

风光预测后微电网的优化运行

张晓波,张保会,吴 雄

(西安交通大学 电气工程学院,陕西 西安 710049)

摘要: 采用自回归滑动平均模型进行风电预测,采用多元线性回归预测算法进行光伏预测,采用分段线性化法处理微型燃气轮机燃料费用与发电功率的关系,建立考虑充放电效率与状态的蓄电池模型。以微电网内燃料费用最低和从外部电网购电费用最低为优化目标,调用蓄电池储放能,优化微电网的运行控制策略。使用CPLEX软件求解优化函数并给出优化运行结果,结果表明所提的运行优化策略发挥了蓄电池逢电价低储能、逢电价高放能的作用,比传统的仅考虑燃料费用的控制策略节省了运行费用。

关键词: 微电网; 经济性; 优化; 风电; 光伏; 预测; 蓄电池

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.03.004

0 引言

随着微电网技术的发展成熟,微电网中各微源以及储能设备相互配合优化运行,以提高微电网整体经济收益的能力^[1-7]引起了研究者的关注。微电网中风机、光伏等可再生能源受风光资源等自然条件影响,具有随机性、基本不可控性,如果从微电网整体运行优化综合考虑,调用储能元件、微型燃气轮机(简称微燃机)和燃料电池等可控微源,选择合适的时机进行充放电、开停机,可避免能源浪费,获得额外收益。

在微电网运行时,风机和光伏的装机容量总是希望被充分利用,在不弃风不弃光的前提下再调用其他微电源。微电网中可以调用的微电源主要包括储能、微燃机和燃料电池等。文献[8-9]主要目标是调用储能装置消除风电等的出力波动性对微电网功率平衡的影响,其中文献[9]提出通过场景生成和削减方法产生不同的场景来表示风电出力的随机性。这些研究在保证微电网孤网运行条件下的功率平衡很有必要。在联网运行条件下,由于微电网本身容量很小,微电网的功率平衡通过联网点的功率控制已经可以控制到可接受的范围。然而,由于微电网设备目前较贵,前期投资较大,对于花费大量资金建设微电网的投资者而言,如何在微电网后期运行中优化运行功率分配以提高微电网运行的经济性,以及如何根据外网电价波动,适当发挥蓄电池等储能设备在低电价时吸纳电能、在高电价时放出电能等问题更值得关注。文献[8]在最小化燃料耗费和发电出力与计划功率偏差的优化目标下提出了微电网经济运行模型。文献[10]对微电网优化算法进行了改

进,增加了微燃机和燃料电池等微源模型。

为了整体提高微电网联网运行时的经济收益^[13-17],本文以小时为优化时间单位进行调度,通过预测风机、光伏出力计算,结合外电网分时电价,合理控制蓄电池充放电时刻及充放电深度、微燃机和燃料电池启停时刻,以微电网运行燃料耗费最小和外网购电费用最低(充放电收益最大)为优化目标,使用混合整数规划 CPLEX 软件进行开停机和充放电调度优化计算。该优化可以在一定程度上提高微电网投资者的收益,为微电网中各微源的运行与控制策略提供参考。

1 模型介绍

图1所示为微电网电源配置结构图,采用国际大电网组织(CIGRE)使用的典型丹麦低压微电网结构^[12]并进行了适当修改。该微电网主要包括10 kW 风机、13 kW 光伏、65 kW 微燃机以及80 kW 蓄电池,用户最大负荷为199 kV·A,最小负荷为18.4 kV·A,微电网与外部电网的联络线的最大容量为400 kV·A。微电网在规划时负荷与电源功率基本平衡,可以承担来自任意方向的潮流;但在小风光大负荷等极端情况下运行时,实时功率不平衡情况较严重。

1.1 风光日预测曲线

风光预测技术目前已经有很多较成熟的算法,可在满足一定精度的条件下对风光出力进行预测。常用的预测算法有持续法、时间序列法、神经网络法等^[11]。本文采用自回归滑动平均模型(ARMA)进行风电预测,采用多元线性回归预测算法进行光伏发电预测。图2为风速与风电功率预测图。图3为辐照强度与光伏发电功率预测图。

