

# 多微网互联系统的动态经济调度研究

吴红斌, 孙瑞松, 蔡高原

(合肥工业大学电气与自动化工程学院, 合肥 230009)

**摘 要:** 综合考虑多微网系统的安装成本、运行成本和环境效益等因素, 计及风、光、负荷的不确定性影响, 建立多微网互联系统的动态经济调度模型, 采用结合蒙特卡洛模拟的粒子群优化算法(MCS-PSO)进行求解。通过算例系统, 分析互联系统调度优化结果, 验证所提策略的有效性, 并讨论置信水平对多微网系统动态经济调度结果的影响。

**关键词:** 多微网; 分层控制; 动态经济调度; 置信水平; MCS-PSO

**中图分类号:** TM715

**文献标识码:** A

## 0 引 言

随着能源、环境问题日益凸显, 微网得到了广泛的发展<sup>[1-3]</sup>。多微网系统是微网系统的延伸和深化, 多微网系统运行调度与传统电力系统存在着较大区别, 因此研究其动态经济调度问题具有十分重要的意义<sup>[4]</sup>。区域电网互联运行, 提高了供电可靠性和运行经济性<sup>[5]</sup>。随着对多微网互联技术研究的逐步深入, 文献[6]基于多微网系统的分层控制, 研究了微网的黑启动流程和负荷恢复顺序; 文献[7]提出多微网系统联络线功率协调控制策略; 文献[8]以微网间交换功率最小化为目标, 实现功率最优分配。这些研究工作为多微网系统的发展奠定了理论基础。

目前, 针对多微网系统的动态经济调度的研究还相对较少。文献[9]提出离网型邻近海岛多微网动态调度, 但未考虑多微网并网运行的动态调度问题; 文献[10]研究含储能系统的多微网智能配电系统经济运行, 并未考虑可再生能源的随机性和波动性; 文献[11]研究了微网的动态经济调度, 未涉及多微网情况。

因此, 本文提出一种解决多微网系统动态经济调度的方法。综合考虑多微网系统的安装成本、环境效益、互联交互等, 建立多微网系统的优化调度模型, 采用蒙特卡洛模拟结合粒子群算法(MCS-

PSO)求解。并通过算例, 讨论各种不确定性因素的参数变化及置信水平的选取对多微网调度的影响。

## 1 多微网互联系统的协调调度模式

### 1.1 多微网系统结构

多微网系统的结构如图1所示, 通过互联线路连接各微网和大电网, 各微网既相互独立, 也相互联系, 各微网之间以及微网与大电网通过控制联络线的功率来实现能量协调, 系统中各微网主要包括分布式电源(DG)、负荷、储能装置、微型燃气轮机、柴油发电机等。

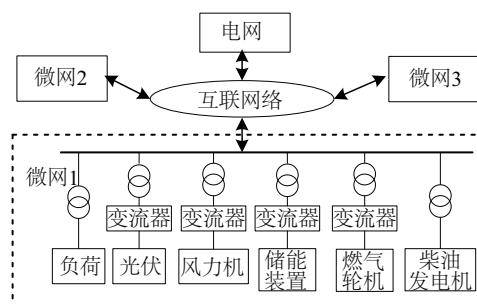


图1 多微网系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of multi-microgrid

### 1.2 分层协调调度策略

由于各微网在不同时段电量的供需状况不同, 考虑电网峰平谷时段的电价, 多微网系统存在不同

收稿日期: 2016-03-14

基金项目: 国家高技术研究发展(863)计划(2015AA050104)

通信作者: 吴红斌(1972—), 男, 博士、教授、博士生导师, 主要从事分布式发电微电网技术方面的研究。hfwuhongbin@163.com

的调度计划,要保证微网与微网间、微网与大电网有序协调运行,需要对多微网互联系统制定分层协调的调度策略:

### 1)多微网与大电网之间的协调调度

电网层控制中心根据各时段的用电需求,结合各微网发电信息,电网售电价格等因素,当多微网可再生能源发电不足时,比较各发电单元发电成本和购电成本,以系统综合效益最大化为目标,实现多微网与电网的交互运行。

