

2007

中国光伏发展报告

CHINA SOLAR PV REPORT



李俊峰 王斯成 等著



中国环境科学出版社
China Environmental Science Press

☀ 中国光伏发展报告·2007

主要作者

李俊峰 王斯成 张敏吉 马玲娟

绿色和平协调员

杨爱伦 刘爽 Sven Teske

欧洲光伏产业协会协调员

Christoph Wolfsegger Johannes Stierstorfer

Murray Cameron

世界自然基金会协调员

陈冬梅 雷红鹏

中国环境科学出版社·北京

太阳能作为一种可永续利用的清洁能源，有着巨大的开发应用潜力。人类赖以生存的自然资源几乎全部转换自太阳能，人类利用太阳能的历史更是可以追溯到人类起源时代。太阳能是人类得以生存和发展的最基础的能源形式，从现代科技的发展来看，太阳能开发利用技术的进步有可能决定着人类未来的生活方式。

太阳能光伏发电技术的开发始于20世纪50年代。随着全球能源形势趋紧，太阳能光伏发电作为一种可持续的能源替代方式，于近年得到迅速发展，并首先在太阳能资源丰富的国家，如德国和日本，得到了大面积的推广和应用。在国际市场和国内政策的拉动下，中国的光伏产业逐渐兴起，并迅速成为后起之秀，涌现了无锡尚德、常州天合和天威英利等一大批优秀的光伏企业，带动了上下游企业的发展，中国光伏发电产业链正在形成。

虽然太阳能光伏发电成本较高，但是从长远看，随着技术的进步，以及其他能源利用形式的逐渐饱和，太阳能可以在2030之后成为主流能源利用形式，有着不可估量的发展潜力。因此，应对光伏发电的发展充满信心。近期要潜心于基础研究、技术进步和产业发展，厚积而薄发。

由于高成本等特点，近期内太阳能光伏产业的发展不可能单纯依靠市场拉动。国际经验表明，政策扶持是光伏产业发展的最主要驱动力，政府的政策导向将决定光伏产业的发展水准和市场需求。因此，总结产业发展现状和发展规律，对光伏产业的发展趋势作出合理的预测，为决策部门提供合理的决策依据，将是一件意义深远的工作。

在绿色和平、世界自然基金会、欧洲光伏产业协会的支持下，中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会组织了《中国光伏发展报告·2007》的编撰。报告的编撰凝聚了一批经验丰富，长年致力于光伏事业的优秀专家的研究成果，力求准确反映中国和世界光伏产业的发展现状，并对未来发展做出较权威的预测，为大众提供了解光伏发电的蓝本，为决策者提供有价值的参考，为光伏产业的发展提供积极理性的发展蓝图。

在本报告的编写过程中得到了赵玉文、吴达成、朱俊生、崔容强、王国华、许洪华等专家，贡献作者吕芳、王颖、董路影、王仲颖以及保定开发区、无锡尚德和北京计科等单位的帮助，在此一并感谢！

目 录

1 太阳能光伏基础知识	1
2 太阳能光伏发展的意义	4
3 世界光伏产业发展现状及趋势	8
4 中国光伏市场和产业发展状况	14
5 中国不同地区发展光伏发电的潜力	23
6 光伏发电的成本分析	29
7 国外光伏发电经验	35
8 中国光伏发展政策及路线图	41
图表索引	51

1

太阳能光伏基础知识 ☀



1.1 太阳能的潜力

地球表面接受的太阳能辐射能够满足全球能源需求的1万倍。地表每平方米平均每年受到的辐射可生产1700kW.h电。国际能源署数据显示，在全球4%的沙漠上安装太阳能光伏系统，就足以满足全球能源需求。太阳能光伏享有广阔的发展空间（屋顶、建筑面、空地和沙漠等），其潜力十分巨大^①。

1.2 什么是太阳能光伏

太阳能光伏技术（Photovoltaic）是将太阳能转化为电力的技术，其核心是可释放电子的半导体物质。最常用的半导体材料是硅。地壳硅储量丰富，可以说是取之不尽、用之不竭。太阳能光伏电池有两层半导体，一层为正极，一层为负极。阳光照射在半导体上时，两极交界处产生电流。阳光强度越大，电流就越强。太阳能光伏系统不仅只在强烈阳光下运作，在阴天也能发电。由于反射阳光，少云的天气甚至比晴天发电效果更好。

太阳能光伏技术的优势

- 燃料免费
- 没有会磨损、毁坏或需替换的活动部件
- 保持系统运转仅需很少的维护
- 系统为组件，可在任何地方快速安装
- 无噪声、无有害排放和污染气体

1.3 太阳能光伏技术

太阳能光伏系统中最重要的是电池，是收集阳

光的基本单位。大量的电池合成在一起构成光伏组件。有时还有逆变器，转换电流以适合不同电器的使用或与电网相匹配。

太阳能光伏电池和光伏组件

太阳能光伏电池通常用晶体硅或薄膜材料制造，前者由切割、铸锭或者锻造的方法获得，后者是一层薄膜附着在低价的衬背上。目前市场生产和使用的太阳能光伏电池大多数是用晶体硅材料制作的，2006年占93%左右；未来发展的重点可能是薄膜太阳电池，它因用材少、重量小、外表光滑、安装方便而更具发展潜力。

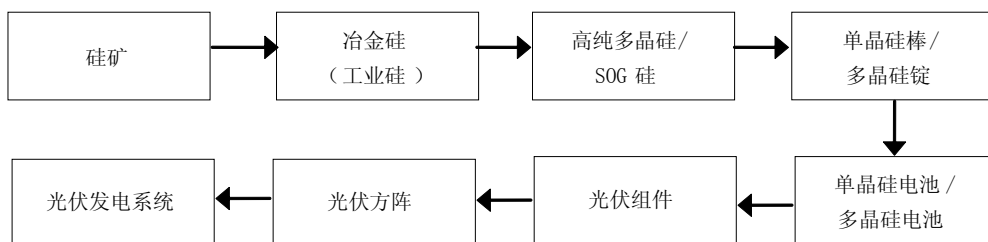
晶体硅光伏电池

晶体硅仍是当前太阳能光伏电池的主流。虽然从技术上讲，晶体硅并不是最佳材料，但它易于获取，适用的技术与电子工业相同。晶体硅电池大规模生产可获得20%的转换效率。除效率外，电池的厚度也很重要。薄的硅片（wafer）意味着较少的硅材料消耗，从而降低成本。硅片的平均厚度已从2003年的0.23mm减小到2007年的0.18mm。同时，平均效率从14%提升到16%。预计到2010年，硅片厚度将减小到0.15mm，效率提升到17.5%。

薄膜光伏电池（Thin film）

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，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。目前已商业化的薄膜光伏电池材料有三种：非晶硅（a-Si）、铜铟硒（CIS, CIGS）和碲化镉（CdTe），它们的厚度只有几微米。硅的暂时短缺为

图1 光伏发电产业链



^①欧洲光伏产业协会，绿色和平。太阳能时代IV[R]。2007。

薄膜技术扩大市场份额带来了机会。欧洲能源协会预测，到2010年，薄膜光伏电池将占到光伏组件的20%^①。在三种商业化的薄膜光伏技术中，非晶硅的生产和安装所占比重最大，2006年占市场总量的4.7%。

其他电池类型

聚光电池（Concentrator cells）用菲涅尔镜（FRESNEL）等聚光器将光聚焦到一个小区域，聚光倍数达到1000倍。在很小的区域覆上Ⅲ~Ⅴ族化合物（多结砷化镓）半导体制成的材料。其效率可达到30%，实验室效率达40%。该系统有两个弊端：不能使用分散的阳光，必须用跟踪器将系统调整到与太阳精确相对。

光伏组件

把光伏电池焊到一块玻璃上可以得到光伏组件。组件尺寸可根据安装地点调整，并迅速安装。组件结实、可靠并且防水。一个装机容量3KWp的光伏发电系统，组件面积约需23m²，可给一个普通家庭供电。

逆变器

逆变器可以将光伏电池生产的直流电转换为交流电，与地方配电网兼容。逆变器对并网光伏系统是必须的。逆变器有多种规格，从几百瓦到100多千瓦不等，最常用的为几千瓦（3~6kW）。

蓄电池

独立（离网）光伏系统需要蓄电池，通常为铅酸蓄电池。目前，专为太阳能光伏发电系统设计的高质量电池使用寿命已达15年。电池通过充电控制

器与光伏阵列连接。充电控制器可以避免电池过度充电，提供系统情况以及电量度量。如果需要交流电，则需用逆变器将直流电转换为交流电。

1.4 光伏系统类型

并网系统

并网系统是发达国家家庭和商业最受欢迎的光伏系统。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。逆变器将光伏发出的直流电转换为交流电，以供一般电器之用。在实行固定电价的国家，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，因此，通常所有的太阳能电力都输入公共电网卖给电力公司。德国和西班牙就是这种情况。

离网系统

没有主电网时，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。离网系统通过逆变器提供交流电，供一般家电使用。典型的离网系统用于通讯中继站，偏远地区和农村供电。农村供电通常包括供单个家庭用电的小型光伏户用系统，或可以供几家用电较大的独立电站。

混合系统

光伏系统可与生物质能发电系统、风力发电系统或柴油发电系统等其他发电系统组合，以保证持续的电力供应。混合系统可以采取并网或离网的形式。

^①欧洲光伏产业协会，欧洲光伏发电技术路线图[R]，2007。

2 太阳能光伏发展的意义 ☀





除提供能源外，太阳能光伏还有许多特殊优势，尤其是它可以为边远地区、特殊场合供电。考虑到太阳能光伏的附加价值，光伏发电的综合经济效益大大提升，因此不能单纯与传统发电模式比较单位发电成本。太阳能光伏可以降低温室气体和污染物排放、创造就业机会、保障能源安全和促进农村尤其是边远农村的发展。总之，发展太阳能光伏有许多经济、社会和环境保护的积极意义。

2.1 保护气候

太阳能光伏发电最重要的特征是在发电过程中只排放很少的CO₂，而CO₂作为最主要的温室气体，是导致气候变化的罪魁祸首。同时，电池板可循环使用，系统材料可再利用，光伏的能源投入可进一步降低。如果广泛使用光伏发电技术，可以为减缓气候变化作出贡献。

IPCC对气候变化的科学评估

2007年2月，联合国气候变化政府间委员会发布了气候变化评估报告的第一部分。报告比以往更加确定：人类活动是过去半个世纪气候变暖的主因（超过90%的可能性）。主要影响包括：

- 过去12年中有11年是有历史记录以来最热的年份；
- 全球海平面上升加速；
- 南北半球的高山冰川和积雪正在消融；
- 自20世纪70年代以来，更多地区（尤其是热带和亚热带）干旱更加严重，持续时间更长。

如果我们不采取措施，将温室气体排放限制在2000年的水平，未来20年气温将增加2倍。具体预测包括：

- 气温将上升1.1℃~6.4℃；
- 随着热带海洋温度上升，未来热带气旋（台风和飓风等）将更加强烈，最高风力加大，降雨增强；
- 热浪和强降雨等极端天气日益频繁的可能性将超过90%。

报告的主要研究结果包括：

- 今后60~70年，气候变化将有可能导致物种大量灭绝。
- 今后几十年，缺水的人口将由几百万增加到几十亿；印度及南亚其他地区和非洲水源将逐渐减少。贫困国家受到的打击最大，澳大利亚和南欧的发达国家等也首当其冲。
- 贫困地区粮食产量将下降，导致更多的饥饿。中国和印度等国小麦和水稻产量将降低。干旱和饥荒将导致非洲产生更大的难民潮。
- 亚洲、南美和欧洲冰川的消融必将导致全球大量人口缺水，冰湖导致洪水泛滥。
- 由于海平面上升、风暴增强、洪水泛滥，中国的珠江三角洲和孟加拉的恒河三角洲的居民将面临严重威胁。
- 气温再升高1℃，就可能导致格陵兰和西大西洋大冰原融化，导致海平面上升几米，沿海居民将被迫迁移。

2.2 改善环境

我国能源消费占世界的10%以上，同时我国一次能源消费中煤占到70%左右，比世界平均水平高出40多个百分点。燃煤造成的二氧化硫和烟尘排放量约占排放总量的70%~80%，二氧化硫排放形成的酸雨面积已占国土面积的1/3^①。

环境质量的总体水平还在不断恶化，世界十大污染城市我国一直占多数。环境污染给我国社会经济发展和人民健康带来了严重影响。世界银行估计2020年中国由于空气污染造成的环境和健康损失将达到GDP总量的13%^②。

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隐患，没有废气或噪音污染。系统报废后也很少有环境污染的遗留问题。

2.3 节省空间

光伏发电是一种简单的低风险技术，几乎可以安装在任何有光的地方。这意味着在公共、私人 and 工业建筑的屋顶和墙面上都有广泛的安装潜力。在运行中，这个系统还可以降低建筑的受热，增加通风。光伏还可以作为隔音板装在公路两侧。光伏在提供大量电力供应的同时，避免占用更多的土地。

2.4 增加就业

光伏发电可以提供重要的就业机会。安装阶段

创造大量的就业产生在（安装工人、零售商和服务工程师），促进地方经济发展。根据欧洲光伏发电行业信息显示，生产每兆瓦光伏产品大约产生10个就业机会，安装每兆瓦光伏系统创造大约33个就业机会。批发和间接供应可提供3~4个就业岗位，研究领域提供1~2个就业机会。整个产业链中，每兆瓦的生产、安装和使用，可提供50个就业机会。在未来几十年，随着规模的扩大，自动设备的使用，这些数据会有所降低。但是，光伏发电产业不仅仅是一个资金密集型的产业，同时也是一个劳动密集型的产业。目前中国光伏技术及产业的就业总人数近万。到2020年将达到10万人左右。按照中国电力专家的研究，2050年，光伏发电将达到装机容量10亿KWp，年生产和安装量1亿KWp，就业人口将超过500万人。

2.5 提供农村电力

太阳能光伏发电系统可以很容易地在偏远的农村地区安装，这些地区可能多年无法架设电网。光伏发电等可再生能源特别适用于远离电网、零星分布的社区。离网农村电力以家庭为单位或设立小电网可提供照明、冷藏、教育、通讯和卫生等所需电力，提高经济生产力，增加创收的机会。光伏发电系统结实耐用、易于安装和具有灵活性等特征，使其可满足世界任何地方的农村电力需求。2006年底，中国还有无电人口1100万，使用光伏发电系统可以解决大部分无电人口的用电问题。

表1 2006年中国一次能源消费结构与世界对比

	世界	中国
煤炭	28.4%	70.2%
石油	35.8%	20.6%
天然气	23.7%	2.9%
核能	5.8%	0.7%
水电	6.3%	5.6%

①国家发展和改革委员会. 中长期节能规划[R]. 2004.

②Janet L. Sawin. 世界可再生能源回顾[R]. 2005.



2.6 电力普遍服务

在欧洲光伏产业协会和绿色和平政策模式中，全球2030年太阳能光伏发电可生产1500 TWh电，可满足目前欧洲电力需求一半以上，替代300家燃煤电厂（平均装机容量750 MWp）。2030年，全球太阳能光伏发电装机容量可能会达到1300 GWp，大约2/3是并网发电。假设80%的系统装在居民楼上，每3口人的家庭年平均电力消费为3500kW·h，使用并网太阳能的人口将达到10亿。

目前，太阳能光伏发电的主要市场在工业化国家，但是，未来光伏发电的主要市场是广大的发展中国家，在那里还有20多亿人没有电力服务，而电力普遍服务是人类社会文明和谐发展的重要因素，也是联合国千禧年发展的重要目标，2004年的《波恩世界可再生能源大会宣言》提出了要利用太阳能为10亿无电人口提供电能的号召^①。无电人口供电是目前太阳能光伏发电技术最具吸引力的市场。

2.7 中国的特殊需求

中国是一个能源生产和消费大国。2006年

能源消费总量为24.6亿t标准煤，比2005年增长9.3%。2006年各种一次能源的构成比例为：煤炭占69.7%、石油占20.3%、天然气占3.0%、水电等占6.0%、核电占0.8%。2006年，中国的原油进口达到1.5亿t，大约是中国原油总需求量的50%。图2是中国2006年一次能源消费构成。

中国能源开采和利用技术落后，传统高能耗产业比重大，单位GDP能耗落后于发达国家^②，甚至比世界平均水平落后许多。中国又是世界上最大的发展中国家，经济高速发展，中国能源消耗增长速度居世界首位，加剧了中国能源替代形势的严重性和紧迫性。

中国电力科学院的研究表明，在考虑到充分开发煤电、水电和核电的情况下，2010年和2020年电力供需的缺口仍然分别为6.4%和10.7%^③，如图3所示。这个缺口正是需要用可再生能源发电进行补充的。而太阳能光伏发电可能在未来中国的能源供应中占据主要位置。

图2 2006年中国一次能源消费构成

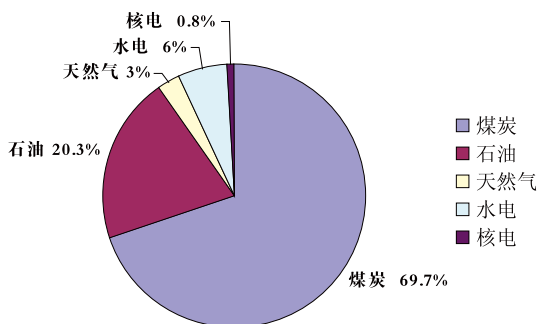


图3 2010年和2020年中国电力形势



①波恩可再生能源大会宣言[R]. 2004.
 ②国家发展和改革委员会. 中长期节能规划[R]. 2004.
 ③胡学浩. 我国能源中发展策略研究专题报告[R] 2004.