1.2 微燃机燃料日成本模型

微燃机燃料费用的常见模型^[10]为:

$$C_{\text{fuel}} = \frac{C_{\text{ng}}}{Q_{\text{LHV}}} \sum_t \frac{P_{\text{mt}}(t)}{\eta(t)} \Delta T \quad (1)$$

收稿日期:2015-06-02;修回日期:2016-01-02

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2009CB219700)

Project supported by the National Basic Research Program of China(973 Program)(2009CB219700)

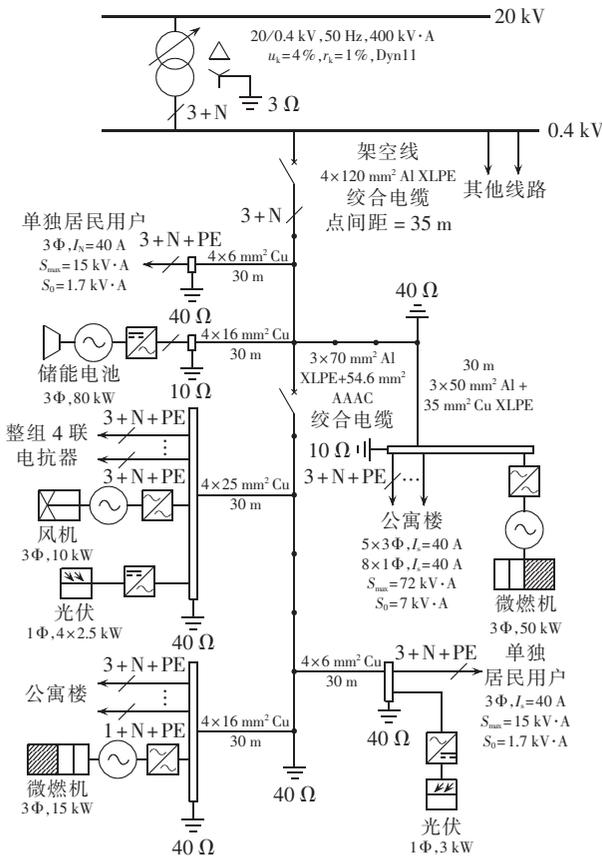


图 1 典型低压微电网配置结构图

Fig.1 Typical configuration of LV microgrid

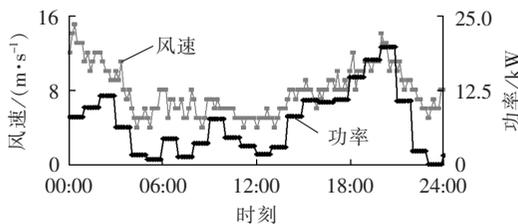


图 2 风速、风力发电功率日预测曲线

Fig.2 Predicted daily curves of wind speed and wind power

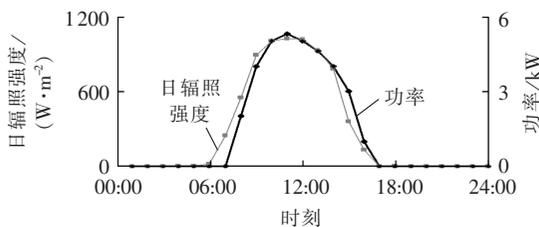


图 3 日辐射强度与光伏发电功率预测曲线

Fig.3 Predicted daily curves of irradiance and PV power

其中, C_{fuel} 为燃料费用; C_{ng} 为天然气的单位价格; Q_{LHV} 为天然气的低热量值; $P_{\text{mt}}(t)$ 为微燃机 t 时段的出力; $\eta(t)$ 为微燃机在 t 时段的出力效率; ΔT 为单位时段。微燃机燃料耗费与出力的关系受外界温度、燃烧室结构、机组热惯性和散热条件的影响而呈现出较强的非线性。某品牌的特定型号机组在常温下的燃料费用与发电功率关系曲线见图 4。

