

# 光伏发电的政策与技术浅析

杜新伟

(四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

**摘要:**随着能源需求不断加大和气候、环境问题日益严重,加快可再生能源发展已成为全球实施可持续能源战略的重要举措。对近年来光伏发电的发展进行了概述,对国内外光伏政策进行了分析,并分类对光伏发电的相关技术进行了综述。

**关键词:**光伏发电;太阳能政策;光伏发电技术;分布式发电

**Abstract:** As the energy demands have increased and the environment problems are becoming more serious, accelerating the development of renewable energy has become an important measure of global sustainable energy strategy. The development status of photovoltaic generation in recent years is summarized, the photovoltaic policies at home and abroad are analyzed, and the technologies related to photovoltaic generation are also classified and discussed.

**Key words:** photovoltaic generation; solar photovoltaic policy; photovoltaic technology; distributed generation

**中图分类号:** TK512 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)增-0060-03

## 0 引言

随着能源需求的不断加大和气候、环境问题的日益严重,加快可再生能源发展已成为全球实施可持续能源战略的重要举措。而光伏发电具有资源普遍且丰富、洁净无污染等特点,是各种可再生能源中最重要的、最基本的能源。经过多年发展,光伏发电技术已日渐成熟,并逐步由独立的补充电源向大规模并网系统发展<sup>[1,2]</sup>。而在目前智能电网的蓬勃发展浪潮,也为光伏发电创造了前所未有的机遇,可以预见,光伏发电将具有广阔的发展前景。

光伏发电是指通过光伏组件将太阳能转化为电能,再经逆变器向用户或电网输送的技术。从总体上来看,中国太阳能电池产业快速发展壮大,市场潜力也很大,然而光伏发电的成本虽已大幅下降,但仍远高于传统发电成本,参照国际上光伏发展经验,能源政策和支持将是推动中国光伏发电发展的重要因素。另外,加强光伏领域技术研发,提高光伏发电转换效率和控制调节能力,解决光伏发电接入对电网所产生的一系列问题,也是决定未来光伏发电发展的关键。

对近年来光伏发电的发展进行了概述,对国内外光伏政策进行了分析,并分类对光伏发电的相关技术进行了综述。

## 1 光伏发电发展概述与政策分析

### 1.1 光伏发电发展概述

随着能源危机、环境问题突显及光伏技术的飞速进步,近十年间光伏发电取得了突破性的进展<sup>[3]</sup>。截至 2008 年底,全球光伏发电容量已将近 15 000 MW,主要分布在光伏技术先进、电网发展成熟、政策支持力度较大的欧盟、日本、美国等国;各国的光伏发电容量呈逐年快速上升的趋势,仅 2008 年全球新增光伏容量就超过 5 500 MW;大容量并网光伏电站逐步成为主导,目前世界上最大的光伏电站为西班牙的 Omedilla 光电厂,容量达到了 60 MW。

中国拥有丰富的太阳能资源,理论储量达每年 17 000 t 吨标准煤,全国总面积 2/3 的地区年日照时间都超过 2 000 h,太阳能利用潜力很大;但目前开发相对较少,国内光伏发电容量仅 15 MW。相比光伏市场,中国光伏组件生产能力发展迅速<sup>[4]</sup>,2008 年产量近 2 600 MW,已跃居世界前列。在 2007 年编制的《可再生能源中长期发展规划》<sup>[5]</sup>中规划 2020 年中国光伏发电容量达到 1 800 MW;但从目前发展的趋势和计划来看,这一目标将提前实现,预计 2020 年中国光伏容量将达千万千瓦以上。

### 1.2 国外光伏发电政策

光伏高额的发电成本决定其在发展之初必然需要政策的扶持和驱动,光伏发展较快的德国、日本、美国等国都是通过制定各种政策大力推动太阳能光伏发电发展的<sup>[6,7]</sup>。

德国政府 2000 年颁布了《可再生能源法案》,并

于 2004 年对其进行了修改,规定给予不同的太阳能发电形式为期 20 年 0.457~0.624 欧元/千瓦时的补贴,每年递减 5%~6.5%,从而极大地刺激了德国光伏市场的发展,使德国光伏发电容量 2006 年以来一直保持世界第一;但值得注意的是自 2009 年起,德国光伏上网电价下降比率增加到 8%~9%,德国光伏市场增速可能会有一定程度的下降。日本一贯对能源问题非常重视,新能源发展也较早,自 20 世纪 90 年代开始先后颁布的《新能源法》、《可再生能源比例标准》等为其新能源规划了发展框架,制定了新能源的总量的发展目标;另外日本政府还通过科技资助提升其新能源产业的科技竞争力。美国政府主要通过抵扣补贴和专项投资的政策扶持光伏产业发展,2001 年美国加州著名的《加州太阳能计划》预算 32 亿美金在 10 年内建造 100 个光伏系统,2005 年《联邦能源政策法案》规定了对光伏系统投入可采用抵扣税收的措施;美国政府同样也非常重视其科技的创新和研发,2006 年《总统太阳能美国计划》由总统下令增加研发费用,以增强美国在太阳能光伏技术上的竞争力。另外,西班牙、意大利、法国、希腊等国也都通过各种政策和制度促进了本国光伏发电的发展。