3 世界光伏产业发展现状及趋势 ☀



3.1 世界光伏产业和市场发展

能源和环境问题是近十几年来世界关注的焦点，为了实现能源和环境的可持续发展，世界各国都将光伏发电作为发展的重点。在各国政府的大力支持下，光伏产业发展迅速，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%，2006年世界太阳电池产量达到2500 MWp，累计发货量达到8500 MWp。值得注意的是，中国2006年太阳电池的产量达到369.5 MWp，紧随日本和德国之后，位居世界第三大光伏电池生产国。图4 给出1990年以来世界一些国家和地区太阳电池产量。表2为过去10年世界太阳电池的年发货量和累计用量（GWp），表3 为2005年和2006年世界太阳电池前16大厂商^①。

图4 世界太阳电池历年生产量

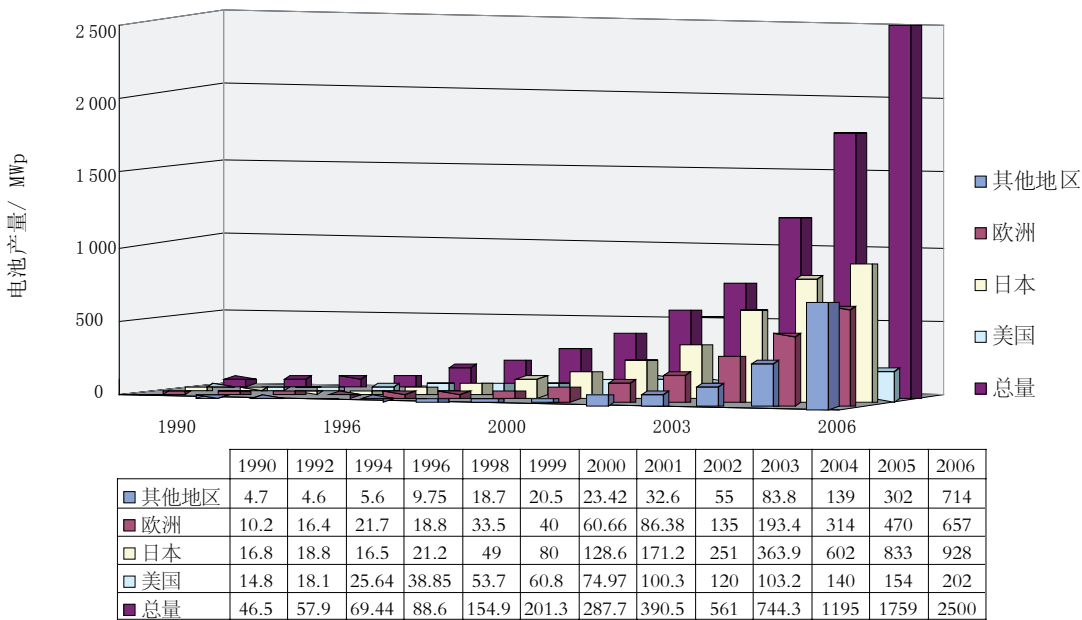
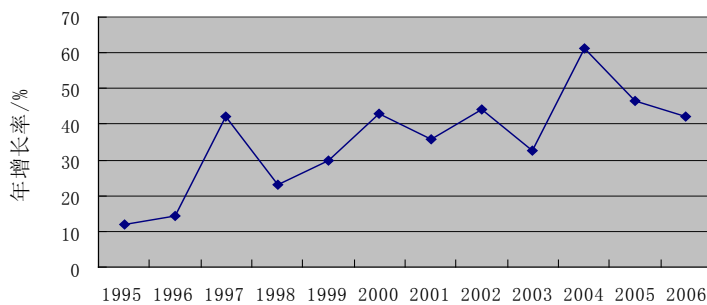


表2 过去10年世界太阳电池的年生产量和累计用量/GWp

年份	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
年产量	0.126	0.155	0.201	0.287	0.391	0.561	0.744	1.2	1.76	2.5
年增长率/%	42	23.1	30	42.9	35.7	44	32.5	61.2	46.7	42
累计用量	0.791	0.946	1.147	1.435	1.825	2.387	3.131	4.331	6.09	8.59

图5 世界太阳电池历年年增长率



①Paul Maycock. 光伏新闻. 2007.

世界光伏产业和市场发展的另一个突出特点是：光伏发电在能源中的替代功能愈来愈大，主要表现在并网发电的应用比例增加非常快，并成为光伏发电的主导市场（其他应用包括通讯和信号、特殊商业和工业应用，农村离网应用、消费品和大型独立电站等），如图6所示。表4是并网光伏发电市场份额逐年增长的情况^①。

表3 2005年和2006年世界太阳能电池生产厂商前16位

公司	2005年产量/MWp	所占比例/%	2005年排名	2006年产量/MWp	所占比例/%	2006年排名
Sharp (日本)	428.0	24.3	1	434	17.4	1
Q-Cell (德国)	166.0	9.4	2	253	10.1	2
Kyocera (日本)	142.0	8.1	3	180	7.2	3
无锡尚德 (中国)	82.0	4.7	9	158	6.3	4
Sanyo (日本)	125.0	7.1	4	155	6.2	5
Mitsubishi (日本)	100.0	5.7	5	111	4.4	6
Motech (中国台湾)	60.0	3.4	10	110	4.4	7
Schott (德国)	95.0	5.4	7	96	3.8	8
Solar World (德国)	97.0	5.5	6	86	3.4	9
BP Solar (英国)	88.0	5.0	8	85.7	3.4	10
Sun Power (美国)	23.0	1.3	NR	63	2.5	11
Isofoton (西班牙)	63.0	3.6	11	61	2.4	12
First Solar (美国)	20.0	1.1	NR	60	2.4	13
南京中电 (中国)	7.0	0.4	NR	60	2.4	14
Ersolr (德国)	20.0	1.1	NR	40	1.6	15
Photowatt (法国)	24.0	1.4	12	24	1.0	16
其他国家	252.0	14.3		524	21.0	
全世界	1760	100.0		2500	100.0	

图6 世界各种光伏应用市场发展和份额

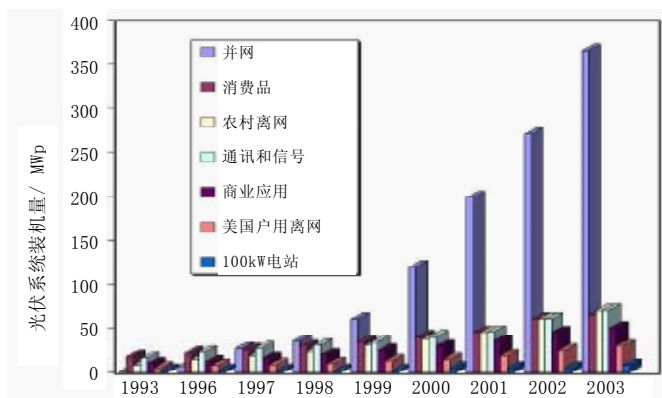


表4 并网光伏发电市场份额逐年增长情况

年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
份额/%	7.9	21.3	23.5	29.9	41.7	50.4	51.4	55.5	65.9	>70

① 国际能源署. 光伏项目报告[R]. 2006.

3.2 世界光伏发展目标和发展前景

世界光伏发电市场的增长主要得益于德国、日本和美国的鼓励政策。目前70%以上的太阳电池用于并网发电系统。美国、日本和欧洲都制定了各自的光伏发展路线，表5和表6列出了一些国家的光伏发展路线和发展目标的比较^①。从表6看，中国光伏市场的发展目标偏低。

从长远看，太阳能光伏发电在不远的将来会占据世界能源消费的重要席位，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。根据欧洲JRC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年可再生能源占总能耗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，太阳能发电占到60%以上，显示出重要战略地位，如图7所示。

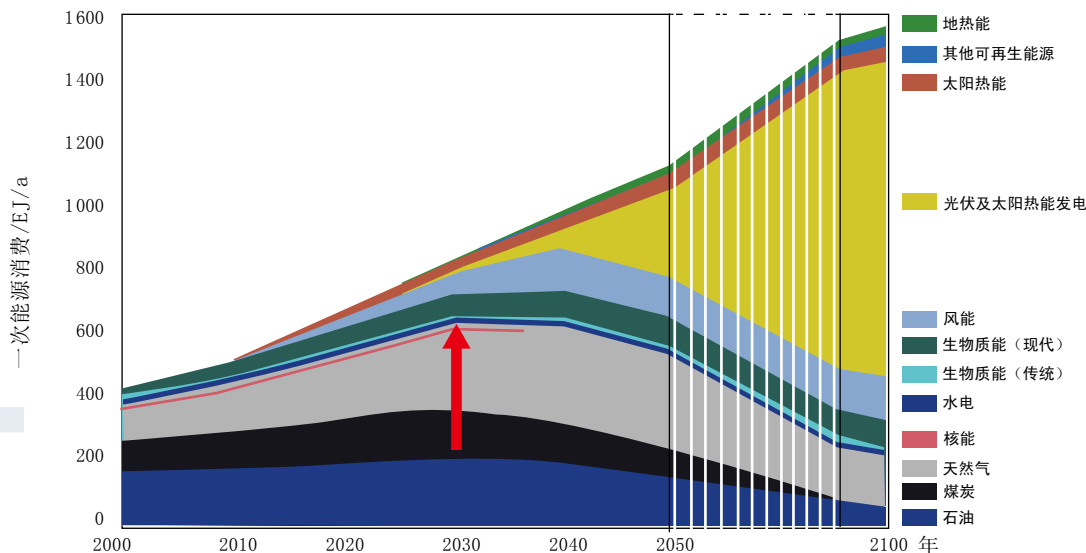
表5 光伏发电成本预测

年份	2004	2010	2020
日本 (日元/kW·h)	30	23	14
欧洲 (欧元/kW·h)	0.25	0.18	0.10
美国 (美元/kW·h)	18.2	13.4	10.0
中国 (元/kW·h)	5.0	3.0	1.4

表6 光伏发电装机预测/GWp

年份	2004	2010	2020
日本	1.2	4.8	30
欧洲	1.2	3.0	41
美国	0.34	2.1	36
中国	0.065	0.3	1.8
其他	1.195	3.8	91.2
世界	4.0	14	200

图7 2004年欧盟联合研究中心预测



^①Allen Barnett. 美国光伏产业路线图[R]. 2001; 日本到2030年光伏产业路线图[R]. 2004; Winfried Hoffmann. 欧洲光伏产业路线图[R]. 2004; 欧盟联合研究中心. 欧洲光伏研发路线图[R]. 2004.

3.3 世界光伏技术发展趋势

技术进步是降低光伏发电成本、促进光伏产业和市场发展的重要因素。几十年来围绕着降低成本的各种研究开发工作取得了辉煌成就,表现在电池效率不断提高,硅片厚度持续降低和产业化技术不断改进等方面,对降低光伏发电成本起到了决定性的作用。

3.3.1 电池效率不断提高

实验室电池

单晶硅电池的实验室效率已经从20世纪50年代的6% 提高到目前的24.7%,如表7所示。多晶硅电池的实验室效率也达到了20.3%。薄膜电池的研究工作也获得了很大成功,非晶硅薄膜电池实验室稳定效率达到了13%、碲化镉(CdTe)实验室稳定效率达到16.4%、铜铟硒(CIS)的实验室效率达到19.5%,如表8所示。其他新型电池,如多晶体硅薄膜电池、染料敏化电池、有机电池等不断取得

进展,更高效率的新概念电池也受到广泛重视。

商业化电池

先进技术不断向产业注入,使商业化电池技术不断得到提升。目前商业化晶体硅电池的效率达到14%~20%(单晶硅电池16%~20%,多晶硅电池14%~16%);与此同时,光伏产业技术和光伏系统集成技术与时俱进,共同促使光伏发电成本不断降低和光伏市场及产业的持续扩大发展。

3.3.2. 商业化电池硅片厚度持续降低

降低硅片厚度是减少硅材料消耗、降低晶体硅太阳电池成本的有效技术措施,是光伏技术进步的重要方面。30多年来,太阳电池硅片厚度从20世纪70年代的450~500 μm降低到目前的180~280 μm,降低了一半以上,硅材料用量大大减少,对太阳电池成本降低起到了重要作用,是技术进步促进降低成本的重要范例之一。硅片厚度的降低如表8所示。

表7 电池效率

电池种类	转换效率/%	研制单位	备注
单晶硅太阳电池	24.7±0.5	澳大利亚新南威尔士大学	4 cm ² 面积
背接触聚光单晶硅电池	26.8±0.8	美国SunPower公司	96 倍聚光
GaAs多结电池	40.7±1.7	Spectrolab	聚光电池
多晶硅太阳电池	20.3±0.5	德国弗朗霍夫研究所	1.002 cm ² 面积
InGaP/GaAs	30.28±1.2	日本能源公司	4 cm ² 面积
非晶硅太阳电池	14.5(初始)±0.7 12.8(稳定)±0.7	美国USSC公司	0.27 cm ² 面积
CIGS	19.5±0.6	美国国家可再生能源实验室	0.410 cm ² 面积
CdTe	16.5±0.5	美国国家可再生能源实验室	1.032 cm ² 面积
多晶硅薄膜电池	16.6±0.4	德国斯图加特大学	4.017 cm ² 面积
纳米硅太阳电池	10.1±0.2	日本钟渊公司	2 μm 薄膜
染料敏化电池	11.0±0.5	EPFL	0.25 cm ² 面积
HIT	21.5	日本三洋公司	

表8 太阳电池硅片厚度

年份	厚度/μm	硅材料用量/t / MW 电池
20世纪70年代	450~500	>20
20世纪80年代	400~450	16~20
20世纪90年代	350~400	13~16
目前	180~280	大约13
2010年	150~200	大约12
2020年	80~100	8~10

3.3.3 生产规模不断扩大

生产规模不断扩大和自动化程度持续提高是太阳能电池生产成本降低的重要方面，太阳能电池单厂生产规模已经从20世纪80年代的1~5MWp/a发展到90年代的5~30MWp/a和目前的50~500MWp/a。生产规模与成本降低的关系体现在学习曲线率LR（Learning Curve Rate）上，即生产规模扩大1倍，生产成本降低的百分比，对于太阳能电池来说，LR=20%（含技术进步在内），即生产规模扩大1倍，生产成本降低20%。预计，在未来的两年之内，单厂年生产能力达到1GWp的企业将会出现。

3.3.4 太阳能电池组件成本大幅度降低

光伏组件成本30年来降低2个数量级，如图8^①所示。2003年世界重要厂商的成本为2~2.3美元/Wp，

售价2.5~3美元/Wp，最近因材料紧缺有所回升。当供求关系越过平衡点后，成本会比前一个供求关系对应点更低，这也是30年来经验曲线中曾经出现过的现象。

3.3.5 晶体硅电池技术持续进步，薄膜电池技术快速发展

图9是2006年各种电池技术的市场份额，其中多晶硅硅46.5%，单晶硅硅43.4%，带硅电池2.6%，薄膜电池约7.6%。多晶硅硅电池自1998年开始超过单晶硅硅后一直持续增长^②，各种薄膜电池市场份额近年来也在稳定增长，反映出技术进步的推动力量。

图8 太阳能电池组件成本降低

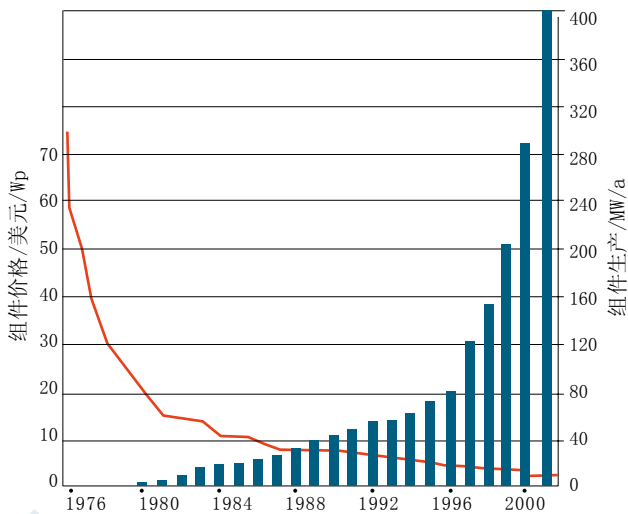
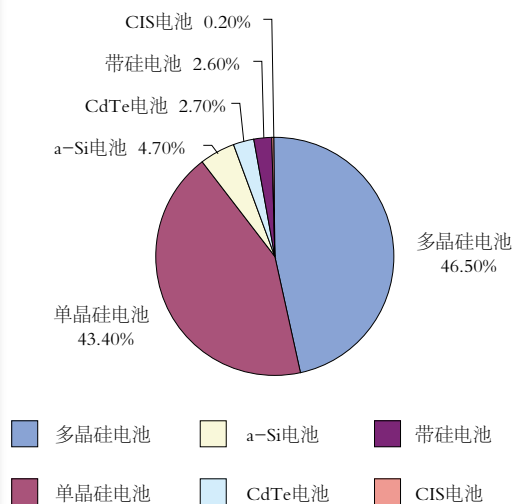


图9 2006年各种电池技术市场份额



① 世界银行REDP项目办公室. 中国光伏产业发展报告[R]. 2005.

