

doi: 10.3969/j.ISSN.1672-0792.2021.03.001

# 基于改进粒子群算法的微电网多目标优化调度

李兴莘<sup>1</sup>, 张 靖<sup>1</sup>, 何 宇<sup>1</sup>, 张 英<sup>2</sup>, 刘 影<sup>3</sup>, 晏开封<sup>1</sup>

(1. 贵州大学 电气工程学院, 贵州 贵阳 550025;  
2. 贵州电网公司 电力科学研究院, 贵州 贵阳 550002;  
3. 贵州电网公司 电网规划研究中心, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:** 微电网优化调度作为智能电网优化的重要组成部分, 对降低能耗、环境污染具有重要意义。微电网的发展目标既要满足电力供应的基本需求, 又要提高经济效益和环境保护。对此, 提出了一种综合考虑微电网系统运行成本和环境保护成本的并网模式下微电网多目标优化调度模型。同时采用改进的粒子群算法对优化模型进行求解。仿真结果表明, 该模型可以有效降低用户的用电成本和环境污染, 促进微电网的优化运行, 并验证了改进的粒子群算法的优越性能。

**关键词:** 微电网; 多目标; 改进粒子群算法; 优化调度

**中图分类号:** TM73    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-0792(2021)03-0001-07

## Multi-objective Optimization Dispatching of Microgrid Based on Improved Particle Swarm Algorithm

LI Xingshen<sup>1</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>, HE Yu<sup>1</sup>, ZHANG Ying<sup>2</sup>, LIU Ying<sup>3</sup>, YAN Kaifeng<sup>1</sup>

(1. Electrical Engineering College, Guizhou University, Guiyang 550025, China;  
2. Electric Power Research Institute, Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang 550002, China;  
3. Power Grid Planning Research Center, Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang 550002, China)

**Abstract:** As an important part of smart grid optimization, microgrid optimization dispatching is of great significance to reduce energy consumption and environmental pollution. The development goal of microgrid

---

收稿日期: 2020-12-11

基金项目: 国家自然科学基金 (51867005)

作者简介: 李兴莘 (1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为基于需求响应的微电网优化调度;

张 靖 (1979—), 男, 教授, 研究方向为电力系统稳定、运行与控制等;

何 宇 (1978—), 女, 副教授, 研究方向为电力系统规划、电力系统稳定与运行等;

张 英 (1978—), 女, 教授, 研究方向为高压电气设备绝缘在线监测和故障诊断、绝缘材料应用以及大气压等离子体;

刘 影 (1978—), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统规划;

晏开封 (1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>  
通信作者: 张 靖

is not only to meet the basic needs of power supply, but also to improve economic benefits and environmental protection. In this paper, a multi-objective optimization dispatching model of microgrid under grid-connected mode is proposed, which comprehensively takes the operation cost of microgrid system and the cost of environmental protection into consideration. Meanwhile, an improved particle swarm optimization algorithm is proposed to seek the solution of the optimization model. The simulation results show that the model can effectively reduce the electricity cost and environmental pollution of users, promote the optimal operation of microgrid, and verify the superior performance of the improved particle swarm optimization algorithm.

**Key words:** microgrid; multi-objective; improved particle swarm algorithm; optimization dispatching

## 0 引言

微电网优化调度是指在满足系统的各种约束条件下,合理安排不同的 DG 出力和微网与主网之间的输电功率,从而达到低运行成本、低排放、高可靠性、高发电效率等不同目标。对于需求侧来说,微电网的优化调度可以有效降低用户的用电成本。对于供电侧来说,微电网优化调度可以提高电网的稳定性,减少电力生产的能量损耗以及环境污染。因此,对微电网进行优化调度有重要的现实意义。

目前关于微电网运行调度方面已有大量研究。文献[1]以运行经济效益、削峰填谷效应作为优化目标,构建气电互联虚拟电厂多目标模型。文献[2]以运行成本、功率波动等调度目标建立了考虑电动汽车充放电策略的多目标模型,但以上文献都未考虑环境污染问题。同时,微电网经济调度大多是一个多约束、非线性优化问题。粒子群算法具有易于实现、可调参数少、收敛速度快、寻优能力强等优点<sup>[3]</sup>,因此它较多地应用在优化领域。文献[4,5]通过传统粒子群算法求解以经济成本、环境成本以及功率波动为主的多目标模型,但传统 PSO 算法却易陷入局部最优,为了克服这一缺点,本文着重从学习因子、惯性权重方面对粒子群算法进行改进。