### 2)多微网之间的协调调度

多微网层控制中心汇总各微网的发电信息,各微网可再生能源均发电充足时,优先向蓄电池充电,再向电网售电;各微网可再生能源均发电不足或部分微网可再生能源发电不足时,以总运行效益最大为目标,协调调度各微网单元出力,使得就地消纳最大化,实现微网间的互联调度。

### 3)微网内部各发电单元的协调调度

由于风光出力均具有不可控性,且作为可再生能源不消耗燃料,无环境污染,优先利用其机组出力;微网内含有热负荷,采用“以热定电”的原则,确定微型燃气轮机出力;当可再生能源发电不足时,考虑各微网内部电源出力的上下限、用户的负荷需求等约束,优先考虑蓄电池放电,以满足各微网内部供需平衡为目标,完成各微网内部协调控制。

## 2 动态经济调度模型

### 2.1 目标函数

在综合考虑多微网系统的安装成本、运行维护成本、环境效益等前提下,以微电网综合效益最大(费用  $C$  最小)为目标函数进行调度:

$$\min C = \sum_{i=1}^n (C_{ai} + C_{bi} + C_{ci} + C_{ri}) \quad (1)$$

$$C_{ai} = C_{Fuel-i} + C_{grid-i} - C_{i-grid} \quad (2)$$

$$\begin{cases} C_{bi} = \frac{ADCC}{P_{max} \times 8760 \times cf} \times P \\ ADCC = W_{Cost} \cdot \frac{d(1+d)^l}{(1+d)^l - 1} \end{cases} \quad (3)$$

$$C_{ci} = \sum_k (C_k \gamma_i^{jk}) P_i + \sum_k (C_k \gamma_{grid}^k) P_{grid-i} \quad (4)$$

$$C_{ri} = \sum \lambda_{it} r_{it} \quad (5)$$

式中,  $n$  ——多微网系统中微电网的数量;  $C_{ai}$  ——

微网  $i$  发电成本;  $C_{bi}$  ——发电单元建设折扣成本;  $C_{ci}$  ——污染物处理费用;  $C_{ri}$  ——购买旋转备用容量费用;  $C_{Fuel-i}$  ——微网  $i$  中发电单元燃料消耗成本;  $C_{grid-i}$  ——微网  $i$  从大电网购电成本;  $C_{i-grid}$  ——微网  $i$  向大电网售电成本;  $ADCC$  ——发电单元每 kW 电的折旧成本;  $P$  ——发电单元输出的功率 kW;  $cf$  ——容量因素;  $W_{Cost}$  ——发电单元单位容量安装成本;  $d$  ——利率,取 8%;  $l$  ——发电单元寿命;  $k$  ——所排放的污染物类型 ( $CO_2$ 、 $SO_2$ 、 $NO_x$  等);  $C_k$  ——处理每 kg 的  $k$  类污染物的费用,其中  $CO_2$ 、 $SO_2$ 、 $NO_x$  的处理费用分别为 0.21、14.842、62.964 ¥;  $\gamma_i^{jk}$  ——微网  $i$  第  $j$  个发电单元的输出生千瓦电能时污染物的排放系数, g/kW;  $\gamma_{grid}^k$  ——大电网输出每 kW 电能时污染物排放系数, g/kW;  $\lambda_{it}$  ——时段  $t$  的旋转备用价格;  $r_{it}$  ——时段  $t$  预计购买的旋转备用容量;  $P_{grid-i}$  ——微网  $i$  从大电网购电功率。

### 2.2 约束条件

#### 1)系统功率平衡约束:

$$\sum_{i=1}^n (P_{Gi} + P_{grid-i} - P_{Bi} - P_{i-grid}) = \sum_{i=1}^n P_{Loadi} \quad (6)$$

式中,  $P_{Gi}$  ——微网  $i$  分布式电源总发电功率, kW;  $P_{Bi}$  ——微网  $i$  储能单元发出的功率, kW, 储能单元充电为负, 放电为正;  $P_{i-grid}$  ——微网  $i$  向大电网售电功率, kW;  $P_{Loadi}$  ——微网  $i$  的负荷需求, kW。

#### 2)微网内发电单元的功率限制:

$$P_j^{\min} \leq P_j(t) \leq P_j^{\max} \quad (7)$$

式中,  $P_j^{\min}$  ——出力下限, kW;  $P_j(t)$  ——系统各发电单元  $t$  时段出力, kW;  $P_j^{\max}$  ——出力上限, kW。

