

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.04.004

# 基于电力市场改革的典型微网经济分析

陈凯, 任畅翔

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 作为分布式能源发展的阶段产物, 微网对分布式电源的有效利用以及对大电网的有效补充, 其可行性已得到充分的论证。随着电力改革的推进, 微网作为允许的潜在的新售电主体, 以其经济效益代表的生命力引起了电网企业以及第三方投资者的广泛关注。构建了并网型及离网型四类典型的分布式能源的配置方案, 并通过微网全生命周期内的经济测算, 分析了不同类型的微网的经济效益, 并结合售电侧市场化改革趋势, 提出了未来微网的运行模式。

**关键词:** 微网; 经济效益; 运行模式

中图分类号: F426.6

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)04-0018-05

## Economic Analysis of Typical Micro-grid Based on the Electricity Market Reform

CHEN Kai, REN Changxiang

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;)

**Abstract:** As the stage product of the distributed energy-development, the micro-network is an effective use of distributed energy as well as an effective complement to the big power grid, its feasibility has been adequately demonstrated. With the advance of electricity reform, as the new permitted electricity sales principal, micro-grid's economic benefits have attracted widespread attention of grid companies and third-party investors. The paper builds four typical configuration schemes of distributed energy including join-grid micro-grid and off-grid micro-grid, then analyzes the economic benefits of the different types of micro-grid by the economic estimates in full lifecycle. Finally, future micro-grid operational mode is proposed with combining the market reform of electricity sales side.

**Key words:** micro-grid; economic benefits; operational mode

随着新一轮电力市场改革深入, 售电市场的开放将会给分布式能源以及部分小水电带来潜在的机会。在部分工业园区, 商业楼宇以及偏远地区, 分布式能源组成的微网利用调节性以外的供电计划可向用户独立售电, 部分小水电就近组成微网向附近的辐射区域售电, 小水电自供区域就是此类微网的雏形。微网参与电力市场竞争, 不仅能提高供电质量, 满足用户定制多种电能质量的需求, 实现电网智能化<sup>[1-5]</sup>, 还有电价优势、解决偏远地区用电障碍和环保减排等经济社会效益<sup>[6]</sup>。

微网能否得到大规模推广, 其经济性是关键因

素。国内外已经有不少针对微网经济性的研究, 主要包括微网的经济运行研究、微网的成本和综合效益分析以及微网经济性影响因素三方面, 文献[7-8]较早地提出了微网经济运行模型, 文献[9]建立了包含风光、热电、燃料电池以及储能系统的微网经济优化模型, 文献[10]建立了冷热电三联供系统的节能优化调度模型, 重点研究了联供系统的生产成本、环境成本、协调成本对调度策略的影响。在微网的成本和综合效益分析方面, 文献[11]统一了微源的初始成本、运行维护费用、污染物治理等多个目标, 提及了微网成本效益分析的概念, 并基于粒子群优化算法对微网运行进行优化, 但并没有对微网的整体效益进行具体分析。在微网经济性影响因素研究的领域, 文献[12]提出冷电联供分布式供能系统的能量管理优化模型, 主要考虑了电网购电价格、燃气价格等因素对微网经济运行的影

收稿日期: 2016-10-20

作者简介: 陈凯(1967), 男, 湖南双峰人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力工程技经工作(e-mail) chenkai@gedi.com.cn。

响。文献[13]建立了基于分时电价的成本和效益分析模型,较好地解决了考虑峰谷分时电价时的效益分析问题,但没有对含多种分布式电源的微网经济运行进行具体分析。

已有微网经济性研究热点侧重于联供系统内的经济性分析以及调度策略,而将典型微网作为评价整体,进行直接经济效益分析的研究成果较少。在新一轮电改的背景下,微网新的运行方式将对其经济效益产生影响,本文设定了四类典型微网的配置方案,通过全投资的经济效益测算,分析不同类型的微网在目前成本水平下的经济效益及其影响因素,结合分布式能源造价水平、运维成本及购售电价差分析不同类型微网的生命力。

## 1 微网配置及运维方案构建

### 1.1 配置及接线方式

本文对于微网的配置方案分为并网型微网及离网型微网两类。并网型微网是大电网连接的微网,可运行在并网和离网两种模式。并网型微网通过公共连接点(PCC)与外部大电网相连,通过控制PCC处的状态实现微网的离网运行和并网运行<sup>[14-15]</sup>。并网型微网主要的应用场景为城镇地区商业楼宇型、经济园区型以及偏远地区的小水电型微网。离网型微网不与大电网相联,是独立运行的微网,主要运用在偏远地区,例如内陆偏远的无电区和远离大陆的孤岛等地区。

