

用户侧光伏微电网发展机遇与挑战

吴小云, 顾广娟

(南车电气技术与材料工程研究院, 湖南 株洲 412001)

摘要: 文章阐述了用户侧光伏微电网的基本概念, 从平价上网、智能电网的规划和建设、建筑光伏等方面分析其发展机遇, 并针对其在配电网规划建设、光伏电源与配电网的协调运行、电网稳定和电能质量等方面存在的问题阐明其产业化发展的阻力及挑战。

关键词: 分布式发电; 用户侧光伏微电网; 建筑光伏; 智能电网

中图分类号: TM615+.2

文献标识码: A

文章编号: 1671-8410(2011)06-0039-04

Opportunities and Challenges for Development of Photovoltaic Micro-grid for User-side

WU Xiao-yun, GU Guang-juan

(CSR Institute of Electrical Technology & Material Engineering, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: This paper describes the basic concept of photovoltaic micro-grid for user-side, analyzes its developing opportunities from grid parity, programming and constructing of smart-grid and architecture photovoltaic respectively, and illuminates its resistances and challenges for the development in the light of problems such as programming and constructing of power distribution network, coordination running of photovoltaic power and power distribution network, power grid stabilization and power quality.

Key words: distributed generation; photovoltaic micro-grid for user-side; building photovoltaic; smart-grid

0 引言

光伏发电和风力发电等分布式电源是典型的间歇性电源, 其输出功率波动大, 稳定性差, 容易对接入大电网的稳定运行产生不利影响, 制约了其大规模的并网应用^[1-2]。微电网技术是近年来兴起的一种新型电网模式, 它能充分发挥分布式电源作用, 提高电网供电可靠性和电能质量, 其研究尚处于理论研究和示范性应用阶段。美国、德国、日本等发达国家正在加大微电网技术的研究力度, 相继建立了大量的示范应用工程。目前, 示范应用的微电网工程大多仅立足于微电网拓扑结构和内部稳定, 涉及用户侧微电网与配电网协调运

行的研究还较少^[3-4]。本文重点研究以充分利用光伏发电为目的的用户侧光伏微电网, 讨论了其基本概念, 分析了其在我国的发展机遇与挑战, 为中国用户侧光伏微电网的产业化发展提供部分参考。

1 用户侧光伏微电网概念

2002年, 美国电力可靠性解决方案委员会(the Consortium for Electric Reliability Technology Solutions, 简称CERTS)首次提出了微电网的概念: 微电网是一种由负荷和分布式微型电源共同组成的系统, 可同时供电和供热, 具有单一、可控、“即插即用”的特点^[5]。光伏微电网是将光伏发电单元、储能设备和用户群体构成一个有机整体, 通过公共连接点与外界大电网相连接, 实现对本区域内的发电、储电及用电设备的互动管理。根据接入电网的不同, 光伏微电网又分为光伏电

收稿日期: 2011-09-01

作者简介: 吴小云(1983-), 男, 研究方向为光伏微电网控制技术。

站微电网和用户侧光伏微电网两类。前者一般容量较大且直接并入10 kV及以上的输电网；后者一般分布在大型住宅小区或大型工矿企业，与380 V用户侧配电网直接相连。

用户侧光伏微电网以充分利用太阳能发电为目标，由微型电力网络和内部通信网络两部分组成，融合先进的信息技术、控制技术、电力电子技术和电力系统技术，实现对发电、储电、用电的互动管理。其中，微型电力网络由光伏电源、旋转后备电源、分布式或集中式储能装置、本地负载以及电能质量调节装置等集合而成，通过公共连接点(PCC)与大电网连接；通信网络负责微电网控制中心(CCU)与各个终端设备本地控制器(FU)之间的信息交互，构成N+1型的双层网络控制系统实现对用户侧光伏微电网的协调控制。

2 发展机遇

用户侧光伏微电网属于配电网侧并网光伏发电系统，处于负荷中心，可以提高配电网侧并网光伏发电接入容量比率，增加可再生能源的利用效率，促进光伏发电的商业化进程。近年来，各国积极制定光伏发电补贴政策，提出光伏发电平价上网制度，并快速发展智能电网和建筑光伏产业，进一步为用户侧光伏微电网的迅速发展提供了契机。

2.1 政策激励

20世纪90年代以来，随着常规化石能源成本的上升以及人们对环境保护的日益重视，光伏发电技术得到了广泛关注，各国政府分别推出了不同的光伏发电激励政策，进一步加速了光伏发电产业链的发展进度。目前光伏发电已进入初步商业化运作阶段^[6]。

