

基于改进 PSO 算法的分布式能源供应链配置研究

潘冯超, 刘勤明, 叶春明, 李冠林

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 传统能源储备量不足导致的能源危机使得分布式能源在能源网中占比越来越高, 高效而环保的分布式能源供应链为能源互联网+智慧能源奠定了基础, 为解决分布式能源供应链供给侧各分布式模块配置问题, 以分布式能源供应链中各分布式模块的经济性问题和环保性问题为目标函数建立相关模型, 分析了分布式风能、分布式太阳能和分布式天然气模块, 研究分布式能源供应链供给侧的最优配置, 结合模拟退火算法对 PSO 算法进行改进形成改进的 PSO 算法, 并与标准 PSO 算法进行对比, 利用改进后的算法对模型进行求解, 通过算例分析验证了所建模型的可行性、算法的优越性和分布式能源供应链配置问题的有效解决方案。

关键词: PSO 算法; 配置优化; 分布式能源; 供应链

中图分类号: TP 391

文献标志码: A

Distributed energy supply chain configuration based on improved PSO algorithm

PAN Fengchao, LIU Qinming, YE Chunming, LI Guanlin

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The energy crisis caused by the shortage of traditional energy reserves makes distributed energy share higher and higher in the energy network. The highly efficient and environmentally friendly distributed energy supply chain has laid the foundation for energy Internet plus intelligent energy, and has solved the distributed block allocation problem on the supply side of distributed energy supply chain. Taking the economic and environmental problems of each distributed module in the distributed energy supply chain as the objective function, relevant models were established creatively. The distributed wind energy, distributed solar energy and distributed natural gas modules were analyzed, and the optimal allocation of the supply side of the distributed energy supply chain was studied. The PSO algorithm was improved by combining with simulated annealing algorithm to form an improved PSO algorithm. Compared with the standard PSO algorithm, the improved algorithm was used to solve the model. The feasibility of the model, the superiority of the algorithm and the effective solution of the distributed energy supply chain configuration problem were verified through the analysis of an example.

Keywords: PSO algorithm; configuration optimization; distributed energy; supply chain

收稿日期: 2020-09-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (71632008, 71840003); 上海市自然科学基金资助项目 (19ZR1435600)

第一作者: 潘冯超 (1994-), 男, 硕士研究生. 研究方向: 分布式能源供应链. E-mail: 14280250@qq.com

通信作者: 刘勤明 (1984-), 男, 副教授. 研究方向: 维护调度、人工智能等. E-mail: lqm0531@163.com

随着经济全球化的迅猛发展，世界能源消耗急剧上升，能源储备量不足导致的能源危机，促使发展清洁环保的分布式能源迫在眉睫。作为能源互联网+智慧能源重要分支的分布式能源飞速发展，分布式风力能源、分布式光伏能源、分布式天然气能源等主要分布式能源模块具有经济环保、独立性高、污染小的优点，被许多国家和地区大力倡导。我国也正不断加大对分布式能源的政策支持，分布式能源的发展初露锋芒^[1]。十三五规划“节能减排”目标要求2020年单位GDP能耗降低15%，CO₂排放量降低18%。因此，增加分布式能源在能源消费中的比重是当务之急^[2]。

