

DOI:10.12158/j.2096-3203.2019.06.017

含海水淡化系统的海岛微电网经济运行优化

刘俊¹, 王维俊², 张国平¹

(1. 陆军勤务学院军事设施系, 重庆 401331; 2. 军事科学院系统工程研究院, 北京 100091)

摘要:针对海岛供电供水困难的现状,将海水淡化系统引入到微电网中,解决海岛居民的水电供应问题。针对微电网经济运行优化算法容易陷入局部最优的问题,将遗传算法中的小生境种群策略引入粒子群算法中,提出了一种改进小生境粒子群算法,对学习因子进行异步变化调整,对惯性权重进行指数递减,改善了算法寻优性能。以考虑海水淡化经济收益的孤立微电网系统经济运行成本最低为目标,建立数学优化模型,以改进算法进行优化计算,分别与标准粒子群算法计算结果以及不考虑海水淡化系统的微电网经济运行优化结果进行对比,验证了引入海水淡化系统可提高系统的经济性,所提改进算法具有良好的寻优能力。

关键词:海水淡化;经济运行;小生境粒子群算法;异步变化;指数递减

中图分类号: TM721

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2019)06-0122-08

0 引言

我国领海辽阔,有居民生活的海岛约400个^[1],海岛经济价值与战略地位极其重要。对于海岛开发与利用而言,供电保障和淡水供应至关重要。

在供电方面,目前海岛供电主要由柴油发电机组保障。柴油机发电技术成熟,却也存在经济性差和污染严重等系列问题。随着新能源技术的发展,以充分利用清洁能源为依托构建孤立海岛微电网逐渐成为海岛供电的最佳选择^[2]。

海岛的淡水资源相对匮乏,海水淡化技术是海岛淡水来源的重要支撑^[3]。海水淡化具有稳定、清洁及成本逐渐降低等优点,但属于高能耗负荷^[4]。因此,利用清洁能源发电为海水淡化设备提供电能成为趋势^[5]。同时,由于海水淡化负荷可作为可控负荷消纳冗余风光资源,提高清洁能源利用率。因此,在海岛微电网的经济运行优化研究中,海水淡化负荷的可控性与经济性具有广阔前景^[6]。

随着微电网技术的发展,在利用新能源发电、柴油机与储能相结合的微电网系统中引入海水淡化负荷日益受到重视。文献[7]提出了一种分布式协调预测控制策略,分别对各清洁能源发电设计分布式预测控制器,对发电功率进行分配。文献[8]针对于海水淡化系统,提出了一种基于混沌搜索与和声搜索改进的混合型优化算法,根据气象数据与海水淡化负荷,优化微电源装机容量,以获得更高的经济性。刘青等人提出了一种主要考虑蓄电池寿命损耗与海水淡化经济收益的能量管理策略^[9],

并采用算例验证了该能量管理策略能够提高微电网运行的经济效益。赵波等人针对东福山岛的微电网系统^[2],提出了采用V/f控制方法进行输出功率的分配,为海水淡化系统提供稳定的电能支撑,尽量减少柴油机运行时间,提高了系统运行经济性,但是没有考虑海水淡化负荷的供电可靠性。郭力等人针对风柴储及海水淡化微电网,提出了基于超短期风速预测的微电网实时能量调度管理策略,制定海水淡化负荷的投切计划,充分利用了风力资源^[10],但是对于系统的能量调度最优化的研究不够深入。

在构建包含海水淡化负荷、风电机组、光伏电池、柴油机组和蓄电池组成的孤立微电网系统的基础上,文中考虑柴油机发电成本、装机折旧成本、维护成本、环境污染惩罚成本和海水淡化经济收益等因素,建立了海岛孤立微电网经济运行数学模型。同时,提出一种改进的小生境粒子群算法,分别对学习因子进行异步变化,对惯性权重进行指数递减的调整。然后,应用该算法对建立的微电网经济运行模型进行优化,期待验证引入海水淡化负荷的微电网运行具有更好的经济性。

1 海水淡化负荷的数学模型

1.1 反渗透膜法海水淡化的基本原理

在微电网中加入海水淡化负荷作为可控负荷进行调节,能够达到削峰填谷、降低弃风弃光的目的,并为海岛居民提供淡水。

目前,海水淡化的方法主要有离子交换法、蒸馏法以及反渗透膜法等,文中采用应用成熟的反渗透法,其系统主要由反渗透半透膜装置、储水箱与

收稿日期:2019-05-17;修回日期:2019-07-23

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0305001)

高压泵组成。在正常情况下,由于渗透作用,纯水向盐水方向进行渗透,并保持一定的渗透压。在反渗透法海水淡化装置中,海水进入高压泵后,加速流动,然后经过反渗透半透膜,凭借半透膜两侧的压差使淡水与盐分离,得到淡水与高盐度的海水。

1.2 海水淡化负荷的数学模型

根据反渗透法海水淡化的基本原理,首先分别定义流入半透膜的海水流速、半透膜滤出的高盐度海水流速与淡水流速分别为 v_r, v_r, v_p , 同时定义淡水产出、淡水消耗、淡水储存分别为 F_p, F_d, F_s , 分别有如下关系方程:

$$v_r = v_r + v_p \quad (1)$$

$$F_p = F_d + F_s \quad (2)$$

假设水的密度恒定,则 v_p 可表示为:

$$v_p = \frac{A_m K_m}{\rho_\omega A_p} (P_{\text{sys}} - l) \quad (3)$$

式中: P_{sys} 为系统给水压力, Pa; ρ_ω 为海水密度, kg/m³; A_m 为渗透膜的面积, mm²; A_p 为管道截面积, mm²; K_m 为整体质量转化系数; l 为半透膜两侧的渗透水压差。

