

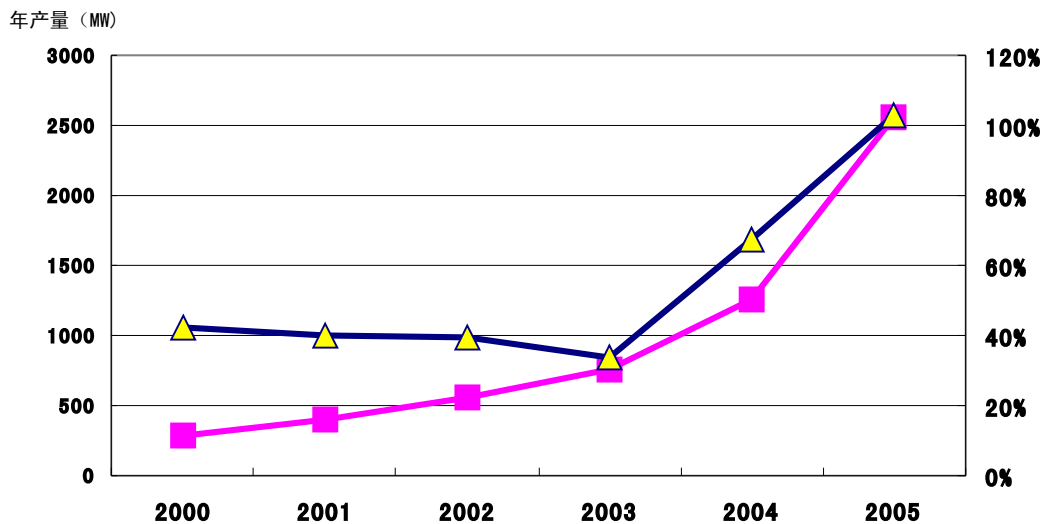
# 太阳能光伏发电技术

高虎<sup>1</sup>、许洪华<sup>2</sup>、李俊峰

## 国际市场发展趋势

世界光伏发电产业自 80 年代以来得到了迅速发展，平均年增长率达到 30%，近几年由于出现供不应求的局面，其发展更加迅速，成为全球增长最快的高新技术产业之一。进入 21 世纪，在欧洲、日本扶持政策的引导下，世界光伏发电技术和产业有了突飞猛进的发展，近五年的年平均增长速度超过了 50%。2004 年底，全球光伏发电产量超过 1250MW，2005 年年底的产量可能超过 2500MW，年增长速度超过了 100%，与 2000 年相比增长了约 9 倍，是 1999 年的 12 倍。

世界光伏发电产量增长趋势（2000-2005）



从市场市场份额为晶体硅电池占 90%以上，非晶硅电池占 9%，其

<sup>1</sup> 高虎、李俊峰 国家发展和改革委员会能源研究所

<sup>2</sup> 许洪华 中国科学院电工研究所

它类型电池占 1%，生产大国主要集中在欧洲、日本、美国和中国。在产业化方面，各国一直在通过改进生产工艺、扩大规模和开拓市场等措施降低成本，并取得了巨大进展。以美国为代表，其能源部 1990 年启动了光伏制造技术的产业化发展计划，该计划通过国家可再生能源实验室实施，并成立了国家光伏中心，联合产业界、高等院校和研究机构共同进行攻关，以求大幅度降低成本。这一计划的实施已取得显著的成果：商品化晶体硅光伏电池组件的光电转换效率从 10 - 13% 提高到 17% 以上；生产线生产规模从 1 - 5MW/年，发展到 5 - 20MW/年；生产工艺不断简化，自动化程度不断提高，出现了 10 多家年产量超过 100MW 的大型企业。10 年来，世界晶体硅光伏组件的生产成本降低了 32% 以上，达到 3 美元/峰瓦左右；国际市场晶体硅光伏组件的售价在 4 美元/峰瓦左右，这种趋势仍在继续发展。日本和欧盟各国也有类似的计划。竞争促使各发达国家的产业化技术几乎以大致相同的水平和速度向前发展。