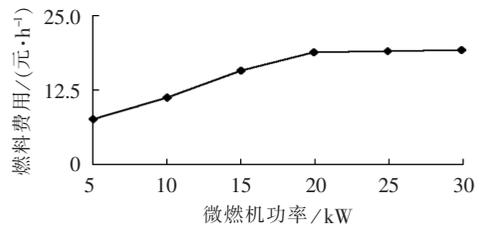


图 4 微燃机燃料费用与发电功率曲线图

Fig.4 Curve of MT fuel cost vs. MT output power

按文献[10]的方法将图 4 中曲线分成 N 段来线性逼近,如图 5 所示,每一段引入一个状态变量 $B_i(t)$ (在任一时段 t , N 段曲线的状态变量中最多只能有一个为 1,或全部为 0)和一个连续变量 $P_i^{\text{mt}}(t)$ 。

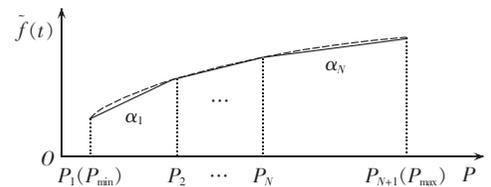


图 5 燃料费用曲线分段线性化示意图

Fig.5 Piece-wise linearization of fuel cost curve

则燃料费用的线性化表达式为:

$$\tilde{f}(t) = \sum_{i=1}^N (\alpha_i P_i^{\text{mt}}(t) + \beta_i B_i(t)) \quad (2)$$

$$\alpha_i = \frac{f(P_{i+1}) - f(P_i)}{P_{i+1} - P_i}$$

$$\beta_i = f(P_i) - P_i \alpha_i$$

需满足的约束条件为:

$$P_i B_i(t) \leq P_i^{\text{mt}}(t) \leq P_{i+1} B_i(t) \quad (3)$$

$$U(t) = \sum_{i=1}^N B_i(t) \leq 1 \quad (4)$$

其中, f 、 \tilde{f} 分别为燃料费用函数和其线性逼近函数; α_i 为第 i 段分段曲线的斜率; β_i 为第 i 段分段曲线的等效截距; P_i 为第 i 个分段点,其中 P_1 对应微燃机的最小出力, P_{N+1} 对应微燃机的最大出力; $P_i^{\text{mt}}(t)$ 为 t 时段第 i 段的微燃机出力; $B_i(t)$ 为 t 时段第 i 段的状态; $U(t)$ 为 t 时段微燃机的运行状态,启动时 $U(t)=1$,停止时 $U(t)=0$ 。

微燃机启停费用可以表示为:

$$\begin{cases} C_{\text{mts}}(t) \geq U(t) C_{\text{mt,start}} & t=1 \\ C_{\text{mts}}(t) \geq [U(t) - U(t-1)] C_{\text{mt,start}} & t>1 \end{cases} \quad (5)$$

其中, $C_{\text{mt,start}}$ 为微燃机单次固定启动成本; $C_{\text{mts}}(t)$ 为 t 时段对应的微燃机启动成本。 ($t>1$) 表达式保证若 ($t-1$) 时段微燃机已经启动并统计了一次启动成本,则 t 时段不会再次叠加统计启动成本。

微燃机最大/最小功率约束:

$$P_{\text{mtmin}} U(t) \leq P_{\text{mt}}(t) \leq P_{\text{mtmax}} U(t) \quad (6)$$

其中, P_{mtmin} 、 P_{mtmax} 分别为微燃机的最小功率下限和最大功率上限。

1.3 蓄电池模型

蓄电池的充放电模型^[10]为:

$$E(t) = E(t-1) + \Delta TP_{\text{ch}}(t) \eta_{\text{ch}} - \frac{\Delta TP_{\text{dis}}(t)}{\eta_{\text{dis}}} \quad (7)$$