微网由微源、电网以及控制系统三个部分组成<sup>[16-17]</sup>。其中微源配置应因地制宜,典型电源配置主要为风机、光伏、柴油机和微燃机以及储能装置,简称风光柴储。由于城市风机对城镇居民影响较大且尚不具备推广条件,而柴油机噪音及污染大,微燃机能源转换效率低,项目经济性差,无法为投资运营企业带来经济效益,因此,柴油机、微燃机和风机在城镇并网型微网中较少采用。基于此,本文设定的城镇地区并网型微网电源主要考虑屋顶光伏发电系统以及储能。储能系统的容量配置仅考虑保证重要负荷的供电,由于在微网系统中对储能的性能相比电动汽车等项目低,综合考虑占地条件与工程实际情况的要求,微网中可采用目前成本较低的铅酸电池作为储能的主要形式。针对偏远地区的小水电型并网型微网,微源为水力发电,但考虑到小水电的出力特性不宜配置储能,因此配备

柴油发电机保证整个微网系统在电网故障或并网线检修时能够离网运行,柴油机的配置将按照负荷容量进行配置。根据实际情况,该类微网中负荷相对于小水电容量较小,小水电多余电量将全部上网。针对海岛等偏远地区的离网型微网,分布式电源可以包含太阳能光伏、风机、柴油发电机或微燃机等多种形式综合布置。本文的离网微网电源配置基于东福山岛、万山群岛等孤岛微网配置情况进行构建,各方案的负荷规模以及微源配置如表1所示。

表1 微网典型应用以及配置方案

Tab. 1 Typical application and configuration scheme of microgrid

方案	应用场合	接入等级/kV	负荷规模/kW	水电/kW	光伏/kW	柴发/kW	风电/kW	储能/kWh
S-1	小水电型	10	100	500	—	100	—	—
并网型	M-1 商业楼宇	10	7 000	—	1 200	—	—	500
	M-2 经济园区	10	15 000	—	3 600	—	—	2 000
离网型	L-1 偏远地区	10	500	—	200	1 000	200	1 000

微网的电网规模取决于供电范围以及负荷大小,城镇地区主要采用电缆,偏远地区采用架空线路。控制系统配置方面,并网型以及离网型微网都需要具备离网运行能力,应配置完备的微网控制系统,实现稳态、动态、暂态的控制。此外,并网型微网还需在进线开关处设置基本的并网保护控制装置,实现供电系统内部的保护控制、电能质量监测等功能。各方案的控制系统典型接线示意图如图1、图2和图3所示。

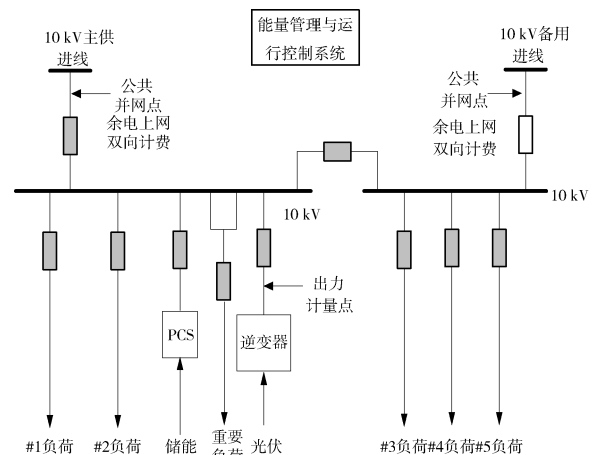


图1 商业楼宇以及经济园区并网型微网典型接线示意图  
Fig. 1 Typical wiring diagram of grid-connected microgrid in commercial buildings and economic parks

