

# 人工鱼群算法的船用配电网故障恢复算法

李自玲<sup>1</sup>, 童恒庆<sup>2</sup>

(1. 武汉华夏理工学院, 湖北 武汉 430223; 2. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430070)

**摘 要:** 当前配电网故障恢复算法只设置了迭代次数参数, 导致算法在恢复船用配电网故障时, 收敛速度慢且不稳定, 提出人工鱼群算法的船用配电网故障恢复算法。根据船用配电网组成, 建立配电网模型; 将模型简化为一个无向图, 确定配电网拓扑结构; 设置人工鱼群算法 3 项参数, 选择算法中的觅食算子, 设计配电网故障恢复算法步骤, 恢复配电网故障。设置配电网故障算例, 实验结果表明: 研究算法较此次实验选择的 2 组算法, 配电网所对应的网损明显减少了 41.26 kW, 25.62 kW, 59.22 kW, 34.83 kW, 具有快且稳定的收敛速度。

**关键词:** 人工鱼群算法; 船用配电网; 配电网模型; 故障恢复; 拓扑结构

中图分类号: TM762 文献标识码: A

文章编号: 1672 - 7649(2021)9A - 0130 - 03 doi: 10.3404/j.issn.1672 - 7649.2021.9A.044

## Fault recovery algorithm of marine distribution network based on artificial fish swarm algorithm

LI Zi-ling<sup>1</sup>, TONG Heng-qing<sup>2</sup>

(1. Wuhan Huaxia University of Technology, Wuhan 430223, China; 2. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The current distribution network fault recovery algorithm only sets the iteration number parameter, which leads to the slow and unstable convergence rate when the algorithm is used to restore the Marine distribution network fault. The artificial fish swarm algorithm for Marine distribution network fault recovery is proposed. According to the composition of Marine distribution network, the model of distribution network is established. To simplify the model as an undirected graph, to determine the distribution network topology structure; Set the five parameters of artificial fish swarm algorithm, select the foraging operator in the algorithm, design the steps of distribution network fault recovery algorithm, and restore the fault of distribution network. A distribution network fault calculation example was set. The experimental results showed that compared with the two groups of algorithms selected in this experiment, the corresponding network loss of the distribution network was significantly reduced by 41.26 kW, 25.62 kW, 59.22 kW and 34.83 kW, with fast and stable convergence speed.

**Key words:** artificial fish swarm algorithm; marine distribution network; distribution network model; fault recovery; topological structure

## 0 引 言

船舶长时间在海上航行, 需要电力系统的支持, 为船舶提供能源, 维持船舶电灯、冰箱、中央空调等基础设施用电。因此, 在船舶上, 有包括发电、输电、配电和用电 4 个环节的专业电力系统。其中, 配电网是发电系统的重要环节, 主要由各种电力仪器组成。当其出现故障时, 会直接导致船舶电力系统故障<sup>[1]</sup>。

文献 [2] 采用博弈理论建立博弈模型, 设计必要约

束条件, 实现配电网故障恢复。但是, 该方法应用在船舶配电网故障恢复中, 存在收敛速度慢且不稳定问题, 为此引入人工鱼群算法, 提高算法收敛速度和稳定性, 提出人工鱼群算法的船用配电网故障恢复算法。

## 1 人工鱼群算法的船用配电网故障恢复算法

配电网模型是配电网拓扑分析基础, 根据配电网拓扑分析结果, 才能采用相关算法, 恢复船用配电网故障。

收稿日期: 2021 - 06 - 15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (9132 4201)

作者简介: 李自玲 (1981 -), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为金融数学与数量经济学。

### 1.1 建立船用配电网模型

由于船用配电网主要由电源、供电线路、配电变压器、各种开关、母线和配电负荷组成具有开环运行的闭环设计网络, 为船上基础设施分配电力。基于此, 建立的船用配电网模型, 如图 1 所示。