其中, l 与半透膜表面的平均有效浓度 C_{eff} 表达式分别为:

$$l = \sigma C_{\text{eff}} (T + 273) \quad (4)$$

$$C_{\text{eff}} = C_f \left\{ \alpha + (1 - \alpha) \left[1 + \left(\frac{v_r}{v_p} - 1 \right) R \right] \right\} \quad (5)$$

式中: σ 为常数, 与有效浓度和渗透压有关; T 为水的绝对温度; C_f 为给水侧的溶解性固体总量; α 为有效浓度的加权系数; R 为半透膜的脱盐率。

为简化模型, 不考虑海水进入半透膜过程中的水位高度变化, 根据 Bernoulli 方程, 可以得到系统运转功率 P_H 表达式为^[7]:

$$P_H = \frac{1}{\eta} \left(P_{\text{sys}} \frac{F_p}{Y_{\text{opt}}} + \frac{1}{2} \frac{F_p^3}{Y_{\text{opt}}^3 A_p^2 \rho_\omega} \right) \quad (6)$$

$$Y_{\text{opt}} = v_p / v_r \quad (7)$$

式中: η 为海水淡化系统的有效功率利用率; F_p 为总产出淡水流量, m³; Y_{opt} 为最佳海水利用率。

2 含海水淡化负荷的微电网经济运行模型

寻求微电网经济运行的最优方案, 即通过协调各可控微电源及海水淡化负荷的功率, 使系统运行成本最低。因此需要建立经济运行目标函数, 然后仿真计算得到目标函数最小值, 即最低运行成本。

2.1 目标函数

在微电网经济运行模型构建时, 综合考虑海水

淡化的经济收益、装机折旧成本、维护成本、柴油机燃料成本以及环境惩罚成本。其中, 将环境惩罚成本纳入柴油机运行成本中进行计算。构建微电网经济运行的日均运行成本 f 的目标函数如下:

$$f = \sum_{t=0}^T [C_{\text{WT}}(t) + C_{\text{PV}}(t) + C_{\text{DE}}(t) + C_{\text{BES}}(t) - C_H(t)] \quad (8)$$

式中: f 为微电网一天的运行总成本, 元; $C_H(t)$ 为单位时间内海水淡化的经济效益; $C_{\text{WT}}(t)$, $C_{\text{PV}}(t)$, $C_{\text{DE}}(t)$, $C_{\text{BES}}(t)$ 分别为风机、光伏、柴油机、蓄电池在单位时间内的运行成本。

2.2 海水淡化的经济效益

在保证微电网系统正常供电的前提下, 将可再生能源发电高峰期与负荷低谷期的冗余发电量用海水淡化负荷进行消纳, 为居民提供生活用水。

海水淡化系统的经济效益是在计算成本之后的淡水收益, 运行成本主要包括设备损耗与维护。为简化模型, 假设运行成本与生产淡水的体积成正比, 则:

$$C_H(t) = F_p \gamma - F_p \lambda \quad (9)$$

式中: γ 为生产淡水在海岛上的单位价值, 元/m³; λ 为生产单位体积的淡水的运行成本, 元/m³。

2.3 各微电源的运行成本

2.3.1 风电机组

风电机组的输出功率主要由风机直径与安装位置风速有关, 根据风力发电原理, 风机输出功率简化模型为^[11]:

$$P_{\text{WT}}(t) = \begin{cases} 0 & v(t) < v_{\text{in}}, v(t) > v_{\text{off}} \\ P_N \left(\frac{v^3(t) - v_{\text{in}}^3}{v_n^3 - v_{\text{in}}^3} \right) & v_{\text{in}} \leq v(t) < v_n \\ P_N & v_n \leq v(t) \leq v_{\text{off}} \end{cases} \quad (10)$$

式中: P_N 为风机的额定功率, kW; $v(t)$ 为风机安装位置高度 H_{WT} 处的风速; v_{in} , v_{off} , v_n 分别为切入风速、切出风速、额定风速, m/s。

假设风电机组的安装折旧成本、维护成本均与发电功率成正比^[12], 则:

$$C_{\text{WT}}(t) = C_{\text{WT,DP}} P_{\text{WT}}(t) + K_{\text{WT,OM}} P_{\text{WT}}(t) \quad (11)$$

$$C_{\text{WT,DP}} = \frac{C_{\text{WT,az}}}{8760 \tau_{\text{WT}}} \times \frac{r(1+r)^{n_{\text{WT}}}}{r(1+r)^{n_{\text{WT}}} - 1} \quad (12)$$

式中: $C_{\text{WT,az}}$ 为风机单位容量安装折旧成本; τ_{WT} 为风机的容量系数; n_{WT} 为风机的寿命; $K_{\text{WT,OM}}$ 为风机的单位运行维护成本系数; r 为年利率。

2.3.2 光伏组件

光伏组件输出功率与日照资源强度以及自身

技术参数直接相关。根据光伏发电原理^[12],给出光伏组件输出功率模型为:

$$P_{PV}(t) = P_{PV-rate} \eta_{PV} \left(\frac{I_{PV}(t)}{I_{STC}} \right) \times [1 + \alpha_{TP}(T_{PV}(t) - 25)] \quad (13)$$