② 光伏国际. 2007.

4 中国光伏市场和产业发展状况 ☀



中国的光伏发电市场目前主要用于边远地区农村电气化、通信和工业应用以及太阳能光伏商品，包括太阳能路灯、草坪灯、太阳能交通信号灯以及太阳能景观照明等。由于成本很高，并网光伏发电目前还处于示范阶段。

光伏产业包括多晶硅原材料制造、硅锭/硅片生产、太阳能电池制造、组件封装和光伏系统应用等，还有一些与整个产业链相关联的产业，如各环节的专用材料制造、专用设备制造，专用检测设备制造以及光伏系统平衡部件制造等。

4.1 中国光伏发电市场的发展

中国于1958年开始研究光伏电池，于1971年首次成功应用于我国发射的东方红二号卫星上。于1973年开始将光伏电池用于地面。中国光伏工业在20世纪80年代以前尚处于雏形，太阳能电池的年产量一直徘徊在10kWp以下，价格也很昂贵。由于受到价格和产量的限制，市场的发展很缓慢，除了作为卫星电源，在地面上太阳能电池仅用于小功率电源系统，如航标灯、铁路信号系统、高山气象站的仪器用电、电围栏、黑光灯、直流日光灯等，功率一般在几瓦到几十瓦之间。在“六五”（1981—1985）和“七五”（1986—1990）期间，国家开始对光伏工

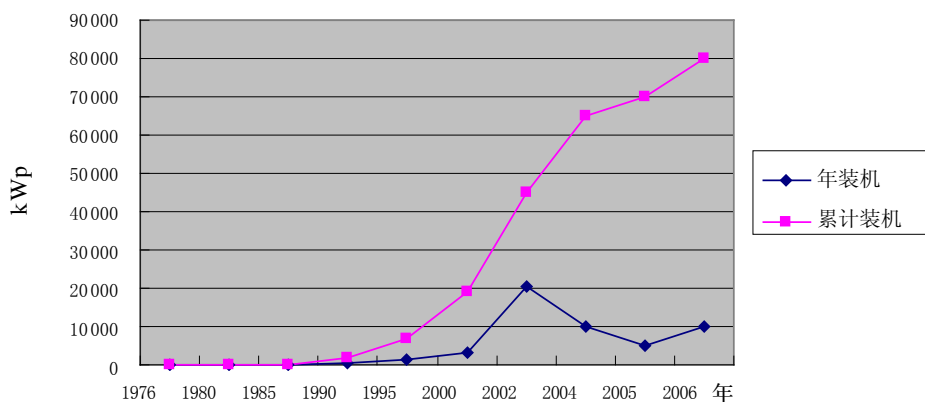
业和光伏市场的发展给以支持，中央和地方政府在光伏领域投入了一定资金，使得我国十分弱小的太阳电池工业得到了巩固并在许多应用领域建立了示范，如微波中继站、部队通信系统、水闸和石油管道的阴极保护系统、农村载波电话系统、小型户用系统和村庄供电系统等。

2002年，国家计委启动“西部省区无电乡通电计划”，通过光伏和小型风力发电解决西部七省区（西藏、新疆、青海、甘肃、内蒙古、陕西和四川）700多个无电乡的用电问题，光伏用量达到15.5MWp（小型风力发电机240KW）。该项目大大刺激了光伏工业，国内建起了几条太阳能电池的封装线，使太阳能电池的年生产量迅速达到100MWp（2002年当年产量20MWp）。截止到2003年底，中国太阳能电池的累计装机已经达到55MWp。2003—2005年，由于欧洲光伏市场主要是德国市场的拉动，中国的光伏生产能力迅速增长，截止到2005年底，中国太阳能电池组件的生产能力已经达到400MWp，当年产量达到140MWp，绝大部分太阳能电池组件出口欧洲，2005年国内安装量只有5MWp，2006年为10MWp。表9和图10给出中国光伏市场的发展进程^①。

表9 1976年以来中国国内光伏市场的发展

年份	1976	1980	1985	1990	1995	2000	2002	2004	2005	2006
年装机/kWp	0.5	8	70	500	1550	3300	20300	10000	5000	10000
累计装机/kWp	0.5	16.5	200	1780	6630	19000	45000	65000	70000	80000

图10 中国国内市场的年装机和累计装机



①王斯成. 我国光伏发电有关问题研究[J]. 中国能源, 2007(2).

4.2 国内光伏市场的组成

至2006年，国内太阳电池的累计使用量已达到80MW_p。中国光伏发电的市场主要在通信和工业应用、农村和边远地区应用、光伏并网发电系统和太阳能商品及其他，其市场分布见表10与图11所示^①。

所有这些应用领域中，大约有53.8%是属于商业化的市场（通信工业应用和太阳能光伏产品），而另外的46.2%则属于需要政府和政策支持的市场，包括农村电气化和并网光伏发电。

4.3 中国光伏产业发展现状

目前，世界上85%以上的市场份额是晶体硅太阳电池，包括单晶体硅太阳电池和多晶体硅太阳电池，其他类型的太阳电池(如非晶硅、CdTe、CIS电池等)所占比例很小，因此在考虑太阳电池产业链时主要分析晶体硅太阳能光伏电池的产业链。

4.3.1 多晶体硅原材料产业状况

光伏技术发展至今，晶体硅光伏电池始终是商品化光伏电池的主流，国际市场上98%以上的光伏电池是利用高纯多晶体硅制备的。作为光伏电池生产最基本材料—高纯多晶体硅制造业也就成为光伏产业链上最重要的环节。

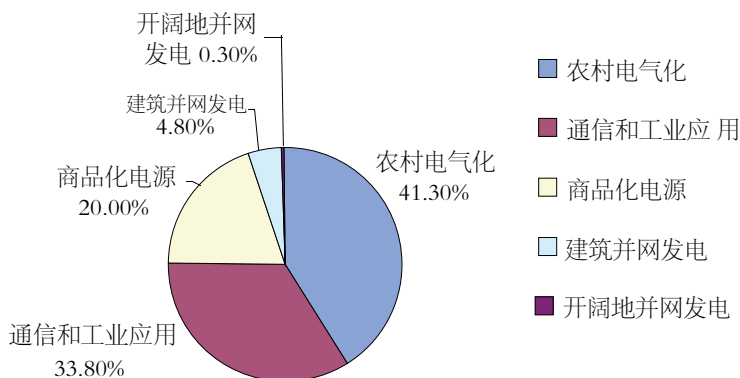
由于光伏产业的迅速发展，多晶体硅原材料的紧缺状况越来越严重。由于供求关系紧张，多晶体硅原材料的价格持续上涨。从2001~2003年的25~40美元/kg上升到2006年的200美元/kg。

目前，多晶体硅原材料的先进生产技术基本上掌握在8家主要生产商手中。由于种种原因（生产商对光伏产业能否保持稳定需求的疑虑、技术和市场垄断的需要、扩产的滞后性），多晶体硅原材料生产量的增长远远落后于光伏产业需求量的增长，这导致了自2004年以来世界范围内多晶体硅原材料的持续紧缺。预计这种紧缺状况至少还将持续2年

表10 2006年中国光伏发电市场分类

市场分类	累计装机/MW _p	市场份额/%
农村电气化	33	41.3
通信和工业	27	33.8
太阳能光伏产品	16	20.0
建筑并网发电	3.8	4.8
大型荒漠并网电站	0.2	0.3
合计	80	100

图11 2006年光伏发电市场分配



①王斯成. 我国光伏发电有关问题研究[J]. 中国能源, 2007(2).

左右的时间。多晶硅原材料的生产已经成为整个光伏产业链的瓶颈，不但限制了太阳能电池产量的增长，而且使太阳能电池的成本持续保持在3~4美元/峰瓦的水平，严重制约了光伏产业和市场的发展。

中国多晶硅原材料产业存在的问题包括：

——技术落后。主要技术基于改良的西门子法，但工艺落后，能耗为世界先进水平的1.5~2倍；

——规模小。多晶硅生产是规模效益型产业，一般认为临界规模为2 000 t/a，产量低于1 000 t/a的企业被认为不具有经济合理性。

2006年，中国多晶硅的年生产能力为400t

（洛阳中硅300t、四川峨嵋100t），实际生产量为300t，仅够30MWp太阳能电池的生产需求，实际生产量与需求存在巨大的差距，多晶硅原材料基本依赖进口。

目前，洛阳中硅和四川峨嵋在扩建、四川新光硅业等项目在建并将投产，还有一些项目正在筹建。如果这些项目能够顺利如期建成，到2008年将形成大约1.8万t的年生产能力，可以有效缓解我国多晶硅原材料的紧缺状况。

表11 中国多晶硅产业已建和在建的项目

说明	厂家	计划产能规模/t/a	一期产能/t/a	分类产能/t/a
已建成产能	洛阳中硅	300	300	500
	峨嵋半导体厂	1 000	200	
在建产能	乐山星光硅业	1 260	1 260	9 260
	洛阳中硅二期	3 000	1 000	
	云南曲靖爱立信	10 000	1 000	
	福建硅杏硅业	200	200	
	重庆万州（江苏大全）	6 000	1 500	
	扬州顺大	6 000	1 500	
	徐州（中华硅业）	1 000	1 000	
	亚洲硅业（青海-无锡尚德）	6 000	1 500	
	无锡中彩集团	300	300	
拟建产能	四川乐山（通威集团）	10 000	1 000	9 000
	湖北荆门（武汉珈伟）	1 500	1 500	
	湖南宜昌（深圳南玻）	4 500	1 000	
	辽宁锦州龙海	1 000	1 000	
	宁夏石嘴山	4 000	1 000	
	内蒙古呼和浩特（上海神州）	1 500	1 500	
	湖南益阳	5 000	1 000	
	青海东川（黄河水电）	1 000	1 000	
合计		63 560	18 760	18 760

注：预计到2008年底可以实现一期产能。

4.3.2 晶体硅锭制造产业状况

硅锭切片，即硅片的生产是晶体硅太阳能电池制备的第一道工序，晶体硅电池组件成本的65%来自硅片，而电池制造和组件封装只占成本的10%和25%。随着硅材料成本的持续走高，硅锭切割工艺在太阳能电池制造环节中的重要性也日益提高。通过不断提升硅片制备的工艺、设备和技术水平来降低硅片成本、节约原材料(图12)^①，提高生产效率，已成为光伏产业目前关注的焦点。

中国晶体硅材料产业有以下几个特点：

——发展迅速。近几年的年平均增长率超过70%。

——对原材料的依存度高。由于国内无法提供多晶体硅原材料，因此企业原料基本依赖进口，国

际市场多晶体硅原料的紧缺和涨价影响了国内企业的发展，绝大部分企业开工不足。

——技术成熟，产品质量不逊于国外。

——单晶硅材料的生产占主导，与世界光伏产业中单晶硅与多晶硅的1:2(2006年)比例相差较大。主要原因是国内单晶硅拉制的技术比较成熟，国产单晶炉已实现国产化，价格低廉；多晶体硅浇铸炉依靠进口，价格昂贵。同时拉单晶投资少，建设周期短，资金回收快。

2006年，中国单晶硅锭和多晶体硅铸锭的总生产能力已超过1万t。表12列出了很少一部分硅锭、硅片生产企业，根据爱尔兰商业通讯2007年5月份的报道，中国现有硅锭生产企业58家(含单晶硅和多晶硅)，硅片生产企业38家，估计总产能1.5万t以上^②。

图12 太阳能电池硅材料用量变化图

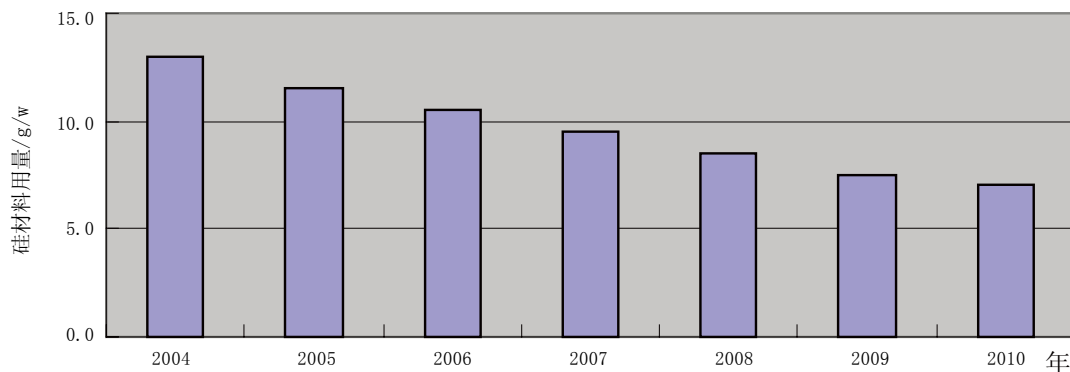


表12 2006年中国晶体硅生产能力和生产量

厂商	材料类别	年生产能力/t/a	生产量/t
河北宁晋晶隆	单晶硅	2 250	1 126
锦州华日	单晶硅	800	400
常州天合	单晶硅	180	60
青海新能源	单晶硅	270	0
江西塞维LDK	多晶硅	3 000	100
保定天威英利	多晶硅	770	260
宁波晶元	多晶硅	90	40
江苏顺大	单晶硅	350	100
精工绍兴太阳能	多晶硅	132	0
其他	单晶硅	3 000	400
合计		10 842 (单晶硅6 850, 多晶硅3 992)	2 486 (单晶硅2 086, 多晶硅400)

①崔容强. 光伏发电新进展. 第三届太阳级硅材料研讨会[C]. 2007.

②爱尔兰都柏林商业通讯. 2007.

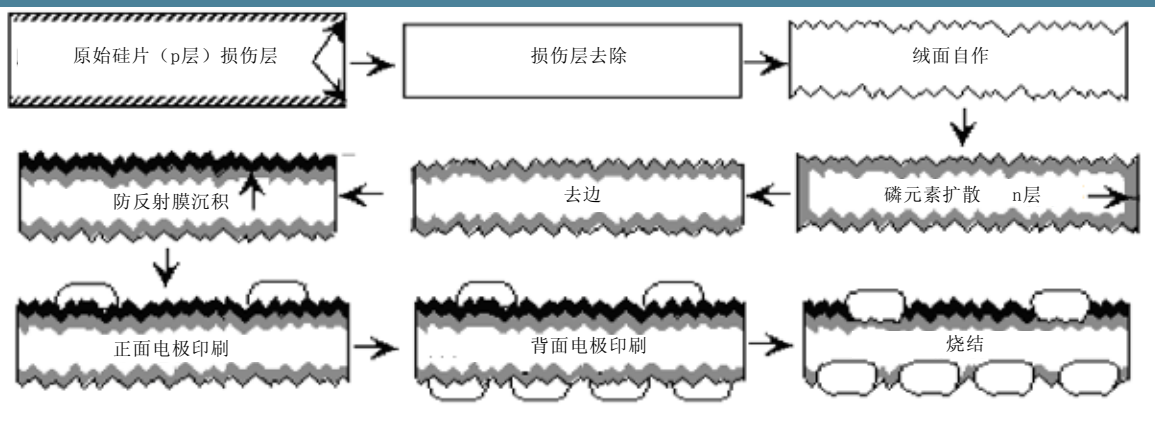
4.3.3 晶体硅太阳能光伏电池制造业状况

晶体硅太阳能光伏电池是在单晶或多晶体硅片上通过扩散制结而制成的，商品化晶体硅太阳电池的制备工艺大致相同，其工艺流程如图13所示。

中国2004年太阳能光伏电池的年产量超过50MW，是前一年的4倍；2005年产量达到130MW_p，2006年为369.5MW_p，如果不是受到原材料短缺的制约，发展速度还将更快。在无锡尚德于美国纽交所上市，创造了财富神话的带动下，中国众多企业纷纷投入太阳电池的制造业，到2006年底，中国太阳电池的生产企业已有39家，总的年生产能力已经达到1.6GW_p。

虽然中国商品化光伏电池制作工艺接近或达到国际先进水平，但大多数企业自主研发实力不强，以消化吸收国际技术为主，缺乏技术创新和市场应变能力。目前大规模生产的晶体硅电池的总体发展趋势为：高效率、大面积、薄硅片。这对国内光伏电池制造业提出了新的要求，即高效率、大面积、薄型化。