目前，国内外相关学者对于分布式能源供应链配置的研究大多比较单一，少部分学者综合考虑了各类分布式能源的调度问题。隆重等^[3]针对分布式能源孤岛模式运行能力问题设计了电压控制策略，利用Lyapunov稳定性理论进行分析，解决了平衡与不平衡负荷下电压控制问题，因未考虑多能源情况，所以存在一定的局限性。Mavromatidis等^[4]在不确定性分布式能源系统中引入次优决策风险，考虑能源载体价格和排放因子进行成本最优设计，确保系统更优的性能，但其设计未考虑并网价格和需求因素的影响。Lv等^[5]以分布式能源系统作为研究对象，对区域分布式能源供应链的安全规划进行建模研究，实现分布式能源系统的经济性和稳定性。Ma等^[6]提出了一种分布式能源在线能量管理算法，用于解决能源预测调度不准确的问题，但其在线调度算法结果存在比较大的误差，不适用于大规模的能源调度。Xu等^[7]提出了一种分布式多能源管理框架，利用沼气-太阳能-风能的协调运作，建立了多能耦合矩阵，提出随机优化调度方案对分布式能源供应链进行动态优化。王丹等^[8]对分布式能源站点的选址定容进行设备规划与系统运行研究，以实现总体经济最优，降低系统运行成本，减少设备配置冗余的目的。徐聪等^[9]通过太阳能和燃料互补的分布式能源系统研究了影响系统节能效果的因素，得出改善分布式能源供应链的性能关键在于合理利用相关能源和多能源互补。杨洋等^[10]在区域能源限制背景下建立了区域能源供应链的弹性测度模型，并分析了其鲁棒性，结合区域能源实际情况，从弹性管理视角进行了定量分析。Li等^[11]设计了一种基于顺序驱动的非检测区域方法，对分布式能源网格中单一孤岛的检测区域

进行分析，并且用一种数据驱动和机器学习的方法来实现分布式能源规划和运行问题检测。但其设计的检测方法只针对分布式能源中单一孤岛的检测，未考虑多能因素，因此实用性略低。

基于上述问题，本文创新地从分布式能源供应链供给侧出发，对分布式能源供应链中的分布式风力模块、分布式光伏模块、分布式天然气等模块进行建模研究，构成一个多组织的分布式能源供应链，并对其进行配置优化和成本优化。对于分布式能源供应链供给侧的研究最主要的是能源供应链中各模块的配置问题，而本文根据各模块的功率数学表达式，将模拟退火算法运用于粒子群算法，并将改进的粒子群算法应用到分布式能源供应链配置问题上。通过算例分析，得出了分布式能源供应链中各个模块的合理配置，获得优良的配置方案，实现能源供应链各组成部分的最大经济性和最高效率性。

1 问题描述

城市的正常运行需要多种能源的支撑，包括电能需求、热能需求和气能需求，同时也需要各种能源设备来进行能源转换和存储。一般来说，分布式能源系统主要由分布式天然气模块、分布式太阳能光伏模块、分布式风力模块、能源转换管理系统、能源存储设备组成。其中：风力、光伏、天然气等模块都可以供应电能；分布式光伏集热、天然气产热等主要负责热能的供应；气能则主要由分布式天然气模块供应。能源转换管理系统主要提供多能源互相转化及输入输出控制服务，能源存储设备主要包括储电设备、储热设备和储气设备，如图1所示。

分布式能源供应链的配置在分布式能源系统中起着重要作用，利用好自然界中的风能、太阳能和天然气等分布式能源是一个城市绿色发展的重要手段。对于各种分布式能源模块的合理分配

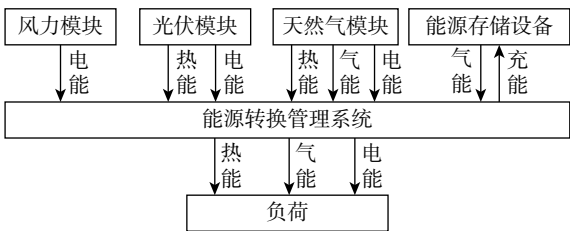


图1 分布式能源系统框架

Fig. 1 Framework of distributed energy system

及系统模型的优化,能使城市的运行兼顾经济性和环保性。本文目的就是通过对分布式能源供应链中各分布式能源模块合理分配,使城市更具经济性和环保性。

2 目标函数

2.1 环保性目标

分布式能源供应链的环保性体现在分布式能源利用率和失负荷率,能源利用率越高,失负荷率越低,“能源丢弃”的情况就越少,则能源惩罚成本越小,该分布式能源供应链就更具环保性。能源丢弃是指当能源供应大于能源需求时,多余的能源无处储存就会导致能源丢弃,储能设备虽然能减少能源丢弃的情况发生,但是当储能设备处于饱和状态时,也会出现能源丢弃现象。失负荷是指能源供应小于能源需求时,就会导致能源供应链失负荷。失负荷会导致工厂停工,停工会带来损失,所以也会产生一定的损失成本。本文引入能源惩罚最小成本,其目标函数为