#### 3)储能单元的运行约束:

储能单元的运行约束包括荷电状态(SOC)、充放电功率约束、始末能量约束。

储能单元荷电状态:

$$SOC_j^{\min} \leq SOC_j(t) \leq SOC_j^{\max} \quad (8)$$

式中,  $SOC_j^{\max}$ 、 $SOC_j^{\min}$  ——储能单元  $j$  的 SOC 上下限。

储能单元充放电功率约束:

$$P_{Bj,d,max}(t) \leq P_{Bj}(t) \leq P_{Bj,c,max}(t) \quad (9)$$

式中,  $P_{Bj,c,max}(t)$ 、 $P_{Bj,d,max}(t)$  —— $t$  时段储能单元  $j$  的最大充放电功率。

储能单元始末能量约束:

$$SOC_0 + \sum_{t=0}^{n-1} P_{Bt} \Delta t = SOC_0 \quad (10)$$

式中,  $SOC_0$ ——储能单元初始  $SOC$  状态;  $P_{Bt}$ —— $t$  时段储能单元出力。由于多微网的动态经济调度呈现出周期性, 储能单元在每一周期始末的能量相等。

4) 柴油机组的爬坡率约束:

$$r_{downj} \times \Delta t \leq P_{Gj}(t) - P_{Gj}(t-1) \leq r_{upj} \times \Delta t \quad (11)$$

式中,  $r_{downj}$ 、 $r_{upj}$ ——柴油机组  $j$  的出力下降和上升速率, kW/min。

5) 联络线传输容量约束:

$$-P_L^{\max} \leq P_L(t) \leq P_L^{\max} \quad (12)$$

式中,  $-P_L^{\max}$ ——联络线最大输入功率限制;  $P_L(t)$ ——联络线上流过的功率;  $P_L^{\max}$ ——联络线最大输出功率限制。

### 2.3 考虑风/光/负荷不确定性的旋转备用

微网中可再生能源具有波动性、随机性, 负荷预测有误差等, 为维持系统的可靠性调度, 需安排旋转备用, 如果考虑所有不确定性因素来安排旋转备用, 得到的成本将会非常高, 基于风光出力波动、负荷波动等不确定因素, 采用旋转备用概率约束<sup>[12]</sup>, 通过给定置信水平  $\alpha$  来表示旋转备用约束满足的概率, 从而达到可靠性和经济性之间的权衡。微网  $i$  的旋转备用概率约束为:

$$P\left[\sum u_{it}^w(P_{wt} + \sigma_{wt}) + \sum u_{it}^p(P_{pt} + \sigma_{pt}) + P_{Mt} + P_{grid-it} + \sum u_{it}^d(P_{Dt} + r_{dt}) + r_{it} - P_{Bt} \geq P_{Lt} + \sigma_{Lt}\right] \geq \alpha \quad (13)$$

式中,  $u_{it}^w$ 、 $u_{it}^p$ 、 $u_{it}^d$ —— $t$  时段风力机、光伏阵列和柴油机组开关机状态;  $\sigma_{wt}$ 、 $\sigma_{pt}$ 、 $\sigma_{Lt}$ ——微网  $i$  中风力机、光伏阵列和负荷在  $t$  时段的功率波动, 它们均为随机量;  $P_{wt}$ 、 $P_{pt}$ 、 $P_{Mt}$ 、 $P_{Dt}$ 、 $P_{Bt}$ ——微网  $i$  在  $t$  时段风力机、光伏阵列、微型燃气轮机、柴油机组、储能单元的发电量;  $P_{Lt}$ ——微网  $i$  在  $t$  时段负荷量;  $P_{grid-it}$ ——微网  $i$  在  $t$  时段从大电网购电量;  $r_{dt}$ ——微网  $i$  中柴油机组在  $t$  时段所能提供的旋转备用量。

### 2.4 不确定因素模拟

微网的负荷和风光出力预测与系统运行的稳定性和经济性密切相关, 是确定备用容量, 安排机组发电计划的基础。电力系统的风光波动、负荷波动一般可用正态分布来描述, 以负荷波动为例, 负荷的概率密度函数可表示为:

$$f(P_L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \delta_L} e^{-\frac{(P_L - P_{Lt})^2}{2\delta_L^2}} \quad (14)$$

