

基于改进麻雀搜索算法的机场 微电网优化调度策略

宋 扬¹, 石 勇¹, 刘宝泉¹, 康家玉¹, 吴泉兵²

(1. 陕西科技大学电气与控制工程学院, 陕西 西安 710016; 2. 西安睿诺航空装备有限公司, 陕西 西安 710117)

摘 要:未来机场供电系统将纳入多种分布式电源,逐步向机场微电网发展。为提升机场微电网运行经济性,机场微电网需要应用调度策略。在此背景下,针对传统调度策略在快速性和精准性上存在不足的问题,以典型机场微电网为研究对象,建立机场微电网的优化调度模型。同时,提出一种改进型麻雀搜索算法用于机场微电网优化调度求解,相比基本麻雀搜索算法,加入非线性变化权重因子以避免算法进入局部收敛。对比分析结果表明所提改进麻雀搜索算法具有收敛速度快,寻优精度高的优点,可有效降低机场微电网运行成本。

关 键 词:机场微电网;麻雀搜索算法;优化调度;权重因子

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2022.03.004 中图分类号:TM732 文章编号:1673-9140(2022)03-0033-08

Optimal dispatching strategy of airport microgrid based on the improved sparrow search algorithm

SONG Yang¹, SHI Yong¹, LIU Baoquan¹, KANG Jiayu¹, WU Quanbing²

(1. School of Electrical and Control Engineering, Shanxi University of Science & Technology, Xi'an 710016, China;

2. Xi'an Ruinuo Aviation Equipment Co., Ltd., Xi'an 710117, China)

Abstract: In the future, the airport power supply system will incorporate a variety of distributed power sources and gradually develop towards the airport microgrid. In order to improve the operating economy of the airport microgrid, the airport microgrid needs a more effective dispatching strategy. Under the background, an improved sparrow search algorithm is proposed to improve the speed and accuracy of the traditional dispatching strategy. Firstly, the typical airport microgrid is considered as the research object and an optimized dispatching model for the airport microgrid is established. Then, the improved sparrow search algorithm is proposed which adds a non-linear change weight factor to prevent the algorithm from entering local convergence. At the end, the proposed algorithm is employed to solve the optimal dispatching of airport microgrid and it is compared with the basic sparrow search algorithm. The comparative analysis results show that the proposed algorithm has the advantages of fast convergence and high optimization accuracy, which can effectively reduce the operating cost of airport microgrid.

Key words: airport microgrid; sparrow search algorithm; optimal dispatch; weight factor

当前,随着中国航空产业发展,每年均有大量的新扩建机场项目实施^[1-2]。机场供电系统是机场运行保障的重要组成部分,也是航站楼、飞机地面供电的主要来源。传统机场供电系统一般采用市电,以柴电机组作为补充^[3]。目前机场供电系统正向供电方式多元化、结构复杂化发展^[4],随着分布式电源在机场供电系统应用日益增多,其与负荷一起构成机场微电网^[5]。目前,机场微电网调度方法在精度与快速性方面均存在不足,并且提高了运行成本。为了减少机场微电网运行费用支出^[6],提高机场微电网环境友好度,最终达到提升机场微电网综合运用效率的目标,优化机场微电网优化调度策略具有重要意义^[7]。

机场保障的飞机型号众多,供电规格复杂,同时需保证航站楼等一般负荷工作,因此机场微电网必须具有良好的稳定性,可保持对负荷持续供电。柴电机组是广泛用于机场的后备电源,民用机场相对于军用机场,其无需强调隐蔽性,还可以选择光伏与风电作为分布式电源。目前,国外部分军用领域已经开始机场微电网的应用,以美国为例,其部分岛屿的空军基地采用了光—储—燃料电池机场微电网,有效减轻驻地电能需求压力,提高了供电可靠性^[8-9]。在国内研究方面,文献[10]考虑了分布式电源在机场配电网的应用,提出了以可靠性为优化目标的机场配电网能量管理策略;文献[11]采用改进蚁群算法,避免了算法陷入局部最优,优化了分布式发电场景下,机场微电网系统各部分出力配置,实现以经济性为目标的优化调度;文献[12]研究了军民融合背景下的能源互联网配置优化方法,采用多目标进化算法针对军民融合微电网设计了优化调度策略;文献[13]以机场区域典型能源电力消耗为例,建立机场能源消耗量的预测模型,利用改进果蝇优化算法进行寻优调度,在寻优精度上有所提高。

上述研究虽然对机场微电网的结构与调度策略进行了探究,但搭建的微电网调度模型复杂程度较低,并缺少对环境成本的考虑;使用的算法在求解优化调度问题时工作量较大,且存在过早收敛的不足,效率较低。

