

# 中国太阳能光伏发电产业的现状与前景

张耀明

中国工程院院士

**摘要:** 光伏发电技术可直接将太阳光转换成电能,没有任何污染,有助于解决全球变暖的问题和我国的能源安全问题。文中介绍了光伏发电的市场和技术发展状况,叙述了太阳能电池、并网发电以及光伏一体化建筑技术,提出了“阳光三峡”的理念,展望了国内光伏发电的前景。

**关键词:** 太阳能; 光伏发电

**Abstract:** Photovoltaic technology converts the sunlight directly into electricity without emitting any pollutants. It would help combat the global threat of climate change and improve the security of the energy supply in China. This paper reviews the development of the solar photovoltaic power market and technology, relates solar battery and network power generation and also introduces the Building Integrated Photovoltaic technology. The concept of ‘the China Solar Three Gorges Project’ is raised, and the prospect of the photovoltaic power in China is predicted in the end.

**Key words:** solar; photovoltaic

中图分类号: TK51 文献标识码: A 文章编号: 1001-5523(2007)01-0001-06

太阳能光伏发电可直接将太阳光转换成电能,是一种不需燃料、没有污染获取电能的高新技术,是太阳能众多利用方式中最重要、最具应用前景的技术之一,是源自 20 世纪的材料革命、能源革命的重要内容。

## 1 中国光伏发电的市场发展

太阳能光伏发电的核心器件是太阳能电池(光伏电池)。

1839 年法国学者贝克勒尔发现光伏效应,1954 年美国贝尔实验室的三位科学家首次制成实用的单晶硅太阳电池<sup>[1]</sup>。进入 21 世纪前后,太阳能光伏产业迅速发展,对社会、经济和人们的生活产生了深刻影响。已有众多专家学者对这一现象进行研究探讨,在本文中,我也尝试对我国太阳能光伏产业进行简单回顾与展望。

我国于 1958 年开始研究太阳能电池,1971 年首次成功地将太阳能电池应用于我国发射的东方

红二号卫星上<sup>[1]</sup>。于 1973 年开始将太阳能电池用于地面设施(天津港航标灯)。我国的光伏工业在 80 年代以前尚处于雏形,太阳能电池的年产量一直徘徊在 10 kWp 以下,价格昂贵。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、黑光灯和直流日光灯等,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,使太阳能电池工业得到了发展,并在许多应用领域得到应用,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。同时,在“七五”期间,国内先后从国外引进了多条太阳能电池生产线,使得我国太阳能电池的生产能力猛增到 4.5 MWp/a, 实际年销售量达到 0.5 MWp, 售价也由“七五”初期的 80

元/Wp 下降到 40 元/Wp 左右, 这对于光伏市场的开拓起到了积极的推动作用。太阳能电池已不再仅仅用于小功率电源系统, 而开始广泛应用于通信、交通、石油、农村电气化、民用产品等各个领域, 光伏发电不但列入到国家的攻关计划, 而且列入到国家的电力建设计划, 同时也在一些重大工程项目中得到采用<sup>[2]</sup>。

2002 年, 原国家计委启动了“西部省区无电乡通电计划”, 即“送电到乡”工程, 通过光伏和小型风力发电的方式, 最终解决了西部 7 省区(西藏、新疆、青海、甘肃、内蒙、陕西和四川)近 800 个无电乡的用电问题, 光伏组件用量达到 19.3 MWp, 风力发电机 840 kWp。这一项目的启动大大刺激了光伏工业的发展, 国内建起了几条太阳能电池的封装线, 使我国太阳能电池组件的年生产能力迅速达到 100 MWp (组件封装能力), 2002 年当年销售量为 20 MWp。在生产得到大发展的同时, 太阳能电池应用也取得进展。截止到 2003 年底, 我国太阳能电池的累计装机已经达到 55 MWp<sup>[2]</sup>。

我国光伏发电市场已经涉及如下几个方面:

(1) 太空方面。光伏电池最早应用领域是在太空, 作为人造卫星的电源。我国神州五号载人飞船所用电能是太阳能电池提供的。

(2) 太阳能灯。太阳能灯是一种利用太阳辐射作为能源的灯, 只要阳光充足就可以就地安装, 不受供电线路影响, 不用开沟埋线, 不用消耗常规电能, 是绿色环保产品。2008 年北京奥运村道路两旁 90% 的照明将用这种对周围有极好点缀和装饰效果的太阳能灯。

(3) 太阳能车和游艇。太阳能车和游艇是以光伏发电装置为直接驱动力或以蓄电池储存电能再驱动的车辆和船只。由于不污染水质、大气、不排放二氧化碳, 不需其他能源, 随着电池和控制技术提高, 这类车船已经得到了飞速发展。

(4) 交通设施方面。在高速公路上远离城市电网的服务区中建设光伏电站、紧急电话系统、视频监控器、报警示灯等。目前我国沿海从南到北基本实现航标太阳能光伏电池化, 公路上的警示灯、信号灯、标志灯等均得到很大发展。

(5) 通信方面。通讯/通信领域是太阳能光伏电源系统应用强项, 已广泛应用于微波中继站、光缆维护站、电力/广播/通讯/寻呼电源系统、农村载波电话光伏系统、通信机、士兵 GPS 供电。

(6) 家电方面。特别适用于无电地区, 如我国深圳生产的太阳能手提电源, 已为成千上万农牧民解决用电困难。便携式家电有太阳能计算机器、钟表、电脑、收音机、照相机、电视、手机充电器等。绿色家电的应用, 有利环保。

(7) 其它地面应用。如光伏水泵、畜牧围栏、植物保护、森林防火、太阳能玩具、石油、化工、运输等行业、钢铁结构、钢铁管道的阳极保护等。

今后几十年间, 是人类阔步迈向太阳能时代的历史时期, 也是我国人民奋发进取, 建设社会主义现代化强国的历史时期。太阳能时代的行将来临, 对我国现代化的努力是千载难逢的机遇。

面对石化资源的枯竭、生态环境的破坏都显示出传统发展之路路障遍布, 已无法通行, 采用新的能源是唯一可行之路。我国从 20 世纪 80 年代就进行太阳能光伏电池的开发生产, 国家也在西部无电地区大力推广离网光伏系统的应用, 其中光明工程和乡乡通等工程的实施, 为我国光伏产业的发展和光伏技术提高起到积极作用。国家在‘973’和‘863’等重大项目中也将太阳能电池的发展放到重要位置, 北京 2008 绿色奥运的筹办也对太阳能电池的发展产生巨大推动作用。

## 2 太阳能电池的发展

2.1 随着电子技术的突飞猛进, 太阳电池的产量逐年递增

1990 年世界太阳电池产量超过 46.5 MWp; 1991 年超过 55.3 MWp; 1992 年 57.9 MWp; 1993 年 60.1 MWp; 1994 年 69.4 MWp; 1995 年 77.7 MWp; 1996 年 88.6 MWp; 1997 125.8 MWp; 1998 年 151.7 MWp; 1999 年产量超过 201.3 MWp; 2002 年超过 540 MWp; 而到 2003 年, 世界太阳电池产量已达 742 MWp, 2004 年更达 1 200 MWp, 2005 年突破 2 000 MWp, 发展速度高于 20 世纪 90 年代快速增长的 1 倍以上。

2.2 随着技术水平不断提高, 生产规模不断扩大, 组件成本大幅下降, 下降幅度达两个数量级

生产规模是影响产品成本的重要因素。根据经验曲线法, 世界上多数产业生产规模每翻一番, 成本下降 10%~30%。光伏产业的统计结果是 20%, 这种方法包含技术与规模俱进的含义。