图13 商品化晶体硅太阳电池制备工艺流程框图



中国光伏发电之最——无锡尚德

无锡尚德太阳能电力有限公司主要从事晶体硅太阳能电池、组件以及光伏发电系统的研究、制造和销售。2001年1月，施正荣博士带着他在澳大利亚积累的光伏领域的知识和经验回到中国，创建了尚德公司。通过不断的技术创新，尚德太阳能电池产品的性能和质量持续提高，Suntech成为国际光伏行业的知名品牌。2005年12月14日，尚德公司在美国纽约证券交易所上市，成为中国内地首家在纽交所上市的非国有高科技企业。据国际权威光伏杂志《PHOTON International》2006年3月最新统计，尚德公司太阳能电池产能2005年位列全球第八位，2006年将进入前四强。尚德公司的产品在世界各地深受青睐，其中在欧美、中东、非洲和东南亚地区市场占有重要份额，中国市场已经广泛应用到通信、广电、交通、海事、照明、军事等领域。尚德公司积极参与承建西部光明工程项目，不断推广光伏建筑一体化(BIPV)技术的应用，其产品凭借卓越的性能和品质被商务部选定为政府对外援助项目产品。



4.3.4. 非晶硅太阳能光伏电池制造业状况

表13列举了2006年中国非晶硅太阳能电池生产能力。正在上马的企业还有：广东中山10 MWp、福建泉州10 MWp、浙江慈溪10 MWp、蓝星5 MWp、山东东营2.5MWp，产业化发展势头良好。

4.3.5. 组件封装产业状况

晶硅太阳能电池组件制造主要是将晶硅太阳能电池进行单片互连、封装，以保护电极接触，防止互连线受到腐蚀，避免电池碎裂。封装质量直接影

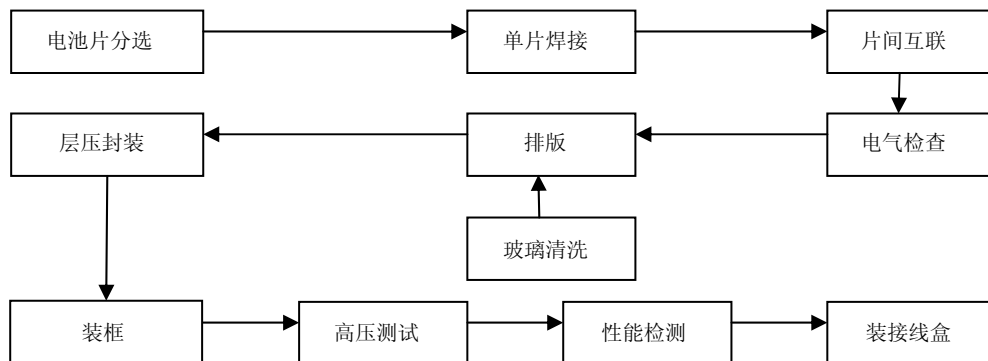
响晶硅太阳能电池组件的使用寿命。

目前中国光伏电池封装产业，是整个光伏产业链中生产工艺发展最成熟，生产设备国产化率最高，从业门槛最低，从事企业最多，且扩产最快，产量最大的一个环节。组件封装的工艺流程如图14。在整个太阳能光伏电池产业链中，组件封装是投资少、建设周期短的部分。由于技术和资金门槛低，同时可以充分利用劳动力成本低廉的优势，中国太阳能光伏电池封装行业的发展最为迅速。

表13 2006年中国非晶硅太阳能电池生产能力

产品类别	厂商名称	生产能力/MWp
非晶硅	哈尔滨克罗拉	1
	深圳创益	5
	深圳日月环	2
	深圳拓日	20
	天津津能	7.5
	北京世华	10
合计		45.5

图14 晶硅太阳能电池组件制造工艺流程图



由于中国国内光伏市场尚未启动，国产光伏组件绝大部分出口国外，特别是欧盟国家，但由于上游硅材料紧缺的原因，目前国内封装产能过剩，利润微薄，产品质量参差不齐，国际竞争力相对有限，发展空间不足。根据ENF Solar的统计，2007年我国太阳能光伏电池组件封装企业已有172家，总的封装能力不少于2 000 MWp。

4.3.6 光伏系统平衡组件

光伏系统中，平衡部件主要包括逆变器、控制器、蓄电池。

在光伏系统平衡部件方面，中国在蓄电池方面的技术水平和产品质量并不逊于国外，在控制器和逆变器方面与国际水平相比有一定的差距，主要表现在产业规模、产品的可靠性和功能上。

4.3.7 光伏应用产品和系统集成产业现状

目前的光伏应用产品主要包括太阳能庭院灯、草坪灯、信号灯、太阳能计算器和玩具等。由于国外市场需求，又是劳动密集型产业，在中国珠江三角洲及福建、浙江等沿海地区出现了大批光伏消费品生产厂商。中国已成为世界上最大的光伏消费品生产国。2006年底，北京市新农村建设启动了采用太阳能路灯的“亮起来”工程，北京市科委也开展了“百村太阳能照明”工程，在北京市周边的13个区县投资2.5亿元，安装太阳能路灯将近4万盏，这项工程将持续3年。在这些项目的拉动下，很多企业开始进入太阳能光伏产品的产业中来，估计全国生产太阳能路灯、草坪灯等应用产品的企业不会少于200家。国外基本没有太阳能光伏产品的生产厂家，中国的太阳能光伏产品每年大量出口。

光伏系统应用方面，2000年以前，由于市场的限制，光伏发电系统集成商不多，而且大多数分布在西北地区，主要是生产光伏户用电源。在国家计委的“中国光明工程”正式启动之后，西部几个项目省都成立了“光明工程”业主公司，如新疆、甘肃、青海、内蒙古等省区，还有一些大公司看到光伏发电的前景不错，而且是国家鼓励的环保、节能项目也纷纷进入。中国在系统集成方面的技术水平并不落后于国外。

4.3.8 光伏产品的出口情况

2003年以前，光伏产品的出口主要是太阳能灯和太阳能计算器等消费品。太阳能灯包括草坪灯、庭院灯、路灯、高速公路指示灯等。主要的灯具生产商集中在广东、浙江等沿海地区，包括深圳珈伟公司、深圳先行公司等。每年的产值约10亿元人民币。自2003年起，中国的太阳能光伏电池及组件开始出口，无锡尚德通过了UL、CE、ISE认证。2003年，中国太阳电池及组件的出口量达到15MWp，越来越多的企业开始获得国际认证，进入国际市场。

2006年，中国生产的370MWp光伏电池组件中，大约仅有10MWp用于国内，其余98%均出口。

4.3.9 薄膜太阳能电池的产业现状

目前薄膜光伏电池按材料可分三类：硅基薄膜电池、化合物半导体薄膜电池、染料敏化的光化学光伏电池。其中硅基薄膜电池主要包括：非晶硅薄膜、微晶硅薄膜、多晶硅薄膜。

虽然薄膜电池在国际商品化光伏电池生产中所占的比例很小，但高效率电池最终要走薄膜技术路线。采用多薄层、多p-n结的结构形式的薄膜电池，可实现40%~50%以上的光电转换效率。FhG-ISE的理论计算，具有5个p-n结的薄膜电池的理论效率可到57%以上。而在各种薄膜电池中，唯有硅薄膜电池原材料储量丰富，且无毒，无污染，更具持续发展的前景。

自20世纪80年代以来，中国一些课题组开始研究非晶硅薄膜材料和光伏电池以来，薄膜光伏电池的研究和开发一直受到高度重视。

中国电谷——保定

保定天威英利新能源有限公司2004年实现销售收入1.24亿元、利润1000万元、出口创汇1105.57万美元；2005年实现销售收入5.3亿元、利润1亿元，出口创汇4390万美元，与上一年相比销售收入增长了5倍、利润增长了近10倍；2006年实现销售收入20亿元、利润3.2亿元、出口创汇2亿美元。天威英利公司三期光伏产业园工程总投资33亿元、占地3.3hm²，第一阶段100MWp于2007年6月1日开始投入生产，现已具备200MWp的生产能力。2007年6月8日，天威英利的海外控股公司Yingli Green Energy Holding Company Limited（英利绿色能源控股有限公司）成功登陆美国纽约证券交易所。英利公司产品90%出口到德国、西班牙、葡萄牙、美国等国。2006年11月，天威英利取得目前世界最大光伏并网发电工程——葡萄牙茂拉项目，总装机容量62MWp；另外公司还先后承建了2006德国世界杯凯泽斯劳滕足球场1MWp光伏屋顶工程、德国霍亨伯格太阳能公园工程等。国内市场重点应用于国家实施的“光明工程”，以及国内各大城市的示范工程。

目前保定从事光伏LED产品研发的企业40余家。这些企业逐渐形成了自己的技术优势和设计特点，并按照市场需求，推出了各类型号的路灯、庭院灯、景观灯、交通信号灯、航空障碍灯等光伏LED产品以及小型光伏应用系统。目前，保定光伏LED产品行业光伏LED应用产品已辐射到北京、上海、山东、新疆、山西、内蒙古、湖南、河北、辽宁、吉林、黑龙江等20多个省、区、市。



5

中国不同地区发展光伏发电的潜力 ☀



5.1 中国的太阳能资源

我国有十分丰富的太阳能资源，1971-2000年的近30年，太阳年总辐照量平均在1 050~2 450 kW.h/m²之间；大于1050 kW.h/m²的地区占国土面积的96%以上。中国陆地表面每年接受的太阳能辐射相当于1.7万亿t标准煤^①。

按年太阳总辐照量空间分布，我国可以划分为四个区域，如图15所示。四个区域的太阳能资源量及其分布见表14。

图15 中国太阳能资源分布图

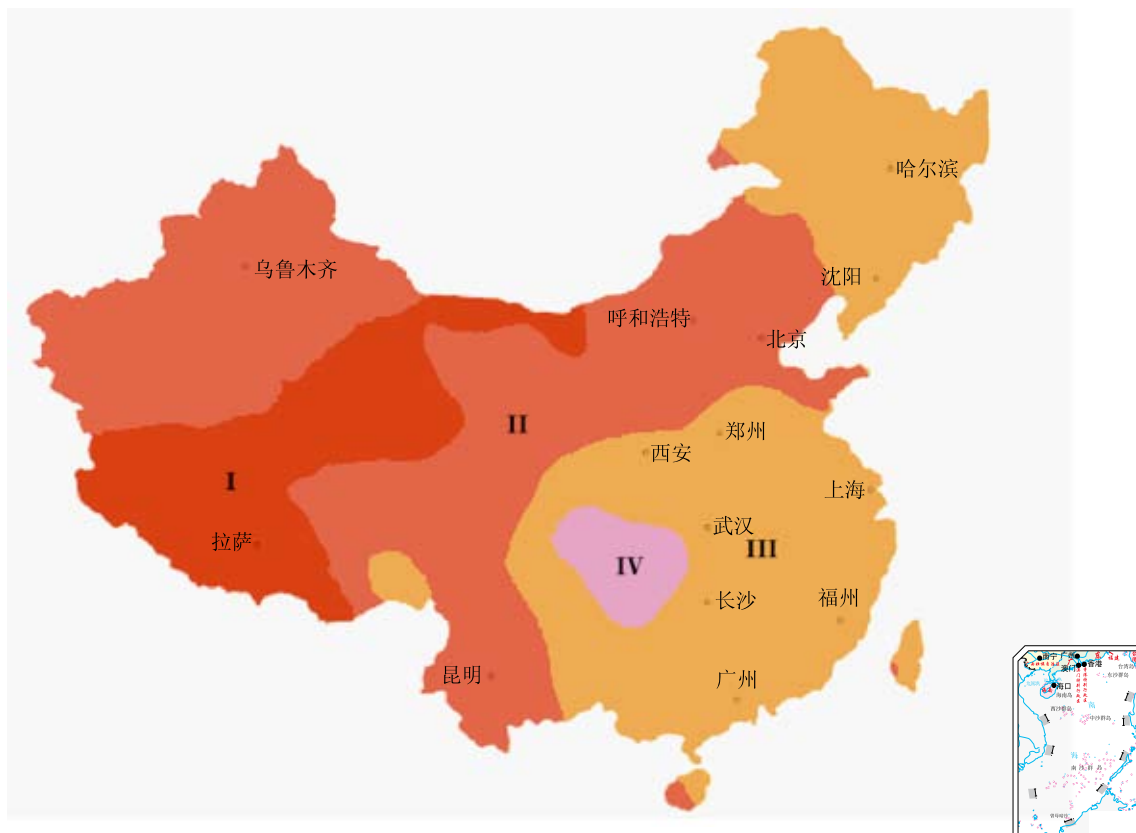


表14 中国的太阳能资源区划

名称	符号	指标/kW·h/m ² ·a	占国土面积/%	地区
最丰富带	I	≥1750	17.4	西藏大部分、新疆南部以及青海、甘肃和内蒙古的西部
很丰富带	II	1400~1750	42.7	新疆北部、东北地区及内蒙古东部、华北及江苏北部、黄土高原、青海和甘肃东部、四川西部至横断山区以及福建、广东沿海一带和海南岛
丰富带	III	1050~1400	36.3	东南丘陵区、汉水流域以及四川、贵州、广西西部等地区
一般带	IV	<1050	3.6	川黔区

注：I、II与III带，中国太阳能资源的丰富地区共占国土面积96%以上。

^①李俊峰等. 中国光伏发电市场评价[M]. 北京, 中国环境出版社, 1999.

太阳能辐射数据可以从县级气象台站取得，也可以从国家气象局取得。从气象局取得的数据包括：水平面总辐射、水平面直接辐射和水平面散射辐射。

从全国来看，中国是太阳能资源相当丰富的国家，绝大多数地区年平均日辐射量在 $4 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ 以上，西藏最高达 $7 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ 。与同纬度的其他国家相比，和美国类似，比欧洲、日本优越得多。上述 I、II、III 类地区约占全国总面积的 $2/3$ 以上，年太阳辐射总量高于 $5000 \text{ MJ}/\text{m}^2$ ，年日照时数大于 2000 h ，具有利用太阳能的良好条件。特别是 I、II 类地区，正是中国人口稀少、居住分散、交通不便的偏僻、边远的广大西北地区，经济发展较为落后。可充分利用当地丰富的太阳能资源，采用光伏发电技术，发展经济，提高人民生活水平。

5.2 光伏在农村电气化和并网发电上的市场潜力

5.2.1 农村电气化

据统计，截止到2005年底，全国大约还有270万无电户，1100万无电人口，其中有200万户，大约800万人将采用电网延伸、小水电和移民搬迁的办法解决他们的用电问题，其余70万无电户需要在2006-2015年间采用光伏和风光互补发电系统解决。如果按照脱贫标准（每户装机200W，每年每户用电200kW·h），预计总装机容量140MWp，投资大约100亿元；如果要达到边远地区城市用电标准（每年每户用电1000kW·h），则市场容量将是700 MWp。



独立光伏电站建设的样板工程——“送电到乡”

2002年国家发展计划委员会启动了“送电到乡”工程，到2005年底，共在中国西部七省区（西藏、新疆、青海、甘肃、内蒙古、陕西和四川）建成了268座小水电站和721座光伏和风光互补电站，解决了大约30万户、130万人口的基本生活用电问题。工程总投资47亿元，其中光伏和风光互补电站装机容量约 $15\,536.9 \text{ kWp}$ ，共投资16亿元。

“送电到乡”工程是中国乃至世界上迄今为止最大的采用光伏发电或风光互补发电实现边远无电地区农村电气化的项目。“送电到乡”工程在2年之内完成了项目招标、设备采购、设备生产、设备运输、土建施工、工程安装、人员培训和电站投运发电，项目规模之大、建设速度之快，令世人瞩目。项目实施3年以来，通过各省（自治区）发改委和系统集成商的共同努力，所建电站大多都在顺利运行，维护和管理情况也基本正常。目前，国家发改委正在组织专家研究制定并计划出台“关于独立电站后续运行管理的解决办法”，通过管理办法和电价补贴机制的进一步明确和落实，保持电站长期稳定可持续运行是完全可以做到的。

通过在中国西部七省区偏远无电地区“送电到乡”项目的实施，解决了这些偏远地区基层政府、学校、医院和乡政府所在地老百姓的基本生活用电问题，告别了无电乡的历史，促进了当地经济的发展，改善了农牧民群众的生活质量，对加快当地现代文明进程起到了举足轻重的作用。同时，采用的新能源，有效地保护了当地的生态环境，并从示范效应和生态保护意识教育方面也起到了意义深远的作用。

另外，伴随着“送电到乡”工程的实施，真正带动了国内光伏产业的发展，因此造就了如无锡尚德、天威英利、常州天合等一大批国内光伏企业的崛起，促进了中国光伏产业的人才培养和能力建设，对中国光伏产业的发展有很大的促和推动作用。