随着1997年12月《京都议定书》的签订，世界上各国陆续推出了新的光伏激励政策。2000年，德国制定了《可再生能源法》；2002年，韩国开始实施“购电补偿法”；西班牙于2004年开始实施“皇家太阳能计划”并于2006年提出“购电补偿法”；2005年，美国制定了《联邦能源政策法案》。日本、德国和美国相继提出了“百万屋顶计划”。美国在加州“百万屋顶计划”之后又提出了“千万屋顶计划”，仅此项目计划美国就能新增45 GW的光伏装机容量^[6]。

我国于2006年开始实施《中华人民共和国可再生能源法》，2009年财政部制定了《太阳能光电建筑应用财政补贴政策》和《金太阳示范工程财政补助资金管理暂行办法》。这些补贴政策和法律的实施，加快了我国光伏发电产业的发展速度。世界光伏发电总装机容量

2009年为7.3 GW，2010年为16.6 GW，年增长率为129%，预计2011年将达到21 GW^[7]；而我国2009年光伏装机容量为228 MW，2010年为500 MW，预计2011年将达到1 GW。

目前，国内用户侧光伏微电网示范工程有杭州电子科技大学120 kW用户侧光伏微电网系统和中国南车集团250 kW用户侧光伏微电网系统。杭州电子科技大学项目光伏装机容量达到微网系统一次能源总容量的50%，而中国南车集团项目光伏装机容量达到微网系统一次能源总容量的70%。

2.2 平价上网

光伏发电“平价上网”是指电网公司按照常规上网电价购买输电网侧并网光伏电站光伏电量或按照电力公司销售电价购买配电网侧并网用户光伏电量。现阶段光伏电价远高于常规电价，需要政府补助其上网电价差或是按光伏电站工程造价比例进行一次性投资补助。

光伏组件成本占光伏并网电站一次投资的50%以上，是影响光伏电价的主要因素之一。目前，晶硅电池组件在国内市场上的价格约为8~10元/W，而光伏电站的一次投资造价在16元/W左右。表1示出目前10 MW地面光伏电站一次投资的成本分析(不包括土地使用成本)。按照目前光伏电站寿命定为25年、年有效利用时间为1 200 h、光伏电站发电效率为75%的标准计算，考虑贷款利息和投资收益率等影响因素，光伏并网电价在1.2元/kW·h左右，是常规电价的4倍左右。

表1 光伏并网发电投资成本
Tab. 1 Investments of a grid PV system

	前期准 备及工 程设计	光伏 组件	并网 逆变器	配电测 量及电 缆等	设备 运输	安装调 试和入 网检测	合计
投资额/ (万元·kW ⁻¹)	0.2	0.9	0.15	0.1	0.08	0.2	1.63
比例/%	12.2	55.2	9.2	6.2	5	12.2	100

国家发改委能源研究所、中国可再生能源企业家俱乐部和北京大学教育基金会共同主持完成了《中国光伏发电平价上网路线图》(图1)，并于2011年8月12日在北京正式发布。由图1可以看出，到2015年，我国部分地区可以实现用户侧光伏发电平价上网，届时我国建筑光伏产业(工商业连片集成应用)将步入大规模商业化应用阶段；2020年左右，输电侧并网光伏电价也将实现“平价上网”，届时光伏发电将在76%的发电市场形成商业竞争^[8-9]。

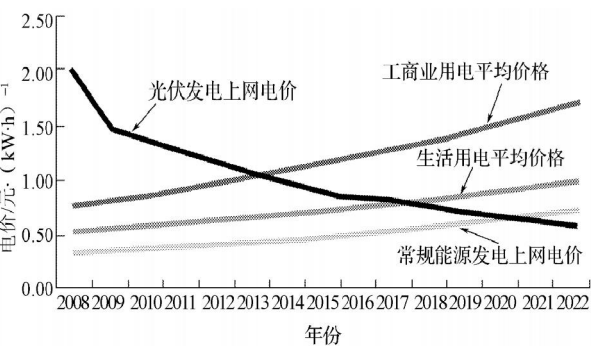


图1 光伏发电平价上网路线图
Fig. 1 Route map of PV grid parity

2.3 智能电网的推动作用

电力市场化进程和可再生分布式电源的大规模开发和利用,催生了人们对于建设灵活、清洁、安全、经济及友好智能电网的需求。2001年,美国电力科学研究院(Electric Power Research Institute,简称EPRI)提出“Intelligrid”(智能电网)的概念;2005年欧洲提出类似的“Smart-grid”概念;2009年中国国家电网公司正式提出“坚强智能电网”的概念。“坚强智能电网”是以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强网架为基础,以通信信息平台为支撑,具有信息化、自动化、互动化的特征,包含电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度各个环节,覆盖所有电压等级,实现“电力流、信息流、业务流”高度一体化融合的现代电网^[10]。

