

光伏发电与资源环境

陈诺夫^{1,2} 白一鸣¹

(1. 华北电力大学可再生能源学院, 北京 昌平 102206

2. 中国科学院力学研究所国家微重力实验室, 北京 海淀 100080)

摘要: 能源替代形式的迫切性和环境保护的严峻性使得太阳能光伏发电技术倍受瞩目。本文针对目前光伏发电技术的现状进行了详尽的介绍与分析, 同时结合全球太阳能资源分布、光伏材料资源的分布及政府的扶持政策对其发展前景进行了展望。最后对光伏发电技术在提供大电力的同时对我们赖以生存的环境资源保护予以肯定。

关键词: 太阳电池、光伏电站、环境、资源

文章编号: 1674-4586 (2010) 02-0017-09 **中图分类号:** TK51 **文献标识码:** A

Photovoltaic Power Generation and Environment & Resources

CHEN Nuofu^{1,2} BAI Yiming¹

(1. School of Renewable Energy, North China Electric Power University, Changping District 102206, Beijing

2. National Microgravity Laboratory, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Haidian District 100080, Beijing China)

Abstract: Great attention has been paid on solar energy photovoltaic power technology due to the stringent need of alternative energy and the challenge of environmental protection. This paper introduces and analyzes the present status of photovoltaic power technology in detail, gives expectations for its development prospect based on the distribution of resources for solar energy and for photovoltaic material worldwide and government support policy. Finally, the fact which should be affirmed is that photovoltaic power technology not only can provide with large electric power, but also protect our environmental resources which our subsistence is relied on.

Keywords: Solar cells; Photovoltaic power plants; Environment; Resources

1 引言

煤、石油、天然气……这些积蓄了亿万年的化石能源, 经过数百年的巨大消耗, 已经不可逆转地走向枯竭。世界各国的能源研究机构和专家经过缜密测算, 得出了比较一致的结论: 全球化石燃料的生产和消耗峰值将出现在 2030-2040 年之间^[1-2], 图 1 给出了中国主要能源储量和世界能源储量对比。与此同时, 全球气候变暖问题日趋严重。过去大半个世纪以来, 二氧化碳气体每年的增加水平大约为 1.3 ppm; 到上世纪 90 年代, 这个数据增加到 1.6 ppm, 到 2002 年和 2003 年增加到 2.0 ppm。但

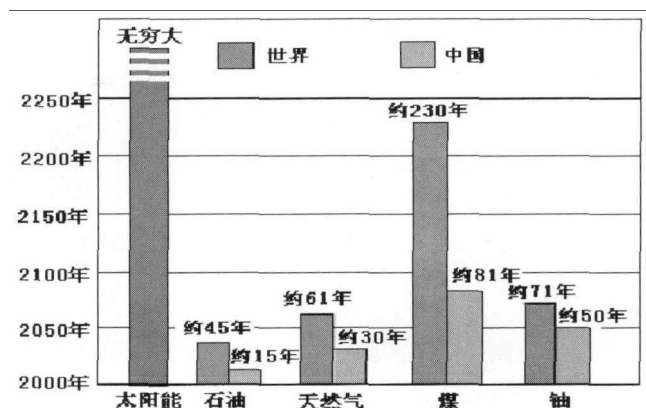


图 1 中国主要能源储量和世界能源储量对比

作者简介: 陈诺夫, 博士。 Tel: +86 10 8230 4566; Fax: +86 10 8230 4588.
收稿日期: 2010.1.4

是2005年前10个月的未公开的数据显示这个数字已经增长到2.2 ppm。近日由《独立报》公布的相关资料显示,二氧化碳是全球气候变暖问题的主要原因。专家认为不断上升的温度警示自然界正在释放出越来越多的温室气体,变暖问题已进入一个新的阶段,而且会进一步加剧^[3]。

传统矿物资源的枯竭和环境问题的日益恶化,促使人类将目光转向取之不尽、用之不竭、清洁无污染、随时可开发利用的太阳能资源。据统计计算,太阳能每秒钟到达地面的能量高达80万千瓦,如果把地球表面0.1%的太阳能转化为电能,以5%的转换效率计算,每年发电量可达 5.6×10^{12} 千瓦时,相当于目前世界上能耗的40倍^[4]。因此,光伏发电技术是近年来发展最快,最具活力的研究领域之一。自1839年法国Becquerel第一次在化学电池中观察到光伏效应后,科学工作者不断地探索研究各种太阳能电池^[5]。1954年,贝尔实验室Chapin等人开发出效率为6%的单晶硅太阳能电池,成为现代太阳能电池开始的划时代标志^[6]。目前,以澳大利亚新南威尔士大学钝化发射区电池,德国Fraunhofer太阳能研究所的局部背场电池及美国斯坦福大学的背面点接触电池等为典型代表的第一代晶体硅高效太阳能电池,这类电池的实验室效率已达到24.7%,大规模生产商用产品的效率为17%以上^[5-7];多晶

硅太阳能电池的实验室效率也突破了20%。第二代薄膜太阳能电池也取得了令人瞩目的成就,CuInSe₂和CdTe等薄膜电池的实验室效率目前分别为19.5%和16.5%^[7]。其他新型电池,如燃料敏化电池、有机电池也不断刷新以往的记录,更高效率的新概念电池也受到广泛重视。表1列出了已报道的各种太阳能电池的最高转换效率^[9]。

