

基于改进 GSA-GWO 算法的含分布式电源 局部电网孤岛划分策略

张 丹¹, 赛翔羽¹, 曾丕江¹, 武明康^{2,3}, 瞿佳刘^{2,3}

(1.云南电网有限责任公司电力调度控制中心, 云南 昆明 650217; 2.直流输电技术国家重点实验室(南方电网科学研究院), 广东 广州 510663; 3.广东省新能源电力系统智能运行与控制企业重点实验室, 广东 广州 510663)

摘要: 为进一步提高局部电网在故障恢复过程中的高效性和可靠性, 文章提出了一种基于改进 GSA-GWO 算法的局部电网故障下孤岛划分策略。首先, 采用最优-最劣法对负荷进行评价, 得到负荷权重值, 从而确定局部电网故障下孤岛划分重要负荷恢复优先级; 其次, 结合负荷优先级确定负荷等级权重系数值, 构建含分布式电源的局部电网孤岛划分目标函数模型; 再次, 为了获取更佳的目标函数求解结果, 引入混沌反向学习和遗传退火算法(Genetic Simulated Annealing, GSA)对灰狼优化算法(Grey Wolf Optimization, GWO)进行改进, 以提高算法的优化性能; 最后, 以修改后的 IEEE 69 节点为例进行仿真分析, 运用改进的 GSA-GWO 算法对局部配电网故障模型进行求解, 得到更佳的孤岛划分结果。算例分析表明, 文章提出的策略可准确实现局部电网故障下孤岛划分最优策略, 保证了重要负荷的电力供应, 验证了策略的有效性和优越性。

关键词: 局部电网; 分布式电源; 孤岛划分; 恢复供电

中图分类号: TK51; TK81; TM919 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2024)04-0538-08

0 引言

分布式电源(Distributed Generation, DG)的高渗透率对传统局部配电网产生了新的冲击^[1-3]。在局部电网发生故障时, 可以通过切换至独立供电模式, 使周边区域电网在孤立运行状态下继续提供电力^[4]。在局部电网发生故障时, 借助孤岛运行的特点, 不仅能够利用 DG 确保关键负载的持续供电, 而且还可以通过合理的规划和有效的控制手段, 防止 DG 对整个系统安全性产生负面影响^[5]。因此, 建立科学合理的孤岛运行机制能够有效发挥 DG 的优势, 增强对重要负荷的持续供电能力^[6,7]。

围绕局部配网孤岛划分问题, 国内外学者展开了一系列的探索研究。文献[8,9]利用潮流计算提出了功率圆的概念, 以最小化负荷失电损失为目标进行孤岛划分。文献[10]提出了两阶段鲁棒优化模型, 并基于对偶理论和列生成算法迭代实现模型求解, 能有效应对局部配电网结构的复杂性, 保证孤岛划分方案的可行性。然而, 将负载切除和孤岛划分视为统一整体进行求解不利于最

优解的生成。文献[11]考虑了负荷重要性和联络开关等多个因素, 通过建立两个目标函数, 以支路和节点优先级作为启发式约束提出了一种孤岛划分的方法。上述研究均仅考虑单个时间断面, 忽略了 DG 出力的波动性。文献[12,13]提出了一种两阶段配电网重构孤岛划分模型, 该模型以 DG 的装机容量为直径构成约束圆, 将供电恢复量嵌入约束圆中, 以此解决孤岛划分问题。但在这个过程中, 没有综合考虑负荷的优先级和线路损耗。文献[14]提出了基于预测控制的孤岛微电网支撑方法, 通过协调负载电压和参考电压实现孤岛正常运行。但这种方法在应对多变的局部电网环境时并不适用。

孤岛划分就是求解一组合理的解列, 目前孤岛划分求解方法主要分为启发式算法、人工智能算法和数学优化算法^[15-17]。文献[18]引入配电网的有根树模型, 提出了孤岛圈和供电恢复系数的概念解决孤岛划分问题。文献[19]基于负荷赋权的结构图, 提出了一种基于改进的遗传退火算法对配电网进行孤岛划分。以上方法均是通过启发式算

收稿日期: 2023-11-20。

基金项目: 云南电网公司科技项目(YNKJXM20220025); 国家重点研发计划项目(2022YFB2403505)。

作者简介: 张 丹(1980-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统稳定分析与控制。E-mail: zhang1006005@126.com

法或人工智能算法进行求解,在求解过程中会产生大量不可行解,且收敛速度较慢。文献[20]采用马尔科夫-蒙特卡洛法对负荷进行分时段孤岛划分,该策略兼顾了需求侧响应和静态安全约束,该方法难以避免多维度场景下和计算量大而导致的寻优难的问题。