麻雀搜索算法(sparrow search algorithm, SSA)是近年提出的一种新型群优化算法^[14],适用

于多目标寻优的场合,寻优精度高,鲁棒性较好。但其在寻优过程中依然存在过早收敛,陷入局部最优的现象。本文将麻雀搜索算法应用于机场微电网优化调度,引入非线性变化权重因子对麻雀搜索算法进行改进,以提高麻雀搜索算法的全局搜索能力。经过算例求解与分析,得出改进麻雀搜索算法具有较好的寻优性能,有利于机场微电网实现更高的经济与环境效益。

1 机场微电网优化调度模型

以某机场微电网为例,如图1所示,分布式电源包括光伏发电系统(photovoltaic, PV)、风力发电系统(wind turbine, WT)、燃料电池(fuel cell, FC)、柴油机(diesel engine, DE)、蓄电池(battery, BT),电能经输电线路输出至机位与航站楼负荷,输出电源包括28 V 低压直流电源、270 V 高压直流电源、115 V/400 Hz 交流电源和工频电源。机场微电网在并网状态下运行,当负载功率大于分布式电源功率时,大电网向机场微电网送电;当负载功率小于分布式电源功率时,机场微电网向大电网送电。燃料电池与柴油机均为可控电源,根据调度命令运行。

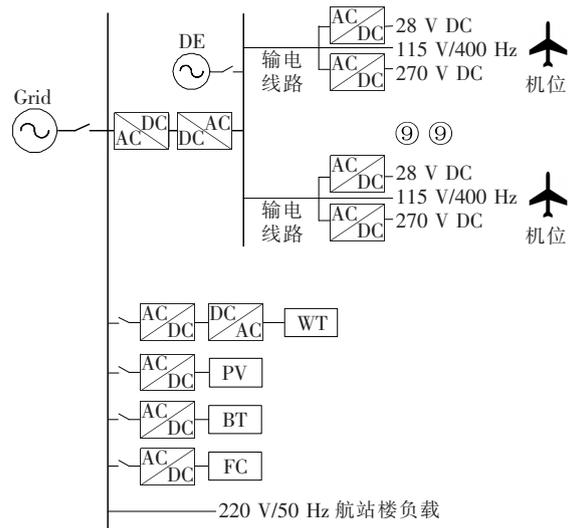


图1 机场微电网系统基本结构

Figure 1 The basic structure of the military airport microgrid system

1.1 分布式电源模型

光伏发电系统的输出功率取决于当地辐照强度、光伏组件的效率和受光面积^[15]。其输出功率表

达式为

$$P_{PV} = \eta_{PV} S \delta \quad (1)$$

式中 P_{PV} 为光伏发电输出功率; η_{PV} 为光伏电池板转换效率; S 为光伏电池板面积; δ 为辐照强度。

风力发电模型利用瑞利概率密度函数(probability density function, PDF)作为预测时段风速行为的表达模型, 风速与风力发电机输出功率的关系为

$$\begin{cases} 0, & v < v_T, v_o < v \\ P_{WT} = \left\{ P_N = \frac{v - v_T}{v_R - v_T}, v_T \leq v < v_R \right. \\ 0, & v_R \leq v < v_o \end{cases} \quad (2)$$

式中 v 为各时段风速; v_T 、 v_R 、 v_o 、 P_N 分别为风力发电机的接入速度、额定速度、截止速度和额定功率。

本系统采用蓄电池作为储能介质, 充电时 $P_{cha}(t) > 0$, 放电时 $P_{dis}(t) < 0$, t 时刻蓄电池剩余容量分别为

$$S_{OC}(t) = S_{OC}(t-1) + P_{cha}(t) \cdot \eta_c \quad (3)$$

$$S_{OC}(t) = S_{OC}(t-1) - P_{dis}(t) / \eta_d \quad (4)$$

式(3)、(4)中 $S_{OC}(t)$ 为蓄电池容量; $P_{cha}(t)$ 为蓄电池充电功率; $P_{dis}(t)$ 为蓄电池放电功率; η_c 、 η_d 分别为蓄电池充、放电效率。

1.2 机场微电网并网模型

1) 运行成本。

运行成本是研究机场微电网运行状态所需重要参数。文中 T 为 24, 即每日为一个优化周期, $\Delta t = 1$ h。

燃料成本 C_F 包括柴油发电机、燃料电池运行过程中使用燃料的成本, 柴油机采用柴油作为燃料, 燃料电池采用甲醇作为燃料, 计算公式为

$$C_F = \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^N G_i \cdot \frac{1}{L_{HVi}} \cdot \frac{P_i(t)}{\eta_i} \cdot \Delta t \quad (5)$$