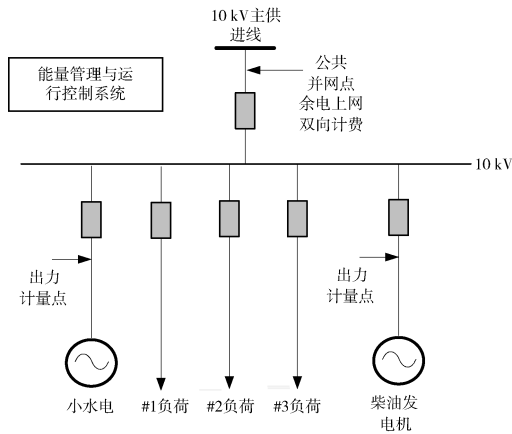


图2 小水电并网型微网典型接线示意图

Fig. 2 Typical wiring diagram of grid-connected microgrid of small hydropower

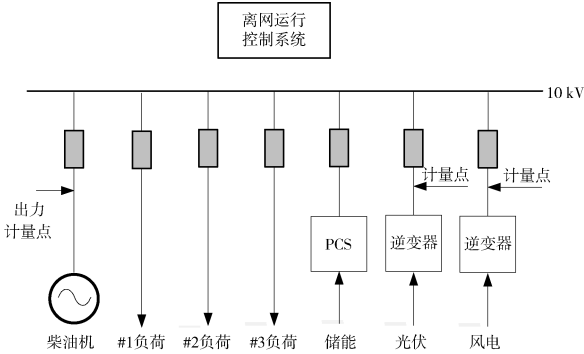


图3 离网型微网典型接线示意图

Fig. 3 Off-grid type microgrid Typical wiring diagram

## 1.2 运维方案设定

并网型微网运行维护方式如下：商业楼宇和经济园区方案中当微网内部供电不足时，由外部电网供电补充。无故障情况下，小水电方案中柴油发电机不发电，只有水利发电。发生大电网突发停电故障时，柴油发电机开启。丰水期无需从大电网购电，枯水期全年累计2个月需从大电网购电。当水电或光伏发电充足，微网供电过剩时，则余电上网。对此类情况，考虑负荷与发电的同时率问题并借鉴已有经验情况，小水电型余电上网发生概率较大，商业楼宇以及经济园区发生概率低。离网型微网在正常运行方式下，风机、光伏、柴油发电机和储能均频繁启停发电。运行维护方式如下：风机和光伏供电不足时，由柴油发电机和储能供电填补，在夜晚，柴油发电机或储能启动发电的概率很大，白天则相对较低；风机和光伏供电充足，微网供电过剩时，多余电量由储能存储；储能存储不了时，

切除部分风机或光伏。各方案的年电量需求如表2所示。

表2 各方案年电量需求表

微网类型	负荷年需电量	年发电量				年上网电量	年购电量
		水利发电	光伏年发电量	柴发年发电量	风机年发电量		
小水电型	150	1 000	—	0.652	—	875.7	25
商业楼宇	24 500	—	1 080	—	—	0	23 420
经济园区	75 000	—	3 240	—	—	64.8	71 824.8
偏远地区	750	—	180	250	0.320	0	0

注：(1)发电小时数：光伏900 h，风电1 600 h(陆地)，水电：2 000 h(山区径流式水电站)；(2)利用小时数：商业楼宇3 500 h，经济园区5 000 h，偏远地区1 500 h，以上数据依据实际工程统计依据确定；(3)小水电方案中柴油发电机年发电量由县级电网客户平均停电时间6.52 h为基准核算；(4)余电上网：设定商业楼宇余电上网率为0，根据实际工程经验，经济园区发生电上网率为2%。

## 2 典型微网的经济效益

### 2.1 总体经济性分析

基于界定的微网配置及运维的边界条件，本文对不同类型微网的成本、收入、经济效益分析以及敏感性因素四个方面进行详细的分析，得到表3。

表3 各方案投资经济指标评价表

方案	小水电型	商业楼宇	经济园区	偏远地区
投资总额/万元	1 062.6	1 666.65	4 305	1 020.6
内部收益率/%	11.32	1.71	4.86	—
净现值/万元	239.44	-551.73	-614.32	-983.12
投资回收期/年	9	17	13	—

由表3可知，并网小水电型方案内部收益率为11.32%，经济效益好，值得投资。并网商业楼宇和经济园区方案内部收益率为正，分别为1.71%和4.86%，但未达到基准收益率，经济性效益较差。离网型方案偏远地区经济效益差，内部收益率为负数，项目无法收回投资。

综上，除小水电型外的微网方案经济效益不理想，各方案均未达到预期7%的收益率，因此在现有的设备成本水平以及电价水平下这几种微网模式很难盈利。

#### 2.1.1 小水电型微网经济性综合分析

并网型小水电微网方案其经济性较好，内部收益率高达11.32%，且投入资金在项目投产第9年

就可收回投资, 在现有的技术水平和设备成本情况下, 此类微网具有生命力。

在未来发展趋势分析中, 由于水电站的建设、运营以及技术和造价水平较为成熟, 投资成本大幅下降的可能性较小。水电作为清洁能源, 上网电价可能有上涨的空间, 但小水电型微网必须依靠大电网为其提供容量备用, 在全年枯水期中, 小水电型微网必须从电网购电才能满足其内部电量平衡, 如果电网收取备用容量费将对其经济性产生影响。

