

国家发改委/全球环境基金/世界银行  
中国可再生能源发展项目  
NDRC/GEF/WB CHINA RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT PROJECT

# 中国光伏产业发展研究报告 (2004—2005)

中国可再生能源发展项目办公室

2006年8月

研究报告项目组成员：

赵玉文 王斯成 励旭东 王文静 刘祖明 宋爽

项目办协调人员：

吴达成 王卫 罗欣莲

## 目 录

1. 世界光伏产业和市场发展现状及趋势.....	1
1.1 世界光伏发电产业发展概述.....	1
1.2 世界光伏发电的发展趋势、预测及路线图.....	5
1.2.1 世界需求形势及可再生能源替代速度.....	5
1.2.2 光伏发电的发展前景和预测.....	6
1.3 世界光伏技术发展现状及趋势.....	9
1.3.1 电池效率不断提高.....	9
1.3.2 商业化电池硅片厚度持续降低.....	10
1.3.3 生产规模不断扩大.....	10
1.3.4 太阳能电池组件成本大幅度降低.....	10
1.3.5 晶硅电池技术持续进步，薄膜电池技术快速发展.....	11
1.3.6 光伏工业的专用设备制造业及检测设备的技术提升.....	11
2. 中国的能源形势和可再生能源国家发展规划.....	12
2.1 中国的能源形势.....	12
2.2 中国的电力建设（2004，2010，2020）.....	13
2.3 国家可再生能源发电发展规划（至2020年）和预测（至2050年）.....	15
3. 中国光伏产业发展状况.....	16
3.1 多晶硅原材料产业状况.....	16
3.1.1 概述.....	16
3.1.2 我国多晶硅产业发展状况.....	17
3.2 晶体硅锭制造产业状况.....	18
3.3 太阳能电池制造业状况.....	19
3.4 组件封装产业状况.....	21
3.5 光伏应用产品的发展状况.....	22
3.6 太阳能光伏发电系统技术及应用发展状况.....	22
3.7 光伏系统平衡部件（BOS）制造业的发展状况.....	24
3.8 光伏产业相关制造设备的发展状况.....	29
3.9 我国光伏产业2005年销售收入和就业人数估计.....	31
3.9.1 销售收入估计.....	31
3.9.2 就业人数估计.....	32
4. 中国光伏市场的发展状况.....	32
4.1 中国光伏发电市场发展概况—总体发展缓慢.....	32
4.2 中国光伏应用的潜在市场容量—发展潜力巨大.....	33
4.2.1 国内光伏市场的组成.....	33

4.2.2 中国光伏发电市场的潜在容量.....	34
4.2.3 中国光伏发电装机规划和成本预测.....	36
4.3 中国光伏发电的主要工程及案例.....	37
5. 我国太阳电池的研发状况.....	38
5.1 国家支持的光伏科研活动.....	38
5.2 我国太阳电池的研发现状和水平.....	42
6. 光伏产品的技术标准、认证体系和质量保证体系.....	44
6.1 光伏产品的技术标准.....	44
6.2 认证体系和质量保证体系.....	45
6.3 国内光伏标准、测试及认证存在的问题.....	47
7. 光伏产业发展中存在的问题和障碍.....	48
8. 我国有关光伏产业发展的政策措施.....	49
8.1 《可再生能源法》及其试行办法.....	49
8.1.1 与并网光伏发电相关的条款.....	49
8.1.2 与离网光伏发电系统有关的条款.....	50
8.1.3 可再生能源法实施细则.....	50
8.1.4 可再生能源法解析.....	50
9. 建议.....	51
附录 1 中国光伏产业发展大事记（2004 年—2006 年 6 月）.....	53
附录 2 2000—2005 年中国太阳电池产量、组件售价和累计用量.....	54
附录 3 中国太阳光伏能源系统标准.....	55

## 0. 前言

在世界市场的拉动下，我国光伏产业近两年来发展迅速，我国太阳能电池/组件年产量由长期徘徊在世界份额的约 1% 发展到 2005 年的 8%，仅次于日本、欧洲，已成为世界光伏产业发展最快的国家之一，为世界瞩目。准确把握我国光伏产业的发展动态，对正确分析发展形势、研究发展战略和采取积极对策来说至关重要。本课题受国家发改委/全球环境基金/世界银行中国可再生能源发展项目管理办公室（以下简称项目办）委托，对最近两年我国光伏产业发展形势进行研究，供各界参考，希望能对我国光伏产业的发展起到积极的促进作用。

2003 年，项目办曾组织专家组撰写了《中国光伏产业发展研究报告》（中英文版），并于 2004 年 10 月公布。该报告对中国太阳能资源、光伏产业及市场的现状和发展前景进行了评述，并提出了进一步推进中国光伏产业发展的政策和行动计划建议。这份报告为我国光伏行业提供了参考，同时对促进国际间的交流与合作发挥了一定的作用，取得了较好的效果。随着我国光伏产业的迅猛发展，2003 年的报告已无法全面反映当前我国光伏产业的现状。特别是 2005 年 2 月 28 日全国人大通过了《中华人民共和国可再生能源法》，并于 2006 年 1 月 1 日开始实施。这必将推动中国可再生能源产业的快速发展。此外，第十个五年计划即将结束，很有必要对“十五”期间光伏产业的发展及规划执行情况总结，为“十一五”时期制定我国光伏产业发展规划提供科学依据。为此，项目办组织有关方面的专家，在 2003 年报告的基础上编制 2005 年度中国光伏产业发展研究报告，通过资料收集和调研取得相关的信息和资料，对“十五”期间特别是 2004 年和 2005 年的中国光伏产业链和市场发展作一个较为完整的总结和评述，并对未来光伏产业的发展提出预测和政策建议。在报告的撰写过程中，得到了国家发改委和项目办有关领导的大力支持，相关企业及光伏行业的专家对数据调查工作给予了积极的配合，在此表示诚挚的谢意。

# 1. 世界光伏产业和市场发展现状及趋势

## 1.1 世界光伏发电产业发展概述

世界太阳能光伏发电产业和市场在严峻的能源替代形势和人类生态环境(地球变暖)压力下,在持续的技术进步和逐步完善的法规政策的强力推动下呈快速发展。2004 和 2005 年甚至出现了太阳电池及组件不能满足市场需求的局面,预计这种供不应求的情况还将会有所持续。以太阳电池的年生产量为例,最近 10 年的年平均增长率为 37%(由 1995 年的 77.6 MW 增加到 2005 年的 1817.7 MW),最近 5 年的年平均增长率为 45%(由 2000 年的 287.7 MW 增加到 2005 年的 1817.7 MW)。尽管因高纯硅材料短缺影响了太阳电池的产量,但 2004 和 2005 年的年增长率仍然分别达到 61.2%和 51.5%。一个产业如此快速发展在世界上是极为罕见的。图 1 为世界太阳电池产量的变化,图 2 为 2005 年世界各国和地区太阳电池产量。表 1 为过去 10 年世界太阳电池的年发货量和累计用量,表 2 为 2004、2005 年世界太阳电池前十大厂商。由此可以看出世界太阳能光伏产业的快速及增速的发展趋势。

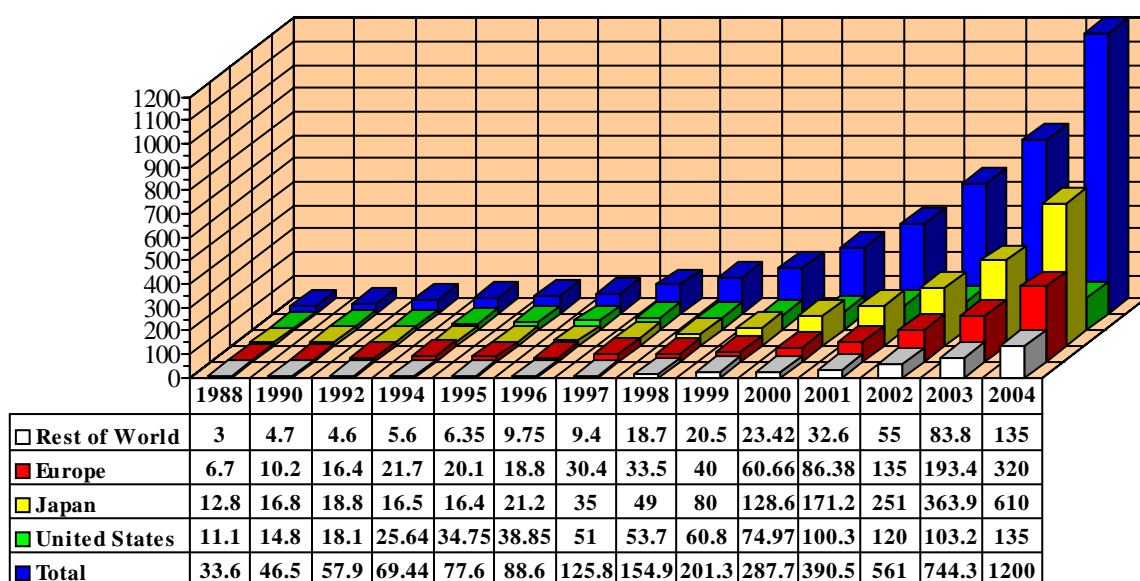


图 1 世界太阳电池发货量 (PVNET2004)

表 1 过去 10 年世界太阳电池的年发货量和累计用量 (GWp)

年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
年发货量	0.078	0.089	0.126	0.155	0.201	0.287	0.391	0.561	0.744	1.2	1.818
年增长率 (%)	11.8	14.2	42	23.1	30	42.9	35.7	44	32.5	61.2	51.5
累计用量	0.577	0.665	0.791	0.946	1.147	1.435	1.825	2.387	3.131	4.331	6.149

数据来源—PV News Paul Maycock, (Photon International 3/2006)

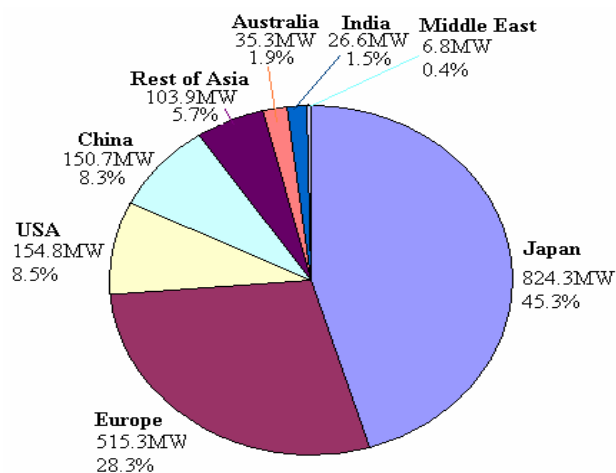


图 2 2005 年世界各国和地区太阳能电池产量 (Photon International 3/2006)

表 2 2004 年和 2005 年是世界太阳能电池生产厂商的前十位

公司	2004 年产量 (MW)	所占比例 (%)	2004 年排名	2005 年产量 (MW)	所占比例 (%)	2005 年排名
Sharp	324.0	25.8	1	427.5	23.5	1
Q-Cell	75.9	6.0	4	165.7	9.1	2
Kyocera	105.0	8.4	2	142.0	7.8	3
Sanyo	68.0	5.4	7	125.0	6.9	4
Mitsubishi Electric	75.0	6.0	4	100.0	5.5	5
Schott Solar	63.0	5.0	8	95.0	5.2	6
BP Solar	84.9	6.8	3	85.8	4.7	7
Suntech	35.0	2.8	10	82.0	4.5	8
Motech	35.0	2.8	10	60.0	3.2	9
Shell Solar	72.0	5.7	6	59.0	3.2	10

由于 2004、2005 年光伏产业和市场是供不应求的关系，由此可以较准确地判断光伏市场的发展情况。截止 2005 年底，世界光伏发电的总装机容量超过 6 GW (表 1)。2004 年世界主要国家和地区的光伏市场 (光伏系统的年安装量) 份额如图 3 所示。德国在 2004 年光伏市场份额为 39%，第一次超过日本成为世界最大的光伏市场。整个欧洲、日本、美国和世界其他部分市场份额分别为 47%、30%、9%和 14%。

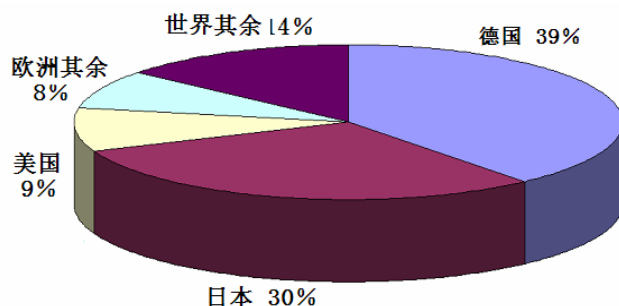


图 3 2004 年世界主要国家和地区的光伏市场份额

2005 年德国光伏的安装量猛增到 870 MW，占世界市场的 47.86%，为世界瞩目。之所以如此，是德国于 2004 年实施了《新（修改）可再生能源法》，即新的上网电价法（Feed-in tariff law）。2000 年开始德国实施上网电价法规，规定光伏上网电价为 0.99 马克 / kWh，从 2005 年起，每年递减 5%，持续 20 年。2004 年修改了上网电价法，不但使上网电价更加合理、更加符合各种不同电站实际成本和投资者的利益，也更加容易操作（见表 3）。最重要的是，它更加科学。它通过法规把市场经济规律引入到可再生能源的发展中，又通过全网平摊法解决了上网电价法实施中的资金问题，让市场经济规律和市场行为发挥作用，避免了政府行为的种种弊端，从而使德国的可再生能源发展快速、健康，为世界瞩目。德国的榜样引起世界各国赞誉和效法，现在全世界已经有 35 个国家和 7 个地区（欧洲、亚洲、澳洲和美国的部 分州）都已先后实施了上网电价法（包括全网平摊法），其中欧洲 的响应最为积极。

表 3 德国 2004 年 1 月实施的新能源法的光伏上网电价

系统类型	不同规模光伏系统上网电价（欧元/kWh）		
	<30kWp	30~100kWp	>100kWp
建筑屋顶	0.574	0.546	0.540
建筑幕帘	0.624	0.596	0.590
地面系统		0.457	

新《上网电价法》使德国和欧洲巨大的光伏市场由潜在变为现实，拉动了欧洲乃至世界光伏产业的快速发展，不但成为日本光伏产品的主要出口市场，而且拉动了中国光伏产业的快速发展。表 4 为 2004 年世界主要国家和地区太阳电池生产份额和市场份额。

表 4 世界主要国家和地区 2004 年太阳电池生产份额和光伏市场份额

国家和地区	太阳电池生产份额 (%)	光伏市场份额 (%)
日本	50.8	30



欧洲	26.7	47
美国	11.25	9
中国（含台湾）	5.25	0.65
世界其余	6	13.35
总计	100	100

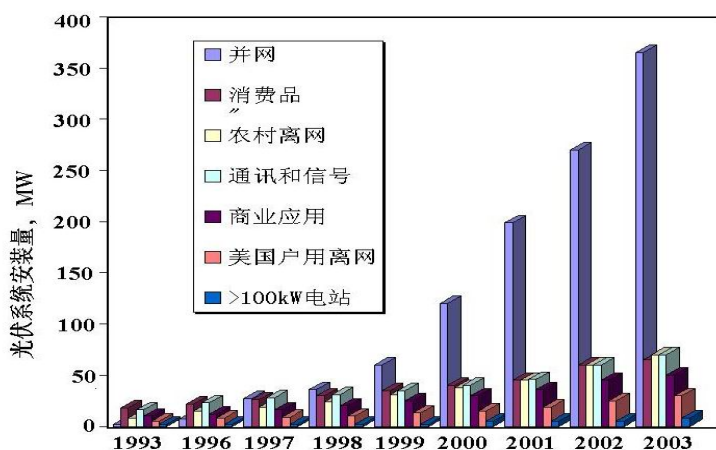
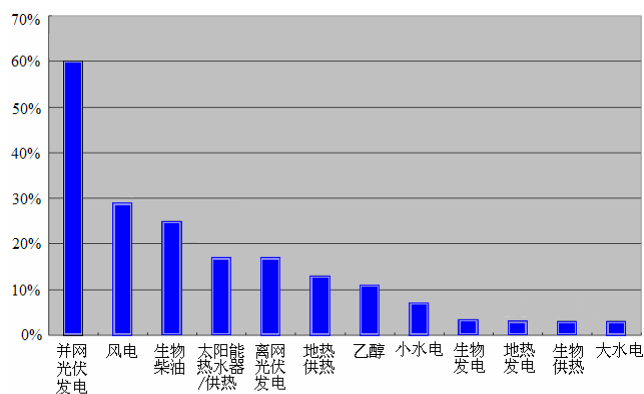