能源替代形式的迫切性、环境保护的严峻性、电池效率的攀升、及德、日、美等国的扶持政策使得光伏装机量近年来急剧攀升,并网发电的应用比例迅速提升,并成为光伏发电的主导市场。据全球光伏市场调研机构Solarbuzz日前发布的最新版的世界光伏市场报告显示,尽管全球仍然深陷金融危机漩涡,但全球太阳能电池产量从2007年的3.44 GW增长到2008年的6.85 GW,2008年世界光伏市场的装机量仍达到了创纪录的5.95 GW,相比上一年度增幅达到110%。此外,薄膜电池产量也大幅提高,2008年增幅为123%,达到0.89 GW^[10]。值得注意的是,中国太阳能电池厂商(包括台湾省)的市场占有率逐年提升,中国光伏产业在过去的几年中每年以200%的速度增长,目前已经成为世界第一大太阳能电池生产国,年产值2000亿元,就业人数20万^[11]。

表1 已报道的各种太阳能电池的最高效率

电池种类	光电转换效率%	研制单位	备注
单晶硅太阳能电池	24.7±0.5	澳大利亚新南威尔士大学	4cm ²
背接触聚光单晶硅电池	26.8±0.8	美国SunPower公司	96倍聚光
GaAs多结太阳能电池	40.7±1.7	Spectrolab	240倍聚光
多晶硅太阳能电池	20.3±0.5	德国弗朗和费	1.002 cm ²
非晶硅薄膜太阳能电池	14.5(初始)±0.7 12.8(稳定)±0.7	美国USSC公司	0.27 cm ²
CuInGaSe	19.5±0.6	美国国家可再生能源实验室	0.410 cm ²
CdTe	16.5±0.5	美国国家可再生能源实验室	1.032 cm ²
多晶硅薄膜太阳能电池	16.6±0.5	德国斯图加特	4.017 cm ²
纳米硅太阳能电池	10.1±0.2	日本中渊公司	2μm厚膜
燃料敏化太阳能电池	11.0±0.5	EPFL	0.25 cm ²
超薄基区异质结太阳能电池HIT	21.2	日本	100.5 cm ²

世界光伏产业和市场的蓬勃发展,使得光伏发电在世界能源消费中占据了越来越重要的席位。根据欧盟联合研究中心的预测,太阳能光伏发电在不远的将来不但要替代部分常规能源,而且将成为世界能源供应的主体。与发达国家相比,我国虽然近年来光伏产业迅猛发展且技术日趋成熟,但是依然存在着制约产业迅速发展的不利因素和障碍。面对新的机遇和挑战,我们如何抓住有利时机,我国政府、科学工作者及光伏企业任重而道远。基于此,本文对光伏发电技术和现有资源储量的关系进行了分析,以此为基础,分析了光伏发电技术的现状,并对其发展前景进行了展望;最后针对我国的特殊现状予以分析并给予一定的建议。

2 光伏发电与资源环境

最近,世界各国已经普遍将可再生能源的开发利用提高至战略地位,其中绿色光伏发电技术已成为实现能源可持续发展的重中之重。这无疑源于两个方面(1)太阳能资源的取之不尽、用之不竭、随处可开发利用;(2)光伏发电技术对环境保护的积极作用。

2.1 光伏发电与太阳能资源

太阳能是各种可再生能源中最重要基础能源,人类赖以生存的自然资源几乎全部转换自太阳

能,其它如生物质能、风能、海洋能、水能等均来自太阳能。同时,太阳能资源是一种取之不尽、用之不竭、无污染、人类能够充分利用的能源。根据欧洲委员会定义为101标准,在白天标准太阳光照条件下(AM 1.5),环境温度为25℃时,辐射强度为1000 W/m²,太阳能每秒钟到达地面的能量高达80万千瓦,如果把地球表面0.1%的太阳能转化为电能,以5%的转换效率计算,每年发电量可达5.6×10¹²千瓦小时,相当于目前世界上能耗的40倍^[12]。这意味着在全球4%的沙漠上安装太阳能光伏系统,就足以满足全球的能源需求。

我国的大部分地区都处在北纬18度至53度之间,地理位置优越,太阳能资源丰富。我国各地的太阳能年辐射总量在330~1000 kJ/cm²·年之间,其中太阳能辐射最强的有三个地区:(1)青藏高原,其大部分地区在670 kJ/cm²·年以上;(2)塔里木盆地至内蒙古西北一带,辐射总量在630 kJ/cm²·年以上;(3)西辽河中游一带,辐射总量为590-670 kJ/cm²·年。这些地区占全国总面积的一半,太阳能资源十分丰富。图2为我国的太阳能资源分布图^[13]。显然我国的太阳能资源十分丰富,如果光伏技术在将来可以大规模付诸应用,不仅可以提供未来国民经济发展的电力能源外,还可以降低室温气体和污染物的排放,而且可以创造更多的就业机会,这对国民经济、环境保护和社会稳定具有十分积极的意义。