综上所述,考虑到局部电网孤岛划分策略的不足,本文提出一种基于改进 GSA-GWO 算法的局部电网故障下孤岛划分策略。为了得到更佳的负荷权重值,本文通过考虑负荷的多个属性以及用户对这些属性的偏好,确定负荷的重要程度,获得负荷的权重值;根据权重值赋予含分布式电源的局部电网中负荷权重系数,从而构建孤岛划分目标函数模型。由于传统求解方法在面对大量数据求解时容易陷入局部最优解,导致求解困难,因此本文采用混沌反向学习方法优化 GSA-GWO 算法并对目标函数模型进行求解,得到局部孤岛划分方案,提高了求解精度。

1 总体框架

本文提出的孤岛划分方法具体框架如图 1 所示。本文全面考虑负荷的多样性以及用户对重要负荷的偏好,可以充分展示负荷的综合重要程度。与仅专注于负荷的单一属性相比,本文所提的方法成功地克服了狭隘性的缺陷;同时,考虑负荷恢复量最高、网络损耗最少以及电压偏差最小建立目标函数模型。为了提高求解模型的精度,构建了一种混沌反向学习方法的新算法,通

过该方法对灰狼算法的初始种群进行初始化处理,加速算法的收敛速度并确保算法具有较好的搜索范围。灰狼优化算法与其他人工智能优化算法相比,在一些复杂问题上收敛速度较慢,因此,引入遗传退火算法中的变异、交叉、选择等算子增强其性能。将边界相邻的孤岛进行融合,减少网络损耗。

2 负荷权重值计算

负荷权重受多种因素影响,采用单一指标无法充分反映其整体价值。为了更全面地评价负荷的价值,本文综合考虑了峰谷差量、最大用电量以及用户对负荷的偏好 3 个指标。采用最优-最劣 (Best-Worst Method, BWM) 主观评价方法进行评价,此方法涉及多个主观标准,决策者首先须要明确各评价准则中的最佳和最差情况;然后通过逐一比较这两个准则与其他所有准则,从而确定目标主体的权重,帮助决策者量化其对各准则的相对重要性。具体流程如下。

①构建一组指标集合 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, 选择出其中的最优指标 C_B 和最差指标 C_W , 用来描述对目标主体的评价, 这组指标集合总共包括 n 个评估对象的指标。

②创建判断矩阵 $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}), A_W = (a_{W1}, a_{W2}, \dots, a_{Wn})$, 本文使用数字 1~9 来衡量最优指标 C_B 和最差指标 C_W 相对于其他不同指标的重要程度值,数值越大指标越重要。

③定义最优权重集合 (w_1, w_2, \dots, w_n) , 该最优权重集合将满足 $\{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_W - a_{Wj}w_j|\}$, 其中: w_B, w_W 分别表示最优指标 C_B 与最差指标 C_W 的权重; a_{Bj}, a_{Wj} 分别表示最优指标 C_B 与最差指标 C_W 相对于指标 j 的重要程度。所有指标权重之和为 1, 且权重为非负值。

④根据各个节点权重值进行排序, 划分成 3 个负荷重要等级, 分为一级、二级、三级负荷集合。

3 局部电网孤岛划分模型

3.1 目标函数

由孤岛划分原则可知, 局部电网孤岛划分是一个多目标优化问题, 恢复目标如下。

①负荷恢复量最高

$$f_1 = \max \left(\omega_1 \sum_{i=1}^{M_1} R_{L_i} \frac{P_{L_i}}{P_{L,1}} + \omega_2 \sum_{i=1}^{M_2} R_{L_i} \frac{P_{L_i}}{P_{L,2}} + \omega_3 \sum_{i=1}^{M_3} R_{L_i} \frac{P_{L_i}}{P_{L,3}} \right) =$$

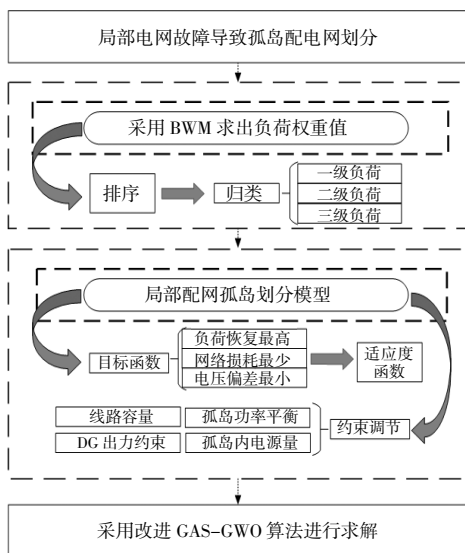


图 1 孤岛划分方法流程

Fig.1 Flow chart of island division method

$$\min \left(-\omega_1 \sum_{i=1}^{M_1} R_{L_i} \frac{P_{L_i}}{P_{L,1}} - \omega_2 \sum_{i=1}^{M_2} R_{L_i} \frac{P_{L_i}}{P_{L,2}} - \omega_3 \sum_{i=1}^{M_3} R_{L_i} \frac{P_{L_i}}{P_{L,3}} \right) \quad (1)$$