$$C_1 = g_a e_a + g_b e_b \quad (1)$$

式中: C_1 为惩罚成本; g_a , g_b 分别为单位能源丢弃成本和单位能源失负荷损失成本; e_a , e_b 分别为能源丢弃量和能源失负荷量。

2.2 经济性目标

分布式能源供应链的经济性体现在分布式能源供应链中各个模块的初始建设费用、后期维护费用以及运行费用等。其中各个分布式模块的成本不一,设置合理数量的分布式模块可以使得分布式能源供应链更具经济性,经济性目标函数为

$$C_2 = C_d + C_e + C_f \quad (2)$$

式中: C_2 为经济成本; C_d , C_e , C_f 分别为设备的初始成本、运行成本和维护成本。

设备初始成本 C_d 由风力模块初始成本 C_{w0} 、太阳能模块初始成本 C_{l0} 、天然气模块初始成本 C_{g0} 、储能设备初始成本 C_{s0} 、能源管理转换初始成本 C_{t0} 组成,公式为

$$C_d = C_{w0} + C_{l0} + C_{g0} + C_{s0} + C_{t0} \quad (3)$$

运行成本 C_e 由风力模块运行成本 C_{w1} 、太阳能模块运行成本 C_{l1} 、天然气模块运行成本 C_{g1} 、储能设备运行成本 C_{s1} 、能源管理转换运行成本 C_{t1} 组成,公式为

$$C_e = C_{w1} + C_{l1} + C_{g1} + C_{s1} + C_{t1} \quad (4)$$

维护成本 C_f 由风力模块维护成本 C_{w2} 、太阳能模块维护成本 C_{l2} 、天然气模块维护成本 C_{g2} 、储能设备维护成本 C_{s2} 、能源管理转换维护成本 C_{t2} 组成,公式为

$$C_f = C_{w2} + C_{l2} + C_{g2} + C_{s2} + C_{t2} \quad (5)$$

综合以上目标函数,分布式能源供应链目标函数整合后的总成本公式为

$$C = C_1 + C_2 \quad (6)$$

3 约束条件

分布式能源供应链系统中,有许多条件限制,比如总功率限制,分布式风力、太阳能、天然气装机容量限制,城市最高失负荷率限制及储能设备容量限制等,总功率和各个模块的参数都应该在这些限制范围内,否则可能会存在系统风险。

系统总功率平衡限制:

$$P_l(t) + P_a(t) + P_c(t) = P_w(t) + P_s(t) + P_g(t) + P_d(t) + P_b(t) \quad (7)$$

式中: $P_l(t)$, $P_a(t)$, $P_c(t)$, $P_w(t)$, $P_s(t)$, $P_g(t)$, $P_d(t)$, $P_b(t)$ 分别为 t 时段内,分布式能源供应链系统中负荷功率,丢弃功率、充能功率、风力功率、太阳能功率、天然气功率、放能功率和失负荷功率,单位为 kW。

装机容量限制:

$$N_{Wmin} \leq N_W \leq N_{Wmax} \quad (8)$$

$$N_{Lmin} \leq N_L \leq N_{Lmax} \quad (9)$$

$$N_{Gmin} \leq N_G \leq N_{Gmax} \quad (10)$$

$$N_{Smin} \leq N_S \leq N_{Smax} \quad (11)$$

式中: N_W , N_L , N_G , N_S 分别为风力模块、太阳能模块、天然气模块及储能设备的实际装机容量; N_{Wmin} , N_{Wmax} , N_{Lmin} , N_{Lmax} , N_{Gmin} , N_{Gmax} , N_{Smin} , N_{Smax} 则分别为各模块的装机上、下限。

城市最高失负荷率限制:

$$L = \sum_{t=1}^T P_b(t) / \sum_{t=1}^T P_l(t) \quad (12)$$

$$L < L_{set} \quad (13)$$

失负荷是指能源供应满足不了能源需求导致系统停止运行的现象,失负荷率是失负荷与负荷之比,失负荷率是一个城市运行效率的重要评价指标, L_{set} 则是一个城市最高失负荷率的限制,分

