

基于 NSGA-II 改进 GSO 算法的并网型微电网 多目标优化调度研究

黄洪斌^{1,2}, 蔡乐才³, 肖体刚^{1,2}, 叶羽泠^{1,2}, 高祥¹

(1. 四川轻化工大学自动化与信息工程学院, 四川 自贡 643000; 2. 人工智能四川省重点实验室, 四川 自贡 643000;
3. 宜宾学院, 四川 宜宾 644000)

摘要: 并网微电网的优化调度是微电网在并入大电网的前提下, 对微电网优化协调控制, 使整个系统的能源利用率达到最大。为解决传统智能算法在优化调度的过程中容易陷入局部最优、收敛速度慢及准确性差等问题, 使用 NSGA-II 算法对传统的萤火虫算法(GSO)进行改进, 改进后的算法可以较快地跳出局部最优, 并提高算法的全局搜索能力。以微电网系统运行成本最低和环境污染最小为优化目标, 建立优化调度模型, 最后通过 MATLAB 仿真, 检验了算法可以较快地跳出局部最优并有效降低运行成本。改进后的 GSO 算法与 NSGA-II 算法、GSO 算法及 PSO 算法 3 种算法进行比较, 运行总成本分别减少 6.5%, 4.4%, 3.5%。迭代次数与运行时间的减少表明改进后的 GSO 算法可以更快地收敛于最优位置, 并有效地减少系统运行成本。

关键词: 微电网; NSGA-II 算法; GSO 算法; 并网; 多目标优化调度

中图分类号: TM714

文献标志码: A

引言

在全球化石能源逐渐枯竭, 环境污染日益严重背景下, 分布式能源因为具有高效、绿色的特点, 逐渐受到国内外学者的关注。在这种趋势下, 分布式电源并入大电网成为了研究的热点, 但分布式能源出力的间接性与波动性的缺点也显现出来。微电网系统是一个以将分布式能源, 负荷系统以及储能装置结合统一运作的系统, 可以更加方便进行调度, 有效减小分布式电源接入大电网的负面效应。

微电网优化调度其实是指在整个运行的过程中系统保持总体功率平衡, 同时其余机组功率和储能装置满足容量阈值等约束条件的基础上, 综合各个方面的成本考虑, 并把它当成目标函数, 使用优化算法来进行求解^[1]。目前这方面的研究主要包括对优化模型的研究, 以及各种智能优化算法的使用。文献[2]提出了将一种综合评价模型加入现有的微电网调度模型中, 可以得到不同目标函数下的最优调度方案, 为微电网优化提供评价指标。文献[3]提出改进鸟群算法的优化调度研究, 将多目标问题转化为单目标问题, 较为简单。文献[4]

收稿日期:2020-07-10

基金项目:四川省科技厅资助项目(2019YFN0104);四川轻化工大学研究生创新基金(Y201915)

作者简介:黄洪斌(1994-),男,安徽合肥人,硕士生,主要从事智能信息处理方面的研究,(E-mail)1558542775@qq.com

通信作者:蔡乐才(1966-),男,四川大竹人,教授,硕士,主要从事智能检测与控制、智能物联与智能信息处理等方面的研究,(E-mail)ybxyc@163.com

是一种离网型微电网的最优调度方案,文章同时建立了两个目标函数,包括最低的运行成本和环保利益,然后将评价函数运用到模型中,使多目标优化方法能够实现多个目标的转换。文献[5]提出了一种使微电网在保证经济运行和环保的双重优化到最低的模型,并且模型应用于解决含分布式电源的微电网动态能量调度中,算法的收敛性与准确性都有提高。文献[6]基于粒子群算法进行了改进,建立综合经济效益的目标函数,并考虑了设备的折旧,改进后的粒子群收敛明显加快。文献[7]研究了一种将风险系数考虑到微网的随机调度模型,利用风险水平系数来评估运行的风险值。文献[8]使用了强化学习不停迭代的过程得到最优解,同时达到了经济利益最大化、充电功率平稳、负荷的动荡下降、碳排放量最小的多目标最优,但该方法在自身学习的过程中可能会出现学习时间过长。文献[9]使用一种在传统遗传算法上优化的多目标算法,以此解决微电网的调度最优问题,但该方法同样会陷入局部最优。