式中： f_1 为孤岛划分负荷量； M_1, M_2, M_3 分别为一级、二级、三级负荷集合； $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别为一级、二级、三级负荷权重值； P_{L_i} 为负荷 L_i 的功率； $P_{L,1}, P_{L,2}, P_{L,3}$ 分别为局部电网区域内所有一级、二级、三级负荷功率之和； R_{L_i} 表示负荷 L_i 是否纳入孤岛内。

$$R_{L_i} = \begin{cases} 1, & \text{负荷 } L_i \text{ 纳入孤岛} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

②网络损耗最少

$$f_2 = \sum_{i \in N_{\text{bus}}} \sum_{j \in c(i)} r_{ij} I_{ij}^2 \quad (2)$$

式中： N_{bus} 为电网节点数； $c(i)$ 为电网中与节点 i 相邻的电网集合； r_{ij} 为支路 i 与支路 j 之间的电阻； I_{ij} 为电流的平方值。

③电压偏移最小

$$f_3 = \min \sum |U - U_i| \quad (3)$$

式中： U 为基准电压； U_i 为节点 i 的电压。

3.2 适应度函数

在采用目标规划法构建适应度函数的过程中，首先明确每个独立目标函数的最佳值；然后将每个目标函数的最佳值与其原始的实际值之间的距离整合为一体，再进行标准化处理，达到消除量级的影响，完成适应度函数的计算，从而形成一个综合指标，用于评估个体在多目标优化问题中的适应性。

$$\min f(M) = \sum_{z=1}^z \left[1 - \left| \frac{f_z(M) - f_z(M^*)}{\text{Range}_z} \right| \right] \quad (4)$$

式中： z 为目标函数的数量； $f_z(M), f_z(M^*)$ 分别为第 z 单目标函数的实际值与优化后形成的最优值； Range_z 为目标函数的取值范围，本文定义为目标函数的最大值与最小值之差。

3.3 约束条件

①孤岛功率平衡约束

局部电网进行孤岛划分时，单个孤岛内新能源出力须满足：

$$\sum_{i=1}^M P_{G,i} \geq \sum_{j=1}^N P_{L,j} \quad (5)$$

式中： $\sum_{i=1}^M P_{G,i}$ 为孤岛内新能源出力之和； $\sum_{j=1}^N P_{L,j}$ 为孤岛内节点负荷有功功率之和。

②线路容量约束

$$P_{ij}^{\min} \leq P_{ij} \leq P_{ij}^{\max} \quad (6)$$

式中： $P_{ij}^{\min}, P_{ij}^{\max}$ 分别为支路 ij 上允许传输功率的极值。

③孤岛内电源数量

每个孤岛内至少包含一个分布式电源，能够对孤岛范围内的失电负荷进行供电。

④DG 出力约束

$$\begin{cases} P_{\text{DG},\min} \leq P_{\text{DG}} \leq P_{\text{DG},\max} \leq S_{\text{DG}} \\ 0 \leq Q_{\text{DG}} \leq P_{\text{DG},\max} \tan \varphi \end{cases} \quad (7)$$

式中： $P_{\text{DG},\max}, P_{\text{DG},\min}$ 为 DG 有功出力的极值； S_{DG} 为 DG 的容量； φ 为功率因数角。

4 基于改进 GAS-GWO 算法的求解策略

本文提出了一种改进的 GAS-GWO 算法，旨在求解局部电网孤岛划分模型；引入了适应度函数计算选择机制，可以根据不同的情况灵活地选择使用灰狼优化算法或遗传模拟退火算法。

4.1 灰狼优化算法

灰狼优化算法(GWO)是一种启发式数学优化算法，该算法模拟了灰狼的游走、包围和攻击策略，用于求解数学问题并找到最优解。本文采用灰狼算法解决多目标函数问题，通过迭代循环，找到狼群中排名最高的 α 狼，即目标函数的最优解。除此之外，还可得出次优解狼群等级，按照降序进行排列为 β, δ, η 。该算法通过模拟狼群的勘探、包围和攻击行为求解目标函数。

①包围猎物

$$\begin{cases} S = |C_i \times I_{\text{prey}}(t) - I(t)| \\ I(t+1) = I_{\text{prey}}(t) - A \times S \\ A = 2ar_1 - a \end{cases} \quad (8)$$

式中： S 为参数距离； $I_{\text{prey}}(t)$ 为猎物当前位置； $I(t)$ 为灰狼个体经过 t 次迭代后的位置； A 为随机数； C_i 为扰动系数参数， $i=1, 2, 3$ ； a 为收敛因子； r_1 为 0~1 内的随机数。