布式能源供应链的运行必须低于这个数值，才能投入使用。

储能设备容量限制:

$$S_{\min} < S < S_{\max} \tag{14}$$

式中： S 为储能设备的实际容量； $S_{\min}$ ， $S_{\max}$ 分别为储能设备的最小容量值和最大容量值。

4 数学模型

本文研究的分布式能源供应链模型中主要包含分布式风力模块、分布式光伏模块、分布式天然气模块和能源转换管理存储设备等。各个模块的模型既是独立模型，每个模块模型又有一定的关联，组成整个分布式能源供应链。风电机组是风力发电的主要部件，通过风带动风轮转动切割磁场产生电能，电量的产能大小跟风速和风轮的转速有关。风能转化电能的相关数学公式如下：

$$P = \eta P_m \tag{15}$$

$$P_m = \frac{1}{2} C_p \rho \pi R^3 v^2 \tag{16}$$

$$P_{WT} = \begin{cases} 0, & 0 \leq v \leq v_{ci}, v > v_{co} \\ P_r \frac{v - v_{ci}}{v_{cr} - v_{ci}}, & v_{ci} \leq v \leq v_{cr} \\ P_r, & v_{cr} \leq v \leq v_{co} \end{cases} \tag{17}$$

式中： P_m 为风力发电机的输出功率； η 为风机效率； C_p 为风力发电机把风能转化为电能的效率系数；由于风能转化为电能的过程中能量损耗，通常情况下风能的最大利用系数约为0.593； R 为风轮半径； ρ 为空气密度(1.2 kg/m³)； v 为自然条件下的风速。

风力发电机输出功率与风速的关系一般可用分段函数(17)表示：当风速低于风轮切入速度 v_{ci} 或大于风机切出速度 v_{co} ，风机不发电，功率为0；当风速大于风轮切入速度时，风机发电，发电功率与风速为一次函数关系；当风速到达风轮额定切入速度 v_{cr} 时，风机达到额定输出功率 P_r 并保持不变。

分布式光伏模块是太阳光转化为电能或热能的模块，也是社会生活中随处可见的一种技术，如家用太阳能热水器、太阳能发电、公路的路灯以及高速公路上的各类警示牌，可见分布式光能的发展前景之广。国内外相关学者对太阳光照强度的分布情况进行了很多的研究，结果表明可以用贝塔分布来近似描述，其概率密度函数如下^[12]：

$$f(G(t)) = \Gamma(\alpha + \beta) \left(\frac{G(t)}{G_{\max}} \right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{G(t)}{G_{\max}} \right)^{\beta-1} \Gamma(\alpha)(\beta) \tag{18}$$

式中： $G(t)$ ， $G_{\max}$ 分别为光伏随机出力和最大出力； Γ 为伽马函数； α ， β 为光照强度的贝塔分布形状参数。

光伏发电由于环境温度、光照强度等不确定性因素，其输出功率也存在间歇性与随机性，模型数学公式可表示为

$$P_s = f_s P_{STC} \frac{G_T}{G_{STC}} [1 + \alpha_p (T_c - T_{STC})] \tag{19}$$

式中： P_s 为光伏发电模块的输出功率，kW； f_s 为光伏发电模块实际输出功率与额定功率之比，一般取值为0.9； P_{STC} 为光伏发电模块标准条件下的额定功率； G_T 为光伏模块上总光照强度，kW/m²； G_{STC} 为标准条件下太阳光强度(1 kW/m²)； α_p 为功率温度系数，%/℃，一般取值为-0.47%/℃； T_c 为光伏模块表面温度，℃； T_{STC} 为光伏模块标准温度(25℃)。

分布式天然气模块是通过燃气轮机对天然气进行燃烧，转化为电能或热能的装置。相对于传统火力发电装置和煤燃烧产热装置，燃气轮机的效益更高，污染也小很多。因此，我国北方很多地区都已实现煤改气，采用天然气供暖供电。研究表明，燃气轮机消耗的天然气量与输出功率之间的关系为

$$F_g = \frac{\alpha_g + \beta_g P_g + \gamma_g P_g^2}{V} \tag{20}$$

式中： F_g ， P_g 分别为燃气轮机消耗气量和功率； $\alpha_g, \beta_g, \gamma_g$ 为燃气轮机的耗气量曲线决定因子； V 为天然气固定高热值，一般取值为10.35(kW·h)/m³。

