

我国发展太阳能发电技术产业的思考

- 能源问题，成为我国经济发展的一个重要问题。为了落实科学发展观，建设节约型社会，到“十一·五”计划末，要实现资源利用效率显著提高，单位国内生产总值能源消耗降低 20%左右。包括太阳能发电在内的新的可再生能源的利用，将成为实现这一目标的关键。为此，“可再生能源法”已于 2006 年 1 月 1 日正式实施。到 2020 年，我国将大力扶持包括产业在内的可再生能源产业，我国的太阳能发电技术产业将迎来一个大发展时期。

据不完全统计，现在我国从事太阳能发电技术产业研究、开发、生产和应用的单位已超过 100 家，出现了类似无锡尚德太阳能电力公司和保定英利新能源有限公司等知名的大企业，中电电气集团等其他行业的大企业纷纷进入，我国的太阳能发电技术产业迅速壮大，早已突破以前提出的 2006 年年产太阳电池 20MW，太阳能发电设备累计装机容量 80MW 的指标。但是，也存在一些问题。其中主要产品太阳电池组件的上下游两头在外：90%以上的原依赖进口，90%以上的产品依赖出口。很可能将阻碍我国太阳能发电技术产业的发展。

太阳能发电技术作为一种多学科综合交叉技术，包括物理电源（太阳电池）、化学电源（蓄电池）和电源变换（逆变器、充电器）等电源技术，也受到越来越多的电源工作者的注意。期刊《电源资讯》2006 年第 6 期发表了“太阳能光伏发电产业的发展趋势和展望”，读后深受启发，也引起笔者进行思考。在这里，从国际费用分析产业项目的几个方面：技术、材料、国外现状（同行业现状）、相关技术等，对我国发展太阳能发电技术产业的问题和趋势谈谈看法，和大家进行交流。如果有什么不当之处，敬请指正。

1 太阳能发电技术

1.1 太阳能发电的特点

太阳能发电技术主要包括：太阳电池和矩阵、蓄电池和充电器、逆变器等技术。它具有以下特点。

(1) 利用太阳能。优点是太阳能总量巨大，是使用不会枯竭的能源；没有影响环境的排泄物，是最清洁的能源；不集中在某个地方，是在整个地球上都可以利用的能源。但是，不集中也是它的缺点。有时可采取聚焦等方法，来提高效率。另外，还受天气影响，一般在计算太阳电池的转换功率时，都是在规定的天气和辐射条件下来确定，采用单位叫峰瓦，符号为 W_p 。下面为了方便起见，在本文中仍用瓦 (W) 作为单位，但是实际意义是峰瓦 (W_p)。

(2) 太阳能发电使用的是静止装置，无可动部分，容易维护。太阳电池、蓄电池和逆变器都可以采用模块结构，自由组合，可大可小，可以大规模生产，降低成本。不需要运送燃料，可以放置在边远地区和海岛上。建设工期比水电站和火电站短，节省施工费用。

(3) 太阳能发电一般把设备安装在用户所在地，可以节省输配电设备。据日本有关统计资料，可节约供电成本 25%左右。但是 1MW (1 000kW) 以上的太阳能发电系统，仍然要采用输配电设备，形成独立电网。

根据国家发改委、国家科技部共同提出的可再生能源发展的总目标：“提高转换效率，降低生产成本，增大在能源结构中所占比例。”太阳能发电技术的发展方向主要也是提高转换效率，降低生产成本。

1.2 太阳电池

太阳电池技术是太阳能发电技术的主要组成部份。太阳电池的光电转换效率是代表材料性能、器件结构、制备技术、工艺设备和检测手段等综合性能水平的标志性指标。太阳电池的光电转换效率分为两种。一种是小尺寸（例如 1cm^2 ）的研究开发水平：单晶硅太阳电池 24.7%，多晶硅太阳电池 19.8%，非晶硅太阳电池 15%，铜铟硒太阳电池 18.8%，砷化镓太阳电池 33%，有机纳米晶太阳电池 5.48%。一种是大尺寸（例如 1200cm^2 ）的商品化生产水平：单晶硅太阳电池 15%，多晶硅太阳电池 12%，非晶硅太阳电池 8%，铜铟硒太阳电池 10%。以上数据都是从已经公开发表的文献资料中收集来的，现在可能已有所变化。

提高太阳电池的光电转换效率是降低太阳能发电设备成本的主要手段。转换效率高，可以在同样发电容量下，减少太阳电池矩阵面积，减少太阳电池模块用量。因此成为太阳能发电技术的主要发展方向。