目前主要的预测算法存在收敛速度较慢,算法可能会陷入局部最优。为解决这一问题,本文以运行成本最低、环境污染最小为基础来建立目标函数。首先建立含光伏(Photovoltaic, PV)、微型燃气轮机(Micro-Turbine, MT)、风机(Wind Turbine, WT)、蓄电池(Energy Storage, ES)的微电网模型,针对传统人工萤火虫群优化(Glowworm Swarm Optimization, GSO)算法的缺点,提出了改进型的GSO算法对多目标微电网优化模型求解。利用萤火虫总是向最亮的个体移动的特点,使用自适应步长的方法摆脱局部最优,加快收敛速度,同时结合NSGA-II算法的快速支配排序策略,解决多目标优化问题。最后与NSGA-II算法、PSO算法及GSO算法进行仿真比较,证明本文算法具有更好的收敛速度和全局寻优能力。

1 微电网模型

1.1 微电网结构

本文研究的是并网型微电网,如图1所示,其由光伏发电系统、风机、储能装置、负荷及微型燃气轮机组成。

微电网是大电网中可控制的部分,但相对于一般用

户来说,微电网是满足供电需求的系统。微电网是可以实现自控性、独立管理的系统,它不但可以与大电网进行并网运行实现功率之间的交互,也可以脱离大电网,依靠分布式和储能部分独立的给用户供电^[10]。

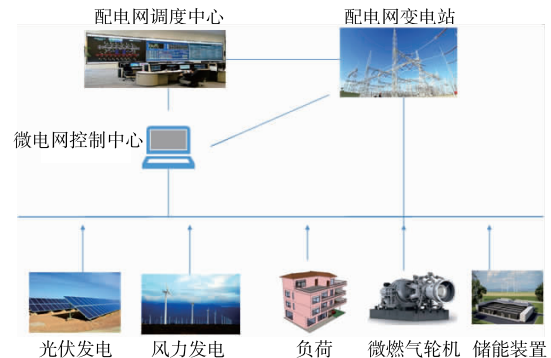


图1 微电网组成及结构

1.2 光伏发电系统模型

光伏发电系统的工作原理是利用半导体表面的光生伏特效应,将太阳能转换成电能来工作的。由于光伏发电装置的功率会受到光照、周围温度等因素的影响,因此光伏发电装置的出力效果是波动的、间歇性的。但是因为温度和光照强度对出力的影响比较大,因此可根据温度和光照来建立光伏电池输出功率模型^[11]:

$$P_{PV} = P_{STC} \times \frac{G_C}{G_{STC}} \times \{1 + k[T_C(t) - T_{STC}]\} \quad (1)$$

其中: P_{STC} 是标准状态(光照强度 1000 W/m^2 ,温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$)下光伏系统额定功率; G_C 是实际的光照强度(W/m^2); G_{STC} 是标准状态下光照,即 1000 W/m^2 ; k 是温度系数; T_{STC} 是标准状态下光伏电池板实际温度($^\circ\text{C}$); T_C 是 t 时刻光伏装置发电的表面温度($^\circ\text{C}$)。

1.3 储能装置充放电模型

储能装置系统的作用是保证微电网稳定运行,可保证对用户连续供电,从而实现微电网可靠性、可控性。储能装置还可以用来发挥“削峰填谷”的作用,当微电网系统发电较多,且用户负荷较小时,储能系统存储生产多余的电能,当发电量较低时或出现负荷较大时,便可调度储能装置完成供电,如此不但提高了整个系统的运行稳定性,还具有一定的经济性^[12]。储能系统存储的电量与蓄电池的荷电状态(State of Charge, SOC)有关,储能系统中蓄电池充放电的模型为^[13]:

(1) 充电状态, t 时刻蓄电池剩余容量为:

$$SOC(t) = (1 - \delta)SOC(t - 1) + \left[P_i(t) - \frac{P_L(t)}{\eta_{inv}} \right] \Delta t \eta_c / E_{Bat} \quad (2)$$

(2) 放电状态, t 时刻蓄电池剩余容量为:

$$SOC(t) = (1 - \delta)SOC(t - 1) + \left[\frac{P_L(t)}{\eta_{inv}} - P_i(t) \right] \Delta t / E_{Bat} \eta_d \quad (3)$$

式(2)~式(3)中: $SOC(t)$ 为蓄电池 t 时刻的存储状态; $SOC(t - 1)$ 为蓄电池 $t - 1$ 时刻的存储状态; Δt 是充放电时间间隔; δ 是储能装置荷电保持能力; $P_L(t)$ 是 t 时刻用户用电量; $P_i(t)$ 是 t 时刻分布式电源所产生的总电能; η_{inv} 是逆变器效率, η_d 与 η_c 分别是放电效率和充电效率; E_{Bat} 是储能装置额定容量。