5.2.2 城市建筑并网光伏系统的应用

现在,全世界大约60%的太阳电池用于并网发电系统,主要是用于城市建筑并网光伏系统。中国的建筑并网光伏系统尚处于示范阶段。预计2010年以前中国将会实施屋顶计划,安装太阳电池50MW_p;2020年以前将会有更大规模的建筑并网光伏系统项目,累计装机容量将达到700MW_p。预计到2010年建筑并网光伏系统的市场份额将占到17.6%,到2020年将占到39%。中国现有大约400亿m²的建筑面积,屋顶面积40亿m²,加上南立面,可利用面积大约为50亿m²,如果20%用来安装太阳电池,可以装100GW_p。

地方城市和企业也开始了建筑光伏发电并网技术的尝试,深圳市建成了当时亚洲最大的光伏并网发电站,总容量1MW_p。

建筑并网光伏发电尝试——深圳园博园光伏发电并网系统

深圳国际园林花卉博览园1MW_p并网光伏电站由深圳市政府投资、北京科诺伟业公司承建,于2004年8月在深圳国际园林花卉博览园内建成发电,总投资6600万元人民币。该电站填补了中国在兆瓦级并网光伏项目设计和建设上的空白,成为国内首座大型的兆瓦级并网光伏电站,也是亚洲最大的并网太阳能光伏电站。该电站的建成对今后太阳光伏发电系统在建筑上的应用,以及设计、建设大型并网光伏电站具有借鉴和参考意义,成为中国并网太阳能发电的里程碑。

该电站安装于园内综合展馆、花卉展馆、管理中心、南区游客服务中心和北区东山坡,实现太阳能发电和建筑一体化,并采用与市电直接并网的方式运行。该电站总容量1000.322kW_p,年发电能力约为100万kW·h。相当于每年可节省标准煤约384余t,减排粉尘约4.8t,减排灰渣约101t,减排二氧化碳约170余t,减排二氧化硫约7.68t。通过电站并网发电,深圳国际园林花卉博览园每年可节省电费66.64万元。按照该电站20年运营期计算,累计发电1960万kW·h,总计可节省电费1333万元。

1MW_p并网光伏电站使得深圳国际园林花卉博

览园除了具有游园观赏功能外,还将成为中国高科技普及教育的活教材,对深圳市民乃至全国人民的环保意识、节能意识起到促进作用。



上海、北京、南京、无锡、保定、德州等城市也都启动了城市太阳能示范计划和行动。中国出现了城市光伏并网发电的雏形。

产业与应用的结合——保定太阳能示范城

保定市2006年起逐步启动了“太阳能之城”建设工程,城市规划区域内新建公共建筑、住宅小区的庭院照明、住宅建筑楼梯间照明计划全部按太阳能技术要求采用太阳光伏灯、节能灯;新建、改建及主题工程尚未完成的居住建筑须设计太阳能热水系统。

保定投资1.2亿元、建设1.5MW_p太阳能发电并网工程目前已进入安装光伏并网组件阶段,预计2007年底竣工,将成为我国最大的光伏并网发电工程。保定以国家科研院所为依托,建立了太阳能之城建设专家库,入库专家20多位,为全市太阳能建设提供技术指导和服

保定依托在新能源与能源设备产业领域的科技优势,力争用2~3年时间,建设成国内首座大范围应用太阳能的城市。截至目前,“太阳能之城”建设进展顺利。市区主次干道已安装太阳能路灯179座,至2007年底,市区公共场所太阳能应用改造将完成50%,生活小区完成40%,旅游景区完成40%,其中4A级景区完成100%。

按照可再生能源法的实施原则，建筑并网光伏系统的初投资由项目开发商投入，其成本和合理利润将通过向电网公司出售光伏电力获得，上网电价应当按照发电成本加合理利润的原则确定。为了达到建筑并网光伏系统的预定目标，上网电价政策是关键，只有实施这一政策和法规才能有效消除光伏发电高成本的障碍，进一步扩大这一市场。

5.2.3 大规模光伏 (LS-PV) 荒漠电站

最具发展前景的光伏发电应用的市场是大规模的荒漠电站。中国拥有沙漠、沙化和潜在沙化的土地接近250万 km^2 ，约占国土面积的1/4。利用其中的1%，在现有的技术条件下，即可安装25亿 KWp 的光伏发电站，年发电3000 TW.h，相当于目前中国总发电量。

从目前的国力和政策看，2010年以前，先开展沙漠或戈壁大型光伏电站试验，所选择的沙漠或戈壁试验地点应当具备如下条件：不要离主干电网太远（最好在50km以内），以减少新增输电线路的投资；主干电网的线径具有足够的承载能力，在不改造的情况下有能力输送光伏电站的电力；距离用电负荷中心不能太远（100km以内），以减少输电损失；如果附近没有用电负荷中心，则最好有大型水电站，可以将光伏电站的电力通过抽水蓄能消耗。根据国家发改委的可再生能源中长期发展规划，在2010年以前建立3~5座1~10 MW p 左右的沙漠试验电站（总装机20 MW p ），以考察其技术和经济的可行性。2010~2020年期间将进一步推广荒漠电站，到2020年底累计沙漠（戈壁）光伏电站装机达到200 MW p 。

沙漠电站雏形——西藏羊八井高压并网光伏发电站

沙漠电站需要远距离送电，一般以中、大和超大型规模为主。因此研究光伏发电系统高压并网就是一个最重要的课题。为了弥补在中国和高压网直接并网的大型太阳能并网发电领域的研究和建设上的空白，2004年，在科技部、国家发改委和西藏自治区政府的支持下，委托具有丰富光伏电站设计及建设经验的北京科诺伟业科技有限公司承建，于2005年8月31日，中国第一座直接与高压并网100 kWp 光伏电站在西藏羊八井建成并一次并网成功，顺利投入运行。

西藏羊八井100 kWp 戈壁沙漠高压并网光伏电站的建成，作为世界上海拔最高的太阳能光伏并网电站，也开创了我国光伏发电系统与电力系统高压独立并网的先河，同时也标志着西藏自治区可再生能源基地的启动。

西藏自治区可再生能源基地将西藏羊八井100 kWp 戈壁沙漠高压并网光伏电站作为示范和试验基础，进一步深入开展了光伏发电高压并网关键技术研究，如并网逆变器技术及其相关的运行安全控制技术、光伏阵列跟踪技术等。该基地的建成为我国，特别是西藏地区可再生能源的利用提供了示范的条件，也必将为西藏乃至中国的可再生能源有效利用提供强有力的技术支撑。



中国的开阔地（荒漠）资源主要分布在光照资源丰富的西北地区，其年总辐射在 $1\ 600\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ 以上；西北地区的开阔地（荒漠）年总辐射甚至在 $2\ 300\ \text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ 以上，在全球也属富集区。几乎无须水资源的光伏发电有无限的发展空间。有不少开阔地（荒漠）靠近电力线路和负荷中心，还有很好的旅游资源，可以作为大型并网光伏项目的起步建议区域。随着电力输送技术和储能技术的发展，大规模开阔地（荒漠）电站将必然成为未来的电力基地。如果仅利用1%的荒漠来安装光伏发电系统，装机容量将达到 $1\ 000\text{GWp}$ ，是中国2005年全国电力装机的2倍。可见，中国有着丰富的荒漠资源来开展大规模的光伏发电。大规模荒漠光伏电站将享受和建筑并网光伏系统一样的上网电价政策。

5.3. 其他光伏商业应用的发展潜力

光伏的其他商业应用是指没有政府政策补贴的商业化应用，包括光伏通信电源、其他工业应用以及太阳能光伏应用产品等。到2006年底，此类应用在我国累计安装量已经达到 43MWp ，占光伏市场累计装机的53.8%。

通信和其他工业应用有着稳定的市场需求，近两年有逐渐增加的趋势，估计2010年以前，年装机大约每年 $5\sim 10\text{MWp}$ ，2010—2020年期间，平均年装机将达到 $15\sim 20\text{MWp}$ ，到2020年底，这一市场的累计装机将达到 300MWp 。

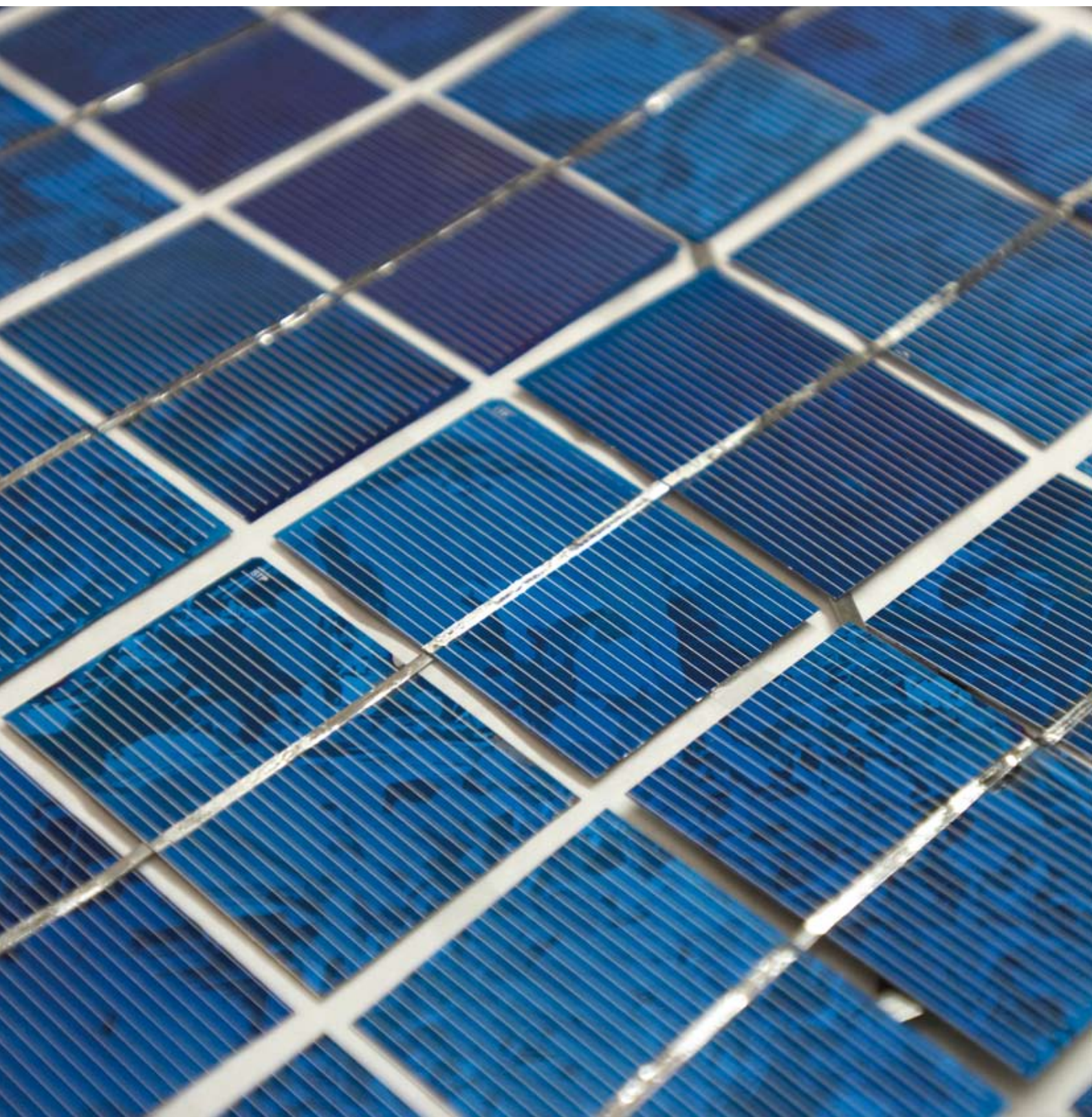
太阳能应用产品是我国的强项，包括太阳能路灯、草坪灯、太阳能信号电源、太阳能电动汽车、游艇、玩具，以及采用LED光源的指示牌、广告牌、交通标识、城市景观等。这一领域目前全国不少于200家企业，产品大量出口。预计2010年以前，每年的国内需求将有 $5\sim 10\text{MWp}$ ，2010—2020年每年的需求还将逐年增大。预计到2020年底，这一市场在国内的累计装机将达到 200MWp 。

随着技术进步、市场开发，新的应用领域和新的产品会迅猛发展。特别是国际光伏市场的飞跃发展，拉动着我国光伏生产快速发展，到2020年中国的商品化光伏累计安装量有望达到 500MWp ，年生产量有望达到 $30\sim 50\ \text{MWp}$ 。





6 光伏发电的成本分析 ☀



6.1 太阳能电池的成本

光伏发电的成本也是人们关注的要点，光伏发电系统成本的60%以上来自太阳电池，目前太阳电池的成本还很高，但是究其原因，很大因素是由于当前硅材料短缺，价格飞涨，造成了成本虚高。如果按照正常的发展，光伏发电在10年之内是有可能达到目前的常规电力成本。

由于光伏市场的80%是晶体硅太阳电池，因此，以下分析晶体硅太阳电池的成本。

2006年晶体硅太阳电池组件的国际价格比2005年上半年有所回落，从4.05美元/W_p下降到3.60美元/W_p，国内价格也从2005年上半年的38元/W_p下降到现在的32元/W_p^①。

从太阳电池各个生产环节看，当前的市场价格如下：

多晶硅材料：市场采购价格为200~250美元/kg，按照220美元/kg 计算；集团内长期供货价格为50~60美元/kg。

按照每瓦太阳电池需要9.3g多晶体硅，则每公斤硅材料可以生产出107.5W_p太阳电池，则相当于市场采购价格为2.05美元/W_p，集团内长期供货价格为0.47~0.56美元/W_p

晶体硅片（铸锭、切片后）：按照125×125的硅片6.0美元/片，每片2.4W_p，相当于2.5美元/W_p

太阳电池片：3.0~3.1美元/W_p

太阳电池组件：3.6~3.7美元/W_p

从图16看出，硅材料占整个太阳电池产品最终价格的56.2%，是影响太阳电池价格的主要因素，太阳电池价格偏高的原因主要是硅材料供应紧张，价格飞涨造成的。如果硅材料的供应问题能够在2年之内得到解决，其合理的价格将回落到50~60美元/kg（0.55美元/W_p），则太阳电池组件的合理价格将会下降到2.2~2.5美元/W_p（比现在的市场价格下降30%~40%），而合理的系统价格则应当在5美元/W_p以下。

图16 太阳电池各个生产环节价格比例

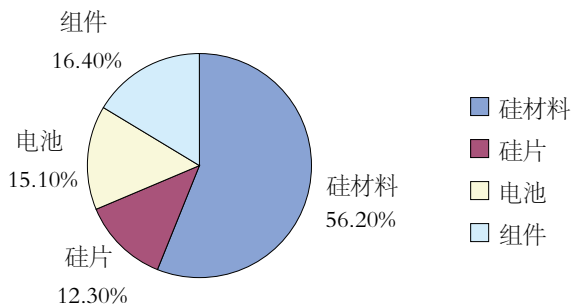


表15 2007年太阳电池生产的各个环节价格和增值

生产环节	多晶硅材料	硅片	太阳电池	太阳电池组件
售价/美元/W _p	2.05	2.5	3.05	3.65
增值/美元/W _p		0.45	0.55	0.60
比例/%	56.16	12.33	15.07	16.44

①王斯成等. 中国光伏发电技术及产业发展现状调查[R]. 2007.