智能配电网从传统的被动式网络转化为主动式网络,有利于分布式发电的接入,能更有效地连接发电侧和用户侧,使得双方都能实时地参与电力系统的优化运行,其发展为用户侧光伏微电网的发展进一步扫清了障碍。用户侧光伏微电网同时又是智能配电网的主要组成部分,用户侧光伏微电网的研究与发展为住宅小区、商业区、工矿企业等建筑光伏大规模地接入电网提供了一种经济可行的方案,进一步加速传统电网向智能电网的过渡进程。

2.4 建筑光伏与用户侧光伏微电网的有机统一

建筑光伏主要分为BIPV(building integrated photovoltaic)和BAPV(building attached photovoltaic)两种形式。BAPV是在已有建筑资源(如幕墙和屋顶等)上面装设光伏组件及其配套系统;而BIPV则利用表面建筑材料(如瓦、玻璃和建筑幕墙等)将光伏发电系统与建筑有机集成在一起,光伏组件既能发电又是建筑材料的一部分。目前的建筑光伏系统以BAPV为主,这主要是因为BIPV光伏组件价格造价一般是常规光伏组件的2~3倍;但随着BIPV光伏组件价格的下降,BIPV将充分发挥出其成本优势。

建筑光伏因其可直接安装在建筑上无需直接占用土地资源,自1973年在美国波士顿建设完成第一个光伏并网系统以来,得到了快速发展,尤其是在日本和欧洲的德国、西班牙、法国等地。表2示出2006年德国光伏的细分市场,目前在德国其建筑光伏比重已超过90%^[11]。

表2 2006年德国光伏的细分市场
Tab. 2 PV market segments of Germany in 2006

项目名称		比例/%
建筑光伏电站	BIPV	1
	住宅屋顶	76
	大型工、商业建筑光伏	13
大型地面光伏电站		10

建筑光伏处于负荷中心,多采用直接与用户侧的配电网相连接的方式并网。目前各国由于补偿电价的不同,其发电计量和用途有所不同。在我国,目前在建和获批的“金太阳”建筑光伏和光电建筑一体化示范工程多采用低压380V并网、光伏发电用户自发自用的方式,国家财政一次补偿光伏发电用户50%的工程造价。

近年来,国家加强了可再生能源的开发力度,国家“863”重点攻关计划也多次提到了提高可再生能源渗透率的问题。据统计,我国现有光伏发电可利用建筑面积高达185.1亿m²,若有20%的安装,则总装机容量将超过200GW^[12]。用户侧光伏微电网与建筑光伏的有机结合,有利于加快建筑光伏发电产业的发展进度,而建筑光伏的快速发展也必将进一步推动用户侧光伏微电网技术的发展。

3 用户侧光伏微电网发展可能遇到的挑战

用户侧光伏微电网的引入,使得传统配电系统从放射状无源网络变为分布有中小型电源的有源网络,使配电系统的控制和管理更加复杂,对配电网的规划建设、稳定运行、可靠性和电能质量将会产生一些不利影响^[13-15]。

3.1 对电网规划建设的影响

含大量光伏发电电源的用户侧光伏微电网一旦接入常规配电网,传统放射状的无源配电网将变成一个集发电、输电、配电、用电为一体的能量中转站,给配电网的规划带来诸多影响^[16]。

随着越来越多的用户侧光伏微电网系统接入到配电网中,集中式发电所占比例将有所下降,电力网络的结构和控制方式可能会发生很大的改变,将要求电

力网络从设计及规划等各方面进行升级换代。相关专家和学者针对光伏微电网的接入点、微网内部光伏发电电源的接入点、电源规划和网络模型等方面进行了研究^[17-18],国家“863”攻关项目也为此设立了专门的课题任务,但目前都处于理论研究阶段,尚未形成相应的规划设计原则和规范。