在太阳能电池发电价格一路走低同时, 水电、火电的价格由于燃料枯竭、环境污染、原料运输费用上涨等种种因素, 正在逐步升高。太阳能电池发电和常规发电两者价格将在不远将来, 也许就在 2010 年左右将基本相等。1977 年, 我国太阳能电池发电价格达 200 元/Wp, 20 世纪 80 年代我国光伏工业开始起步, 发电价格降至 40~45 元/Wp, 到 2000 年底我国太阳能电池工业已初具规模, 单晶硅太阳能电池生产价格为 42~47 元/Wp, 非晶硅太阳能电池生产价格为 23~25 元/Wp, 时至今日, 价格约为 10~75 元/Wp, 而这一趋势已经延续了数十年。到 2010 年前后, 随着一批新的技术获得突破, 太阳能光伏发电成本将会降到 1 美元/kW·h 以下, 达到或接近常规发电成本价格。到 2020 年左右, 随着各项技术突破, 发电成本将会降至 6 美分/kW·h 从而使太阳能光伏发电拥有完全取代石化燃料发电的经济基础和商业价值。

### 2.3 各项技术上取得突破

现在世界各国的科技人员正从太阳能电池用硅材料、硅片、非晶硅和单晶硅太阳能电池片及组件、光伏发电系统平衡部件(蓄电池、太阳能电源控制器、逆变器)、光伏发电系统集成等多方面进行研发。除单晶硅电池外, 多晶浇铸硅电池也得到迅速发展。此外以非晶硅、碲化镉和铜铟硒为代表的薄膜太阳能光伏电池也相继进入市场, 太阳能光伏电池售价也大幅度下降。在光伏发电的研究方面, 人们不断发现新原理、新材料、新工艺。薄膜光伏电池甚至有机材料光伏电池将逐步进入市场, 使太阳能光伏电池家族更加丰富多彩和充满活力。

自 20 世纪 80 年代以来, 光伏发电技术和研发的主要目标是降低电池制造的成本和提高电池转化效率。即向高效、低价方向发展, 成本竞争力的主要指标是每个单位(峰值)电能输出对应的光电池的价

格, 这是两个难以两全的要求。例如在相同的太阳能输入通量情况下转化效率的提高扩大了电能输出, 但成本随之提高; 使用低成本的半导体和制造技术会使转化效率下降, 而工艺成本下降导致电池性能和耐用性能下降。

太阳能电池的转换效率是电池电功率和入射光功率的比值, 由于材料只能最大限度吸收一定波长的太阳光辐射, 而太阳光谱却是一个宽连续谱, 以及在室温条件必然存在晶格热振动等散射机制, 太阳能电池最高转换效率有其上限。在致力改善太阳能电池遮挡损失、电池材料本身光谱响应特性的光学损失、载流子损失(复合)和欧姆损失(电极-晶体接触)等电能转换损失的同时, 不少科技人员还另辟蹊径, 通过提高入射光强度(功率)来提高太阳能电池功能, 同时降低太阳能电池成本。我们也进行了多年研究。

我们采用易于制造、成本低廉、抗风性强的聚光器和自动跟踪太阳系统, 增加太阳能电池所接受的太阳光照射强度, 在获得同样电能的情况下, 太阳能电池的用量仅为固定式光伏发电系统的 20%~35%, 也就是说用普通金属玻璃降低昂贵的光伏半导体材料用量, 从而显著提高光伏发电系统性价比。一旦试验示范工程顺利告捷, 我们的数倍聚光光伏发电系统就步入国内领先、世界一流的行列。

## 3 并网发电和光伏化一体建筑

3.1 光伏并网发电是光伏发电进入电力规模应用的必然结果, 也是未来最大的光伏发电市场

我国地域辽阔、阳光充沛, 光伏并网发电具有先天优势。如果 2020 年光伏发电总量为 450 TW·h, 总装量为 30 GWp, 需要占地仅 300 km<sup>2</sup>, 不足我国沙漠和沙漠化土地的 1/3 000。如果 2020 年全国 30 GWp 太阳能光伏电池全部安装在城乡屋顶, 则占用面积为城乡屋顶总面积的 7.5%。

据了解, 2008 年北京奥运场馆外墙将贴光伏电池, 周围 80%~90% 的路灯和洗浴热水将来自太阳能光伏技术, 北京市和科技部计划建设 1 座 30 万 kW 光伏电站, 为部分场馆的照明和空调提供动力。

2005 年在科技部、国家发改委和西藏自治区政

府支持下,我国首座直接与高压并网的 100 kW 光伏电站建成并一次并网成功,年发电量约 20 万 kW·h。这个项目填补了我国大型太阳能光伏电站与高压电网直接并网的研究和建设空白。为今后掌握大型高压输电网并网的光伏电站核心技术,掌握在荒漠戈壁发展大型光伏并网发电系统,并向全国输送的核心技术,树立了良好开端。