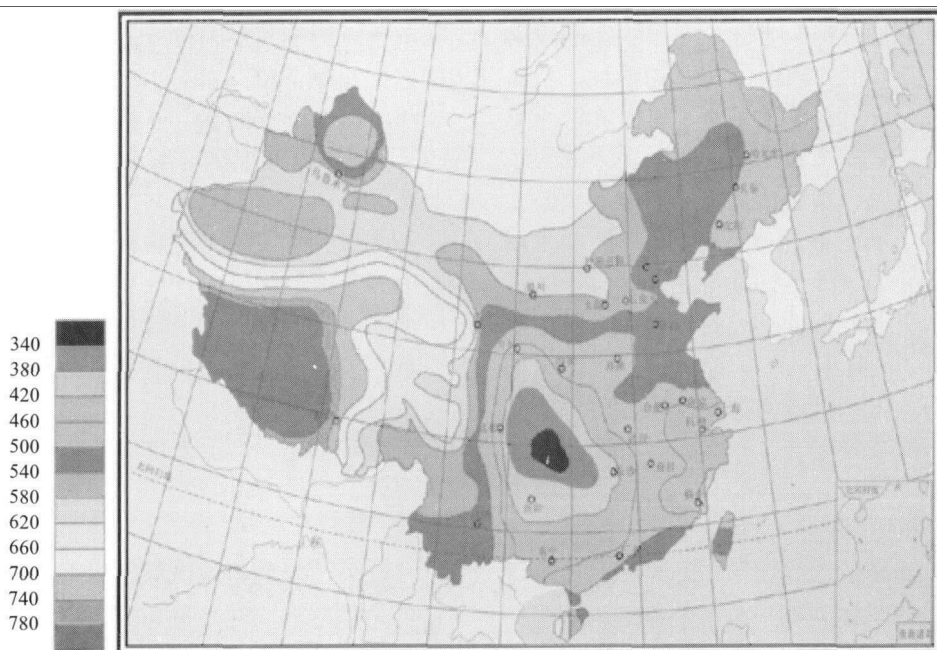


图2 我国全年太阳总辐射分布图

2.2 光伏发电与光伏材料储量分析

尽管各种新概念太阳电池不断涌现,效率也不断攀升,但是现阶段进入民用领域的太阳电池主要是晶体硅太阳电池,占目前产量的90%以上,并且可以确定这种情况在短期内不会发生根本的改变。这是因为硅在地壳中的含量高达27.7%,是地壳中第二大储量元素,资源及其丰富^[14]。在半导体材料中,人们对它的研究最多,其制造工艺成熟、产品性能稳定、对环境污染少。但从技术上讲,晶体硅并不是最佳材料,其光电转换效率亦不是最佳;另一方面,从成本上来说,晶体硅电池成本偏高,其市场价格约为3\$/Wp~4\$/Wp,这其中约70%是180-300 μm 厚的硅片成本^[15]。因此,进一步发展高转换效率和低成本的太阳电池成为光伏领域必然的发展趋势^[16-17]。

从光电转换效率来说,GaAs基多结太阳电池的转换效率已经突破35.8%^[18],是目前所有太阳电池中效率最高的,但是Ga、In、P、Ge等都属于稀有元素,其成本远大于硅电池的材料成本,而电池片的价格是光伏系统成本最主要的部分。因此,较高的发电成本制约了其大规模地面应用。为了进一步提高光电转换效率、降低光伏发电成本、减少太阳电池材料的消耗,采用聚光技术是一项可行的措施,即在聚光条件下,一方面使得电池芯片单位面积接收的辐射功率密度大幅度地增加,太阳电池光电转换效率得以提高;另一方面,对于给定的输出功率,可以大幅度降低太阳电池芯片的消耗,从而减少Ga、In、P、Ge等材料的消耗,进而降低系统的成本^[19-20]。

从降低成本来说,薄膜技术近年来异军突起,世界第二大光伏生产商First solar主要以薄膜太阳电池为主。薄膜太阳电池是在廉价的玻璃、不锈钢或塑料衬底上附上非常薄的感光材料制成,它们的厚度只有几微米,比用料较多的晶体硅技术造价更低,其价格优势可抵消低效率的问题,目前也成为光伏发电技术未来发展趋势之一^[21]。目前已商业化的薄膜太阳电池有三种:非晶硅(a-Si)、铜铟硒(CIS, CIGS)和碲化镉(CdTe)。

另一类更有希望的薄膜太阳电池是多晶硅薄膜太阳电池。传统晶体硅太阳电池的制造程序为:(1)西门子法还原多晶硅,(2)多晶硅重熔、铸锭,(3)多晶硅切片,(4)多晶硅表面处理,(5)

扩散法制p-n结,(6)制减反射膜,(7)制上、下表面电极。而多晶硅薄膜太阳电池的制造程序为:(1)新工艺还原多晶硅生长p-n结,(2)制减反射膜,(3)制上、下表面电极。

比较两种制造程序不难看出:制造多晶硅薄膜太阳电池,省掉了传统晶体硅太阳电池的(2)多晶硅重熔、铸锭,(3)多晶硅切片,(4)多晶硅表面处理,(5)扩散法制p-n结等四道工序。其中工艺(2)和(5)是非常耗能的过程,工艺(4)要使用大量的酸和碱,稍有不慎就会对环境造成污染,工艺(3)的切片过程要损耗30%的硅材料。目前,硅片的厚度一般为180 μm ,而有效的硅厚度仅为50 μm 。因此,与传统多晶硅太阳电池相比,制造多晶硅薄膜太阳电池可以节省硅材料70%以上、减少能耗60%以上,可以显著降低电池制造过程中的碳排放。因此,研制多晶硅薄膜太阳电池具有重大的经济效益和社会效益。

2.3 光伏发电对环境的保护作用

向大气释放的CO₂中,80%以上来自于传统矿物能源的消耗,而CO₂作为最主要的温室气体,是导致气候变化的罪魁祸首^[22]。南北半球的高山冰川和积雪消融加速、全球海平面上升加速、极端天气日益频繁的出现... ..,越来越多的警示告诉我们必须节能减排,必须大力扶持绿色可再生能源的发展。光伏发电最重要的特征是保护气候。光伏发电在发电过程中基本不排放CO₂,可以为减缓气候变化作出贡献。据统计,光伏发电系统每发电1亿kWh,可以节省标准煤4万吨,可以减少4.5万吨CO₂的排放、减排粉尘486吨、减排灰渣约1万吨、减排二氧化硫约756吨。