综上所述,国外光伏发展的政策支持主要包括了制定发展目标、较长期的价格保障机制、专项资金补助、优惠的税收制度、科技研究资助等手段。

### 1.3 中国光伏发电政策

在中国光伏发电的发展过程中,各种支持政策的制定也起到了很大的推动作用<sup>[8]</sup>,特别是 2006 年《可再生能源法》及其配套的相关法规,如《可再生能源发电管理办法》、《可再生能源上网电价及费用分摊管理试行办法》的实施,从法律制度和政策措施的高度对可再生能源的发展做出了比较完整的规定;随着可再生能源的快速发展,《可再生能源法》实施中也暴露出了一些问题,目前《可再生能源法修正案》已通过审议并即将出台,修正案中主要对统筹规划、市场配置与政府宏观调控相结合、国家扶持资金集中统一使用等三项原则进行了强调<sup>[9]</sup>。

为配合《可再生能源法》的实施,中国也相应制定了新能源发展的战略规划,2007 年发布的《中国可再生能源中长期发展规划》中提出了中国可再生能源的发展目标,即将出台的《新兴能源产业发展规划》将根据新能源的最新发展情况,对发展目标进一步明确<sup>[10]</sup>。2009 年 7 月,财政部、科技部、国家能源

局联合下发《关于实施金太阳示范工程的通知》<sup>[11]</sup>,安排了专项资金支持光伏发电技术在各类领域的示范应用及关键技术产业化,加速了中国光伏发电的发展。

在光伏发电发展的浪潮中,各个地方也纷纷出台了各种优惠政策,如江苏 260 MW<sub>p</sub> 太阳能补助案、青海省太阳能产业发展及推广应用规划、江西光伏产业发展规划纲要等等,对目前中国光伏发电的促进体制起到了有效的补充作用。

目前中国正处于光伏发展的起步阶段,尽管国家和地方已出台了多项光伏发电的促进政策,但从总体上看,光伏发电的收购制度、定价和补偿机制、减税政策、接入标准等尚需进一步完善和明确,只有建立了完备的法律和制度体系,才能引领光伏发电更加科学、有序地发展。

## 2 光伏发电相关技术浅析

按照研究领域,光伏发电的相关技术可以分为光伏发电及其并网技术和大电网应对光伏接入措施研究两个层面。

### 2.1 光伏发电及其并网技术

一套完整的光伏发电系统通常包含太阳能电池板、逆变器和控制器等 3 个部分,因此光伏发电本身研究也可分为太阳能电池技术、逆变器技术、控制技术 3 个方面;另外,为保证光伏发电供电的安全与可靠,相关的研究还包括光伏发电保护、孤岛监测、储能等技术。

太阳能电池技术主要为了实现高效、低成本的能量转换,目前太阳能电池主要分为晶体硅电池和薄膜电池两类,其中晶体硅电池以其高效能量转换效率一直占据着太阳能电池产品的绝对主导地位,而薄膜电池具有低成本的优势,必将成为未来太阳能电池研究和应用的重点<sup>[12]</sup>。

逆变器技术主要解决光伏并网的交直流转换问题,其主要研究内容为并网逆变器的拓扑结构及光伏组件的系统结构。其中逆变器拓扑结构主要研究逆变器类型、级数及其与隔离变压器、DC-DC、滤波器等器件组合的问题,以达到提高设备运行性能、降低成本和损耗、便于控制等目的。光伏组件系统结构主要研究光伏组件在整个发电系统中的组织形式,目前主要有集中型、串型、多串型、交流模块集中型等多种

形式<sup>[13]</sup>。

光伏控制技术是目前研究的热点<sup>[14]</sup>,其目的在于尽量维持太阳能电池的最大输出功率和最小的输出谐波,并能够在电网需要时灵活控制输出的有功和无功以起到参与电网调节的作用。目前的研究主要包括光伏系统的最大功率点跟踪(MPPT)、电流控制、电压控制、功率控制等问题。