1.4 微型燃气轮机组模型

微电网中除光伏发电系统外,还有其他机组,例如微型燃气轮机,为了计算方便将其拟合为二次函数表示:

$$C_{DG(t)} = aDG_t^2 + bDG_t + c \quad (4)$$

其中: $C_{DG(t)}$ 表示机组出力成本; DG_t 表示 t 时刻输出功率; a, b, c 表示 DG 的成本系数。

1.5 与大电网功率交互模型

当微电网自身出力程度无法满足用户的负荷需求时,便需要从大电网购电满足需求,当微电网发电充足时,可将多余的电销售给电网,其调度模型为^[14]:

$$C_{grid(t)} = \frac{C_{buy} + C_{sell}}{2} P_{grid(t)} + \frac{C_{buy} - C_{sell}}{2} |P_{grid(t)}| \quad (5)$$

其中: $C_{grid(t)}$ 为 t 时刻微电网与大电网的交互时产生的成本; C_{buy} 和 C_{sell} 分别表示购电和售电价格; $P_{grid(t)}$ 表示 t 时刻微电网购电或销售的电量,为正表示微电网购电,为负表示微电网售电。

2 微电网优化模型

2.1 目标函数

本文以系统运行成本最低和环境污染最小做为优化目标。

(1) 运行成本目标函数为^[15]:

$$\min f_1 = \min \sum_{t=1}^T \left\{ C_{grid(t)} + C_{DG(t)} + \lambda_{pv} P_{pv(t)} + \lambda_b \left(k_c P_{charge(t)} - \frac{P_{dis(t)}}{k_d} \right) \right\} \quad (6)$$

其中: λ_b 表示储能装置实际输出成本系数; $P_{pv(t)}$ 表示 t 时刻光伏出力; λ_{pv} 光伏发电成本系数; k_c 表示 t 时刻对转移负荷的补偿成本系数。

(2) 环境成本目标函数为^[15]:

$$\min f_2 = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K b_k \left[\sum_{i=1}^N (a_{i,k} \cdot p_{i,t}) \right] \quad (7)$$

其中: T 表示调度周期; K 为分布式电源种类; k 为污染气体种类,有 CO_2, SO_2, NO_2 等污染气体; $a_{i,k}$ 为第 i 个设备产生的第 k 种污染气体数据。

2.2 约束条件

2.2.1 功率约束平衡

系统运行平衡功率:

$$P_{grid(t)} + P_{pv(t)} + P_{MT(t)} + P_{BT(t)} = P_{load(t)} \quad (8)$$

其中: $P_{pv(t)}$ 为光伏发电功率; $P_{load(t)}$ 为负荷的总功率; $P_{MT(t)}$ 为微型汽轮机功率; $P_{BT(t)}$ 为蓄电池的功率; $P_{grid(t)}$ 为电网的功率。

2.2.2 分布式电源功率约束

$$P_{min} \leq P_i \leq P_{max} \quad (9)$$

其中: P_i 表示时刻 i 的功率; P_{min} 为分布式电源出力下限; P_{max} 为分布式电源出力上限。

2.2.3 微电网与上级功率传输约束

$$P_{grid(min)} \leq P_{grid(t)} \leq P_{grid(max)} \quad (10)$$

其中: $P_{grid(min)}$ 为传输功率下限; $P_{grid(max)}$ 为传输功率上限。

2.2.4 储能装置电池容量约束

$SOC(min)$ 为电池容量最小值, $SOC(max)$ 为电池容量最大值,表示为:

$$SOC(min) \leq SOC(t) \leq SOC(max) \quad (11)$$

充放电功率约束:

$$\begin{cases} P_{charge(t)} \leq P_{charge(max)} U_{charge(t)} \\ P_{dis(t)} \leq P_{dis(max)} U_{dis(t)} \end{cases} \quad (12)$$

其中: $P_{charge(max)}$ 、 $P_{dis(max)}$ 分别表示最大充、放电功率; $U_{charge(t)}$ 、 $U_{dis(t)}$ 分别表示充、放电状态。

3 基于 NSGA-II 改进 GSO 优化调度模型

本文所提出的优化调度问题是多目标的优化调度模型,传统的 GSO 算法不能满足需求,因此可利用 NSGA-II 中快速非支配排序和拥挤距离原则的优势,采

用自适应步长的策略,在求解多目标问题时既不易陷入局部最优,又能加快收敛速度。

3.1 萤火虫算法(GSO)