我国从上世纪 50 年代起就开始对太阳电池进行研究。1993 年成立中国光电发展技术中心，上世纪 80 至 90 年代先后从国外引进多条太阳电池生产线。到 2001 年，太阳电池的年生产能力达到 6.5MW/年。近几年，太阳电池的研究开发和生产飞跃地发展。保定英利新能源有限公司建成 500MW 的太阳电池生产线。南开大学在天津建立铜铟硒太阳电池中试线，使我国成为继德、美、日之后第 4 个开展这种电池中试的国家。中国科学院半导体研究所对非晶硅太阳电池转换效率下降机制的研究取得国际上领先的成果，转换效率最低可限制在 10%以内。中国科学院物理研究所研制的有机纳米晶太阳电池，转换效率达到 5.48%，向实用性产品迈出了重要一步。从整体上看，我国不但在太阳电池生产能力上进入国际先进行列，而且在两大主要发展的太阳电池产品：非晶硅太阳电池和铜铟硒

太阳能电池的研究开发上达到国际先进水平。同时还在新的有机纳米晶太阳能电池的研究中取得国际领先的成果。

1.3 逆变器技术

逆变器技术也是的主要组成部分。对逆变器的主要要求有以下三点。

(1) 可靠，能满足使用条件要求国大多数独立型太阳能发电设备用于边远地区和海岛，要求逆变器能承受恶劣的使用条件，能保证在少维护条件下长期工作。大多数并网型太阳能发电设备用于家庭，要求逆变器的电磁干扰少，不影响人的生活环境，也不妨碍其他家用电器工作。

(2) 效率高国由于现在常用的太阳能电池矩阵的光电转换效率小于 15%，如果逆变器效率低，将太阳能电池好不容易转换来的电能损耗掉，十分可惜。这样势必要增加矩阵中太阳能电池组件的数量，增大矩阵所占的面积，从而大大增加太阳能发电设备的投资和土建费用。所以，要求逆变器效率要大于 90%。

(3) 波形畸变小，功率因数高国并网型太阳能发电设备要并网，逆变器输出波形必须与外电网一致，波形畸变小于 5%，高次谐波含量小于 3%，功率因数接近于 1。独立型太阳能发电设备中的逆变器波形畸变可以大一些，小于 10%。

太阳能发电用逆变器分为以下几种形式。

(1) 工频变压器绝缘方式国用于独立型太阳能发电设备，可靠性高，维护量少，开关频率低，电磁干扰小。

(2) 高频变压器绝缘方式国用于并网型太阳能发电设备，体积小，重量轻，成本低。要经两级变换，效率问题比较突出，采取措施后，仍可达到 90%以上，高频电磁干扰严重，要采用滤波和屏蔽措施。

(3) 无变压器非绝缘方式国本来希望进一步降低成本，从两级变换变为单级变换，提高效率，使它成为并网型太阳能发电设备中更理想的逆变器，但是使用中出现问题。无变压器非绝缘方式逆变器不能使输入的太阳能电池与输出电网绝缘隔离，输入的太阳能电池矩阵正、负极都不能直接接地。太阳能电池矩阵面积大，对地有很大的等效电容存在，将在工作中产生等效电容充放电电流。其中低频部分，有可能使供电电路的漏电保护开关误动作。其中高频部分，将通过配电线对其他用电设备造成电磁干扰，而影响其他用电设备工作。这样，必须加滤波和保护，达不到降低成本的预期效果。

(4) 正激变压器绝缘方式是在无变压器非绝缘方式使用效果不佳之后开发出来的,既保留了无变压器非绝缘方式单级变换的主要优点,又消除无绝缘隔离的主要缺点,是到目前为止并网型太阳能发电设备比较理想的逆变器。

我国从上世纪 80 年代起开始对太阳能发电设备用逆变器进行研究开发,现在已有专门的单位研究开发和生产。由于我国并网型太阳能发电设备还未形成规模生产,如何正确选定并网型太阳能发电设备用逆变器,将是近期必须面对的一个重要课题。最近报道,国内有人开发出“零功耗光伏并网逆变器”。在这里对此发表一点不同的意见,供研究开发者参考。“零功耗”,或者“无功耗”,虽然据研究开发者说,实际上有功耗只不过功耗小到接近于零,是略有夸张之意的一种说法。但是,有与无,大与小,零与微小是两种不同概念。绝不能把“小”说成“无”,把“微小”说成“零”。这样,“零功耗”,效率将达到 100%,是不是开发出一种新的“永动机”了吗?有时,真理和谬误只相差一步,迈过这一步,就会闹出大笑话!作为科技工作者,要使用严谨的科学用词,不能使用广告式的语言,希望与有关的朋友共勉吧。