式中: $P_{PV}(t)$ 为光伏组件输出功率; $P_{PV-rate}$ 为光伏组件峰值功率, kW; η_{PV} 为降额系数, %, 用于表征装备老化等原因造成的输出功率下降; $I_{PV}(t)$ 为实际辐照度, kW/m²; I_{STC} 为标准测试环境下的太阳辐照度, 取 1 kW/m²; α_{TP} 为温度系数, %/°C; $T_{PV}(t)$ 为光伏组件表面温度, °C。

假设光伏组件的安装折旧成本、维护成本均与发电功率成正比^[12], 则光伏组件在时间 t 时的单位功率运行成本为^[13]:

$$C_{PV}(t) = C_{PV,DP} P_{PV}(t) + K_{PV,OM} P_{PV}(t) \quad (14)$$

$$C_{PV,DP} = \frac{C_{PV,az}}{8760\tau_{PV}} \times \frac{r(1+r)^{n_{PV}}}{r(1+r)^{n_{PV}} - 1} \quad (15)$$

式中: $C_{PV,az}$ 为光伏单位容量安装折旧成本; τ_{PV} 为光伏的容量系数; n_{PV} 为光伏设备的寿命; $K_{PV,OM}$ 为光伏的单位运行维护成本系数。

2.3.3 蓄电池组

假设蓄电池为铅酸蓄电池, 根据简化 KiBaM 模型可得, 在各步长内最大允许充电功率为^[12]:

$$P_{BESc}^{max} = \frac{-kcQ_{max} + kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(kt - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (16)$$

最大允许放电功率为:

$$P_{BESd}^{max} = \frac{kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (17)$$

式中: Q_{max} 为蓄电池总电荷容量, C。

为了简化模型, 假设蓄电池在寿命周期内的容量保持不变, 可得到蓄电池的安装折旧成本^[13]:

$$C_{BES}(t) = \frac{P_{BES}(t)}{Q_{lifetime}} C_{rep} \quad (18)$$

式中: C_{rep} 为蓄电池的更换成本, 元; $Q_{lifetime}$ 为电池全寿命输出总电量; $P_{BES}(t)$ 为蓄电池实际功率。

2.3.4 柴油发电机

在短期调控中, 柴油机的运行成本如下:

$$C_{DE}(t) = (C_{DEe} + C_{DEd} + C_{DEa} + C_{DEp}) P_{DE}(t) \quad (19)$$

式中: C_{DEe} , C_{DEd} , C_{DEa} , C_{DEp} 分别为单位发电量的消耗柴油成本、单位安装折旧成本、单位维护成本与单位环境惩罚成本 $P_{DE}(t)$ 为柴油机实际功率。

2.4 约束条件

(1) 微电网功率供需平衡约束:

$$P_{WT} + P_{PV} + P_{DE} + P_{BES} - P_{load} - P_H - P_D = 0 \quad (20)$$

式中: P_{load} , P_D 分别为常规负荷、系统损耗功率, kW。

(2) 柴油机运行功率约束:

$$P_{DE}^{min} \leq P_{DE} \leq P_{DE}^{max} \quad (21)$$

(3) 柴油机运行的爬坡约束为:

$$r_{DE}^{down} \Delta t \leq P_{DE}(t) - P_{DE}(t-1) \leq r_{DE}^{up} \Delta t \quad (22)$$

式中: r_{DE}^{down} , r_{DE}^{up} 分别为柴油发电机缓降功率上限与爬坡率上限, %/min。

(4) 储能电池的运行受到充放电功率、容量等多因素的限制, 从而存在约束条件^[14]:

$$\begin{cases} P_{BESd}^{min} \leq P_{BES} \leq P_{BESc}^{max} \\ Q_{BES}(t) = Q_{BES}(t-1) + (\eta_{BESc} P_{BESc}(t) - \eta_{BESd} P_{BESd}(t) - \varepsilon_{BES}) \Delta t \\ Q_{BES}(f) = \sum_{t=1}^T (P_{BESc}(t) + P_{BESd}(t)) + P_{BES}(b) \end{cases} \quad (23)$$

式中: $Q_{BES}(t)$ 为 t 时刻储能电池的总电量; $P_{BES}(b)$, $Q_{BES}(f)$ 分别为储能电池的电量起始值和终止值; η_{BESc} , η_{BESd} 分别为储能电池充、放电效率; $P_{BESc}(t)$, $P_{BESd}(t)$ 分别为储能电池充、放电功率; ε_{BES} 为自放电功率。

(5) 为保证海水淡化系统的正常工作, 需要考虑运行最大功率与最小启动功率。

$$P_{Hmin} \leq P_H \leq P_{Hmax} \quad (24)$$

式中: P_{Hmin} , P_{Hmax} 分别为最大运行功率与最小启动功率。

3 模型求解

3.1 标准粒子群算法

粒子群算法是美国学者 Kennedy 和 Eberhar 提出的一种种群智能算法^[15], 其原理是模拟鸟群觅食行为中的合作机制而找到问题的最优解^[16]。搜索过程中, 在 D 维空间中的每个粒子相当于一个位置变化的点。粒子的速度与位置更新公式如下^[17]:

$$v_{id,t+1} = \omega v_{id,t} + c_1 r_1 (p_{id,t} - x_{id,t}) + c_2 r_2 (p_{gd,t} + x_{id,t}) \quad (25)$$

$$x_{id,t+1} = x_{id,t} + v_{id,t+1} \quad (26)$$

式中: c_1 , c_2 为学习因子; ω 为惯性权重系数; r_1 , r_2 为 $[0, 1]$ 范围内的均匀随机数; $p_{gd,t}$, $p_{id,t}$ 分别为种群历史最佳位置与第 i 个粒子的历史最佳位置。