图4 世界各种光伏应用市场的发展和份额

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、农村离网系统、消费品、大型独立电站等），如图4所示。表5表示的是并网光伏发电市场份额逐年增长的情况。太阳能光伏发电已成为世界发展最快的可再生能源发电技术，如图5所示。

表5 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	~75



世界可再生能源应用总量平均年增长率，2000-2004  
(Dr.Eric Martinot, "Renewables 2005 Global Status Report", Beijing International Renewable Energy Conference(BIREC) 2005)

图5 世界可再生能源应用总量平均年增长率

## 1.2 世界光伏发电的发展趋势、预测及路线图

### 1.2.1 世界需求形势及可再生能源替代速度

21 世纪前半期是人类能源结构发生根本性变革的时期，在这个变革过程中可再生能源将逐渐替代常规化石燃料能源。世界上许多国家和机构根据常规化石燃料消耗和枯竭速度以及社会总能耗需求的增加，得出了可再生能源替代常规化石燃料的基本一致的预测结果，如表 6 所示。

表 6 可持续发展所要求的可再生能源发展速度

时间	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2100
替代比 (%)	~5	~10	~20	~30	~40	>50	>80

从长远来看，尽管可再生能源是人类未来最重要的能源，但如果没有法规 and 政策的强力推动，大多数可再生能源的自然发展 (business as usual) 是远远达不到上述要求的替代速度的。这表明世界能源的替代和可持续发展的形势是十分严峻甚至是残酷的。

另一个残酷的事实是，如果不采取任何措施，按照目前全球使用常规化石燃料的趋势，本世纪中期地球的能源形势和生态环境可能会遭受到危及人类生存的灾难。世界石油的形势及价格飞涨就是一个主要的信号，如图 6 所示。

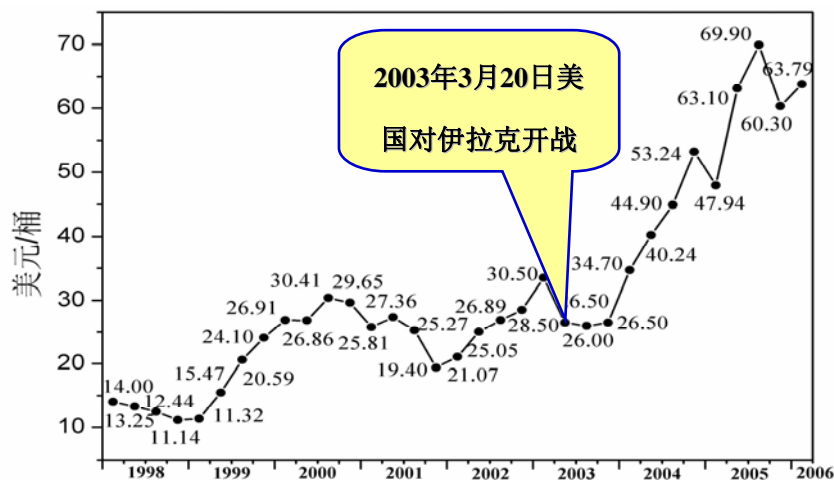


图6 纽约市场国际原油价格 (1998—2006)

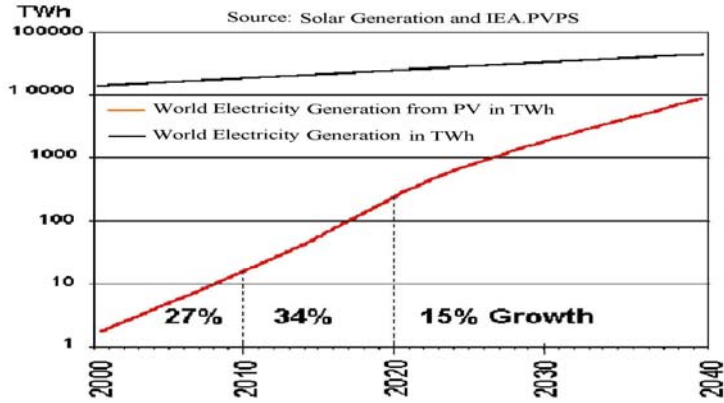
能源和生态环境的双重危机迫使各国大力推动可再生能源的快速发展，以达到上述要求的替代速度。这些国家不仅加大对可再生能源技术发展的支持强度，同时还通过法规和政策强力推动可再生能源的发展。在法规和政策的大力推动下，可再生能源得到了快速发展，其中光伏发电和风力发电发展最快，也是各国竞相发展的重点。

### 1.2.2 光伏发电的发展前景和预测

太阳能光伏发电具有最广阔的发展前景，是各国最着力发展的可再生能源技术之一。世界许多权威组织的预测、发达国家和地区的发展路线图以及计划的实施情况给予了最有力的说明。

#### (1) 世界能源组织（IEA）对未来光伏发电的预测

世界能源组织（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 1%，2040 年占总发电量的 20%，如图 7 所示。



— 太阳能光伏发电量 (TWh)，— 世界总发电量 (TWh)

图 7 太阳能光伏发电的预测

#### (2) 欧洲联合研究中心（JRC）及欧洲光伏工业协会（EPIA）对未来可再生能源和太阳能发电的预测

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 7 和图 8 所示。

表 7 欧洲联合研究中心对未来能源发展预测

	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

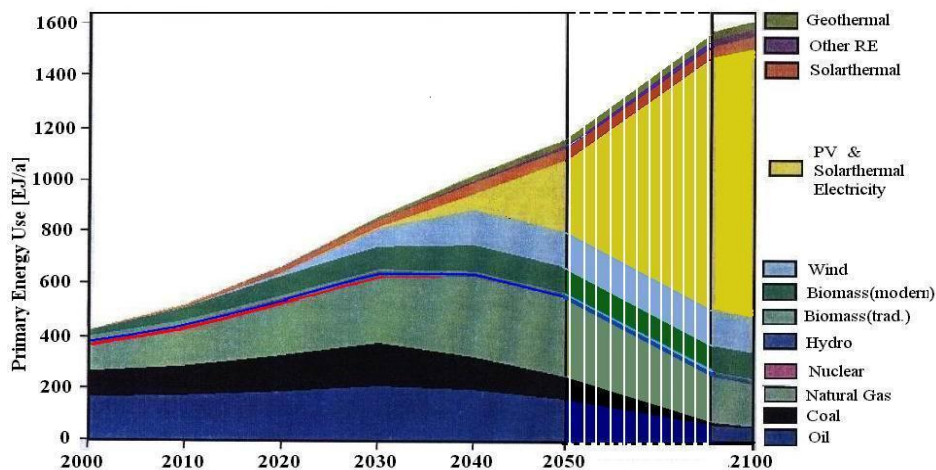


图 8 欧洲联合研究中心对未来能源发展预测

(“European Roadmap for PV R&D”, European Commission Joint Research Center, 2004 EUR 21087 EN)

欧洲光伏工业协会的预测为：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%，太阳能电池光伏组件成本 1 美元/ Wp；2040 年光伏发电量 7368TWh，占全球发电量的 21% (Renewable Energy World, 2003)。

### (3) 世界光伏发电发展路线图及预测

表 8 是美、欧、日的光伏发电路线图（累计光伏系统安装量）。2020 年世界的光伏发电累计装机容量预计将达 200 GW。其中美日欧安装总量超过 50%。美国计划急起直追，夺回 1999 年开始失去的世界光伏产业和市场的主导地位。表 9 为光伏发电成本的预测。

表 8 美欧日太阳能光伏发电路线图及世界光伏发电预测（累计光伏系统安装量，GWp）

年度	2000	2010	2020	2030
美国	0.15	2.1	36	200
欧洲	0.15	3.0	41	200
日本	0.25	4.8	30	205
世界总计 (AIP)	1.0	14.0	200	1580

数据来源: Japanese, US, EPIA and EREC 2040 scenarios ( EREC - European Renewable Energy Council, EPIA - European Photovoltaic Industry Agency, AIP - Advanced International Policy Scenario)

表 9 光伏发电成本预测

年	2004	2010	2020
日本 (Yen/KWh)	30	23	14
欧洲 (Euro/KWh)	0.25	0.18	0.10
美国 (¢/KWh)	18.2	13.4	10.0

我国目前对 2020 年太阳能发电规划目标为 2GWp，其中光伏发电 1.8GWp，热发电 0.2GWp。

#### (4) 欧洲、日本光伏发电路线图执行情况

图 9 给出了欧洲光伏路线图（白皮书）和执行情况。白皮书规定 2010 年目标为累计装机容量 3.0GWp（下面粉红色虚线），计划的执行超过了白皮书的目标（上面红色点状线）。按照执行情况外推，2010 年将大于 10GWp。

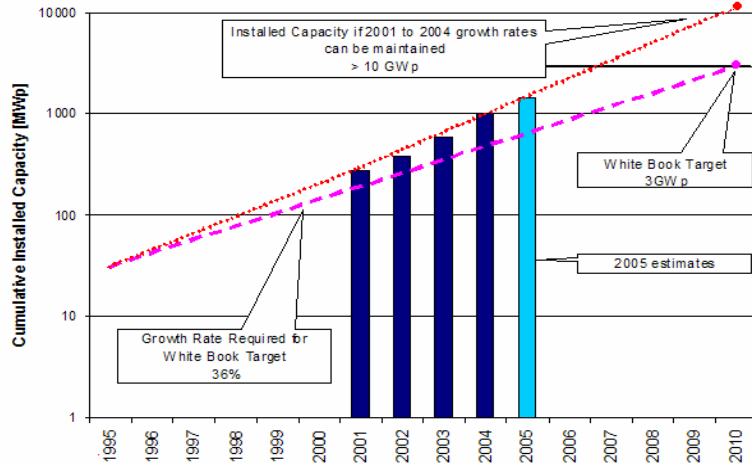


图 9 欧洲光伏计划（白皮书）执行情况

图 10 是日本阳光计划的目标（下面红色虚线）和执行情况（上面深色实线）。阳光计划 2010 年目标为 4.8GWp，执行情况超过计划速度，按执行情况外推，2010 年将大于 7GWp。以上说明，发达国家不但制定了科学和宏伟的发展计划，而且通过法规和政策保证了计划的实施，实际执行情况超过计划。

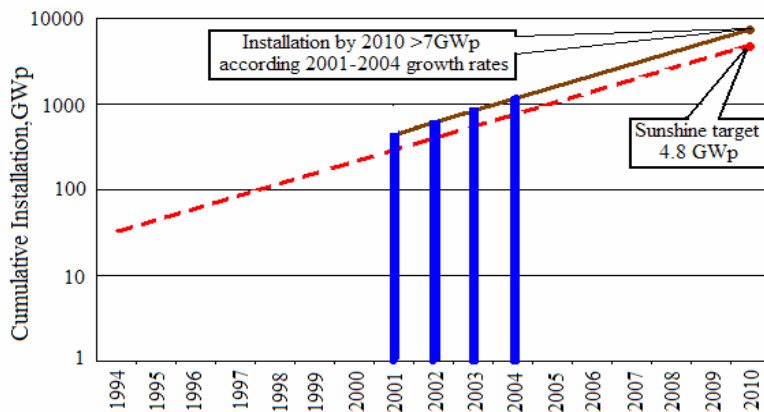


图 10 日本阳光计划的目标和执行情况

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。

### 1.3 世界光伏技术发展现状及趋势

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显著成就，表现在电池效率不断提高、硅片厚度持续降低、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。

#### 1.3.1 电池效率不断提高

##### (1) 实验室电池

单晶硅电池的实验室效率已经从 50 年代的 6% 提高到目前的 24.7%，如图 11 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%，如图 12 所示。其它新型电池，如多晶硅薄膜电池、燃料敏化电池、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。

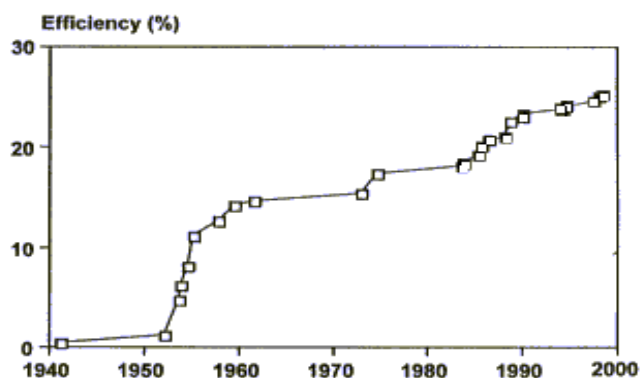


图 11 单晶硅电池效率记录发展

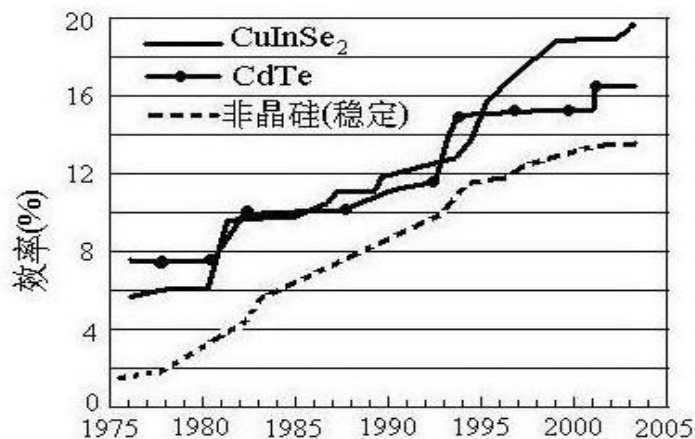


图 12 典型薄膜电池的效率记录发展

## (2) 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。目前商业化晶硅电池的效率达到 14%—20%（单晶硅电池 16%—20%，多晶硅 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，共同促使着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。

### 1.3.2 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 70 年的 450~500 $\mu\text{m}$  降低到目前的 180~280 $\mu\text{m}$ ，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，是技术进步促进成本降低的重要范例之一。硅片厚度的降低如表 10 所示。

表 10 太阳电池硅片厚度的降低

年份	厚度, $\mu\text{m}$	硅材料用量, 吨 / 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	180~240	12~13
2010	150~180	10~11
2020	80~100	8~10

### 1.3.3 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电池生产成本降低的重要方面。太阳电池单厂生产规模已经从上世纪 80 年代的 1—5 MW/年发展到 90 年代的 5—30 MWp/年和本世纪的 50—500 MWp/年。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。对于太阳电池来说，30 年统计的结果，LR=20%（含技术进步在内），是所有可再生能源发电技术中最大的，是现代集约化经济的最佳体现者之一。

### 1.3.4 太阳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 13 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，2004 年以后因材料紧缺价格有所回升。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。

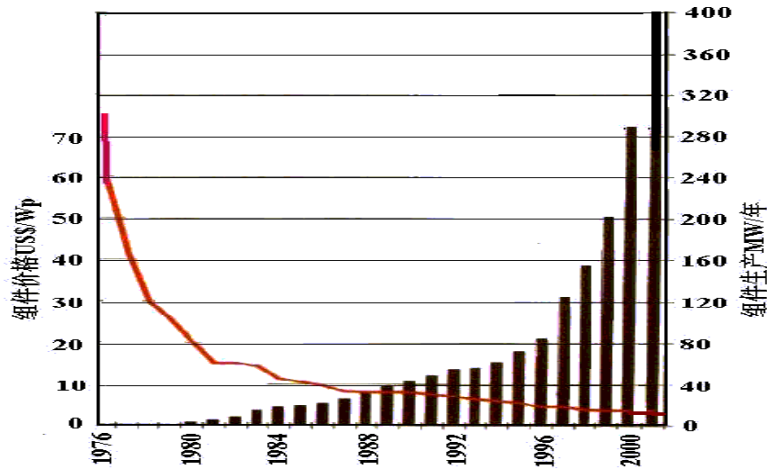


图 13 太阳电池组件成本持续降低

### 1.3.5 晶硅电池技术持续进步，薄膜电池技术快速发展

图 14 是 2004 年各种电池技术的市场份额，其中多晶硅 56%，单晶硅 29%，HIT 电池（非晶硅（p-型）/单晶硅（n-型）异质结电池）5%，带硅电池 3%，其它为薄膜电池，共计约 7%。多晶硅电池自 1998 年开始超过单晶硅后一直持续增长，各种薄膜电池的绝对生产量近年来也在稳定增加，反映出技术进步的推动力量。