3.2 可靠性和稳定性问题

用户侧光伏微电网作为单一可控的网络系统与配电网相连,在并网运行时与大电网进行能量交换,根据《可再生能源法》优先使用可再生能源的要求,需要尽量满足光伏发电电源的最大功率上网发电。光伏发电属于间歇性能源,输出功率随机变化率较大,虽相比于风力发电其预测精度较高,但由于天气原因,突变预测很难,给配电网的电力调度带来了新的问题。其次,用户侧光伏微电网的接入还对传统配电网基于同步发电机特性的电压调节、无功调节等控制方式提出了新的要求,光伏电源高渗透率下可能引起电压偏移和铁磁振荡等问题^[19]。再者,用户侧光伏微电网内部的光伏微电源、储能元件之间的协调运行,用户侧光伏微电网与其所连配电网的协调运行,用户侧光伏微电网孤岛稳定运行以及并网/孤岛模式切换稳定运行等技术问题目前尚处于理论研究阶段。

3.3 电能质量问题

用户侧光伏微电网中的光伏微电源和储能元件通过大量的电力电子器件并网,会给电网带来谐波污染。传统电网主要由同步旋转发电机组组成,同步发电机具有惯性大、响应速度慢的特点,带逆变器的电力电子装置接口惯性小、响应速度快,因此用户侧光伏微电网的接入会使传统配电网出现电压波动、频率波动、电压闪变等电能质量问题^[20]。光伏微电源的大量接入,会使传统配电网单向潮流特性变为双向潮流特性,给配电网继电保护带来新的难题。

4 结语

随着光伏组件成本的大规模下降和国家政策支持,光伏发电产业得到了快速发展。建筑光伏因其自身优势得到了迅速发展,推动了用户侧光伏微电网技术的研究和发展。随着用户侧光伏微电网技术的不断完善和工程实践的验证,将进一步推动光伏发电尤其是建筑光伏发电产业的发展,因此,积极开展用户侧光伏微

电网相关技术的研究非常必要。

参考文献:

- [1] 梁才浩,段献忠. 分布式发电及其对电力系统的影响[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(6): 53-56.
- [2] 王建,李兴源,邱晓燕. 含有分布式发电装置的电力系统研究综述[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(24): 90-97.
- [3] 李志勇,冯江华. 智能型光伏微电网及其N+1控制模式研究[J]. 大功率变流技术, 2010 (5): 29-32.
- [4] Barnes M, Engler A, Hatziaargyriou N, et al. Microgrid Laboratory Facilities[C]// Proc. International Conference on Future Power Systems. Netherlands, 2005: 16-18.
- [5] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 100-107.
- [6] Chakraborty S, Weiss M D, Simões M G. Distributed Intelligent Energy Management System for a Single-Phase High-Frequency AC Microgrid[J]. IEEE Transactions on Industrial electronics, 2007, 54(1): 97-109.
- [7] EPIA. Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2015[R/OL]. (2011-04)[2011-08-21]. <http://www.epia.org/publications/photovoltaic-publications-global-market-outlook/global-market-outlook-for-photovoltaics-until-2015.html>.
- [8] 太阳能光伏有望2015年实现用户侧的平价上网[EB/OL]. (2011-08-19)[2011-08-21]. <http://www.bipvcn.com/news/headline/6229.html>.
- [9] EPIA. Solar Generation V[R/OL]. (2008-09)[2011-08-21]. <http://www.epia.org/publications/archives/archives-publications.html>.
- [10] 常康,薛峰,杨卫东. 中国智能电网基本特征及其技术进展评述[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 10-15.
- [11] 王斯成. 光伏发电的市场发展和政策分析[R]. 北京: 国家发改委能源研究所, 2011.
- [12] 刘邦银. 建筑集成光伏系统的能量变换与控制技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [13] 欧阳武. 含分布式发电的配电网规划研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [14] 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): 71-75.
- [15] Nagata T, Sasaki H. A multi 2 agent approach to power system restoration[J]. IEEE Trans. on Power Systems, 2002, 17(2): 457-462.
- [16] 刘伟,彭冬,卜广全,等. 光伏发电接入智能配电网后的系统问题综述[J]. 电网技术, 2009, 33(19): 1-6.
- [17] 余贻鑫,吴建中. 基于事例推理模糊神经网络的配电网短期节点负荷预测[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(12): 19-23.
- [18] Nakama H. NEDO research related to large-scale PV-related grid-connection projects[R]. Japan: NEDO (New energy and industrial technology development organization), 2007: 20-26.
- [19] Guerreo J M, Matas J, de Vicuna L G, et al. Wireless-control strategy for parallel operation of distributed-generation inverters[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2006, 53(5): 1461-1470.
- [20] 茆美琴,丁明,张榴晨,等. 多能源发电微网实验平台及其能量管理信息集成[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(1): 106-111.