### 3.2 建材建筑

光伏发电虽然应用范围遍及各行各业,但影响最大的应是建材与建筑领域,将太阳能电池制成屋面和墙体。

20 世纪 90 年代,随着常规发电成本的上升和人们对环境保护的日益重视,一些国家开始将价格迅速下降的太阳能电池用于建筑。太阳能电池已经可以弯曲、盘卷,厚度仅为几个波长,易于裁剪、安装、防风雨、清洁安全,可以取代建筑用涂料、瓷块、价格不菲的幕墙玻璃,可以作为节能墙体的外护材料。1997 年,美国提出雄心勃勃的“克林顿总统百万太阳能屋顶计划”,计划在 2010 年前为 100 万户居民每户安装 3~5 kWp 光伏电池,德国与此同期推出“十万太阳能屋计划”,日本提出“新阳光计划”,目标为 2010 年在全国推广 150 万套太阳能屋顶;2002 年悉尼成功举办奥运会,共在国际奥运村安装 665 套 1 kWp 的屋顶光伏系统,为目前世界最大光伏住宅小区。

光伏发电与建筑物集成化(Building, Integrated Photovoltaic)的概念在 1991 年被正式提出,并且很快成为热门课题。

现有建筑外护材料的功能仅仅是保护和装饰。人们所指的太阳能建材化仅限于太阳能热水器的安装。若将屋及向阳外墙甚至窗户材料都用太阳光伏器件替代,则既能作为建材,又能供应能源,可谓一举两得。当然,对于光伏器件来说,同时要求具备建材需求的绝热保温、电气绝缘、防水防潮与建筑材料相近的机械强度外,还要考虑安全可靠、美观大方、便于施工等因素。光伏器件如能替代部分建筑材料,则可进一步降低光伏发电成本,由于其全部或基本上不用蓄电池,造价大为降低,除了发电以外还具有调峰、环保和代替某些建筑材料的功能,有利于推广

应用,市场潜力巨大。

这种建筑既为人创造舒适温馨的空间环境,又能最大限度保护自然环境,这完全符合国际建筑师协会十四次世界大会“华沙宣言”中建筑学是为人类建立生活环境的综合艺术和科学一致的理念。它对我国未来建筑、未来城市发展将产生积极的影响。

## 4 阳光三峡

我国太阳能光伏发电的开发推广,需要采取有力促进措施,许多专家学者见仁见智,提出很好建议。我个人认为当务之急是建立新能源和可再生能源的国家统一领导机构和在条件较好的地区建立 2~3 个国家级研究开发机构,只有这样才能加强国际和国内产、学、研的合作,实施太阳能光伏产业的原材料、仪器开发和大型企业建设,开展重点城市光伏并网发电示范、照明城市道路和住宅小区示范。

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;“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:CIOA 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,如国家计委的光明工程、电力部的西藏无电县建设计划、西藏阿里光电计划、林业部的

森林防火通信工程、邮电部的光缆工程、石油部的管道保护工程、广电部的村村通工程等。

我国建材建筑主管部门也应开展自己的光伏屋顶百万、千万光伏屋顶工程项目, 制定建筑优先利用太阳能和太阳能建筑一体化的强制实施条例。有的专家已经建议, 在 2006~2010 年间我国推广 4 000 套光伏屋顶(绿色屋顶), 2010~2020 年推广 96 000 套光伏屋顶, 总计 500 MWp, 只有这样的推广力度才有助于推动光伏发电市场, 支持国家的产业发展和环保目标。为了实施光伏屋顶计划, 应当尽快出台光伏并网发电的准予上网政策和制定相应的电价和补贴政策, 尤其可和我国西部无线乡村的通电计划密切配合。