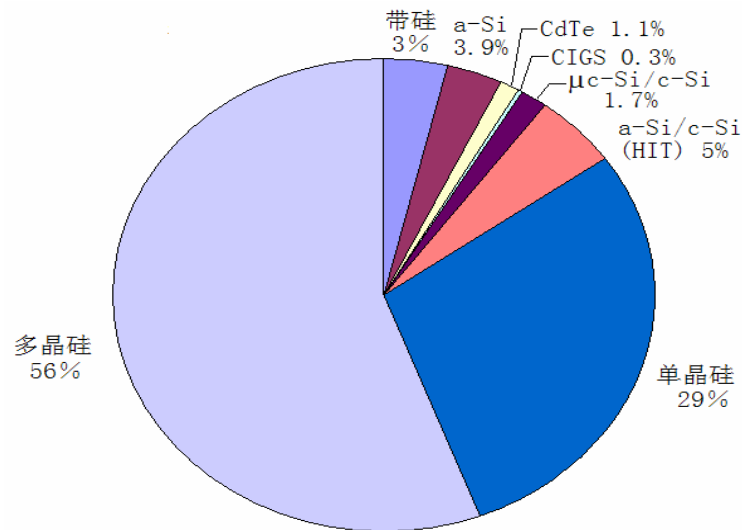


图 14 2004 年各种电池技术的市场份额

### 1.3.6 光伏工业的专用设备制造业及检测设备的技术提升

30 年来光伏产业专用设备制造业的技术提升是光伏工业发展的重要标志之一，它对光伏工业发展和光伏发电成本降低起到举足轻重的作用。例如：

- ◆ 多晶硅铸造炉的发明及改进使多晶硅铸造形成规模化生产，由于材料成本优势，多晶硅电池产量持续增加，1998 年超过单晶硅，成为光伏市场



的主导产品；

- ◆ 线锯的发明使硅片生产效率大幅度提高、切片损失和硅片厚度大幅度降低，对晶硅电池成本降低发挥了重要作用；
- ◆ 用于多晶硅电池钝化和减反射涂层的 PECVD 氮化硅设备对提高商业化多晶硅效率发挥了重要作用，目前已经推广到单晶硅电池的应用上；
- ◆ 全自动化丝印机及分选机对提高商业化电池性能、生产效率、扩大生产规模发挥了重要作用；

## 2.中国的能源形势和可再生能源国家发展规划

### 2.1 中国的能源形势

无论从世界还是从中国来看，常规化石燃料能源都是很有限的。图 15 给出了 1999 年中国主要常规一次能源储量和世界平均储量（储采比）的对比情况。可以看出，中国的一次能源的储量远低于世界的平均水平，这说明中国的能源形势比世界能源形势要严峻得多。这也清楚地表明，中国能源的可持续发展形势，特别是可再生能源的替代形势比其它国家要更严峻、更紧迫。

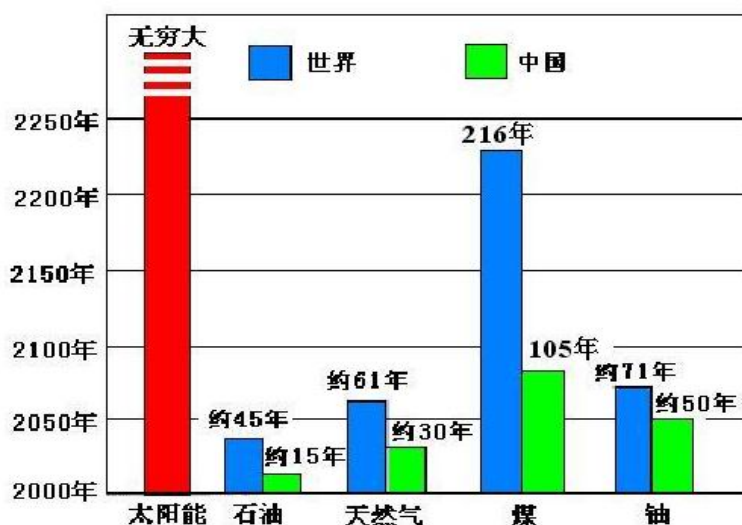


图 15 中国主要常规能源储量和世界的对比

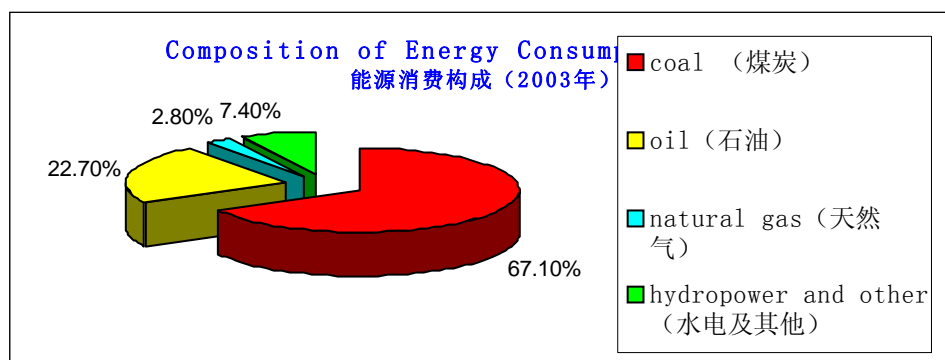


图 16 2003 年中国一次能源消费比例

中国是一个能源生产和消费大国。2004年能源消费总量为20亿吨标煤，比2003年增长25%。2003年各种一次能源的构成比例为：煤炭占67.1%、石油占22.7%、天然气占2.8%、水电等占7.3%。2004年，中国的原油进口达到1亿吨，大约是中国原油总需求的40%。图16是我国2003年一次能源消费构成。

## 2.2 中国的电力建设（2004，2010，2020）

中国由于经济发展迅猛，自2001年以后，电力需求以每年超过20%的速度增长，2003，2004和2005年，全国连续出现电力供应严重不足的现象，电力供应的紧张情况在今后2—3年内仍不会缓解。2004年全国电力装机44280万千瓦，煤电装机32490万千瓦，占73.4%；全国2004年发电量为21870亿千瓦时，煤电为18073亿千瓦时，占82.6%。表11给出了2004年我国电力装机和发电情况：

表11 2004年中国电力装机和发电情况

类型	装机容量 (GW)		发电量 (TWh)	
	容量	比例	发电量	比例
	(GW)	(%)	(TWh)	(%)
煤电	324.9	73.4	1807.3	82.5
水电	108.3	24.4	328	15.0
核电	6.84	1.5	50.1	2.3
其它	2.80	0.6	6.3	0.3
合计	442.8	100	2191.7	100

按照目前的经济发展趋势和中国的资源情况，2010年和2020年的电力供应存在一定的缺口，需要由可再生能源发电来填补。表12给出了中国电力科学院对2010，2020和2050年中国电力装机和发电量的预测，表13给出了2010和2020年中国电力装机的缺口：

表12 2010、2020和2050年中国电力装机和发电量预测

年	装机容量 (GW)	发电量 (TWh)
2004	442	2191.7
2010	685	3140
2020	1112	5090
2050	2000	9270

表 13 2010 和 2020 年中国发电装机预测 (GW)

年	煤	水	核	其它	缺口	合计
2010	500	100	16.4	15.7	52.9	685
	73%	14.6%	2.4%	2.3%	7.7%	100%
2020	750	170	53	48	91	1112
	67.4%	15.3%	4.8%	4.3%	8.2%	100%

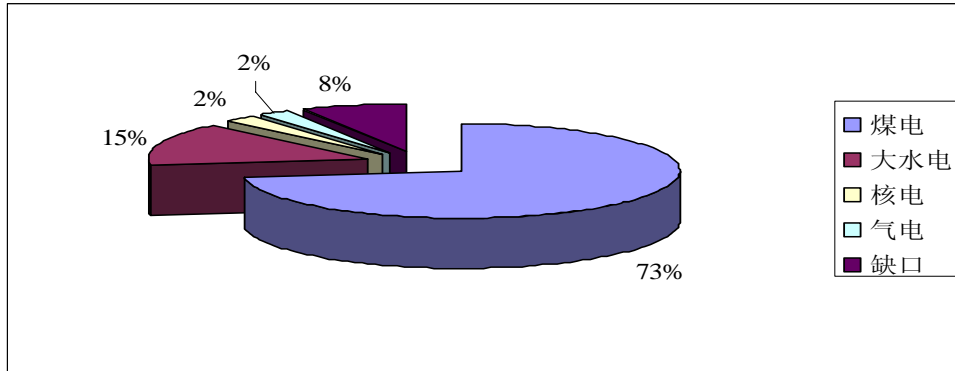


图 17 2010 年中国电力装机预测

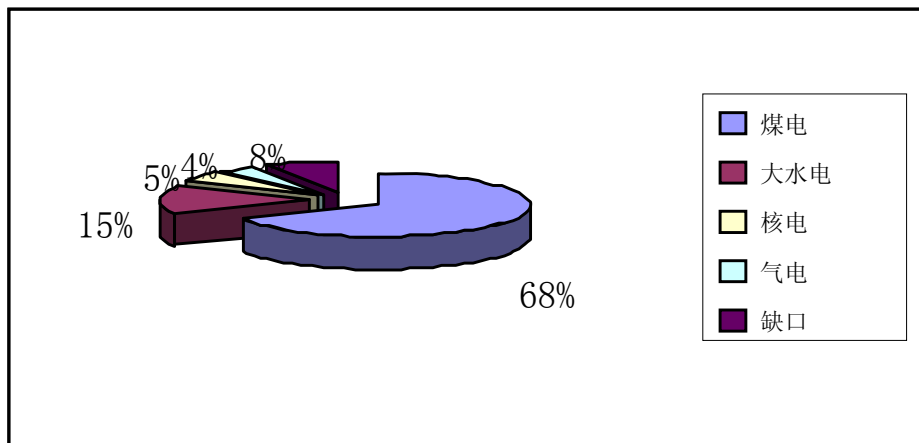


图 18 2020 年中国电力装机预测

表 14 2050 年中国电力装机预测

发电类型	电力装机 (GW)	比例 (%)
煤电	1000	50%
核电	240	12%
气电	100	5%
大水电	160	8%
可再生能源 (包括小水电)	500	25%
合计	2000	100%

### 2.3 国家可再生能源发电发展规划（至 2020 年）和预测（至 2050 年）

我国政府重视可再生能源技术的发展。截止到 2004 年底，我国可再生能源（不含传统秸秆燃烧）总量为 1.3 亿吨标煤，占全国能源消耗总量的 6.5%；如果不考虑大水电，只考虑 5 万千瓦以下的小水电，则可再生能源总量为 5600 万吨标煤，占全国能源消耗总量的 3%。

可再生能源是可循环利用的清洁能源，是满足人类社会可持续发展需要的最终能源选择。目前，小水电、风电、太阳热水器和沼气等可再生能源技术已经成熟，生物质供气和发电技术也接近成熟，具有广阔的发展前景。预计今后 20-30 年内，可再生能源将在我国能源结构中占据 20% 以上的份额，对经济和社会发展做出重大贡献。

可再生能源发电是可再生能源发展的重要组成部分，国家第一次在“十一五”（2006—2010）计划中和长远规划中包含了可再生能源发电的规划目标。这不仅反映国家对可再生能源发电的重视，而且对我国可再生能源发电的发展将起到指导和推动作用。

表 15 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。

从表 15 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将达到 300 MWp，到 2020 年将达到 1.8GW，到 2050 年将达到 600GWp。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%。

### 3.中国光伏产业发展状况

我国太阳能电池产业发展经历了几个阶段：

#### ①孕育期

上世纪 80 年代中期以前，除了空间太阳能电池由专门科研机构研制和生产外，武汉、宁波、昆明、西宁、成都等地的一些民用半导体器件厂利用废次单晶硅片和 p-n 结二极管工艺制作地面用太阳能电池，开始了我国地面光伏产业的孕育期；

#### ②初步形成期

80 年代中期—末期，国家帮助宁波和开封两个厂引进关键太阳能电池生产设备，形成专业化太阳能电池生产厂，随后秦皇岛华美和云南半导体厂分别引进全新和二手全套太阳能电池生产线、哈尔滨—克罗那公司和深圳宇康公司分别引进非晶硅太阳能电池生产线，至此我国太阳能电池产业初步形成，生产能力达到 4.5 MWp；

#### ③稳定发展期

90 年代中期—末期为我国太阳能电池稳步发展期，经过引进、消化、吸收和再创新，太阳能电池生产技术和工艺得到稳定发展和提高，生产量稳步增长，基本满足国内市场的需要并有极少量的出口；

#### ④快速发展期

进入本世纪以后，我国太阳能电池的生产进入快速发展期。保定英利率先突破原有的单晶硅和非晶硅电池生产，筹建 3MWp 多晶硅电池生产线；2001 无锡尚德建立 10MWp 太阳能电池生产线获得成功，2003—2005 年，在欧洲特别是德国市场拉动下，继无锡尚德和保定英利的持续扩产，其他多家企业纷纷建立太阳能电池生产线，使我国太阳能电池的生产迅速增长，截止到 2005 年底，太阳能电池生产能力超过 300MWp，产量达到 145.7MWp。其中晶硅电池 133MWp，非晶硅电池 12.7MWp。围绕着太阳能电池生产，我国逐步形成了一个较完整的光伏产业链，它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集成应用等整个产业链。同时，也带动了相关联的产业，如各环节的专用材料制造、专用设备制造以及光伏系统平衡部件制造等的发展。

### 3.1 多晶硅原材料产业状况

#### 3.1.1 概述

2005 年，全世界多晶硅原材料的总产量约 3 万吨（10 家主要生产商的总产量为 29100 吨）。其中，大约有一半供应给光伏产业，其余供应半导体行业。

由于光伏产业的迅速发展，多晶硅原材料的紧缺状况越来越严重。按照 2005

年全世界 1818 MWp 的太阳电池产量，其中晶硅电池约 1700MWp，以多晶硅消耗量 12 吨/MWp 计算，2005 年太阳电池用多晶硅的总需求量为 2.04 万吨。多晶硅厂商供应了 1.5 万吨，半导体行业废弃的硅而可被光伏产业重新利用的约 0.3 万吨（按 1.5 万吨的 20% 计算），这样就出现了大约 2400 吨的缺口，由历年的库存弥补。由于供求关系紧张，多晶硅原材料的价格持续上涨。2001—2003 年，世界多晶硅原材料的销售价格大致为：电子级平均在 40 美元/公斤的水平，太阳级在 25 美元/公斤的水平。2004 年以后价格不断上涨，2005 年世界市场超过 50 美元/公斤，黑市超过 100 美元/公斤，而且继续保持上涨趋势。

目前，多晶硅原材料的先进生产技术基本上掌握在几家主要生产商手中。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硅原材料的持续紧缺。预计这种紧缺状况将持续到 2008—2010 年。多晶硅原材料的生产已经成为整个光伏产业链的瓶颈，不但限制了太阳电池产量的增长，而且使太阳电池的成本持续保持在 3—4 美元/Wp 的水平，严重制约了光伏产业和市场的发展。

### 3.1.2 我国多晶硅产业发展状况

截止 2005 年底，我国多晶硅的年生产能力为 400 吨（洛阳中硅 300 吨，四川峨嵋 100 吨），实际年生产量为 80 吨。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。

表 16 2004—2006 年我国多晶硅的生产与需求

	2004 年	2005 年	2006 年（预期）
集成电路和器件产业需求（吨）	910	1060	1300
太阳电池产业需求（吨）	585	1596	3080
总需求（吨）	1495	2656	4380
多晶硅产量（吨）	57.5	80	300
多晶硅缺额（吨）	1437.5	2576	4080

注：（太阳电池硅用量 2004、2005、2006 年分别按照 13、12、11 吨/MWp 计算，2006 年晶硅电池产量预计 280 MWp）。

我国多晶硅原材料产业存在的问题包括：

- 1) 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 2—3 倍；
- 2) 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 2000 吨/年，产量低于 1000 吨/年的企业被认为不具有经济合理性。我国

企业的生产规模过小，成本高，缺乏市场竞争力。

由于多晶硅生产技术的特殊垄断性，世界上主要的多晶硅生产商都不愿将多晶硅技术转移到中国。这要求我国必须走自主创新之路，实现多晶硅生产技术的国产化。高纯的多晶硅材料也是信息器件最主要的基础材料，独立自主地生产多晶硅材料对我国信息产业的发展也非常重要。光伏产业对多晶硅原材料的巨大需求为我国多晶硅原料产业的发展提出了挑战，也提供了非常好的机遇。

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（表 17）。此外，云南曲靖、湖北宜昌等地都有建设多晶硅工厂的计划。如果这些项目能够顺利如期建成，到 2010 年将形成近五千吨的年生产能力，可以有效缓解我国多晶硅原材料的紧缺状况。

表 17 我国多晶硅产业已建和在建的项目

	年生产能力（吨）	建成时间（包括预期）
四川峨嵋多晶硅生产示范线	100	1999 年底
四川峨嵋太阳能多晶硅项目	200	2006
洛阳中硅 300 吨项目	300	2005.8
洛阳中硅 700 吨扩产项目	700	2007 年初
洛阳中硅二期扩建工程	2000	2008 年
四川新光硅业	1260	2007.2
总计	4560	2007—2008

