

# 基于分时电价的并网型微电网优化调度方法研究

宋名扬\*, 刘媛, 程海青#

安徽电子信息职业技术学院, 机电工程学院, 安徽 蚌埠

收稿日期: 2026年5月16日; 录用日期: 2026年6月8日; 发布日期: 2026年6月22日

## 摘要

文章提出一种改进蜣螂优化算法, 旨在解决考虑分时电价的并网型微电网优化调度问题。首先, 建立了以经济成本为目标的微电网调度模型, 考虑了分时电价对电力调度的影响。其次, 针对标准蜣螂优化算法收敛精度低和易陷入局部最优的缺陷, 设计自适应步长因子平衡全局与局部搜索, 并融合差分进化变异的扰动机制提高逃逸能力。最后, 通过典型算例仿真验证了该方法的有效性, 结果表明改进算法能有效降低系统经济成本。

## 关键词

蜣螂优化算法, 微电网, 分时电价, 自适应, 差分进化

# Research on Optimization Scheduling Method for Grid-Connected Microgrid Based on Time-of-Use Electricity Pricing

Mingyang Song\*, Yuan Liu, Haiqing Cheng#

School of Mechanical and Electrical Engineering, Anhui Vocational College of Electronics and Information Technology, Bengbu Anhui

Received: May 16, 2026; accepted: June 8, 2026; published: June 22, 2026

## Abstract

This paper proposes an improved dung beetle optimization algorithm to address the optimization

\*第一作者。

#通讯作者。

scheduling problem of grid-connected microgrids, considering time-of-use electricity pricing. First, a microgrid scheduling model is established with the objective of minimizing economic costs, taking into account the impact of time-of-use pricing on power scheduling. Secondly, to overcome the shortcomings of the standard dung beetle optimization algorithm, such as low convergence accuracy and susceptibility to local optima, an adaptive step size factor is designed to balance global and local search, and a perturbation mechanism based on differential evolution mutation is integrated to enhance escape capability. Finally, simulation results from typical case studies demonstrate that the improved algorithm can effectively reduce the economic costs of the system.

## Keywords

Dung Beetle Optimization Algorithm, Microgrid, Time-of-Use Electricity Pricing, Adaptive, Differential Evolution

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着“双碳”目标的深入推进，以风、光为代表的可再生能源在配电网中的渗透率不断提高。微电网作为一种集成了分布式电源、储能系统及负荷的微型电力系统，能够有效协调源-网-荷-储，实现能源高效利用与本地消纳。其中，并网型微电网可通过与大电网的能量交互进一步降低运行成本，而分时电价机制为微电网的购售电决策提供了经济信号，使得优化调度成为关键环节[1]。

微电网优化调度本质上是一个高维度、多约束、非线性的复杂优化问题[2]。传统方法如线性规划、动态规划在面对多变量耦合时存在维数灾难，而智能优化算法因其灵活性和全局搜索能力受到广泛关注[3]。近年来，粒子群算法、灰狼算法、鲸鱼算法等已被应用于微电网调度。闫丽梅等[4]搭建多源微电网架构，运用改进人工蜂鸟算法完成调度优化，兼顾供电需求，实现系统运行成本与碳排放协同最低。孙之鑫等[5]针对传统微电网调度收敛慢、易陷入局部最优的不足，提出改进蚁群算法的微电网优化调度策略，以提升调度性能。但所提算法普遍存在早熟收敛、参数敏感等问题。

蜣螂优化算法是一种典型群体智能算法，通过模拟蜣螂的滚球、跳舞、觅食和偷窃等行为，具有较强的全局勘探能力，但在处理高维约束优化时仍存在后期收敛滞缓、局部开发不足的缺陷[6]。为此，本文提出一种改进蜣螂优化算法(IDBO)，并将其应用于考虑分时电价的并网型微电网优化调度。主要贡献如下：针对DBO的不足，设计自适应步长因子平衡全局与局部搜索，并融合差分进化变异的扰动机制提高逃逸能力。通过典型算例仿真验证，表明改进算法能有效降低系统经济成本。