②捕食猎物

狼群在 α, β, δ 狼的带领下不断靠近猎物，在这个过程中，它们的位置是动态变化的，直到捕猎成功为止。该行为的数学模型计算式为

$$\begin{cases} S_\alpha = |C_1 \times I_\alpha(t) - I(t)| \\ S_\beta = |C_2 \times I_\beta(t) - I(t)| \\ S_\delta = |C_3 \times I_\delta(t) - I(t)| \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} I_1=I_\alpha-A_1\times S_\alpha \\ I_2=I_\beta-A_2\times S_\beta \\ I_3=I_\delta-A_3\times S_\delta \end{cases} \quad (10)$$

$$I(t+1)=\frac{I_1+I_2+I_3}{3} \quad (11)$$

式中: $S_\alpha, S_\beta, S_\delta$ 分别为 α, β, δ 狼与其他狼之间的距离; I_1, I_2, I_3 分别为 α, β, δ 狼与其他狼之间的影响; $I(t+1)$ 为灰狼个体在 α, β, δ 狼引导后的位置。

4.2 基于混沌反向学习的参数优化

本文采用了混沌初始化技术和反向学习策略相融合的方法,形成了一种混沌反向学习方法。通过该方法对灰狼算法的初始种群进行初始化处理,加速算法的收敛速度,确保算法具有较好的搜索范围。在混沌映射中采用了 Cat 可逆混沌映射方法,有助于找到全局最佳目标解。

Cat 可逆混沌映射计算式为

$$\begin{bmatrix} x_{t+1} \\ y_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \end{bmatrix} \bmod 1 \quad (12)$$

式中: x_t, y_t 为第 t 次映射序列; $\bmod 1$ 函数是对 1 取模的运算,该运算使得映射结构简单,遍历均匀性更佳,能够更快地完成算法收敛。

基于混沌反向学习方法的种群初始化详情如下所述。

①通过 Cat 可逆混沌映射获取初始解 O_i , 数量用 N 表示。

②获取各个 O_i 的反向解 OP_i , 其计算式为

$$OP_i = \mu(O_{\min}^d + O_{\max}^d) - O_i \quad (13)$$

式中: μ 为随机数; O_{\min}^d, O_{\max}^d 分别用 d 维向量中的最小值和最大值表示所有初始解。

③将 O_i 与 OP_i 进行合并处理, 根据适应度值, 将合并结果按从小到大的顺序排列, 并选择前 N 个具有较高适应度的解作为灰狼算法的初始种群。

4.3 遗传模拟退火算法

将遗传模拟退火算法的变异、交叉和选择等关键算子引入到灰狼优化算法中, 以更新灰狼的位置。本文提出的方法充分发挥了遗传算法在进行全局搜索时的强大能力, 同时利用了模拟退火算法在局部搜索方面的优越性, 使得改进的 GSA-GWO 算法在解决复杂优化问题时表现出卓越的性能。

性能。

①变异算子

$$v_b(t) = x_{s,1}(t) + w[x_{s,2}(t) - x_{s,3}(t)] \quad (14)$$

式中: v_b 为灰狼个体的变异解; x_s 为灰狼个体的当前解, 下标 1, 2, 3 表示 α, β, δ 狼群。

②交叉算子

$$z_b(t) = \begin{cases} v_b(t), & r_1 < P_R \\ x_b(t), & r_1 \geq P_R \end{cases} \quad (15)$$

式中: $z_b(t)$ 为第 t 次迭代中生成的新一代灰狼个体; P_R 为灰狼新个体之间交叉概率值。

③选择算子

通过贪婪策略对比新生成的个体和父代个体, 选择出优秀的新个体。为了加强算法的全局收敛性, 在遗传算法中引入了模拟退火算法的 Boltzmann 机制, 用于接受经过交叉和变异后的个体, 其表达式为

$$x_b(t+1) = \begin{cases} z_b(t), & f[z_b(t)] < f[x_b(t)] \\ \exp[-x_b(t)/\xi T], & f[z_b(t)] > f[x_b(t)] \end{cases} \quad (16)$$

式中: $f(\cdot)$ 为适应度函数; ξ 为退火系数; T 为退火温度。

本文提出一种基于适应度值概率选择的方法, 从而确定是否选择采用改进的 GSA 算法进行位置更新, 其表达式为

$$P_b = f(M) / \left[\sum_{b=1}^N f(x_b) \right] \quad (17)$$

式中: $\sum_{b=1}^N f(x_b)$ 为狼种群个体的适应度值总和; N 为狼种群的个数。

若 $P_b \geq r_1$, 则采用 GWO 算法中的式(9)~(11)对 x 进行迭代更新; 否则, 采用 GSA 算法中的式(14)~(16)对 x 进行迭代更新。

4.4 基于改进 GSA-GWO 算法划分孤岛的步骤

灰狼算法是一种基于自然界狼群行为的群体智能优化算法, 通过模拟狼群的协作和竞争行为, 包括寻找、包围和攻击猎物, 以达到寻找最优解的目标。混沌反向学习利用混沌映射的特性反向选择和替代当前解, 从而实现对解空间的迭代优化, 提高算法种群质量以及多样性。利用 GSA-GWO 算法划分孤岛的具体流程如图 2 所示。