其中, $E(t)$ 为蓄电池 t 时段的总能量; $P_{\text{ch}}(t)$ 、 $P_{\text{dis}}(t)$ 分别为蓄电池 t 时段的充电和放电功率; η_{ch} 、 η_{dis} 分别为蓄电池的充电和放电效率。

$$P_{\text{bat}}(t) = P_{\text{dis}}(t) - P_{\text{ch}}(t) \quad (8)$$

其中, $P_{\text{bat}}(t)$ 为蓄电池 t 时段对外表现的功率, 放电时为正, 充电时为负; t 时段充电功率 $P_{\text{ch}}(t)$ 与放电功率 $P_{\text{dis}}(t)$ 满足式(9)~(11)的不等式约束。

$$0 \leq P_{\text{ch}}(t) \leq B_{\text{ch}}(t) P_{\text{bat,max}} \quad (9)$$

$$0 \leq P_{\text{dis}}(t) \leq B_{\text{dis}}(t) P_{\text{bat,max}} \quad (10)$$

$$B_{\text{ch}}(t) + B_{\text{dis}}(t) \leq 1 \quad (11)$$

其中, $P_{\text{bat,max}}$ 为蓄电池的额定最大放电功率; $B_{\text{ch}}(t)$ 为充电状态变量, $B_{\text{dis}}(t)$ 为放电状态变量, 充电时 $B_{\text{ch}}(t) = 1$ 、 $B_{\text{dis}}(t) = 0$, 放电时 $B_{\text{ch}}(t) = 0$ 、 $B_{\text{dis}}(t) = 1$ 。式(11)限定了蓄电池在同一时段只能处于一种充放电状态。

此外, 蓄电池还需满足能量循环守恒和能量上、下限约束。

$$E(t_{\text{min}}) = E(t_{\text{max}}) = E_{\text{min}} \quad (12)$$

$$E_{\text{min}} \leq E(t) \leq E_{\text{max}} \quad (13)$$

其中, t_{min} 、 t_{max} 分别为优化开始时刻和结束时刻; E_{min} 、 E_{max} 分别为蓄电池能量下限和上限。

算例中, 蓄电池额定容量为 80 kW, 最大容量为额定容量的 100%, 最小容量为额定容量的 20%, 充、放电效率均为 0.9。

1.4 日负荷曲线、日电价曲线

本文考虑的微电网由企业或者个人投资, 用以满足本企业或者部分用户用电需求, 微电网内日负荷曲线如图 6 所示。

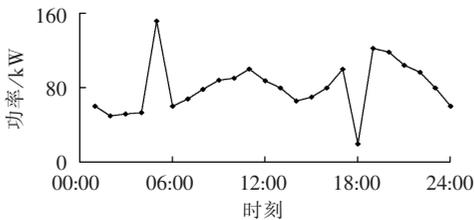


图 6 日负荷需求曲线图

Fig.6 Curve of daily load demand

外部电网电价实行有代表性的分时电价, 选取英国电力市场 2014 年 10 月 22 日的日电价数据^[18], 见图 7, 为计算方便, 价格单位已换算为元/(kW·h)。

2 优化目标

2.1 优化目标函数

以微燃机运行费用最小为优化目标:

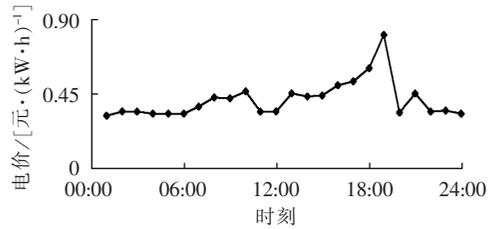


图 7 外部电网日电价曲线

Fig.7 Curve of daily grid electricity price

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^K [\Delta TC(P_j^{\text{mt}}(t)) + C_{\text{sj}}^{\text{mt}}(t)] \quad (14)$$

其中, K 为微燃机台数; T 为一天平均分成的时段数; ΔT 为每个时段的时间长度; $C(P_j^{\text{mt}}(t))$ 为第 j 台微燃机在 t 时段的与运行功率 $P_j^{\text{mt}}(t)$ 有关的燃料成本函数; $C_{\text{sj}}^{\text{mt}}(t)$ 为第 j 台微燃机在 t 时段的启动成本。