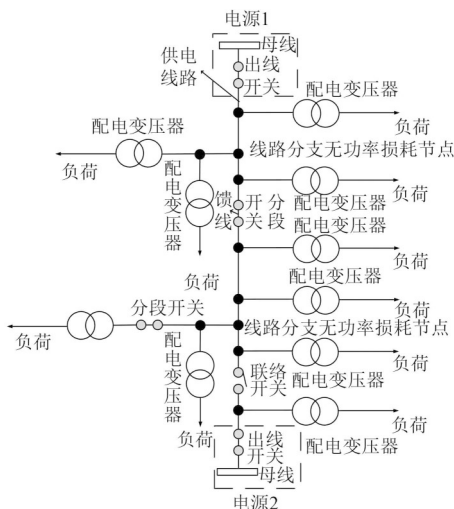


图 1 配电网模型

Fig. 1 Distribution network model

图 1 的配电网模型既展示了配电网所有组成部分, 又展示了配电网连通运行方式。此时, 即可根据图 1 所示的配电网模型, 确定配电网拓扑结构。

### 1.2 确定船用配电网拓扑结构

配电网拓扑结构, 主要指配电网各种开关和馈线之间的联结关系和顺序<sup>[3]</sup>。为此, 将图 1 所示的配电网模型中, 馈线段和配电负荷记为配电网模型的节点  $V_j (j = 1, 2, \dots, n)$ , 其中,  $j$  表示任意一条馈线段, 或任意配电变压器的配电负荷;  $n$  表示节点总数量; 各种开关记为配电网模型的边  $E_i (i = 1, 2, \dots, m)$ , 其中,  $i$  表示任意一种开关,  $m$  表示各种开关加在一起的总数量; 电源点记为配电网模型的根节点  $V_0$ 。此时, 配电网模型即可简化为一个无向图  $G$ , 形成环状拓扑结构, 即可通过相关算法, 寻找配电网中, 最佳的开关状态组合, 恢复船用配电网故障<sup>[4]</sup>。

### 1.3 基于人工鱼群算法恢复船用配电网故障

基于此次研究, 确定的配电网环状拓扑结构, 采用人工鱼群算法, 将鱼群的觅食行为作为算子, 依据船用配电网拓扑结构, 在船用配电网故障范围内, 搜索故障位置开关状态的最优组合。为此, 设计的配电网故障恢复算法步骤如下:

**步骤 1** 假设  $m$  维的配电网故障空间中, 存在  $n$  条人工鱼组成的鱼群, 其第  $k$  条人工鱼, 寻找到的配电网故障开关的状态记为  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}), i = 1, 2, \dots, n$ 。

此时, 鱼群中每条人工鱼目前位置向量为  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , 则第  $i$  条和第  $j$  条人工鱼之间的距离  $d_{ij}$  为:

$$d_{ij} = \|X_j - X_i\|。 \quad (1)$$

式中:  $\|\cdot\|$  表示范数;  $X_j$  表示第  $j$  条人工鱼当前所处位置向量;  $X_i$  表示第  $i$  条人工鱼当前所处位置向量。基于此, 确定  $n$  规模、最大迭代次数  $T_{\max}$ 、移动步长  $t$  三个参数。针对 3 个参数进行初始化, 同时, 将初始迭代次数  $T$  设置为 0。

**步骤 2** 计算人工鱼群觅食算子。人工鱼群在觅食的过程中, 会不断寻找新食物, 并将目前的食物与新食物的浓度进行对比, 当新食物浓度较高时, 鱼群会向前移动一步, 则有:

$$X_{i+1} = X_i + R() * t * \frac{X_j - X_i}{\|X_j - X_i\|}, \quad (2)$$

式中,  $R()$  表示服从  $(0, 1)$  分布。当目前食物浓度较高时, 则会重新寻找新食物, 直至新食物浓度高于目前食物浓度, 此时, 鱼群会按照式 (2), 向前移动一步, 若一直不满足向前移动一步条件, 则按照式 (3), 随机向前移动一步:

$$X_{i+1} = X_i + R() * t。 \quad (3)$$

**步骤 3** 比较人工鱼群, 在视野范围内的试探次数  $\gamma$ , 是否满足最大试探次数  $\gamma_{\max}$ , 若不满足最大试探次数  $\gamma_{\max}$ , 选择式 (2) 执行人工鱼群算法; 若满足最大试探次数  $\gamma_{\max}$ , 选择式 (3) 执行人工鱼群算法。

**步骤 4** 目标函数值。运用人工鱼群算法的目标函数值由食物浓度  $Y$  表示。所以, 在每一条人工鱼完成一次觅食行为后, 都需要对觅食结果进行公告, 并与上一次公告结果进行对比, 保留最优觅食结果。

**步骤 5** 判定人工鱼群算法终止条件。判定人工鱼群算法迭代次数  $T$ , 是否大于等于最大设定的最大迭代次数  $T_{\max}$ 。当  $T < T_{\max}$  时, 迭代次数  $T = T + 1$ , 返回步骤 3; 当  $T \geq T_{\max}$  时, 直接输出故障位置开关状态组合。结束配电网故障恢复算法。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 算例设置

算例 1: 船用 IEEE-16 配电网, 共有 3 条联络支路, 3 条开关馈线, 16 个配电变压器, 16 个配电负荷节点, 16 条支路。在实际运行中, 输入的额定电压为 23 kV, 产生的配电总负荷为 28 600 kW, 在  $K_1$  点处存在短路故障, 导致保护 2 发生误动作, 如图 2 所示。

