

分布式电源与微电网考虑需求侧响应机制下的经济效益分析

面对化石能源日益枯竭和化石燃料利用带来的环境污染等问题，在大力发展可再生能源和智能电网技术政策驱使下，大规模的分布式电源与微电网接入配电网。但是，分布式电源接入配电网增加了电力调度、运行管理和市场交易难度，同时，对配电网保护、运行机制和经济效益产生了很大影响。从经济性、环境效益和可靠性等方面分析了智能电网环境下，分布式电源与微电网经济型运行特性，对于分布式电源与微电网参与电网电价机制和需求侧响应，提出了响应模型，进而更好地服务电力用户。

宫建锋 屈高强 党东升 满玉光/国网宁夏电力公司经济技术研究院

0 引言

随着智能电网建设的推进，大规模分布式电源与微电网的接入对配电网的智能化、互动化和可靠性提出更高要求。伴随着电力市场新一轮的改革，以可再生能源为代表的分布式电源的发展，推动了电力科技的进步^[1-3]。为适应新时代的新要求，考虑需求侧响应的智能电网应运而生。其目的是利用现代测量、通信、计算机和自动化等技术保证电网更可靠、更灵活及更经济，从而为用户提供更高的供电质量和更优的服务，也能更好地支撑现代电网的运行。

1 智能电网发展需求

智能电网囊括了一系列电力系统发展的新技术，其本质是能源的高效利用以及新能源替代。因此，以分布式电源为代表的，装有小规模清洁能源的微电网，以及需求侧响应技术是智能电网技术中两个重要方面。

1.1 智能电网环境下需求侧响应机制

未来的智能电网将采用实时电价体系，用户购电进一步追求透明化、公开化，用户的需求将参与响应电价机制，而不是简单的峰谷电价。与此同时，电价机制会根据电力系统实际运行情况实时调整，通过智能化的人机界面将实时电价反馈给用户，用户根据当前电价选择用电方式，从而使现代电力系统的发电、输电、配电和用电更加智能化^[4-5]。

1.2 分布式电源与微电网在智能电网的发展

微电网接入大电网时可以通过调节 P/Q 来实现有功功率和无功功率输出，离网时通过 V/F 下垂控制策略保证孤网运行安全，从而实现电力潮流的双向流动。微电网一般装有储能装置，可以实现削峰填谷，虽然规模小，但相对于大规模储能降低了难度，也节省了成本。

2 分布式电源与微电网经济效益分析

分布式电源与微电网主要面向用户侧，从而节省了输变电投资以及运行费用，减少集中输电线路损耗，对大电网起有力补充和有效支撑作用。将分布式电源以微电网形式接入电网，通过能量管理系统，可以以最优的方式发挥可再生能源的发电能力^[6-8]。因此，由光伏、风电和储能等分布式能源以及负荷构成的分布式光风储微电网，不仅能够有效利用可再生电源，更能提高电力系统供



宫建锋/工程师

关键词/Keywords

分布式电源 ·
智能电网 ·
微电网 ·
需求侧响应 ·
电价机制 ·

电可靠性水平和能源利用率。

2.1 分布式电源与微电网可靠性成本

可靠性成本是指为了保证微电网可靠运行所投资的费用^[9]。从配电网建设角度看,可靠性成本主要包括微电网系统的固定设备投资以及运行维护费用,固定成本折算成等年值后设备成本为

$$H_{\text{invest}} = \left(\frac{\omega(1+\omega)^n}{(1+\omega)^n - 1} \right) C_{\text{DG}}$$

式中, n 为分布式电源投资使用的年限; ω 为固定年利率; C_{DG} 为总安装投资固定成本。

2.2 分布式电源与微电网可靠性效益

当在特殊情况下(如发生地震、暴风雪和洪水等意外灾害情况)或在大电网用电紧张需大范围拉闸限电时,微电网可以作为配电网的后备电源向配电网提供有力支撑。此时,微电网能量管理系统接收调度端下发的交换功率紧急控制命令,在保证微电网内部重要负荷用电的前提下,使分布式发电设备的输出功率最大化,而使微电网内的负荷用电最小化(切除非重要负荷),以实现配电网的紧急援助^[10-11]。考虑停电损失一般采用平均电价折算倍数法,或者产电比法,本文将两者综合并引入权重

$$H_{\text{benefit}} = Q_{\text{expect}} (\alpha_1 A + \alpha_2 B)$$

式中, Q_{expect} 为电量不足期望值(EENS); α_1 , α_2 分别为产电比法和平均电价折算倍数法的权重; A 为产电比; B 为单位停电电量电价与平均电价的比值与平均电价的乘积。