其次光伏发电不产生传统发电技术(例如燃煤发电)带来的污染物排放和安全问题,没有废气、废渣和噪音污染。除了碲化镉(CdTe)电池以外,光伏系统报废后也很少有环境污染的遗留问题,这对改善环境具有积极的意义。而且电池板、安装材料可循环使用,制造光伏设备的能源投入可以进一步降低,同时可以节约相当一部分用来治理环境的资金。

此外,光伏电站可以很多形式存在,在提供大量电力供应的同时,避免占用更多的土地资源。其典型的应用就是光伏建筑一体化,即将光伏阵列置于屋顶或墙壁上,这意味着在公共、私人 and 工业建

筑的屋顶和墙面上都有巨大的安装潜力。其优点在于：(1) 节约土地资源，特别是土地昂贵的城市建筑尤为重要；(2) 原地发电、原地使用，能节省电站并入电网的投资；(3) 降低建筑的受热，避免了墙面温度和屋顶温度过高，降低了空调负荷，并改善了室内环境；(4) 光伏电池阵列墙作为建筑物的玻璃幕墙，可以节约昂贵的外饰材料，使建筑外观更具魅力，同时可减少建筑物的整体造价等。

3 光伏发电的现状与未来

光伏发电技术的开发始于 20 世纪 50 年代，并随着传统矿物资源的日益枯竭而于近年得到迅速发展。特别是得益于德、日、美等发达国家的政策扶持而迎来了一个美好的春天。

3.1 光电转换效率逐步提高、新概念太阳能电池不断涌现

从第一块单晶硅太阳能电池发展至今，太阳能电池所用材料涉及到几乎所有半导体材料，包括硅、无机化合物半导体、有机半导体，甚至一些金属材料。结构上也丰富多样，有同质结、异质结、平面结、

垂直结、叠层、集成、薄膜等。伴随着电池种类的增多、结构的优化及制备工艺的改善，太阳能电池的效率也节节攀升，特别是 80 年代初期，得益于半导体技术的迅猛发展，太阳能电池光电转换效率迅速提高。迄今，单晶硅太阳能电池的实验室效率为 24.7%，多晶硅太阳能电池的实验室效率为 20.3%，GaAs 基太阳能电池的实验室效率为 35.8%，而聚光条件下 GaAs 基多结电池的效率更是高达 40% 以上。伴随着电池实验室效率的提高，商业化电池的效率也稳步提升，单晶体太阳能电池的效率为 16%~20%，多晶体硅电池的效率 15% 以上。薄膜太阳能电池的研究工作自 1987 年以来发展迅速，成为世界关注的新热点。非晶硅薄膜电池实验室稳定效率达到了 13%、铜铟硒 (CIS) 的实验室效率达到 19.5%。此外，新概念太阳能电池不断涌现，如近几年迅速发展的染料敏化太阳能电池和有机聚合物太阳能电池也备受人们关注，前者实验室最高光电转换效率为 11%^[23]，后者为 7%^[24]。图 3 给出了不同种类太阳能电池效率不断攀升的概况^[25]。多晶硅薄膜太阳能电池的制备技术一旦获得突破，其应用前景不可估量。