3.2 标准粒子群算法的改进策略

3.2.1 学习因子异步变化

学习因子 c_1 与 c_2 分别代表粒子的“自我认知”

与“社会学习”能力^[18]。一般固定为常数,但在实际应用中,也会采用其他取值方式,如同步变化与异步变化。同步变化指 $c_1 = c_2$,且在迭代过程中同时变化。异步变化指 $c_1 \neq c_2$,且变化不同步, c_1 先大后小, c_2 先小后大。

文中提出学习因子的异步变化方式是 c_1 与 c_2 分别随着迭代次数线性变化,前期较强的自我学习能力提高了全局搜索能力,后期更强的社会学习能力有利于算法收敛。公式如下:

$$c_1 = c_{ini} - \frac{c_{ini} - c_{fin}}{M}t \quad (27)$$

$$c_2 = c_{ini} + \frac{c_{ini} - c_{fin}}{M}t \quad (28)$$

式中: c_{ini} , c_{fin} 分别为迭代的初始值与终值; t 为迭代次数; M 为种群粒子数。

3.2.2 惯性权重指数递减

惯性权重 ω 是粒子群算法中的一个重要参数,表示粒子对上一次速度的继承程度。增大 ω 可提高全局搜索能力,减小 ω 可提高局部搜索能力。

文中采用一种非线性指数衰减惯性权重方法,该方法中,惯性权重的变化符合指数函数变化规律,前期衰减较快,后期衰减较慢,提高了算法的收敛稳定性,其惯性权重公式如下:

$$\omega = \omega_{max} \left(\frac{\omega_{min}}{\omega_{max}} \right)^{t/M} \quad (29)$$

式中: t 为当前迭代次数; ω_{max} , ω_{min} 分别为变化过程中参数取值的最大值与最小值。

3.3 小生境粒子群算法

小生境是一个来自生物学的概念,指在进化过程中,特征相似的生物在同一区域中独立进化,便形成了小生境,保留了基因多样性。根据这一思想,将小生境种群策略引入到粒子群算法,得到一种小生境粒子群算法。在该算法中,先根据适应度值划分小生境,不同小生境的粒子相对独立搜索。

小生境粒子群算法避免了因为个别粒子适应度很高而导致所有粒子快速聚集,保留了粒子的多样性,降低了陷入局部最优的风险。

3.4 小生境粒子群算法的改进方法

在小生境粒子群算法的基础上,对学习因子采取异步变化,对惯性权重进行非线性指数递减,形成一种改进的小生境粒子群算法。

首先,对初始化粒子群的所有粒子进行适应度值排序,选择适应度值较高的粒子作为小生境中心,分别建立小生境。

在每个小生境中,选择适应度值最高的粒子作

为小生境的子群最佳粒子,用子群最佳粒子的位置代替标准粒子群算法中的种群最佳位置,在不同小生境中独立进行速度与位置更新。

根据各个小生境中心粒子的位置,在这 K 个粒子中,分别计算第 j 个粒子与其他 $K-1$ 个粒子的欧式距离,则第 j 个粒子对应的小生境半径 $T_{s,j}$ 为:

$$T_{s,j} = \frac{1}{2} \min_{j \neq r} (\|X_r - X_j\|) \quad r, j = 1, 2, \dots, K \quad (30)$$

式中: X_r , X_j 分别为 2 个中心粒子的位置。

将粒子代入如下公式进行判断,如果满足条件,则小生境吸收该粒子。

$$\|X_i^t - X_{j,qbest}^t\| \leq T_{s,j} \quad (31)$$

式中: X_i^t 为第 i 个粒子第 t 次迭代时的位置; $X_{j,qbest}^t$ 为第 j 个小生境的第 t 次迭代时的子群最佳位置。

在迭代过程中进行小生境的更新。如果小生境中的粒子逐渐减少,直至粒子数为 1,则删除该小生境,该粒子释放到主粒子群中。

如果主粒子群中出现了某粒子的适应度值高于任意一个小生境的最佳粒子的适应度值,则以该粒子为中心,建立新的小生境,参与计算。

粒子的速度与位置更新公式如下:

$$v_{id,t+1} = \omega v_{id,t} + c_1 r_1 (p_{id,t} - x_{id,t}) + c_2 r_2 (p_{ipd,t} - x_{id,t}) + \eta (1 - r_{2,t}) \quad (32)$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id} \quad (33)$$

式中: $p_{ipd,t}$ 为第 i 个粒子在第 t 次迭代时所在小生境的子群最佳位置; η 为搜索范围的最大值; $r_{2,t}$ 为 $(0,1)$ 之间的均匀分布变量。 c_1 , c_2 由式(27)与式(28)进行调整, ω 由式(29)进行调整。