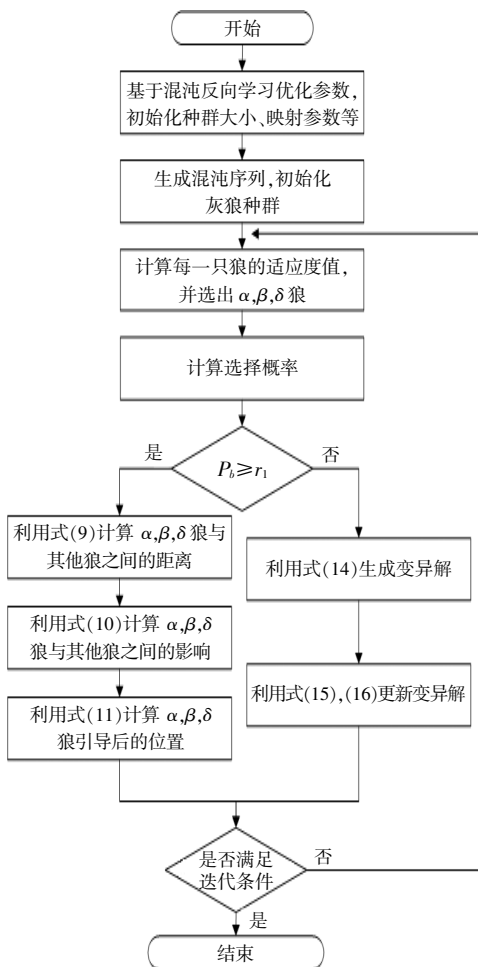


图2 基于改进GSA-GWO算法孤岛划分的具体流程图
Fig.2 The specific flow chart of improving the island division of GSA-GWO algorithm

5 算例分析

以IEEE 69节点配电网系统为基础进行算例分析,网络参数信息见文献[21]。系统中包含3个DG和3个发电机,接入位置及容量如表1所示。表2中列出了负荷的等级以及权重系数值。含分布式电源的局部电网网络结构如图3所示。

表1 分布式电源参数信息
Table 1 New energy parameter information MW

电源类型	M1	DG1	M2	M3	DG2	DG3
节点	10	15	25	34	46	69
容量	200	250	200	70	250	120

表2 负荷重要等级
Table 2 Load importance grade

项目	一类负荷	二类负荷	三类负荷
节点	9, 11, 12, 14, 24, 26, 33, 48, 69	21, 35, 43, 55, 56, 62, 66	其他
权重系数值	0.55	0.30	0.15

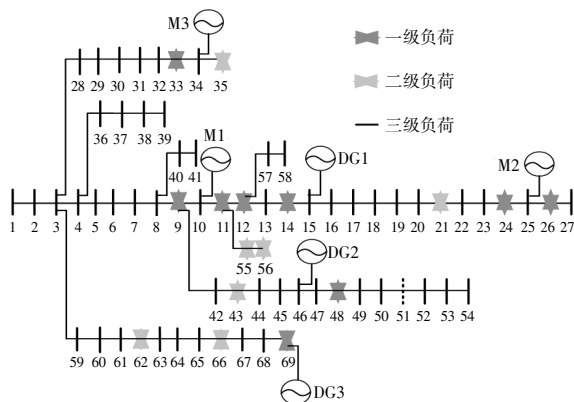
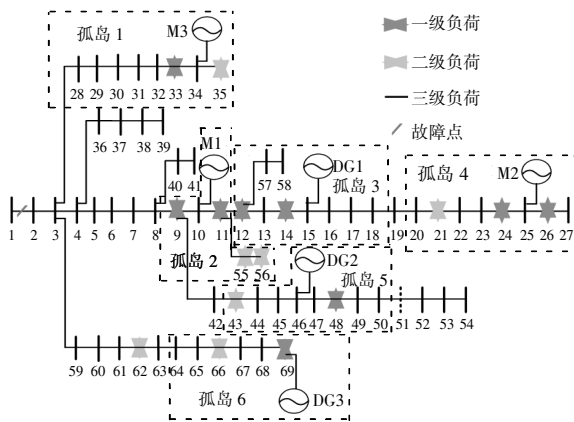


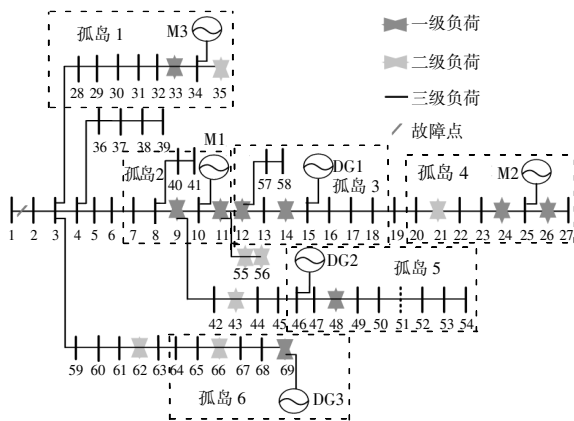
图3 IEEE 69节点拓扑图
Fig.3 IEEE 69 node topology diagram