储能设备是平衡分布式能源供应链中各模块出力的装置，用来储存多余的能源。比如白天的时候太阳光强烈，但热能需求低，储能设备就可用于储存多余的热能，供晚上热能需求大的时候使用，这种装置可以有效提高分布式能源供应链中能源利用率。能源转换管理设备则是用于能源之间的转换及管理，如当能源供应大于需求时，需要能源转换管理设备将多余的能源充入储能设备进行储备，否则需要其对储能设备进行放能操作。此外，能源转换管理设备还兼具能源转换的功能，如电能转化为热能或热能转化为电能等功能。储能设备在分布式能源供应链中的作用十分

重要, 它既能提高可再生能源使用率, 使新能源具有更好的性价比, 还能降低能源供应链的弃能率, 提高供应链整体的经济性。

储能设备的相关参数由储能容量、自放能损耗和充放能效率组成, 通过功率计算可以得出其各参数值。

- a. 当储能设备充能时, 表达式为
- $$S = \frac{P_y \mu_c}{S_e(1 + \theta)} \tag{21}$$
- b. 当储能设备放能时, 表达式为
- $$S = \frac{P_u}{S_e(1 + \theta)\mu_d} \tag{22}$$

式中: S_e 为额定容量, kW·h; P_y , P_u , μ_c , μ_d , θ 分别表示充能功率、放能功率、充能效率、放能效率、自放能率。

5 分布式配置解决方案

5.1 PSO 算法

PSO 算法(粒子群算法)假设 N 维空间中有 n 个无质量、无体积的粒子, 向量 $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN})$ 表示它们的位置, 向量 $\mathbf{v}_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iN})$ 表示它们的移动速度。每个粒子都有其目标函数决定的适度值, 粒子在移动中寻找自己最优的位置 $\mathbf{p}_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iN})$, 和邻域粒子的最优位置 $\mathbf{g}_i = (g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{iN})$ 。粒子通过不断移动, 更新迭代得到新的位置参数, 它们的速度和位置更新公式为^[13]

$$v_{ij}(t+1) = \omega v_{ij}(t) + c_1 r_1 (p_{iN}(t) - x_{iN}(t)) + c_2 r_2 (g_{iN}(t) - x_{iN}(t)) \tag{23}$$

$$x_{ij}(t+1) = \omega v_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \tag{24}$$

式中: ω 为惯性参数, 当 $\omega > 1$ 时, 粒子运动加速, 当 $\omega < 1$ 时, 粒子运动减速, 现大多研究者对 ω 取值从 0.9 递减至 0.4; c_1 , c_2 为学习参数, 一般取 $c_1 = c_2 = 2$; r_1 , r_2 为 $[0, 1]$ 的随机数; $x_{ij}(t+1)$ 为粒子 i 在第 j 维度迭代 $t+1$ 次的位置参数, $v_{ij}(t+1)$ 为粒子 i 在第 j 维度迭代 $t+1$ 次的速度参数。

PSO 算法的主要流程如图 2 所示。

5.2 改进的 PSO 算法

PSO 算法具有规则简单、优化多维函数速度快、精度高等优点, 但也存在一定的局限性。规则简单导致易出现局部最优而结束算法, 得出的最终结果存在较大误差。针对此, 本文创新地结

