

Analyzing on the Benefits and Prospects of China's Photovoltaic Power Based on the Low-Carbon Economy

Keding Zhu¹, Yihang Song¹, Zhongfu Tan¹, Huijuan Zhang¹

¹ Institute of Electric Power Economics, North China Electric Power University, Beijing 102206, China

Email: zhanghuijuan1213@163.com, tanzhongfu@sina.com

Abstract: Developing low-carbon technology in electricity industry plays a pivotal role in helping us to be prepared for the low-carbon economy, and one important mean for creating a low-carbon electricity industry is clean energy power generation. This paper reviews the present developing situation of the solar photovoltaic power generation, and lays special stress on analyzing the photovoltaic power generation's advantages and benefits of energy and low-carbon. At last, the prospects of photovoltaic power generation are discussed.

Key words: low carbon economy; photovoltaic power generation; benefit analysis

低碳经济下我国光伏发电效益及前景分析

朱柯丁, 宋艺航, 谭忠富, 张会娟

华北电力大学电力经济研究所, 北京, 中国, 102206

Email: zhanghuijuan1213@163.com, tanzhongfu@sina.com

摘 要: 电力行业的低碳化发展是低碳经济的关键环节, 清洁能源发电是实现低碳电力的重要途径之一。本文对太阳能光伏发电的发展现状进行综述, 并重点对光伏发电的优点与其能源效益和低碳效益进行分析。最后, 分析了光伏发电的前景。

关键词: 低碳经济 光伏发电 效益分析

1 引言

全球气候变暖是当前人类社会所面临的最大的挑战之一, 减少 CO₂ 排放对控制温室效应、减缓全球变暖至关重要。我国是全球 CO₂ 排放量最大的国家之一, 实施低碳经济战略是我国发展经济的必由之路。电力行业占我国 CO₂ 总排放量的主体, 实现我国电力行业的低碳化发展, 是我国达到低碳目标的关键。

在发电侧节约与调整能源结构, 减少煤炭的比重, 增加风电、水电、核电及太阳能发电等可再生能源发电, 是实现低碳电力一条重要途径。太阳能作为能量巨大且永不枯竭的洁净能源, 光伏发电将成为低碳经济下研究的重点。

为此, 本文将对低碳经济下, 我国光伏发电的效益及前景进行分析, 揭示光伏发电对实现碳减排的重要意义与巨大潜力。

2 光伏发电现状

2.1 世界光伏发电现状

世界光伏发电正在由边远农村和特殊应用向并网发电和与建筑结合供电的方向发展, 光伏发电已由补充能源向替代能源过渡。^[1]近几年, 世界光伏发电市场发展迅速, 光伏发电已成为当今发展最迅速的高新技术产业之一。目前, 全世界有 136 个国家正在普及推广应用太阳能发电技术, 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。^[2]1996 年以来世界太阳能电池生产及用量增长迅速, 到 2007 年产量年增长率达到 50.9%, 全世界太阳电池总产量已经达到 4Gmp, 预计到 2012 年全世界太阳电池的生产能力将达到 26774MW, 10 年内太阳电池的每瓦成本下降 90%。2007 年, 全世界太阳能发电设备总装机容量为 2392MW, 2008 年达到 5600MW, 全球光伏安装量比 2007 年增加了 90%。

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%。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。并网光伏发电市场是光伏应用的主流, 到 2006 年底, 全世界光伏总安装量大约为 7000MW, 其中并网光伏 5250MW, 占市场份额的 75%。2010 年以前, 并网光伏发电市场都占到 90% 以上, 到 2030 年也将占到 70% 以上。

统计资料表明, 到 2010 年, 世界光伏系统累计装机容量预计将达到 14~16GWp, 长期发展目标见表 1。^[1]

Table 1 developing aims of global PV
表 1 世界光伏发展目标 (累计装机容量, GWp)

国家 (地区)	2010 年	2020 年	2030 年
日本	5	30	72
欧盟	3	15	30
美国	4.7	15	25
其他国家	3	10	23
总计	15.7	70	150