式中 N 为发电设备种类数; G_i 为第 i 种发电设备使用的燃料价格; L_{HVi} 为第 i 种燃料的低位热值; $P_i(t)$ 为第 i 种发电设备 Δt 时间段内的输出有功功率, η_i 为其运行效率。

机场微电网内各设备均存在维护成本 C_M , 即

$$C_M = \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^N K_i \cdot P_i(t) \cdot \Delta t \quad (6)$$

式中 N 为机场微电网内设备种类数; K_i 为第 i 种设备的维护成本系数; $P_i(t)$ 为第 i 种设备 Δt 时间

段内的输出有功功率。

为保护环境, 机场微电网需承担环境治理费用, 以环境成本 C_E 表示, 可再生能源近似于无污染, 污染物主要来源于柴油机、燃料电池工作产生的 CO、NO、SO₂。环境成本为

$$C_E = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N D_{i,j} \cdot H_{i,j} \cdot P_i(t) \cdot \Delta t \quad (7)$$

式中 M 为污染物种类数; N 为产生污染物的设备数; $P_i(t)$ 为第 i 种设备 Δt 时间段内的输出有功功率; $H_{i,j}$ 为第 i 种设备输出单位有功功率产生的第 j 种污染物重量; $D_{i,j}$ 为处理每单位重量此种污染物的成本。

机场微电网通过与大电网进行购电与售电, 产生电网交互成本 C_1 , 即

$$C_1 = C_B W_B - C_S W_S \quad (8)$$

式中 C_B 为机场微电网向大电网单位购电价格; C_S 为机场微电网向大电网单位售电价格; W_B 为机场微电网向大电网购电电量; W_S 为机场微电网向大电网售电电量。

2) 目标函数。

机场微电网优化调度的优化目标为运行成本最低, 由此可得目标函数为

$$f = \min(C_F + C_M + C_E + C_1) \quad (9)$$

3) 约束条件。

正常工作条件下机场微电网内各电源提供的功率与负荷功率相等, 定义功率平衡约束为

$$P_{load}(t) = \sum_{i=1}^N P_i(t) + P_{grid}(t) \quad (10)$$

式中 $P_{load}(t)$ 为负荷功率; $P_i(t)$ 为各分布式电源输出功率; $P_{grid}(t)$ 为机场微电网与大电网的交互功率。当 $P_{grid}(t) > 0$ 时, 机场微电网向大电网购电; 当 $P_{grid}(t) < 0$ 时, 机场微电网向大电网售电。

由于大电网、输电线路等设备均存在功率上限, 故定义交互功率约束范围为

$$P_{grid}^{\min} \leq P_{grid}(t) \leq P_{grid}^{\max} \quad (11)$$

式中 P_{grid}^{\min} 为交互功率约束最小值; P_{grid}^{\max} 为交互功率约束最大值。

光伏发电系统、风力发电系统、燃料电池、柴油发电机作为分布式电源, 输出有功功率有限, 定义有功出力约束为

$$P_i^{\min} \leq P_i(t) \leq P_i^{\max} \quad (12)$$

式中 $P_i(t)$ 为第 i 种分布式电源当前功率; P_i^{\min} 为其功率约束最小值; P_i^{\max} 为其功率约束最大值。

为保障蓄电池工作寿命, 蓄电池一般不会充电至最满、放电至耗尽, 并限制蓄电池充放电速度^[16], 因此定义储能约束为

$$S_{OC-\min} \leq S_{OC}(t) \leq S_{OC-\max} \quad (13)$$

$$0 \leq P_{cha}(t) \leq P_{cha}^{\max} \quad (14)$$

$$0 \leq P_{dis}(t) \leq P_{dis}^{\max} \quad (15)$$

式中 $S_{OC-\min}$ 为蓄电池容量下限; $S_{OC-\max}$ 为蓄电池容量上限; P_{cha}^{\max} 为充电功率最大值; P_{dis}^{\max} 为放电功率最大值。

柴油机的输出功率变化率有限, 为保证柴油机稳定工作, 定义爬坡速率约束为

$$r_{DE}^{\text{down}} \leq P_{DE}(t+1) - P_{DE}(t) \leq r_{DE}^{\text{up}} \quad (16)$$

式中 $P_{DE}(t+1) - P_{DE}(t)$ 为 t 至 $t+1$ 时段柴油机的爬坡速率, r_{DE}^{down} 为其爬坡速率最小值; r_{DE}^{up} 为其爬坡速率最大值。