式中,  $\delta_L$ ——负荷预测的标准差;  $P_{Lt}$ ——负荷预测值;  $P_L$ ——实际的负荷值。

## 3 模型的求解算法

本文的不确定性问题, 不仅含有多个不同概率分布的随机变量, 而且各个变量之间存在非线性的约束限制, 用传统的优化算法难以描述, 而采用蒙特卡洛模拟 (MCS) 则可以得到很好的解决。结合蒙特卡洛模拟的粒子群优化 (MCS-PSO) 算法可解决含有随机变量的复杂非线性优化问题, 在电力系统可靠性分析等问题中得到应用。因此, 本文也采用 MCS-PSO 算法求解, 首先对于不确定性的部分, 采用 MCS 来计算目标函数值, 将其转化为确定性问题; 然后通过 PSO 算法对其进行优化。

步骤 1: 初始化一个粒子种群: 在允许的范围随机产生  $n$  个粒子的位置和速度, 计算每个粒子的适应度作为局部最优适应度, 比较  $n$  个粒子的局部最优适应度, 选出其中最优的记入全局最优适应度, 该粒子记为全局最优向量;

步骤 2: 更新权重因子  $w$  和学习因子  $c_1$ 、 $c_2$ :

$$\begin{cases} w = w_{\min} + \frac{(w_{\max} - w_{\min}) \cdot (f - f_{\min})}{f_{\text{avg}} - f_{\min}}, & f \leq f_{\text{avg}} \\ w = w_{\max}, & f > f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (15)$$

式中,  $w_{\max}$ 、 $w_{\min}$ ——惯性权重因子的最大和最小值, 本文取  $w_{\max} = 0.9$ ,  $w_{\min} = 0.4$ ;  $f$ ——当前适应度值;  $f_{\text{avg}}$ 、 $f_{\min}$ ——当前所有粒子的适应度平均值和适应度最小值。

$$\begin{cases} c_1 = (c_{1f} - c_{1i}) \frac{t}{t_{\max}} + c_{1i} \\ c_2 = (c_{2f} - c_{2i}) \frac{t}{t_{\max}} + c_{2i} \end{cases} \quad (16)$$

式中,  $c_{1f}$ 、 $c_{1i}$  ——  $c_1$  的最终值和初始值;  $c_{2f}$ 、 $c_{2i}$  ——  $c_2$  的最终值和初始值。

步骤 4: 对目标函数进行计算, 得到当前粒子的适应度;

步骤 5: 更新局部最优适应度, 更新体局部最优向量;

步骤 6: 更新全局最优适应度, 更新全局最优向量;

步骤 7: 更新每个粒子的位置和速度;

步骤 8: 若迭代次数到达最大值, 则停止搜索, 输出结果。否则返回步骤 2 继续迭代计算。

## 4 算例分析

### 4.1 算例介绍

本文所研究的多微网算例系统包含有光伏阵列、风力发电机、柴油发电机组、微型燃气轮机、蓄电池等分布式电源。为了更符合实际电网调度和更好地体现多微网动态调度, 本文设定计算周期为

1 d, 每 30 min 作为一个计算时段, 一天分为 48 个时段, PSO 的相关参数设置为: 粒子群体规模取作为 60, 最大迭代次数取作为 100。

微网 1~微网 3 的储能单元额定荷电量分别为 30、40、50 kWh, 初始 SOC 均设为 0.5, 充放电效率均为 0.75。购售电价和旋转备用电价如图 2 所示, 多微网系统相关参数如表 1 所示, 多微网系统污染物排放系数如表 2 所示。

