

# 微电网多能互补电源容量配置方法研究

丁伯剑<sup>1</sup>, 郑秀玉<sup>2, 3</sup>, 周逢权<sup>2</sup>, 朱浩骏<sup>1</sup>, 马红伟<sup>2</sup>

(1. 广东电网公司电网规划研究中心, 广东 广州 510075; 2. 许继电气股份有限公司, 北京 100085;  
3. 武汉电力职业技术学院, 湖北 武汉 430079)

**摘要:** 微电网包含多种分布式电源, 组网时存在多能互补电源容量配置问题。以某一海岛微电网组网为例研究了微电网多能互补电源容量配置方法。通过案例分析, 确定按计划离网配置适合选择保证综合负荷供电配置, 而非计划离网配置适合选择保证重要负荷供电配置。前者侧重于选择何时计划离网在满足综合负荷需求的情况下使投资成本最低, 而后者侧重于任意时刻离网保证重要负荷可持续供电。另外, 也可以综合两者对电源容量进行配置, 既满足在计划离网时的综合负荷需求, 又满足在非计划离网时的重要负荷需求。

**关键词:** 微电网; 多能互补电源; 容量配置; 分布式电源; 离网; 负荷

## Research on method of capacity configuration for hybrid power in microgrid

DING Bo-jian<sup>1</sup>, ZHENG Xiu-yu<sup>2, 3</sup>, ZHOU Feng-quan<sup>2</sup>, ZHU Hao-jun<sup>1</sup>, MA Hong-wei<sup>2</sup>

(1. Grid Planning & Research Center, Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510075, China; 2. Xuji Electric Co., Ltd, Beijing 100085, China; 3. Wuhan Electric Power Technical College, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** Microgrid contains multiple distributed resources, and the problem of capacity configuration for hybrid power occurs when microgrid is built. Taking the building of a certain island microgrid for example, the method of capacity configuration for hybrid power in microgrid is researched. Through case analysis, it is certain that the configuration meeting comprehensive load demand is suitable for capacity configuration on the basis of intentional islanding, while the configuration meeting significant load demand is suitable for capacity configuration on the basis of unintentional islanding. The former puts particular emphasis on the time of unintentional islanding for the lowest investment cost in the situation of meeting comprehensive load demand, and the latter puts particular emphasis on guaranteeing significant load sustainable supply whenever islanding occurs. In addition, capacity configuration can be carried out by combining both of them. As a result, not only comprehensive load demand can be met under intentional islanding, but also significant load demand can be met under unintentional islanding.

**Key words:** microgrid; hybrid power; capacity configuration; distributed resource; islanding; load

中图分类号: TM61 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2013)16-0144-05

## 0 引言

微电网 (Microgrid) 也称为微网, 是指由分布式电源、储能装置、能量转换装置、相关负荷、保护及监控装置等汇集而成的小型发配电系统。作为一个能够实现自我控制、保护和管理的自治系统, 它既可以与大电网并网运行, 又可以离网运行, 并且可以平滑转换其运行模式<sup>[1-3]</sup>。微电网是相对常规大电网的一个概念, 并网运行时, 通过公共连接点 (Point of Common Coupling, PCC) 连接至大电网进行能量交换, 且互为备用, 成为大电网中的一个单一可控的单元, 提高分布式电源接入电网的友好

性<sup>[4-8]</sup>。离网运行时, 在保证负荷用电可靠性的同时提高分布式电源利用率, 尤其是风能、太阳能等可再生能源<sup>[9-10]</sup>。微电网具有包容性、灵活性、定制性、经济性和自治性的特点, 它作为大电网的有效补充、可再生能源的有效利用形式, 发展潜力巨大<sup>[1,8]</sup>。

本文以某一海岛微电网组网为例研究了微电网中多能互补电源容量配置方法。该微电网通过一回110 kV海底电缆与常规大电网相连, 并且每年约一个月进行海底电缆检修。它包含风-光-柴-储四种分布式电源, 组网时存在多能互补电源容量配置问题。

## 1 多能互补电源容量配置方法

在并网运行时, 柴油机发电退出运行, 风力发电和光伏发电全部投入, 充分利用新能源, 主要通过海底电缆保持海岛供电系统功率平衡。在电缆计划检修期间的离网运行时, 对微电网中的风力发电、光伏发电、柴油机发电和储能电池优化配置, 为海岛负荷可持续供电。可见, 微电网中多能互补电源容量配置在很大程度上是针对离网运行而言的, 即通过确定微电网中所包含的各分布式电源容量以满足负荷需求。