2 改进麻雀搜索算法

2.1 基本麻雀搜索算法

受到自然界中麻雀种群的捕食与反捕食习性启发, 文献[14]提出了麻雀搜索算法, 将麻雀种群中成员分为发现者、跟随者、预警者三类。发现者一般具有最高的能量值, 能量值的高低取决于其适应度; 能量值较高的追随者因为发现者具有更好的位置, 向发现者移动, 某些能量值较低的追随者由于距离发现者过远, 会自行寻找食物, 若寻找到食物, 则转变为发现者, 因此发现者与跟随者的身份是动态变化的, 但发现者和跟随者占种群的比例不变; 位于种群边缘的部分个体起到预警作用, 即预警者, 若发生危险, 则提醒整个种群转移避险。

设定在 d 维空间中, 由 n 只麻雀组成的种群正在觅食, 第 i 只麻雀的位置为 $X_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}]$ ($i=1, 2, \dots, n$), 根据 SSA 的运算规则设定麻雀个体位置更新公式。

发现者位置更新公式为

$$x_{ij}^{t+1} = \begin{cases} x_{ij}^t \cdot \exp\left(\frac{-i}{\alpha \cdot T_1}\right), R < S_T \\ x_{ij}^t + Q \cdot L, R \geq S_T \end{cases} \quad (17)$$

式中 t 为当前迭代次数; $j=1, 2, \dots, d$; α 为 $(0, 1]$ 间均匀分布的随机数; T_1 为设定的迭代次数最大值, Q 为服从正态分布的随机数; L 为 $1 \times d$ 的常数矩阵, 每个元素均为 1; R ($R \in [0, 1]$) 为预警值; S_T ($S_T \in [0.5, 1]$) 为安全值。当预警值小于安全值时, 麻雀个体可以不受限制地广泛搜索, 当预警值大于等于安全值时, 预警者发现危险, 包括发现者在内的种群个体需要转移避险。

追随者位置更新公式为

$$x_{ij}^{t+1} = \begin{cases} Q \cdot \exp\left(\frac{xw_{ij} - x_{ij}^t}{i^2}\right), & i > n/2 \\ [xb_{ij}^{t+1} + |x_{ij}^t - xb_{ij}^{t+1}| \cdot A^+ \cdot L, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

将式(18)加以简化, 可得:

$$x_{ij}^{t+1} = \begin{cases} Q \cdot \exp\left(\frac{xw_{ij} - x_{ij}^t}{i^2}\right), & i > n/2 \\ xb_{ij}^t + \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d (\text{rand}\{-1, 1\}) \cdot \\ \quad (|xb_{ij}^t - x_{ij}^t|), & i \leq n/2 \end{cases} \quad (19)$$

式中 xw_{ij} 为第 t 次迭代时麻雀种群在 j 维空间的全局最差位置; xb_{ij}^t 为第 t 次迭代时麻雀种群在 j 维空间的全局最优位置。当 $i > n/2$ 时, 加入者能量值较低, 适应度较差, 为获得食物, 会自行向其他位置移动寻找食物; 当 $i \leq n/2$ 时, 加入者能量值较高, 在适应度较好的情况下向发现者附近移动争抢食物。

预警者位置更新公式为

$$x_{ij}^{t+1} = \begin{cases} xb_{ij}^t + \beta \cdot (x_{ij}^t - xb_{ij}^t), & f_i \neq f_g \\ x_{ij}^t + K \cdot \left(\frac{x_{ij}^t - xw_{ij}^t}{|f_i - f_w| + \epsilon}\right), & f_i = f_g \end{cases} \quad (20)$$

式中 ϵ 为极小的数, 以防止分母为 0; K 为 $[-1, 1]$ 的均匀随机数; f_i 为当前麻雀个体的适应度值; f_g, f_w 分别为第 t 次迭代时麻雀种群的全局最优适应度值和最差适应度值。设立均值为 0、方差为 1 的正态分布随机数 β 控制每次迭代的步长。当 $f_i \neq f_g$ 时, 预警者在处于种群的最优位置发现危险, 会向种群中其他个体位置移动; 当 $f_i = f_g$ 时, 预警者位于种群边缘发现危险, 将向当前种群最优位置移动逃避。

2.2 惯性权重改进型麻雀搜索算法

SSA 在进行优化求解时, 若局部搜索能力过

强,会导致种群多样性变差,全局搜索速度降低,甚至算法陷入局部最优解。为了更好地提升 SSA 寻优求解能力,本文引入权性惯重机制进行改进。在 SSA 数学模型中,加入体现麻雀个体继承之前位置的权重因子 $\omega(t)$,SSA 全局搜索能力越强, $\omega(t)$ 越大;局部搜索能力越强, $\omega(t)$ 越小。

改进后的发现者位置更新公式为

$$x_{i,j}^{t+1} = \begin{cases} \omega(t)x_{i,j}^t \cdot \exp\left(\frac{-i}{\alpha \cdot T_1}\right), R < S_T \\ \omega(t)x_{i,j}^t + Q \cdot L, R \geq S_T \end{cases} \quad (21)$$