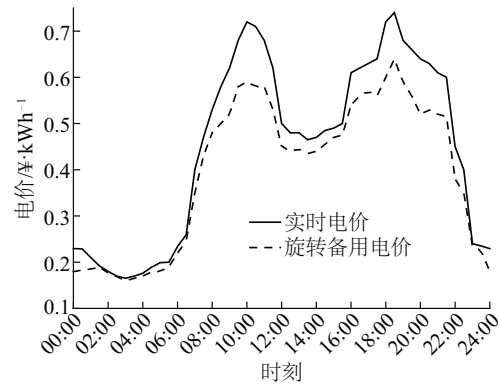


图2 电价曲线图

Fig. 2 Price curve of electricity

表1 多微网系统相关参数

Table 1 Relevant parameters of multi-microgrid system

类型	$P_{\min}/\text{kW}$	$P_{\max}/\text{kW}$	寿命/a	安装成本/ 万 $\text{¥}\cdot\text{kW}^{-1}$	运行管理系数/ 万 $\text{¥}\cdot\text{kWh}^{-1}$	燃料消耗系数/ $\text{¥}\cdot\text{kWh}^{-1}$	爬坡速率/ $\text{kW}\cdot\text{min}^{-1}$
PV1	0	30	20	6.650	0.0096	0	—
WT1	0	30	10	2.235	0.0296	0	—
MT1	0	30	10	1.306	0.0648	0.3107	—
DE1	3	20	10	1.600	0.0880	0.4166	1
PV2	0	30	20	6.650	0.0096	0	—
WT2	0	40	10	2.235	0.0296	0	—
MT2	0	30	10	1.306	0.0648	0.3107	—
DE2	3	20	10	1.600	0.0880	0.4166	1
PV3	0	40	20	6.650	0.0096	0	—
WT3	0	50	10	2.235	0.0296	0	—
MT3	0	30	10	1.306	0.0648	0.3107	—
DE3	4	20	10	1.600	0.0880	0.4166	2

注: PV1~PV3 分别微网 1、微网 2、微网 3 中的光伏机组; WT1~WT3 分别为微网 1、微网 2、微网 3 中的风电机组; MT1~MT3 分别为微网 1、微网 2、微网 3 中的微型燃气轮机; DE1~DE3 分别为微网 1、微网 2、微网 3 中的柴油机。



表 2 污染物排放系数

Table 2 Pollutant emission factors

污染物类型	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
PV	0	0	0
WT	0	0	0
MT	724	0.0036	0.2
DE	649	0.206	9.89
大电网	889	1.8	1.6

## 4.2 不同控制策略的影响分析

根据分布式电源的调度顺序和分布式电源与大电网间的功率交换方式,可以设置以下 3 种控制策略:

策略 1:储能单元不参与经济调度,主网和分布式电源机组共同参与经济调度,若分布式电源的发电成本小于向主网购电的成本,则优先调度分布式电源出力,如果大于购电成本,则主网优先向微网输出电能,不允许微网向主网输送电能;策略 2:储能单元参与经济调度,分布式电源机组优先出力满足微网内的负荷需要,如果无法满足则从主网购买吸收电能;策略 3:储能单元参与经济调度,主网和分布式电源同时参与经济调度,主微网之间允许自由交换电能,当分布式电源发电成本高于向主网购电的成本,主网优先向微网输出电能,但若发电成本低于向主网购电的成本,即把多余的电能卖给主网,从而获得利润。

图 3 给出了并网条件下,采用不同控制策略的优化结果。由图 3 可知,在控制策略 1 中,储能单元不参与经济调度,在微网可再生能源发电充足时,会出现弃风弃光损失,不能充分利用可再生能源,因此控制策略 1 发电总成本大于控制策略 3 时

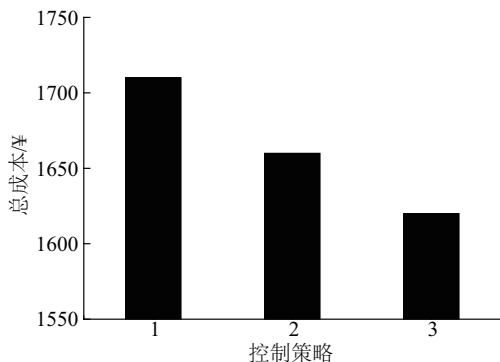


图 3 不同控制策略下的优化结果

Fig. 3 Optimization results under different control strategies

的成本。在控制策略 2 中,分布式电源机组优先出力满足系统负荷,而在控制策略 3 中,系统负荷可以更主动地依赖于经济效益或者污染处理费用更优的发电方式发电,从而出现控制策略 2 总发电成本大于控制策略 3 的情况。