基于以上考虑,本文从微电网的经济和环保方面出发,以微电网的运行成本、环境保护成本之和最小为目标,建立微电网环保与经济调度模型,并采用改进的 PSO 算法对优化模型进行求解。仿真结果表明,改进的 PSO 优化算法比传统的 PSO 优化算法具有更好的性能,同时,验证了该

模型的有效性和优越性,可以有效降低能耗、环境污染成本。

## 1 微网系统运行优化模型

### 1.1 微网内分布式电源、储能发电特性

#### (1) 风力发电机模型

风力发电机(WT)的风速功率特性曲线<sup>[6]</sup>表达式为:

$$P'_{\text{WT}} = \begin{cases} 0, & v < v'_{ci} \\ a'v^3 + b'v^2 + c'v + d', & v'_{ci} \leq v \leq v'_{r} \\ P'_{r}, & v'_{r} < v < v'_{co} \\ 0, & v \geq v'_{co} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $P'_{\text{WT}}$  是 WT 的输出功率;  $P'_{r}$  是 WT 的额定功率;  $v'_{ci}$ 、 $v'_{r}$  和  $v'_{co}$  代表的是 WT 的切入风速、额定风速以及切出风速;  $a'$ 、 $b'$ 、 $c'$ 、 $d'$  是风速参数。

#### (2) 光伏(PV)发电数学模型

在微电网优化调度中,必须对光伏电池的功率进行预测。光伏电池的输出功率模型<sup>[7]</sup>如下所示:

$$P'_{\text{pv}} = R'_{\text{pv}} q'_{\text{pv}} \frac{I'_{\text{T}}}{I'_{\text{STC}}} [1 + \alpha'_{\text{p}} (T'_{\text{c}} - T'_{\text{stc}})] \quad (2)$$

式中:  $P'_{\text{pv}}$  为光伏电池的输出有功功率;  $R'_{\text{pv}}$  为在标准测试条件下的光伏输出功率;  $q'_{\text{pv}}$  为光伏的降额系数,通常为 0.8;  $I'_{\text{T}}$  为实际太阳辐射强度;  $I'_{\text{STC}}$  为标准测试条件下的太阳辐射强度;  $\alpha'_{\text{p}}$  为 PV 电池板的温度系数;  $T'_{\text{c}}$  为当前时间步长的 PV 电池温度;  $T'_{\text{stc}}$  为标准测试下的 PV 电池温度。

#### (3) 柴油发电机模型

柴油机是一种常用的燃料发电机<sup>[8]</sup>,在运行过程中会产生燃料费、运维费、污染物处理费。

$$\begin{cases} C_{DE,OM}(t) = K_{DE,OM} P_{DE}(t) \\ C_{DE,F}(t) = \alpha P_{DE}^2(t) + \beta P_{DE}(t) + \gamma \\ \alpha = 0.00011, \beta = 0.1801, \gamma = 6 \\ C_{DE,EN}(t) = \sum_{k=1}^n (C_k \gamma_{de,k}) P_{DE}(t) \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $C_{DE,OM}(t)$ 、 $C_{DE,F}(t)$ 、 $C_{DE,EN}(t)$  分别为  $t$  时刻柴油机的运维成本、燃料成本、污染物处理成本。

$P_{DE}(t)$  是柴油机在  $t$  时刻的发电量;  $K_{DE,OM}$  是柴油机的运行维护成本系数;  $\gamma_{de,k}$  是柴油机运行产生的  $k$  类污染物的排放量;  $C_k$  是处理  $k$  类污染物的成本系数;  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  为柴油机的系数。

#### (4) 微型燃气轮机模型

燃气轮机通过消耗燃料发电。微型燃气轮机输出功率可自由调节, 响应速度快<sup>[9]</sup>。

$$\eta_{MT}(t) = 0.0753 \left[ \frac{P_{MT}(t)}{65} \right]^3 - 0.3095 \left[ \frac{P_{MT}(t)}{65} \right]^2 + 0.4174 \frac{P_{MT}(t)}{65} + 0.1068 \quad (4)$$