2.3 分布式电源及微电网运行及维护成本

在分布式电源与微电网正常运行中,需要定期或者不定期进行运行与维护,及时维修更换故障元件,对于微电网,发电越高则所需要的运维费用越高,即

$$H_{\text{COST}} = \sum_{h=1}^{24} \sum_{j=1}^m V_{\text{part}} + \sum_{h=1}^{24} C_h S_{\text{grid}}$$

$$V_{\text{part}} = K_2 P_j$$

式中, m 为总微电源数; V_{part} 为微电网中第 j 个元件的运行维护成本; P_j 为该元件在此时的有功出力; K_2 为运行维护系数(与运行维护投资有关);

S_{grid} 为每小时微电网向大电网送电量(用电为负值); C_h 为当前电价。

2.4 分布式电源及微电网的环境效益

假设,传统发电(以火电为例)的煤耗为 0.314 5 kg/kW·h(2014年统计数据),计算得到 SO_2 、 NO_x 、 CO_2 、 CO 、TSP、粉煤灰和炉渣等污染物单位千瓦时的环境成本分别为:0.002 3 元/kW·h, 0.020 128 元/kW·h, 0.071 86 元/kW·h, 0.000 082 元/kW·h, 0.001 53 元/kW·h, 0.004 15 元/kW·h, 0.000 94 元/kW·h,可得传统发电厂的总的环境成本为0.101 0 元/kW·h。因此,对于分布式电源每度电的环境成本为0.101 0 元/kW·h。污染物排放率如表1所示。主要污染物环境价值如表2所示。

表1 电厂燃煤1吨排放主要污染物的量

污染物	SO_2	NO_x	CO_2	CO	TSP	粉煤灰	炉渣
排放率/(kg/t)	1.25	8.00	1 731.00	0.26	0.40	110.00	30.00

表2 电厂主要污染物环境价值

污染物	SO_2	NO_x	CO_2	CO	TSP	粉煤灰	炉渣
环境价值/(元/kg)	6	8	0.132	1.00	12.20	0.12	0.10

3 需求侧响应技术

需求侧响应通过价格激励等一系列策略,将电力市场需求引入到价格设定中去。本文将微电网与需求侧响应技术结合,使分布式电源和微电网参与电网电价机制和需求侧响应,进而更好地服务电力用户。

3.1 需求侧响应管理技术

需求侧响应主要分为基于价格和基于激励两种,其中基于价格的策略有:分时电价(TOU)、尖峰电价(CPP)和实时电价(RTP)。基于激励的需求响应项目包括:直接负荷控制(DLC)、紧急需求响应(EDR)、容量/辅助服务计划(CASP)和可中断负荷(IL)项目^[6]。其中,微电网向大电网送电价格按照当时电网价格计算。分时电价如图1所示。需求侧响应策略如表3所示。

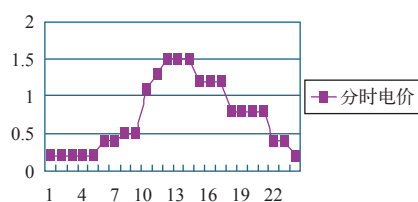


图1 24 h分时电价

表3 需求侧响应策略

项目	电价	激励	惩罚
TOU	峰谷电价分别为1.2 0.5	0	0
CPP	峰值1.6	0	0
RTP	24 h电价见图1	0	0
DLC	0.8	0.3	0
EDR	0.8	0.5	0
CASP	0.8	0.2	0.1
IL	0.8	0.3	0.15

实验对象采用甘肃电力科学院分布式电源与微电网实验室,其主要设备有光伏3 kW,双向储能30 kW。每日0:00~5:00时采用30 kW从大电网充电,11:00~15:00时以30 kW功率放电自用,光伏以晴天日平均功率计算。采用需求侧响应策略后,在不考虑由于价格激励引起的负荷转移的情况下,经济效益排序如图2所示。

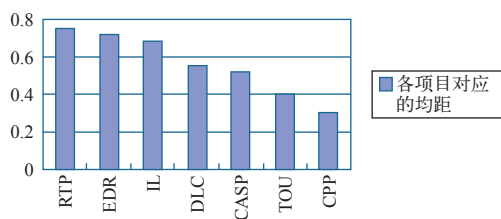


图2 从微电网角度的经济效益排序

由图2可知,采用实时电价项目可以使微电网产生最大效益。

3.2 电力需求弹性

电力需求弹性类型如表4所示。

表4 电力需求弹性类型

弹性类型	定义
收入弹性	收入每改变1%,对应电力需求的变化量
自身价格弹性	电力价格每改变1%,对应电力需求的变化量
替代弹性	两种相关商品相对价格改变1%,相对需求量的变化量
交叉价格弹性	相关商品价格改变1%,对应电力需求的变化量