3.5 求解流程

利用文中提出的改进小生境粒子群算法求解孤立微电网系统日前 24 h 经济运行优化问题,具体流程如图 1 所示。

4 算例分析

针对含海水淡化系统的微电网经济运行优化问题,以我国广东沿海某岛屿的相关数据为基础,采用文中提出的改进小生境粒子群算法,对所建立的微电网数学模型进行仿真计算,并与不考虑海水淡化情况下的微网经济运行结果进行对比,验证海水淡化负荷对微电网经济性的改善,并检验该算法的有效性与优异性。

4.1 各单元功率及负荷

该岛屿位于我国广东沿海,面积约为 4.2 km²,平均海拔 5 m,全年日照量为 5 091.8 MJ/m²,8 月份

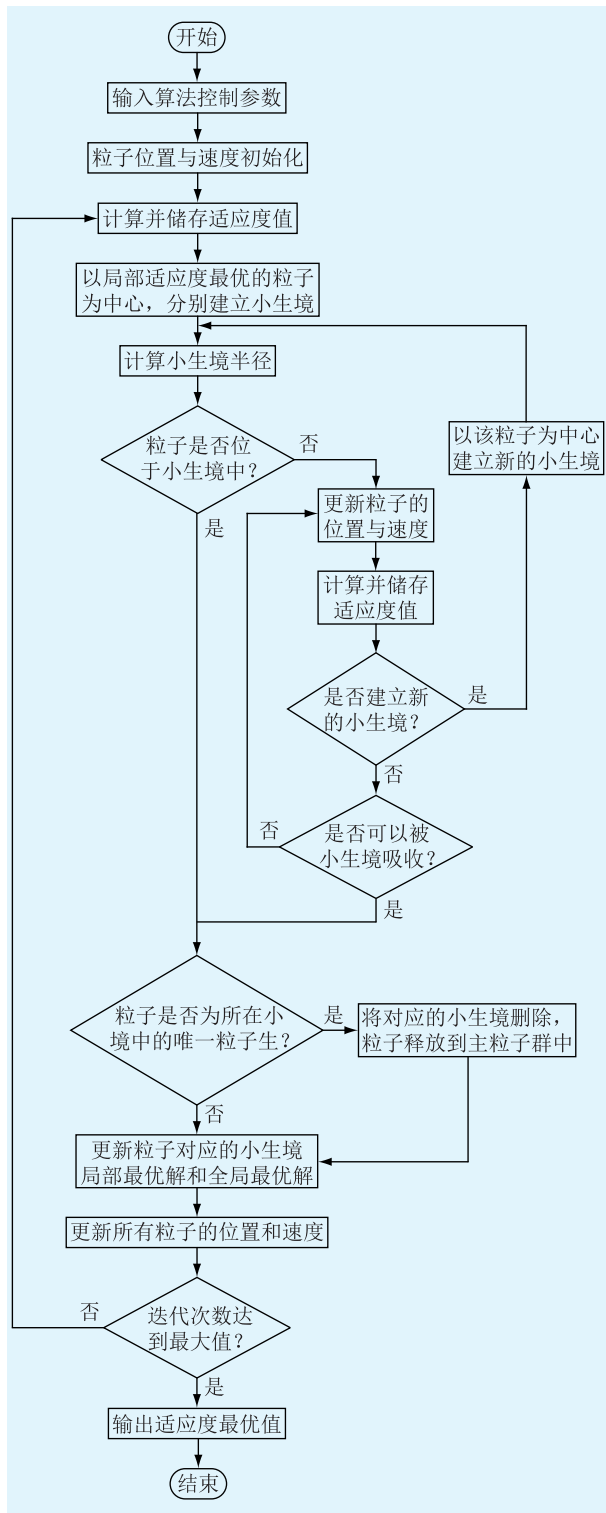


图1 算法流程

Fig.1 Flow chart of algorithm

平均日辐照量为 $13.207 \text{ (kW}\cdot\text{h)} / (\text{m}^2\cdot\text{d})$, 年平均风速为 6.5 m/s , 日最大负荷为 752.5 kW , 风机装机容量为 300 kW , 光伏容量为 360 kW , 柴油机装机容量为 300 kW , 铅酸蓄电池组容量为 $1100 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

夏季典型日的预测辐照度 I_{PV} 、预测风速 $V_{(t)}$ 与微电网系统 24 h 预测负荷功率 P_{load} 如图2所示。

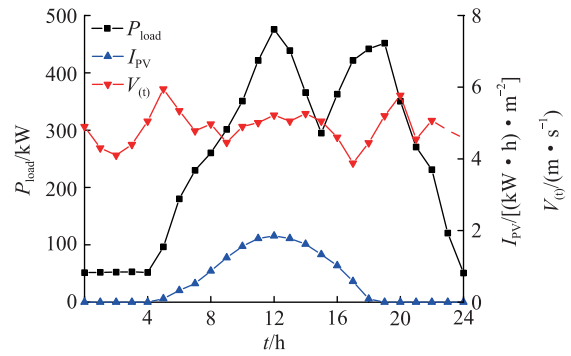


图2 风速、辐照度与负荷曲线

Fig.2 Wind speed, irradiance and load curves

4.2 成本设定

柴油机使用的柴油价格为 8.21 元/L (考虑运输成本), 柴油机污染物排放强度、污染物价值标准与罚款标准见文献[19]。风机、光伏和柴油机维护成本^[13]分别为 0.0293 元/kW , 0.0096 元/kW , 0.04 元/kW 。海水淡化生产的淡水单位价值为 8 元/t , 装置运行成本为 4 元/t 。柴油发电机功率上限为 300 kW , 缓降率上限与爬坡率上限均为 $40 \text{ \%}/\text{min}$ 。蓄电池投资、维护成本分别为 $1500 \text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$, $0.005 \text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$, 充放电最大功率均为 120 kW , 充放电效率为 95% , SOC 范围为 $10\% \sim 90\%$ 。