2.2 中国光伏发电现状

中国光伏发电产业于 20 世纪 70 年代起步, 90 年代中期进入稳步发展时期, 太阳电池及组件产量逐年稳步增加。2008 年中国已投产多晶硅厂家的生产能力达到 20000 吨, 产量达到 4500 吨, 大约满足 450MW 太阳电池的生产; 中国在建多晶硅材料生产厂在 2010 年全部投产后可以满足大约 8GWp 太阳电池的生产。据不完全统计, 目前国内建成、及建设中的太阳能级多晶项目有 8 万吨之多。2005 年中国多晶硅锭产量为 300 吨, 2006 年达到 1120 吨, 2007 年达到 3740 吨, 2008 年全国有 60 家硅锭、硅片生产企业, 总产能达到 30000 吨。中国太阳能电池组件生产能力 2006 年总产能 721MW, 2007 年达到 1717MW, 2008 年全国共有 330 家组件封装企业, 总产能达到 4000MW。

中国光伏发电市场的发展领域不断扩展。从 90 年代初期应用于通信和工业领域, 到 1995 年开始应用于特殊领域和边远地区, 逐步建立了较大型的光伏发电应用系统, 建成各种规模的县、乡、村级光伏电站 40 多座, 推广应用家用光伏电源系统约 15 万套。2000 年以后, 中国的光伏技术已步入大规模并网发电阶段, 开始建造 100kWp 级的光伏并网示范系统^[2]。表 2 为目前中国光伏发电产业的应用领域及份额。

Table 2 Share of China's PV power generation markets in 2007

表 2 2007 年中国光伏发电市场份额统计

市场分类	累计安装量(MWp)	市场份额 (%)
农村电气化	42	42.0
通信和工业 (商业化)	30	30.0
太阳能光伏产品 (商业化)	22	22.0
城市 BIPV	5.8	5.8
开阔地荒漠电站	0.2	0.2
合计	100	100

3 光伏发电优势与效益

3.1 光伏发电优点

太阳光辐射能经太阳能电池转换为电能, 再经过能力存储、能量变换控制等环节, 向负载提供合适的直流或者交流电能。与常规发电和其他绿色能源发电技术相比, 太阳能光伏发电技术有不可比拟的优势, 发电设备体积小、重量轻、工作寿命长, 且运行可靠、无机械转动部件; 发电站安装容易、规模大小皆宜、不单独占地; 发电过程无噪声、零排放, 资源永不枯竭; 太阳能电池生产资料丰富, 系统造价下降潜力大; 此外, 光伏发电能源随处可得, 不受地域限制, 且能量回收期短, 发电规律性强、调峰效果明显、调度容易。由于上述优势, 太阳能光伏发电将成为未来解决能源危机与碳减排等问题的重要途径, 因而受到青睐, 被誉为 21 世纪的主要发展能源。下面本文将针对太阳能光伏发电缓解能源危机与低碳效益进行详细分析。

3.2 能源效益

世界能源形势紧迫, 全球人口 2006 年是 65 亿, 能源需求折合成装机是 14.5TW, 每日能耗 220106BOE; 推测到 2050 年能源需求装机将大约是 30-60TW, 届时煤炭、石油、天然气等一次能源将难以满足需求, 主要需靠可再生能源。而世界上潜在水能源资源 4.6TW, 经济可开采资源仅 0.9TW; 风能实际可开发资源 2-4tw; 生物质能 3TW, 这些能源之和仅 8TW。只有太阳能是唯一能够保证人类未来需求的能源, 其潜在资源 120000TW, 实际可开采资源高达 600TW。¹

中国能源形势相较于世界总体更加严峻, 石油储量世界大约可用 45 年, 而中国只有约 15 年; 天然气世界储量大约有 61 年, 而中国只有约 30 年; 煤炭储量世界大约有 230 年, 而中国只有约 81 年; 铀储量世界大约有 71 年, 而中国只有约 50 年。现今中国正处于经济迅速发展时期, 对能源需求旺盛, 且各产业特别是发电产

¹ TW=10⁹kW, 来源: 美国能源部 Office of Science 报告. 2005. 4

生的能源消费结构很不完善,对煤炭等不可再生能源有较大依赖。此背景下,太阳能发电与利用技术成为世界各国与中国争相研发的焦点,这也就给予中国赶超世界发达国家的机会,同时也是中国能源消费紧张的必然要求。

3.3 低碳效益

3.3.1 无碳排放

由于大量使用煤炭作为电力生产的基础能源,导致我国目前因电力生产排放的二氧化碳占全球的 18%,仅次于北美,节能减排任务艰巨。太阳能光伏发电几乎不消耗矿物资源和水资源,与常规燃煤、燃油发电方式相比,可减排 CO₂、SO₂、NO_x 及烟尘等污染物,也不会产生有污染物、废料、废渣、废水等的排放问题,是一种完全干净、清洁的可再生能源,除了巨大的能源效益外,还将对低碳减排起到重要作用。