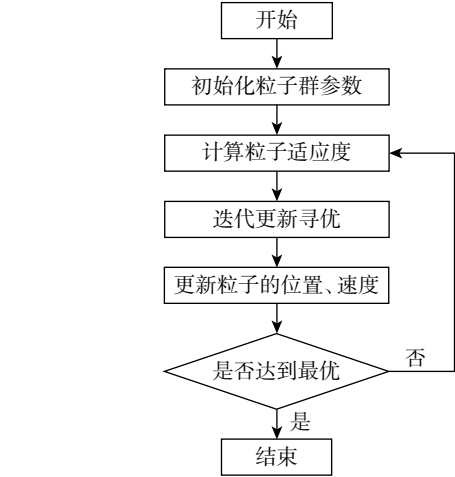


图 2 PSO 算法流程
Fig. 2 Flow chart of PSO algorithm

合模拟退火算法^[14]具有跳出局部最优能力的特点, 对 PSO 算法进行改进, 得到一个具有全局搜索能力强、精度高、速度快并且可以避免陷入局部最优的改进算法。

改进 PSO 算法在每次迭代更新到当前最优点时, 利用模拟退火算法具有跳出局部最优的能力, 产生新的最优点, 再跟之前最优相比较, 得出真实全局最优点。具体步骤如下:

- 步骤 1 初始化每个粒子的速度参数、位置参数、初始温度 $T(0)$;
- 步骤 2 计算退火温度 $T(t+1) = \varphi T(t)$, 其中, φ 为退火常数, $\varphi \in (0, 1)$, 通过模拟退火算法粗略搜索得到初始解;
- 步骤 3 根据模拟退火算法迭代粗略搜索产生的初始解, 对初始解利用标准 PSO 算法进行精确搜索;
- 步骤 4 判断全局最优是否达到最大迭代次数或满足收敛准则, 如果是, 则输出结果, 否则转至步骤 2。

改进 PSO 算法流程如图 3 所示。

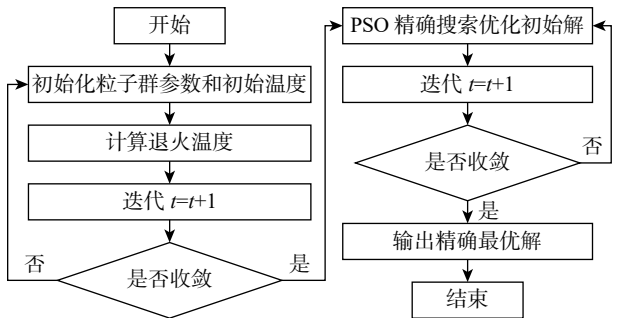


图 3 改进 PSO 算法流程
Fig. 3 Flow chart of improved PSO algorithm

5.3 算法求解

采用改进的 PSO 算法对分布式能源供应链模型进行求解,以一年为优化时间段,时间为 8 760 h,步骤如下:

- a. 输入 N 种分布式能源模块相关参数、风速、光照、温度数据、历史需求数据;
- b. 初始化粒子群的速度参数和位置参数,维数为 N ;
- c. 通过各分布式模块计算产能总功率和当前时刻符合功率的差值,当差值不为 0 时,则视为功率不平衡;
- d. 根据当前时刻储能设备工作状态、燃气轮机工作情况判断当前时刻供应链是功率过剩还是失负荷;
- e. 根据本文研究提出的目标函数,在约束条件下,求解初始参数进行退火操作后的初始解;
- f. 对模拟退火算法得出的粗略最优值进行 PSO 算法迭代操作;
- g. 不断迭代直到最大迭代或满足收敛条件,然后输出全局最优值,此时最优位置对应的各维度值即为分布式能源供应链各分布式模块的配置优化结果。

6 算例分析

6.1 算例介绍及参数设置

本研究以 2017 年上海崇明岛某小渔村的分布式能源供应链进行算例分析,根据气象局及统计局相关历史数据显示,此小渔村的平均光照强度约 $3.21(\text{kW}\cdot\text{h})/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,年平均风速 6.15 m/s ,全年每小时平均能源需求量 145.79 kW ,最大需求 393.99 kW 。小渔村配备有分布式风力模块、分布式太阳能模块、分布式天然气模块、储能设备和能源转换管理设备,其寿命都为 20 年,各模块参数如表 1 所示。

表 1 风力模块参数

Tab.1 Parameters of wind power module

模块类型	额定功率/ kW	初始成本/ (元·台 ⁻¹)	运行成本	维护成本/ (元·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)
风力模块	30	600 000	200元/(kW·a)	0.001
太阳能模块	0.18	2000	10元/(kW·a)	0.002
天然气模块	100	55 000	15元/(kW·a)	0.04
储能模块	1.2	1 200	5元/(台·a)	0.1