因此,控制策略 3 由于电网和各微网的功率可以自由交换,因此当购电成本高于微网中其他分布式的发电成本时,还可以向电网输出功率以获得一定的经济效益,所以目标函数值都低于前两个控制策略。

## 4.3 多微网间的互联调度分析

图 4 给出了策略 3 下多微网间互联调度运行的优化结果。

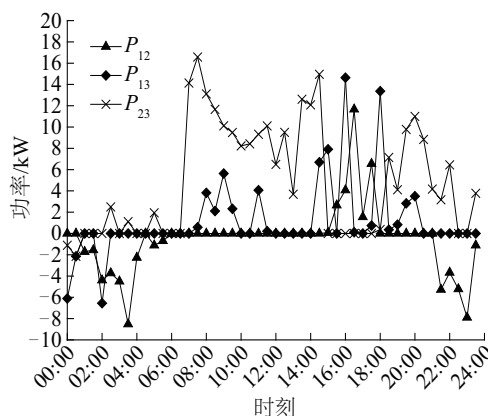


图 4 多微网互联调度优化结果

Fig. 4 Optimization results under multi-microgrid Interconnection dispatching

如图 4 所示,  $P_{ij}$  表示微网  $i$  输送给微网  $j$  的功率。00:00~06:00 时段,微网 2 能满足自身功率需求,同时向微网 1 和微网 3 输送电能;07:00~15:00 时段,微网 1 功率缺额较大,微网 2 和微网 3 向微网 1 输送电能;16:00~17:00 时段,微网 1 向微网 2 和微网 3 输送电能;18:00~20:00 时段,微网 1 和微网 2 向微网 3 输送电能;21:00~23:00 时段,微网 2 向微网 1 和微网 3 输送电能。各微网间通过交互技术,互供电力,互为备用,以微网负荷就地消纳最大化、微网间交换功率最小化为互联调度原则,实现多微网间互联调度。

图 5 给出了策略 3 下多微网系统出力结果,  $P_{gi}$  为微网  $i$  和电网的交换功率。

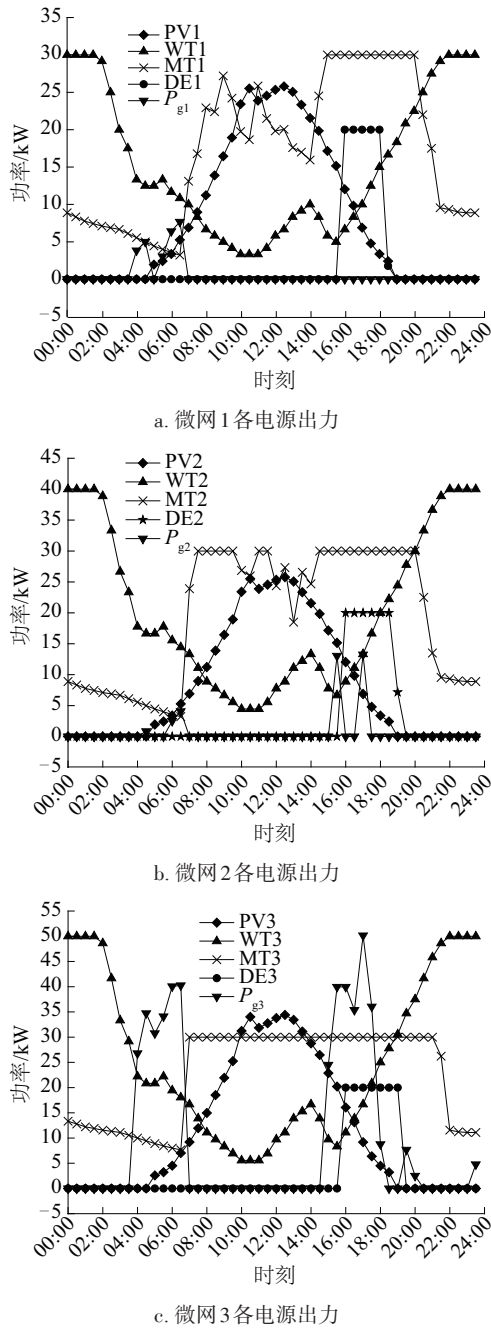


图5 多微网系统优化结果

Fig. 5 Optimization results of multi-microgrid system

由图5所示,各微网以供需平衡为目标,多微网以系统综合效益最大化为目标,实现功率最优分配。以微网2为例,00:00~08:00时段,购电成本较低,00:00~04:00时段,微网2能满足自身功率需求,同时将多余的电能输送给微网1和微网3,04:00~08:00时段,微网2出现功率缺额,从电网购电, $t=5$ 时段,微网2发电充足,无需购电,同时将多