GSO算法是印度学者 K. N. Krishnanand 和 D. Ghose 在 2005 年 IEEE 群体智能会议上提出了一种新的群智能优化算法。该算法模拟自然界萤火虫的发光特性,通过比较荧光素值的大小达到交流信息的目的,从而实现问题的优化。该算法具有参数较少、操作简单且稳定性较好等优点。

优化过程包括 4 个阶段:荧光素值更新,寻找最亮个体,萤火虫位置更新,感知半径更新^[16]。

(1) 荧光素值更新

萤火虫 i 在 t 时刻的荧光素值表示为:

$$l_i(t) = \max\{0, (1 - \rho)l_i(t-1) + \gamma J[X_i(t)]\} \quad (13)$$

其中: ρ 表示荧光素衰减因子; γ 表示荧光素更新率; $J[X_i(t)]$ 萤火虫 i 在时刻 t 所处位置对应的目标函数值。

(2) 寻找最亮个体

设定萤火虫 i 的领域集为:

$$N_i(t) = \{j; d_{ij} < r_j^i; l_i(t) < l_j(t)\} \quad (14)$$

其中: d_{ij} 为萤火虫 i 和 j 之间的欧氏距离。

(3) 萤火虫更新位置

假设萤火虫 i 向 j 移动,移动之后 i 需要进行位置更新:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + s \left[\frac{X_j(t) - X_i(t)}{X_j - X_i} \right] \quad (15)$$

其中: $s = \begin{cases} \delta, & \text{if } d_{ij} \geq \delta \\ d_{ij}, & \text{else} \end{cases}$, 为移动步长; δ 为设置的距离

阈值。

(4) 感知半径更新

感知半径的大小会受到邻域内个体数量的影响。邻域内萤火虫密度越小,它的感知半径会加大,以便找到更多邻居;反之,它的感知半径会缩小。位置改变之后,它的感知半径随之改变。感知半径更新公式为

$$r_d^i(t+1) = \min\{r_d^i(t) + \beta(n_i - |N_i(t)|)\}$$

其中: β 为恒定参数;为具体阈值参数,用来控制在 t 时刻萤火虫 i 的邻域集中萤火虫个体数目。

3.2 自适应步长萤火虫优化算法

步长决定着算法准确度和运行速度。针对萤火虫

算法中固定步长在求解过程中存在准确度不高、容易陷入局部最优的问题,提出自适应步长策略思想,用自适应步长 s 代替原有的固定步长 s 。开始寻优时,由于萤火虫位置更新变化较大,步长改变大,使得萤火虫个体保持快速寻优的能力,这大大提高了收敛速度;寻优后期逐渐稳定时,逐渐减小步长,使萤火虫个体在自身周围寻优,逐渐逼近最优解。自适应的步长表示为^[16]:

$$D_i = \frac{\|X_i - X_{best}\|}{d_{max}} \quad (16)$$

其中: X_i 为当前 i 的位置;为最大的萤火虫位置; d_{max} 距最优萤火虫距离的最大值。

感知半径更新策略调整 $s_i = s_{min} + (s_{max} - s_{min})D_i$ 同时,规定移动步长的范围 $(s_{max} - s_{min})$, 限定步长的变化范围,避免萤火虫在搜索时范围太分散、步长太小。由此,根据情况自动调整步长可以更好提高算法的收敛速度与寻优精度^[17]。

3.3 基于NSGA-II改进GSO算法流程

NSGA-II算法是一种快速非劣性排序方法,优点在于鲁棒性好,通过快速非支配排序策略搜索靠近 Pareto 前沿的解,并采用拥挤距离原则来保证非劣解集的多样性和均匀性^[18]。

改进的 GSO 算法是利用 NSGA-II 算法快速非支配排序和拥挤距离的策略,其流程如图 2 所示,在 GSO 算法合并解集群时,对解集进行快速非支配排序,计算每一层拥挤距离后筛选非劣解集。算法具体步骤为:

(1) 输入微电网的负荷,功率等初始数据,设置算法初始化参数。

(2) 初始化种群 X_1 , 考虑各功率约束条件,计算目标函数。

(3) 根据自适应步长的萤火虫更新策略式(16),由各约束条件产生新的个体种群 X_2 。

(4) 计算新个体种群 X_2 的目标函数值。

(5) 将新产生的个体 X_2 与父代个体 X_1 合并,进行非支配排序,并对合并的种群以 $P = 0.2$ 为概率进行筛选淘汰。

(6) 筛选淘汰后再次在满足约束的条件下得到新的解集,根据拥挤距离选择最优解。

(7) 判断是否达到输出条件。当搜寻到全局最优

解或达到最大迭代次数时,输出结果,否则回到步骤(3)。

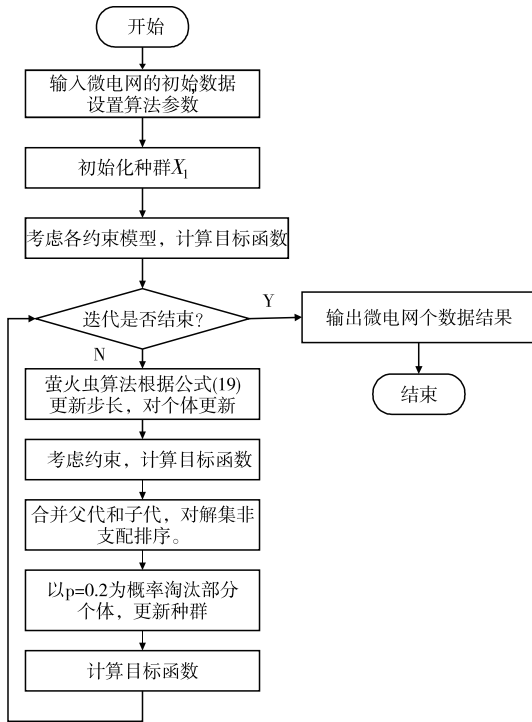


图2 基于NSGA-II的GSO算法流程图

4 算例分析

4.1 微电网的初始数据

建立由光伏发电系统、储能装置、微型燃气轮机、负荷组成的微电网模型。计算时间为24小时,时间间隔为15分钟,共采集96个点。风力发电机组容量250 kW,发电成本为0.52元/(kW·h);光伏发电机组参数见表1,容量为150 kW,发电成本0.75元/(kW·h);微型燃气轮机(MT)的参数见表2,额定功率为150 kW,假设不计储能装置损耗;蓄电池的参数见表3,额定容量为300 kW,电池SOC运行范围[0.3,0.9],初始值为0.4,优充电值放电成本为0.2元/(kW·h),每天充放电次数为8次;NSGA-II的参数:交叉概率为0.9,变异概率0.1;改进后的NSGA-II筛选淘汰概率为0.2,ρ为0.4,γ为0.6,β为0.8,动态步长 s_{max} 为1, s_{min} 为 10^{-8} ,迭代次数为200次。

表1 光伏发电系统参数

| 参数 | $T_{STC}/^{\circ}C$ | $G_{STC}/(W/m^2)$ | P_{STC}/MW |
|----|---------------------|-------------------|--------------|
| 数值 | 25 | 1000 | 2.5 |

表2 燃气轮机机组成本系数

| 系数 | a | b | c |
|----|---|-----|------|
| 数值 | 0 | 115 | 2500 |

表3 储能系统参数

| 参数 | $P_{charge(max)}$ | $P_{dis(max)}$ | SOC(max) | SOC(min) |
|----|-------------------|----------------|----------|----------|
| 数值 | 5 | 5 | 10 | 1 |

由于风、光在运行的过程中不会产生污染,所以优先级较高,微型燃气轮机产生污染气体,各污染气体排放系数和处理成本见表4。

表4 污染排放系数和环境评价标准

| 污染物 | 环境价值/(元/kg) | 惩罚系数/(元/kg) | 排放系数/(g/kW) | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|------|
| | | | MT | 电网 |
| CO ₂ | 0.0027 | 0.00175 | 184 | 868 |
| SO ₂ | 0.75 | 0.175 | 0.00098 | 6.5 |
| NO ₂ | 1 | 0.25 | 0.67 | 3.21 |