通常情况下,光伏发电并网系统与负载和配电网相连接,实现供电和与主网的能量交互,为保证供电的持续稳定一般配备有储能装置和能量控制主站,形成“微电网”<sup>[15]</sup>。为保障微电网的安全可靠供电,必须研究含分布式发电微电网中的相关技术问题,包括由于系统故障或检修形成微电网孤岛运行时的检测手段<sup>[16]</sup>、对光伏发电和储能装置实现的统一能量管理和调剂。

## 2.2 大电网应对光伏接入措施研究

除了研究光伏发电本身及微电网技术,如何保证大规模光伏发电接入后电力系统的稳定运行也是一项非常值得研究的课题,这是因为光伏发电具有显著的间歇性和随机性特点,其大规模接入电网必将导致潮流方向、配网结构、运行方式等的深刻变化,从而使系统运行的多个环节必须采取相应的措施应对<sup>[17, 18]</sup>。

在大电网应对光伏接入的措施研究中,主要包括:(1)光伏发电的接入将抵消去一部分负荷,传统的负荷预测方法将不再适用,必须研究考虑光伏发电随机性的负荷预测新方法;(2)以光伏发电的经济型、对电网的影响等为优化目标,制定光伏发电规划和设计的方法;(3)目前光伏发电尚无标准的数学模型,研究其模型及含光伏发电模型的电网计算方法,对于系统的仿真分析和电网规划都具有重要的意义;(4)光伏发电出力的随机变化可能导致潮流大小和方向的改变,使传统电网调压方案难以满足需求;(5)其间隙性和随机性特点也给大规模光伏发电接入后的调峰调频和调度能力提出了更高的要求;(6)光伏发电系统大量运用电力电子器件,有可能增加系统的谐波污染,对电网电能质量有一定影响;(7)光伏发电的接入使传统辐射状电网变为多电源式网络结构,传统的继电保护原理也必然随之发生巨大变化,研究适应于多电源网络的保护原理是一项亟待解决的问题;(8)另外,光伏发电等分布式电源的兴起也将导致电力交易发生深刻的变化,完善的市场机制

和管理体系是未来电力市场科学、健康发展运营的保障。

另外,中国太阳能资源最为丰富的地区位于西部,集中在西藏、甘肃、宁夏、新疆等省,而这些地区大多负荷水平较低,因此中国太阳能开发将可能面临着大规模集中开发、远距离传输的情况,由此可能带来更加复杂的问题需要解决。

## 3 结 语

(1)随着能源危机、环境问题突显及光伏技术的飞速进步,近十年间光伏发电取得了突破性的进展。

(2)参照国外光伏发展经验,能源政策和支持将是推动光伏发电发展的重要因素,中国也出台了多项光伏发电的促进政策。

(3)按照研究领域,光伏发电的相关技术可以分为光伏发电及其并网技术和大电网应对光伏接入措施研究两个层面。其中光伏发电及其并网技术主要包括太阳能电池技术、逆变器技术、控制技术和微电网技术等,而大电网应对光伏接入措施研究则涉及到电力系统的规划、调度、运行、控制、市场等多个方面。

## 参考文献

- [1] 薛钮芝, 张力, 林纪宁. 太阳能光伏技术的研究与发展 [J]. 大连铁道学院学报, 2003, 24(4): 71-74.
- [2] Ball G. J., Hudson R. M., Behnke M. R. Recent application and performance of large grid-connected commercial PV systems Photovoltaic Specialists Conference 2002 Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE, 2002, 1710-1713.
- [3] 张希良, 常世彦, 柴麒敏. 新能源与可再生能源在我国可持续能源体系构建中的作用 [R]. 中国新能源产业年度报告 2008. 2008, 11.
- [4] 赵玉文. 2008中国光伏产业发展报告 [R]. 中国新能源产业年度报告 2008. 2008, 11.
- [5] 国家发展和改革委员会 [R]. 可再生能源中长期发展规划. 2007, 8.
- [6] 太阳能贸易网论坛. 各发达国家政府对光伏产业的支持政策. <http://www.solar8.net/bbs/viewthread.php?tid=10>, 2008-6-13.
- [7] 中国新能源网 [N]. 各国光伏产业补贴政策 <http://www.newenergy.org.cn/html/0094/470926378.html> 2009-4-7.

(下转第 76 页)

### 参考文献

[1] 中国道路与世界视野 [J]. 国家电网, 2009, 42(6): 22-49.

[2] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 1-4.

[3] 林宇锋, 钟金, 等. 智能电网技术体系探讨 [J]. 电网技术, 2009, 33(12): 8-12.

[4] x p zhang A Framework for Operation and Control of Smart Grids with Distributed Generation Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE 20-24

July 2008: 1 - 5.

[5] 张伯明, 吴素农, 等. 电网控制中心安全预警和决策支持系统设计 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(6): 1-5.