2 材料是决定技术产业发展的大问题

和研究开发阶段不同,在规模生产阶段,开发出来的产品,需要有足够的原材料才能批量生产。如果没有可靠稳定的材料来源,技术产业的发展很可能停滞,甚至夭折,这方面的经验教训相当不少,值得注意。

我国现在生产的太阳电池所用的,90%以上采用提炼的纯净硅(包括单晶硅和多晶硅)。据资料报导,2005 年我国太阳电池需用多晶硅 2 691 吨,其中无锡尚德太阳能电力有限公司和保定英利新能源有限公司两家生产太阳电池的大企业就需用多晶硅 1000 吨左右。国内目前只有峨嵋半导体材料厂和洛阳单晶硅有限公司生产多晶硅,2004 年产量为 60 吨。90%以上的多晶硅只能从国外进口。但是,在我国多晶硅供需严重失衡的情况下,国外多晶硅主要生产企业结成企业联盟,严格控制技术转让并垄断全球多晶硅材料,抬高多晶硅价格,从 13 美元/kg 上涨到 2005 年的 80 美元/kg。更有,由于我国出口的太阳电池组件价格低于某些多晶硅供应国生产出口的太阳电池组件价格,他们对我国采取限购甚至禁购多晶硅材料的办法,以维护自身的市场。使我国某些太阳电池生产企业,即使出高价也购买不到足够的多晶硅材料,形成非常尴尬的局面。太阳电池 90%以上的多晶硅材料依赖进口,已经成为制约我国产业的瓶颈。

为了改变这一尴尬局面,必须集中力量突破原材料这一难关。虽然以前我国从“七·五”计划立项到“十·五”期末都未能突破多晶硅材料的关键技术,但是现在情况不一样了。在如此巨大的市场需求和经济效益推动下,投资者和科技工作者都会集中力量攻关,使多晶硅材料从 60 吨迅速扩产到 3000 吨是完全可能的。因为国内已有生产单位可以作为依托,并不是从零开始。据报道,洛阳中硅高科技有限公司 2005 年 9 月投产 300 吨多

晶硅生产线，就是一例。与此同时，还正在研究开发用其他材料的太阳能电池项目，例如铜铟硒太阳能电池，有机纳米晶太阳能电池和非纯净硅材料太阳能电池生产技术。现在，我国太阳能发电技术产业的最佳切入点，不再是扩大多晶硅太阳能电池生产，而是开发其他材料的太阳能电池，尤其是如何解决太阳能电池的多晶硅材料供应问题。

3 市场

现在，我国 90%以上的太阳能电池出口，也会成为限制我国太阳能发电技术产业发展的另一个大问题。

我国太阳能资源丰富。按各地区接受年太阳辐射总量的多少，可以把全国划分为五类地区。一类地区为太阳能资源最丰富的地区，年太阳辐射总量 $6\ 680\sim 8\ 400\text{MJ}/\text{m}^2$ ，包括宁夏北部、甘肃北部、新疆东部、青海本部和西藏西部。二类地区为太阳能资源较丰富地区，年太阳辐射总量 $5\ 850\sim 6\ 680\ \text{MJ}/\text{m}^2$ ，包括北京、天津、河北西北部、山西北部、内蒙古中部和南部、宁夏南部、甘肃中部、青海东部、新疆南部和西藏东南部。三类地区为太阳能资源中等类型地区，年太阳辐射总量为 $5\ 000\sim 5\ 850\ \text{MJ}/\text{m}^2$ ，包括河北东南部、山西南部、吉林、辽宁、陕西北部、甘肃东南部、新疆北部、云南、河南、广东南部、香港、澳门、山东、江苏北部、安徽北部、福建南部和台湾西南部。四类地区为太阳能资源较差地区，年太阳辐射总量 $4\ 200\sim 5\ 000\ \text{MJ}/\text{m}^2$ ，包括内蒙古北部、黑龙江、陕西南部、湖北、湖南、广西、广东北部、上海、江苏南部、安徽南部、江西、浙江、福建北部和台湾东北部。五类地区为太阳能资源最差地区，年太阳辐射总量 $3\ 350\sim 4\ 200\text{MJ}/\text{m}^2$ ，包括四川、重庆和贵州。我国总面积 2/3 以上属于一、二、三类地区，年平均日辐射量在 $4\ 000\text{MJ}/\text{m}^2$ 以上，年日照时数超过 2 000 小时。同世界上同纬度的其他国家相比较，与美国相接近，比日本和欧洲国家都好。我国这样丰富的太阳能资源，为发展太阳能发电产业，提供了良好的市场。例如日本大部份地区相当于我国的四类地区，建造同样的 3 kW 并网型户用太阳能发电设备，按综合效率 75%，太阳能电池光电转换效率 10% 计算，日本需用 28m^2 太阳能电池，我国三类地区需用 20m^2 太阳能电池，可节约 28.5% 太阳能电池费用，有利于并网型户用太阳能发电设备的推广使用。