5.1 主配网故障点对比分析

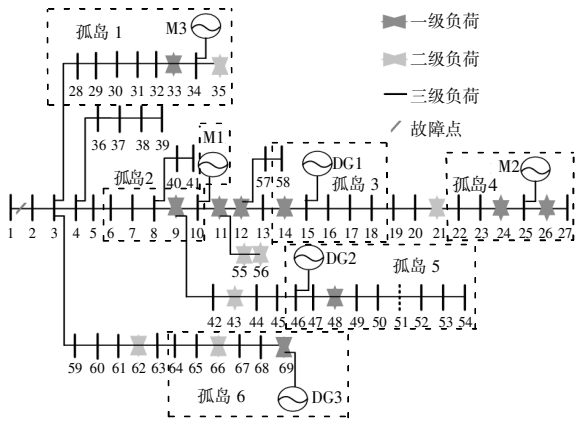
假设上级电网发生故障,导致线路节点1和2中断,切断失电区域与外部电网的连接,使其进入孤立运行模式,仅依赖内部DG对负荷供电。将本文提出的孤岛策略执行过程与文献[22,23]进行对比分析,各个孤岛划分结果如图4所示,线路总损耗如图5所示,本文提出的孤岛策略与文献[22,23]孤岛策略的运行结果如表3所示。



(a)本文所提孤岛划分方案



(b)文献[22]孤岛划分方案



(c)文献[23]孤岛划分方案

图4 不同孤岛划分策略划分结果

Fig.4 Different island partition strategy partition results

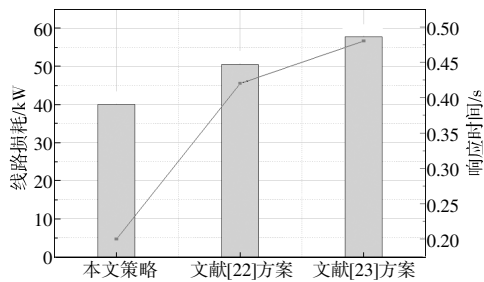


图5 不同方案线路损耗与响应时间

Fig.5 Line loss and response time of different schemes

表3 孤岛策略结果对比

Table 3 Comparison of island strategy results %

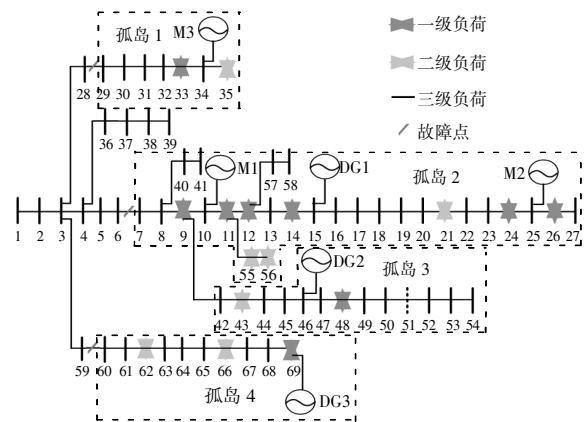
孤岛策略	本文策略	文献[22]	文献[23]
一级负荷恢复率	100	100	71.36
二级负荷恢复率	99	71	40
三级负荷恢复率	60	52	55

图4(a)为局部电网在采用本文所提策略时的孤岛划分结果,由于本文所提策略综合全面考虑了负荷的优先等级,使得局部电网中所有一级负荷在故障后都能够保持持续供电,保证了重要负荷的稳定运行。由图4(a)和图5可以看出,由于M1和DG1划分成的孤岛存在重合的边界,本文策略为了提高DG的利用率,将两个具有重合边界的孤岛进行融合,形成一个大的孤岛,降低了系统的损耗,提高了响应速度。由表3可知,采用本文所提策略时,一级负荷的恢复率达到100%,二、三级负荷的恢复率也有明显的提升。采用文献[22]中的划分策略得到的孤岛划分结果如图4(b)所示,由于隐枚举法在搜索中存在一定的局限性,导致无法充分考虑负荷的优先级。采用文献[23]中的划分

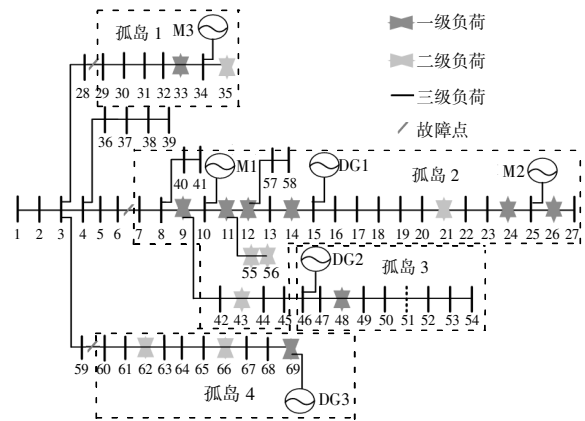
策略得到的孤岛划分结果如图4(c)所示。由于人工智能算法在进行求解时易出现过拟合的现象,采用该方法划分孤岛时,会导致局部电网内一级负荷不能完全纳入孤岛,影响整个系统的供电恢复状况。由图5可知:本文所提孤岛划分策略形成的孤岛数量较少,线路损耗总量最小,减少了20%以上;响应时间最快,提高了50%以上。