在满足一年中第  $i$  月 ( $i=1, 2, \dots, 12$ ) 重要负荷  $\gamma_i P_i$  ( $P_i$  为第  $i$  月的综合负荷,  $\gamma_i$  为第  $i$  月的重要负荷比例) 需求前提下, 由 HOMER<sup>[11]</sup> 按照投资成本最低的配置为

$$(S_{im}, C_i) = \text{HOMER}(\gamma_i P_i) \quad (1)$$

式中:  $S_{im}$  为第  $m$  种电源的配置容量,  $m=1, 2, \dots, n$ ,  $n$  为互补电源种类数;  $C_i$  为按该配置的投资成本。

当  $\gamma_i=1$  时, 即在满足综合负荷  $P_i$  需求前提下的配置为

$$(S_{im} |_{\gamma_i=1}, C_i |_{\gamma_i=1}) = \text{HOMER}(P_i) \quad (2)$$

根据负荷需求和投资成本不同, 微电网多能互补电源容量配置方法分为按计划离网配置和按非计划离网配置两类, 每类均分别包括保证重要负荷和综合负荷供电配置。

### 1.1 按计划离网配置

按计划离网要求组建的微电网必须满足在海底电缆检修时能够保证海岛用电系统的可持续供电。

#### (1) 按计划离网保证重要负荷供电配置

$0 < \gamma_i < 1$ , 在满足重要负荷  $\gamma_i P_i$  需求的前提下, 通过 HOMER 按照投资成本最低对每个月进行容量配置, 确定投资成本  $C_i$ , 选择投资成本最低月份的容量配置作为微电网多能互补电源容量配置, 即满足  $C_k = \min(C_i)$  条件下的配置容量为  $S_{km}$ , 定义为方法1。

#### (2) 按计划离网保证综合负荷供电配置

$\gamma_i=1$ , 在满足综合负荷  $P_i$  需求的前提下, 通过 HOMER 按照投资成本最低对每个月进行的容量配置, 确定投资成本  $C_i |_{\gamma_i=1}$ , 选择投资成本最低月份的容量配置作为微电网多能互补电源容量配置,

即满足  $C_k |_{\gamma_i=1} = \min(C_i |_{\gamma_i=1})$  条件下的配置容量为  $S_{km} |_{\gamma_i=1}$ , 定义为方法2。

### 1.2 按非计划离网配置

按非计划离网要求组建的微电网必须满足在海底电缆故障或大电网故障时能够保证海岛用电系统的可持续供电。

#### (1) 按非计划离网保证重要负荷供电配置

$0 < \gamma_i < 1$ , 在满足重要负荷  $\gamma_i P_i$  需求的前提下, 通过 HOMER 按照投资成本最低对每个月进行的容量配置, 确定配置容量  $S_{im}$ , 选择各电源容量最大值, 即  $\max(S_{im})$ , 定义为方法3。

#### (2) 按非计划离网保证综合负荷供电配置

$\gamma_i=1$ , 在满足综合负荷  $P_i$  需求的前提下, 通过 HOMER 按照投资成本最低对每个月进行的容量配置, 选择各电源容量最大值, 即  $\max(S_{im} |_{\gamma_i=1})$ , 定义为方法4。

### 1.3 综合计划离网和非计划离网配置

方法2侧重于选择何时计划离网在保证综合负荷需求的情况下使投资成本最低, 而方法3侧重于任意时刻离网运行保证重要负荷可持续供电。如果既满足在计划离网时的综合负荷需求, 又满足在非计划离网时的重要负荷需求, 就需要将方法2和方法3综合起来, 即各电源容量取方法2和方法3中容量较大的, 即  $\max(S_{km} |_{\gamma_i=1}, \max(S_{im}))$ , 定义为方法5。