要把良好的市场条件变成现实的市场，关键取决于成本，也就是太阳能发电设备的发电成本。太阳能发电设备的发电成本，由设备初投资和利息加运行维修费再按运行寿命 20 年，每年日照时数所发出的电量分摊，就可计算出每度电 ($\text{kW}\cdot\text{h}$) 的发电成本。太阳能发电设备运行中不消耗燃料，在运行寿命 20 年期间，除蓄电池外，基本上不需要维修，因此发电成本主要决定于设备初投资和利息。太阳能发电设备的投资大致分为太阳能电池矩阵占 60%，逆变器占 15%，蓄电池占 15%，其他为 10%，其中太阳能电池价格是主要因素。所以，一般文献资料在列出太阳能发电设备的发电成本时，都要同时列出太阳能电池价格和太阳能发电设备价格。现在看到的文献资料说法不一致。作者比较相信的是 2006 年的太阳能电池价格为 3.15 美元/W，发电设备价格 6 美元/W，发电成本 0.25 美元/ $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

2010 年的太阳能电池价格 1.8 美元/W,发电设备价格 3 美元/W,发电成本 0.1 美元/kW·h。遗憾的是,没有明确是指国外还是国内的平均价格,也没有说明发电成本和上网电价之间的关系,所以才出现上网电价 3.4 元或 4.5 元/kW·h 与发电成本 0.25 美元/kW·h 之间比较大的差距,让读者无法弄清楚到底是怎么一回事?根据参考文献[1]中提供的风力发电成本与售价关系,可以推算出:上网电价等于发电成本乘 120% (考虑 20%利润)再乘 117% (再考虑 17%增值税),也就是上网电价等于 1.404 倍发电成本。按照这个算法,2006 年的太阳能发电设备的上网电价为(人民币)2.8 元/kW·h 左右,2010 年的上网电价应为 1.12 元/kW·h 左右(按 1 美元等 8 元人民币计算)。

根据“可再生能源中长期发展规划”,2010 年,我国太阳能发电设备累计装机容量达到 500MW,其中 300~350 MW 用于解决边远地区无电区的供电。2020 年达到 2 000MW,为我国太阳能发电产业的发展提供了巨大的机遇,除了通讯、交通和照明,我国的太阳能发电设备的市场主要有两个:独立型发电设备和并网型太阳能发电设备。下面分别讨论其中的一些问题。

我国从上世纪 80 年代起就开始推广 100~500W 的农牧民户用太阳能发电设备。后来实施光明工程,解决边远地区无电的 2 300 万人民的生活用电问题。从 2001 年起,实施“全球环境基金/世界银行可再生能源发展项目”和联合国开发计划署支持的可再生能源村落发电项目计划,到现在为止,已安装 50 万套以上 100~500W 的用户太阳能发电设备,在边远地区和海岛上建立了县级、乡级、村级、学校用 1 kW、10 kW 至 100 kW 大大小小的太阳能发电站将近 1000 座,累计总容量已达 50MW,今后还会以超过 30%的速度逐年迅速增加。从 1985 年在甘肃省榆中县园子乡建成 10 kW 太阳能发电站起,经过 20 多年,我国独立型户用和 100 kW 以下太阳能发电设备技术已基本成熟。今后,除了继续推广户用和中小型太阳能发电设备外,还要向大型 1MW 以上的太阳能发电站发展。2004 年 9 月在广东深圳建成 1MW 太阳能发电站。2007 年以前上海准备建设总容量 5MW 的示范太阳能发电站,其中首先在崇明岛建设 1MW 太阳能发电站。四川攀西地区准备建设 2MW 太阳能发电站。2005 年甘肃《敦煌 8MW 并网光伏发电系统建设预可行性报告》,已通过专家评审,列入国家“十一·五”规划,如果建成容量将超过现在世界上最大的 6.45MW 太阳能发电站。