### 3.2 晶体硅锭制造产业状况

2005 年，我国单晶硅锭和多晶硅铸锭的总生产能力已超过 4000 吨。其中晶隆集团已有和在建单晶炉超过 300 台，单晶硅锭年生产能力达到 2250 吨，折合太阳能电池超过 200 MWp，已经成为世界最大太阳级单晶硅生产商。保定天威英利有 23 台多晶硅铸造炉，生产能力 70 MWp。江西赛维 LDK 公司正在购买 100 台大尺寸多晶硅浇注炉，估计在 2006 年底形成 120 MWp 的硅片生产能力（折合晶体硅约 1100 吨）。

表 18 2005 年我国太阳级晶体硅的生产能力和生产量（吨）

厂商	材料类别	年生产能力（吨）	生产量（吨）
晶隆	单晶硅	2250	1126
锦州华日	单晶硅	800	400
常州天合	单晶硅	180	60

江苏华日源	单晶硅	220	50
常州亿晶	单晶硅	120	80
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
其它	单晶硅	1000	400
合计	5912 (单晶硅 4920, 多晶硅 992)		2516 (单晶硅 2216, 多晶硅 300)

我国晶体硅材料产业有以下几个特点：

- 1) 发展迅速。近几年的年平均增长率超过 70%；
- 2) 对原材料的依存度高。由于国内无法提供多晶硅原材料，因此企业原料基本依赖进口；，国际市场多晶硅原料的紧缺和涨价影响了国内企业的发展，部分企业开工不足；
- 3) 技术比较成熟，产品质量不逊于国外；
- 4) 单晶硅材料的生产占主导。世界光伏产业中单晶硅与多晶硅的比例大致为 1: 2.0 (2002 年为 1: 2.3、2005 年约 1: 1.8)，而我国则是单晶硅材料生产占主导地位。主要原因是国内单晶硅拉制的技术比较成熟，单晶炉已实现国产化，价格低廉；多晶硅浇铸炉依靠进口，价格昂贵。拉单晶投资少，建设周期短，资金回收快。因此，硅材料生产商在数十万元一台单晶炉和数百万元一台浇铸炉中很自然地倾向于选择前者。
- 5) 多晶硅锭和硅片生产正在扩大，其中江西赛维 LDK 已签约并开始建设的多晶铸锭和切片生产线将具有亚洲多晶硅锭/片最大的生产能力。

### 3.3 太阳能电池制造业状况

我国 2004 年太阳能电池的年产量达到 50 MW<sub>p</sub>，是前一年的 4 倍；2005 年产量已接近 150 MW<sub>p</sub>，如果不是受到原材料短缺的制约，发展速度还将更快。

表 19 2005 年我国太阳能电池的产量及 2006 年底我国预期形成的生产能力

公司名称	2005 年实际生产量 (MW <sub>p</sub> )	2006 年底预期生产能力 (MW <sub>p</sub> /年)
无锡尚德太阳能电力有限公司	82	300
宁波太阳能电源有限公司	20	100
浙江向日葵光能科技有限公司	0	100
浙江环球太阳能科技发展有限公司	0	80



中电电气（南京）光伏有限公司	5	200
常州天合光能有限公司	0	50
天威英利新能源有限公司	3	60
云南天达光伏科技有限公司	3	50
厦门润方太阳能科技有限公司	0	50
江苏林洋新能源有限公司	1	100
晶澳太阳能有限公司	0	75
深圳市拓日电子科技有限公司	9.6 (晶硅 3, 非晶硅 6.6)	68 (晶硅 38, 非晶硅 30)
深圳市日月环	2 (非晶硅)	2 (非晶硅)
柏玛微电子（常州）有限公司	0	50
深圳珈伟实业	0	40
无锡尚品太阳能电力科技有限公司	0	30
上海太阳能科技有限公司	0	50
江苏天保光伏能源有限公司	0	25
上海交大泰阳绿色能源有限公司	7	25
中轻太阳电池有限责任公司	0	25
苏州阿特斯	0	25
江阴浚鑫科技有限公司	0	25
杉杉尤利卡太阳能科技发展有限公司	0	20
北京世华创新科技有限公司	0	20
浙江公元太阳能科技有限公司	0	20
江苏中盛光电有限公司	0	15
天津津能电池科技有限公司	2.1 (非晶硅)	7.5 (非晶硅)
深圳创益科技发展有限公司	2 (非晶硅)	5 (非晶硅)
北京桑普阳光	0	5
广东铨欣照明有限公司（草坪灯用电池）	9	20
云南卓业能源科技有限公司	0	10
海南天聚太阳能	0	10
上海超日太阳能科技公司	0	10
北京中联	0	1
合计	145.7 (晶硅 133, 非晶硅 12.7)	1673.5 (晶硅 1629, 非晶硅 44.5)

我国太阳能电池的生产有以下几个特点：

- 1) 发展迅速，呈爆发式增长。2005 年新建生产能力超过以往历年的总和；
- 2) 市场需求旺盛，一些大厂的订货已经排到 2006 甚至 2007 年；
- 3) 原材料紧缺影响了电池生产能力的发挥；同时一部分劣质原料因缺乏监控进入市场；
- 4) 在引进、消化和吸收基础上，太阳能电池生产技术已接近国际先进水平；
- 5) 总体上企业技术力量依然不足，人才缺乏，缺少技术更新和创新能力。

值得注意的是，2005—2006 年大批太阳能电池项目正在建设或准备上马。如果这些项目能够按期建成，加上原有生产能力，到 2006 年底将形成超过 1600 MW<sub>p</sub> 以上的生产能力，相当于 2005 年我国实际生产量的 10 倍，接近 2005 年全世界生产量 90%。世界光伏市场的供不应求形势是否能持续保持？多晶硅原材料短缺何时缓解？如何应付未来供过于求的问题？这些问题应予以认真考虑。

### 3.4 组件封装产业状况

在整个太阳能电池产业链中，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，我国太阳能电池封装行业的发展最为迅速。

表 20 2005 年我国太阳能电池组件的封装能力

企业名称	认证	年产能力 (MW <sub>p</sub> )	2005 年实际产量 (MW <sub>p</sub> )
无锡尚德太阳能电力有限公司	TÜV	120	78
上海太阳能科技有限公司	TÜV	100	45
保定天威英利新能源有限公司	TÜV	50	13
BP 佳阳太阳能公司	TÜV	50	8
宁波太阳能电源有限公司	TÜV, CE, UL	50	15
江苏林洋新能源有限公司	TÜV	50	6
常州天合光能有限公司	TÜV	50	10
深圳市拓日电子科技有限公司		10	4
云南天达光伏科技股份有限公司		10	6
上海交大泰阳绿色能源有限公司		10	5
京瓷天津太阳能有限公司	TÜV	10	8
武汉日新科技有限公司		10	8
深圳先行电子有限公司		10	8
北京哈博工贸有限责任公司		5	3

深圳市能联电子有限公司		10	3
深圳创益科技发展有限公司		2	2
天津津能电池科技有限公司		10	2
其它		300	60
合计		857	284

注：国际认证可能有遗漏。

上表中仅统计了封装能力较大的厂家，还有很多厂家未予统计。粗略估算，2005年我国太阳能电池组件的封装能力已接近1000MW<sub>p</sub>。

在上述厂家中，绝大多数采用人工封装。仅少数企业，如西安BP佳阳拥有全自动的组件封装线。由于劳动力成本低廉，我国的太阳能电池封装行业具有较强的竞争力。

### 3.5 光伏应用产品的发展状况

目前的光伏应用产品主要包括太阳能路灯，太阳能交通信号灯、太阳能庭院灯、草坪灯、信号灯、太阳能计算器和太阳能玩具等。由于国外市场需求，又是劳动密集型产业，所以在我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。我国已成为世界上最大的光伏消费品和应用产品生产国，其太阳能电池的年用量达到20MW<sub>p</sub>。而且大量出口。

### 3.6 太阳能光伏发电系统技术及应用发展状况

光伏发电的应用是通过光伏发电系统而实现的。从发电角度分，光伏系统主要分为独立光伏系统、并网光伏系统；从光伏系统安装环境分为光伏建筑集成系统、地面光伏电站（包括荒漠、盐碱地、滩头等地面电站）以及能源综合应用系统等。随着光伏产业和市场发展，我国光伏系统工作者根据我国光伏应用的实际需要先后开发出不同规模、适合不同地区和应用对象各类光伏应用系统，满足了我国光伏应用的发展和需要，对我国光伏应用发展发挥了积极作用。在系统设计上引进、消化和吸收了国际先进的设计软件和方法，并根据我国的实际应用，开发出适合我国具体情况的光伏系统优化设计方法。在系统配置方面，为了使光伏系统满足使用要求，在最优配置基础上，结合电力电子相关先进技术和光伏发电具体特点，使光伏系统同时具有自动控制、监测、数据采集和传输、信息显示等先进技术性能。

系统集成是一项技术性很强的工作，设计和工程施工不当会增加光伏发电系统造价和发电成本。目前我国尚未有专门的设计施工工程企业，光伏系统的安装主要由光伏电池生产企业或系统集成商进行。随着光伏系统规模和复杂性的增

加，对光伏系统设计要求和技术服务要求的日趋严格以及招标制度的完善，“十一、五”期间应形成专业化的光伏发电专业设计施工工程企业，实行市场准入制。

### 3.6.1 独立光伏系统

独立光伏系统也称离网光伏系统，主要包括农村户用电源、乡村电站、通讯电源、阴极保护电源以及各种照明系统等。随着市场需求和发展，我国独立光伏系统技术不断提高，设计、施工和运行技术都将在我国独立光伏系统的推广应用 中发挥重要作用。

#### (1) 户用光伏系统

我国已经推广应用的 50Wp 以下的户用光伏系统达到 100 万台、对解决无电农牧民生活用电发挥了显著作用，具有重要的社会意义。与此同时开发具有智能控制系统的 500Wp~1500Wp 中小功率户用光伏电源系统，以满足人民生活日益提高的需要。

#### (2) 集中独立光伏发电系统

我国已经开发出 5—100KWp 以下的中小型独立光伏系统和 100kWp 以上的大型独立光伏系统，并得到大量推广应用。集中型独立光伏发电系统的设计也日趋优化和智能化，并继续采用先进技术以提高系统效率、自动化控制能力、可靠性、操作简便化等性能，以便适合边远地区应用。这些系统已经在我国《送电到乡》工程以及各种独立系统应用中发挥重大作用。

这类系统今后的开发方向是继续提高效率、降低成本和提高系统可靠性。同时要出台政策，规范市场，加强认证，消除无序竞争，保证市场健康发展。

### 3.6.2 并网光伏系统

并网光伏发电系统包括建筑光伏系统（BIPV）和地面光伏系统（包括盐碱地、荒滩地、大型荒漠光伏电站等）。

目前我国关于并网光伏发电系统的研究还处于研究示范阶段，已建成的示范性并网光伏电站均为低压用户端并网模式，发电容量相对较小，不参与电网调度，基本不影响电网的正常运行。而大型和超大型并网光伏电站系统不仅建设规模可以达到MWp甚至GWp级别，发出的电能直接并入高压输电网络，未来可参与电力的输送和调配，而且是世界各国未来可再生能源发电的重要发展方向。根据世界技术发展趋势和我国实际情况，针对MW级并网光伏电站关键技术重点考虑如下发展方向：

- 1) MWp 级和输电网并网的集中式光伏电站系统关键技术研究；
- 2) MWp级和配电网并联的光伏电站系统关键技术研究；

3) MWp级并网光伏电站运行特性及技术经济分析;

#### (1) 光伏建筑集成 (BIPV) 技术

我国光伏建筑集成 (BIPV) 系统目前还没有与《能源法》一致的技术标准。一些公司的示范工程得不到法规和政策支持, 因此技术发展受到限制。2008 奥运会与 2010 世博会为 BIPV 技术提供一定的机遇, 但十分有限。

#### (2) 地面并网光伏系统 (盐碱地、荒滩地、大型荒漠光伏电站等)

我国有大片的盐碱地、荒滩地、戈壁、沙漠、沙漠化及潜在沙漠化土地, 总计约 85 万平方公里。1 平方公里土地可以安装 100MWp 太阳电池, 未来十五年假定 10GWp 安装在沙漠, 也只需要 100 平方公里, 仅占全国沙漠和荒漠面积的 0.012%。所以地面并网光伏电站在我国具有广阔的发展前景。

2004 年科技部利用与韩国产业资源部等单位合作的机遇, 在发改委和西藏自治区政府的支持下, 在西藏羊八井地区建设了一座 100kWp 高压并网的光伏发电站并投入运行。是我国这一领域应用的第一个示范案例。

### 3.7 光伏系统平衡部件 (BOS) 制造业的发展状况

光伏系统平衡部件 (BOS) 包括光伏系统中除光伏阵列以外的部分, 主要包括控制器、逆变器、最大功率跟踪器、工程数据采集、显示和远传、监控、蓄电池、配电系统, 支架和电缆等。平衡部件性能的改进对于提高系统的效率、可靠性, 提高系统的寿命、降低成本至关重要。加速百千瓦级控制器、逆变器的国产化进程, 研制高效、低成本的最大功率跟踪器和聚光系统, 并在大规模并网光伏示范项目中应用, 是平衡部件制造业的任务之一。

光伏发电系统专用测量仪器仪表, 包括光强计, 太阳电池方阵测试仪, 蓄电池 SOC 测试仪, 光伏电站微机监控系统, 光伏发电系统用数据采集器等是光伏系统安装和运行的重要设备, 其研发和制造同样得到了与时俱进的发展。满足了我国光伏系统和市场的基本需求。

本节重点涉及蓄电池和控制/逆变器技术和产业发展概况

#### 3.7.1 蓄电池

蓄电池是光伏发电中的关键部件, 蓄电池的失效和短寿命也是阻碍光伏发电独立系统扩大应用的主要原因之一。与一般蓄电池相比, 光伏用蓄电池有其特殊要求 (如要求深放电循环寿命长、耐过充电和过放电能力强等)。国内尚无光伏系统专用蓄电池, 大多采用要求相近的工业蓄电池。随着光伏市场的扩大, 适应光伏系统需要的蓄电池或新型蓄电池 (如锂离子电池) 将会出现。目前我国用于光伏发电系统的蓄电池多数是铅酸蓄电池, 也有少量用于高寒户外的系统采用镉镍电池。铅酸蓄电池也分很多种, 目前用于光伏系统的主要有如下 3 种: :

- (1) 固定式铅酸蓄电池（2V 系列），主要应用于有补充蒸馏水条件的通信系统和大型光伏电站系统（>200Ah），也用于大型风光互补电站；
- (2) 工业型阀控免维护密封铅酸蓄电池（2V 系列），主要应用于通信领域，也用于 200 瓦以上的光伏发电系统或电站；
- (3) 小型阀控密封铅酸蓄电池（6V, 12V 系列），主要应用于小于 200Wp 的太阳能户用电源系统；

### 蓄电池产业现状：

固定式铅酸蓄电池的生产工艺复杂，因此企业不多，只有四川重庆、湖北武汉、山东淄博和辽宁沈阳等几个厂生产。其它几种蓄电池的生产厂家国内有数百家，但质量参差不齐，较高质量蓄电池的厂家不超过 100 家。

表 21 我国太阳能用蓄电池主要制造商

厂商	主要产品
番禺恒达	蓄电池
江苏隆源双登	蓄电池
武汉银泰科技	蓄电池
兰州同心	蓄电池
武汉首达	蓄电池
深圳华达	蓄电池
重庆万里	蓄电池
兰州汇众	蓄电池
曲阜圣阳	蓄电池

### 主要存在的问题：

- ◆ 没有光伏专用深循环、长寿命、免维护蓄电池；
- ◆ 密封电池失水失效；
- ◆ 密封电池由于过充电而胀气、开裂；
- ◆ 固定铅酸电池的补水问题；
- ◆ 蓄电池的容量配置不合理；
- ◆ 蓄电池寿命短，用户无法承担更换蓄电池的费用。

在独立光伏发电系统和可调度式并网光伏发电系统都要使用储能蓄电池。蓄电池是独立光伏发电系统中的关键部件，也是最容易出问题的部件。出现故障的原因有多种，除了容量设计不当，种类选用不当，使用不当及其它设备故障造成

等原因之外，蓄电池本身的质量问题是重要原因。尽快建立起光伏系统专用储能蓄电池产业，完善标准，加强质量监控，树立专用品牌“十一、五”期的重要任务之一。

### 3.7.2 太阳能电源控制器、逆变器

#### 1) 控制器

控制器是光伏发电系统的最重要的部件之一。主要功能是防止蓄电池过充和过放、防反充电等。其专用性很强。随着我国光伏产业和市场不断发展，控制器技术也不断提高。我国自行研制和生产的控制器基本上满足了我国光伏发电系统推广应用的需要，且成本不断下降，这在我国光伏系统应用中发挥重要作用。