3.3.2 定量分析

可对光伏发电的低碳效益进行定量测算。

(1) 光伏系统发电效率

假设光伏发电设备中光伏阵列效率为 η_1 , 光伏阵列在能量转换与传输过程中的损失包括: 组件匹配损失约 4.2%, 太阳辐射损失约 4%, 直流线路损失约 2.8%, 计算可得 $\eta_1 = 95.8\% \times 96\% \times 97.2\% = 89.4\%$ 。

假设逆变器的转换效率 $\eta_2 = 95.6\%$ 。

由于光伏电池组件只有在标准测试条件下, 即: 电池温度 25℃、垂直入射日照强度 1000W/m²、太阳光谱等同于大气质量 1.5 的情况功率才能达到标定值。多晶硅电池随着温度的升高, 功率会有所下降。假设所用电池板峰值功率系数为 -0.45%/℃, NOCT (标准运行条件下的电池温度) 为 45℃。电池板工作温度可以由以下计算公式^[3]:

$$T_c - T_a = (219 + 832Kt) \frac{NOCT - 20}{800}$$

NOCT=45° C, Kt 晴朗指数 0.7, T_c 为电池板温度, T_a 为环境温度, 假设根据光伏电站所在地区的温度平均值及电池组件的温度效率因素, 有公式^[3]:

$$\eta_{temp} = \alpha(T_c - 25)$$

α 为多晶硅的温度功率衰减因子, 本电池板为 -0.45%/℃。

假设由上述过程计算得到 η_{temp} 加权平均值为 5.3%。

假设光伏发电的其他功率损耗, 如不可用的太阳光辐照效率、相关电气设备功率损耗等所对应的综合修正系数估算取 93%。

根据上述假设, 可计算得光伏系统总效率:

$$\eta = \eta_1 * \eta_2 * (1 - 5.3\%) * 93\% = 75.2\%$$

(2) 20MW 光伏系统发电量

通过对光伏电站所在地的年平均月总辐射数据 (水平面和 27 度倾斜面)、年平均月环境温度、光伏系统各部分效率、安装倾角及方位等的设定, 通过 RET Screen 软件可计算相应的发电量。信息产业电子第十一设计研究院有限公司对江苏射阳 20MWp 太阳能光伏电站发电量的测算为第一年发电量为 28925576kWh。剩下 24 年按照每年 0.8% 递减计算, 第 25 年发电量为 23863600kWh, 为第一年的 82.5%, 25 年总发电量为 659864703kWh, 年平均发电量为 26394588kWh。

(3) 二氧化碳减排效益

假设我国发电耗煤为平均 390g 标煤/kWh, 光伏电站预计年平均发电量 26394588kwh, 则光伏电站预计年节约标煤 10293.89 吨 t, 光伏电站使用寿命假设为 25 年, 预计总节约标煤 257247.25 吨, 而每生产 1kwh 电排放二氧化碳为 1.4kgCO₂/kwh, 则光伏电站每年减排二氧化碳 36952 吨 t, 25 年减排二氧化碳 923800 吨, 且每年可为电网节约标煤 10293.89 吨, 将光电转换效率衰减因素计算在内, 该类光伏发电系统 25 年总共可节省标煤 257347.25 吨。

4 光伏发电的发展前景

世界各国都对太阳能光伏发电研究与应用高度重视, 并对其应用前景相当乐观, 美国、欧洲和日本对当前和未来太阳电池的累计安装量制定了发展计划, 如表 3 所示。

Table 3 Developing routes of PV in major countries of the world

表 3 世界主要国家光伏发展路线

年	2004	2010	2020
日本	1.2	8	30
欧洲	1.2	10	41
美国	0.34	5	36
中国	0.065	0.25	1.6
其他	1.195	5	91.4
世界	4.0	28	200

根据我国“可再生能源中长期发展规划”, 到 2010 年新增离网供电 56MW, 新增城市并网发电 44MW, 新增大型并网荒漠电站 50MW, 太阳能热发电 50MW, 实

现光伏市场分布如表 4 所示。

Table 4 Distribution of China's PV market in 2010

表 4 2010 年光伏市场分布

市场	累计安装量 (MWp)	市场份额 (%)
农村电气化	80	32.0
通信和工业	40	16.0
光伏应用产品	30	12.0
光伏建筑并网	50	20.0
大型光伏(荒漠)电站	50	20.0
累计安装总量	250	100