根据本文算法处理的数据量和相关学者研究历史经验,在算法的参数设置上,粒子群数量为 300,最大迭代次数为 300,学习参数为 2,惯性参数前期为 0.9,后期为 0.4;退火算法中初始温度按照通常设置为 $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$,降温系数 0.99 固定,迭代次数也为 300。在本算例中,设置的最大失负荷率为 1%,风力模块的切入和切出速度分别为 3 m/s 和 25 m/s ,额定风速为 11 m/s ,储能设备上下限分别为 0.95 和 0.5。根据该渔村历史失负荷和弃能所产生的经济损失和能源浪费历史数据,本渔村的失负荷率惩罚为 7.02 元/kW ;弃能惩罚为 3.3 元/kW 。

6.2 结果分析及比较

基于上文所提供的数据和设置的相关参数,对建立的多目标函数模型进行算法分析求解,对模型分别进行标准 PSO 算法和改进 PSO 算法操作,得到优化后的最终结果,如表 2 所示。标准 PSO 算法与改进 PSO 算法对分布式模块的配置如图 4 所示,一年中每月平均负荷情况经过算法优化后,各分布式模块出力情况组合如图 5 所示。

表 2 改进 PSO 算法与标准 PSO 算法优化结果对比
Tab.2 Comparison of optimization results between improved PSO algorithm and standard PSO algorithm

算法	模块数量				失负荷率/弃能率/		总成本/ 万元
	风力	太阳能	天然气	储能设备	%	%	
标准PSO	2	1596	4	645	0.07	1.77	1637
改进PSO	5	2735	1	297	0.06	1.75	1469

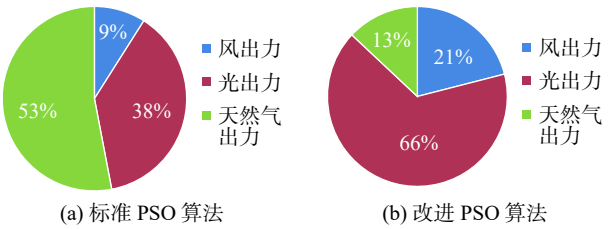


图 4 能源分布式配置
Fig.4 Distributed energy allocation

从表 2、图 4、图 5 可以得出,标准 PSO 算法优化结果显示天然气模块出力占比最大,而更好的可再生能源风力模块和光伏模块只占了不到一半,总成本为 1637 万元。而改进后的 PSO 算法优化结果显示光伏模块出力占比最大,且成本、失负荷率及弃能率都要比标准 PSO 算法低,总成本为 1469 万元。根据优化后的结果数据对比可得:在总成本上改进 PSO 算法的优化结果比标准