## 2. 改进蜣螂优化算法

### 2.1. 自适应步长因子

在传统的蜣螂优化算法中，步长因子通常是固定的，这可能导致在搜索过程中出现收敛速度慢或陷入局部最优解的情况。固定步长在某些情况下可能过大，导致解的跳跃性过强，错过了潜在的优质解；而在其他情况下，步长过小则可能导致搜索效率低下。因此，引入自适应步长因子可以根据当前搜索状态动态调整步长，从而提高算法的灵活性和适应性，具体如下：

$$\lambda = \lambda_{\min} + (\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) \cdot \left(1 - \frac{t}{T_{\max}}\right) \cdot \frac{f_{\text{avg}} - f_i}{f_{\text{avg}} - f_{\min} + \varepsilon} \quad (1)$$

其中,  $\lambda_{\max}$  和  $\lambda_{\min}$  分别为最大和最小步长, 取值为 0.9 和 0.2。  $t$  和  $T_{\max}$  分别为当前和最大迭代次数;  $f_i$ 、 $f_{\text{avg}}$  和  $f_{\min}$  分别为当前个体适应度、平均适应度和最优适应度;  $\varepsilon$  为一个很小的常数, 取值为 0.05。

## 2.2. 差分进化变异扰动

差分进化算法是一种有效的优化算法, 其变异操作通过对个体进行扰动来生成新的候选解[7]。将差分进化的变异扰动引入蜣螂优化算法, 可以增强算法的探索能力。传统蜣螂优化算法的搜索方式相对简单, 可能无法充分利用解空间中的信息, 而差分进化的变异机制能够提供更丰富的解生成方式。在偷窃阶段和繁殖阶段后, 对种群中部分较差个体执行基于差分进化的变异操作:

$$v_i = x_{r_1} + F \cdot (x_{r_2} - x_{r_3}) \quad (2)$$

其中,  $r_1, r_2, r_3$  分别为互不相同的随机索引个体;  $F$  为缩放因子, 取值为 0.5;  $v_i$  为变异产生的候选个体。

## 3. 案例分析

### 3.1. 实验设置

为验证所提改进算法在微电网优化调度中的有效性与可行性, 本文参考文献[8]所提的以经济成本为目标的微电网模型, 对其求解算法进行进一步优化。微电网模型包含光伏(PV)、内燃机(GS)、微型燃气轮机(MT)、燃料电池(FC)、风力发电机(WT)以及蓄电池(BT)等。以 Matlab 软件作为核心仿真平台, 该平台具备强大的数值计算、数据可视化及算法编程功能, 能够精准模拟微电网各单元的运行特性与调度过程, 满足本研究优化调度仿真的各项需求。在算法仿真参数设置方面, 综合考虑寻优精度与收敛效率, 确定种群大小设置为 60, 该规模既能保证种群多样性以避免局部最优, 又能减少计算冗余; 迭代次数设定为 2500 次, 确保算法能够充分完成全局搜索与局部优化, 最终收敛至最优解。文中 Grid 代表主网系统, 作为微电网并网运行的能量交互载体。污染物排放参数是计算环保成本的核心依据, 其具体数值详细列于表 1; 各微电源(光伏、风电、燃气轮机等)的额定功率、运维成本、效率等关键参数汇总于表 2, 为微电网运行成本计算与出力优化提供支撑。居民日负荷(Load)的变化规律、光伏组件出力与风力发电机出力的日内波动情况均通过图 2 直观呈现, 分时电价作为调度优化的重要约束条件, 其峰、平、谷时段划分及对应电价标准详见表 3。

### 3.2. 结果分析

本小节采用 IDBO 算法对微电网模型进行求解, 实验设置参考 3.1 小节, 图 2 给出了各电源在各时段的出力情况, 图 3 则给出了 IDBO 与 DBO 算法在求解过程中的收敛情况。