改进后的追随者位置更新公式为

$$x_{i,j}^{t+1} = \begin{cases} Q \cdot \exp\left(\frac{x\omega_{i,j} - \omega(t)x_{i,j}^t}{i^2}\right), i > n/2 \\ xb_{i,j}^t + \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d (\text{rand}\{-1,1\}) \cdot |xb_{i,j}^t - \omega(t)x_{i,j}^t|, i \leq n/2 \end{cases} \quad (22)$$

改进后的预警者位置更新公式为

$$x_{ij}^{t+1} = \begin{cases} [xb_{ij}^t + \beta \cdot (\omega(t)x_{ij}^t - xb_{ij}^t)], f_i \neq f_g \\ [x_{ij}^t + K \cdot \left(\frac{\omega(t)x_{ij}^t - x\omega_{ij}^t}{|f_i - f_w| + \varepsilon}\right)], f_i = f_g \end{cases} \quad (23)$$

文献[17]提出一种权重因子定义,即

$$\omega(t) = \exp\left(-\frac{(\ln \omega_{\max} - \ln \omega_{\min})t}{T}\right) + \ln \omega_{\max} \quad (24)$$

式中 $\omega(t)$ 为 t 次迭代时的权重因子。

为平衡全局搜索与局部搜索能力,取 $\omega_{\max} = 0.9$, $\omega_{\min} = 0.4$ 。本文在式(24)的基础上,采用余弦函数增大其非线性化程度,改进为扰动程度更大的非线性权重因子,即

$$\omega(t) = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{2} \cos\left(\frac{\pi t}{T}\right) + \frac{\omega_{\max} + \omega_{\min}}{2} \quad (25)$$

权重因子改进前、后曲线对比如图 2 所示。由图 2 可知改进前权重因子曲线变化较为线性,导致权重因子在迭代过程中扰动效果较为规律,扰动效果不明显;加入余弦函数后,权重因子曲线非线性程度增加。迭代运算初期,权重因子较改进前增大,可对种群做出更大扰动,有利于算法进行全局搜索,防止陷入局部最优;迭代运算后期,权重因子较改进前减小,有利于算法进行局部搜索,迅速收敛,得到全

局最优解。因此,改进后的权重因子具有更强的扰动能力。改进型 SSA 的优化求解流程如图 3 所示。

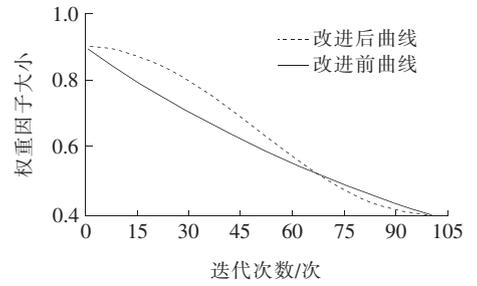


图 2 权重因子改进前、后曲线对比

Figure 2 Comparison of curves before and after Changing the weight factor

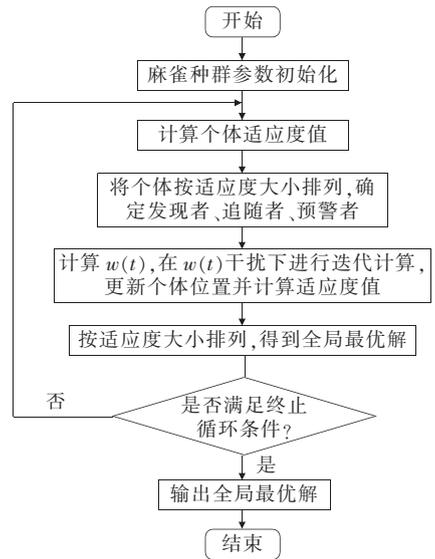


图 3 改进 SSA 优化求解流程

Figure 3 Improved SSA optimization solution process

3 算例分析

3.1 算例主要参数

微电网中各分布式电源的参数与整个系统的运行成本息息相关^[18]。设定机场微电网的蓄电池初始荷电为 0.4, $S_{OC-\min} = 0.2$, $S_{OC-\max} = 0.8$;柴油爬坡速率最大值 r_{DE}^{\max} 为 $10 \text{ kW} \cdot \text{h}$,最小值 r_{DE}^{\min} 为 $-10 \text{ kW} \cdot \text{h}$;各分布式电源有关参数和其产生的污染物相关排放参数如表 1、2 所示;机场所在地采用分时电价^[19],机场微电网与大电网电能交换价格如表 3 所示;模拟某日机场飞机各机型维护保障情况,绘制负荷日功率曲线如图 4 所示;以某机场所在地气象情况绘制的可再生能源日功率曲线如图 5 所示。