目前，光伏发电技术和其它可再生能源技术一样成为全球减排温室气体的重要手段。2004 年底，世界已经安装的光伏发电系统总容量超过了 3500MW，光伏市场的结构为：30% 用于为住宅、村庄和泵水系统供电，25% 用于通信设备和远程设备的电源，40% 用于并网发电，5% 用于计算器、手表和其他小型产品供电的电源。近年来，世界光伏市场发生了很大变化；开始由主要为边远农村地区和通信设备、气象台站、航标灯等特殊应用领域解决供电问题，逐步向并网发电和与建筑相结合的常规供电方向 and 商业化应用方向发展，2004 年并网发电技术的增速达到 66%；开始由作为补充能源逐步向替代能源过渡。从发展趋势看，比较普遍的预测结果认为，到 2050 年左右，太阳能

光伏发电将达到世界总发电量的 10 - 20 %，成为人类的基础能源之一。

在稳定和迅速发展的市场的刺激下，世界各大公司纷纷制定和实施扩大规模的计划，总计新增光伏组件生产能力达 3500MW/年。如：日本夏普公司 2005 年光伏电池的生产能力已经扩大到 200MW/年；壳牌公司收购西门子太阳能公司后，也形成了年生产能力 100MW 的能力，我国的无锡尚德和河北天威英力 2005 年的生产能力都达到了 100MW 以上。预计今后 10 年光伏组件的生产量仍将以每年 20% - 30% 以上甚至更高的速度发展，到 2010 年将可能达到 5000MW/年的生产量，总装机容量将可能达到 2000 万千瓦。在应用范围上，光伏系统将逐步由作为边远地区和农村地区的补充能源，向作为全社会的替代能源过渡。

### 国际技术发展趋势

光伏发电是通过太阳能电池实现光—电直接转换的过程，是太阳能开发利用的重要途径之一，在世界范围内受到高度重视。在光伏电池及制造技术方面，晶体硅光伏电池是目前国际光伏市场上的主流产品，占世界光伏电池产量的 80% 以上，预计在相当一段时期内晶体硅光伏电池仍为主角，并将向高效率、低成本和薄片化方向发展。降低硅材料的生产费用是降低光伏电池成本的关键。多晶硅光伏电池比单晶硅光伏电池的材料成本低，是世界各国竞相开发的重点，它的研究热点包括：开发太阳级多晶硅生产技术、开发快速掺杂和表面处理技术、提高硅片质量、研究连续和快速的布线工艺、多晶硅电池表面织构化技术和薄片化、高效花电池工艺技术等，以进一步降低成本。非晶硅电池仍处在发展之中，每年的新增产量在 10MW 以上。

从降低成本角度讲，薄膜电池大大节省了昂贵的半导体材料，具有大幅度降低成本的潜力，因而也是当前国际研究开发的主要方向之一。国际上已经开发出电池效率在 15%以上、组件效率 10%以上和系统效率 8%以上、使用寿命超过 15 年的薄膜电池工业化生产技术。目前已实现产业化和正在实现产业化的有多晶化合物半导体薄膜电池（包括碲化镉、铜铟硒等）、非晶硅薄膜电池，多晶硅薄膜电池也很有发展前景，但目前尚处于市场化的探索阶段。