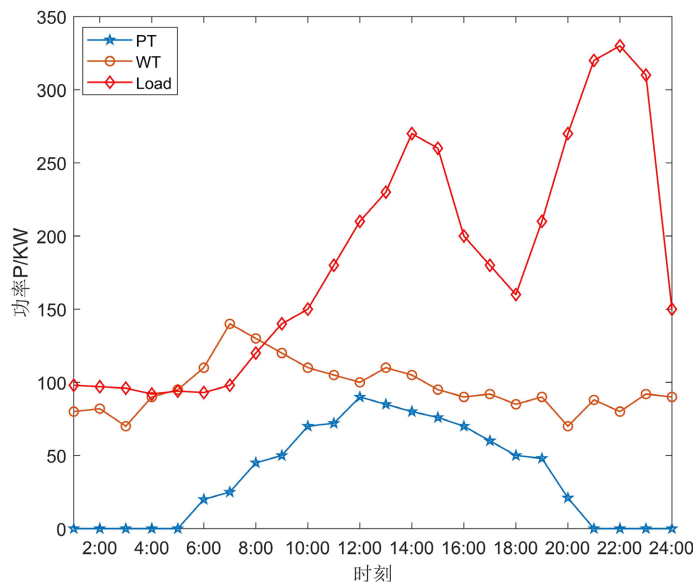
Table 1. Treatment costs of pollutants

表 1. 污染物的处理费用

污染物	治理费用(元/Kg)	FC (Kg/kwh)	MT (Kg/kwh)	DE (Kg/kwh)	Grid (Kg/kwh)
CO <sub>2</sub>	0.05	1.43	1.42	0.98	19.23
NO <sub>x</sub>	19.36	0.23	0.03	16.45	5.12
SO <sub>2</sub>	5.14	0.253	0.06	0.45	3.62

**Table 2.** Operating parameters of each power supply  
**表 2.** 各电源的运行参数

类型	功率下限(KW)	功率上限(KW)	运行成本(元/KWh)	燃料成本(元/KWh)
PV	0	70	0.01	—
WT	0	70	0.02	—
FC	0	65	0.03	0.19
MT	0	65	0.04	0.38
DE	0	50	0.11	0.59



**Figure 1.** Predicted power of Load, PV and WT  
**图 1.** Load、PV、WT 预测功率

**Table 3.** Time-of-use electricity pricing table  
**表 3.** 分时电价表

时段	价格/元/KWh		
	峰时段	平时段	谷时段
	10:00~15:00 19:00~22:00	07:00~09:00 16:00~18:00	23:00~06:00
购电	1.32	0.62	0.38
售电	1.08	0.44	0.31

从图 2 可以看出, 电网交互功率表现出“夜间购电、傍晚售电”的显著日内反送模式, 即在凌晨时段为负(约-50 至-90 kW, 表示从主网购电), 而在晚间 19 至 22 时转为正值(最高约 150 kW, 表示向主网反向馈电), 说明系统在晚高峰时段具备功率外送能力; BT 在午间光伏出力高峰时段表现为明显负值(约-60 kW), 即吸收功率充电, 表明其发挥了“削峰填谷”与促进可再生能源消纳的作用; FC 与 MT 的功率波动区间较小( $\pm 50$  kW 以内), 主要承担辅助调峰与备用功能, 而非主导电源; 整体上, 所有分布式电

源与电网交互功率之和与负荷曲线保持动态平衡，尤其在早晚高峰时段，通过风电、光伏、电池放电和电网反向送电的协同调度，系统实现了功率自平衡与经济效益优化。图 3 则可以看出 IDBO 算法收敛到 9563 元，而 DBO 算法则是 12123 元，成本降低大约 25%。综上，验证了所提算法的有效性。