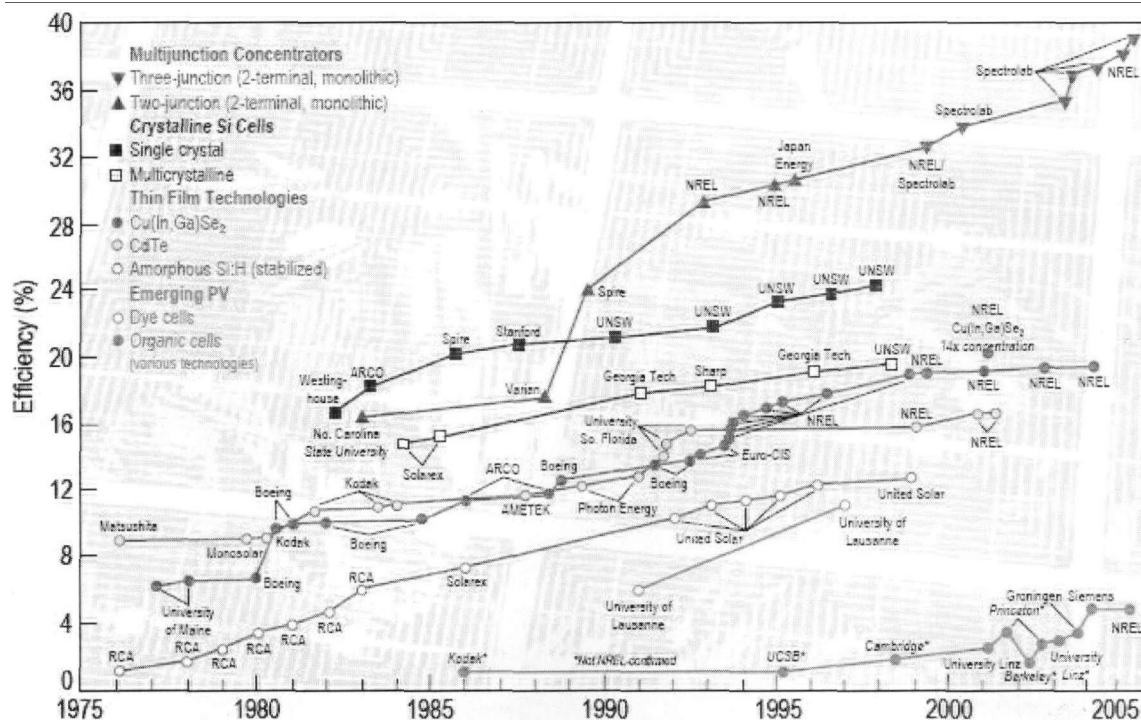


图 3 不同种类太阳能电池效率不断攀升的概况

3.2 光伏发电成本逐步下降

发电成本的降低是推动光伏发电技术进入能

源市场的主要动力。经过近 30 年的努力，太阳能电池厂的生产规模不断扩大、自动化程度持续提高、技术水平逐步改进，及光伏市场的有效开拓促使光

光伏发电成本不断降低。目前，太阳电池单厂生产规模已经由 20 世纪 80 年代的几 MW 上升到目前的几百 MW，且商业化电池效率也得以显著提高。

这些因素共同促使光伏发电成本显著降低。图 4 给出了自 1995 年至今，不同种类太阳电池发电成本的对比曲线，并对未来十年光伏发电成本进行了预测。由图 4 可见，2000 年晶体硅太阳电池的发电成本约为 \$0.57/W，2005 年不足 \$0.25/W，发电成本下降了一倍，而且未来十年还会有显著地降低。在各种太阳电池中，聚光太阳电池的发电成本是最低的。此外，世界各国的光伏激励政策及相关法律的保障对降低光伏发电成本的作用也不可忽视。图 5 给出了美国能源部对光伏价格的预测结果，其中

SAI 为美国太阳能先导计划，从这个图可以看出政策的扶持对光伏发电成本的降低具有十分显著的作用^[26]。不难想象，当光伏发电成本与常规能源发电成本相当的时候，它的市场将会更加广阔，图 6 给出了 2004 年欧盟联合研究中心(JRC: Joint Research Centre) 预测的各种能源在未来能源消耗中的战略地位。如图所示，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将达到 10% 以上；2040 年可再生能源将占总能耗的 50% 以上，太阳能光伏发电将占总电力的 20% 以上；到 21 世纪末可再生能源在能源结构中占到 80% 以上，太阳能光伏发电将占到 60% 以上，并显示出其重要的战略地位。