### 国内光伏市场现状与需求趋势

九十年代以来，我国光伏发电市场需求旺盛，光伏电池销售量年均增长率在 30%左右。到 2005 年底，我国光伏电池的地面应用累计用量约为 100MW，应用领域包括微波中继站电源、卫星通信地面站电源等通信领域；铁路、公路信号电源系统、航标灯等工业领域；独立光伏电站、户用光伏电源等农村电气化领域；以及太阳能充电器、太阳能计算器、太阳能手表等民用商品等。90 年代以前，我国边远地区的光伏发电市场主要由国家扶贫项目支撑。“十五”期间，国家安排了“光明工程”、“西部新能源行动”等电力和科技扶贫项目，一些双边或多边的技术援助项目也开展了支持我国光伏发电市场的促进项目，包括荷兰、美国、德国、法国和日本等双边援助计划，特别是 2002 年国家发改委启动的“送电到乡”项目，安装了共计 800 座 17MW 的光伏和风光互补发电系统，极大地刺激了我国光伏市场的扩大，并推动了我国光伏产业的发展。

未来我国的光伏市场仍旧有着巨大的开发空间。目前我国尚有大约 800 多万户、3000 多万的农牧民生活在无电的农牧区，60%的有电县处于缺电甚至严重缺电状态，这些电网难以延伸到的地区太阳能资源丰富，将是光伏发电的主要市场之一。光伏水泵技术目前日趋成熟，

独立光伏系统在我国 400 多个住人岛屿上，经济性和可靠性都要好于现在采用的柴油发电机，而在这两个发展领域，我国基本上没有真正开始。我国有很多风力资源和太阳能资源都很好而常规能源相对缺乏的地区，风光互补发电系统在提供清洁、可靠的电力方面具有明显的优势。此外，随着技术的进步和成熟，并网光伏发电系统将会快速发展，在我国的电力结构中发挥重要替代能源的作用。

光伏市场领域的发展取决于技术进步和光伏产品经济性的改善。在近期（未来十年内），我国的光伏发电市场还将集中在通信和边远地区的电气化的应用上；光伏电池的年产量预计在 50MW 左右，电池的组件价格达到 25 - 30 元/峰瓦，系统价格达到 45-60 元/峰瓦，系统的年市场量预计在 2010 年达到 60-100MW。对于远期的光伏市场，随着光伏发电系统成本的降低，将扩大到海岛、工业领域，以及城市屋顶发电系统与沙漠电站系统的示范和试点，并应用规模上逐步扩大。如果光伏发电系统的成本降低幅度较大，达到目前价格的一半以下，则光伏发电系统扩展到公共电力规模的应用是极有可能的，届时屋顶光伏发电系统、容量在 100 千瓦以上的大型光伏电站、几百千瓦到 MW 级的中心并网电站、大型风/光互补电站等将会在未来公共电力中占据更大的份额。2004 年我国完成的科技发展战略规划和可再生能源发展规划，都把光伏发电作为重要的支持领域，2010 年和 2020 年分别达到 50 万和 200 万千瓦。这些规划目标为我国光发电产业的发展提供了一定的市场需求空间。

### **国内光伏产业发展水平与技术进步**

经过多年积累，我国在光伏发电技术研发工作上先后通过 863 计划、攻关计划安排，开展了晶体硅高效电池、非晶硅薄膜电池、碲化镉和铜铟硒薄膜电池、多晶硅薄膜电池以及应用系统的关键技术的研

究。特别是十五期间，国家通过科技攻关和 863 计划安排支持了一批提高现有装备生产能力的项目，大幅度提高了光伏发电技术和产业的水平，大大缩短了光伏发电制造业与国际水平的差距。特别是无锡尚德，通过国家十五科技攻关和产业化扶持，2005 年的生产能力达到了 150MW，跻身世界五强，其组建效率达到 16%以上，也处于世界先进水平。通过国家十五科技攻关计划，还支持了深圳拓日等企业进行非晶硅薄膜电池的规模化生产，生产能力达到了 10MW，使得我国成为世界非晶硅薄膜电池主要供应商之一。