国内与国际的技术水平在小型户用电源控制器上尚有一定差距，这主要不是因为缺少这样的技术，而是户用电源的生产商迫于市场竞争的压力，不肯选用高档控制器。在通信电源和  $\text{KWp}$  以上光伏发电系统上用的控制器，其技术水平和技术指标与国外没有太大的差距。技术性能的比较如下：

表 22 国内外控制器技术的对比

技术指标	国际水平	国内水平
小型控制器 ( $1\text{KWp}$ 以下)	PWM、温度补偿、SOC 显示，智能化产品	多数是普通 2 点式简单控制器，高档智能控制器也已经能够生产
大型普通控制器 ( $1-100\text{KWp}$ )	多路控制，电子开关	多路控制，电子开关
大型智能控制器 ( $1-100\text{KWp}$ )	多路控制，温度补偿，3 阶段充电，数据采集，远程通信	多路控制，温度补偿，3 阶段充电，数据采集，远程通信
售价	3—4 元 / W	1—2 元 / W

光伏发电系统用充电控制器应向标准化、专业化、系列化、多样化和规模产业化方向发展，以保障质量降低成本，满足不同用户的需求。控制器产业发展与太阳电池产业发展同步。

#### 主要存在的问题：

- ◆ 小型控制器多数为 2 点式，效率低，功能差；
- ◆ 除水泵控制器外，一般很少有最大功率点跟踪（MPPT）功能；
- ◆ 尚没有高质量的风光互补系统用控制器；
- ◆ 元器件质量问题比较多（开关器件、传感器等）。

## 2) 逆变器

逆变器是光伏发电系统中的一个关键部件，主要应用于交流供电的家庭、村落等供电系统，其他有应用于通信基站、部队、铁路通信、信号以及电网无法延伸的野外场所。用于光伏发电系统的逆变器与常规不间断电源用的逆变器有很大不同，光伏发电系统用逆变器对可靠性和逆变效率有很高的要求。光伏电源往往要安装在交通极为不便的地区，并经常在高海拔、严寒等地域使用，一旦逆变器失效将导致断电事故，因此要求高可靠性；光伏发电系统目前的发电成本较高，如果在发电过程中逆变器自身消耗的能量过多，必然导致总发电量的损失和系统经济性下降，因此要求逆变器效率高。

### ①逆变技术的发展趋势

逆变技术的原理早在 1931 年就有人研究过，从 1948 年美国西屋电气公司研制出第一台 3KHz 感应加热逆变器至今已有近 60 年历史了，而晶闸管 SCR 的诞生为正弦波逆变器的发展创造了条件。到了 20 世纪 70 年代，可关断晶闸管(GTO)、电力晶体管 (BJT) 的问世使得逆变技术得到发展和应用。到了 20 世纪 80 年代，功率场效应管 (MOSFET)、绝缘栅极晶体管 (IGBT)、MOS 控制晶闸管 (MCT) 以及静电感应功率器件的诞生为逆变器向大容量方向发展奠定了基础，因此电力电子器件的发展为逆变技术高频化，大容量化创造了条件。进入 80 年代后，逆变技术从应用低速器件、低开关频率逐渐向采用高速器件，提高开关频率方向发展。逆变器的体积进一步减小，逆变效率进一步提高，正弦波逆变器的品质指标也得到很大提高。

另一方面，微电子技术的发展为逆变技术的实用化创造了平台，传统的逆变技术需要通过许多的分立元件或模拟集成电路加以完成，随着逆变技术复杂程度的增加，所需处理的信息量越来越大，而微处理器的诞生正好满足了逆变技术的发展要求，从 8 位的带有 PWM 口的微处理器到 16 位单片机，发展到今天的 32 位 DSP 器件，使先进的控制技术如矢量控制技术、多电平变换技术、重复控制、模糊逻辑控制等在逆变领域得到了较好的应用。

总之，逆变技术的发展是随着电力电子技术、微电子技术和现代控制理论的发展而发展，进入二十一世纪，逆变技术正向着频率更高、功率更大、效率更高、体积更小的方向发展。

### ②国内逆变器的产业现状

国内生产逆变器的厂商众多，但专门用于光伏发电系统的逆变器制造商并不多，大多数厂家是不间断电源 (UPS) 生产商，顺便制作逆变器，具有较大规模的厂商有合肥阳光、北京日佳、北京恒电、北京科诺伟业、志诚冠军、南京冠亚等企业。

目前这些企业用于光伏系统的产量显逐年上升的趋势，除了独立逆变器以



外。有些企业已经成功研发了并网逆变器用于光伏并网发电系统，在并网逆变器研发、产能上，合肥阳光电源有限公司已具备年产 50MWp 的生产能力，其单机功率已达到 100KWp。中科院电工所、北京索英、北京日佳等企业也已开发出并网逆变器。目前并网型逆变器由于国内市场正处于培育期，这些企业的产品主要用于出口，其技术也有待于进一步完善。

**表 23 我国逆变器和控制器重要制造商**

合肥阳光	控制器、逆变器
北京计科	控制器、逆变器
北京日佳	控制器、逆变器
南京冠亚	控制器、逆变器
北京科诺伟业	控制器、逆变器

**表 24 逆变器的技术指标**

技术特性	方波逆变器	正弦波逆变器	并网逆变器
功率范围	50 – 800VA	1 – 100 KVA	1KW – 300 KW
相数	单相	单相或三相	1 – 6 KW 单相, 10 – 300KW 三相
波形	方波	正弦波	电流波形为正弦波
阻性负载效率	75% – 85%	80% – 95%	90% 以上
保护功能	欠压、过压保护 过流保护；短路保护	欠压、过压保护 过流保护；短路保护	欠压、过压、欠频、过频、 过流、孤岛、过热保护
应用场合	小功率户用系统	大功率系统和电站	光伏建筑和大型并网电站

逆变器：国内逆变器技术水平相当于 90 年代中期的国际水平。目前国际上逆变器的先进水平和国内现有水平的比较如下：

**表 25 国内外逆变器技术的对比**

技术指标	国际先进	国内水平
并网逆变器	商业化	研发阶段
并网 / 独立双功能	商业化	研发阶段
逆变效率	80% – 95%	80% – 95%
高频逆变	商业化，可靠，耐冲击	可以生产，可靠性差，不耐冲击

并网工作	最多并网 28 台 (SMA)	最多 2 台, 可靠性差
模块化生产	1—5KW, 要求大功率时则并网, 有利于标准化批量生产	大功率不能多台并网运行, 只能单机生产
双向逆变	成熟, 一组功率模块, 即可用于逆变, 又可以用作整流充电	个别厂生产
售价	7—8 元 / VA	3—4 元 / VA

**表26 控制器、逆变器产业目标**

年份	控制器		逆变器	
	产量 (MW)	产值 (亿元)	产量 (MW)	产值 (亿元)
2005	5	0.5	4	1.2
2010	100	10	130	26
2020	150	15	200	36

逆变器产业同样应向标准化、专业化、系列化和规模产业化方向发展, 但要特别注意高可靠性、高效率、模块化和降低成本上进一步努力, 应与太阳能电池同步发展, 降低光伏发电系统造价和发电成本。

总之, 在光伏系统平衡部件方面, 产品可靠性和功能上接近国际水平。我国在蓄电池和电子器件领域的技术并不逊于国外, 只要光伏市场持续快速发展, 光伏系统平衡部件产品性能一定会达到国际先进水平。

### 3.8 光伏产业相关制造设备的发展状况

光伏产业相关的制造设备主要包括: 单晶炉、多晶铸锭炉、切片机、清洗机、扩散炉、PECVD、丝网印刷机、烘干炉、烧结炉、分选机、层压机、激光划片机、组件测试仪等。近年来, 光伏产业的迅速发展所形成的巨大市场需求也极大地推动了设备制造业的发展。很多设备已经实现了国产化并开始大量应用, 部分产品已经开始出口。

#### (1) 硅锭和硅片制造设备

我国单晶炉的制造有很长时间的历史, 主要生产商包括西安理工大学、京运通等。国产单晶炉的质量可以满足太阳能行业的需求, 而价格仅为国外产品的 1/3—1/2, 因此被大量的采用。目前国内太阳能单晶硅制造所使用的单晶炉大多数是国产的。但国内大尺寸 (拉制8英寸以上硅锭) 单晶炉的生产仍然需要加强。

北京有色金属研究总院在90年代研制了小尺寸的多晶硅铸锭炉，但没用形成产品。现在国内使用的多晶硅铸造炉均为进口。与此类似，国内的线切割机也依赖进口。

### (2) 太阳能电池制造设备

硅片清洗机已实现国产化，主要生产商包括深圳捷佳创公司、北京七星华创公司等。国内太阳能电池生产线约有半数使用国产的硅片清洗机，其余使用进口设备。

扩散炉、等离子刻蚀机、烘干炉等均已实现国产化，并被主要电池生产商使用。生产商包括电子部48所、北京七星华创公司等。

电子部48所和北京七星华创公司已开发出管式PECVD设备和烧结炉，但用户较少，性能仍有待验证。电子部45所已开发出半自动丝网印刷机，并已大量被使用，但全自动印刷机仍需进口。分选机的生产商包括上海交大太阳能所、西安交大太阳能所、秦皇岛博硕公司等。

### (3) 封装设备

各种封装设备均已实现国产化。激光划片机的生产商包括武汉三工、深圳大族、珠海粤茂等；层压机的生产商包括秦皇岛奥瑞特、秦皇岛博硕、上海航天科技等。组件测试仪的生产商包括上海交大太阳能所、西安交大太阳能所等。

总体而言，近年我国光伏产业相关设备的发展很快，国产化程度不断增强，市场总量和市场份额不断加大。封装设备已占据了绝大部分国内市场；硅锭和硅片制造设备、电池制造设备占据了国内市场的半壁江山。由于国内设备的价格优势非常明显，而且部分产品（如扩散炉）的性能已达到国外产品的水平，因此目前国内新建的太阳能电池生产线基本采用国产设备+部分进口设备的模式。

国内设备制造业的主要问题是：

- 1) 少数产品仍属空白（如铸锭炉、线切割机、平板式PECVD、全自动丝网印刷机等）；
- 2) 自动化程度不够，不能满足全自动生产线的要求；
- 3) 部分设备的性能指标和可靠性仍待提高；

面对太阳能电池未来大尺寸、薄片化的趋势，国内设备制造企业现在就应该考虑未来的发展问题。

**表27 国内光伏产业相关制造设备的发展情况**

	发展程度	生产量（2005年）
单晶炉	已国产化并大量使用	150台
多晶铸锭炉	依赖进口	0
线切割机	依赖进口	0

清洗机	已国产化并大量使用	20台
无承载器清洗机	依赖进口	0
扩散炉	已国产化并大量使用	60管
等离子刻蚀机	已国产化并大量使用	20台
管式PECVD	少量生产，有待验证	6管
平板式PECVD	依赖进口	0
半自动丝网印刷机	已国产化并大量使用	20台
全自动丝网印刷机	依赖进口	0
烘干炉	已国产化并大量使用	30台
烧结炉	少量生产，有待验证	2台
分选机	已国产化并大量使用	30台
激光划片机	已国产化并大量使用	150台
自动光焊机	依赖进口	0
层压机	已国产化并大量使用	140台
组件测试仪	已国产化并大量使用	30台

### 3.9 我国光伏产业 2005 年销售收入和就业人数估计

#### 3.9.1 销售收入估计

##### 1) 销售深入

##### (1) 太阳级硅材料:

2005 年我国生产 80 吨超纯多晶硅材料，基本上全用于光伏产业，以 500 元/kg 计算，共计 0.4 亿元。

##### (2) 硅锭/硅片

2005 年硅锭生产约 2516 吨（其中单晶硅 2216 吨，多晶硅 300 吨）。按 1000 元/kg 计算，销售额约 25.16 亿元。

##### (3) 太阳能电池/组件

2005 年生产太阳能电池 145.7 MWp（其中晶硅电池 133 MWp，非晶硅 12.7 MWp），晶硅组件约为 271 MWp，加上非晶硅组件 13 MWp，2005 年总计约 284 MWp。按晶硅电池组件价格 31 元/Wp 计算，总销售额总计约 84 亿元；按非晶硅电池/组件 24 元/Wp 计算，总销售额约 3 亿元。这样，太阳能电池/组件的总产值为 87 亿元。

##### (4) 光伏工程

2005 年光伏工程安装共计 5 MWp，平均按照 60 元/Wp 计算，共计工程费用约 3 亿元。

(5) 太阳能庭院灯等光伏应用产品

总计约 10 亿元。

(5) 设备制造业

总计约 3 亿元。

按上面的计算，光伏产业总计销售额约 128 亿元。

2) 利税

根据多数企业的利税水平估计，2005 年我国光伏产业的利税总额约 25.6 亿元。

### 3.9.2 就业人数估计

表 28 2005 年光伏产业就业人数估计

项目	就业人数
多晶硅材料	1000
硅锭/硅片	2360
电池	1500
组件	2650
系统工程及市场服务	2000
平衡部件等（逆变器+蓄电池）	500
专用材料（玻璃，EVA，银铝浆等）	500
照明，庭院灯，消费品制造	3000
R&D	300
总计	13810

按照上述的销售额和就业人数，人均销售额92万元，是一个效益较高的产业。社会就业人数达到1.38万多人，是一个就业人数上升较快的新兴产业。具有显著的经济社会效益。

## 4. 中国光伏市场的发展状况

### 4.1 中国光伏发电市场发展概况—总体发展缓慢

我国于 1971 年首次成功地将太阳电池应用于东方红二号卫星上。1973 年开始将太阳电池用于地面。由于受到价格限制，市场发展很缓慢，除了作为卫星电源，在地面上太阳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，国家开始对光伏应用示范给以支持，促使我国的光伏系统在工业特殊领域和农村应用得到进一步发展。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，国家计委启动了“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、陕西和四川）700多个无电乡的用电问题，光伏用量达到15.3 MW。自2002年起，先后启动了《光明工程》、《GEF/世行 REDP》，中荷合作《丝绸之路》等项目，使光伏发电系统在解决我国西部边远地区农牧民生活用电问题发挥了重要作用，总体来说，20年来我国光伏市场与时俱进、稳步发展，2001年以前基本维持在世界市场1%的份额。2002~2003年国家启动《送电到乡》工程，市场有所突增，2004、2005年又回落到年安装量约5MWp水平，分别为世界当年市场约0.5%和0.3%。截至2005年底，我国光伏系统累计安装容量约70MWp；如表29和图19所示。

表 29 1976 年以来中国国内光伏市场的发展

年	1976	1980	1985	1990	1995	2000	2002	2004	2005
年装机 (KW)	0.5	8	70	500	1550	3300	20300	10000	5000
累计装机(KW)	0.5	16.5	200	1780	6630	19000	45000	65000	70000

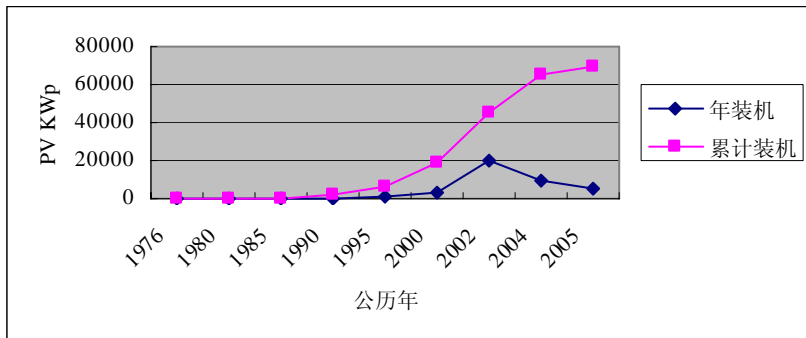


图 19 中国国内市场的年装机和累计装机

我国光伏产业和市场近年来的发展有很大的反差—市场严重落后于产业。其主要原因是，我国光伏产业的快速发展是靠国外(主要是欧洲)光伏市场快速发展所拉动。国外光伏市场快速发展是靠这些国家强有力的法规政策所驱动的，而我国在2005年底前尚未实施可再生能源法，因此市场发展缓慢。

## 4.2 中国光伏应用的潜在市场容量—发展潜力巨大

### 4.2.1 国内光伏市场的组成

至2005年，国内太阳能电池的累计使用量已达到70 MWp。中国光伏发电的市场主要在以下几个方面，其累计安装量和市场份额如表30所示。

### 1) 通信和工业应用

微波中继站, 光缆通信系统, 无线寻呼台站, 卫星通信和卫星电视接收系统, 农村程控电话系统, 部队通信系统, 铁路和公路信号系统, 灯塔和航标灯电源, 气象, 地震台站, 水文观测系统, 水闸阴极保护和石油管道阴极保护等