式中:  $P_{MT}(t)$  是微型燃气轮机的有功输出功率;  $\eta_{MT}(t)$  是微型燃气轮机的运行效率。燃气轮机通过消耗燃料发电, 在运行过程中会产生燃料费、运维费用、污染物处理费, 表达式如下:

$$\begin{cases} C_{MT,OM}(t) = K_{OM} P_{MT}(t) \\ C_{MT,F}(t) = \frac{C}{LHV} \frac{P_{MT}(t)}{\eta_{MT}(t)} \\ C_{MT,EN}(t) = \sum_{k=1}^n (C_k \gamma_{mt,k}) P_{MT}(t) \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $C_{MT,OM}(t)$ 、 $C_{MT,F}(t)$ 、 $C_{MT,EN}(t)$  分别为  $t$  时刻柴油机的运维成本、燃料成本、污染物处理成本;  $P_{MT}(t)$  是柴油机在  $t$  时刻的发电量;  $K_{MT,OM}$  是柴油机的运行维护成本系数;  $\gamma_{mt,k}$  是柴油机运行产生的  $k$  类污染物的排放量;  $C_k$  是处理  $k$  类污染物的成本系数。

#### (5) 蓄电池模型

蓄电池作为储能的一种设备, 在可再生能源不能满足负荷的情况下会将储存的能量释放出来, 为用户提供稳定的电源, 保证系统的安全稳定运行。

$$SOC(t) = \begin{cases} SOC(t-1) + \frac{1}{\eta} P_{bess}(t), & P_{bess}(t) \leq 0 \\ SOC(t-1) + \eta^+ P_{bess}(t), & P_{bess}(t) > 0 \end{cases} \quad (6)$$

(C) 式中:  $SOC(t)$  为  $t$  时刻蓄电池的剩余容量;  $P_{bess}(t)$

为  $t$  时刻蓄电池的充放电功率, 为正表示充电, 为负表示放电;  $\eta^+$ 、 $\eta^-$  分别为充放电效率。

### 1.2 微电网多目标优化模型。

#### 1.2.1 目标函数

##### (1) 微电网的运行成本。

在并网模式下的目标是最小化微电网的运行成本。

$$f_1 = \sum_{t=1}^T C_{grid}(t) + C_{MT}(t) + C_{DE}(t) \quad (7)$$

$$\begin{cases} C_{grid}(t) = C_{buy}(t) + C_{sell}(t) \\ C_{buy}(t) = c_{buy}(t) P_{buy}(t) \\ C_{sell}(t) = c_{sell}(t) P_{sell}(t) \\ C_{DE}(t) = C_{DE,OM}(t) + C_{DE,F}(t) \\ C_{MT}(t) = C_{MT,OM}(t) + C_{MT,F}(t) \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $C_{grid}(t)$ 、 $C_{bess}(t)$ 、 $C_{MT}(t)$ 、 $C_{DE}(t)$  分别为  $t$  时段微电网与主电网相互作用的总成本、储能的维护成本、微型燃气轮机的总运行成本以及柴油发电机总运行成本;  $P_{bess}(t)$  是储能  $t$  时刻的功率;  $P_{sell}(t)$ 、 $P_{buy}(t)$  分别为  $t$  时刻微电网与大电网的售电功率、购电功率;  $c_{buy}(t)$ 、 $c_{sell}(t)$  分别为  $t$  时刻微电网与大电网的购售电价。

##### (2) 微电网的环境保护成本。

$$\begin{cases} f_2 = \sum_{t=1}^T C_{GRID,EN}(t) + C_{MT,EN}(t) + C_{DE,EN}(t) \\ C_{GRID,EN}(t) = \sum_{k=1}^n (C_k \gamma_{grid,k}) P_{buy}(t) \end{cases} \quad (9)$$

式中:  $C_{GRID,EN}(t)$  为大电网的污染物处理成本;  $\gamma_{grid,k}$  是大电网运行产生的  $k$  类污染物的排放量;  $C_k$  是处理  $k$  类污染物的成本系数。