按照需求弹性理论,可将负荷分为:可转移负荷以及可避免负荷。

(1) 可避免负荷需求响应模型

可避免负荷是指进行价格激励后,用户避免或者削减该负荷。此类负荷对于价格和激励报酬具备自动调节能力。可避免负荷模型基于用户需求的自身价格弹性,参与电网需求侧响应,可以得到用户在响应后的负荷变动为

$$d(t) = d_0(t) \times \left\{ 1 + \frac{E(t) \times [p(t) - p_0(t) + A(t)]}{p_0(t)} \right\}$$

式中, $d_0(t)$ 为初始需求; $E(t)$ 为自身价格弹性; $p(t)$ 为分时电价; $p_0(t)$ 为初始电价; $A(t)$ 激励报酬(补偿),如果 $A(t)=0$ (无激励报酬时), $d(t)=d_0(t)$,此时,价格将不会发生变化,价格弹性为零。

(2) 可转移负荷需求响应模型

可转移负荷是指用户根据价格激励后做出反应,调整负荷工作的时间。这类负荷对价格具有一定敏感性。在考虑用户的交叉价格弹性后,第 i 时段和第 j 时段的交叉价格弹性为

$$E_0(i, j) = \frac{p_0(j)}{d_0(j)} \times \frac{\partial d(i)}{\partial p(j)}$$

基于价格变动响应的需求函数为

$$d(i) = d_0(i) + \sum_{j=0}^{23} E_0(ji) \times \frac{d_0(j)}{p_0(j)} \times [p(j) - p_0(j) + A(j)]$$

式中, $d_0(i)$ 为初始需求; $E_0(i, j)$ 为交叉价格弹性; $p(t)$ 为分时电价; $p_0(t)$ 为初始电价; $A(t)$ 为激励报酬(补偿)。

将可避免负荷与可转移负荷公式相结合后,可以得到

$$d(i) = d_0(i) \left\{ 1 + \sum_{j=0, j \neq i}^{23} E_0(ji) \times \frac{[p(j) - p_0(j) + A(j)]}{p_0(j)} + \frac{E(i) \times [p(i) - p_0(i) + A(i)]}{p_0(i)} \right\}$$

4 结束语

本文首先分析了智能电网环境下,分布式电源与微电网参与需求侧响应的机制。通过分析分布式电网运行特性,在研究微电网经济运行的基础上,研究了考虑需求侧响应机制下,分布式电

源与微电网运行经济性。将电价机制纳入分布电源与微电网能量管理策略,提出分时电价项目有利于微电网的发展,削峰填谷。最后列出在需求侧响应策略下,负荷的变动,并用数学方法归纳其负荷变化量,进而提出考虑需求侧响应分布式电源与微电网运行经济性模型。

参考文献

- [1] 郭磊. 电力产业需求侧管理与需求侧响应定价 [J]. 价格理论与实践, 2007, 5 (18): 33-34.
- [2] 刘宝华, 王冬容, 曾鸣. 从需求侧管理到需求侧响应 [J]. 电力需求侧管理, 2005 (5): 10-13.
- [3] 王雨. 分布式光储微电网系统调控技术研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [4] 陈俊生. 面向智能用电的需求响应技术及家庭用户用电策略研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [5] 曾鸣, 樊倩男. 新形势下我国电力需求侧管理

的发展方向 [J]. 黄河科技大学学报, 2016 (6): 53-60.

- [6] 张节潭, 程浩忠, 胡泽春, 等. 含风电场的电力系统随机生产模拟 [J]. 中国电机工程学报, 2009 (28): 34-39.
- [7] 江道灼, 郑欢. 直流配电网研究现状与展望 [J]. 电力系统自动化, 2012 (8): 98-104.
- [8] 朱克平. 适应于分布式电源接入的直流微电网研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [9] 殷晓刚, 戴冬云, 韩云, 等. 交直流混合微网关键技术研究 [J]. 高压电器, 2012 (9): 43-46.
- [10] 周金辉, 田龙刚, 潘浩. 交直流混合微电网规划设计研究 [J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2015 (2): 28-32, 100.
- [11] 陈益哲. 微网中分布式储能系统的建模与控制研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.

(收稿日期: 2016-11-10) EA

广告 | AD



Weidmüller

魏德米勒Energy Meter电力参数测量仪 —— 高效透明的生产电能监测

魏德米勒Energy Meter电力参数测量仪不仅能监测电能的消耗,它还能监测电能质量的基本参数和分析来自不同导体的电流的细微差别,使电力行业用户能够快速地了解生产设备中电能参数的变化情况,保证其稳定和高效地使用。具有综合功能的Energy Meter电力参数测量仪使您可以将生产点的能源网络分块测量,尽可能精确地进行监测,配备有一体的液晶显示屏,重要的监测数据如电压、电流、功率和能耗都能一目了然。

扫一扫,关注魏德米勒官方微信



Let's connect.