5.2 局部故障点对比分析

假设支路6-7,支路28-29,支路59-60发生故障,为验证本文所提孤岛策略的性能,将本文所提策略与文献[19]所提的孤岛策略进行对比分析,结果如图6、表4所示。



(a)本文所提孤岛划分方案



(b)文献[19]孤岛划分方案

图6 两种孤岛划分策略划分结果

Fig.6 Results of island partition strategy by two methods

表4 孤岛策略结果对比

Table 4 Comparison of island strategy results %

孤岛策略	本文策略	文献[19]
一级负荷恢复率	100	100
二级负荷恢复率	100	86
三级负荷恢复率	100	70

由表 4 可知:采用本文策略和文献[19]策略均能够完全恢复一级负荷供电;采用本文策略时,二级负荷供电恢复率比文献[19]提高了 14%。由图 6(b)可知:由于文献[19]中采用的智能算法易出现局部最优情况,导致孤岛 2 内的负荷量过大,无法完全恢复供电;本文所提策略在响应速度上提高了 38%。综上所述,本文提出的孤岛划分方法能够有效地保证局部电网中重要负荷供电的可靠性。两种孤岛划分方案的节点电压对比结果如图 7 所示。

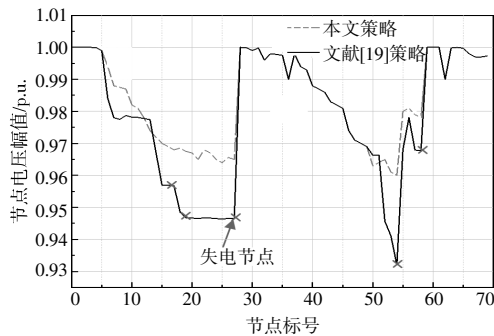


图 7 两种孤岛划分方案的节点电压

Fig.7 Comparison of node voltage of two islanding schemes

由图 7 可以看出,本文提出的孤岛划分策略可以使整个电网电压值保持在安全范围内,无任何失电节点。

为了进一步验证本文采用的智能算法的优越性,将采用的算法与粒子群算法(PSO)、灰狼算法(GWO)、改进的 PSO-GWO 算法在优化空间上进行比较,结果如图 8 所示。

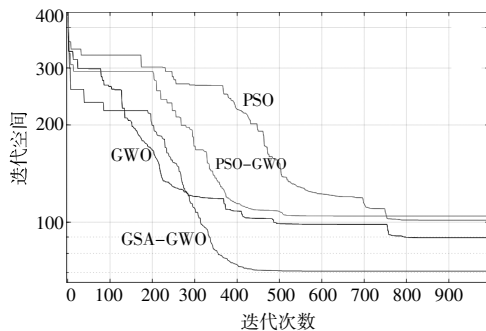


图 8 不同算法的优化空间比较

Fig.8 Optimization space comparison of different algorithms

由图 8 可以看出,本文采用的智能算法在迭代时间和目标值方面均表现出卓越的性能,这进一步证实了本文所提策略的可行性。

6 结论

针对局部电网发生故障时的孤岛划分问题,

本文提出了一种基于 GSA-GWO 算法的局部电网故障下孤岛划分策略。主要研究结论如下。

①为获取负荷的权值,本文采用最优-最劣法分别对负荷进行评价,不仅考虑了负荷的多样性,而且反映了用户对不同负荷的偏好类型,更贴合实际需求。

②引入混沌反向学习优化的灰狼算法初始种群,并结合了遗传退火算法中的变异、交叉、选择等算子,以增强算法的性能,提升算法种群的质量和多样性。

③对 IEEE 69 节点系统进行案例研究,将本文提出的孤岛划分策略与其他孤岛划分策略进行比较,从恢复供电负荷量和线路损耗等多个方面进行分析,证明了本文提出的孤岛划分策略具有一定的优越性。

参考文献:

- [1] 赵冰杰,贾宏杰,李沐阳,等.基于分组差分粒子群算法的含分布式电源配电网故障定位[J].可再生能源,2022,40(10):1380-1386.
- [2] 安天瑜,马煜,高阳,等.基于融合深度特征的含分布式电源配电网智能故障检测[J].中国测试,2023,49(2):58-65.
- [3] 张君则.基于出力特性的分布式电源优化配置与运行[J].电气技术,2022,23(8):36-40.
- [4] 庞凯元,王崇宇,文福拴,等.主动配电网灵活孤岛划分与实时调度策略[J].电力系统自动化,2022,46(22):13-24.
- [5] Elsharawy K M, Diab H Y, Abdelsalam M O. A unified control strategy of distributed generation for grid-connected and islanded operation conditions using an artificial neural network[J]. Sustainability,2021,13(11):6388-6388.
- [6] 姜森,严伟,徐光福,等.有源配电网被动式防孤岛保护配置研究[J].电气技术,2023,24(9):34-39,48.
- [7] 付婷婷,边俐争,李嫚,等.基于 Copula 理论的风光互补配电网经济运行联合配网重构优化[J].可再生能源,2023,41(1):122-128.
- [8] 张帆,杨翔,商佳宜,等.考虑负荷损失最小的配网孤岛划分策略研究[J].高压电器,2021,57(4):181-188.
- [9] 李鹏,王亭岭.考虑可再生能源不确定性的最优潮流研究[J].可再生能源,2021,39(8):1117-1123.
- [10] 刘佳,罗惠雄,张小华,等.考虑停电损失及可中断负荷的有源配网鲁棒孤岛划分策略[J].电力科学与技术学报,2023,38(2):141-149.

- [11] 刘文轩,姚玉海,齐伟强,等.基于启发式规则的配电网孤岛划分算法[J].电力系统保护与控制,2019,47(16):166-172.
- [12] 郭运城,韦钢,李明,等.含分布式电源的配电网分阶段孤岛划分[J].电力系统及其自动化学报,2016,28(9):117-122.
- [13] 张文雅.基于最短路径的配电网孤岛划分策略研究[J].中国新技术新产品,2022(21):29-31.
- [14] 庞清乐,何辰斌,马兆兴,等.基于模型预测的孤岛微电网 NPC 逆变器故障穿越控制方法研究 [J]. 中国测试,2023,49(10):180-187.
- [15] 卢绍群,田拥军,钟坤炎.基于组合三相逆变器的孤岛微电网电压平衡控制策略[J].电力电容器与无功补偿,2021,42(2):168-175.
- [16] 汪强,王永刚,张亚健,等.基于确定网络演算的孤岛微电网网络化频率控制策略[J].电测与仪表,2021,58(7):165-172.
- [17] Liu J C, Qin C, Yu Y X. Enhancing distribution system resilience with proactive islanding and RCS-based fast fault isolation and service restoration [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2020, 11(3): 2381-2395.
- [18] 端木浚程,袁越.配电网孤岛划分的启发式方法[J].电测与仪表,2023,60(3):26-32.
- [19] 曾业运,汪泓,陈春,等.基于自适应遗传退火算法的配电网孤岛划分方法 [J]. 电力系统及其自动化学报,2016,28(11):58-64,94.
- [20] 陈建华,周冬冬,陈魏.基于马尔科夫-蒙特卡洛法的配电网分段孤岛划分 [J]. 电力电容器与无功补偿,2023,44(1):113-118,128.
- [21] Suresh Kumar L V, Nagesh Kumar G V, Sreedhar M. Pattern search algorithm based automatic online parameter estimation for AGC with effects of wind power [J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2017, 84(1): 135-142.
- [22] 向月,刘俊勇,姚良忠,等.故障条件下含分布式电源配电网的孤岛划分与重构优化策略研究 [J]. 电网技术,2020,48(5):173-180.
- [23] 张军,张新慧,高震,等.基于改进二进制粒子群算法的孤岛划分方法[J].电网与清洁能源,2022,38(7):54-62.

Island partition strategy of local power grid with distributed generation based on improved GSA-GWO algorithm

Zhang Dan¹, Sai Xiangyu¹, Zeng Pijiang¹, Wu Mingkang^{2,3}, Qu Jialiu^{2,3}

(1.Power Dispatching Control Center of Yunnan Power Grid Co.,Ltd., Kunming 650217, China; 2.State Key Laboratory of HVDC(Electric Power Research Institute, China Southern Power Grid), Guangzhou 510663, China; 3.Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Operation and Control for New Energy Power System, Guangzhou 510663, China)

Abstract: In order to further improve the efficiency and reliability of the local power grid in the process of fault recovery, this paper proposes an island partition strategy of local power grid with distributed generation based on improved GSA-GWO algorithm. Firstly, the optimal-worst method is used to evaluate the load to obtain the load weight value, so as to determine the priority of island division of important load restoration under local power grid fault. Secondly, combined with the load priority, the load level weight coefficient is determined, and the objective function model of island division of local power grid with distributed generation is constructed. Then, in order to obtain better objective function solution results, chaotic reverse learning and genetic annealing algorithm (GSA) are introduced to improve the grey wolf optimization algorithm (GWO) to improve the optimization performance of the algorithm. Finally, the modified IEEE 69 node is taken as an example for simulation analysis. The improved GSA-GWO algorithm is used to solve the local distribution network fault model, and a better islanding result is obtained. The example analysis shows that the strategy proposed in this paper can accurately realize the optimal strategy of island division under local grid fault, ensure the restoration of power supply of important loads, and verify the effectiveness and superiority of the strategy.

Keywords: local power grid; distributed power system; island partition; power supply restored