6.2. 光伏发电上网电价的决定因素

决定光伏发电上网电价的有以下几个因素：初始投资、发电量、系统寿命、财务费用和维护运行成本等。

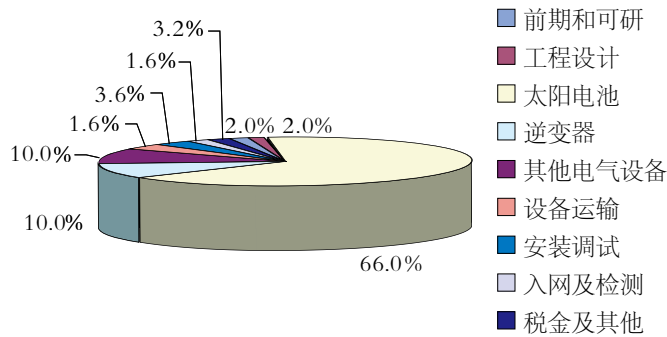
6.2.1. 初始投资计算

2006年，并网光伏发电系统成本每千瓦大约为5万元，具体构成如下：

表16 并网光伏发电投资成本

项目	投资/万元	比例/%
前期费用和可行性研究	0.10	2.0
工程设计	0.10	2.0
太阳能光伏电池（含支架）	3.30	66.0
并网逆变器	0.50	10.0
配电测量及电缆等	0.50	10.0
设备运输	0.08	1.6
安装调试	0.18	3.6
入网检测	0.08	1.6
税金及其他	0.16	3.2
合计	5.00	100

图17 并网光伏发电系统的成本分析



6.2.2 发电量的测算

光伏发电系统的发电量主要取决于当地的太阳能资源、系统的运行方式和系统中各环节的效率。不同的发电系统的效率不同，因此不同发电系统的发电量也不相同。由于独立光伏电站的建设由政府投资，补贴方式也不是按照实际电价成本考虑，因此，电价测算只考虑并网光伏发电系统（包括建筑并网光伏系统和大型荒漠光伏电站）。

系统效率

- 独立光伏发电系统的太阳能电池可以按照最佳倾角，朝南固定安装，系统综合效率68%左右（蓄电池充电效率95%，电压系数85%，逆变器效

率90%，其他效率94%）；2006年系统造价为8万元/kWp，每年递减7%。

- 建筑并网光伏发电系统安装角度受到建筑结构的限制，朝向损失较大，系统综合效率大约74%（逆变器效率95%，朝向损失15%，其他效率92%）；2006年系统造价6万元/kWp，每年递减7%。

- 建立在开阔地的并网光伏发电系统基本没有朝向损失，但增加了升压变压器，而且荒漠地区灰尘遮挡比城市严重。总体运行综合效率大约80%（逆变器效率95%，变压器效率95%，其他效率89%）；2006年系统造价6万元/kWp，每年递减7%。

太阳能资源和可利用小时数

表17 中国不同地区太阳能的可利用小时数

地区划分	年可利用小时数/h	日可利用小时数/h
西北地区（9省区）	1828.4	5.01
东部沿海（17省市）	1496.4	4.10
资源差地区（中南4省）	1204.5	3.30
全国平均	1557.1	4.27

不同类型光伏发电系统平均有效利用小时数

表18 不同发电方式全国平均有效年利用小时数

分类	独立光伏电站有效利用小时数	建筑并网系统有效利用小时数	开阔地并网系统有效利用小时数
年最高	1668.3	1815.5	1962.7
年最低	896.5	975.6	1054.7
年平均	1095.7	1192.4	1289.1

注：年有效利用小时数 = 年可利用小时数 × 发电系统的综合效率

根据上表统计，不同发电系统的全国平均年有效利用小时数确定为：

独立光伏电站：1100h，即1KWp太阳能电池每年发电1100kW.h；

建筑并网光伏发电系统：1200h，即1KWp太阳能电池每年发电1200kW.h；

开阔地并网光伏发电系统：1300h，即1KWp太阳能电池每年发电1300kW.h。

6.2.3 运行维护成本估算

运行维护成本包括运行维护费、大修理费、折旧费、工资及福利费、其他费用等。

年运行维护费

运行维护费=固定资产投资×运行维护费率。

光伏电站不消耗燃料，没有燃料支出。建筑并网光伏系统和开阔地并网光伏系统的线路简单，无人值守，低值易耗品和值班用品的费用很少；运行维护费率大约为0.2%。

工资及福利费

建筑并网光伏发电系统的运行不需人值守，只需要兼职管理，所以这部分的费用率为初始投资的0.8%。开阔地并网光伏系统虽然需要专人管理，但工作量较小，费用率也采用0.8%。

设备更新和大修费

太阳能电池的寿命长达20~30年，并网光伏发电系统没有蓄电池组，不需要考虑太阳能电池的更新和蓄电池维修费用；逆变器和其他电气设备在寿命周期内只需要部分更新，全部电器设备在寿命期内的更新和大修费用按照逆变器的一次初投资计算，占并网光伏发电系统初始投资的8%~10%。

折旧费

折旧费=固定资产原值×折旧率

其中，固定资产原值=初始投资×80%；折旧率=1/折旧年限×100%=1/20×100%=5%。

固定资产折旧提取后用于冲销贷款本息。

6.2.4 财务费用

假设初始投资的70%为贷款，30%为自有资金。

贷款利息：贷款期限20年，年利息率6.12%。

资本金收益：资本年回报率为10%。

6.2.5 税率

光伏发电系统免征所得税，增值税税率为6%，城市维护建设税是增值税的5%，教育附加税是增值税的3%。

6.2.6 影响光伏发电未来价格的因素

影响光伏发电未来价格的主要因素是：技术创新和进步、光伏效率的提升、光伏使用寿命增加、规模经济效应。

6.3 光伏发电上网价格的计算和预测

综合以上因素，光伏发电上网价格的计算方法如下：

上网电价(元/kW.h)=(年资本金收益+年偿还贷款本金额+20年年均偿还贷款利息额+设备折旧+年运行成本)/年发电量

参照国际上的有关预测，光伏发电初始投资每年以10%的速度下降。



表19 并网光伏发电上网电价测算

光伏并网发电成本分项	2006年	2010年	2015年	2020年
kWp初始投资额	50 000	32 805	19 371	11 438
资本金 (30%)	15 000	9 842	5 811	3 432
银行贷款 (70%)	35 000	22 964	13 560	8 007
年偿还贷款本金	1 750	1 148	678	400
贷款利息 (20年均值)	1 125	738	436	257
年设备折旧 (20年期)	2 000	1 312	775	458
冲销贷款本息	-2 000	-1 312	-775	-458
运行和维护 (1%)	500	328	194	114
设备大修更新 (0.5%)	250	164	97	57
年资本金收益 (10%)	1 500	984	581	343
kWp含税含收益年发电成本	5 480	3 595	2 123	1 254
含税含收益上网电价 [元/(kW.h)]				
1 000有效小时	5.5	3.6	2.1	1.3
1 100有效小时	5.0	3.3	1.9	1.1
1 200有效小时	4.6	3.0	1.8	1.0
1 300有效小时	4.2	2.8	1.6	1.0
1 400有效小时	3.9	2.6	1.5	0.9
1 500有效小时	3.7	2.4	1.4	0.8

6.4 与其他电力上网电价的比较

我国常规上网电价目前还处于较低的水平^①，我国常规电力全国平均上网电价见表20。根据其涨价和光伏发电的降价趋势看，要到2030年左右，光伏发电才能达到同常规电价相竞争的水平。

必须指出的是，传统电力的价格并没有真实反映其生产的全部成本。在中国，煤炭行业一直以来享受着各式各样的补助。除非包括光伏在内的可再

生能源得到相应的财政补助，否则比较这两类电力价格是不合适的。

此外，当前的电力价格也没有反映燃烧化石燃料给整个社会带来的外部成本。这些成本里既有对区域环境的破坏，也有全球性的影响；前者主要指酸雨、粉尘等空气污染，后者包括气候变化的一切灾难性后果。要准确估算这些成本的确存在困难，同时还伴随着不确定性的问题。

表20 中国常规上网电价测算

年份	2006	2010	2015	2020
全国平均上网电价 /元/kW.h	0.310	0.349	0.404	0.469
常规电价的年增长率	3%			

^①王文静，王斯成等. 光伏发电分类电价测算. 2005.

7

国外光伏发电经验 ☀



7.1 国外光伏发电政策

国际新能源发电目标是光伏发电在2020年占总发电量的1.6%，2040年占8.1%，2050年以后占10.9%^①。欧洲是世界可再生能源发展的领跑者和主力军，可再生能源市场和产业的年均增长速度都在2%以上。

德国、美国和日本以及欧洲各国在光伏领域之所以走在世界前列，与其政府在目标引导、价格激励、财政补贴、税收优惠、信贷扶持、出口鼓励、科研和产业化促进等方面的综合作用是分不开的。

7.1.1 德国

德国、西班牙等多数欧洲国家采取强制收购结合固定电价制度。德国的可再生能源法要求垄断性能源企业，主要是电网企业，必须按照国家规定的价格或价格计算规则收购可再生能源产品。电网公司有义务收购可再生能源所发的电量，并支付最低的上网补偿电价。在固定的时间范围内，享受固定的上网电价(PV：20年加上安装年)，新建电站的上网电价每年递减(PV：5%/a)。高于常规电价的那部分成本在全国范围均摊。

固定价格即政府直接明确规定各类可再生能源产品的市场价格。德国是这类价格政策的代表国家，德国于2007年通过法律的形式，制定光伏发电的价格是 37.96 ~ 54.21欧分 / kW.h。世界上大约有40多个国家采用这种价格机制，这种机制的特点是可以根据政府的意愿，促进各种可再生能源技术的均衡发展，也可以推动某些可再生能源技术的优先发展。

另外，德国的政策性银行德国复兴开发银行(KfW)还设立了可再生能源投资专项或额度，为可再生能源项目融资提供方便。

德国2000年颁布可再生能源法，其主要特点是“固定上网电价”(Feed-in-Tariff)政策。关于光伏发电的主要内容是：①电网公司全额收购光伏发电上网电量，并以50.6欧分/kW.h支付给开发商上网电价；②在固定的时间范围内，享受固定的上网电价(20年)；③新建光伏发电的上网电价每年递减(PV：5%/a)；④成本均摊：高于常规电价的部分在全部消费者均摊，消费者平均每月需要多支付20欧分的电力支出。

德国2007年公布的并网光伏上网电价见表21。

表21 德国2007年并网光伏上网电价

并网系统	上网电价 / 欧分/kW.h		
	最初 30 kWp	30~100 kWp	超过 100 kWp
2007年			
建筑 / 音障	49.21	46.82	46.30
建筑南立面	+ 5		
开阔场地	37.96		

①欧洲可再生能源协会，绿色和平。能源革命[R]。2007。

与《可再生能源法》相配套的还有银行贴息贷款的政策。

KfW (德国复兴开发银行) 对于安装光伏系统的贷款支持:

- 国家补贴的长期低息贷款;
- 贷款期: 10年、12年、15年、20 年甚至 30 年, 头 2年、3 年或 5 年不用偿还;
- 固定利率至少10年。

在这些政策的支持下, 德国还实施了“10万光伏屋顶计划”, 德国政府认为光伏发展计划已经取得了完全的成功。完全的成功表现在形成了多赢的局面:

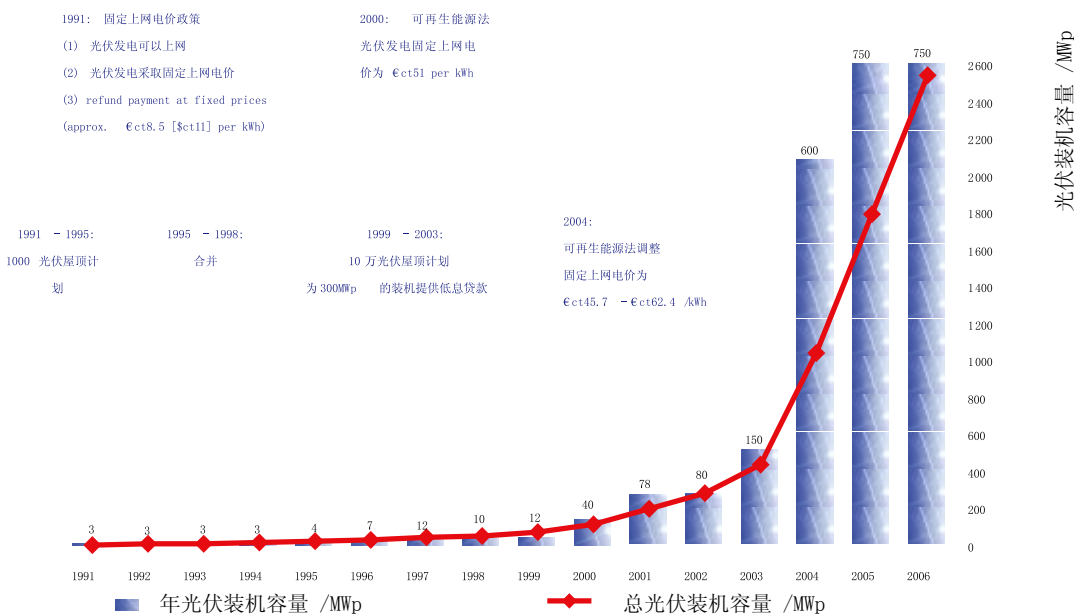
- 国家财政并不出钱, 而达到了推动光伏发电应用的目的;
- 项目开发商通过销售光伏电量而得到了可观的回

报;

- 光伏系统大量安装, 5年内数量超过预期的300 MWp (实际安装345 MWp) ;
- 在固定上网电价政策下, 到2006年12月31日德国总装机容量达到2 530 MWp, 2006年平均市场容量接近750 MWp;
- 光伏企业通过大量销售而获利, 光伏产业得到了发展;
- 利用价格调整, 促使光伏真正按照市场规律进行推广;
- 银行的贷款已经全部收回;
- 创造了20万个工作机会;

尽管“10万屋顶计划”已经在2003年结束, 但德国的光伏屋顶的建设却没有因此而停顿, 2004—2006年仍然有大幅度的增长^①。

图18 德国1990—2004年的光伏装机



①王斯成等. 欧洲光伏发电市场考察报告[R]. 2006.

7.1.2 美国

美国能源部提出了逐步提高可再生能源电力的发展计划，制定了风力发电、太阳能发电和生物质能发电的技术发展路线图，以此来提高清洁能源的比例，其中太阳能光伏发电预计到2020年将占美国发电装机增量的15%左右，预计安装量达到2 000万kWp，以保持美国在光伏发电技术开发、制造水平等方面的世界领先地位^①。

对于光伏发电，美国在30个州都通过了《净电量计量法》（Net Metering），即允许光伏发电系统上网和计量，电费按电表净读数计量，允许电表倒转，若用电量大于光伏发电量，用户按照用电量和光伏电量的差额付费。美国加州的“购买降价”（Buy Down）政策则直接对太阳电池发电系统的初投资进行补贴，大约每峰瓦补贴4美元。

2007年2月5日，美国能源部刚公布了美国太阳能先导计划(SAI 2006-2010)，其要点如下：

- SAI将重点支持最能有效降低成本、提高效率以及提高PV可靠性的生产过程和产品的研究开发项目；
- 将在2007财政年度投资1.487 亿美元研究开发经费，其中光伏预算1.398 亿美元，聚光太阳能热发电890 万美元；
- SAI将对以光伏工业为导向的研究开发项目给

予投资，从而降低成本扩大本国的光伏产量；

- SAI还对拥有从实验室向商业化过渡潜力的新型太阳电池的公司给以支持，通过能源部投资和NREL和Sandia国家实验室的技术支持，使得新一代太阳电池在2011年以后走向市场。并使其成本逐步下降到5~15美分/kW.h。见图19。

- SAI支持消除非技术性障碍，包括：技术标准、技术规范、产品认证和技术培训；

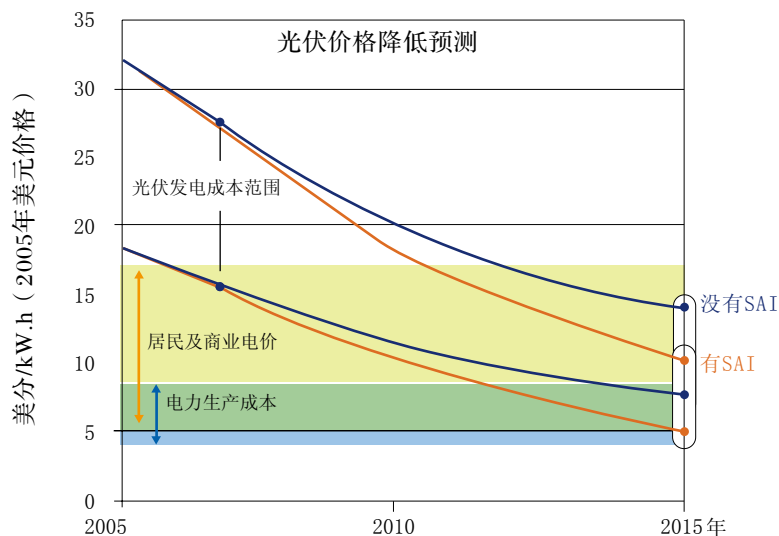
- SAI将促进美国各州同电力公司建立伙伴合作关系，制定相关法规和激励政策以促进太阳能应用的推广；

- 太阳能热发电的技术开发、批量生产和扩大项目规模。

美国联邦政府虽然没有通过具体的法令，但有20多个州政府或议会通过了相关法令，强制推行政府的可再生能源政策。

在电价方面，美国的一些州采用可避免成本的计算方式，确定可再生能源电价。由于可避免成本是相对常规能源确定的，因此不同可再生能源技术得到的电价一样；还有一些州制定了按净用电量收费的办法，相当于按照销售电价确定可再生能源电价。这种价格的形成机制与固定价格相类似，其效果也大同小异。

图19 SAI支持下的光伏发电成本目标



① 李俊峰等，美国可再生能源考察报告，2006。

美国的部分州实施的是强制配额或交易制度。强制配额即要求能源企业在生产或销售常规电力的同时，必须生产或销售规定比例的可再生能源电量。交易制度是指政府对企业的可再生能源发电核发绿色交易证书，绿色交易证书可以在能源企业间买卖，价格由市场决定。发挥市场自身的调节作用，达到提升可再生能源产品价格的目的。此时的可再生能源发电价格为平均上网电价与绿色交易证书的价格之和。在这种情况下政府制定了对未完成强制配额的企业予以惩罚的额度。这一额度往往成为可再生能源发电交易成本的上限。