## 2 案例

### 2.1 电源类型选取

图1给出了该海岛一年中各月不同时刻风速, 而图2给出了各月不同时刻光照强度, 直观地反映了海岛风力资源丰富、光照充沛, 具有一定的风能和太阳能开发价值。

图3给出了该海岛规划年的月平均负荷曲线, 负荷季节性规律为: 5月~9月为用电高峰期, 10月~次年4月为用电低谷期, 夏季负荷大于冬季负荷, 且季节用电差异较大。图4给出了典型月的日负荷曲线, 白天负荷大于夜晚负荷, 并且日负荷曲线呈双高峰特征分布。结合图3和图4, 对于最小月份(1月), 日最大负荷约为5 000 kW, 日最小负荷约为1 500 kW; 对于负荷最大月份(8月), 日最大负荷接近17 000 kW, 日最小负荷略高于4 000 kW。

风速具有夏季小冬季大、白天小夜晚大的特性; 太阳辐射量具有夏季大冬季小、仅白天有光照

的特性；负荷具有夏季大冬季小、白天大夜晚小的规律。可见，在能源供给上风能与太阳能可以形成较好的互补，而在能源供需上太阳能发电与负荷需求趋势相似，所以适合开发风能和太阳能。考虑到风力、光伏发电出力变化和负荷波动，为消减间歇式电源的波动特性，并起到消峰填谷及热备用的作用，需要配置一定容量的储能设备。为保证离网运行模式下，能够安全稳定地提供充足的电能，需要配置一定容量的柴油发电机作为微电网的主电源运行，并能够在电网崩溃的情况下实现海岛微电网黑启动。另外，出于对海岛环境的保护以及海岛资源情况的考虑，不建设其他类型的大型燃料型发电设备。因此，该微电网选取了风力发电、光伏发电、柴油发电和储能设备四种分布式能源。

### 2.2 电源容量配置

鉴于HOMER是通过对一年8 760 h的平衡计算

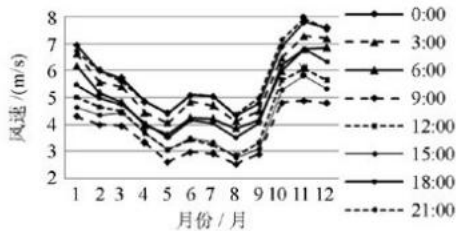


图1 各月不同时刻风速

Fig. 1 Wind speed of different time in each month

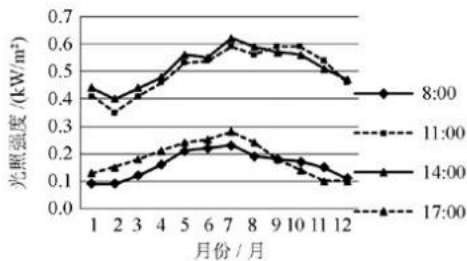


图2 各月不同时刻光照强度

Fig. 2 Light intensity of different time in each month

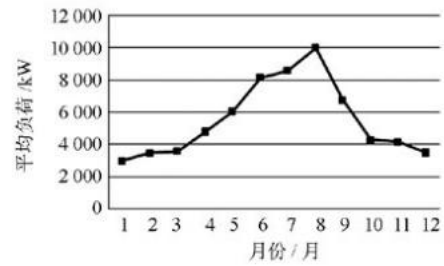


图3 规划年的月平均负荷曲线

Fig. 3 Monthly average load curve in the planning year

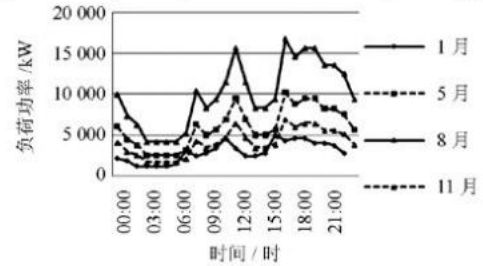


图4 规划年典型月的日负荷曲线

Fig. 4 Daily load curve of typical month in the planning year

来模拟系统的运作的，针对某月份，笔者将全年均采用该月风能资源、太阳能资源和负荷需求，即全年均在该月资源和负荷需求条件下离网运行计算运营期内的投资成本。该海岛供电主网电压等级为10 kV，对于10 kV侧重要负荷比例范围一般在25%~55%，本文为简化起见折中选定每月的重要负荷比例均为40%。在进行设置各电源容量时，光伏发电(PV)变化量为100 kW<sub>p</sub>，风力发电变化量为1台，柴油发电变化量为500 kW，储能电池变化量为50包(电池包容量为2 V/3000 A/6 kW)。在HOMER软件中，搭建微电网离网运行方式下的配置模型，并输入各电源经济参数及备选容量、日负荷和资源数据，计算最优配比，满足重要负荷、综合负荷各月配置分别如表2和表3所示，分别按方法1~5配置的电源容量如表4所示。