2004 年, 针对能源危机, 我曾提出建设阳光三峡的设想。提出随着技术突破, 在适当地点建设一座或多座发电规模可和水利三峡媲美的大型光伏电站的建议。光伏发电即将实现从补充常规能源到部分代替常规能源的角色转变。目前世界光伏产业以 32.1% 的平均年增长率高速发展, 位于世界能源发电市场增长率的首位。根据这一趋势, 世界各国纷纷出台有力政策、推出庞大光伏应用发展计划, 兆瓦级光伏电站的建设在欧洲各国方兴未艾。据悉我国正在考虑实施大漠光电计划, 2006~2010 年期间建立 8 座荒漠电站, 容量共计 80 MWp。预计到 2010 年以后, 我国将会开始阳光三峡的规划、筹备。

为了实施大漠光电计划和阳光三峡计划, 从现在起就应开始前期勘察和可行性研究工作, 使计划符合电力部门要求, 得以顺利实施。

长江三峡是一个举世瞩目的宏伟工程, 国家投资 1 600 亿元以上, 耗时 10 a, 总容量 1 820 万 kW, 平均发电量 847 亿 kW·h/a。对于长江三峡这样一个世纪建筑, 其影响要在很长时间才能展示。但如果修建一座同等规模的太阳能光伏电站——阳光三峡, 优点却极为明显。

三峡工程筑堤蓄水, 堤内水位升高约 200 m, 数百万公顷耕地、山林被淹, 工程移民高达 200 万。而阳光三峡可以修建在荒山、沙滩等不宜耕作的偏僻的地区, 不会损坏耕地, 不需移民。其次, 虽然采取种种措施, 但只能减少, 无法消除长江三峡这样巨大

工程对生态环境的影响, 如泥沙的沉积、上海出口含沙量的减少、鱼群游动、200 m 深度的水层对地壳的影响、三峡周围气候变化等, 尤其对地震等自然灾害、战争、恐怖活动的破坏需要严加防范, 而阳光三峡不会影响环境, 还可减少干旱地区土壤对热量的吸收, 利于改善生态, 有助于减少沙尘暴等恶劣气候发生, 阳光三峡便于维修, 基本不需考虑安全因素。还有一点也很重要, 水利工程必须建在水源丰富、上下落差很大地区, 长江三峡具有得天独厚优势, 但中国只有一个三峡。类似巨大水电工程条件屈指可数, 在金沙江、怒江上游还有可选之地, 除此之外, 国内已无再建长江三峡的地理条件。太阳能光伏发电既可分散, 又能集中, 可以尽量利用荒僻难以耕种之地, 我国西部、北部辽阔土地, 足以提供几个、几十个阳光三峡的客观基础。

现在欧洲一些国家因为土地资源多限, 已经在海上建立安装有光伏设备的飘浮平台, 而我国只要稍加利用, 这些终年无雨的不毛之地, 就能成为开发阳光三峡的理想基地。据测算只要我国荒漠的 1/10 得以利用, 就能提供 5 万亿 kW·h 的电量, 相当建立 128 座阳光三峡, 就能彻底解决我国能源紧缺的瓶颈, 西藏、新疆、青海、甘肃成为生机勃勃的能源基地, 这是多么激动人心的辉煌前景!

## 5 中国光伏技术前景

在今后十余年中, 太阳能电池的市场走向将会发生很大改变。在 2010 年前我国太阳能电池多数用于独立光伏发电系统, 而从 2011 年到 2020 年我国光伏发电的市场将会由独立发电系统转向并网发电系统, 包括沙漠电站和建筑屋面发电系统。2010 年、2020 年和 2050 年太阳能电池的市场份额预测见表 1。

表 1 太阳能电池市场份额

市场分类	2010年 市场份额	2020年 市场份额	2050年 市场份额
农村电气化	60	10	5
通讯和工业	10	15	7
太阳能光伏产品	10	15	8
光伏并网产品	20	60	80

许多国家的发展历史证明: 政府的支持和扶助是太阳能光伏产业发展必不可少的条件。美国、欧盟各国、印度、日本等国政府都以各种方式提供资金、财政补贴和制定优惠政策。由于采取政府统一收购政策, 电价为 0.5 欧元/kW·h, 德国一些农民已在田地上铺光伏电池, 改种“太阳能电池”。我国上海已经耗资 150 亿元, 开发 10 万屋顶的光伏发电系统, 每年发电 4.3 亿 kW·h。