然而, 过度强调减少运行燃料消耗, 容易使微燃机设备利用率降低甚至闲置。更为合理的是充分利用储能设备在外网电价低时多吸纳电能、在电价高时释发电能的能力, 对微燃机与蓄电池联合优化, 使得微电网运行最经济, 构造如下优化目标:

$$\min \left\{ \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^K [\Delta TC(P_j^{\text{mt}}(t)) + C_{\text{sj}}^{\text{mt}}(t)] + \sum_{t=1}^T [\Delta TP_{\text{buy}}(t) C_{\text{buy}}(t) - \Delta TP_{\text{sell}}(t) C_{\text{sell}}(t)] \right\} \quad (15)$$

其中, $P_{\text{buy}}(t)$ 为 t 时段外购电功率; $P_{\text{sell}}(t)$ 为 t 时段外售电功率; $C_{\text{buy}}(t)$ 为 t 时段从外网购电电价; $C_{\text{sell}}(t)$ 为 t 时段向外网售电电价。

2.2 优化约束条件

(1) 功率平衡等式约束。

$$\sum_{j=1}^K P_j^{\text{mt}}(t) + P_{\text{dis}}(t) - P_{\text{ch}}(t) + P_{\text{buy}}(t) - P_{\text{sell}}(t) + P_{\text{wt}}(t) + P_{\text{pv}}(t) = P_{\text{demand}}(t) \quad (16)$$

其中, $P_j^{\text{mt}}(t)$ 为 t 时段第 j 台微燃机的运行功率; $P_{\text{dis}}(t)$ 、 $P_{\text{ch}}(t)$ 分别为 t 时段蓄电池放电功率与充电功率; $P_{\text{buy}}(t)$ 、 $P_{\text{sell}}(t)$ 分别为 t 时段从外网购电功率和向外网售电功率; $P_{\text{wt}}(t)$ 为 t 时段风电功率; $P_{\text{pv}}(t)$ 为 t 时段光伏功率; $P_{\text{demand}}(t)$ 为 t 时段微电网总负荷需求。

(2) 微电网与外网联络线功率约束。

$$0 \leq |P_{\text{buy}}(t) - P_{\text{sell}}(t)| \leq P_{\text{PCC,max}} \quad (17)$$

其中, $P_{\text{PCC,max}}$ 为微电网与外网联络线的最大承载功率。

(3) 微燃机运行功率约束, 如式(3)~(6)所示; 蓄电池充放电约束, 如式(9)~(13)所示。

2.3 目标控制变量及优化结果函数

最终的优化计算结果是求得一系列的目标控制变量, 为实际微电网运行的功率调度提供参考。目标控制变量主要包括: 微燃机运行功率 $P_j^{\text{mt}}(t)$, 微燃机启动费用 $C_{\text{ms}}(t)$; 蓄电池充放电功率 $P_{\text{ch}}(t)$ 、 $P_{\text{dis}}(t)$; 外购或卖出电功率 $P_{\text{buy}}(t)$ 、 $P_{\text{sell}}(t)$ 。

在上述控制变量作用下,微电网日运行经济性为微燃机运行成本与购外网电费成本,将优化运行的总成本与仅考虑功率平衡调度时微燃机的运行成本进行比较。

3 算例介绍

本文使用混合整数线性规划 MILP(Mixed Integer Linear Programming)^[10]算法、用 CPLEX 软件求解该经济优化调度问题。

以图 1 所示微电网为例进行分析,风力、光伏出力及负荷、电价等如前文所述。

3.1 经济效益分析

仅考虑运行费用最小的优化式(14)(燃料优化),与考虑运行费用和外网购电费用总金额最小的优化式(15)(运行优化)2种目标下的计算结果见表 1。

表 1 日运行费

Table 1 Daily operating costs

运行目标	日运行费用/元
燃料优化	718.46
运行优化	645.08

由表 1 可以看出,运行优化每天可比燃料优化节约运行费用 73.38 元,节约了 10.2%。单日费用节约虽不多,但对于约 100 kW 的微电网负荷而言,年累计节约成本已经相当可观。