表1 各电源经济参数

Table 1 Economic parameter of each power source

名称	规格	初装费/(元/kW)	年维护费/(元/kW)	燃料费/(元/kW)
风力发电	V52-850 kW	9 960	149.4	
光伏发电		27 460	412	
柴油机发电		1 000	30	1.875
蓄电池	6kW/包	18 570	278.5	

表2 满足重要负荷各月配置

Table 2 Configuration for significant load demand of each month

配置	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
PV/kW <sub>p</sub>	1 000	1 200	1 700	2 400	1 600	1 900	2 100	2 500	1 800	0	0	0
风电/台	6	7	6	7	1	13	10	16	2	10	10	9
柴油发电/kW	1 500	2 000	2 000	2 500	4 000	4 500	5 000	5 500	4 000	2 500	2 500	2 500
储能设备/包	300	250	250	400	50	500	350	600	250	200	200	300
投资成本/亿元	2.91	3.68	3.83	5.63	7.29	9.63	10.12	11.89	8.03	4.02	3.62	3.36

表 3 满足综合负荷各月配置

Table 3 Configuration for comprehensive load demand of each month

配置	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
PV/kWp	1 300	1 100	1 400	2 800	3 000	2 800	3 200	2 900	2 900	100	0	0
风电/台	16	18	18	5	0	11	9	13	4	27	24	20
柴油发电/kW	4 000	5 000	5 000	7 000	9 500	13 000	14 000	16 000	10 500	6 000	6 000	5 000
储能设备/包	550	450	500	500	350	400	250	450	400	700	550	550
投资成本/亿元	7.18	9.08	9.67	14.26	18.16	24.48	25.75	30.02	20.19	9.93	8.92	7.80

表 4 按方法 1-5 的配置

Table 4 Configurations according to the method 1~5

配置		PV/kWp	风电/台	柴油发电/kW	储能设备/包	投资成本/亿元
按计划离网	方法 1	1 000	6	1 500	300	2.91
	方法 2	1 300	16	4 000	550	7.18
按非计划离网	方法 3	2 500	16	5 500	600	11.89
	方法 4	3 200	27	16 000	700	/
按综合方法 2 和方法 3	方法 5	2 500	16	5 500	600	11.89

### 2.3 结果分析

针对海底电缆检修, 计划离网时间约为一个月, 组建微电网时应该考虑满足综合负荷需求。虽然按方法1配置投资成本最少, 但是不能保证综合负荷可持续供电, 因此适合选择方法2配置电源容量。对于海底电缆或大电网故障导致非计划离网, 其离网时间一般较短, 组建微电网时一般考虑满足重要负荷需求。虽然按方法4配置能够保证非计划离网期间综合负荷的可持续供电, 但是其配置的电源容量均大于按方法3配置的电源容量, 特别是柴油发电容量是方法3配置的近3倍, 故不适合选择方法4配置电源容量。

在投资方面, 按方法2配置投资成本为7.18亿元, 按方法3配置投资成本为11.89亿元。以按方法2配置为例, 其投资成本构成如图5所示, 柴油发电所占比例最大, 仅柴油消耗占总投资成本的一半以上, 这是由于投资成本为考虑到全年离网运行计算运营期内(本文设定为25年)的投资成本。这样计算出的投资成本仅用于配置的选取, 并不是电网实际运行投资成本。在电网实际运行中, 因海底电缆检修而计划离网时间每年仅约为一个月, 而由故障引起的非计划离网时间一般较短, 可以忽略不计。可见, 分别按方法2和方法3配置的实际投资成本仅在设备投资及维护费用上不同, 并且主要为设备投