### 2) 农村和边远地区应用

独立村庄供电系统, 小型风光互补发电系统, 太阳能户用系统, 太阳能照明灯, 太阳能水泵, 农村社团等

### 3) 光伏并网发电系统

并网光伏发电系统包括城市与建筑结合的并网光伏发电系统 (BIPV) 和大型荒漠光伏电站。目前这类应用尚处于试验示范阶段, 到 2005 年底, 此类应用的装机容量大约仅有约 2 MW<sub>p</sub>。

### 4) 太阳能商品及其它

太阳能路灯, 太阳能庭院灯, 太阳能草坪灯, 太阳能喷泉, 太阳能城市景观, 太阳能信号标识, 太阳能广告灯箱, 太阳能充电器, 太阳能钟, 太阳能手表、计算器; 汽车换气扇; 太阳能电动汽车; 太阳能游艇; 太阳能玩具等。

表 30 2005 年中国光伏发电市场分类

市场分类	装机 (MW)	市场份额 (%)
农村电气化	30	43.0
通信和工业应用	28	40.0
太阳能光伏产品	10	14.0
并网发电	2	3.0
合计	70	100

所有这些应用领域中, 大约有 54.3% 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 45.7% 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)。

## 4.2.2 中国光伏发电市场的潜在容量

### (1) 农村电气化

中国政府已经于 2002 年实施了“送电到乡”工程, 这是迄今为止世界上最大的采用光伏发电和风力发电的农村电气化项目。据统计, 截止到 2005 年底, 全国大约还有 300 万无电户, 1300 万无电人口, 其中有 150 万户, 大约 700 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 150 万

无电户需要在下一个 10 年（2006—2015）中采用光伏和风光互补发电系统来解决。预计总装机容量 300 MW，投资大约 300 亿元。对于中国的光伏发电，这是一个很好的机会。需要注意下述问题：

- 集中的村庄供电系统和户用电源系统的融资方式应当有所不同；
- 需要解决好村庄供电系统后期的运行维护和蓄电池的更换费用问题；
- 电站的收费标准和商业化运行模式；
- 产品的质量控制和认证体系的建立；
- 对于户用电源，售后服务网络的建立很重要；
- 人员培训工作。

### （2）光伏与建筑结合（BIPV）的应用

现在，全世界大约 60% 的太阳电池用于并网发电系统，主要是用于城市的 BIPV。中国的 BIPV 尚处于示范阶段。预计 2010 年以前将会有中国的屋顶计划，安装太阳电池 50 MW<sub>p</sub>；2020 年以前将会有更大规模的 BIPV 项目，累计装机容量将达到 700 MW<sub>p</sub>。预计到 2010 年 BIPV 的市场份额将占到 21%，到 2020 年将占到 39%。我国现有大约 400 亿平方米的建筑面积，屋顶面积 40 亿平方米，加上南立面，可利用面积大约为 50 亿平方米，如果 20% 用来安装太阳电池，可以装 100GW<sub>p</sub>。

按照可再生能源法的实施原则，BIPV 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 BIPV 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，进一步扩大市场。

### （3）大规模光伏（LS-PV）荒漠电站

建立在沙漠 / 戈壁上的大规模光伏电站的作用和风电场的作用一样。预计在 2010 年以前将会会有 2—3 座荒漠电站建成，装机容量 20 MW<sub>p</sub>；到 2020 年荒漠光伏电站的累计装机将达到 200 MW<sub>p</sub>。我国有着大片的沙漠、沙漠化土地和潜在沙漠化土地，总计约 105 万平方公里。1 平方公里土地可以安装 100 MW<sub>p</sub> 太阳电池，如果只用 1% 的荒漠面积来安装太阳电池，则可以安装 1000G W<sub>p</sub>。是我国现有电力装机容量的 2 倍。

大规模荒漠光伏电站将享受和 BIPV 一样的上网电价政策。



### 4.2.3 中国光伏发电装机规划和成本预测

表 31 中国光伏装机规划及发电成本预测

	2005 年	2010 年	2020 年
年装机 (MWp)	5	130	200
累计装机 (MWp)	70	400	2000
年发电量 (TWh)	0.084	0.48	2.4
组件价格 (Yuan/Wp)	35	25	16
并网发电系统价格 (Yuan/Wp)	60	40	30
离网发电系统价格 (Yuan/Wp)	80	60	40
发电成本 (Yuan/kWh) *	3.8	3	2

\*这里只给出了并网光伏发电的成本

中国的常规能源十分短缺，中国将来的电力供应存在很大的缺口，因此中国应当将发展光伏发电作为能源战略的重点给予支持。政府规划到 2010 年，中国光伏发电的累计装机将达到 300 MWp，到 2020 年将达到 1.8GWp。如果中国的可再生能源法得到全面实施，达到这样的目标并不困难。中国光伏发电市场的分配也已经体现在政府规划中（2010，2020）。

表 32 2010 年光伏发电市场分配

市场分类	累计装机 (MW)	市场份额 (%)
农村电气化	180	51
通信和工业	45	13
太阳能光伏产品	32	9
并网发电 (BIPV)	73	21
并网发电 (荒漠电站)	20	6
合计	350	100

表 33 2020 年光伏发电市场分配

市场分类	累计装机 (MW)	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 BIPV	700	39
沙漠 / 戈壁电站	200	11
合计	1800	100

### 4.3 中国光伏发电的主要工程及案例

到目前为止，中国重大的光伏发电项目都是在中国政府、外国政府以及国际相关机构的支持下开展和完成的。这些项目的实施对于中国光伏市场的开发，对于中国光伏发电技术水平的提高，对于中国光伏发电产品的质量控制，以及中国光伏发电产业的发展都起到了积极的推动作用。

这些项目包括：

- ✓ 中国政府：西部省区无电乡通电计划，简称“送电到乡”工程；
- ✓ 中国政府：“光明工程”先导项目；
- ✓ 全球环境基金：国家发改委/全球环境基金/世界银行中国可再生能源发展项目（REDP）；
- ✓ 中国—荷兰合作：丝绸之路光明工程；
- ✓ 中国—德国合作：中德财政合作西部太阳能项目（KFW）；
- ✓ 中国—德国合作：中德技术合作在农村地区应用可再生能源改善当地发展机遇项目（GTZ）；
- ✓ 中国—加拿大合作：CIDA 太阳能农村通电项目；
- ✓ 中国—日本合作：NEDO 光伏项目。

此外，还有一些小规模的光伏项目正在中国实施。这些项目遍及中国西部的各个省区、中部的部分省市以及东部的沿海岛屿。这些项目的总投资超过 30 亿人民币。

这些项目归纳在下表中。详细情况可参见 REDP 项目办编写的《REDP 及国内其它光伏项目概要》。

表 34 中国国内主要光伏项目的情况

项目名称	出资方	支持力度	主要内容	执行期	执行地域
“光明工程” 先导项目	国家发改委 地方政府	4000 万 人民币	建立村落电站和户用系 统,帮助建立销售网络和 加强机构能力建设	2000—	西藏,内蒙古,甘肃
“送电到乡” 工程	原国家计委 地方政府	26 亿 人民币	建立集中电站	2002—2003	新疆,西藏,甘肃, 陕西,内蒙古,四川, 青海
内蒙古新能源 通电计划	内蒙古自治 区政府	2.25 亿 人民币	补贴农村户用系统	2001—	内蒙古
世行、全球环 境基金 REDP 项目	全球环境基 金	2550 万 美元	补贴农村户用系统销售, 帮助机构能力建设和技 术进步	2002—2007	新疆,西藏,甘肃, 内蒙古,四川,青 海,云南、陕西, 宁夏
丝绸之路 照明计划	荷兰政府	1379 万 欧元	补贴农村户用系统	2002—2006	新疆
德援 KFW 项目	德国政府	2600 万 欧元	建立村落电站	2003—2005	新疆,云南, 青海,甘肃
德援 GTZ 项目	德国政府	约 460 万 欧元	技术支持及培训	2003—	青海,云南, 西藏,甘肃
加拿大 太阳能项目	加拿大政府	343 万 加元	建立示范电站 及管理培训	2003—2005	内蒙古
日本援助 NEDO 项目	日本政府	3853 万 人民币	建立示范电站; 实验室建设	1998—2002	新疆,西藏,甘肃, 陕西,宁夏,内蒙古, 四川,青海,云南, 广东,浙江,河北

## 5. 我国太阳能电池的研发状况

### 5.1 国家支持的光伏科研活动

国家科技部通过《国家科技攻关计划》、《863 计划》、《973 计划》、《中小企业创新基金》等支持较大的光伏研究课题。各级地方政府对光伏发电也给予了相应的大力支持。

(1)《国家攻关计划》:由国家科技部直接审批,赠款支持太阳能光伏发电领域生产和应用方面先进技术的开发。太阳电池和光伏发电正式列入国家攻关计划是从“六五”(1981-1985)计划开始,先后经过“七五”(1986-1990)、“八五”(1991-1995)、“九五”(1996-2000)和“十五”(2001-2005)科技攻关计划。中国很多重大的科技开发和技术进步项目都是由科技攻关计划支持完成的,如:“六五”期间国外先进太阳电池生产设备的引进(开封、宁波 2 厂),太阳电池在农村地区的应用,在农村载波电话,在水闸和石油管道阴极保护、气

象台站、铁路信号和航标上的应用示范；“七五”期间晶体硅太阳能电池的技术攻关，太阳能水泵，太阳能通信电源，以及太阳能专用测量设备的技术攻关；“八五”期间非晶硅太阳能电池的技术攻关，多晶硅太阳能电池及生产材料的技术攻关，“九五”和“十五”期间风光互补发电系统和太阳能屋顶并网发电的应用示范等。攻关计划每5年由科技部组织专家评审一次，项目通过各省市科技局和各部委科技厅上报给国家科技部。

(2)《国家“863”计划》：国家自2000年开始，逐渐加大对太阳能电池研究的投入，光伏技术研发被列入国家中长期科技发展的“863”计划和973计划中。被列入国家“863”计划的项目是：“铜铟硒太阳能薄膜电池试验平台与中试线”和“碲化镉薄膜太阳能电池试验平台与中试线”以及其它“新型电池”。

(3)《国家“973”计划》：自2000年起，列入“973”计划的光伏技术项目有：“低价、长寿新型光伏电池的基础研究”和“利用太阳能规模制氢的基础研究”。

(4)《中小企业创新基金》：该计划由国家科技部中小企业创新基金办公室负责，提供赠款额度最高不超过100万元人民币，并要求企业配套50%资金。支持企业员工500人以下、注册资金500万元以下的中小型企业。支持中小企业开发有利于市场竞争的创新型产品，并能够形成批量生产。该创新基金每年组织专家评审一次，项目通过各省市科技局上报给国家科技部中小企业创新基金办公室。太阳能领域已经有多项课题得到中小企业基金的支持。

#### (5) 地方政府支持的光伏计划

地方政府除了对中央政府的“科技攻关”、“863”“973”等科技研发计划进行配套支持外，还安排了地方相应的光伏科技支持计划。例如北京在1996年就在全国率先成立了“北京太阳能光电技术研发中心”和“北京高效电池中试基地”，投资两千多万元进行光伏技术开发。上海、江苏、浙江、广东、云南、青海、甘肃等省市也都有相应的支持。研发活动包括高效电池、薄膜电池、光伏系统技术等，对光伏技术的发展起到了积极的推动作用。

表 35 中国“973”和“863”计划有关光伏研究的课题（2000—2005 年）

课题名称	主要承担单位	经费投入	主要研究内容
“973”计划：“低价、长寿新型光伏电池的基础研究”	南开大学 中科院等离子体所 中科院半导体所 中科院理化技术所 中科院化学所 中科院研究生院	3000 万元	硅基薄膜电池、染料敏化纳米薄膜电池、多晶薄膜电池、聚合物太阳电池。
“863”计划：“铜铟硒太阳能薄膜电池试验平台与中试线”及“碲化镉太阳能薄膜电池试验平台与中试线”	南开大学 四川大学 浙江大学 清华大学	4150 万元	铜铟硒薄膜太阳电池的研究及中试线关键设备的研制；碲化镉薄膜太阳电池的研究及中试线关键设备的研制

表 36 “十五”光伏发电技术项目课题一览表

课题名称	主持部门	主要承担单位	国家攻关计划拨款
可再生能源产业化开发	中国科学院		2800 万元
高效晶硅太阳能电池工业生产技术	云南省科技厅	云南半导体器件厂	200 万元
大型光伏并网示范电站	中科院	中科院电工所、合肥工业大学	280 万元
西部可再生能源综合利用示范	中科院	中科院电工所等	500 万元
可再生能源发展相关政策及发展战略研究	中国科协	中国能源研究会	100 万元

表 37 2004—2005 年国家支持的光伏产业化开发项目

课题名称	承担单位	国拨经费（万元）
晶体硅太阳能电池产业化关键技术攻关	无锡尚德太阳能电力有限公司	400
太阳电池用多晶硅片的生产工艺化研究	浙江精功光电有限公司	150
高效低成本非晶硅太阳能电池制造工艺及产业化技术	深圳市拓日电子科技有限公司	150
三种类型光伏建筑构件的开发	江苏常州天合光能有限公司	200
低成本光伏建筑组件	深圳市创益科技发展有限公司	190

内旁路建筑光伏组件紫外固化技术研究开发	昆明光伏科技有限公司	250
太阳能光伏建筑构件	北京天普新能源电力科技有限公司	180
建筑集成光伏电池构件开发及系统示范	西安佳阳新能源有限公司	100
采用光伏电源的半导体照明系统研发	深圳珈伟实业有限公司	130
太阳能供电的半导体发光显示牌系统	北京高科能光电技术有限公司	110
利用大功率 LED 发光管制作太阳能路灯系统	深圳金普顿光电技术有限公司	60
开发使用光伏电源的半导体照明系统	上海新时代光电技术发展有限公司	50
太阳能半导体照明关键技术研究及应用示范	常州市电子研究所	50
开发使用光伏电源的半导体照明系统	杭州能源工程技术有限公司	50
100kW 光伏建筑一体化工程示范及配套产品技术开发	北京市计科能源新技术开发公司	300
100kWp 并网光伏示范电站	北京科诺伟业科技有限公司	700
商业化应用 100KWp 的大型并网光伏电站及配套技术的开发	新疆新能源股份有限公司	200
并网光伏发电用系列逆变器的产业化	合肥阳光电源有限公司	180
广东户用光伏建筑一体化工程的设计与示范	深圳市能联电子有限公司	245
与建筑结合小型并网系统的示范	北京市太阳能研究所	150
3~5kW 并网光伏发电系统的应用示范研究	中国农业机械化科学研究院 呼和浩特分院	230
中国西部光伏建筑一体化并网发电工程设计和示范	青海省新能源研究所	225
屋顶建筑与光伏并网发电一体化示范应用研究	西宁新能源开发有限公司	50
有云南民族特色的太阳能光伏建筑	昆明天达阳光科技有限公司	100
3—5kW 精密跟踪光伏发电系统技术开发	山东华森太阳能产业有限公司	100
并网光伏发电系统技术标准研究	中国标准化研究院	120
光伏与风力发电商业化发展前景分析	全国风力机械标准化技术委员会\ 中国农机协会风力机械分会	200
开发使用光伏电源的半导体照明系统	威海美能科工贸有限公司	50
100KWp 风光电互补并网发电系统	华能新能源环保产业控股有限公司	100

## 5.2 我国太阳能电池的研发现状和水平

### (1) 高效单晶硅太阳能电池

高效单晶硅太阳能电池包括倒金字塔织构化选择性发射区电池 (IPSE), 激光和机械刻槽埋栅电池 (LGBC 和 MGBC)。

◆**IPSE 太阳电池**。电池工艺包括倒金字塔织构化、热氧化钝化、选择性发射区扩散、减反射涂层、背表面场和脉冲电镀等技术。北京太阳能研究所研制的 IPSE 电池效率达到 19.8%。

◆**LGBC 和 MGBC 太阳电池**。LGBC 和 MGBC 电池工艺相对较简单, 是一种适于工业化生产的高效电池。电池工艺包括化学表面织构化、激光和机械刻槽、热氧化钝化、选择性发射区扩散、减反射涂层、背表面场、化学镀埋栅接触等技术, 电池最好效率如表 38 所示。

表 38 LGBC 和 MGBC 太阳电池的性能 (AM1.5, 25°C)

电池类型	硅片	Voc (mV)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	FF (%)	η (%)	面积 (cm <sup>2</sup> )
LGBC	FZ	663.8	34.84	80.58	18.6*	25
MGBC	FZ	621.9	37.0	80.02	18.47	4
LGBC	CZ	622.9	34.88	79.27	17.22	25
LGBC	SG	624.1	35.24	75.44	16.59	25