表 1 各分布式电源有关参数

Table 1 Related parameters of each distributed power supply

电源种类	额定功率/kW	燃料成本/(元/kg)	低位热值/(kJ/kg)	维护系数	运行效率/%
PV	200	—	—	0.009	90
FC	100	2.43	22687	0.002	50
DE	150	7.05	42552	0.001	37
BT	30	—	—	0.003	$\eta_c = 85, \eta_d = 99$
WT	150	—	—	0.031	88

表 2 污染物相关排放系数

Table 2 Pollutant-related emission coefficient

污染物种类	处理成本/(元/g)	电源污染物排放量/(g/(kW·h))	
		FC	DE
CO	0.011	0.012	0.05
NO	0.063	0.000	1.20
SO ₂	0.015	0.000	1.60

表 3 分时电价参数

Table 3 Time-of-use price parameters

时段	区域划分	购电价格/(元/(kW·h))	售电价格/(元/(kW·h))
谷	23:00—07:00	0.395	0.215
	08:00—11:00 19:00—22:00	0.875	0.585
平	12:00—18:00	0.675	0.465

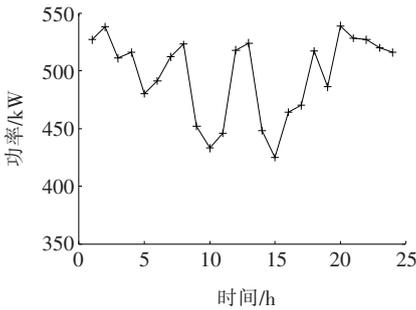


图 4 负荷日功率曲线

Figure 4 Daily power curve of load

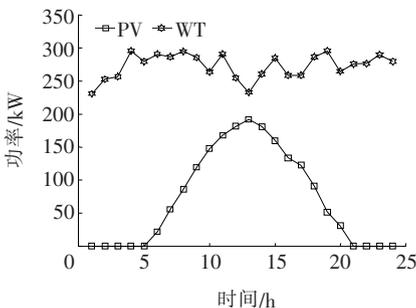


图 5 光伏及风电日功率曲线

Figure 5 Daily power curve of photovoltaic and wind power

本文设定的机场微电网调度策略如下：

1) 由于光伏与风力发电机组具有无污染的特性，因此优先采用光伏与风力发电机组供电；

2) 为保护环境，柴油机与燃料电池作为备用电源，在其他电源无法满足负荷时启用；

3) 若分布式电源发电量无法满足负荷需求，大电网适时向机场微电网送电，若可再生能源发电量大于负荷需求，机场微电网向大电网售电，综合分析系统运行成本和环境成本，实现最大效益。

3.2 仿真结果与分析

根据上文参数，利用 Matlab2020a 软件进行仿真。为证明改进麻雀搜索算法具有更好的寻优能力，将其与原始麻雀搜索算法、粒子群算法(PSO)在同样条件下的迭代过程与结果进行比较。迭代次数设定为 300，个体数设定为 100。三者寻优过程如图 6 所示。

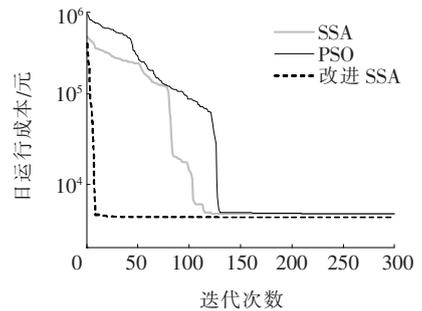


图 6 算法迭代曲线

Figure 6 Algorithm iteration curve

由图 6 可知，PSO 与 SSA 在算法运行初期均因陷入局部最优，导致收敛速度下降；在算法运行中期，PSO 与 SSA 的收敛速度有所增加；改进 SSA 自迭代初期便更快的收敛速度，具有更好的全局搜索能力，且寻优结果精度更高，综合性能占优。为比较 3 种算法的稳定性，连续进行 20 次仿真实验，统计结果如表 4 所示。

由表 4 可知，改进麻雀搜索算法在均值、标准差、最小值方面得到的结果均优于其他 2 种算法。因此，改进麻雀搜索算法具有良好的稳定性。取仿真实验结果的最小值为本算法优化后的日运行成本，即 3 303.11 元。采用调度策略进行优化得到的蓄电池荷电状态变化曲线如图 7 所示；各分布式电源出力曲线如图 8 所示；机场微电网与大电网间的交互功率曲线如图 9 所示。