余的电能输送给微网1和微网3;09:00~12:00、17:00~22:00峰时段,微型燃气轮机发电成本最低,优先利用微型燃气轮机发电,微网3功率缺额较大,由微网1和微网2补充微网3的功率缺额;08:00~09:00、12:00~17:00、22:00~23:00平时段,购电成本介于微型燃气轮机和柴油机的发电成本之间,但16:00~17:00时段微网2各电源满发,同时微网1各电源满发并将多余的发电量输送给微网2,仍不能满足微网2功率缺额,微网2向电网购电,达到供需平衡。各微网以供需平衡为目标,多微网以系统综合效益最大化为目标,实现功率最优分配。

#### 4.4 多微网内蓄电池的出力曲线分析

图6给出了多微网中各蓄电池运行结果,图中 $P_{Bi}$ 为微网*i*中蓄电池功率。

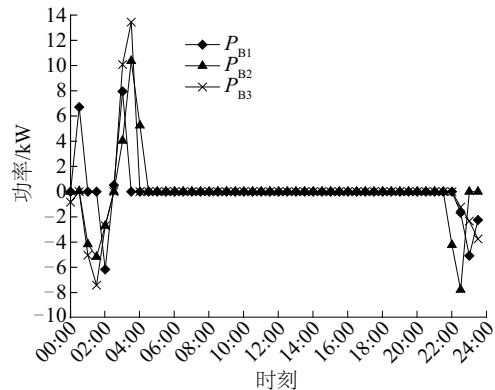


图6 多微网系统蓄电池出力曲线

Fig. 6 Battery output curve of multi-microgrid system

00:00~02:30为负荷低谷期,可再生能源发电充足,向蓄电池在其运行范围内充电,02:30时,微网2和微网3蓄电池SOC达到充电上限,将多余电能输送给微网1;微网2和微网3在03:00~04:30及微网在00:00~01:00时,可再生能源发电不足,蓄电池在其运行范围内放电,在03:30、04:00、04:30时,微网1、微网3、微网2蓄电池SOC分别达到放电下限。在22:00、23:30负荷低谷期,可再生能源发电充足,蓄电池持续充电,但由于动态调度周期前后,要求蓄电池的SOC保持一致,即储能单元始末能量相等,在22:30、23:30时,微网1和微网2蓄电池分别达到初始SOC状态,停止充电,但在23:30时,微网3蓄电池仍无法达到初始SOC状态,从发电成本较低的电网购电,使蓄电池SOC达到初始状态。蓄电池

在系统运行中起到调节功率的作用。

#### 4.5 置信水平分析

图 7 给出了在不同置信水平下的优化结果。如图 7 所示,不管置信水平取何值,控制策略 1 的系统总运行成本总是最高,控制策略 3 的系统总运行成本总是最低,且系统总运行成本都是随着  $\alpha$  的提高而逐渐增加,并且在  $\alpha$  接近 1 时有大幅度增长,这是因为系统的可靠水平越高,所需的旋转备用用量就越高,那么就必须向电网购买更多地旋转备用电量,由此可知,提高系统可靠性水平,就会增加系统的运行成本。

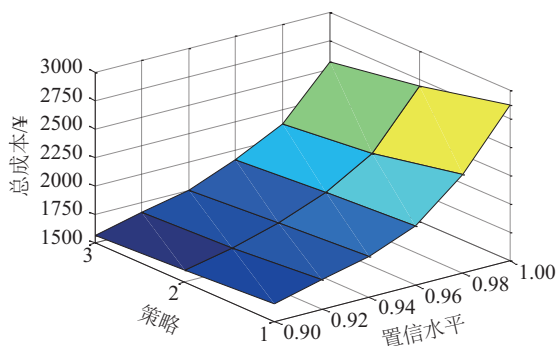


图 7 不同置信水平下的优化结果

Fig. 7 Optimization results under different confidence level

## 5 结 论

本文在考虑多种不确定性因素的基础上,提出一种解决多微网系统动态经济调度的方法。算例分析说明,多微网系统采用不同的控制策略,得到不同优化运行结果,允许多微网系统与电网自由交换电能,可以提高多微网系统运行的经济性;多微网互联调度、互供电能,能增强系统供电可靠性和系统运行经济性;对于不同控制策略,置信水平越高,系统可靠性水平越高,运行成本也越大;多微网系统动态调度分析对多微网系统的运行决策具有一定的参考意义,有助于提高系统运行的可靠性和综合效益。