### 2.1.2 商业楼宇以及经济园区微网经济性综合分析

并网型微网方案商业楼宇和经济园区采用光伏作为分布式电源, 在考虑政策补贴的条件下, 方案商业楼宇内部收益率仅为 1.17%, 在项目寿命周期内可勉强收回投资, 经济园区方案经济性稍好, 内部收益率已经达到 4.86%, 大约 13 年可收回投资, 但总体而言两方案经济性均较差, 目前条件下项目不具生命力。

商业楼宇微网方案对于光伏单价变化以及购售电价差敏感性较强, 只有当光伏成本下降至原单价的 40% (0.4 万元/kW) 或购售电价差达到每度电 0.038 元时, 项目才达到基准收益, 此类微网项目随着电力体制改革的深化进行将存在生命力。

经济园区微网方案经济性效益对于投资、光伏单价以及购售电价差敏感性非常强。当投资下降 20% 时, 项目即可达到基准收益, 同时光伏下降至原价的 70% (0.56 万元/kW) 时, 或购售电价差仅为每度电 0.014 元时, 项目达到基准收益率。此类微网项目生命力较强, 一方面可通过与设备商合作建设的方式降低设备投资, 另一方面可通过与电网公司谈判大用户直购电的方式压低购电成本, 项目盈利的可能性很大。

### 2.1.3 离网型微网经济性综合分析

离网型微网偏远地区方案内部收益率小于 -20%。而且离网型微网即使在总投资成本下降 50% 时, 内部收益率仍为 -15.34%, 说明即使未来投资成本能大幅下降, 离网方案依然在项目生命周期内无法收回投资, 从盈利角度上看不可行。但离网型微网主要应用于解决偏远地区供电问题, 可以带来较好的社会效益。由于偏远地区如海岛、山区等存在输电通道建设成本及维护费高昂的问题, 离网型微网建设具备经济可行性。表 4 列出了本文

边界条件下的传统送电通道建设以及微网建设的成本比较。本文中离网型微网项目总投资为 1 020.6 万元, 与传统的通道比较, 可根据海底电缆以及架空线路的单位投资成本确定临界长度。当本文的边界条件下, 当海底电缆敷设超过 10.206 km 时或偏远山区架空线路长度超过 40.824 km 时, 传统送电通道的成本高于离网型微网的建设成本。

表 4 离网型微网与传统送电通道成本比较

Tab. 4 Cost comparison between off-grid microgrid and traditional transmission

离网型微网项目	项目总投资 1 020.6 万元	
传统通道投资	单价/(万·km <sup>-1</sup> )	临界长度/km
海底电缆	100	10.206
低压架空线路	25	40.824

目前我国已有多个离网型微网的示范项目, 如珠海建东澳岛智能微电网、浙江舟山东福山岛风光储柴微电网项目等, 其中东澳岛为离网型微网。在微网配置中, 充分考虑了海岛的太阳能资源以及风能资源, 实现了离网型微网的绿色运行。东福山岛微网为 300 kW 风光存储微网供电系统, 新能源负荷接近 90%, 在微网建成之前, 采用的是柴油机发电机组发电。虽然东福山岛微网单纯依靠电价无法获利, 但从成本节约角度, 相比于柴油机组发电则更加经济。如果采用铺设电缆来与大陆电网相连, 则费用更高, 估算从东福岛铺设海缆成本为 6 000 多万元, 远高于东福山岛微网建设成本 2 200 万元, 离网型微网相较于其他方式在成本节约上具有较大优势。

## 3 运行模式探讨

在此轮电力体制改革模式下, 微网将具有新的发展动力与盈利模式。结合前文的经济效益分析, 本文提出以下两种运营模式:

其一, 微网运营商以大用户角色购电。通过兴建微网重新组合需求侧从而形成大用户, 充分参与售电侧市场的市场竞争。对于分布式光伏的并网型微网而言, 购售电价差是影响项目经济效益的重要因素, 随着电力市场改革的深化, 微网投资商可通过微网的形式以大用户购电方式压低购电价从而使项目盈利, 同时未来微网的投资成本还将进一步下降, 未来将有良好的经济效益。

其二,形成需求侧平台,以虚拟电源商形式参与市场竞争。一方面,可充分利用微网系统储能作用,赚取峰谷电价差,高电价时,向电网供电,低电价时,利用可再生能源系统储能;另一方面,提供辅助服务,微网及其所具有的可控分布式电源和储能装置的运行灵活性和反应速度能够提高故障反映速度,缩短停电时间,且具有启动成本低的优势,供电可靠性更高,可在供电区域内推行可靠性电价,获取收益。