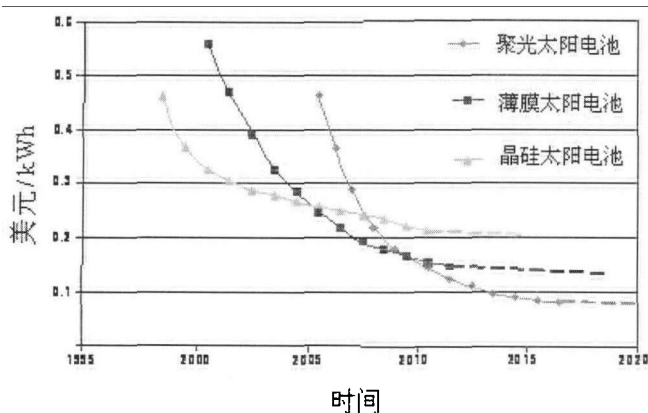


图 4 不同种类太阳电池发电成本现状及预测

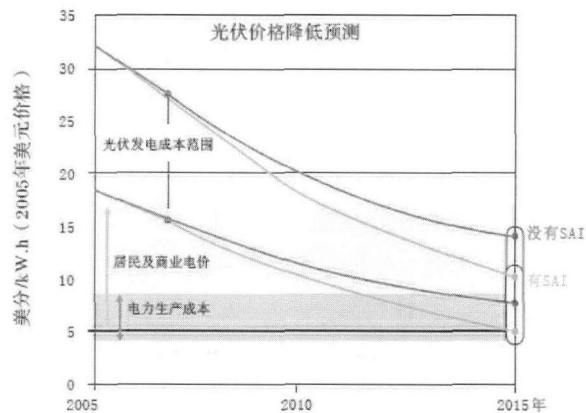


图 5 美国能源部对光伏发电价格的预测

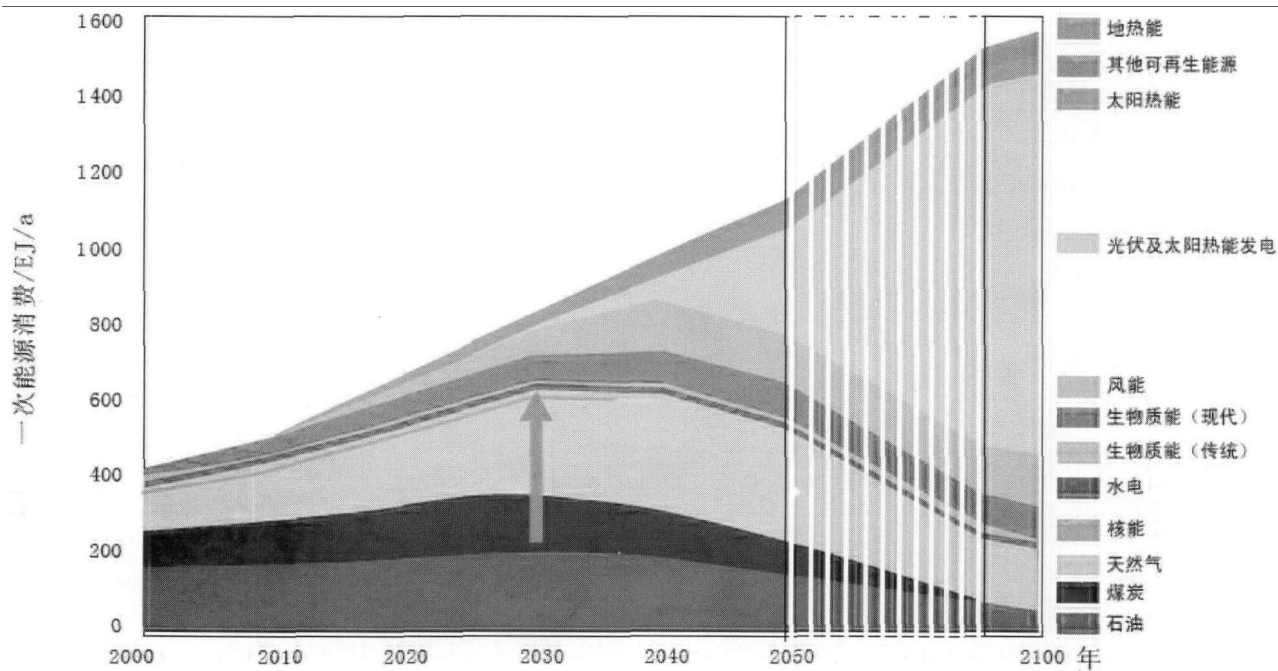


图 6 2004 年欧盟联合研究中心预测

3.3 有效的扶持政策使得光伏电池产量与装机总量逐年增加

近 30 年来，光伏市场蓬勃发展，特别是最近 10 年，太阳电池及组件生产的年平均增长率达到 33%，最近 5 年的年平均增长率达到 43%^[27]，2006 年世界太阳电池产量达到 2500 MWp，2007 年全球太阳电池产量达到 3.44 GW，2008 年增至 6.85 GW^[10]。图 7 给出了世界太阳电池历年产量的柱形图，可以看出光伏发电已经从“候补能源”逐步向“替代能源”过渡，这其中离不开政策的扶持。众所周知，目前光伏发电成本较传统能源发电来说，成本相对较高，单纯市场的拉动不可能使光伏产业发展如此迅猛，这主要得益于德国、日本、美国和西班牙各国的鼓励政策，如德国的《可再生能源法》与“十万屋顶计划”、美国的《净电量计量法》与“购买降价”、日本的“新阳光计划”等，即通过信贷支持、财政补贴、税收优惠等措施调动人民群众的积极性，从而使得光伏发电技术得到大规模的推广应用^[28]。西班牙是一个快速崛起的光伏市场。

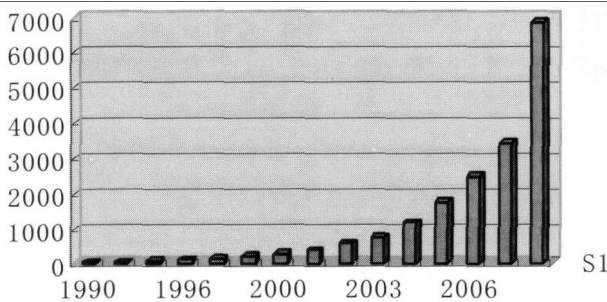


图 7 世界太阳电池历年产量柱形图

据 2008 年欧洲光伏产业协会 (EPIA) 发布的世界太阳能市场排名显示，目前欧洲仍然是全球太阳能市场最重要的地区，占到总装机量份额的 82%。2008 年全球太阳能光伏市场装机总量由 2007 年的 2.4GW 增长至 5.5GW，其中，西班牙占了近一半的新机装机容量，285% 的年增幅使其超过德国，居世界第一位。德国新装 1.5GW 的新增装机容量位居第二，美国新装 342MW，位居第三。韩国由于去年市场的快速发展已经上升到第四位，紧随其后的是意大利和日本^[10,29]。

全球光伏市场 2007 年总收入达到了 159 亿美元，2008 年总收入达到了 371 亿美元，新的机遇和挑战创造出了一个有一个的财富神话^[30]。图 8 给出了 2008 年世界太阳电池生产厂商前二十五位。

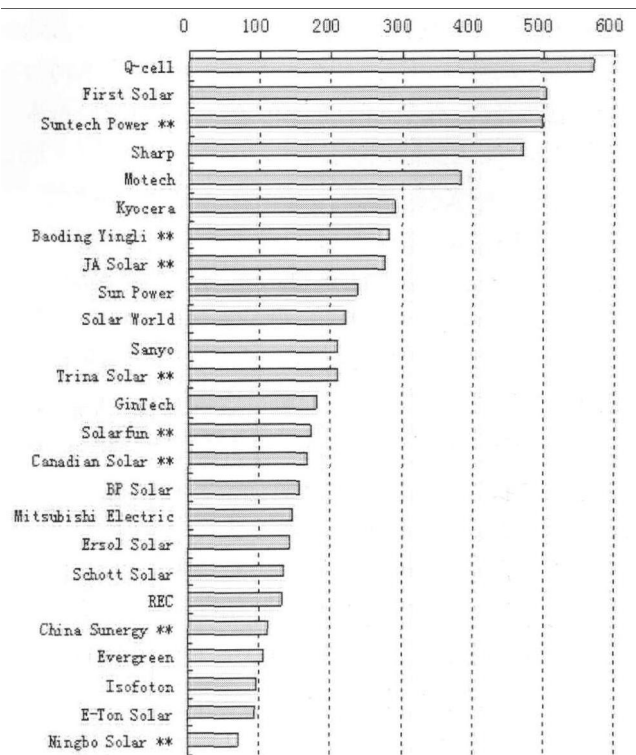


图 8 2008 年世界太阳电池生产商前二十五名

需要特别指出的是，近年来中国光伏产业的发展如日中天。中国 2004 年太阳电池的年产量超过 50MW，是前一年的 4 倍；2005 年产量达到 130MWp，2006 年为 369.5MWp，紧随日本和德国之后，位居世界第三大光伏电池生产国。2007 年产量超过 1GW，2008 年超过 2GW，居世界第 1 位^[31]。然而，遗憾的是我们的产品大都销往欧美等发达国家。这主要是因为到目前为止，电力部门还没有正式接受光伏发电上网，有效的导引政策还没有明确实施。但是国家已然意识到这个问题，2006 年起颁布了《可再生能源法》；2007 年 8 月 31 日，国家发改委印发了《可再生能源中长期发展规划》，提出了 2020 年前可再生能源发展的指导思想、基本原则、发展目标、重点领域和保障措施；2008 年 3 月 18 日，国家又出台了《可再生能源发展“十一五”规划》，进一步明确了到 2020 年底我国可再生能源发展的目标和方向。我们也充分的相信在不久的将来，政府会制定强有力的政策以驱动我国光伏产业的蓬勃发展。