#### 1.2.2 微电网调度模型的目标函数

调度模型的目标函数是总成本最小, 不仅包括运营成本, 还包括环境保护成本。因此, 目标函数定义如下:

$$Z = f_1 + f_2 \quad (10)$$

式中:  $Z$  是微电网的总成本, 由微电网的运行成本和环境保护成本之和组成。

#### 1.2.3 约束条件

##### (1) 功率平衡约束:

$$\begin{aligned} P'_{PV}(t) + P'_{WT}(t) + P_{grid}(t) + P_{DE}(t) + \\ P_{MT}(t) + P_{bess}(t) = P_L(t) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{cases} P_{DE}^{\min}(t) \leq P_{DE}(t) \leq P_{DE}^{\max}(t) \\ |P_{DE}(t) - P_{DE}(t-1)| \leq r_{DE} \end{cases} \quad (12)$$

(3) 微型燃气轮机出力约束:

$$\begin{cases} P_{MT}^{\min}(t) \leq P_{MT}(t) \leq P_{MT}^{\max}(t) \\ |P_{MT}(t) - P_{MT}(t-1)| \leq r_{MT} \end{cases} \quad (13)$$

(4) 联络线传输功率约束:

$$P_{grid}^{\min}(t) \leq P_{grid}(t) \leq P_{grid}^{\max}(t) \quad (14)$$

(5) 储能装置约束:

$$\begin{cases} P_{bess}^{\min}(t) \leq P_{bess}(t) \leq P_{bess}^{\max}(t) \\ SOC^{\min}(t) \leq SOC(t) \leq SOC^{\max}(t) \end{cases} \quad (15)$$

式中:  $P_{DE}^{\max}(t)$ 、 $P_{DE}^{\min}(t)$ 、 $P_{MT}^{\max}(t)$ 、 $P_{MT}^{\min}(t)$  分别为柴油机出力, 微型燃气轮机出力的上下限;  $r_{DE}$ 、 $r_{MT}$  分别为柴油机、微型燃气轮机的爬坡功率上限;  $P_{grid}^{\max}(t)$ 、 $P_{grid}^{\min}(t)$  为联络线传输功率上下限;

$P_{bess}^{\max}(t)$ 、 $P_{bess}^{\min}(t)$  为储能装置出力上下限, 其值为正表示功率输入, 其值为负表示功率输出;  $SOC^{\max}(t)$ 、 $SOC^{\min}(t)$  为  $t$  时刻储能容量的上下限。

## 2 模型求解

微电网优化调度是典型的电力系统优化问题, 具有高维、非线性、多约束等特点<sup>[10]</sup>。与遗传算法等算法相比, PSO 算法的优化能力较强。同时, 它对优化问题求解时更容易应用。因此, 本文提出的微电网优化模型采用粒子群算法求解。

### 2.1 传统粒子群算法

PSO 算法中的每个粒子都用位置和速度矢量来描述, 其中位置矢量表示问题的可能解, 速度矢量表示位置变化的方向和大小<sup>[11]</sup>。假设粒子总数为  $M$ , 则第  $n$  个粒子在维度  $d$  中的位置和速度表示如下:

$$\begin{cases} \mathbf{X}'_n = (x'_{n1}, x'_{n2}, \dots, x'_{nd})^T, & n=1, 2, \dots, M \\ \mathbf{V}'_n = (v'_{n1}, v'_{n2}, \dots, v'_{nd})^T, & n=1, 2, \dots, M \end{cases} \quad (16)$$

每个粒子通过跟踪它们之前的个体最佳位置和群体最佳位置来调整它们的速度和位置, 这两个最佳位置表示为:

$$\begin{cases} \mathbf{P}'_n = (P'_{n,1}, P'_{n,2}, \dots, P'_{n,d}) \\ \mathbf{P}'_g = (P'_{g,1}, P'_{g,2}, \dots, P'_{g,d}) \end{cases} \quad (17)$$

式中:  $\mathbf{P}'_n$  是第  $n$  个粒子的个体最佳位置;  $\mathbf{P}'_g$  是从

PSO 算法的速度和位置更新公式<sup>[12]</sup>表示为:

$$\begin{cases} \mathbf{X}_{nd}^{k+1} = \mathbf{X}_{nd}^k + \mathbf{V}_{nd}^{k+1} \\ \mathbf{V}_{nd}^{k+1} = w' \mathbf{V}_{nd}^k + c'_1 r'_1 (\mathbf{P}_{nd}^k - \mathbf{X}_{nd}^k) + c'_2 r'_2 (\mathbf{P}_{gd}^k - \mathbf{X}_{nd}^k) \end{cases} \quad (18)$$