[6] 苗新, 张恺, 等. 支撑智能电网的西悉尼通信体系. 电网技术, 2009, 33(17): 8-13.

[7] 谢开, 刘永奇, 等. 面向未来的智能电网 [J]. 中国电力, 2008, 46(6): 19-22.

### 作者简介

郑毅, 男, 成都电业局生产技术部、高级工程师、工学硕士、长期从事电网自动化通信和二次系统技术管理和工程建设。  
(收稿日期: 2009-10-28)

(上接第 63 页)

[8] 李俊峰, 王仲颖, 胡润青, 等. 中国新能源与可再生能源政策法制建设 [R]. 中国新能源产业年度报告 2008. 2008, 11.

[9] 新华网. 可再生能源法修正案草案向社会公开征集意见(全文) [N]. [http://news.xinhuanet.com/legal/2009-08/28/content\\_11959731.htm](http://news.xinhuanet.com/legal/2009-08/28/content_11959731.htm), 2009-8-28.

[10] 中国科技产业网 [N]. 新兴能源产业发展规划即将出台. <http://www.kejicy.com/cm/sreleasesys/zgkjcy/info-detailed.asp?id=5518>, 2009-8-10.

[11] 财政部, 科技部, 国家能源局. 关于实施金太阳示范工程的通知. 2009, 7.

[12] 电子工业专用设备编辑部. 薄膜太阳能电池前景 [J]. 电子工业专用设备, 2009, (1): 1-4.

[13] 赵朝会. 光伏发电技术的研究现状和应用前景 [J]. 上海电机学院学报, 2008, 11(2): 104-109.

[14] 张志强, 马琴, 程大章. 太阳能光伏发电系统中的控制技术研究 [J]. 低压电器, 2003, (12): 55-58.

[15] 彭方正. 变流技术在分布式发电和微电网上的应用 [J]. 变流技术与电力牵引, 2006, (2): 23-27.

[16] 曾议, 吴政球, 刘杨华, 等. 分布式发电系统孤岛检测技术 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(3): 106-110.

[17] 钱科军, 袁越. 分布式发电技术及其对电力系统的影响 [J]. 继电器, 2007, 35(13): 25-29.

[18] 刘杨华, 吴政球, 涂有庆, 等. 分布式发电及其并网技术综述 [J]. 电网技术, 2008, 32(15): 71-76.

(收稿日期: 2009-10-10)

(上接第 72 页)

上述两种接线方式要实现自愈功能, 需要环网柜宜留有备用空间以安装控制、测量装置, 宜具备扩展

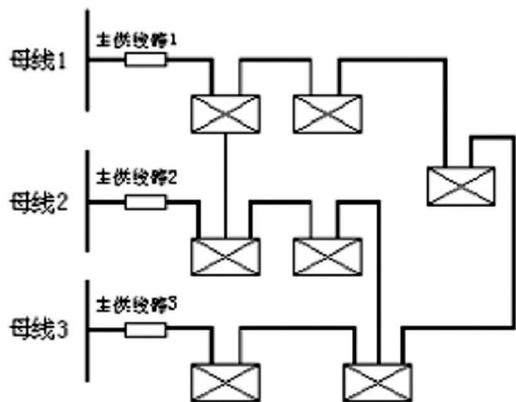


图 6 互为备用的三回馈线组接线方式

功能或接口; 负荷开关需配有电动操作机构, 直流操作, 电源由 10 kV 母线电压互感器提供。在环网柜的所有进线和出现负荷开关都安装 FTU, 并通过光纤接入主站系统, 由于开关数较多, 判断的逻辑顺序较为复杂, 必须开发相应的软件来控制负荷开关的动作。当线路上发生故障时候, 主站系统根据 FTU 传递的

信息, 通过软件计算遥控相应的负荷开关的开合, 以达到隔离故障, 恢复无故障段供电的目的。

### 3 结 论

以上对目前城市配电网要实现智能配电网的自愈功能进行了初步的探讨, 不同的配电网接线模式实现自愈功能的模式是不同的。随着中国城市化进程的加快, 对城市供电可靠性的要求越来越高, 因此对配电网的接线模式必须要有新的研究和突破, 尽量找到适合国情的配电网接线模式, 在此基础上实现智能配电网的自愈功能, 这样才能符合发展智能电网的总体需求。

### 参考文献

[1] 徐丙垠. 智能电网与配电自动化技术讲座, 2009.

[2] 能源部, 建设部. 《城市电力网规划技术导则》[M]. 北京: 水利水电出版社, 1995.

[3] DL/T 599-1996. 城市中低压配电网改造技术导则.

[4] 刘建. 配电自动化系统 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

(收稿日期: 2009-10-10)