表 4 求解结果对比

Table 4 Comparison of solution results

算法	日运行成本/元		
	均值	标准差	最小值
PSO	3 822.61	67.73	3 662.85
SSA	3 792.37	53.46	3 674.48
改进 SSA	3 354.11	26.49	3 303.11

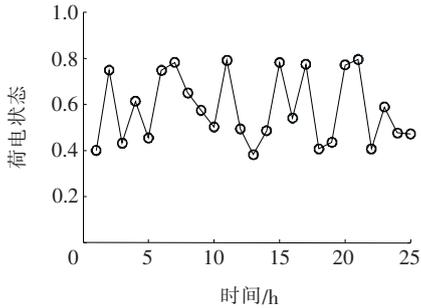


图 7 荷电状态变化曲线

Figure 7 State-of-charge change curve

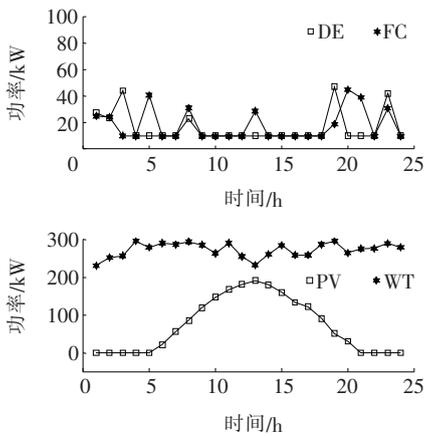


图 8 分布式电源出力曲线

Figure 8 Distributed power output curve

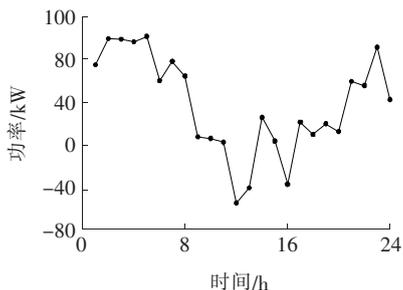


图 9 交互功率曲线

Figure 9 Interactive power curve

由图 7~9 可知,0~8 h 由于光照强度较弱,可再生能源发电量无法满足负荷,微电网向大电网购电,当两者都无法满足负荷时,适时提高 DE 与 FC 输出功率以满足负荷;9~18 h 光照强度较大,可再

生能源发电量基本可以满足负荷,微电网适时向大电网售电,DE 与 FC 几乎不出力,处于备用状态;19~24 h 由于负荷增大,且光照强度较弱,微电网向大电网购电,DE 与 FC 同时出力满足负荷;蓄电池通过充电与放电,起到削峰填谷、平抑微电网内风光波动的作用。

4 结语

本文针对目前机场微电网调度方法的不足,建立了机场微电网优化调度模型,采用改进麻雀搜索算法进行优化求解。经过对比仿真实验得到的结果表明改进麻雀搜索算法具有更高的收敛速度和寻优精度,且求解结果在平均值、最小值、均方差方面优于其他算法,适用于机场微电网优化调度问题,可以有效地降低机场的运行成本。

参考文献:

- [1] 李赞,王朝霞,隋昊. 军用机场体系设施作战保障效能评估研究[J]. 舰船电子工程,2018,38(12):1-5+10.
LI Zan, WANG Zhaoxia, SUI Hao. Research on operational support effectiveness evaluation of military airports system facilities[J]. Ship Electronic Engineering, 2018, 38(12): 1-5+10.
- [2] 靳忠福. 基于 CDEGS 的交流供电方式下城市轨道交通工频电磁场分析[J]. 高压电器,2020,56(12):221-225.
JIN Zhongfu. Analysis of power frequency electromagnetic field of urban rail transit under AC power supply mode based on CDEGS[J]. High Voltage Apparatus, 2020, 56(12): 221-225.
- [3] 田磊,刘宝,刘芯言. 新型直升机便携式地面应急起动电源设计[J]. 电源技术,2020,44(1):126-128+131.
TIAN Lei, LIU Bao, LIU Xinyan. Design of new portable ground emergency start-up power supply for helicopter[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2020, 44(1): 126-128+131.
- [4] 杨秀芹,邹开凤,姚本军. 高压直流地面保障电源设计研究[J]. 移动电源与车辆,2020(1):1-4.
YANG Xiuqin, ZOU Kaifeng, YAO Benjun. Research on design of HVDC ground support power supply [J]. Movable Power Station & Vehicle, 2020(1): 1-4.
- [5] 张晗,杨继斌,张继业,等. 基于多种群萤火虫算法的车载燃料电池直流微电网能量管理优化[J]. 中国电机工程学报,2021,41(3):833-846.