式中:  $w'$  是惯性权重因子。增大惯性权重因子不宜陷入局部极小值, 便于全局搜索。减小惯性权重因子有利于局部搜索, 有利于算法的收敛;  $c'_1$  和  $c'_2$  是学习因子, 它们分别反映了粒子的自我学习能力和社会学习能力;  $r'_1$  和  $r'_2$  是均匀分布在[0,1]的随机数。在标准 PSO 算法中,  $w'=1, c'_1 = c'_2 = 2$ 。

### 2.2 改进粒子群算法

PSO 算法的性能受参数的选择影响。传统 PSO 算法的惯性权重因子和学习因子是固定不变的, 容易陷入局部最优值<sup>[13]</sup>。针对这一缺点, 从惯性权重因子和学习因子两个方面对粒子群算法进行了改进。改进后的策略如下。

$$w = w_e + \frac{(w_s - w_e)(MI - IT)}{MI} \quad (19)$$

$$\begin{cases} c_1 = c_{1s} + (c_{1e} - c_{1s}) \frac{IT^2}{MI^2} \\ c_2 = c_{2s} + (c_{2e} - c_{2s}) \frac{IT^2}{MI^2} \end{cases} \quad (20)$$

式中:  $IT$  是当前迭代次数;  $MI$  是总迭代次数;  $w_s$  和  $w_e$  是惯性权重因子的初始值和终止值。在迭代初期, 较大的  $w$  使算法不宜陷入局部极小值, 便于全局搜索<sup>[14]</sup>。在迭代后期, 较小的  $w$  有利于局部搜索, 有利于算法的收敛;  $c_{1s}$  和  $c_{1e}$  是  $c_1$  的初始值和停止值,  $c_{1s}$  大于  $c_{1e}$ ;  $c_{2s}$  和  $c_{2e}$  是的初始值和停止值,  $c_{2s}$  小于  $c_{2e}$ 。在迭代初期, 大  $c_1$  和小  $c_2$  使粒子具有较好的自学习能力和较差的社会学习能力, 有利于全局搜索。在迭代后期, 小  $c_1$  和大  $c_2$  使粒子具有较强的社会学习能力和较差的自学习能力, 有利于算法的收敛。

## 3 算例结果与分析

### 3.1 算例参数

本文的微电网系统包含各种分布式电源, 包括 PV、WT、DE、MT 和储能, 微网中各个 DG 的运行参数与成本见表 1, 各个 DG 污染物排放系数及成本<sup>[15]</sup>见表 2, 储能参数见表 3。实时电价参

表 1 机组参数

Tab. 1 Unit parameters

| 参数名称            | 柴油发电机 | 风机  | 光伏 | 主网  | 燃气轮机   |
|-----------------|-------|-----|----|-----|--------|
| 功率上限/kW         | 30    | 100 | 50 | 30  | 30     |
| 功率下限/kW         | 6     | 0   | 0  | -30 | 3      |
| 爬坡功率上限/(kW/min) | 1.5   | 0   | 0  | 0   | 1.5    |
| 运维单价/(元/kW·h)   | 0.128 | 0   | 0  | 0   | 0.0293 |

表 2 污染物排放系数及成本

Tab. 2 Discharge coefficient and cost of pollutants

| 污染物             | 治理费用/ | 污染物排放系数/(g/kW·h) |    |       |     |        |
|-----------------|-------|------------------|----|-------|-----|--------|
|                 |       | 类型               | PV | WT    | DE  | Gird   |
| CO <sub>2</sub> | 0.023 | 0                | 0  | 680   | 889 | 724    |
| SO <sub>2</sub> | 6     | 0                | 0  | 0.306 | 1.8 | 0.0036 |
| NO <sub>x</sub> | 8     | 0                | 0  | 10.09 | 1.6 | 0.2    |