\*美国国家可再生能源实验室测试

### (2) 薄膜太阳电池

薄膜电池是我国光伏技术开发活动中最受关注的方面之一。包括硅基薄膜电池, 化合物薄膜电池, 染料敏化 TiO<sub>2</sub> 电池等。

#### ◆硅基薄膜电池

硅是地球上第二个最丰富的元素, 有最丰富的半导体工业和微电子工业技术资源可以借鉴, 有效率高、性能稳定的晶硅太阳电池的技术背景, 因此成为最受关注的薄膜电池技术之一。

#### ◇非晶硅 (a-Si) 太阳电池

我国非晶硅 (a-Si) 电池的研发始于上世纪 70 年代后期。从 80 年代至今在薄膜材料、电池结构、界面特性、沉积技术、封装技术以及多结技术方面等已经取得了很大进展。电池效率和稳定性有了很大提高, 南开大学通过国家“973”项目支持, 使 20×20cm<sup>2</sup> 的集成单界电池组件效率达到 9.1%, 一年户外试验的效率衰减小于 15%。20×20cm<sup>2</sup> 的双结 a-Si 电池组件效率达到 9.2%, 连续 40 批的效率超过 8%, 并且安装了 600 Wp 的光伏示范系统。

#### ◇非晶硅 (a-S) /微晶硅 ( $\mu\text{c-Si}$ ) 迭层电池

南开大学通过国家“973”项目支持,采用 RF-PECVD 技术制备出  $20\times 20\text{cm}^2$  均匀高质量  $\mu\text{c-Si}$  薄膜;集成 pin 单结  $\mu\text{c-Si}$  薄膜电池组件效率达到 9.2%;  $0.25\text{cm}^2$  的 a-Si/ $\mu\text{c-Si}$  迭层电池效率达到 11.8%。 $20\times 20\text{cm}^2$  的双结 a-Si 电池组件效率达到 9.2%,  $100\text{cm}^2$  的 a-Si/ $\mu\text{c-Si}$  迭层电池效率达到 9.7%, 表明我国在该领域的研究已跨入世界先进水平。

#### ◇多晶硅薄膜电池

多晶硅薄膜可以用多种方法沉积,其中 RTCVD (快速化学气相沉积) 技术具有高沉积速率、薄膜晶粒大质量高、电池效率高和性能稳定的优点。北京太阳能所采用 RTCVD 和区熔再结晶 (ZMR) 技术制备出平均晶粒大于 1mm、迁移率  $50\text{cm}^2/\text{Vs}$  的多晶硅薄膜,并在不同耐高温的衬底上制备出了太阳电池。其中非活性硅 ( $\rho\sim 10^{-3}\Omega\text{cm}$ ) 衬底电池,  $1.051\text{cm}^2$  的电池效率达到 15.1%, 多晶硅薄膜厚度  $37\mu\text{m}$ , 电池有  $2\mu\text{m}$  厚的  $\text{p}^{++}$  衬底缓冲层兼作背表面场 (BSF)、 $1500\text{\AA}$  的  $\text{SiO}_2$  钝化膜并与  $\text{MgF}_2/\text{ZnS}$  联合作减反膜和有 Ti/Pd/Ag 前电极;模拟陶瓷衬底 (非活性硅上覆盖  $\text{SiO}_2$  膜) 电池,  $1.07\text{cm}^2$  的电池效率达到 10.2%;颗粒带硅衬底电池,  $1\text{cm}^2$  电池效率达到 8.3%。这些结果都接近同类电池的国际水平。

#### ◆化合物薄膜太阳电池

##### ◇CdTe 电池

CdTe 为 II-VI 族化合物半导体,因其带隙 ( $E_g=1.5\text{eV}$ ) 与太阳光谱非常匹配、性能稳定具有高效 (理论效率 28%) 潜力而广受光伏界重视。我国从上世纪 80 年代初开始研发。进入本世纪,四川大学在国家“863”计划支持下取得了重大进展。采用近空间升华 (CSS) 工艺使  $0.501\text{cm}^2$  的电池效率达到 13.38% (无减反射涂层), 进入国际先进行列 (世界记录为 16.4%)。

##### ◇CIGS cells

CIGS 为 I-III-VI 族四元化合物半导体,带隙 ( $E_g=1.04\text{eV}$ )。CIGS 电池因其效率高、性能稳定而广受重视。南开大学在国家“863”计划支持下,采用共蒸发技术使  $1\text{cm}^2$  电池效率达到 12.1%, 进入国际水平行列 (世界记录 19.5%)。

##### ◇GaAs

我国多结 GaAs 电池主要为空间应用而研制的。主要研发活动在上海空间电源所和天津电源所进行。上海空间电源所的三结 InGaP/InGaAs/Ge 太阳电池已经在空间得到应用。电池的最好效率达到 28.0% (AM0), 达到国际先进水平。

#### ◆染料敏化 $\text{TiO}_2$ 电池 (DSS)

染料敏化  $\text{TiO}_2$  电池实际上属于光电化学电池。自从 1991 年瑞士 M.Grätzel 把染料敏化概念引入到  $\text{TiO}_2$  电池中以后, 电池效率和稳定性得到大幅度提升, 该电池开始受到世界广泛关注。我国该电池的研发开始于 1990 年, 进入本世纪后, 中科院合肥等离子物理所在中科院和国家“973”计划支持下, 使  $0.21\text{cm}^2$



电池效率达到 8.95%，1497.6 cm<sup>2</sup> 电池效率达到 5.7%，而且安装了 500 Wp 的户外光伏示范系统,使我国在这一电池的研究跨入世界先进水平。

## 6. 光伏产品的技术标准、认证体系和质量保证体系

### 6.1 光伏产品的技术标准

光伏市场的发展对光伏标准的需求变得越来越迫切。随着我国加入 WTO 和光伏产业的迅速发展壮大，光伏标准在我国光伏技术发展、光伏工程、光伏商业活动中变得愈来愈重要。

我国很重视光伏标准化工作，早在 1984 年即成立了全国太阳光伏能源系统标准化工作组。1987 年在天津正式成立全国太阳光伏能源系统标准化技术委员会。全国太阳光伏能源系统标准化技术委员会（简称标委会），是全国性专业标准化技术工作组织，负责全国太阳光伏能源系统的标准化技术归口工作。标委会下设秘书处，是标准化技术委员会的常设机构，负责处理标委会的日常工作，挂靠在中国电子科技集团公司第十八研究所。

太阳光伏能源系统专业涉及光伏材料、太阳电池、太阳电池组件、太阳电池阵列、光伏测试系统、光伏系统控制器、光伏系统逆变器、光伏并网系统、光伏应用系统（光伏泵、庭院灯、航标灯等）等等，按光伏能源系统的组成和性质，将标准分为以下类别：名词术语、太阳电池（非聚光组件）、系统（独立系统、并网系统）、质量认证和鉴定、平衡（BOS）设备、聚光器组件和测试，各类别具体任务见下表。

表 39 中国太阳光伏能源系统标准体系

类 别	任 务
名词术语	起草名词术语方面标准
太阳电池	起草太阳电池国家标准及行业标准
非聚光组件	起草非聚光型地面光伏组件国家标准及行业标准。
系统 (独立、并网系统)	起草光伏系统设备的设计、结构、安装、检验、运行、维护及安全 的国家标准及行业标准。
质量认证和鉴定	起草太阳光伏系统设备及其部件的质量保证，质量评估和鉴定等 方面的国家标准及行业标准
BOS 设备	起草光伏系统中 BOS 设备（蓄电池、充电控制器、逆变器等）方 面的国家标准及行业标准。
聚光器组件	起草聚光型地面光伏组件国家标准及行业标准。
测试	起草太阳电池、组件、系统等与光伏相关的测试方法、测试设备 的国家标准及行业标准

我国目前已经正式出版的光伏国家标准 25 项，行业标准 10 项，具体名称及编号见附录 3。在上世纪九十年代以来，我国以自己制订标准为主，形成了中国自己的太阳光伏能源系统标准化体系。随着国际交往增多，逐渐以国际 IEC 标准转换为我们的国家标准。应该说中国的光伏标准与国际接轨做的很好，我国的标准基本上国际通用标准。

## 6.2 认证体系和质量保证体系

中国目前在光伏领域还没有正式开展认证的工作，由于在中国光伏产业相对于其它成熟的行业，还是一个较小的行业，且没有涉及到重要的安全问题，所以国家还没有对其要求强制认证。但随着光伏应用市场的发展，开展认证会逐渐变成业主的普遍要求。中国现在已具备了经国家授权的认证机构，和可以按照相关国家或国际标准进行产品检测并获得相关资质的实验机构，从硬件环境上已具备了开展光伏产品认证的条件。

### 6.2.1 国内光伏检测和认证机构

国内的光伏检测单位主要有 3 家，天津电源研究所（18 所），上海空间电源研究所（811 所），中科院太阳发电系统和风力发电系统质量检测中心。

天津电源研究所下设电子部化学物理电源产品质量监督检测中心和国防天津区域计量站 3004 校准实验室。该检测中心是我国成立最早的光伏测试单位，参加了 93 年进行的国际太阳电池标准比对活动。在过去的三十多年中为中国的空间和民用单位提供了可靠的计量和产品检测的技术服务。

上海空间电源研究所隶属于中国航天技术总公司上海市航天局，是一个综合性的电源研究所。该研究所已有三十多年的研究历史，由于其本身生产各种光伏产品，为了保证产品质量，该所建立了检测实验室，随着光伏产品的大量应用，测试实验室也逐步对外服务。1990 年上海空间电源研究所被国防科工委授权为三级计量站。

中科院太阳光伏发电系统和风力发电系统质量检测中心成立于 1999 年，是经中国科学院批准建立、具有第三方公正地位的光伏/风力检测机构。质量检测中心目前下属三个检测实验室：①光伏部件检测实验室（可以按照 GB/T 9535 即 IEC 61215 标准进行测试）；②风力部件检测实验室；③光伏/风力系统检测实验室（国内第一个按照 IEC 62124 标准建立了系统测试平台）。检测中心依照国际 ISO/IEC 17025 建立了严格的质量控制体系，具有中国实验室计量认证（CMA）和实验室认可的资质。

中国现在已具备了经国家授权的专门从事可再生能源产品认证的认证机构——鉴衡认证中心（CGC）。作为是国家授权的认证机构，它已经开始了光伏产品认证的前期准备工作，制定出了相关的认证文件和认证程序。

### 6.2.2 国内光伏产品认证发展现状

为保证中国太阳能光伏产业的健康发展，由国家发改委/世界银行/全球环境基金可再生能源发展项目开展的“建立中国太阳能光伏产品认证体系”项目已启动。项目承担单位北京鉴衡认证中心于2006年8月1日在北京召开了“建立中国太阳能光伏产品认证体系”项目启动会暨实施规则研讨会，成立了太阳能光伏产品认证技术委员会，来自行业协会、检测实验室、光伏企业的20名专家被聘请为技术委员会委员。目前，《独立光伏系统认证实施规则》、《地面用晶体硅光伏组件产品认证实施规则》、《充放电控制器、直流/交流逆变器认证实施规则》、《光伏系统用阀控式密封铅酸蓄电池技术规范》等技术规范和实施规则正在编写中。

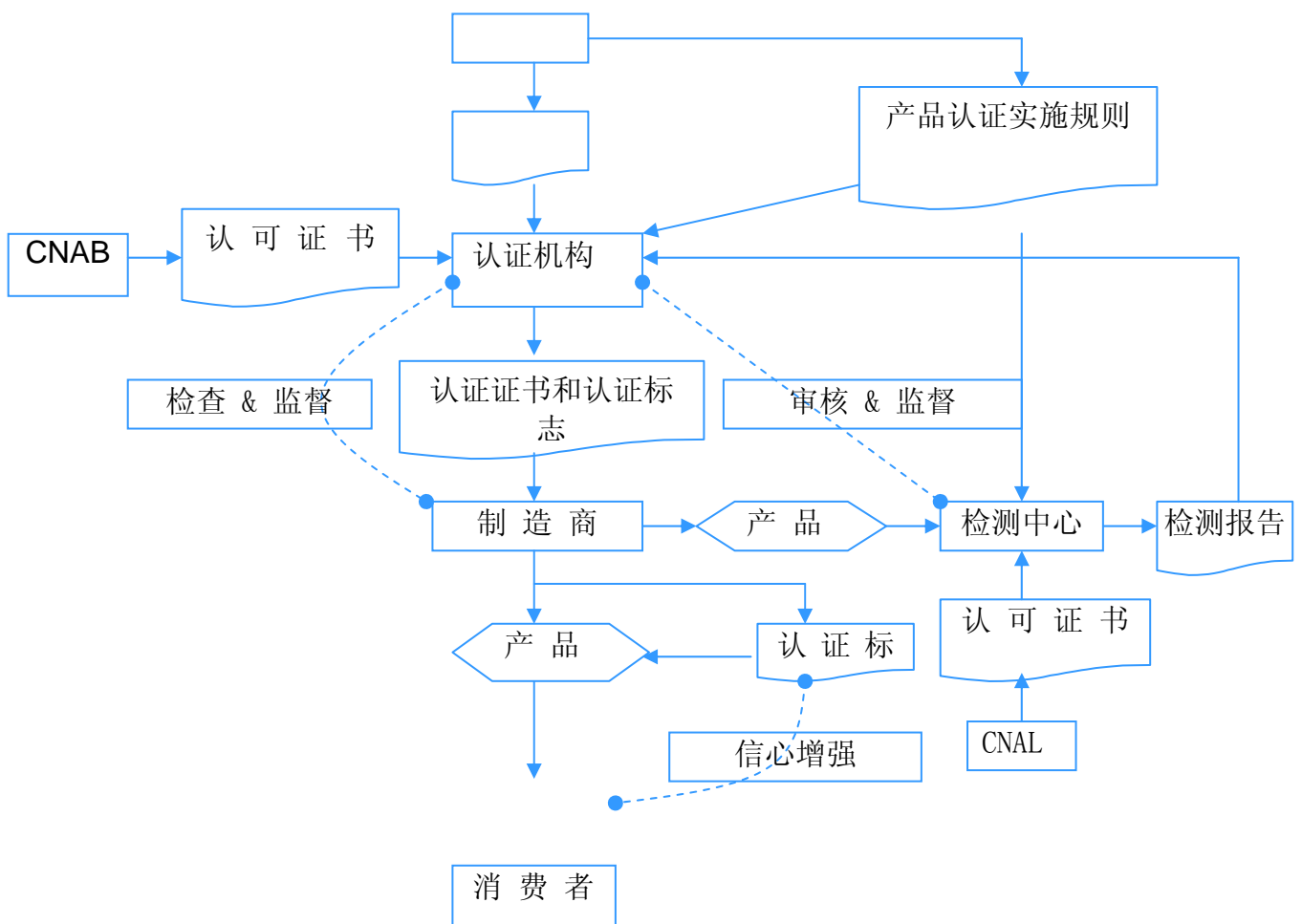


图 20 中国的认证认可管理体制和实施体系

(CNCA: 中国国家认证认可监督管理委员会; CNAB: 中国认证机构国家认可委员会;

CNAL: 中国实验室国家认可委员会)

## 6.3 国内光伏标准、测试及认证存在的问题

### 6.3.1 光伏标准

随着国际光伏市场的迅速发展，IEC 制定光伏标准步伐也在加快，我国目前已经发展为光伏产业大国，也是 IEC 成员国，但目前我国还没有专家参与到 IEC 的工作组中具体制定国际标准，这与我国的光伏地位不吻合。主要问题是经费，因为每个工作组一年一般召开 2~3 次讨论会议，对参加的单位是一个不小的负担，发达国家主要是国家提供经费支持。目前全国光伏标委会已计划派 2 名专家参与 IEC 工作组的工作，经费主要来源于世行项目。但国家应尽快考虑长期的项目支持，尽量多派高水平的专家参与国际光伏标准的制定，这样才能在国际标准讨论阶段明确反映我国产业的意见。

### 6.3.2 光伏产品的测试和认证

我国最早的地面光伏产品应用主要是为常规电力无法应用的地方提供电力支持，如：航标灯，通信中继站，石油管线阴极保护等。由于当时产品价格较高，还不能够大批量的应用，所以相关的检测还较为简单。随着国内光伏产品应用量的加大，对产品质量控制要求也逐步加强。国内最早大规模应用产品质量检测的项目是有国家计划委员会在 2000 年实施的“光明工程”先导项目，在此次项目的运行中第一次明确了产品质量要求，成立了技术专家组，编写了光伏产品质量检测评分办法，为各省的业主公司提供了有利的产品质量保证。随着 2002 年国内的“送电到乡”项目和 REDP 项目对光伏产品商业化促进活动的开展，光伏产品的检测和质量监控越来越被业主和用户认知。