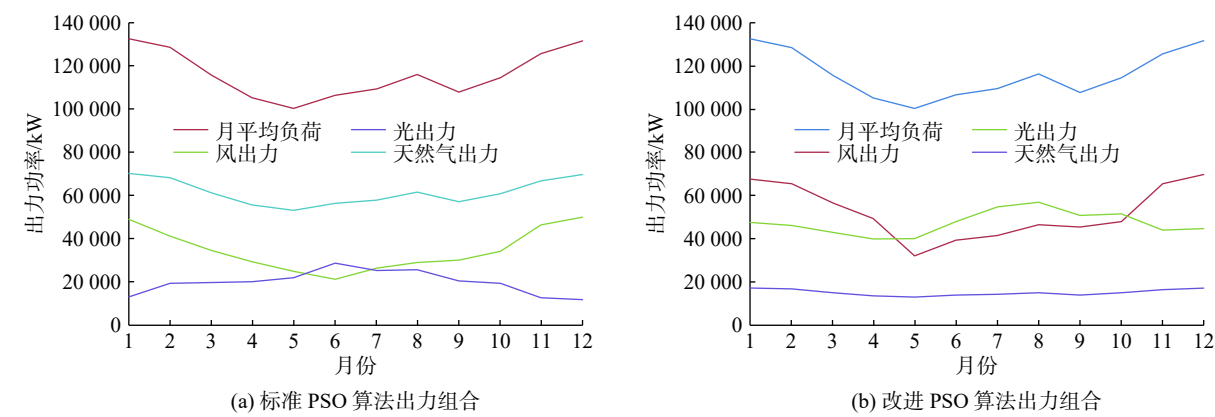


图 5 分布式出力组合配置

Fig.5 Distributed output combination configuration

PSO 算法的优化结果降低了 168 万元，优化配置率超过 10 个百分点。

7 结 论

聚焦于分布式能源供应链供给侧各分布式模块配置，以分布式能源供应链中环保性问题和经济性问题的目标函数为创新点，在一定的约束条件下利用改进的 PSO 算法对各分布式模块优化配置，使得供应链达到既经济又环保的目的。PSO 算法是求解多维函数优化模型常用的方法，本文针对标准 PSO 算法容易陷入局部最优的缺陷，结合模拟退火算法能跳出局部最优的特性，对标准 PSO 算法进行改进，得到一个可以避免陷入局部最优的改进 PSO 算法。改进的 PSO 算法在求解多维函数优化问题时不易陷入局部最优，相比标准 PSO 算法具有更好的收敛性。最后根据算例对建立的分布式能源供应链供给侧模型进行了算例分析，利用 PSO 算法和改进 PSO 算法进行优化结果对比，对每个分布式模块配置进行图表分析，算例结果验证了改进算法的优越性和模型的可行性。

参考文献：

[1] 侯健敏,周德群. 我国分布式能源的政策演变与三阶段、四模式发展 [J]. *经济问题探索*, 2015(2): 126–132.

[2] 韩中合,祁超,刘明浩. 十三五规划“节能减排”目标实现路径研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(3): 23–27.

[3] 隆重,戴宇辰,杨成顺,等. 孤岛分布式能源系统的反步控制策略研究 [J]. *南京信息工程大学学报(自然科学版)*, 2018, 10(2): 178–184.

[4] MAVROMATIDIS G, OREHOUNIG K, CARMELIET J. Design of distributed energy systems under uncertainty: a

two-stage stochastic programming approach[J]. *Applied Energy*, 2018, 222: 932–950.

[5] LV Z H, KONG W J, ZHANG X, et al. Intelligent security planning for regional distributed energy internet[J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2020, 16(5): 3540–3547.

[6] MA W J, WANG J H, GUPTA V, et al. Distributed energy management for networked microgrids using online ADMM with regret[J]. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2018, 9(2): 847–856.

[7] XU D, ZHOU B, CHAN K W, et al. Distributed multienergy coordination of multimicrogrids with biogas-solar-wind renewables[J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2019, 15(6): 3254–3266.

[8] 王丹, 孟政吉, 贾宏杰, 等. 基于配置-运行协同优化的分布式能源站选型与定容规划 [J]. *电力自动化设备*, 2019, 39(8): 152–160.

[9] 徐聪, 刘泰秀, 隋军, 等. 多能源热互补分布式能源系统的节能率评价方法 [J]. *电力系统自动化*, 2018, 42(4): 151–157.

[10] 杨洋, 刘旭, 浮豪豪. 基于贝叶斯后验概率的能源供应链弹性研究 [J]. *软科学*, 2018, 32(6): 103–107.

[11] LI Y, ZHANG P, LI W Y, et al. Nondetection zone analytics for unintentional islanding in a distribution grid integrated with distributed energy resources[J]. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2019, 10(1): 214–225.

[12] 李元香, 项正龙, 夏界宁. 模拟退火算法的动力系统模型及收敛性分析 [J]. *计算机学报*, 2019, 42(6): 1161–1173.

[13] 任洲洋. 光伏时空概率模型及其在电力系统概率分析中的应用 [D]. 重庆: 重庆大学, 2014.

[14] 张利彪, 周春光, 马铭, 等. 基于粒子群算法求解多目标优化问题 [J]. *计算机研究与发展*, 2004, 41(7): 1286–1291.