3.4 较大型光伏电站日益增多，并网发电是发展方向

1976 年美国麻省理工学院研制出 60 kW 光伏电站用于农业，1982 年美国又率先建成 1 MW 光伏

电站并网运行。现在,世界上已有不少兆瓦级光伏电站在各地运行。美国已有 6.5 MW 的光伏电站与常规电网联接;在希腊的克里特岛正在建设 50 MW 的光伏电站,建成后将为 10 万人提供电力^[32];最近,日本、意大利、韩国、挪威、奥地利、西班牙、瑞典及瑞士八国,计划合作在亚洲内陆和非洲沙漠,建设 3~4 处世界上规模最大的太阳能发电站,其规模最小的也可达 MW,最大将达到数 GW,他们的目标是将占全球陆地面积的 1/4 沙漠地区长时间的日照资源有效地利用起来。我国目前已经建成了几个 MW 级的光伏示范电站^[33],最近我们又欣喜地看到我国首个大型光伏并网发电项目—国投敦煌 10MW 已经开始投产发电^[34]。

世界光伏产业发展的另一个显著特点是并网比例迅速增加,并将成为未来光伏发电的主趋势^[35]。并网发电即使光伏发电系统与地方电网连接,使得发出的富余电量都可出售给电网,夜晚则可从电网买电。在德国和西班牙等国,实行强制性收购政策和结合固定电价的政策调动人民的积极性,电力公司购买太阳能电费远高于用户从电力公司购电的价格,从而推动了可在生能源的优先发展。并网光伏发电技术是光伏技术进入大规模发电、成为电力工业组成部分之一的重大技术步骤。就全球来讲,截至 2007 年底,世界光伏系统累计装机约 2.4GW,其中并网光伏发电达 2GW,占总市场份额的 83%^[36]。图 9 给出了光伏并网发电占总装机容量的比值。实践证明,并网太阳能发电站可以对电网调峰,提高电网末端的电压稳定性,改善电网的功率因数和有效地消除电网杂波,具有很多优越性。

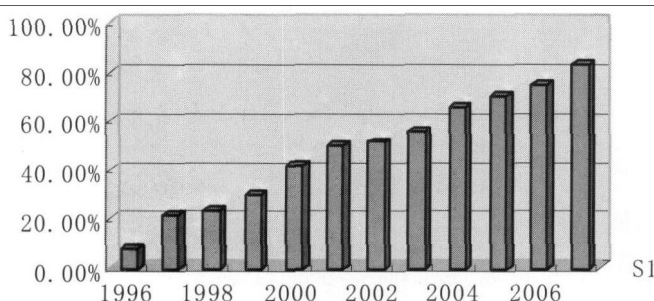


图 9 并网光伏发电市场份额逐年增长情况

此外,太阳光伏发电系统还可以与其它发电系统组成联合供电系统,如光-风互补系统;光-风-油互补系统等。风力发电系统的成本较光伏发电成本低,又由于风能与太阳能具有互补性,可以减少蓄电池的容量,互补系统能比单独太阳光发电系统节省投资。

在远离电网的偏远地区和农村多为离网系统,这些小型光伏户用系统通常为单个家庭用电,光伏发电系统通过充电控制器与蓄电池连接,生产的电可蓄存起来供以后使用。

4 我国的特殊现状

近年来,中国大陆太阳能企业强势崛起,涌现了如无锡尚德、天威英利、晶澳等世界前十大太阳能电池生产商,对世界光伏发电技术的推广应用起到了十分积极的作用,同时也大幅度提高了我国光伏发电技术和产业的水平,缩短了光伏发电制造业与国际水平的差距。但是,目前依然也存在以下几个问题值得我们深思^[37-38]:

(1) 关键设备依赖于进口,专用原材料(如银浆、密封玻璃、EVA 等)依赖于进口,这也导致了我国光伏组件成本相对较高;

(2) 光伏发电的配套技术还不成熟。如:大功率并网逆变/控制产品还没有实现自主研发商业化生产,产品可靠性低、主要依赖进口;独立系统中的蓄电池技术还不过关,寿命较低。

(3) 市场培育政策欠缺,国内光伏产业发展迟缓。尽管鼓励光伏发展的政策相继出台,但在市场培育和开拓方面缺乏必要的激励措施,如并网电价等;

(4) 近年来,国内太阳能电池生产能力迅速膨胀,造成一定程度的产能过剩,产品质量有待提高。

除了上述问题,目前还存在光伏产业无序发展的状况。特别是多晶硅产业,缺乏核心成套技术,存在产能过剩、产量不足的奇怪现象。新技术研发投入不足也是值得我们重视的问题。

5 结束语

光伏发电的利用和产业已经进入蓬勃发展时期,根据现有资源储量和技术水平,各国政府、光伏科技工作者和企业厂商应抓住有利时机,迎接能源可持续发展的挑战,继往开来,开创一个全新的光伏时代!