在该模型中, 仅有柴油机排放污染物, 柴油机的污染物排放量及惩罚系数如表1所示^[20]。其中, V_{el} 为 I 类污染物环境价值标准, V_1 为 I 类污染物单位排放量所受到罚款系数。

表1 污染物排放量及惩罚系数

Table 1 Pollutant emission and punishment coefficient

污染物	污染物排放量 / $[\text{g}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}]$	污染物惩罚系数/ $(\text{元}\cdot\text{kg}^{-1})$	
		V_{el}	V_1
NO_x	4.3314	1.00	0.250
CO_2	232.04	0.0029	0.00125
CO	2.3204	0.125	0.020
SO_2	0.4641	0.75	0.125

4.3 仿真分析

利用上述模型及求解方法, 用 Matlab 语言编程, 进行仿真。参数设置如下: $c_{mi} = 2.5$, $c_{fm} = 2.5$, $\omega_{max} = 0.9$, $\omega_{min} = 0.4$, 粒子数目 $N = 100$, 最大迭代次数 $M_{max} = 100$, 蓄电池的 SOC 初始值为 80% 。

首先, 在考虑海水淡化负荷前提下, 分别采用改进算法与标准粒子群算法进行仿真对比。

图3为采用改进小生境粒子群算法仿真计算得到的收敛曲线图, 图4为采用标准粒子群算法在相同条件下的收敛曲线图, 图5为图3对应的功率调度图, 图6为图4对应的功率调度图。

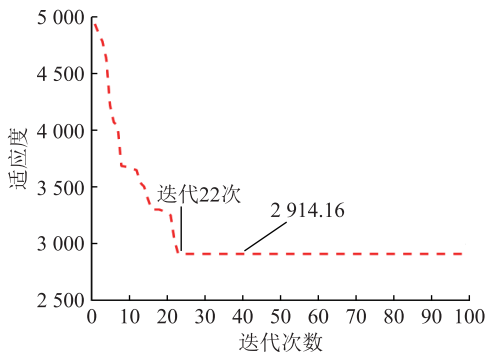


图3 含海水淡化的仿真收敛曲线
(改进小生境粒子群算法)

Fig.3 Convergence curves of simulation with seawater desalination (IPSO)

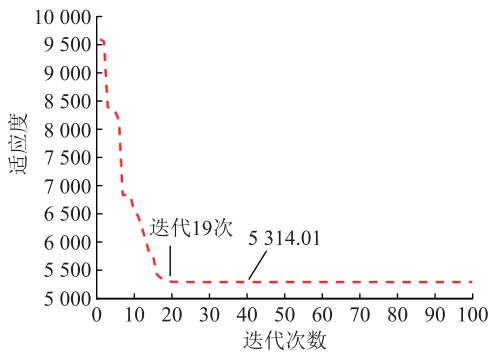


图4 含海水淡化的仿真收敛曲线
(标准粒子群算法)

Fig.4 Convergence curves of simulation with seawater desalination (PSO)

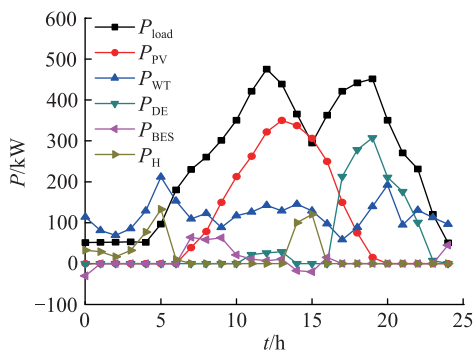


图5 含海水淡化的功率调度
(改进小生境粒子群算法)

Fig.5 Diagram of power dispatching with seawater desalination (IPSO)

对比图3与图4的收敛曲线可知,在相同条件下,采用不同的算法搜索系统运行最小成本时,采用改进小生境粒子群算法进行计算,迭代了22次得到了全局最优解,适应度值为2914.16;而采用标准粒子群算法得到的适应度值是5314.01,根据粒子群算法原理可知,后者陷入了局部最优。

对图5与图6的功率曲线图进行分析对比可以

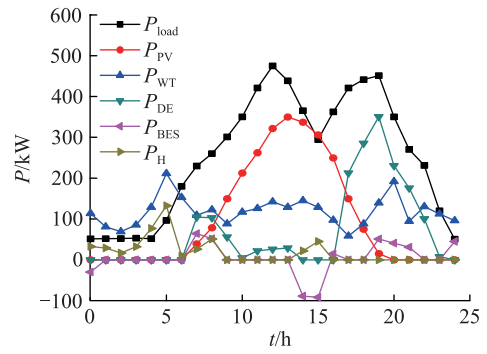


图6 含海水淡化的功率调度
(标准粒子群算法)

Fig.6 Diagram of power dispatching with seawater desalination (PSO)

看出,图6中的海水淡化功率在14~15h更低,柴油发电机功率在6~10h更高,因此燃料成本与环境惩罚成本更高,海水淡化收益较低。

设立对照组,在不考虑海水淡化系统参与能量调度的情况下,令 $P_H = 0$, $C_H(t) = 0$ 。采用改进小生境粒子群算法对该模型仿真计算得到的收敛曲线如图7所示,图8为图7对应的功率调度结果。