我国发展独立型太阳能发电设备具有独特的优势。现在的无电区都处于太阳能资源丰富的一、二、三类的西部地区和东南部海岛,太阳能辐射总量大,年平均日照时间长,建设太阳能发电站可以少用太阳能电池和蓄电池,年发电量高,从而使太阳能发电成本显著下降。如果用柴油发电来解决这些无电地区的供电问题,其发电成本考虑运输费用在内,超过太阳能发电成本。如果从现有输电网架设线路来解决这些无电地区的供电问题,投资费用大。据资料介绍,建设 1km 的输电线路,相当于 5~6 kW 太阳能电设备的投资费

用。无电地区绝大部分都离输电网几十 km，即使建设 100 kW 以上的太阳能发电站的投资费用也低于建设输电线路的费用。

独立型太阳能发电设备中的逆变器，要根据容量大小来选用不同的类型。100~500W 户用太阳能发电设备，现在主要采用工频变压器绝缘方式。10 kW 以下的太阳能发电站也可以采用工频变压器绝缘方式。因为既可靠，又稳定，维修量少，比较适合在边远地区工作。但是，现在的工频变压器绝缘方式逆变器，主变压器铁心采用取向冷轧硅钢，为了减少铁心损耗，工作磁密低，体积和重量大。为改变这种主变压器，美国在上世纪 80 年代，就已经采用铁基非晶合金铁心，在同样的逆变器效率下，铁心重量减少三分之一，主变压器重量减少五分之二。现在，我国铁基非晶合金铁心和变压器生产技术已经成熟，同时取向冷轧钢的价格上涨，已超过铁基非晶合金价格，完全有条件采用铁基非晶合金铁心制造太阳能发电设备中的逆变变压器。100kW 以上的太阳能发电站可以采用高频变压器绝缘方式或者正激变压器绝缘方式，高频变压器和正激变压器都可以采用非晶和纳米晶合金铁心，工作频率 20kHz，可以完全保证 90%以上的逆变效率。现在 50kW 以上的太阳能发电站中的逆变器，国外已有企业采用模块结构，每个模块 10 kW 或 20 kW，既便于生产，又可以灵活组成各种容量的逆变器，还可以提高运行的可靠性。10 kW 以上的太阳能发电站，如果供一个地区使用，还需要小型的输配电网，供电距离小于 500m，可采用 380/220V 电压等级。供电距离 3km 以上，可采用 1kV 或 6kV 电压等级。逆变器输出从 220 V 升至 1 kV 或 6 kV，线路结构不变，只需要改变主变压器的参数和绝缘结构，这时逆变器采用工频变压器绝缘方式比较好，便于实现高压绝缘隔离。

并网型户用太阳能发电设备将成为我国太阳能发电产业的另一个主要市场。根据 2006 年 1 月 1 日实施的《可再生能源法》，并网型户用太阳能发电设备可以合法地与电网相联，在白天可以把太阳发电设备发出的多余的电供给电网，在晚上可以由电网供电。标志着太阳能发电由边远和海岛地区的特殊供电电源向一般电网电源发展，由补充能源向替代能源发展。并网型户用太阳能发电设备有以下优点：

- (1) 安装在屋顶上，节省太阳电池矩阵结构；
- (2) 直接与电网相连，不需要蓄电池和充电器；
- (3) 直接供给用户，不需要输配电设备。

因此，发电成本比同地区的独立型太阳能发电设备低。

不过，目前并网型户用太阳能发电设备的上网电价超过 3 元/kW·h，远远高于电网城乡电价 0.5 元/kW·h，电网公司不可能用这样高的价格购买并网型户用太阳能发电设备多余的电力。如果并入电网让所有的用户分摊，将损害收入较低人群的利益，不利于建设

和谐社会。在这种高发电成本条件下，在我国推广并网型户用太阳能发电设备，即使采用政府补贴，仍然相当困难。现阶段应当通过试验性并网型户用太阳能发电设备，解决关键技术问题，使发电成本降到接近火力发电成本，并网型户用太阳能发电设备才能在真正意义上大规模推广。

4 国外现状

目前全世界有 136 个国家正在普及推广应用，其中 95 个国家正在大规模研究开发和生产各种太阳能发电设备和太阳电池应用产品。2005 年全世界太阳电池总产量已经达到 2 000MW。其中日本发展较快，太阳电池产量约占世界总产量的 50%，10 年内太阳电池的每 W 成本下降 90%。2001 年时日本太阳能发电设备累计总装机容量为 450 MW，2003 年为 887 MW，2004 年达到 1 900 MW，估计到 2008 年达到 2 350 MW，2010 年达到 5 000MW。2010 年全世界太阳能发电设备累计总装机容量达到 18000MW。