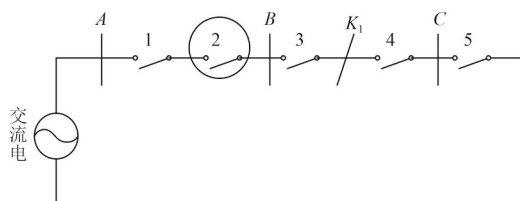


图 2 K1 点处短路故障

Fig. 2 Short circuit fault at K1 point

算例 2: 船用 IEEE-33 配电网, 共有 33 个配电变压器, 33 个配电负荷节点, 6 条联络支路, 38 条支路。在实际运行中, 输入的额定电压为 11.99 kV, 产生的配电总负荷为 3 826 kW,  $K_2$  点处存在短路故障, 导致保护 3 发生误动作, 如图 3 所示。

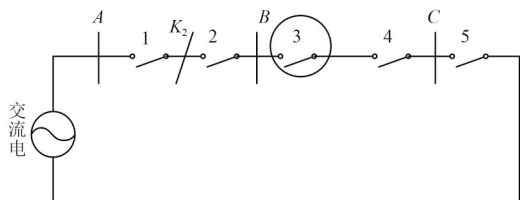


图 3 K2 点处断路故障

Fig. 3 Open circuit fault at K2 point

图中, A, B, C 表示三相交流电, 1~5 表示配电网各种开关。

## 2.2 实验结果

### 2.2.1 第 1 组实验结果

采用 3 种方法检测船用配电网恢复后的网损情况, 并与故障时的配电网网损进行对比。其检测结果如表 1 所示。

表 1 船用配电网故障恢复前后网损情况对比

Tab. 1 Comparison of network loss before and after fault recovery of marine distribution network

算例算法	算例1	算例2
故障恢复前网损/kW	511.44	202.68
本文算法/kW	466.13	139.55
基于网络拓扑有向遍历的配电网故障恢复算法/kW	507.39	198.77
基于机器学习的配电网故障恢复算法/kW	491.75	174.38

从表 1 可以看出, 本文算法恢复配电网故障后, 相较配电网故障恢复前网损减少 45.13 kW, 63.13 kW, 配电网所对应的网损降低极为明显, 较此次实验选择

的 2 组算法, 配电网所对应的网损明显减少了 41.26 kW, 25.62 kW, 59.22 kW, 34.83 kW。

### 2.2.2 第 2 组实验结果

在第 1 实验基础上, 以算例 1 为例, 检测 3 组算法, 恢复 2 个算例的故障时的收敛特性, 其检测结果如图 4 所示。

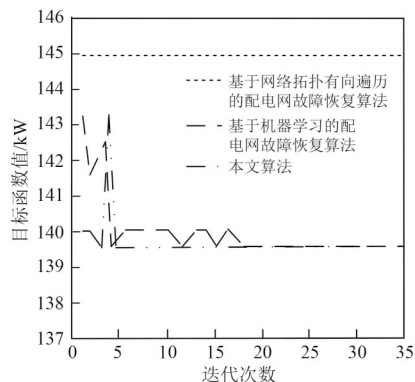


图 4 三组算法收敛性能

Fig. 4 Convergence performance of three algorithms

从图 4 可以看出, 基于网络拓扑有向遍历的配电网故障恢复算法, 陷入了局部最优; 基于机器学习的配电网故障恢复算法, 恢复算例 1 故障, 虽然不存在局部最优问题, 但是算法收敛速度慢且不稳定; 本文算法不仅不存在局部最优问题, 且收敛速度快且稳定。

## 3 结 语

本文研究充分利用人工鱼群算法, 寻找配电网故障恢复开关状态最优值, 以此来增强配电网恢复效果。

## 参考文献:

- [1] 景皓, 李璠, 卢志刚, 等. 基于主从博弈理论的含分布式发电的主动配电网故障恢复方法 [J]. 智慧电力, 2021, 49(5): 77-84.
- [2] 陈春, 吴宜桐, 李猛, 等. 基于网络拓扑有向遍历的配电网故障快速恢复方法 [J]. 电力系统自动化, 2021, 45(7): 44-52.
- [3] 刘家权, 刘坤, 周金涛, 等. 基于鲁棒优化的电-气互联型主动配电网故障恢复方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(7): 66-74.
- [4] 刘颖, 赵志刚. 大数据背景下电网系统故障诊断分析技术 [J]. 工程技术研究, 2020, 5(21): 95-96.