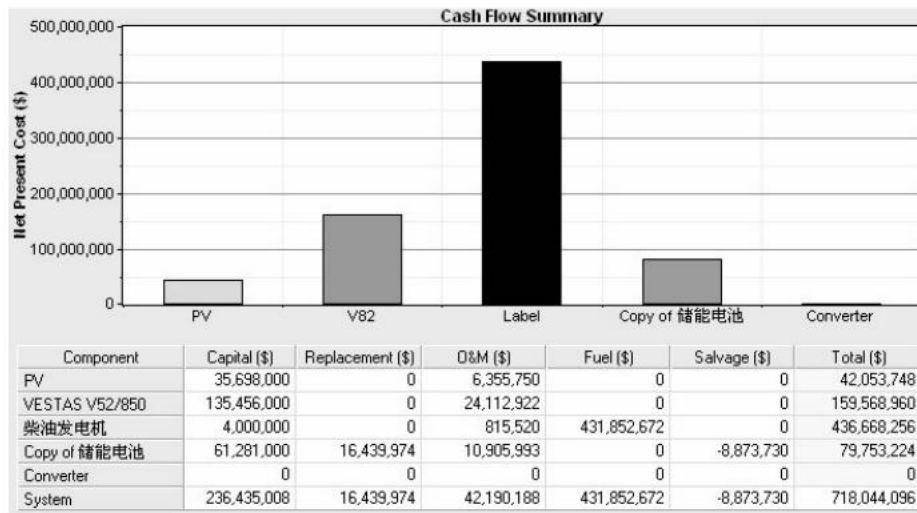


图 5 投资成本构成

Fig. 5 Components of the investment cost

资不同。在电源容量配置方面,光伏发电和风力发电规模增大,虽然在设备投资及维护费用上有所增加,但是考虑到电网实际运行基本处在并网运行状态,可以有效利用可再生能源;而柴油发电一般在离网运行时才投入,其装机容量不宜过大;而储能设备单价比较昂贵,其配备容量也不宜过大。

在微电网组网时,根据侧重点不同,既可以选择方法2或方法3对电源容量进行配置,又可以综合方法2和方法3对电源容量进行配置(即方法5)。值得说明的是:因为配置的各电源容量大小受自然资源、负荷需求(如季节性、日负荷曲线、重要负荷比例)的影响,所以在组建不同地区微电网时按方法3配置的各电源容量并不一定均大于按方法2配置的各电源容量。综合方法2和方法3的配置如表3所示,与按方法2配置相比,柴油发电装机容量增加1 500 kW,且比例为37.5%;而储能电池增加50包(即300 kW),其比例为9.1%,增加投资在可接受范围内。

### 3 结束语

本文对微电网多能互补电源容量配置方法进行了研究,为微电网组网提供一定的参考和借鉴。根据侧重点不同,可以选择方法2、方法3或方法5对电源容量进行配置。另外,还要考虑地理位置、占地面积、政策支持、技术成熟度等方面的条件制约。

### 参考文献

- [1] 刘文, 杨慧霞, 祝斌. 微电网关键技术研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(14): 152-155.  
LIU Wen, YANG Hui-xia, ZHU Bin. Survey on key technologies of microgrid[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(14): 152-155.
- [2] 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.  
LU Zong-xiang, WANG Cai-xia, MIN Yong, et al. Overview on microgrid research[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 100-107.
- [3] 周林, 黄勇, 郭珂, 等. 微电网储能技术研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(7): 1-6.  
ZHOU Lin, HUANG Yong, GUO Ke, et al. Survey of energy storage technology for microgrid[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(7): 1-6.
- [4] 苏玲, 张建华, 王利, 等. 微电网相关问题及技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(19): 235-239.  
SU Ling, ZHANG Jian-hua, WANG Li, et al. Study on

some key problems and technology related to microgrid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(19): 235-239.

- [5] 赵宏伟, 吴涛涛. 基于分布式电源的微网技术[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(1): 121-128.  
ZHAO Hong-wei, WU Tao-tao. Review of distributed generation based microgrid technology[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2008, 20(1): 121-128.
- [6] Chien-Liang C, Wang Y B, Jih-Sheng L, et al. Design of parallel inverters for smooth mode transfer microgrid applications[J]. IEEE T Power Electr, 2010, 25(1): 6-14.
- [7] David C. Role of microgrids in the smart grid[J]. Journal of Electronic Science and Technology, 2011, 9(1): 9-16.
- [8] 肖宏飞, 刘士荣, 郑凌蔚, 等. 微型电网技术研究初探[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(8): 114-117.  
XIAO Hong-fei, LIU Shi-rong, ZHENG Ling-wei, et al. A preliminary research on microgrid technology[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(8): 114-117.
- [9] 朱兰, 杨秀. 含多种分布式电源的微网系统的设计与仿真分析[J]. 华东电力, 2011, 39(10): 1604-1607.  
ZHU Lan, YANG Xiu. Design and simulation of microgrid with diversified distributed generators[J]. East China Electric Power, 2011, 39(10): 1604-1607.
- [10] 宋旭日, 叶林. 风/光/柴多能互补发电系统优化配置研究[J]. 电网与清洁能源, 2011, 27(5): 66-72.  
SONG Xu-ri, YE Lin. Optimization configuration of wind/solar/diesel hybrid power generation system[J]. Power System and Clean Energy, 2011, 27(5): 66-72.
- [11] 元伟, 耿世彬, 高虎杉, 等. 基于 HOMER 仿真的太阳能混合发电系统设计[J]. 电工电气, 2011(8): 27-32.  
QI Wei, GENG Shi-bin, GAO Hu-shan, et al. Design of hybrid power system with solar energy based on HOMER simulation[J]. Electrotechnics Electric, 2011(8): 27-32.