微电网与大电网进行功率交互时,购电价格和售电价格如图3所示。

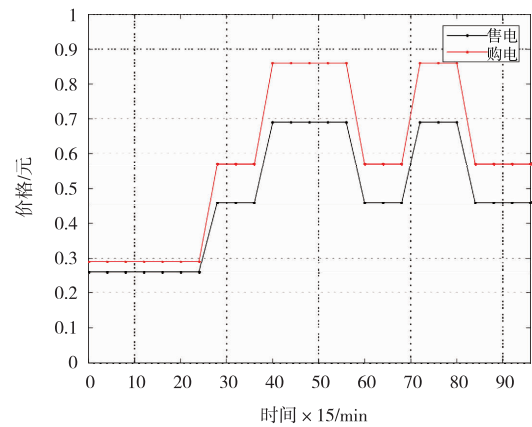


图3 购售电价格曲线

微电网的日负荷,以及光伏出力和风能出力如图4所示。

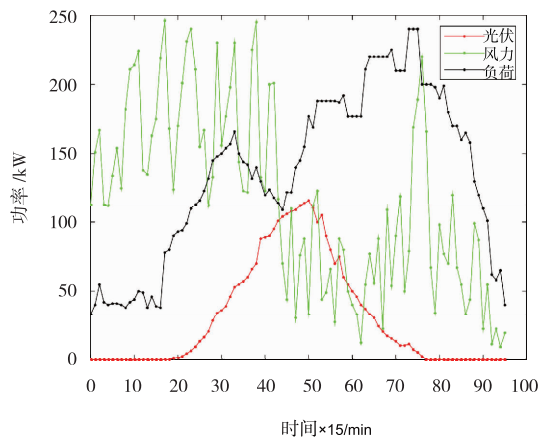


图4 风/光/负荷功率数据

4.2 优化调度的结果分析

为了说明本文算法的优越性,采取了微电网中含储能装置和不含储能装置两种不同的调度方案。

调度方案1 储能装置不参与调度

储能装置不参与调度的过程,如图5所示,可能出现分布式不工作,负荷全由主网提供和分布式全功率输出,仍然不能满足负荷,不足部分由主网提供。若有剩余售卖给电网。

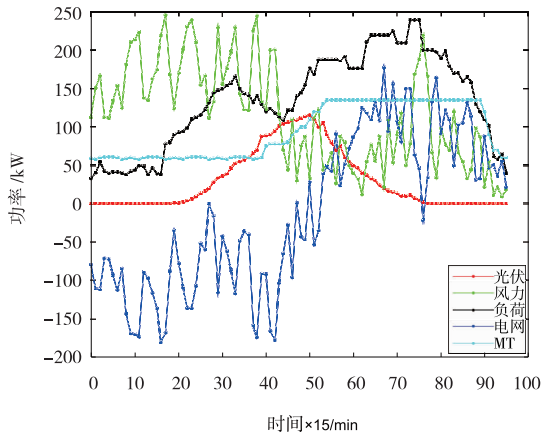


图5 不含储能装置调度结果

由图5可知,0~20时段和75~96时段,光伏出力基本为0,但风力仍有输出,此时整个微网负荷较低,购电价格较低,微型燃气轮机保持较小功率输出,不足部分由购电补充;20~40时段,光伏出力上升,风机出力减缓,虽然负荷有所增加,但此时仍能满足需求;40~60时段,光伏出力达到高峰,风力减缓,已无法满足负荷,此时微型燃气轮机开始增加输出功率;60~75时段,负荷进一步增加,此时微网功率无法满足,需要加大与电网功率交互;75~96时段负荷下降,与电网功率交互和微型燃气轮机功率下降。

调度方案2 考虑储能装置

若考虑蓄电池作用,微网与电网允许交换功率不超过150 kW,在风机、光伏全功率利用的条件下,储能装置参与调节后对调度产生的影响如图6所示,其在调度过程中荷电状态如图7所示。

图6中,1~20时段,光伏出力为0,主要由风力和电网供电,在此时段处于购电谷时电价内,所以可为储能装置充满电;20~60时段,光伏与风力全功率应用,若供电充足,则可为储能充电或售卖与大电网,当供电不足