另外还要建 50MW 太阳能热发电。

到 2020 年, 实现光伏市场分布如表 5 所示。

Table 5 Distribution of China's PV market in 2020

表 5 2020 年光伏市场分布

市场	累计安装量 (MWp)	市场份额 (%)
农村电气化	200	12.50
通信和工业	100	6.25
光伏应用产品	100	6.25
光伏建筑并网	1000	62.50
大型光伏(荒漠)电站	200	12.50
累计安装总量	250	100

另外还有 200MW 太阳能热发电。

此外, 光伏发电在我国存在广大的潜在市场:

(1) 边远无电地区存在强大的潜在市场。

据 2006 年 1 月份的统计, 目前全国还有大约 270 万户, 1200 万无电人口, 其中大约 100 万户, 400 万无电人口的用电问题计划通过光伏发电和小型风力发电来解决, 据推测至少具有的市场潜力为 100 万千瓦, 总投资约为 800 亿元。

(2) 并网光伏发电的潜在市场

2010 年以前, 实施 10000 屋顶计划, 累计装机 50MW; 2020 年以前, 再安装 20 万套, 累计装机 700MW。中国现有大约 400 亿平方米建筑面积, 屋顶面积 40 亿平方米, 加上南立面大约 50 亿平方米可利用面积, 若 20% 用于安装太阳能电池, 将达到 100GWp。

我国有总计约 120 万平方公里的沙漠、沙漠化土地和潜在沙漠化土地, 1 平方公里土地可以安装 100MWp 太阳能电池, 1% 的荒漠即可安装 1000GW, 是我国当前电力装机的 2 倍。2020 年我国大型荒漠光伏电站累计装

机将达到 200MW。

综上所述, 太阳能光伏发电在存在广阔的应用前景, 是可再生能源发电最重要的类型之一, 也是世界未来发电的主要形式和趋势, 是解决能源危机与温室气体特别是碳排放问题的重要途径。

5 总结

太阳能光伏发电是当今能源危机与环境危机下重要的低碳发电路径之一, 虽然现在的发电比例与利用效益并不突出, 但具有广泛的应用潜力。由于太阳能储量丰富且永不枯竭, 是解决能源危机最有前景的方式; 光伏发电的清洁型与无污染性, 也能对减少碳排放起到重要作用。此外, 由于自身的优势, 光伏发电具有巨大的发展前景。

References (参考文献)

- [1] Li Chunpeng, Zhang Tingyuan; Zhou Feng, Summarization of Solar Energy PV Generation[J], Electrical Engineering Materials, 2006, (3), P45-48 (Ch).
李春鹏, 张廷元, 周封, 太阳能光伏发电综述[J], 电工材料, 2006, (3), P45-48.
- [2] Cui Shuqing, Chen Juan, Yang Surong, Analyzing on the Prospects of Our Country's Solar Energy PV Generation[J], Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2009, (17), P77-78.
崔淑卿, 陈娟, 杨苏荣, 我国太阳能发电前景分析[J], 内蒙古科技与经济, 2009, (17), P77-78.
- [3] Ji Chao, Yao Wei, Zhao Zhenyuan, Feasibility Study Report of the Solar Energy PV Power Station in Sheyang of Jiangsu Province, 2009.
季超, 姚伟, 赵振元, 江苏射阳太阳能光伏电站可行性研究报告, 2009.
- [4] Kang Chongqing, Chen Qixin, Xia Qing, Prospects of Low-Carbon Electricity[J], Power System Technology, 2009, (2), P1-7.
康重庆, 陈启鑫, 夏清, 低碳电力技术的研究展望[J], 电网技术, 2009, (2), P1-7.
- [5] Wang Sicheng, Four Key Issues of Solar Energy PV Generation[J], China Power Enterprise Management, 2009, (19), P24-25.
王斯成, 光伏发电的四大关键问题[J], 中国电力企业管理, 2009, (19), P24-25.
- [6] Wang Sicheng, Summarization and developing trend of solar Energy PV Technology, 2009.
王斯成, 太阳能发电技术概述及发展趋势, 500kW 光伏电站并网仪式暨高压并网逆变器产品发布会, 2009.
- [7] Zhang Lixiang, Status and Prospects of Renewable Power Generation[J], Journal of Electric Power, 2008, 23(1), P29-33.
张丽香, 可再生能源发电的发展现状及前景[J], 电力学报, 2008, 23(1), P29-33.