表 3 储能参数

Tab. 3 Energy storage parameters

| 类型  | 参数          | 数值          | 参数            | 数值  |
|-----|-------------|-------------|---------------|-----|
|     |             | 最大容量/(kW·h) | 初始储能容量/(kW·h) | 50  |
| 蓄电池 | 最小容量/(kW·h) | 5           | 最大输出功率/kW     | 30  |
|     | 最大输入功率/kW   | 30          | 充放率           | 0.9 |
|     |             |             |               |     |

微电网的典型日风、光与负荷日前预测数据如图 1 所示。

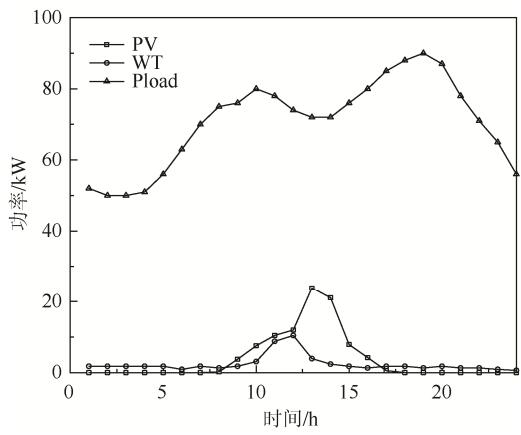


图 1 光伏、风电和负荷功率预测值

Fig. 1 Forecast value of photovoltaic power, wind power and load power

### 3.2 结果分析

#### 3.2.1 粒子群算法的比较分析

(C)1994-分别采用传统粒子群算法和改进粒子群算法(shing文提出的改进PSO算法)对传统的PSO算法进行了改进, 分别提出了改进PSO算法和传统PSO算法。

求解。传统粒子群算法中  $w' = 1, c'_1 = c'_2 = 2$ 。在改进的 PSO 算法中,  $w_s$  为 0.9,  $w_e$  为 0.4,  $c_{1s}$  和  $c_{1e}$  分别设置为 2.5 和 0.5,  $c_{2s}$  和  $c_{2e}$  分别设置为 0.5 和 2.5。这两个算法的相同参数: 粒子群大小为 100, 最大迭代次数为 500。两种方法的运行次数均为 100 次。表 4 给出了传统粒子群算法和改进粒子群算法的结果比较。

表 4 传统 PSO 与改进 PSO 比较

Tab. 4 Comparison between traditional PSO and improved PSO

|        | 传统 PSO   | 改进 PSO  |
|--------|----------|---------|
| 运行次数   | 100      | 100     |
| 运行时间/s | 389      | 366     |
| 最优值/元  | 1 750.44 | 1 582.9 |
| 平均值/元  | 1 762.3  | 1 603.8 |

从表 4 可以看出, 改进后的 PSO 算法在运行时间、最优值和平均值 3 个方面均优于传统 PSO 算法。因此, 改进的粒子群算法比传统的粒子群算法具有更好的性能。两种算法最优值收敛曲线对比如图 2 所示。

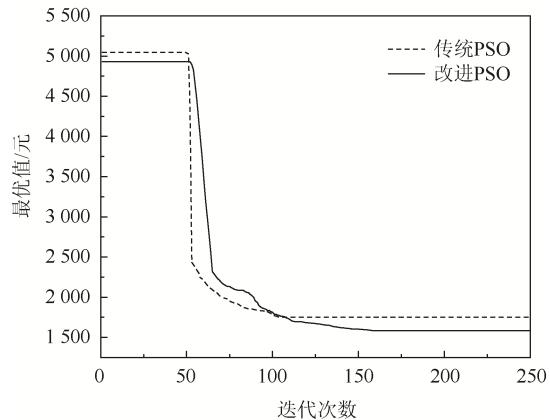


图 2 两种算法收敛曲线比较

Fig. 2 Comparison of the convergence curves between the two algorithms

从图 2 可以看出, 传统 PSO 算法的收敛速度比改进 PSO 算法快, 在第 100 代左右收敛, 而改进 PSO 算法在第 170 代左右收敛。这意味着传统的粒子群算法很容易陷入局部最优值, 而改进的粒子群算法具有更好的全局探索能力。因此, 本

### 3.2.2 目标函数的比较分析

本文提出的调度模型的目标函数是最小化微电网的总成本，包括微电网的运行成本和环保成本。为了比较目标函数对调度结果的影响，讨论了不同目标函数的调度结果。图 3 显示了不同目标函数下的调度结果。