#### [参考文献]

[1] Driesen J, Katiraei F. Design for distributed energy resources[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2008, 6(3): 30—40.  
[2] Lasseter B. Micro grids[A]. Proceedings of 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting[C].

Columbus: IEEE, 2001, 146—149.  
[3] 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(29): 100—107.  
[3] Lu Zongxiang, Wang Caixia, Min Yong, et al. Overview on microgrid research[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(29): 100—107.  
[4] 杨新法,苏 剑,吕志鹏,等.微电网技术综述[J].中国电机工程学报,2014,(1): 57—70.  
[4] Yang Xinfu, Su Jian, Lu Zhipeng, et al. Overview on microgrid technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, (1): 57—70.  
[5] 张惠勤.关于我国电网互联状况的调查及建议[J].中国电力,1997,(1): 3—6, 64.  
[5] Zhang Huiqin. Investigation and suggestion on China national power grid[J]. Electric Power, 1997, (1): 3—6, 64.  
[6] Resende F O, Gil N J, Peças Lopes J A. Service restoration on distribution systems using multi-microgrids[J]. European Transactions of Electrical Power, 2011, 21(2): 1327—1342.  
[7] 周念成,金 明,王强钢.串联和并联结构的多微网系统分层协调控制策略[J].电力系统自动化,2013,37(12): 13—18.  
[7] Zhou Niancheng, Jin Ming, Wang Qianggang. Hierarchical coordination control strategy for multi-microgrid system with series and parallel structure[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(12): 13—18.  
[8] Arefifar S, Mohanmed Y, EL-Fouly T. Supply adequacy based optimal construction of microgrids in smart distribution systems[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(3): 1491—1502.  
[9] 周永智,吴 浩,等.基于 MCS-PSO 算法的临近海岛多微网动态调度[J].电力系统自动化,2014,(9): 204—210.  
[9] Zhou Yongzhi, Wu Hao, et al. Dynamic dispatch of multi-microgrid for neighboring islands based on MCS-PSO algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, (9): 204—210.  
[10] 龚正宇,刘继春,等.含风光储的多微网加入配电网的联合调度策略[J].可再生能源,2014,32(11): 1665—1670.  
[10] Gong Zhengyu, Liu Jichun, et al. Joint dispatching strategy for connecting multiple micro-grids with WT/PV/ST to distribution network[J]. Renewable Energy Resources, 2014, 32(11): 1665—1670.  
[11] 刘小平,丁 明,张颖媛,等.微网系统的动态经济

- 调度[J]. 中国电机工程学报, 2011, (31): 77—84.
- [11] Liu Xiaoping, Ding Ming, Zhang Yingyuan, et al. Dynamic economic dispatch for microgrids[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, (31): 77—84.
- [12] Wu Hongbin, Liu Xingyue, Ding Ming. Dynamic economic dispatch of a microgrid: Mathematical models and solution algorithm[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2014, 63 (12): 336—346.

## DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH FOR MULTI-MICROGRID INTERCONNECTION SYSTEM

Wu Hongbin, Sun Ruisong, Cai Gaoyuan

(School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China )

**Abstract:** Based on the installation costs, operating costs and environmental benefits of the multi-microgrid system and the impacts of uncertainty on wind, PV and load, this paper builds a dynamic economic optimization dispatch model. And the MCS-PSO is used to solve the model. With the analysis of the interconnection system optimization dispatching results, the effectiveness of the proposed strategy is validated by the example system simulation. And it discusses the influence of the confidence level on multi-microgrid dynamic economic dispatch results.

**Keywords:** multi-microgrid; delaminated control; dynamic economic dispatch; confidence level; MCS-PSO