此外，通过 973、863 等高技术计划的支持，我国在碲化镉和铜铟硒薄膜电池、敏化太阳能薄膜电池、多晶硅薄膜电池以及应用系统的关键技术的研究方面有重大的进展或突破。其中碲化镉和铜铟硒薄膜电池小型电池组件的效率达到了 7%以上，由国际水平相接近，可望在 2006 年底之前形成小批量的生产能力，为十一五规模化生产奠定了技术基础。在应用技术方面，国家十五期间安排了屋顶并网发电技术、高压并网发电技术科技攻关，建成一批 10-50kW 的屋顶系统，分别在深圳建成了 MW 级低压并网光伏电站一座和拉萨建成了 100kW 的高压并网发电站一座，在光伏发电并网技术方面有了坚实的技术积累，为 2010 年和 2020 年屋顶光伏并网发电技术和沙漠电站技术的规模化发展积累了经验。

在产业化方面，目前国内光伏发电的主要产品是晶硅电池及非晶硅电池，其中晶硅光伏电池中早期基本是单晶硅，近年来新建立的多数是多晶硅光伏电池生产线。到 2005 年底，我国已建成 10 多个一定规模的光伏电池专业生产厂，光伏电池组件的年生产能力超过 200MW。尤其是晶体硅光伏电池组件的封装能力大大加强，10MW 规模及以上的光伏电池封装技术及其配套装备已经成为商业化的工业装备。十五

期间，仅在中国的河北、江苏、上海和浙江等地，就形成了上百 MW 光伏电池组件的封装能力。

### 2.3 问题和对策

通过十五国家科技攻关、973、963 高技术计划，以及产业化扶持，我国光伏发电产业有了长足的进步，尤其是在电池封装、系统集成、并网发电技术等方面与国外的差距进一步缩小，但是，随着未来光伏产业的扩大会对太阳级硅材料产生巨大的需求的增长，我国的原材料自给率能力太低的矛盾将日益突出。虽然我国也在扩大硅材料生产能力做出了努力，但仍然无法摆脱对进口的依赖，已有的生产线普遍存在开工不足，原材料的短缺将成为未来我国光伏产业发展的一个瓶颈。

我国半导体工业的电子级 (EG) 多晶硅的生产能力小，单厂能力不足 100 吨/年，总产量不足 200 吨/年，尚无法满足光伏工业发展的需要。目前国内太阳级单晶硅拉制和多晶硅铸锭所用的硅材料绝大部分是进口的。我国在四川乐山正在建造年产 1000 吨的 EG 多晶硅生产线，有望向光伏工业提供部分原料，但仍不能满足我国光伏产业对硅原材料的需求。

此外，随着“送电到乡”项目的实施，以及“可再生能源法”的出台，光伏产业越来越受到各界的重视，但目前我国光伏电池生产能力与我国光伏发电的市场潜力相比，已经基本饱和，新建立的企业和生产能力主要瞄准的是国际市场。这种“市场”和“原材料”均依赖国外的情况，反映出我国的光伏市场存在着一定程度的虚热，光伏产业的稳定和可持续发展也存在着一定的隐患。此外，经过近二十年的努力，我国光伏产业总体上已有一定的基础，但产业规模和产品的技术水平和国际先进水平一定的差距，商品化太阳电池的效率水平相差

一个百分点以上，生产成本仍高于国外产品，产品竞争性较差。

世界各国的经验表明，稳定且不断发展的市场和强有力的政府支持是光伏电池研发的根本动力。只有建立起稳定的国内光伏发电市场，才可催生出高起点、技术经济实力强、光伏电池生产能力大的光伏企业集团，形成规模优势，大幅度降低成本，提高产品竞争力，并逐步开拓出国际市场。为此国家应该继续培育国内的光伏市场，如开展“送电到村”项目，加大城市屋顶和沙漠并网电站的研发和示范投入等，同时注意人才培养，抓紧技术平台和队伍的建设，积极研发新型电池生产和应用技术，努力降低成本，并从税收、信贷等方面扶植光伏产业，从而为 2020 年前后光伏发电的大规模发展奠定基础。

注：此文发表于《中国能源科技》