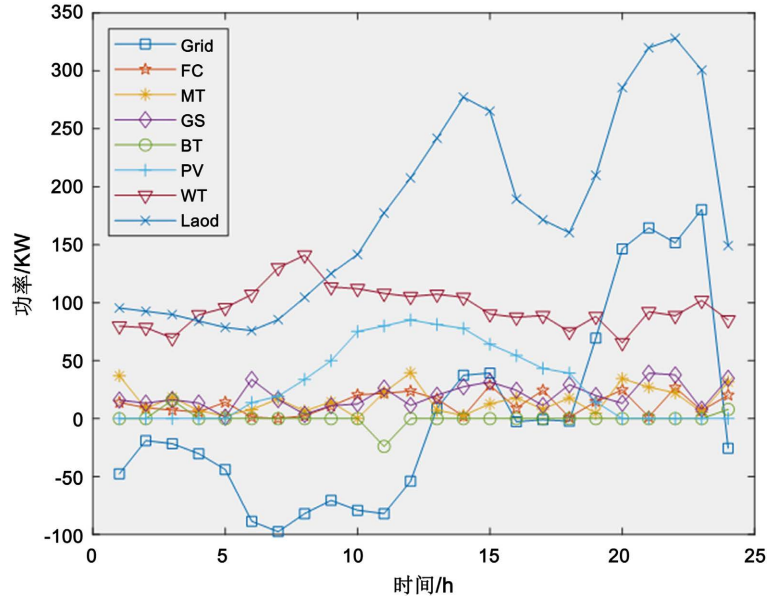


Figure 2. Output of each power supply  
图 2. 各电源出力情况

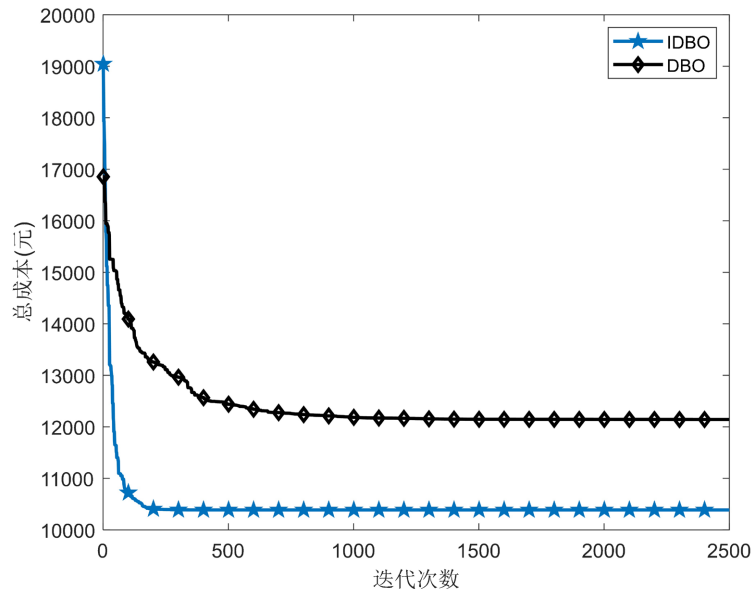


Figure 3. Convergence curves of IDBO and DBO algorithms  
图 3. IDBO 与 DBO 算法的收敛曲线图

#### 4. 结论

本研究提出一种改进的蜣螂优化算法(IDBO),用以处理计及分时电价的并网型微电网优化调度问题。

具体而言,针对标准蜣螂优化算法收敛精度不足、容易陷入局部最优的缺点,引入了自适应步长因子以协调全局探索与局部开发的关系,同时结合差分进化变异扰动机制,以提升种群多样性并增强算法脱离局部最优的能力。最后进行典型算例仿真,结果显示改进后的算法能显著降低系统运行成本,其收敛速度和求解精度均优于标准 DBO 算法,从而证实了所提方法的有效性和优越性。

未来的研究可以进一步探索改进蜣螂优化算法在更复杂的微电网环境中的应用,例如考虑多种可再生能源的协同调度、储能系统的优化配置以及需求响应机制的集成。此外,结合机器学习技术,构建智能化的调度决策支持系统,将有助于提高微电网的自适应能力和实时响应能力。通过不断优化算法和模型,推动微电网的智能化发展,为实现可持续能源管理提供更为有效的解决方案。

## 基金项目

安徽省教育厅自然科学类重点科研项目(2025AHGXZK30998)。

## 参考文献

- [1] 陈琨,朱凯. 基于狮群算法的微电网优化调度[J]. 山东电力高等专科学校学报, 2026, 29(2): 48-54.
- [2] 任爽,吕鑫康,郭钰婷,等. 基于改进 MOWOA 的微电网多目标优化调度[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2026, 44(2): 310-322.
- [3] 董树青. 基于改进粒子群算法的电网优化调度研究[J]. 江西电力职业技术学院学报, 2025, 38(4): 1-4.
- [4] 闫丽梅,赵奕岚,赵书琪. 基于改进人工蜂鸟算法的微电网优化调度[J]. 计算机测量与控制, 2026, 34(3): 177-185.
- [5] 孙之鑫. 基于改进蚁群算法的孤岛微电网优化调度[J]. 自动化应用, 2025, 66(1): 119-124.
- [6] 吴亚中,陈璐,马强,等. 多策略增强的蜣螂优化算法及其工程应用[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2025, 53(2): 95-103.
- [7] 王莉,王旭健,康凯,等. 基于多种群竞争差分进化算法的稀布线阵优化[J]. 兵器装备工程学报, 2024, 45(5): 248-258.
- [8] 陈文梅,陈永黄,陈小燕. 基于 Levy 飞行粒子群优化算法的微电网优化调度[J]. 应用数学进展, 2025, 14(8): 17-27.