用。通过转换装置把太阳辐射能转换成热能利用的属于太阳能热利用技术，再利用热能进行发电的称为太阳能热发电，也属于这一技术领域；通过转换装置把太阳辐射能转换成电能利用的属于太阳能光发电技术，光电转换装置通常

是利用半导体器件的光伏效应原理进行光电转换的,因此又称太阳能光伏技术。

我国的国土面积,从南到北,自西向东,距离都在5000km以上,陆地总面积达960万平方公里,为世界陆地总面积的7%,居世界第三位。在我国广阔富饶的土地上,有着十分丰富的太阳能资源。从我国太阳年辐射总量的分布来看,西藏、青海、新疆、宁夏、甘肃、内蒙古南部、山西北部、陕西北部、辽宁、河北东南部、山东东南部、河南东南部、吉林西部、云南中部和西南部、广东东南部、福建东南部、海南岛东部和西部以及台湾的西南部等广大地区的太阳辐射总量很大。

一、我国太阳能资源分布的主要特点

1、太阳能的高值中心和低值中心都处在北纬 $22^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 这一带,青藏高原是高值中心,四川盆地是低值中心。

2、太阳年辐射总量,西部地区高于东部地区,而且除西藏和新疆两个自治区外,基本上是南部低于北部。

3、由于南方多数地区云多雨多,在北纬 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 地区,太阳能的分布情况与一般的太阳能随纬度而变化的规律相反,太阳能不是随着纬度的增加而减少,而是随着纬度的升高而增长。

二、我国太阳总辐射量的地区分类

(一) 一类地区

全年日照时数为3200h~3300h。在每平方米面积上一年内接受的太阳辐射总量为6680MJ~8400MJ,相当于225kg~285kg标准煤燃烧所发出的热量。主要包括宁夏北部、甘肃北部、新疆东南部、青海西部和西藏西部等地,是我国太阳能资源最丰富的地区。

(二) 二类地区

全年日照时数为3000h~3200h。在每平方米面积上一年内接受的太阳辐射总量为5852MJ~6680MJ,相当于200kg~225kg标准煤燃烧所发出的热量。主要包括河北西北部、山西北部、内蒙古南部、宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部和新疆南部等地,是我国太阳能资源较丰富地区。

(三) 三类地区

全年日照时数为2200h~3000h。在每平方米面积上一年内接受的太阳辐射总量为5016MJ~5852MJ,相当于170kg~200kg标准煤燃烧所发出

全年日照时数为3200h~3300h。在每平方米面积上一年内接受的太阳辐射总量为6680MJ~8400MJ,相当于225kg~285kg标准煤燃烧所发出的热量。主要包括宁夏北部、甘肃北部、新疆东南部、青海西部和西藏西部等地,是我国太阳能资源最丰富的地区。

(二) 二类地区

全年日照时数为3000h~3200h。在每平方米面积上一年内接受的太阳辐射总量为5852MJ~6680MJ,相当于200kg~225kg标准煤燃烧所发出的热量。主要包括河北西北部、山西北部、内蒙古南部、宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部和新疆南部等地,是我国太阳能资源较丰富地区。

(三) 三类地区

全年日照时数为2200h~3000h。在每平方米面积上一年内接受的太阳辐射总量为5016MJ~5852MJ,相当于170kg~200kg标准煤燃烧所发出的热量。主要包括山东东南部、河南东南部、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东南部、福建南部、江苏北部、安徽北部、天津、北京和台湾西南部等地,是我国太阳能资源的中等类型区。

(四) 四类地区

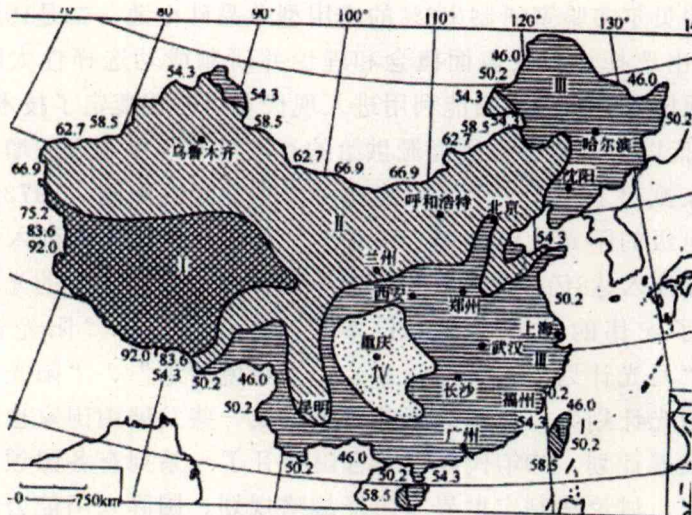


图1-2 中国太阳能资源分布图 (100MJ/m²)

I 资源丰富带 6700MJ/(m².a)*; II 资源较富带 5400~6700MJ/(m².a);

III 资源一般带 4200~5400MJ/(m².a); IV 资源贫乏带 < 4200MJ/(m².a)

我国陆地面积每年接收的太阳辐射总量在 $3340\sim 8400\text{MJ}/\text{m}^2$ 之间,相当于17000亿吨标准煤,属太阳能资源丰富的国家之一。一、二、三类地区,年日照时数大于2200h,太阳年辐射总量高于 $5016\text{MJ}/\text{m}^2$,是我国太阳能资源丰富或较丰富的地区,面积较大,约占全国总面积的2/3以上,具有利用太阳能的良好条件。四、五类地区,虽然太阳能资源条件较差,但是也有一定的利用价值。如果仅利用荒漠地区,来发展太阳能发电,即使只保守地利用荒漠面积的百分之一安装太阳能光伏发电系统,按平均每年额定功率运行1000小时计算,折算装机为13亿千瓦,年发电量相当于15座三峡电站的年发电量。也就是说,如果按2002年全国年耗电量计算,只需在全部荒地面积的1.28%上安装太阳能光伏并网发电系统就可以提供我国全年全部用电量。如果再加上全国建筑占地面积用于开发太阳能利用,其潜力更是巨大。

第三节 太阳能资源利用的技术领域

20世纪50年代,太阳能利用领域出现了两项重大技术突破:一是1954年美国贝尔实验室研制出6%的实用型单晶硅电池,二是1955年以色列Tabor提出选择性吸收表面概念和理论并研制成功选择性太阳吸收涂层。这两项技术突破为太阳能利用进入现代发展时期奠定了技术基础。

70年代以来,鉴于常规能源供给的有限性和环保压力的增加,世界上许多国家掀起了开发利用太阳能和可再生能源的热潮。1973年,美国制定了政府级的阳光发电计划,1980年又正式将光伏发电列入公共电力规划,累计投入达8亿多美元。1992年,美国政府颁布了新的光伏发电计划,制定了宏伟的发展目标。日本在70年代制定了“阳光计划”,1993年将“月光计划”(节能计划)、“环境计划”、“阳光计划”合并成“新阳光计划”。德国等欧共体国家及一些发展中国家也纷纷制定了相应的发展计划。90年代以来联合国召开了一系列有各国领导人参加的高峰会议,讨论和制定世界太阳能战略规划、国际太阳能公约,设立国际太阳能基金等,推动全球太阳能和可再生能源的开发利用。开发利用太阳能和可再生能源成为国际社会的一大主题和共同行动,成为各国制定可持续发展战略的重要内容。