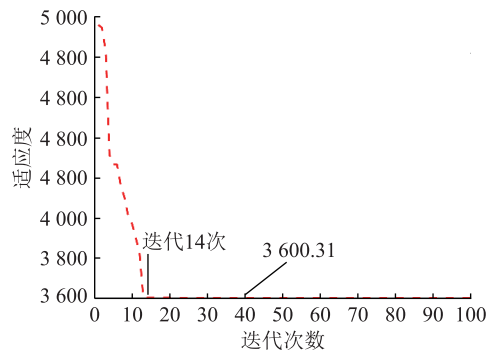


图7 不含海水淡化的仿真收敛曲线

Fig.7 Convergence curves of simulation without seawater desalination

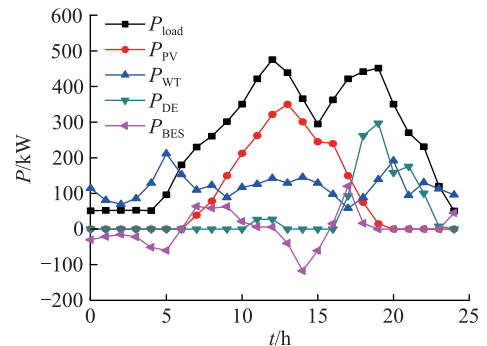


图8 不考虑海水淡化的功率调度

Fig.8 Diagram of power dispatching without seawater desalination

由图3与图7最优适应度值可知,考虑海水淡化负荷情况下的运行成本为2914.16元/d,低于不

考虑海水淡化负荷时的成本 3 600.31 元/d,总成本降低了 686.15 元/d,表明考虑海水淡化情况下的微电网系统运行的经济性更好。

分析对比图 5 与图 8 可知,在考虑海水淡化负荷情况下时,海水淡化系统主要工作在 0~6 h、14~15 h。在 0~6 h,常规负荷功率较小,风力输出功率较高,蓄电池迅速充满。此时,在考虑海水淡化情况下,海水淡化负荷启动工作,若不考虑海水淡化,则造成了风力资源浪费。在 14~15 h,风力和光伏资源都很好,蓄电池充满后,海水淡化系统再次启动工作,若不考虑海水淡化,再次出现了电量冗余,造成了风光资源的浪费。

5 结论

文中将海水淡化负荷引入微电网中,考虑海水淡化的淡水收益,构建了含海水淡化负荷的孤立海岛微电网的经济运行模型,并提出了一种改进小生境粒子群算法,利用该算法对算例进行求解,得出以下结论。

(1) 在孤立海岛微电网中,引入海水淡化负荷,能够较好地消纳风光发电冗余电量,提高系统的经济性,并减轻海岛居民的生活用水压力,具有推广价值。

(2) 文中所提改进小生境粒子群算法具有良好的寻优能力,能够快速准确地收敛于最优解,说明小生境种群策略对于粒子群算法具有适用性。

参考文献:

- [1] 《全国海岛资源综合调查报告》编写组. 全国海岛资源综合调查报告[M]. 北京:海洋出版社,1996.
National Island Resources Comprehensive Survey Report Editorial Committee. National island resources comprehensive survey report [M]. Beijing: Ocean Press, 1996.
- [2] 赵波,张雪松,李鹏,等. 储能系统在东福山岛独立型微电网中的优化设计 and 应用[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(1): 161-167.
ZHAO Bo, ZHANG Xuesong, LI Peng, et al. Optimal design and application of energy storage system in dongfushan island standalone microgrid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(1): 161-167.
- [3] 黄鹏飞,宋代旺,王生辉. 海水淡化在无居民海岛保护和利用中的应用[J]. 海洋经济, 2016, 6(6): 15-20.
HUANG Pengfei, SONG Daiwang, WANG Shenghui, et al. Application of seawater desalination in the conservation and utilization planning of uninhabited islands [J]. Marine Economy, 2016, 6(6): 15-20.
- [4] ARUN S, MAHAMMAD B, JOAN O, et al. Energy minimization strategies and renewable energy utilization for desalination: a review [J]. Water Research, 2011, 45(5): 1907-1920.
- [5] NAGARAJ R. Renewable energy based small hybrid power system for desalination applications in remote locations [C] // 2012 IEEE 5th India International Conference on Power Electronics (ICPE) IEEE Press, 2012, 2(5): 1-5.
- [6] 郑智颖,李凤臣,李倩,等. 海水淡化技术应用研究及发展现状[J]. 科学通报, 2016, 61(21): 2344-2370.
ZHENG Zhiying, LI Fengchen, LI Qian, et al. State-of-the-art of R&D on seawater desalination technology [J]. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(21): 2344-2370.
- [7] 马苗苗,于少远,潘军军. 含海水淡化系统的微电网分布式协调预测控制[J]. 中国科学:信息科学, 2018, 48(10): 1381-1394.
MA Miaomiao, YU Shaoyuan, PAN Junjun. Distributed coordinated predictive control for microgrids with seawater desalination system [J]. Chinese Science: Information Science, 2018, 48(10): 1381-1394.
- [8] MALEKI A, KHAJEH M G, ROSEN M A. Weather forecasting for optimization of a hybrid solar-wind-powered reverse osmosis water desalination system using a novel optimizer approach [J]. Energy, 2016, 114: 1120-1134.
- [9] 刘青,樊世通,付超,等. 考虑不同蓄电池 SOC 状态的风/储/海水淡化孤立微电网能量管理系统设计[J]. 高电压技术, 2015, 41(7): 2173-2179.
LIU Qing, FAN Shitong, FU Chao, et al. Energy management of isolated micro-grid with wind turbines, energy storage and seawater desalination devices considering different battery SOC state [J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(7): 2173-2179.
- [10] 郭力,王蔚,刘文建,等. 风柴储海水淡化独立微电网系统能量管理方法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 113-121.
GUO Li, WANG Wei, LIU Wenjian, et al. The energy management method for stand-alone wind/diesel/battery/sea-water desalination microgrid [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 113-121.
- [11] 贾彦,李文雄,赵萌,等. 罚函数改进粒子群算法的风光储系统优化配置[J]. 太阳能学报, 2019, 40(7): 2071-2077.
JIA Yan, LI Wenxiong, ZHAO Meng, et al. Optimal configuration for solar-battery hybrid power system based on penalty function particle swarm optimization [J]. Acta Energetica Sinica, 2019, 40(7): 2071-2077.
- [12] ZHANG Kun, MAO Chengxiong, XIE Junwen, et al. Determination of characteristic parameters of battery energy storage system for wind farm [J]. IET Renewable Power Generation, 2014, 8(1): 22-32.
- [13] 朱兰,周雪莹,唐陇军,等. 计及可中断负荷的微电网多目标优化运行[J]. 电网技术, 2017, 41(6): 1847-1854.
ZHU Lan, ZHOU Xueying, TANG Longjun, et al. Multi-objective optimal operation for microgrid considering interruptible loads [J]. Power System Technology, 2017, 41(6): 1847-1854.
- [14] WU H, LIU X, DING M. Dynamic economic dispatch of a microgrid: mathematical models and solution algorithm [J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems,