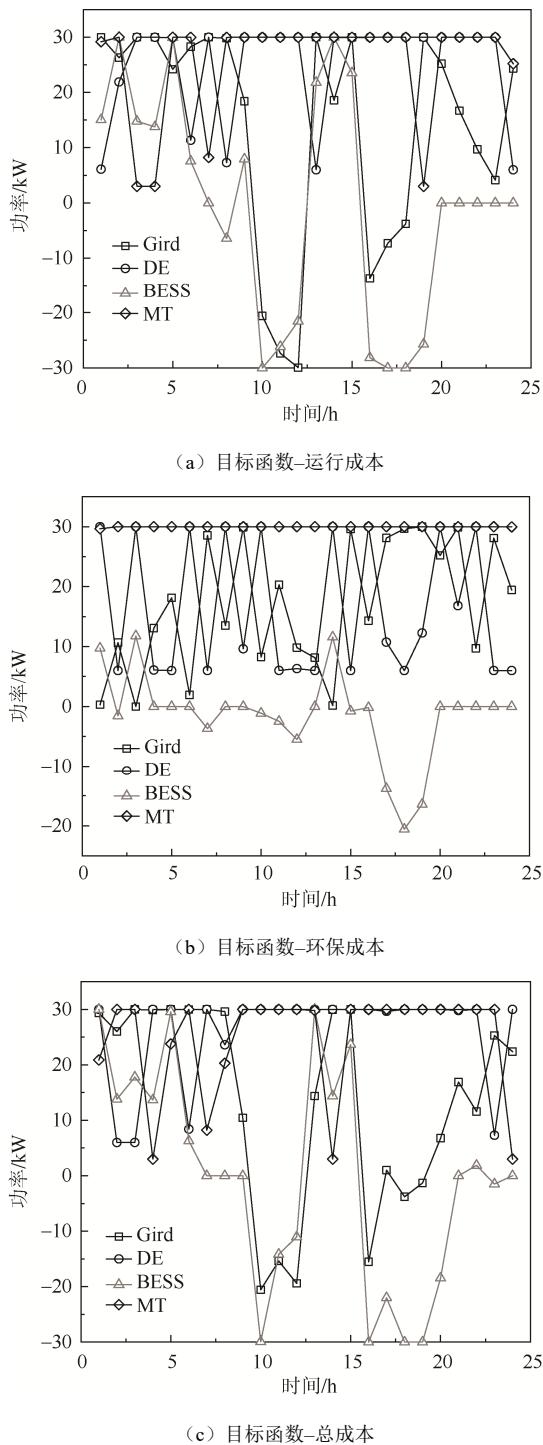


图 3 不同目标函数下的调度结果

从图 3 可以看出，无论选择哪种目标函数，储能作为辅助调节作用，电价低的时候充电，电价高的时候放电，降低了经济与环保成本。同时由于光伏和风电的总发电量不能满足系统的负荷需求，系统只能从主网购电、分布式电源输出能满足负荷需求。当选择运行成本为目标函数时，微电网首先利用 DE 发电满足负荷需求，这是因为 MT 的发电成本高于 DE 的发电成本。当选择环保成本作为目标函数时，MT 的输出功率远远高于 DE 的输出功率和购电功率，这是因为从表 2 可知，MT 的 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 排放量比 DE 和主电网小且 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的治理成本远大于 CO<sub>2</sub> 的治理成本，因此 MT 的环境保护成本比 DE 和主电网小。在选择总成本作为目标函数后，MT、DE 基本满发满足负荷需求，这是由于 MT 和 DE 的综合效益比从主网购电的综合效益大。

## 4 结论

本文以微电网系统运行成本和环境保护成本为目标构建并网模式下微电网多目标优化调度模型，并采用改进的 PSO 算法来求解提出的模型。仿真结果表明，该模型可以有效降低用户的用电成本和环境污染，促进微电网的优化运行，同时，与传统粒子群算法相比，改进粒子群算法优化精度更高。

## 参考文献：

- [1] 张军六, 樊伟, 谭忠富, 等. 计及需求响应的气电互联虚拟电厂多目标调度优化模型[J]. 电力建设, 2020, 41(2): 1-10.  
ZHANG JUNLIU, FAN WEI, TAN ZHONGFU, et al. Multi-objective optimization model of gas-electricity interconnected virtual power plant considering demand response[J]. Electric Power Construction, 2020, 41(2): 1-10(in Chinese).
- [2] HOU HUI, XUE MENGYA, XU YAN, et al. Multi-objective economic dispatch of a micro grid considering electric vehicle and transferable load[J]. Applied Energy, 2020, 262:1144.
- [3] 杨俊胜, 沈航驰, 葛鹏, 等. 粒子群优化算法[J]. 软件, 2020, 41(5): 228-230.