收稿日期: 2012-10-25; 修回日期: 2012-11-28

作者简介:

丁伯剑(1980-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事节能及新技术研发工作;

郑秀玉(1982-), 男, 通信作者, 博士, 讲师, 从事微电网及分布式发电接入、继电保护与自动化方面的科研和教学工作; E-mail: iszxy@126.com

周逢权(1969-), 男, 博士, 高工, 主要从事智能电网研究。

## 微电网多能互补电源容量配置方法研究

作者: [丁伯剑](#), [郑秀玉](#), [周逢权](#), [朱浩骏](#), [马红伟](#), [DING Bo-jian](#), [ZHENG Xiu-yu](#), [ZHOU Feng-quan](#),  
[ZHU Hao-jun](#), [MA Hong-wei](#)

作者单位: [丁伯剑,朱浩骏,DING Bo-jian,ZHU Hao-jun\(广东电网公司电网规划研究中心,广东 广州,510075\)](#), [郑秀玉,ZHENG Xiu-yu\(许继电气股份有限公司,北京 100085\)](#); [武汉电力职业技术学院,湖北 武汉 430079\)](#), [周逢权,马红伟,ZHOU Feng-quan,MA Hong-wei\(许继电气股份有限公司,北京,100085\)](#)

刊名: [电力系统保护与控制](#) **ISTIC EI PKU**

英文刊名: [Power System Protection and Control](#)

年,卷(期): 2013(16)

### 参考文献(11条)

1. [刘文;杨慧霞;祝斌](#) [微电网关键技术研究综述](#)[期刊论文]-[电力系统保护与控制](#) 2012(14)
2. [鲁宗相;王彩霞;闵勇](#) [微电网研究综述](#)[期刊论文]-[\(II\) 电力系统自动化](#) 2007(19)
3. [周林;黄勇;郭珂](#) [微电网储能技术研究综述](#)[期刊论文]-[电力系统保护与控制](#) 2011(07)
4. [苏玲;张建华;王利](#) [微电网相关问题及技术研究](#)[期刊论文]-[电力系统保护与控制](#) 2010(19)
5. [赵宏伟;吴涛涛](#) [基于分布式电源的微网技术](#)[期刊论文]-[\(II\) 电力系统及其自动化学报](#) 2008(01)
6. [Chien-Liang C;Wang Y B;Jih-Sheng L](#) [Design of parallel inverters for smooth mode transfer microgrid applications](#) 2010(01)
7. [David C](#) [Role of microgrids in the smart grid](#) 2011(01)
8. [肖宏飞;刘士荣;郑凌蔚](#) [微型电网技术研究初探](#)[期刊论文]-[电力系统保护与控制](#) 2009(08)
9. [朱兰;杨秀](#) [含多种分布式电源的微网系统的设计与仿真分析](#)[期刊论文]-[\(II\) 华东电力](#) 2011(10)
10. [宋旭日;叶林](#) [风/光/柴多能互补发电系统优化配置研究](#)[期刊论文]-[电网与清洁能源](#) 2011(05)
11. [元伟;耿世彬;高虎杉](#) [基于HOMER仿真的太阳能混合发电系统设计](#)[期刊论文]-[电工电气](#) 2011(08)

引用本文格式: [丁伯剑,郑秀玉,周逢权,朱浩骏,马红伟,DING Bo-jian,ZHENG Xiu-yu,ZHOU Feng-quan,ZHU Hao-jun,MA Hong-wei](#) [微电网多能互补电源容量配置方法研究](#)[期刊论文]-[电力系统保护与控制](#) 2013(16)