3.2 优化后各时段的控制变量

图 8 为微燃机运行功率,图 9 为微燃机启停成本。

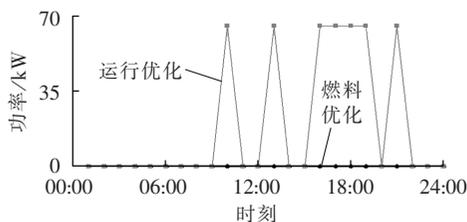


图 8 微燃机运行功率

Fig.8 Operating power of MT

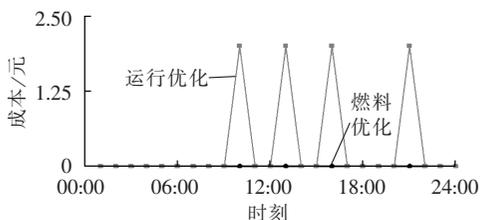


图 9 微燃机启停成本

Fig.9 Startup and shutdown costs of MT

由图 8 和图 9 可以看出,燃料优化情况下为了节约燃料,微燃机基本不启动,而运行优化时微燃机在负荷较高且电价较高时适当启动。

图 10 为蓄电池充放电功率,放电时为正,充电时为负。由图 10 可以看出,在 2 种优化情况下,蓄电

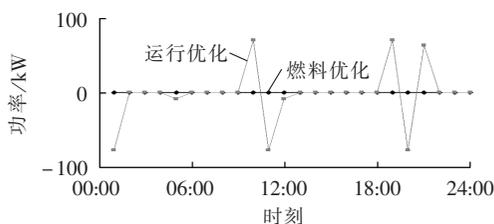


图 10 蓄电池充放电功率

Fig.10 Power charging/discharging of battery

池分配的充放电功率实时值都未超过蓄电池的额定容量,优化被约束于设备可接受范围内。

图 11 为微电网外购或售电功率,外购电时为正,外售电时为负。由图 11 可以看出,燃料优化下微电网外购电较多且基本不对外售电;运行优化下微电网在 11:00—18:00 电价高峰时降低外网购电,且有部分电量外售,充分发挥了蓄电池储能作用,获得了电价的价差利润。

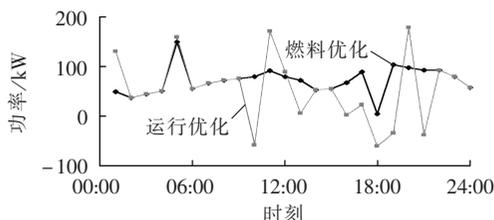


图 11 微电网外购和外售电功率

Fig.11 Purchased/sold power of microgrid

3.3 运行模式总结

由算例结果可以看出,含风光储的并网型微电网优化后的运行模式大致可以分为以下 8 类:(1)大风无光低负荷低电价;(2)弱风无光低负荷低电价;(3)弱风弱光高负荷高电价;(4)大风强光低负荷低电价;(5)弱风强光高负荷高电价;(6)大风强光低负荷高电价;(7)弱风弱光低负荷低电价;(8)弱风无光高负荷低电价。

其他模式由于现实发生可能性较低而不做考虑。

对于模式(1)、(2)、(4)和(7),由于负荷较低且电价较低,此时应关闭微燃机,大量从外网购电;对于模式(6),由于负荷较低且电价较高、风光充足,此时应关闭微燃机,大量向外网售电;对于模式(3)和(5),由于电价较高应对外售电,但此时风光不充足且负荷较高,在供电差额较大情况下可适当启动微燃机辅助;对于模式(8),由于负荷高且电价低,虽然风光缺失,但为了不启动微燃机,应尽量从外网购电以满足负荷需求。

4 结论

控制蓄电池在电价低谷时多充电、在电价高峰时多放电,可以提高微电网的经济性。算例结果表明,

以微电网的运行费用和从外网购电费用的总金额最小为目标的优化是一种经济合理的运行配置策略,对微电网实际运行的功率分配有很好的参考作用。

参考文献:

- [1] 杨堤,程浩忠,马紫峰,等. 基于储能技术提高风电机组低电压穿越能力的分析和展望[J]. 电力自动化设备,2015,35(12):1-10,20. YANG Di, CHENG Haozhong, MA Zifeng, et al. Analysis and prospect of LVRT improvement based on energy storage technology for wind turbine generator system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(12): 1-10, 20.
- [2] 杨清,袁越,王敏,等. 独立型水光储微电网系统容量优化配置[J]. 电力自动化设备,2015,35(10):37-44. YANG Qing, YUAN Yue, WANG Min, et al. Optimal capacity configuration of standalone hydro-photovoltaic-storage microgrid [J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(10): 37-44.
- [3] 童小娇,尹昆,刘亚娟,等. 包含可控负荷的微电网经济调度[J]. 电力自动化设备,2015,35(10):21-28,36. TONG Xiaojiao, YIN Kun, LIU Yajuan, et al. Economic dispatch for microgrid with controllable loads[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(10): 21-28, 36.
- [4] 刘春阳,王秀丽,刘世民,等. 计及蓄电池使用寿命的微电网经济调度模型[J]. 电力自动化设备,2015,35(10):29-36. LIU Chunyang, WANG Xiuli, LIU Shimin, et al. Economic dispatch model considering battery lifetime for microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(10): 29-36.
- [5] 彭春华,黄戡,袁义生,等. 基于 α 约束支配排序混合进化算法的微电网多目标优化运行[J]. 电力自动化设备,2015,35(4):24-37. PENG Chunhua, HUANG Kan, YUAN Yisheng, et al. Microgrid operation multi-objective optimization based on hybrid evolution algorithm with α -constraint dominant sorting[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(4): 24-37.
- [6] 蒋玮,周赣,王晓东,等. 一种适用于微电网混合储能系统的功率分配策略[J]. 电力自动化设备,2015,35(4):38-52. JIANG Wei, ZHOU Gan, WANG Xiaodong, et al. Power allocation strategy of hybrid energy storage system for microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(4): 38-52.
- [7] 杜冰心,王德林. 基于特征向量法的电池储能装置最佳安装地点选择[J]. 电力自动化设备,2015,35(8):79-89. DU Bingxin, WANG Delin. Optimal installation location selection based on eigenvector analysis for battery energy storage device [J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(8): 79-89.
- [8] 吴雄,王秀丽,李骏,等. 风电储能混合系统的联合调度模型及求解[J]. 中国电机工程学报,2013,33(13):10-17. WU Xiong, WANG Xiuli, LI Jun, et al. A joint operation model and solution for hybrid wind energy storage systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(13): 10-17.
- [9] 徐立中,杨光亚,许昭,等. 考虑风电随机性的微电网热电联合调度[J]. 电力系统自动化,2011,35(9):53-60. XU Lizhong, YANG Guangya, XU Zhao, et al. Combined scheduling of electricity and heat in a microgrid with volatile wind power [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(9): 53-60.
- [10] 吴雄,王秀丽,王建学,等. 微网经济调度问题的混合整数规划方法[J]. 中国电机工程学报,2013,33(28):1-8. WU Xiong, WANG Xiuli, WANG Jianxue, et al. Economic generation scheduling of a microgrid using mixed integer programming [J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(28): 1-8.
- [11] 张伯明,吴文传,郑太一,等. 消纳大规模风电的多时间尺度协调的有功调度系统设计[J]. 电力系统自动化,2011,35(1):1-6. ZHANG Boming, WU Wenchuan, ZHENG Taiyi, et al. Design of a multi-time scale coordinated active power dispatching system for accommodating large scale wind power penetration [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(1): 1-6.
- [12] PAPATHANASSIOU S, HATZIARGYRIOU N, STRUNZ K. A benchmark low voltage microgrid network[C]//Proceedings of the CIGRE Symposium: Power Systems with Dispersed Generation. Athens, Greece: [s.n.], 2005: 1-8.
- [13] 王卿然,谢国辉,张粒子. 含风电系统的发用电一体化调度模型[J]. 电力系统自动化,2011,35(5):15-18,30. WANG Qingran, XIE Guohui, ZHANG Lizi. An integrated generation consumption dispatch model with wind power [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(5): 15-18, 30.
- [14] RAHMAN S, PIPATTANASOMPORN M. 大规模风电接入对美国电力系统运行的影响和平抑策略[J]. 电力系统自动化,2011,35(22):3-11. RAHMAN S, PIPATTANASOMPORN M. Operating impacts and mitigation with large scale wind power penetration in the United States[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(22): 3-11.
- [15] 胡泽春,丁华杰,孔涛. 风电-抽水蓄能联合日运行优化调度模型[J]. 电力系统自动化,2012,36(2):36-41,57. HU Zechun, DING Huajie, KONG Tao. A joint daily operational model for wind power and pumped-storage plant[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(2): 36-41, 57.
- [16] CHEN S X, GOOI H B, WANG M Q. Sizing of energy storage for microgrids[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(1): 142-151.
- [17] 李乐. 微网的经济运行研究[D]. 北京:华北电力大学,2011. LI Le. Study of economic operation in microgrid[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2011.
- [18] NETA. Electricity data summary[EB/OL]. (2014-10-22). http://www.bmreports.com/bsp/bsp_home.htm.