- al. Particle swarm optimization algorithm[J]. Computer Engineering & Software, 2020, 41(5): 228-230(in Chinese).
- [4] 徐紫东, 许志阳, 燕智超, 等. 基于粒子群算法的源网荷储微电网储能优化技术[J]. 电工技术, 2020(14): 13-15.  
XU ZIDONG, XU ZHIYANG, YAN ZHICHAO, et al. Optimization technology of energy storage and microgrid energy storage based on particle swarm algorithm[J]. Electric Engineering, 2020(14): 13-15(in Chinese).
- [5] 王丽明. 基于粒子群算法的孤岛微电网优化调度研究[J]. 电工技术, 2020(4): 55-57.  
WANG LIMING. Research on optimization dispatching of island microgrid based on PSO[J]. Electric Engineering, 2020(4): 55-57(in Chinese).
- [6] LACAL-ARANTEGUI R. Materials use in electricity generators in wind turbines state-of-the-art and future specifications[J]. Journal of Cleaner Production, 2015(87): 275-283.
- [7] 王子龙, 于东立, 门向阳, 等. 含压缩空气储能的能源互联微网型系统优化配置[J]. 电力需求侧管理, 2018, 20(6): 40-45.  
WANG ZILONG, YU DONGLI, MEN XIANGYANG, et al. Optimal configuration of energy interconnection microgrid system with compressed air energy storage[J]. Power Demand Side Management, 2018, 20(6): 40-45(in Chinese).
- [8] 甘阳. 考虑需求响应的独立微电网多目标优化配置研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2018.  
GAN YANG. Research on multi-objective optimal sizing of stand-alone microgrid considering demand response[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2018(in Chinese).
- [9] 李国庆, 翟晓娟, 李扬, 等. 基于改进蚁群算法的微电网多目标模糊优化运行[J]. 太阳能学报, 2018, 39(8): 2310-2317.
- LI GUOQING, ZHAI XIAOJUAN, LI YANG, et al. Multi-objective fuzzy optimization of micro-grid based on improved ant colony algorithm[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2018, 39(8): 2310-2317(in Chinese).
- [10] 崔杨, 姜涛, 仲悟之, 等. 考虑风电消纳的区域综合能源系统源荷协调经济调度[J]. 电网技术, 2020, 44(7): 2474-2483.  
CUI YANG, JIANG TAO, ZHONG WUZHI, et al. Source-load coordination economic dispatch method for regional integrated energy system considering wind power consumption[J]. Power System Technology, 2020, 44(7): 2474-2483(in Chinese).
- [11] HOSSAIN M A, POTA H R, SQUARTINI S, et al. Energy scheduling of community microgrid with battery cost using particle swarm optimization[J]. Applied Energy, 2019, 254(15): 1-14.
- [12] BASU M. Modified particle swarm optimization for nonconvex economic dispatch problems[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2015, 69(1): 304-312.
- [13] THARWAT A, ELHOSENY M, HASSANIEN A E, et al. Intelligent Bézier curve-based path planning model using Chaotic Particle Swarm Optimization algorithm[J]. Cluster Computing, 2019, 22(4): 1-22.
- [14] LIU Q, WANG K. Research on civil aviation universal service standard based on tessellation model and particle swarm optimization[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 106(4): 1-8.
- [15] LU X, ZHOU K, Yang S. Multi-objective optimal dispatch of microgrid containing electric vehicles[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 165(1): 1572-1581.
- [16] AMJAD A M ALIREZA S, et al. Multi-objective operation management of a renewable MG (micro-grid) with back-up micro-turbine/fuel cell/battery hybrid power source[J]. Energy, 2011, 36(11): 6490-6507.