我国可再生能源法的颁布, 将有力促进国内太阳能工业的发展, 太阳能光伏工业发展将更加令人瞩目。2003 年我国太阳能电池产量仅为印度的 52%, 2004 年我国太阳能电池产量已超过印度, 为印度的 152%, 年产量达到 50 MWp 以上。2007 年左右, 我国在太阳能电池研发、生产和应用产品开发将在东部沿海地区形成一个世界级的产业基地, 太阳能电池总产量将进入世界前四名, 排在日本、德国和美国之后, 而到 2010 年, 我国有望名列世界第二。中国将崛起世界一流的光伏产业, 到 2020 年中国光伏电池发展规模将达 1 000~8 000 MWp, 在世界太阳能产业中占据重要地位。

太阳能光伏发电可以节约宝贵土地资源, 我国人均耕地面积仅为世界平均水平的一半, 这些耕地大多集中在东部地区, 正随工业化和城市化的发展而迅速减少, 高山、沙漠、丘陵等难以利用的土地占据我国国土面积的 30.68%, 这些土地大多分布在西部、北部, 而幅员广大的西部、北部又是气候干燥、雨量稀少、阳光普照的地区, 是太阳能、风能极为丰富的地区。在青藏高原, 每年平均日照时间在 3 000 h 以上, 在世界上名列前茅。在西部、北部重点发展以太阳能为代表的绿色能源, 既有助西部人口就业, 有利于东部、西部的协调发展, 缩小东西部的差距, 又避免东部发展过程中的环境污染、占用耕地、大量居民搬迁等弊病。

作为清洁、可再生能源, 太阳光伏能源从开始时就是能源新秀, 又是环保宠儿。太阳能电池有效减少了环境污染、利于维护、改良生态。据估计我国到 2010 年太阳能光伏发电的累计用量将达到 600 MWp, 预计其中 20% 是并网发电, 80% 是独立发

电系统, 则相当于在我国减排 CO<sub>2</sub> 135 万 t, 到 2002 年太阳能光伏发电累计安装 30 GW<sub>p</sub>, 则相当于减排 CO<sub>2</sub> 6 750 t。

这个简单计算没有包括使煤炭发电产生的大量工业废渣、废水, 没有统计太阳能光伏电站对周围荒漠、高原的有利影响。

太阳能光伏发电可以提供大量就业机会、稳定社会。我们正在开展的数倍反射聚光光伏发电技术研发项目, 当规模化生产线达 2 MWp 时, 就可解决 800 人左右的就业, 当产能达到 10 MWp 时, 即可解决 4 000 人左右就业。随着我国太阳能电池产业的突飞猛进, 成千上万的生产人员、科技人员、销售人员、管理人员涌入这个欣欣向荣、日益扩大的产业, 预计到 2020 年, 太阳能光伏发电能为我国提供 2 千万个以上的就业机会, 太阳能光伏发电将会成为我国能源支柱产业之一。同时带动相关产业如电子、交通、机械、电器、服务业的迅猛发展。

到 2020 年, 随着综合国力的显著增强和光伏产业的兴起, 我国将会兴建超大规模的太阳能热电站和太阳能光伏电站, 其中 10 MWp 以上的太阳能光伏电站包括沙漠电站、大规模光电制氢、大规模的海水淡化、大规模太阳能光伏一体化建筑、大型光伏提水电站、光伏发电电动汽车和宇宙发电。届时光伏发电将会成为我国主体能源的重要组成部分之一。

#### 参考文献:

- [1] 赵争鸣, 刘建政, 孙晓英, 等. 太阳能光伏发电及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 中国可再生能源发展项目办公室. 中国光伏产业发展研究报告 [R]. 北京: 中国可再生能源发展项目办公室, 2004.
- [3] 罗运俊, 何梓年, 王长贵. 太阳能利用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [4] 王长贵, 崔容强, 周篁. 新能源发电技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [5] 沈辉, 曾祖勤. 太阳能光伏发电技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [6] 崔民选. 2006 中国能源发展报告 [M]. 北京: 社会科学出版社, 2006.