作者简介:



张晓波

张晓波(1983—),男,安徽芜湖人,博士研究生,主要从事微电网运行与优化相关研究(E-mail: dna19831983@163.com);

张保会(1953—),男,河北魏县人,教授,博士研究生导师,主要从事电力系统继电保护、安全稳定控制和电力线通信等领域的教学、科研工作(E-mail: bhzhang@mail.

xjtu.edu.cn);

吴雄(1986—),男,湖南娄底人,博士研究生,主要研究方向为电力系统运行和规划(E-mail: wuxiong432@126.com)。

(下转第40页 continued on page 40)

Coordinated optimal operation between microgrid and distribution network based on dynamic award and penalty price

HU Xiaotong¹, LIU Tianqi¹, LIU Shu², HE Chuan¹, LIU Yikui¹

(1. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. State Grid Shanghai Electric Power Research Institute, Shanghai 200122, China)

Abstract: In order to alleviate the impact of integrated microgrid on distribution network and increase the enthusiasm of microgrid participating in the optimal dispatch of distribution network, a layered and coordinated optimization model based on the dynamic award and penalty price is proposed with the optimization method for the distribution network integrated with multiple microgrids. At the network layer, it takes the load shifting of 10 kV feeder as its objective to obtain a power-exchange schedule reference for each microgrid, and at the microgrid layer, it takes the minimum total cost as its objective and the day-ahead power-exchange dispatch as its constraint, which is compared with the obtained power-exchange schedule reference to determine the matching degree for adjusting the dynamic award and penalty price. An improved bacterial colony chemotaxis algorithm is applied to balance the global and local search abilities by adaptively adjusting the velocity and perception range. The Latin hypercube sampling method is adopted to generate the original bacteria with wider distribution for reducing the possibility of local optimum. IEEE 69-bus distribution network integrated with microgrids is taken as an example and the results of case study verify the effectiveness of the proposed model and algorithm.

Key words: distribution network; microgrid; coordinated optimization; dynamic award and penalty price; improved bacterial colony chemotaxis algorithm

.....
(上接第 25 页 continued from page 25)

Optimal microgrid operation based on wind/PV power prediction

ZHANG Xiaobo, ZHANG Baohui, WU Xiong

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The ARMA (AutoRegressive Moving Average) model is used to predict the wind power, the multiple linear regression method is used to predict the photovoltaic power, the piece-wise linearization method is used to present the relationship between the fuel cost and output power of MT (MicroTurbine), and a battery model considering the charging/discharging efficiency and states is established. With the minimum internal fuel cost and the minimum electricity purchase cost as the objectives, the control strategy of microgrid operation is optimized by charging and discharging the battery. CPLEX software is applied to solve the optimization function and the results of optimal operation are presented, which show that, with the proposed optimization strategy, the battery is charged when the electricity price is lower while discharged when the electricity price is higher and the operating cost is less than that of the traditional control strategy.

Key words: microgrid; economy; optimization; wind power; photovoltaic; prediction; electric batteries