参考文献

- [1] A. Marti, A. Luque. Next Generation Photovoltaics, High Efficiency through Full Spectrum Utilization[R]. Bristol and Philadelphia, Institute of Physics Publishing, 2002, 2-7.
- [2] 赵玉文. 太阳能电池新进展[J]. 物理, Vol.33 No.2,

- 2004:99-105
- [3] <http://news.independent.co.uk/environment/article338689>.
ece Global warming to speed up as carbon levels show sharp rise[DB].
- [4] 狄丹. 太阳能光伏发电是理想的可再生能源[J]. 华中电力, Vol.21 No.8, 2008:59
- [5] M. A. Green, K. Emery, D. L. King, et al. *Prog. Photovolt Res. Appl.*, 2002.10:355-360
- [6] J. Zhao, A. Wang, M. A. Green, et al. 19.8% efficient “honeycomb” textured multicrystalline and 24.4% monocrystalline silicon solar cells[J], *Appl. Phys. Lett.* 1998, 73:1991-1993.
- [7] Y. Hamakawa. Solar PV Energy Conversion and 21st Century’s Civilization [C]. 12th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, JEJU, Korea, 2001.
- [8] Y. Hamakawa. Thin-Film Solar Cells, Next Generation Photovoltaics and Its Applications[M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004, 24-30.
- [9] A. G. Martin, E. Keith, et al. Solar Cell Efficiency Tables (Version32) [M], *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 2008.16, 435-440
- [10] <http://www.solarbuzz.com/Marketbuzz2009-intro.htm>. [DB]
- [11] 李俊峰, 王斯成, 张敏吉, 等. 2007 中国光伏发展报告 [R]. 北京: 中国环境科学出版社. 2007
- [12] 2005-2006 年中国太阳能利用产业分析及投资咨询报告 [R]. 深圳: 深圳市万瑞信息咨询有限公司, 2005.
- [13] Dinghuan Shi, Shengwu Xie. The Present Status and Development of Solar Photovoltaic Generation in China[C]. Shanghai: 15th International Photovoltaic Science & Engineering Conference (PVSEC-15), 2005, 1-5.
- [14] 李成功, 袁新泉, 李学勇, 等. 材料科学技术百科全书 [M]. 北京, 中国大百科全书出版社, 1995, 485.
- [15] A. Müller, M. Ghosh, R. Sonnenschein, et al. Silicon for photovoltaic applications[J]. *Mater Sci and Eng: B*, 2006:257-262
- [16] W. J. Wang, Y. Xu, H. Shen. Polycrystalline silicon thin-film solar cells on various substrates[J]. *Phys. Stat. Sol. (a)*, 2006: 203, 721
- [17] M. A. Green. Consolidation of Thin-film Photovoltaic Technology: The Coming Decade of Opportunity[M]. *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 2006,14:383-392
- [18] <http://www.solarbuzz.com/news/NewsASTE16.htm> [DB]
- [19] R. R. King, D. C. Law, K. M. Edmondson, et al. 40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells[J]. *Appl. Phys. Lett.* 90, 183, 516, (2007) .
- [20] M. A. Green, E. Keith, David L. King, et al. WilhelmWarta. Solar Cell Efficiency Table[J], *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 15, 35-40, (2007) .
- [21] J.K. Rath. Low temperature polycrystalline silicon: a review on deposition, physical properties and solar cell applications[J], *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2003.76:431-487
- [22] 邱大雄, 孙永广, 施祖麟. 能源规划与系统分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [23] Conde-Gallardo A, Castillo N, Guerrero M. Growth kinetics of TiO₂ films deposited by aerosol-assisted chemical-vapor deposition from two different precursors (Ti-n-butoxide and Ti diisopropoxide) [J]. *J. Appl. Phys.*, Vol.98 No.5 2005: 054908-054911
- [24] H. Y. Chen, J. H. Hou, S. Q. Zhang, Y. Y. Liang, G. W. Yang, Y. Yang, L. P. Yu, G. Li, *Nature Photonics*, 3, 649, (2009) .
- [25] <http://www.refocus.net>, Concentrator Photovoltaic Technology, 35-39, (2005) . [DB]
- [26] 李晓刚, 冯绍瑞. 中国光伏产业发展的技术经济分析[J]. *工业技术经济*, Vol.26 No.7, 2007:120-124
- [27] <http://www.sxcoal.com/energy/2009/03/31/345659/article.html> [DB]
- [28] <http://www.ocn.com.cn/market/200908/taiyangneng101136.htm> [DB].
- [29] 中国科学院国家科学图书馆, 科学研究动态监测快报 [R], 2009, 6, 1-3.
- [30] <http://www.eepw.com.cn/article/96213.htm>. [DB]
- [31] http://www.semi.org.cn/py/news_show.aspx?ID=3769&classid=12 [DB]
- [32] http://www.tynpv.com/new_330.html. [DB]
- [33] http://www.semi.org.cn/pv/news_show.aspx?ID=5627&classid=7 [DB]
- [34] http://www.semi.org.cn/pv/news_show.aspx?ID=5682&classid=7 [DB]
- [35] <http://www.unsbiz.com/information.do?method=detail&id=162013>. [DB]
- [36] 张臻, 沈辉, 蔡睿贤. 太阳能光伏并网发展趋势与投资成本分析[J]. *电源技术*, Vol.32 No.10, 2008:713-717
- [37] 赵玉文. 21 世纪我国太阳能利用发展趋势[J]. *中国电力*, Vol.33 No.9, 2000:73-79
- [38] H. H. Xu, The study on development of PV technology in China[J], *Power System Technolohy*, Vol.31 No.20, 2007:77-81