目前国内光伏产品质量良莠不齐，在 2000 年进行的“光明工程”先导项目中第一次开展了产品质量检测和控制，由于是第一次部分参照 IEC 标准进行的产品测试，国内的厂家在产品质量上还是存在着较多的问题，这次测试为国内的生产厂家的质量问题敲响了警钟。由于当时国内采用的检测标准普遍低于 IEC 标准，此次质量检测较为真实的反映出了国内生产家的质量现状，但是问题大部分出现在出口和来料加工、一般封装厂方面。

由于主要的光伏市场在国外，加上国内的检测认证工作滞后，没有国内厂家愿意在中国进行认证和试验，厂家愿意将产品送到国外，国外的认证和产品检测机构获得了品牌利益和经济利益，自身的地位得到了进一步的扩充，反过来他们提高认证和测试的门槛进一步要求中国的厂家无条件地接受，由于中国的认证和测试机构没有能力与其抗争。国家应提供项目经费支持，让国内的检测机构认真开展国际测试比对，逐步提高我国测试机构的信誉，这样为今后国内市场发展广泛开展光伏检测及认证奠定坚实的基础，促进我国成为世界上最大的光伏产品

生产国及最大的光伏应用市场。

## 7. 光伏产业发展中存在的问题和障碍

近几年，我国的光伏产业迅速发展，取得了令世界瞩目的成绩。然而，在我国光伏产业的快速发展过程中，也存在不少的问题和障碍。

### (1) 国内市场的发展远远落后于产业的发展

自 2002—2003 年送电到乡工程结束以后，国内的光伏市场基本处于缓慢发展状态，每年的安装量维持在 5 MW 左右。而光伏产业在国际市场的拉动下呈快速发展态势，2005 年太阳能电池生产达到 145.7 MW，组件生产达到 284 MW，光伏市场严重落后于产业发展，国内生产的太阳能电池组件绝大部分用于出口。这种市场严重落后于产业发展的情况既不利于我国能源的可持续发展，也不利于光伏产业的持续健康发展。市场长期滞后于产业将会产生严重后果，是值得认真考虑的问题。

2005 年我国通过了《可再生能源法》，规定于 2006 年 1 月 1 日实施，并且明确规定了“上网电价”和“全网平摊”的法规条款，为改善这种状况提供了最好的历史机遇和法规依据，但遗憾的是，法规的实施细则与《可再生能源法》基本精神相比，尚不到位，对可再生能源的发展起不到应有的促进作用，是亟待改进和解决的。

2005 年，我国太阳能电池产量大约是 2003 年的 25 倍。2005—2006 年，大批新的太阳能电池和晶体硅制造项目建成投产或开始建设，预计到 2006 年底，太阳能电池将形成超过 1000 MW 的生产能力，这是一个非常惊人的数字。光伏产业发展不仅仅需要良好的国际市场环境，更需要良好的国内市场环境。而开拓国内市场最有力的举措是切切实实贯彻执行《可再生能源法》。国内市场的发展，不仅可以为国内产业提供新的发展空间，而且对解决边远地区无电人口的用电问题、改善我国能源结构都具有重要意义。

### (2) 太阳级硅材料严重短缺

自 2003 年以来，我国光伏产业在国际市场的拉动下得到了迅速发展，与此同时，除了太阳级硅材料外，光伏产业链各环节的不平衡状况也得到了显著改善，晶硅锭/硅片及太阳能电池的生产技术水平、生产规模不断得到提升，产品纷纷出口国际市场，已经成为国际上光伏产品的主要生产国家。

另一方面，我国光伏产业的发展又遇到了世界性太阳级多晶硅短缺和供应紧张问题，预计这种紧缺状况将持续到 2008—2010 年。加上我国多晶硅技术和产业非常落后和薄弱（见 3.1.2），因而太阳级多晶硅原材料短缺成为我国目前光伏产业持续健康发展的重要制约因素之一。

加大科技攻关力度，支持和提升我国现有多晶硅产业能力，尽快在 3—5 年内使我国多晶硅生产获得突破性进展应是当前重要举措之一。

### **(3) 研发力量和自主创新能力薄弱**

随着我国光伏企业实力的增长，企业开始更加重视在研发方面的投入。无锡尚德、江苏林洋、南京中电等很多企业建立了研发中心，并与国内外高校和科研机构开始紧密的合作。各级政府也愈加重视光伏领域的研发，在这方面的投入也明显增加。我国光伏领域科研投入不足、产学研脱节的现象正在逐步消失。

然而，由于技术发展水平、人才培养等的滞后性，我国光伏产业研发力量薄弱、缺乏自主创新能力的状况依然存在。企业技术人才明显短缺、关键技术和设备依靠引进，对国外先进技术的消化、吸收和再创新的任务艰巨，面对激烈的国际竞争，加快人才培养、尽快提升我国自主创新能力即是当务之急，又是重要的战略任务。

政府应当充分利用现在光伏产业发展的有利时机，遵循“企业是自主创新主体”的方针，鼓励有实力的企业加大技术研发和自主创新方面的投入，政府予以一定的支持；坚持“技术成果由市场检验”的原则，使国家的投入真正能产生实效；加强对光伏领域应用基础研究和前瞻性研究的支持，使我国光伏领域的科研水平逐步赶上甚至超过发达国家。

### **(4) 缺乏与国际接轨的检测和认证机构**

我国现有的 3 个检测机构均未得到国际认可。没有国际认可的检测机构，对完善产品标准、规范国内市场、促进产品出口都造成了明显的障碍。国家应加强这方面的投入，建立起设备完善、与国际标准接轨、得到国际认可的检测和认证机构。

## **8.我国有关光伏产业发展的政策措施**

### **8.1 《可再生能源法》及其试行办法**

中国的可再生能源法已经于 2005 年 2 月 28 日由人大常委会批准通过，于 2006 年 1 月 1 日生效。涉及到光伏发电的条款如下：

#### **8.1.1 与并网光伏发电相关的条款**

**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。

### 8.1.2 与离网光伏发电系统有关的条款

**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。

### 8.1.3 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** 一 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** 一 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。

### 8.1.4 可再生能源法解析

从上面的法律法规，我们可以看出：

- 1) 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系统发出的电来回收，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。
- 2) 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。
- 3) 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。

## 8.2 可再生能源法在执行中的困难

实施细则中的光伏发电实施“一事一议”和“政府定价”方针与《可再生能源法》错位，使我国光伏发电市场至今没有实质性启动，造成如下困难：

### 1) 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<sub>p</sub>，小的也有几个 kW<sub>p</sub>。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。

到目前为止，电力部门还没有正式接受光伏发电并网，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。

### 2) 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 kW<sub>p</sub> 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。

## 9. 建议

- (1) 尽快由立法机构（人大常委会）根据《中华人民共和国可再生能源法》基



本精神组织专家制定实施细则，使法规和实施细则成为统一的整体，避免法规精神和原则与实施细则不符合的分离现象；否则，会形成有法不依、法规有名无实的问题；

- (2) 提高全党、全民的法治观念，切实贯彻实施《中华人民共和国可再生能源法》，特别是实施《可再生能源法》中的“上网电价”和“全网平摊”的法规原则。使《可再生能源法》在推动我国光伏发电发展中发挥重大作用；贯彻落实《可再生能源法》中其它的相应实施细则和政策，如减免税政策、减息贴息政策等；
- (3) 组织专家切实研究世界能源形势和中国能源形势，切实研究世界光伏发电的发展趋势，研究世界光伏发电发展路线图及其制定依据，在此基础上科学地制定我国光伏发展路线图和中长远发展规划，使该规划符合我国能源可持续发展的需要和环境友好发展的需要；
- (4) 技术进步是使光伏发电成本降低的主要因素。加强科技投入，提升我国技术进步的能力，加速光伏发电降低成本的速度；
- (5) 加大对太阳级多晶硅制造中关键技术攻关的支持力度，加速我国太阳级多晶硅产业技术水平和规模的提升；
- (6) 加强光伏技术研发能力，成立国家级可再生能源研发机构，从技术和政策上为国家发展可再生能源技术和产业提供最直接和最科学的咨询；
- (7) 建立我国自己的光伏技术和产品的认证机构和认证体系，促进我国光伏产业和市场的健康发展；
- (8) 加强科普教育和全民教育，提高全民对发展可再生能源的认识；在大学设立可再生能源相关的专业，加强人才培养；
- (9) 加强可再生能源的国际合作。当前特别重要的是关于可再生能源法规方面的合作，通过合作，健全和提升我国可再生能源法规机制及体系，强化我国可再生能源法规及其实施细则的科学性和可操作性，使我国可再生能源法的实施与国际接轨，这不但有利于我国能源的可持续发展，而且有利于我国光伏产业走向世界。

## 附录 1 中国光伏产业发展大事记（2004 年—2006 年 6 月）

1. 2004 年，中国光伏产业在国际光伏市场的拉动下开始了大发展时期。2004 年 1 月 1 日德国修改的《新能源法》实施，分类具体规定了可再生能源的上网电价，大大拉动了德国的光伏市场发展。在这个新背景下，不但使中国步履维艰的原有光伏企业获得了新的发展机遇，而且很多新的企业开始介入光伏产业。从晶体硅制造一直到太阳能电池组件封装和太阳能应用产品，水平不断提升，结构不断完善，规模不断扩大，中国光伏产业进入全面、快速的发展阶段。
2. 2004 年 8 月，深圳国际园林花卉博览园 1MW 并网光伏电站建成。该电站年发电量约 100 万度，总投资约 7 5 0 万美元，由中国科学院电工研究所北京科诺伟业科技有限公司建设。这是我国迄今最大也是当时亚洲最大的并网光伏电站。
3. 2004 年 11 月 15 日—19 日，第八届全国光伏会议暨中日光伏论坛在深圳及香港举行（中国太阳能学会光伏专业委员会和广东省太阳能协会共同主办）。人数、规模、论文数量达历届之最，反映了我国光伏产业的新兴局面。
4. 2005 年 2 月 28 日，第十届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议上通过《中华人民共和国可再生能源法》。该法自 2006 年 1 月 1 日起施行。这是我国可再生能源发展史上的里程碑事件。
5. 2005 年 10 月 10 日—15 日，第十五届国际光伏科学与工程大会（PVSEC-15）及上海国际太阳能展览会在上海国际会议中心举行（中国太阳能学会主办、上海交通大学承办）。与会代表逾千人，论文逾千篇，展览面积逾万平米，规模、人数、论文达 PVSEC 历史之最，反响强烈，反映了世界光伏技术及工程和产业发展的新形势。
6. 2005 年 12 月 14 日，无锡尚德太阳能电力公司在纽约证券交易所上市。这是我国光伏企业，乃至整个可再生能源企业首次在海外上市，在国内外引起极大反响。
7. 2006 年 4 月，国家发改委出台《中华人民共和国可再生能源法》实施细则暂行办法，规定了风电实施“招标定价”，生物质发电实行“标杆电价+0.25 元的上网电价”。而光伏发电执行“一事一议”的暂行办法。
8. 2006 年 8 月初，无锡尚德收购日本专业光伏组件生产企业 MSK，这是我国光伏企业乃至我国整个可再生能源企业跨国收购第一案，使我国光伏产业发展到新阶段的又一标志。

**附录 2 2000—2005 年中国太阳能电池产量、组件售价和累计用量**

年度	电池年产量 (MW)	组件售价 (元/Wp)	年安装量 (MW)	累计安装量 (MW)
1999	—	—	—	15.7
2000	2.8 (a-Si 0.6, c-Si 2.2)	a-Si 20-25 c-Si 35-45	3.3	19.0
2001	4.3 (a-Si 0.3, c-Si 4.0)	a-Si 20-25 c-Si 35-45	4.5	23.5
2002	6.0 (a-Si 2.0, c-Si 4.0)	a-Si 20-25 c-Si 30-35	20.3	45.0
2003	12.0 (a-Si 2.0, c-Si 10.0)	a-Si 20-25 c-Si 25-30	10.0	55.0
2004	50.0 (a-Si 5.0, c-Si 45.0)	a-Si 20-25 c-Si 30-35	10.0	65.0
2005	145.7 (a-Si 12.7, c-Si 133)	a-Si 25 c-Si 35	5.0	70.0

### 附录 3 中国太阳光伏能源系统标准

ID	标准编号	标准名称	被替代标准	国际标准编号	国际标准名称
1	GB/T2296-2001	太阳能电池型号命名方法	GB/T2296-1980		
2	GB/T2297-1989	太阳光伏能源系统术语	GB/T2297-1980		
3	GB/T6497-1986	地面用太阳能电池标定的一般规定	SJ/T2197-1982		
4	GB/T11009-1989	太阳能电池光谱响应测试方法			
5	GB/T11010-1989	光谱标准太阳能电池			
6	GB/T11011-1989	非晶硅太阳能电池电性能的一般规定			
7	SJ/T10459-1993	太阳能电池温度系数测试方法			
8	SJ/T10460-1993	太阳光伏能源系统图形符号			
9	SJ/T10698-1996	非晶硅标准太阳能电池			
10	GB/T6495.1-1996	光伏器件 第 1 部分 光伏电流-电压特性的测量	GB/T6493-1986 部分 GB/T6495-1986 部分	IEC60904-1 (1987)	Photovoltaic devices. Part 1: Measurement of photovoltaic current -voltage characteristics
11	GB/T6495.2-1996	光伏器件 第 2 部分 标准太阳能电池的要求	GB/T6493-1986 部分	IEC60904-2 (1989) IEC60904-2Amd.1 (1998)	Photovoltaic devices. Part 2: Requirements for reference solar cells
12	GB/T6495.3-1996	光伏器件 第 3 部分 地面用光伏器件的测量原理及标准光谱辐照度数据	GB/T6493-1986 部分 GB/T6495-1986 部分	IEC60904-3 (1989)	Photovoltaic devices. Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data
13	GB/T6495.4-1996	晶体硅光伏器件的 I-V 实测特性的温度和辐照度修正方法	GB/T6493-1986 部分 GB/T6495-1986 部分	IEC60891 (1987) IEC60891Amd.1 (1992)	Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices

14	GB/T6495.5-1997	光伏器件 第 5 部分 用开路电压法确定光伏 (PV) 器件的等效电池温度 (ECT)		IEC60904-5 (1993)	Photovoltaic devices - Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method
15	GB/T6495.8-2002	光伏器件 第 8 部分 光伏器件光谱响应的测量		IEC60904-8 (1998)	Photovoltaic devices - Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device
16	GB/T12632-1990	单体硅太阳能电池总规范			
17	GB/T14008-1992	海上用太阳能电池组件总规范			
18	SJ/T9550.29-1993	地面用晶体硅太阳能电池质量分等标准			
19	SJ/T9550.30-1993	地面用晶体硅太阳能电池组件质量分等标准			
20	GB/T9535-1998	地面用晶体硅光伏组件设计鉴定和定型	GB/T9535-1988 GB/T14007-1992 GB/T14009-1992	IEC61215 (1993)	Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval
21	SJ/T11209-1999	光伏器件 第 6 部分 标准太阳能电池组件的技术要求		IEC60904-6 (1994) IEC61904-6Amd.1 (1998)	Photovoltaic devices - Part 6: Requirements for reference solar modules
22	GB/T18912-2002	光伏组件的盐雾腐蚀试验		IEC61701 (1995)	Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules
23	GB/T18911-2002	地面用薄膜光伏组件设计鉴定和定型		IEC61646 (1996)	Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval
24	GB/T19394-2003	光伏组件的紫外试验		IEC61345 (1998)	UV test for photovoltaic (PV) modules
25	SJ/T10173-1991	TDA75 单晶硅太阳能电池			

26	GB/T18210-2000	晶体硅光伏方阵 I-V 特性的现场测量		IEC61829 (1995)	Crystalline silicon photovoltaic (PV) array - On-site measurement of I-V characteristics
27	SJ/T11127-1997	光伏发电系统的过压保护导则		IEC61173 (1992)	Overvoltage protection for photovoltaic (PV) power generating systems - Guide
28	GB/T18479-2001	地面用光伏发电系统-概述及导则		IEC61277 (1995)	Terrestrial photovoltaic (PV) power generating systems - General and guide
29	GB/T19393-2003	直接耦合光伏扬水系统的评估		IEC61702 (1995)	Rating of direct coupled photovoltaic (PV) pumping systems
30	GB/T11012-1989	太阳电池电性能测试设备检验方法			
31	GB/T12637-1990	太阳模拟器通用规范			
32	SJ/T10174-1991	AM1.5 稳态太阳模拟器			
33	GB/T20046-2006	光伏 (PV) 系统电网接口特性		IEC61727 (1995)	Photovoltaic (PV) systems -Characteristics of the utility interface
34	GB/T20047.1-2006	光伏 (PV) 组件安全鉴定 第一部分: 结构要求		IEC 61730-1 Ed.1.0	Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction
35	GB/T 19064- 2003	家用太阳能光伏电源系统技术条件和试验方法			

注：表中 GB 表示国家标准，SJ 表示行业标准