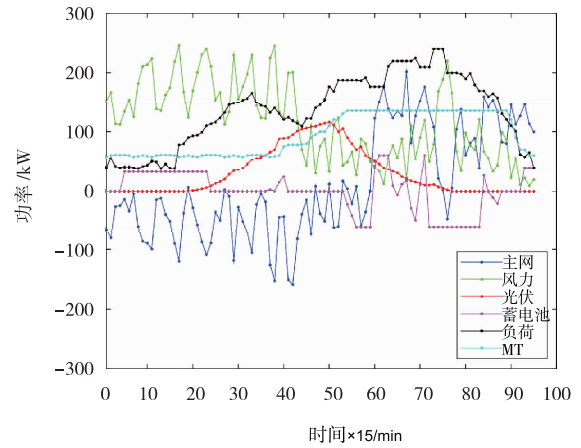


图6 含储能装置调度结果

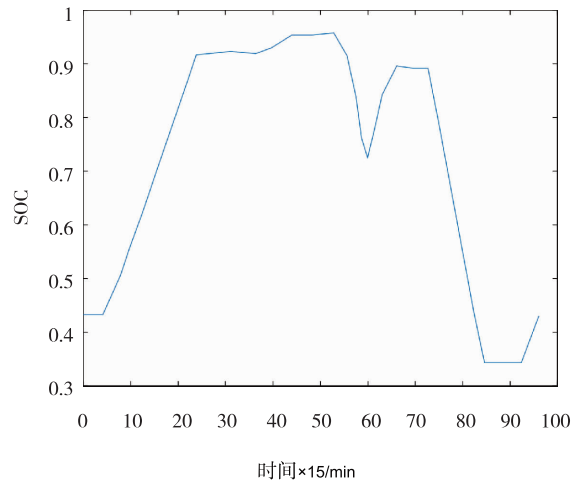


图7 储能装置荷电状态

时,因此时段存在购电峰时电价,故使用储能装置供电;60~80时段,会出现负荷用电高峰,但此时并不处于谷时购电价格,储能装置、微型燃气轮机处于全功率运行状态,若功率仍不满足负荷,考虑与大电网交互;80~96时段,此时负荷逐渐下降,购电与售电处于平时段,光伏出力已经为0,主要靠风力和微型燃气轮机供电。

由图6可以看出,储能装置的加入起到了削峰填谷的作用,在谷时段,利用大电网为储能装置充电,在峰时段可以将多余的电售卖给大电网。

4.3 算法对比

为了进一步说明本文算法的优越性,将本文所使用的算例数据分别代入NSGA-II算法、萤火虫算法(GSO)及传统的粒子群算法(PSO),求得各个算法的总成本,并与本文算法进行比较,结果见表5,相应算法的适应度曲线如图8所示。

表5 不同算法的总成本

| 算法类型 | 本文算法 | NSGA-II | GSO | PSO |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| 运行成本/元 | 2270.68 | 2426.75 | 2377.6 | 2360.88 |
| 环境成本/元 | 216.76 | 233.7 | 224.55 | 219.45 |
| 总成本/元 | 2487.44 | 2660.45 | 2602.15 | 2580.33 |
| 运行时间/s | 112.18 | 164.36 | 188.95 | 177.69 |

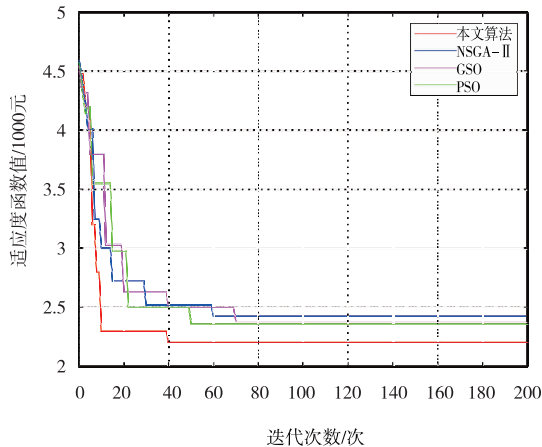


图8 算法适应度收敛曲线对比图

分析表5可知,本文改进算法与NSGA-II算法相比,总成本减少了173.01元,节约了6.5%;与GSO算法相比,总成本减少了114.71元,节约了4.4%;相比于PSO算法,总成本减少了92.89元,节约了3.5%。由图8可知,本文算法迭代39次左右就收敛于最优位置2270元,其余算法迭代次数均比本文算法大,由此说明本文算法在降低微网总运行成本方面具有明显的优越性。

5 结束语

本文从微电网并网运行的角度,通过建立以微电网系统运行的成本最低为目标函数和环境污染最小的优化模型,在各约束条件成立的情况下,合理分配运行时各个系统的出力情况,最后在NSGA-II算法和萤火虫算法(GSO)基础上,提出了改进GSO算法。通过算例仿真,与NSGA-II算法、PSO算法和GSO算法进行对比,说明了此改进算法的优越性。另外,通过含储能装置和不含储能装置两种不同的优化调度策略,说明了储能装置在优化调度过程中削峰填谷的作用。

参考文献:

[1] 程启明,程尹曼,黄山,等.微电网经济优化运行综述[J].广东电力,2018,31(2):1-9.