- 2014, 63(12): 336-346.
- [15] 王甫,郑亚平,刘天琪. 一种基于调节因子的小生境粒子群优化算法[J]. 计算机工程,2014,40(8):147-151.
WANG Fu, ZHENG Yaping, LIU Tianqi. A niche particle swarm optimization algorithm based on adjusting factor [J]. Computer Engineering, 2014,40(8): 147-151.
- [16] LIANG J J, SUGANTHAN P N. Dynamic multiswarm particle swarm optimizer with local search [C] // 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation. IEEE, 2005:124-129.
- [17] WANG Fubin, PAN Xingchen. Image segmentation for somatic cell of milk based on niching particle swarm optimization [J]. Engineering in Agriculture, Environment and Food, 2019, 12(2).
- [18] SUGANTHAN P N. Particle swarm optimizer with neighborhood operator [C] // Evolutionary Computation, 1999. CEC 99. Proceedings of the 1999 Congress on IEEE, 1999:1958-1961.
- [19] 钱科军,袁越,石晓丹,等. 分布式发电的环境效益分析[J]. 中国电机工程学报,2008,28(29):11-15.
- QIAN Kejun, YUAN Yue, SHI Xiaodan, et al. Environmental benefits analysis of distributed generation [J]. Proceedings of the CSEE, 2008,28(29):11-15.
- [20] 赵紫嫣,崔双喜,樊小朝,等. 考虑经济环保效益的微网群多目标协调优化[J]. 可再生能源,2019,37(3):372-378.
ZHAO Ziyan, CUI Shuangxi, FAN Xiaochao, et al. Multi-objective coordination optimization of multi-microgrid considering economic and environmental benefits [J]. Renewable Energy Resources, 2019,37(3):372-378.

作者简介:



刘俊

刘俊(1994),男,硕士在读,研究方向为微电网运行与优化研究(E-mail:10197380@qq.com);

王维俊(1964),女,博士,博士生导师,教授,研究方向为移动电源与多能源发电技术;

张国平(1987),男,博士,讲师,研究方向为微电网运行与优化研究。

Economic operation optimization of island microgrid with seawater desalination system

LIU Jun¹, WANG Weijun², ZHANG Guoping¹

(1. Department of Military Installations, Army Logistical Academy, Chongqing 401331, China;

2. Institute of System Engineering, Academy of Military Sciences, Beijing 100091, China)

Abstract: Aiming at the difficulty of island power supply and water supply, combining seawater desalination system with micro-grid system, based on the principle of priority utilization of wind power and photovoltaic power generation and participation of battery and diesel engine in dispatching, an optimal economic operation scheme of island micro-grid containing seawater desalination is proposed. To solve the problem that the economic operation optimization algorithm of micro grid is prone to fall into the local optimal and difficult to get the lowest operation cost, an improved niche particle swarm optimization algorithm is proposed, which makes asynchronous change adjustment of learning factor and exponential decline of inertia weight, improving the optimization performance of the algorithm in the optimization process. To consider economic returns of desalination isolated micro power system economic operation cost minimum as the objective, optimization mathematical model is set up, and to improve the niche optimization calculation of particle swarm optimization, and does not consider water desalination system of micro grid economic operation optimization result is compared, the results show that the introduction of the seawater desalination system, improve the economic benefit of the system is also verified the proposed improved niche particle swarm algorithm has good optimization ability.

Keywords: seawater desalination; economic operation optimization; niche particle swarm optimization; asynchronous change; exponential decline

(编辑 钱悦)