- ZHANG Han, YANG Jibin, ZHANG Jiye, et al. Multiple-population firefly algorithm-based energy management strategy for vehicle-mounted fuel cell DC microgrid[J]. Proceedings of the CSEE, 2021, 41(3): 833-846.
- [6] 杨颖, 刘友波, 黄媛, 等. 民航机场 APU 电能替代的离网光储系统配置研究[J]. 电力需求侧管理, 2020, 22(3): 19-25.
- YANG Ying, LIU Youbo, HUANG Yuan, et al. Research on allocation of off-grid photovoltaic-storage system considering APU electric energy substitution in civil aviation airport[J]. Power Demand Side Management, 2020, 22(3): 19-25.
- [7] AREZOO H, MEHDI H S. Stochastic energy management of smart microgrid with intermittent renewable energy resources in electricity market[J]. Energy, 2021, 219: 119668.
- [8] 毛龙波, 王维俊, 米红菊, 等. 解析美军供电保障现状与效能提高措施[J]. 现代军事, 2016(8): 80-85.
- MAO Longbo, WANG Weijun, MI Hongju, et al. Analyze the current situation of U. S. military power supply support and measures to improve efficiency[J]. Conmil-it, 2016(8): 80-85.
- [9] 赵一可, 李雷. 美军供电保障发展动态及启示[J]. 中国储运, 2020(12): 177-178.
- ZHAO Yike, LI Lei. Development trends and enlightenment of U. S. army power supply[J]. China Storage & Transport, 2020(12): 177-178.
- [10] 安娟, 黄存强, 杨曦, 等. 考虑分布式电源运行特性的青海配电网储能规划研究[J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(8): 98-102.
- AN Juan, HUANG Cunqiang, YANG Xi, et al. Research on energy storage planning of qinghai distribution network considering distributed power supply operating characteristics[J]. Power System and Clean Energy, 2020, 36(8): 98-102.
- [11] 陈岩, 靳伟, 王文宾, 等. 多站融合供电系统辅助调峰自律运行调控策略[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(20): 57-65.
- CHEN Yan, JIN Wei, WANG Wenbin, et al. Multi-station fusion power supply system to assist peak regulation strategy[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(20): 57-65.
- [12] 周原冰, 杨方, 余潇潇, 等. 中国能源电力碳中和实现路径及实施关键问题[J]. 中国电力, 2022, 55(5): 1-11.
- ZHOU Yuanbing, YANG Fang, YU Xiaoxiao, et al. Realization pathways and key problems of carbon neutrality in China's energy and power system[J]. Electric Power, 2022, 55(5): 1-11.
- [13] 林亭君, 董坤, 赵剑锋, 等. 综合能源系统内外协同优化调度技术研究现状及展望[J]. 智慧电力, 2021, 49(6): 1-8.
- LIN Tingjun, DONG Kun, ZHAO Jianfeng, et al. Research status and prospects of internal and external collaborative optimization scheduling technology for integrated energy system[J]. Smart Power, 2021, 49(6): 1-8.
- [14] XUE J K, SHEN B. A novel swarm intelligence optimization approach: sparrow search algorithm[J]. Systems Science & Control Engineering, 2020, 8(1): 22-34.
- [15] ZHANG X B, DON G, ABHISEK U. Rising and falling edge compensation based faster control strategy for hybrid energy storage system in PV microgrid[J]. Electric Power Systems Research, 2021, 190: 106856.
- [16] 韩峰, 曾成碧, 苗虹. 计及 EV 与可再生能源的家庭微电网能源管理系统[J]. 电力科学与技术学报, 2021, 36(1): 79-86.
- HAN Feng, ZENG Chengbi, MIAO Hong. Study on the energy management system of an electric vehicle and renewable energy in home micro-grid[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2021, 36(1): 79-86.
- [17] 顾艳春, 鲁海燕, 向蕾, 等. 自适应动态学习鸡群优化算法[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(20): 36-45.
- GU Yanchun, LU Haiyan, XIANG Lei, et al. Adaptive dynamic learning chicken swarm optimization algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2020, 56(20): 36-45.
- [18] 郭国栋, 龚雁峰. 电力市场环境下基于深度强化学习的微网能量管理系统实时自动控制算法[J]. 电测与仪表, 2021, 58(9): 78-88.
- GUO Guodong, GONG Yanfeng. Real-time automatic control algorithm of microgrid energy management system based on deep reinforcement learning in electricity market environment[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2021, 58(9): 78-88.
- [19] 余雪莹, 李华强, 杨龙杰, 等. 兼顾企业综合成本与用户体验的微电网双层优化配置[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(2): 38-45.
- YU Xueying, LI Huaqiang, YANG Longjie, et al. Bi-level programming method for optimal sizing of grid-connected DC microgrid system based on economic efficiency of enterprises and customer electricity experience[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2020, 35(2): 38-45.