## 4 结论

结合我国新一轮电力市场改革,本文深入细致地研究了四类典型微网的当前以及未来的经济效益。通过经济分析知,并网小型水电微网方案内部收益率超过行业基准收益率,目前条件下经济效益较好,但需注意电改背景下,若电网收取备用容量费将对其经济性产生一定影响。并网型微网方案商业楼宇和经济园区,经济性均较差,目前条件下项目不具生命力,但随着光伏成本的降低以及微网组成大用户购售电价差增大将具有较好的生命力。离网型微网偏远地区方案经济性最差,但用于解决偏远地区供电问题,可以带来较好的社会效益,且微网建设成本低于传统送电通道。

微网集成了现代化信息技术、新能源技术、分布式发电技术等,在分布式能源接入传统系统安全稳定,长距离输电的损耗和化石能源带来的环境问题方面较传统电网具有较强优势。虽然微网的经济运行目前尚缺乏电力市场运营的大背景,离商业化运营还有一定的距离,但伴随市场化程度的提高、技术水平的改进和建设成本的下降,微网经济性也将逐步提高,展现更强的生命力。

### 参考文献:

- [1] 刘振亚. 中国电力与能源 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [2] 盛万兴, 杨旭升. 多 Agent 系统及其在电力系统中的应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 2-8.
- [3] 徐青山. 分布式发电与微电网技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011: 1-10.
- [4] 王成山, 肖朝霞, 王守相. 微电网综合控制与分析 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(7): 98-103.  
WANG C S, XIAO Z X, WANG S X. Synthetical control and analysis of microgrid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(7): 98-103.
- [5] 鲁宗相, 王彩霞, 闵勇. 微电网研究综述 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 101-102.  
LU Z X, WANG C X, MIN Y. Review of microgrid research [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 101-102.
- [6] 沈又幸, 刘琳, 曾鸣. 风电社会效益的评价模型及其应用研究 [J]. 华东电力, 2009, 37(5): 852-855.  
SHEN Y X, LIU L, ZENG M. Social benefit evaluation models for wind power and their applications [J]. East China Electric Power, 2009, 37(5): 852-855.
- [7] HERNANDEZ-ARAMBURO C A, GREEN T C, MUGNIOT N. Fuelconsumption minimization of a microgrid [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2005, 41 ( 3 ): 673-681.
- [8] TSIKALAKIS A G, HATZIARGYRIOU N D. Centralized control for optimizing microgrids operation [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2008, 23(1): 241-247.
- [9] 吴雄, 王秀丽, 别朝红, 等. 含热电联供系统的微网经济运行 [J]. 电力自动化设备, 2013, 33(8): 1-6.  
WU X, WANG X L, BIE Z H, et al. Economic operation of microgrid with combined heat and power system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8): 1-6.
- [10] 周任军, 冉晓洪, 毛发龙. 分布式冷热电三联供系统节能协调优化调度 [J]. 电网技术, 2012, 36(6): 8-14.  
ZHOU R J, LAN X H, MAO F L. Energy-saving coordinated optimal dispatch of distributed combined cool, heat and power supply [J]. Power System Technology, 2012, 36(6): 8-14.
- [11] 杨佩佩, 艾欣, 崔明勇, 等. 基于粒子群优化算法的含多种供能系统的微网经济运行分析 [J]. 电网技术, 2009, 33(20): 38-42.  
YANG P P, AI X, CUI M Y, et al. Particle swarm optimization based economic operation analysis of microgrid containing multi energy supply system [J]. Power System Technology, 2009, 33(20): 38-42.
- [12] 郭力, 许东, 王成山, 等. 冷电联供分布式供能系统能量优化管理 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(19): 96-100.  
GUO L, XU D, WANG C S, et al. Energy optimization and management of combined cooling and power distributed energy supply system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(19): 96-100.
- [13] 唐捷, 任震, 高志华, 等. 峰谷分时电价的成本效益分析模型及其应用 [J]. 电网技术, 2007, 31(6): 61-66.  
TAN J, REN Z, GAO Z H, et al. Cost-benefit analysis model and its application of peak-valley time-of-use electricity price [J]. Power System Technology, 2007, 31(6): 61-66.
- [14] LASSETER R H. Microgrids [C]//Proc. of 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. New York: IEEE, 2002: 305-308.
- [15] HATZIARGYRIOU N, ASAND H, IRAVANI, et al. Microgrids [J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2007, 5(4): 78-94.
- [16] MOROZUMI S. Microgrid demonstration projects in Japan [C]. //IEEE Power Conversion Conference, 2007: 635-642.
- [17] PIAGI P, LASSETER R H. Autonomous control of microgrids [C] //Pro. IEEE PES Meeting, Montreal; IEEE, 2006: 1-8.