- [2] 郭宁,滕欢,李基康.考虑综合评估的孤立微网优化调度[J].电力建设,2016,37(4):63-69.
- [3] 杨文荣,马晓燕,徐茂林,等.基于改进鸟群算法的微电网并网优化调度研究[J].电工电能新技术,2018,37(2):53-60.
- [4] 聂瀚,杨文荣,马晓燕,等.基于改进鸟群算法的离网微电网优化调度[J].燕山大学学报,2019,43(3):228-237.
- [5] 李佳华,马连博,王兴伟,等.基于多目标蜂群进化优化的微电网能量调度方法[J].郑州大学学报(工学版),2018,39(6):50-58.
- [6] 孙磊超,龙燕.基于改进粒子群算法的微电网优化运行研究[J].兵器装备工程学报,2018,39(7):184-188.
- [7] 王大龙,徐小东,郭建平,等.计及风险的微电网日前优化调度分析[J].重庆理工大学学报(自然科学),2020,34(4):150-156.
- [8] 刘金华,柯钟鸣,周文辉.基于强化学习的微电网能源调度策略及优化[J].北京邮电大学学报,2020,43(1):28-34.
- [9] 朱辉,吕红芳.考虑双重目标的微电网优化调度[J].上海电机学院学报,2020,23(1):23-28.
- [10] LAI Q P, WU C K. Key technology analysis and prospect of microgrid planning and design[J].Electric Power Construction,2018,39(2):18-29.
- [11] 吴康,张彬桥.基于鲑鱼粒子群算法的微电网并网优化调度[J].电功率,2019,34(5):417-422.
- [12] 罗顺根,郭秀萍.用改进的MOEA/D算法求解微电网电力调度多目标优化问题[J].系统科学与数学,2020,40(1):81-104.
- [13] 刘学岗.分布式能源与微电网[M].北京:九州出版社,2018.
- [14] 李盛伟,李鹏飞,白星振,等.计及储能和用户需求响应的并网型微网优化调度模型[J].电工电能新技术,2018,37(9):51-58.
- [15] 王凌云.微电网系统优化运行及其控制策略[M].北京:中国水利出版社,2018.
- [16] 于德鳌,李慧,刘思嘉,等.基于改进萤火虫算法的含风电系统环境经济调度[J].电力科学与技术学报,

- 2020,35(2):84-92.
- [17] 李军,颜辉,张仰飞,等.基于改进萤火虫算法的农村配电网分布式电源优化配置[J].电力电容器与无功补偿,2016,37(6):82-87.
- [18] 赵文瑄,汤宗尧,谭林林,等.多优化目标下无线充电电动汽车与风电协同调度研究[J].供用电,2018,35(9):22-27,68.

Research on Multi-objective Optimal Dispatch of Grid-connected Microgrid Based on NSGA-II Improved GSO Algorithm

HUANG Hongbin^{1,2}, CAI Lecai³, XIAO Tigang^{1,2}, YE Yuling^{1,2}, GAO Xiang¹

(1. School of Automation and Information Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China; 2. Artificial Intelligence Key Laboratory of Sichuan Province, Zigong 643000, China; 3. Yibin University, Yibin 644000, China)

Abstract: The optimized dispatching of grid-connected microgrid is to optimize and coordinate the control of the microgrid under the premise that the microgrid is integrated into the large grid, so as to maximize the energy utilization rate of the entire system. In order to solve the problems of traditional intelligent algorithms that are easy to fall into local optimality, slow convergence speed and poor accuracy in the process of optimizing scheduling, the NSGA-II algorithm is used to improve the traditional firefly algorithm (GSO). The improved algorithm can be faster Jump out of the local optimum and improve the global search ability of the algorithm. Taking the lowest operating cost of the microgrid system and the smallest environmental pollution as the optimization goals, an optimal dispatch model is established, and finally, through MATLAB simulation, it is verified that the algorithm can quickly jump out of the local optimal and effectively reduce the operating cost. Comparing the improved GSO algorithm with the three algorithms of NSGA-II, GSO and PSO, the total operating cost is reduced by 6.5%, 4.4%, and 3.5% respectively. The reduction in the number of iterations and running time shows that the improved GSO algorithm can converge to the optimal position faster and effectively reduce the operating cost of the system.

Key words: micro power grid; NSGA-II algorithm; GSO algorithm; grid-connected; multi-objective optimal dispatch