世界各主要国家都在努力提高太阳能发电设备的生产规模和应用规模，因为太阳电池从生产量 10MW 开始，每增加一倍，成本将降低 20%。应用上建立 MW 级的大型太阳能发电站，不但可以降低成本，还可以缓解荒漠和海岛地区的供电和环境问题，为荒漠地区打井抽水和海岛淡化海水提供动力，改善生态环境。现在世界上 MW 级太阳能发电站已超过 10 座，其中最大的一个容量达到 6.45MW。

并网型户用太阳能发电设备，从 1994 年后迅速发展，到 2003 年已占当年太阳能发电设备的 55%。其中比较突出的是美国，1997 年提出的“百万太阳能屋顶计划”，按每户 3 kW 计算，计划到 2010 年将在 100 万个用户屋顶上安装共计 3 000MW 的太阳能发电设备。德国 1999 年开始实施的 10 万太阳能屋顶计划，在 2005 年安装共计 300~500MW 的太阳能发电设备。日本从 1994 年开始发展并网型户用太阳能发电设备，到 2004 年已安装 58000 套，到 2008 年要达到 147600 套。

日本为了发展并网型户用太阳能发电设备（3~5kW），把它作为一种新的家用电器来对待，突破关键技术，降低成本。这其中包括把太阳电池的转换效率提高到 15%以上，发展新型的高频变压器绝缘方式或正激变压器绝缘方式逆变器。据资料介绍，2005 年日本太阳电池价格为 140 日元/W，并网型户用太阳能发电设备价格为 370 日元/W，发电成本为 30 日元/kW·h。2010 年将分别下降为 120 日元/W，300 日元/W 和 25 日元/kW·h。2020 年将分别下降为 60 日元/W，200 日元/W 和 15 日元/kW·h。到那时完全可以和火力发电价格相竞争。

5 相关技术

我国发展的可再生能源技术比较多，与太阳能发电技术可以相比的首推风力发电技术。据估计，中国 10 m 高度层实际可开发的风能储量为 $2.53 \times 10^8 \text{ kW}$ ，如果年满发电按 2 000 小时到 2500 小时计，风力发电年发电量可达 $5.06 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 到 $6.325 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

现在已开发出 100W 到 10 kW 的独立型风力发电设备，10 kW 到 200 kW 的风力发电与柴油发电机或太阳能发电混合供电设备。并网型风力发电设备，由单机容量 150 kW 到 2500 kW 风力发电机组成。规模在 10MW 以上的并网型风力发电场已超过 10 座。

到 2005 年，我国风力发电设计总装机容量为 1 000~1 500 MW，为太阳能发电设备的 20 倍以上。到 2020 年规划风力发电累计总装机容量可达 30 000MW，为太阳能发电设备的 15 倍。据计算，2001 年风力发电上网电价不含增值税为 0.55 元/kW·h，含增值税为 0.64 元/kW·h。2005 年 6 月上海 12 家企业以 1 元/kW·h 的价格购买了上海的风力发电的电力，成本和价格也比太阳能发电低。因此，即使到 2020 年，太阳能发电技术产业也赶不上风力发电技术产业的规模。

6 结语

本文从国外情况、相关技术等 5 个方面讨论了我国发展太阳能发电技术产业的问题和趋势。太阳能电池生产能力虽然进入国际先进行列，但光电转换效率还有较大差距。逆变器技术发展并不成熟，面临着选型的重要问题。多晶硅材料依赖进口，制约着我国太阳能发电技术产业的发展，必须集中力量打破这一难关。独立型太阳能发电设备技术基本成熟，有比较可靠的市场前景。并网型户用太阳能发电设备发电成本较高，现在要通过建立试验性并网型户用太阳能发电设备，解决关键性技术问题，使发电成本接近火力发电成本，才能大规模推广使用。世界上太阳能发电技术产业在 2010 年前都会快速发展。应当大力吸取国外（例如日本）的经验，提高光电转换效率，降低发电成本，才能扩大太阳能发电在我国能源结构中所占的比例。与相关技术风力发电相比，在现在的技术条件下，到 2020 年，太阳能发电技术产业也赶不上风力发电技术产业的规模，必须在太阳能电池等关键技术上有重大突破，才能改变这种局面。