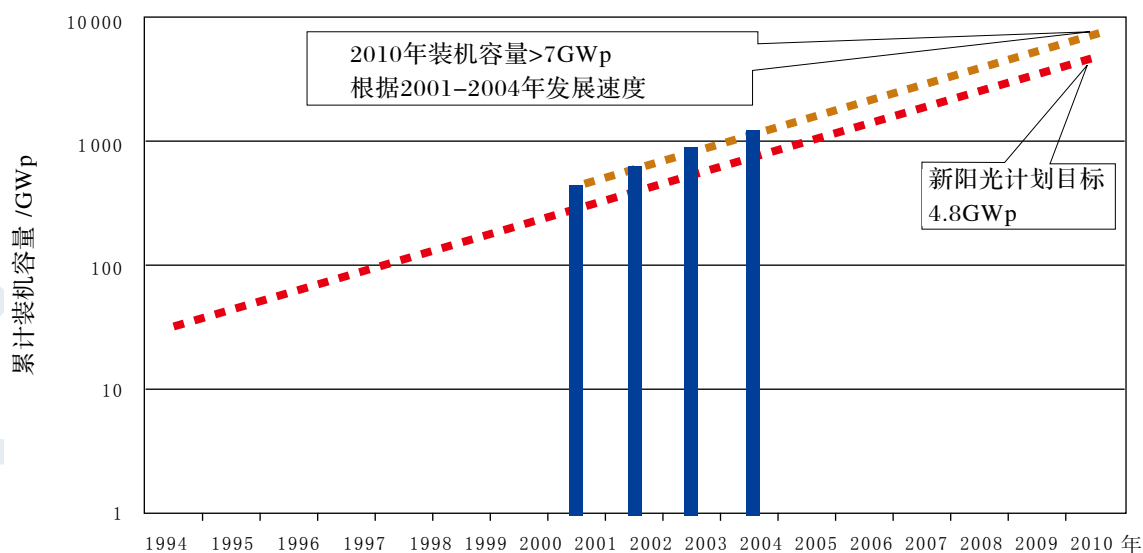
7.1.3 日本

日本自1993年开始实施“新阳光计划”^①，以加速光伏电池、燃料电池、氢能及地热能等的开发利用，其中光伏的2010年目标为4.8GWp。1997年又宣布了7万太阳能光伏屋顶计划，目标是到2010年安装7.60GWp的太阳能光伏电池。图20是日本新

阳光计划的目标(下面红色虚线)和执行情况(上面深色实线)，其执行情况超过计划速度。日本的邻国韩国也计划在2013年实行百万屋顶计划，争做世界光伏第三名。

日本实行的是用户补贴政策^②。用户补贴即对消费者进行补贴，但这种补贴也不是一成不变的，而是随市场的发展和技术的进步而调整，安装光伏发电系统时进行工程补贴，这一补贴逐年递减，从最初补贴50%，分10年逐年递减，到第十年时补贴减到零，2005年以后，日本屋顶光伏发电系统的补贴已经没有了。除了光伏系统的安装补贴外，还允许光伏发电系统“逆流”向电网馈电，意味着电力公司以同等电价购买光伏系统的发电量，类似于美国的《净电表计量法》。日本的普通电价原本就很高，相当每千瓦时2.4元人民币；而预计光伏发电系统价格将从2006年的大约4.0万/kWp下降到2010年的2.0万/kWp。2010、2020、2030年的发电成本分别为1.5元/kW.h、0.93元/kW.h、0.47元/kW.h，完全可以与常规电力相竞争。

图20 日本新阳光计划的目标和执行情况



① Kazuo Yoshino, . 日本光伏发展的案例. 2005.

② 李俊峰、马玲娟等. 日本光伏发电产业考察报告[R]. 2007.



7.2 世界光伏发展预测

7.2.1 国际能源署 (IEA) 的预测

国际能源署 (IEA) 对太阳能光伏发电的未来发展作出如下预测: 2020年世界光伏发电的发电量占总发电量的2%, 2040年占总发电量的20%~28%, 如图21所示。

7.2.2 欧盟联合研究中心 (JRC) 的预测

根据欧盟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21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22所示。

图21 太阳能光伏发电的预测

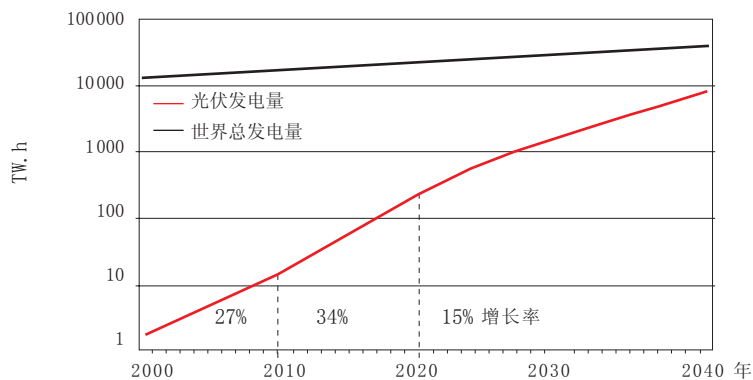


表22 欧盟联合研究中心的预测

	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

7.2.3 欧洲光伏产业协会 (EPIA) 的预测

欧洲光伏产业协会的预测^①为: 2020年在中等情景下世界太阳能光伏组件年产量28 GW_p, 高等情景下年产量44 GW_p; 两种情景下光伏发电总装机容量分别为170 GW和240 GW_p, 发电量达到225 TW.h和320TW.h, 占全球发电量的1%和2%, 太阳能电池光伏组件成本1美元/W_p; 2040年光伏发电量将达到6400TW.h, 占全球发电量的20% (中) 或28% (高)。

综上所述, 世界各种权威机构对可再生能源替代速度和光伏发电未来的预测具有高度一致性, 使我们有理由相信这些预测结果具有很高的科学性和可信度, 因而具有重要的参考价值。这些预测是有科学依据的, 说明可再生能源替代化石燃料的紧迫性, 也说明未来光伏发电具有极其重要的战略地位。

① 李俊峰等. 美国可再生能源考察报告[R]. 2006.

8

中国光伏发展政策及路线图 ☀



8.1 光伏发展政策现状

目前中国支持光伏发展的主要政策框架体现在两方面，一方面是国家能源发展规划，包括“十一五”规划及可再生能源中长期发展规划；另一方面是从2006年开始实施的《可再生能源法》。此外，光伏在扶贫及实现能源普遍服务等方面也有着巨大的贡献。

8.1.1 边远地区光伏补贴政策

根据提供电力普遍服务的原则，中国政府对利用光伏发电解决边远地区居民的用电问题给予补贴，主要的补贴方式有：项目补贴、用户补贴和工程补助等，补贴的资金来源主要是中央财政、地方财政和国际援助等资金。中国政府在过去的10多年间，组织了许多推广光伏发电的项目，主要是：

① 1996-2000年期间以解决无电县为目标，建设集中光伏发电系统，在西藏地区建立10多座光伏电站，为西藏无电的县城解决了照明等主要的生活用电问题。

② 中国政府在1997年启动了光明工程先导计划，在青海、新疆、内蒙古等地开展了以光伏发电技术为主体，以解决农牧民生活用电为主要目标的工程项目，其资金主要通过国际援助、地方财政补贴的方式，为农村的中小学、卫生院以及农牧民提供光伏发电装备。

③ 中国政府在全球环境基金援助下，通过世界银行，实施了“中国可再生能源发展项目”，主要是为西部九个省区（内蒙古、西藏、青海、甘肃、新疆、陕西、云南、宁夏和四川西部）推广光伏发电的户用系统。

④ 2002-2004年，中国政府启动以光伏发电为主的送电到乡工程，中央财政投资20亿元，地方配套10多亿元，解决700多个村镇、20多万户、接近100万人的用电问题。

此外，各地还通过各种方式对边远地区的农牧民使用光伏发电给予了大量的补贴，例如新疆和青海，分别给予每套光伏发电系统100~200元的补贴，支持用户使用光伏发电。

上述项目的实施帮助维持了中国光伏发电产业的

发展，也为此后的发展奠定了基础。

8.1.2 研发支持计划

中国政府还对光伏产业的技术研发和产业化发展给予了大量的支持，支持的途径主要有：

① 基础研究计划，又称973计划：对光伏发电技术中的前瞻性技术给予支持，先后支持了薄膜电池、染料敏化电池等新型电池技术和原理的研究；

② 高技术研究计划，又称863计划：重点支持接近商业化发展的光伏发电技术的研究与开发，先后支持了光伏发电基础装备和材料、碲化镉、硒铟铜、薄膜硅电池等技术的研究；

③ 攻关计划（2006年改称支撑计划）：在第六个五年计划开始，中国政府就在攻关计划中安排了一定数量的资金，通过支持光伏发电技术产业化中关键技术问题的研究，奠定了光伏发电技术产业化的基础；

④ 产业化计划：国家还对成熟的光伏发电技术的产业化提供了资金支持，先后支持了无锡尚德、天威英利、常州天合、新疆新能源等主要光伏制造企业的产业化发展；还支持了新光硅业、洛阳中硅等硅材料企业的生产，为中国光伏发电产业的发展提供了有力的支持。

8.1.3 技术示范和试点

中国政府还通过试点示范对光伏发电技术的推广和应用提供技术支持和资金援助。分别建成了100多万户的户用发电系统、1000多座村级、乡镇电站，以及100多座不同规模的屋顶系统，并且建成了1座100KW_p的高压并网的沙漠电站，为光伏发电技术的推动和应用积累了经验。

中国政府还鼓励地方政府进行光伏发电系统的试验和示范工作，先后在上海、北京、南京、深圳等地进行了路灯照明、屋顶计划等技术示范工作，并结合北京奥运会、上海世博会等大型活动，推广光伏发电技术及技术示范。一些地方城市，还发起了建设太阳能城的活动，例如山东的德州和河北的保定等。地方正在推行的主要光伏发电项目有：

① 上海10万屋顶计划：上海市计划在2006 - 2010年这五年期间，建设10万屋顶发电系统，总容量约为40万KWp。

② 北京的路灯工程：北京市政府利用财政资金，在城市郊县，利用光伏发电系统，为农村街道和部分道路提供照明系统，并在奥运工程的部分设施，安装光伏发电系统。

③ 江苏光伏发电推广计划：江苏省政府计划在部分机场、大中城市标志性建筑上安装光伏发电系统。

④ 沙漠电站示范：科技部安排了专项资金在甘肃、西藏和四川等地计划安装4套兆瓦级的沙漠电站示范项目。

发挥中央和地方的积极性，对于光伏发电技术，建立稳定的光伏发电市场是十分有益的。

部分，国家第一次在《“十一五”国民经济发展规划（2006 - 2010）》中和中长期能源发展规划中包含了可再生能源发电的规划目标，国务院原则上通过了《国家可再生能源中长期发展规划》，其中可再生能源发电也占有重要的地位。这些规划和目标要求都对我国可再生能源发电的发展起到了指导和推动作用。有机构依据规划和国家的发展目标对中国可再生能源发电装机及发电量作了预测^①，见表23。

从表23中看出，太阳能光伏发电在中国未来的能源供应中将占有一席之地，按照国家目前规划，到2010年中国光伏发电的累计装机量将达到300 MWp，到2020年将达到1.8 GWp，到2050年将达到100 GWp。按照中国电力科学院的预测，到2050年，中国可再生能源的电力装机将占全国电力装机的25%，其中光伏发电装机将占到5%。

8.1.4 规划与发展目标

可再生能源发电是可再生能源发展的重要组成部分

表23 中国可再生能源发电的发展规划和预测

规划年份		2004	2010	2020	2030	2050
小水电	装机/万kW	3 400	5 000	7 500	10 000	20 000
	年发电量/亿kW·h	1 000	1 545	2 300	3 200	6 400
风电	装机/万kW	76	500	3 000	10 000	40000
	年发电量/亿kW·h	11.4	105	690	2 300	9 200
生物质发电	装机/万kW	200	550	2 000	5 000	10 000
	年发电量/亿kW·h	51.8	212	835	2 250	5 000
光伏发电	装机/万kW	6.5	30	180	1 000	10 000
	年发电量/亿kW·h	0.78	4.2	21.6	140	1 500
可再生能源比例/%		6.5 (3)	10 (4.2)	16 (8)	20 (14.6)	30 (22.5)

*注：按照1kW·h = 350g标煤折算，括号内数字不含大水电。

①王斯成，胡学浩等. 我国能源发展中长期发展战略研究报告[R]. 2007.

8.2 《中华人民共和国可再生能源法》及其实施细则

《可再生能源法》已经于2005年2月28日由全国人大常委会批准通过，并于2006年1月1日生效。有关部门也制定了各类实施细则，这些都有助于光伏发电产业的发展。

8.2.1 与并网光伏发电相关的条款

《可再生能源法》适用于并网的光伏发电的主要条款是：

第十四条 电网企业应当与依法取得行政许可或者报送备案的可再生能源发电企业签订并网协议，全额收购其电网覆盖范围内可再生能源并网发电项目的上网电量，并为可再生能源发电提供上网服务。

第十九条 可再生能源发电项目的上网电价，由国务院价格主管部门根据不同类型可再生能源发电的特点和不同地区的情况，按照有利于促进可再生能源开发利用和经济合理的原则确定，并根据可再生能源开发利用技术的发展适时调整。上网电价应当公布。

第二十条 电网企业依照本法第十九条规定确定的上网电价收购可再生能源电量所发生的费用，高于按照常规能源发电平均上网电价计算所发生费用之间的差额，附加在销售电价中分摊。具体办法由国务院价格主管部门制定。

8.2.2 与离网光伏发电系统有关的条款

《可再生能源法》适用于离网的光伏发电的主要条款是：

第十五条 国家扶持在电网未覆盖的地区建设可再生能源独立电力系统，为当地生产和生活提供电力服务。

第二十二条 国家投资或者补贴建设的公共可再生能源独立电力系统的销售电价，执行同一地区分类销售电价，其合理的运行和管理费用超出销售电价的部分，依照本法第二十条规定的办法分摊。

8.2.3 《可再生能源法》实施细则

2006年1月4日，国家发改委发布了“可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法”，与光伏发电有关的条款如下：

第九条 太阳能发电、海洋能发电和地热能发电项目上网电价实行政府定价，其电价标准由国务院价格主管部门按照合理成本加合理利润的原则制定。

第十二条 可再生能源发电项目上网电价高于当地脱硫燃煤机组标杆上网电价的部分、国家投资或补贴建设的公共可再生能源独立电力系统运行维护费用高于当地省级电网平均销售电价的部分，以及可再生能源发电项目接网费用等，通过向电力用户征收电价附加的方式解决。

8.2.4 《可再生能源法》在执行中的困难

从相关的法律法规可以看出，城市与建筑结合的光伏并网发电系统和大规模荒漠电站都将享受“上网电价”政策，意味着发电系统的初投资由项目开发商自己承担，成本和利润通过出售光伏发电来回回收，电网公司则应当按照合理的上网电价（成本加合理利润）全额收购光伏电量。对于离网光伏发电村落电站，初投资由政府拨款建设（户用系统另当别论），电站后期运行维护费用（包括蓄电池更新的费用）超出电费收入的部分，通过向电力用户征收电价附加的方式在全国电网分摊。还有一点就是：终端用户（无论是并网用户还是离网用户）支付电费应当享受“同网同价”，就是说光伏电站用户的电费应当与该省电网覆盖地区用户的电费水平一致。

但是在实际执行的过程中，还是存在着很多的困难。首先对于并网发电，国内到目前为止已经建成几十个光伏并网发电系统，最大的1MW，小的也有几千瓦。但是还没有任何一个具体的项目执行“成本加合理利润”的上网电价；还没有任何一个项目是电力公司正式批准允许并网的；也还没有任何一个项目是开发商按照商业化运营的方式投资建设的。光伏发电在可再生能源法的实施上比风力发电要困难得多，风力发电已经被电力部门所接受，是开发商出于盈利的目的投资建设的（不需要国家投资），并且按照“上网电

价”政策实施了多年。

对于离网发电，虽然可再生能源法和实施细则已经明确了在“送电到乡”工程中建成的720多座光伏电站的后期运行维护资金的来源（在全国电网分摊），但是到现在这些电站仍然没有完成移交，虽然3年的保修期已经结束，建设单位（系统集成商）却仍然承担着维护的工作，每千瓦每年大约需要4000元的维护维修费用，这部分费用至今没有落实。如何按照可再生能源法的原则，在全国电网加收绿色电力加价，并把这部分收上来的资金落实到农村光伏电站的后期运行维护中去，是亟待解决的问题，否则国家投资几十亿建设的光伏电站就会面临全面瘫痪的、不可收拾的局面。这一问题在即将实施的“送电到村”工程中同样会存在。

到目前为止，电力部门还没有正式接受光伏发电上网，国内已经建成的示范项目也还只是按照试验项目并网。要想使电力公司正式接受光伏发电，按照“成本加利润”的上网电价全额收购，还需要进行如下努力：

- 测算出合理的上网电价（对于离网光伏电站则需要测算出合理的运行维护成本）；
- 建立电力公司认可的光伏并网的建设、计量、测试验收标准和准入规程；
- 使电力公司接受光伏发电，并以合理的上网电价全额购买光伏发电系统发出的电量；
- 超出成本在全国电网分摊。

8.3 中国光伏发电政策建议

8.3.1 设定合适的发展目标

政府设定合适的目标是成功开创光伏产业的前提，这对于鼓励当地制造商的投资意愿与降低成本都尤为重要。在中国光伏制造产业已有相当发展的情况下，目前政府设定的光伏发展目标明显偏低，不足以支持本地光伏市场的发展，从而也会间接影响本地的光伏制造业。

8.3.2 制定有吸引力的价格政策

好的光伏发电价格政策须具备以下两大条

件：价格水平合理和操作方法明确。目前的政策框架对于光伏上网电价的操作还有很多不明确的因素，建议采用德国式的固定上网电价体系，管理方便并且效果明显。

8.3.3 把改善能源结构放到突出位置

能源资源是人类社会生存和发展的重要物质保障，是保障一个国家国民经济和社会发展的基础。在过去100多年里，全世界的能源消费量持续增长，占世界15%人口的发达国家通过消耗大量的自然资源，特别是能源资源，逐步实现了工业化的转变。另外，从20世纪70年代开始，一些发展中国家随着自身经济实力的提高，也开始陆续步入工业化阶段，成为后起的发达国家，进一步推动了全球能源消费的增长。与此同时，能源供应和消费模式在过去一个多世纪中也在发生变化，先后经历了从薪柴过渡到煤为主、再过渡到石油和天然气为主的两次能源革命，并呈现出多元化发展的趋势。能源消费的这种发展和替代过程既是世界经济必然产物，又受到全社会经济和技术发展水平的制约，在不同的发展阶段表现出不同的内涵和形式。预计在未来几十年内，能源消费在快速增长的同时，还会进行新一轮的替代。

根据现阶段的历史条件和技术发展水平，中国政府明确指出，以新能源替代传统能源、以优势资源替代稀缺资源、以可再生能源替代化石能源。如果这些政策落到实处，包括光伏发电在内的可再生能源技术的发展前景会十分乐观。

8.4 中国光伏发展路线图

8.4.1 发展路线

可再生能源中长期发展规划提出，到2010年光伏发电累计装机达到300 MW_p，2020年达到1.8 GW_p。这一目标比较保守，主要是考虑到国内光伏市场的发展还需要一个过程。但如果辅以强有力的政策支持，2010年以后将会有更快的发展。

到2020年的规划可以分为低目标和高目标，低目标仍可以按照国家可再生能源中长期规划确定的1.8 GW_p。高目标则对应前部分提到的各项政策建议，将发展目标定为10 GW_p。

表24 2004–2010年中国光伏发电装机累计/MWp

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
年新增	5	15	25	40	60	90
累计安装	70	85	110	150	210	300

平均年增长：50%

图22 2004–2010年中国光伏发电装机预测

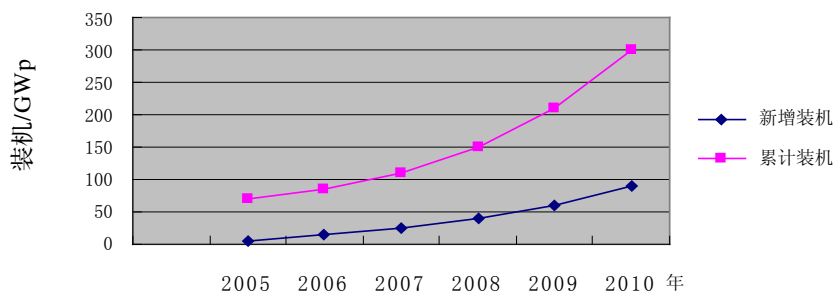


表25 2010–2020年中国光伏发电装机累计/GWp (低目标)

年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
年新增		0.12	0.125	0.131	0.137	0.143	0.150	0.156	0.162	0.170	0.176
累计安装	0.3	0.45	0.575	0.706	0.843	0.986	1.136	1.292	1.454	1.624	1.800

平均年增长：4.5%

图23 2011–2020年中国光伏发电装机预测 (低目标)

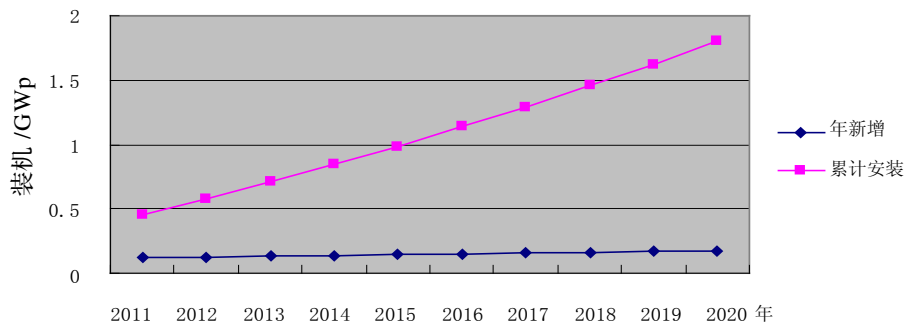
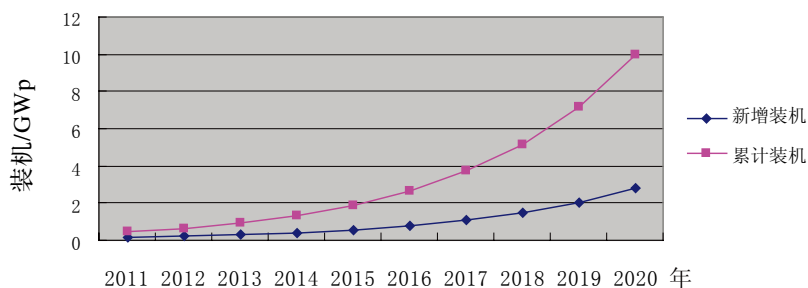


表26 2010—2020年中国光伏发电装机累计/GWp（高目标）

年度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
年新增		0.15	0.21	0.29	0.40	0.55	0.76	1.06	1.46	2.02	2.80
累计安装	0.3	0.45	0.66	0.95	1.34	1.90	2.66	3.72	5.18	7.20	10.00

平均年增长：39%

图24 2011—2020年中国光伏发电装机预测（高目标）



8.4.2. 市场份额预测

表27 2006年中国光伏发电市场分配

市场分类	累计装机/MWp	市场份额/%
农村电气化	35	41.2
通信和工业	28	32.9
太阳能光伏产品	18	21.2
城市并网发电	3.8	4.5
大型荒漠电站	0.2	0.2
合计	85	100

图25 2006年中国光伏发电市场份额

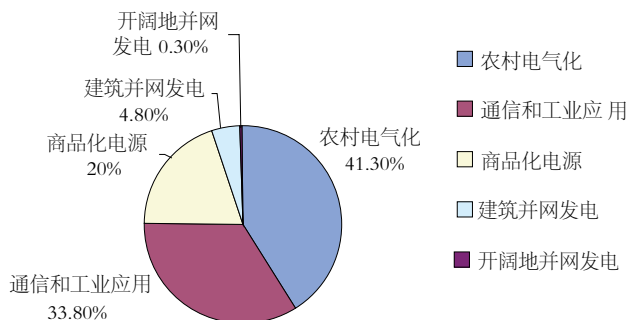


表28 2010年中国光伏发电市场分配

市场分类	累计装机/MWp	市场份额/%
农村电气化	150	50.0
通信和工业	45	15.0
太阳能光伏产品	32	10.7
城市并网发电	53	17.6
大型荒漠电站	20	6.7
合计	300	100

图26 2010年中国光伏发电市场份额预测

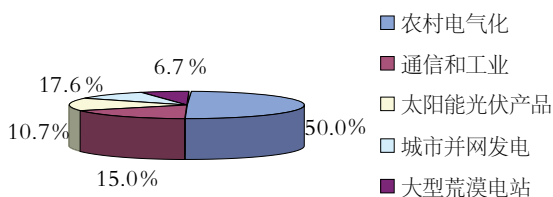


表29 2020年中国光伏发电市场分配（低目标）

市场分类	累计装机/MWp	市场份额/%
农村电气化	400	22
通信和工业	300	11
太阳能光伏产品	200	17
城市并网发电	700	39
沙漠/戈壁电站	200	11
合计	1 800	100

图27 2020年中国光伏发电市场份额预测（低目标）

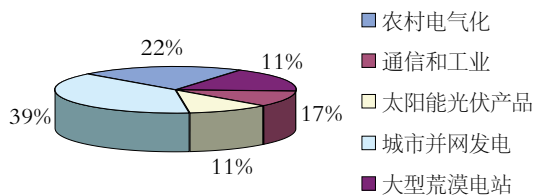
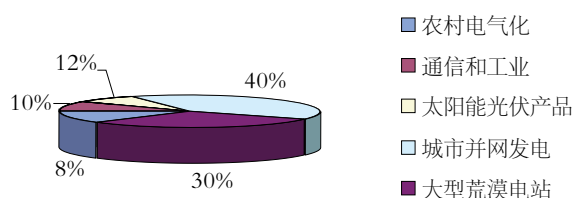


表30 2020年中国光伏发电市场分配（高目标）

市场分类	累计装机/MWp	市场份额/%
农村电气化	800	8
通信和工业	1 000	10
太阳能光伏产品	1 200	12
城市并网发电	4 000	40
沙漠 / 戈壁电站	3 000	30
合计	10 000	100

图28 2020年中国光伏发电市场份额预测（高目标）



8.4.3 中国光伏发展路线图综合指标

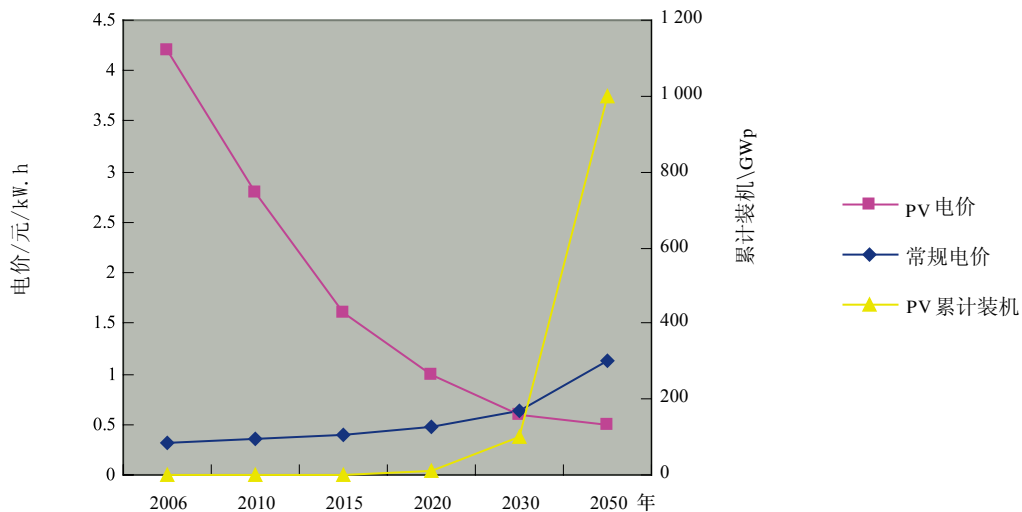
鉴于中国目前光伏工业正在迅速成长，光伏发电市场也会相应有较强的增长速度。可以预见，面对中国能源、环境的双重压力，特别是温室气体减排有可能是推动中国光伏发电产业发展的最大动力。在政策驱动和技术条件下，中国光伏发电市场的发展有可能向高目标发展，并在2030年以后达到同世界其他国家相一致的目标。到2030年以后，中国光伏发电的上网电价将达到常规电价的水平（见图29）。

表31 中国光伏发展路线图综合指标

年份	2005	2010	2020	2030	2050
全国总发电量/TW. h	2 500	3 000	5 000	6 650	10 000
累计装机/GWp(低)	0.07	0.3	1.8	10	100
累计装机/GWp(高)	0.07	0.3	10	100	1 000
高方案发电量/TW. h	0.091	0.39	13	130	1 300
占全国发电量的比例/%	0.0036	0.013	0.26	2.0	13.0
组件价格/元/Wp	36	25	15	10	< 7
组件寿命/年	25	30	35	> 35	> 35
系统成本/元/Wp	60	35	20	15	< 10
光伏发电上网电价/元/kW. h	4.11	2.40	1.37	1.03	0.69
常规发电上网电价/元/kW. h	0.31	0.35	0.47	0.63	1.14



图29 光伏电价和常规电价的发展趋势



同时，光伏发电技术的发展，也是其产业发展的根本动力。在过去的30多年里，光伏发电的成本由原来的每千瓦时5美元下降到目前的0.5美元左右。有理由相信，随着技术的不断创新和进步，产业规模不断扩大，其成本有望在2030-2050年期间与常规电力相竞争。



图表索引

图1 光伏发电产业链	2
图2 2006年中国一次能源消费构成	7
图3 2010年和2020年中国电力形势	7
图4 世界太阳能电池历年生产量	9
图5 世界太阳能电池历年增长率	9
图6 世界各种光伏应用市场发展和份额	10
图7 2004年欧盟联合研究中心预测	11
图8 太阳能电池组件成本降低	13
图9 2006年各种电池技术市场份额	13
图10 中国国内市场的年装机和累计装机	15
图11 2006年光伏发电市场分配	16
图12 太阳能电池硅材料用量变化图	18
图13 商品化晶体硅太阳能电池制备工艺流程框图	19
图14 晶体硅太阳能电池组件制造工艺流程图	20
图15 中国太阳能资源分布图	24
图16 太阳能电池各个生产环节价格比例	30
图17 并网光伏发电系统的成本分析	31
图18 德国1990-2004年的光伏装机	37
图19 SAI支持下的光伏发电成本目标	38
图20 日本新阳光计划的目标和执行情况	39
图21 太阳能光伏发电的预测	40
图22 2004-2010年中国光伏发电装机预测	46
图23 2011-2020年中国光伏发电装机预测（低目标）	46
图24 2011-2020年中国光伏发电装机预测（高目标）	47
图25 2006年中国光伏发电市场份额	47
图26 2010年中国光伏发电市场份额预测	48
图27 2020年中国光伏发电市场份额预测（低目标）	48
图28 2020年中国光伏发电市场份额预测（高目标）	49
图29 光伏电价和常规电价的发展趋势	50

表1	2001年中国一次商品能源消耗结构与世界对比	6
表2	过去10年世界太阳电池的年生产量和累计用量/GWp	9
表3	2005和2006年世界太阳电池生产厂商前16位	10
表4	并网光伏发电市场份额逐年增长情况	10
表5	光伏发电成本预测	11
表6	光伏发电装机预测/GWp	11
表7	电池效率	12
表8	太阳电池硅片厚度	12
表9	1976年以来中国国内光伏市场的发展	15
表10	2006年中国光伏发电市场分类	16
表11	中国多晶硅产业已建和在建的项目	17
表12	2006年中国晶体硅生产能力和生产量	18
表13	2006年中国非晶硅太阳电池生产能力	20
表14	中国的太阳能资源区划	24
表15	2007年太阳电池生产的各个环节价格和增值	30
表16	并网光伏发电投资成本	31
表17	中国不同地区太阳能的可利用小时数	32
表18	不同发电方式全国平均有效年利用小时数	32
表19	并网光伏发电上网电价测算	34
表20	中国常规上网电价测算	34
表21	德国2007年并网光伏上网电价	36
表22	欧盟联合研究中心的预测	40
表23	中国可再生能源发电的发展规划和预测	43
表24	2004 - 2010年中国光伏发电装机累计/MWp	46
表25	2010 - 2020年中国光伏发电装机 累计/GWp (低目标)	46
表26	2010 - 2020年中国光伏发电装机累计/GWp (高目标)	47
表27	2006年中国光伏发电市场分配	47
表28	2010年中国光伏发电市场分配	48
表29	2020年中国光伏发电市场分配 (低目标)	48
表30	2020年中国光伏发电市场分配 (高目标)	49
表31	中国光伏发展路线图综合指标	49



中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会
地址：北京市西城区车公庄大街甲4号物华大厦A2106
邮编：100044
电话：+86 10 6800 2617 / 18
传真：+86 10 6800 2674
网页：www.creia.net
邮箱：creia@creia.net



绿色和平
地址：北京市朝阳区朝外大街吉庆里篮筹名座E座2区19层
邮编：100020
电话：+86 10 6554 6931
传真：+86 10 6554 6932
网页：www.greenpeace.org.cn



欧洲光伏产业协会
地址：63-65 Rue d' Arlon, 1040 Brussels, Belgium
电话：+32 2 465 38 84
传真：+32 2 400 10 10
网页：www.epia.org
邮箱：com@epia.org



世界自然基金会
地址：北京市劳动人民文化宫东门内文华宫
邮编：100006
电话：+86 10 6522 7100
传真：+86 10 6522 7300
网页：www.wwfchina.org