

# 基于改进蚁群算法的变电站继电保护消缺控制方法

卢波 刘卓 许晨 叶攀

国网湖北省电力有限公司黄石供电公司

**摘要:** 由于现有的控制方法平均故障率结果较高,在不同工况下保护设备的检修时间间隔较短,为此研究基于改进蚁群算法的变电站继电保护消缺控制方法。运用潮流熵的方法获得继电保护参数的潮流分布,提取继电保护参数,对故障分量进行采样。通过电流极限检测方法对继电保护二次回路故障的参数进行聚类分析,通过构建故障信息特征参数融合分析函数,来对频谱特征进行检测。采用改进的蚁群优化算法,构建变电站继电保护设备自适应消缺控制的用户解析模型。用蚁群算法来进行寻优,得到继电保护装置的期望负荷量。通过调整负荷量得到消缺控制过程中的偏差值,从而完成消缺控制。实验结果表明,十年中平均故障率结果均为0%~0.2%之间,结果符合预期。并且在不同工况下,保护设备的检修时间间隔均在6年以上,设备的运行状态较好,能够达到良好的消缺控制效果。防止变电站继电保护系统过度检修,从而提升了变电站的供电可靠性。

**关键词:** 改进蚁群算法; 变电站; 继电保护; 消缺控制

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-627X.2023.05.073

## 引言

随着现代化社会的飞速发展,继电保护设备能够快速检测和隔离故障,从而保障电力系统的稳定运行<sup>[1]</sup>。当电力系统发生故障时,继电保护消缺控制方法能够迅速切断故障线路,有效缩短停电时间与范围,从而提高电力系统的安全性,避免设备损坏产生的影响,使得经济损失降到最低。同时,运用此方法可以提高电力系统的自动化水平,方便人员调度,实现远程控制。通过消缺控制方法的应用,建立完善的继电保护管理制度,规范继电保护设备的安装调试,使得设备的质量能够得到保障。同时,定期对继电保护设备进行检查,及时发现和处理异常情况。根据电力系统的实际情况,优化继电保护配置方案,避免设备之前配合不当。加强二次回路之间的维护问题,使其能够保持良好的绝缘性。还需及时提升工作人员的操作专业性,增强安全意识,发现与处理潜在故障与危险,使得设备能够正常运行。缺乏有

效的安全控制措施,容易受到二次回路的保护设备误动,引发越级跳闸等现象发生。存在元件老化等风险影响电力系统的稳定运行<sup>[2]</sup>。安全漏洞问题得不到解决导致结果不能符合预期。

为此,现阶段以变电站继电保护消缺控制方法为实验对象,运用改进蚁群算法,结合实际情况进行实验与分析。

## 一、变电站继电保护消缺控制

### 1. 在线提取继电保护参数

随着用电负荷不断加大,在消缺控制过程中首先要对其故障类型进行分析<sup>[3]</sup>。具体如表1所示:

表1 继电保护设备故障类型表

设备名称	故障原因	故障类型	采集方法	后果
保护装置	装置老化	插件损坏	红外测温	保护拒动
电源	电源故障	电源告警	可靠性分析	装置闭锁
直流回路	运行环境	交流接地	设备告警	误动
通道	故障录波器	断线	数据采集	装置闭锁
信息系统	通讯系统故障	上传故障	通讯状况	无法上传

在配电网中,保护开关是一种重要的设备,它可以在系统出现故障时切断故障线路,以防止故障扩大对整个系统造成更大的影响。通过对保护开关的位置和功能进行考虑,可以将配电网划分为不同的分区。通过对配电网进行分区,可以提高系统的可靠性和安全性,减少停电时间和范围,并加强对故障事件的精确处理和控制在。

配电网中的继电保护参数和保护开关的位置和功能共同构成了故障切除和控制的基础。通过潮流熵可以对系统各个分区的潮流分布进行评估。则潮流熵的计算公式为:

$$Q = -\sum \left( \frac{P}{p_i}, \ln \frac{P}{p_i} \right) \quad (1)$$

公式中:  $P$  为初始潮流;  $p_i$  为整体潮流和。

通过潮流分布分析,可以获取系统各个分区的电流分布情况。根据这些数据,可以提取继电保护参数,如过流保护的设定值、时间延迟等<sup>[4]</sup>。

## 2. 故障信息特征参数融合分析

对上述得到的继电保护参数进行融合分析前需要进行参数归一化处理。以消除不同参数之间的尺度差异。表达式为：

$$X = \frac{(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad (2)$$

公式中： $X$  为原始继电保护参数， $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$  分别为该参数在训练数据集中的最小值和最大值。

根据归一化处理后的特征参数，利用K-means聚类算法进行聚类分析，表达式为：

$$C = \frac{1}{N} \sum (X_i - C_i)^2 \quad (3)$$

公式中： $N$  为聚类的数量， $X_i$  为第  $i$  个继电保护参数样本， $C_i$  为第  $i$  个聚类中心。根据聚类结果和特征参数的重要性，将不同特征参数进行融合，表达式为：

$$F = \sum W_i * X_i(C) \quad (4)$$

公式中： $W_i$  为第  $i$  个特征参数的重要性权重。通过这种方式，我们可以将不同特征参数的值与相应的聚类中心相结合，从而得到融合后的特征参数<sup>[5]</sup>。根据上述流程对故障信息特征参数进行融合分析，这样可以对故障特征进行检测。

## 3. 改进蚁群算法消缺控制

采用改进的蚁群优化算法，构建变电站继电保护设备自适应消缺控制的用户解析模型<sup>[6]</sup>。得到蚁群寻优的

代价函数收敛极限式为  $\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 0$ ，根据消缺需求响应控制终端分布，结合实际设备开始消缺控制的时间分布，得到继电保护设备自适应控制的蚁群寻优个体满足

的约束为： $\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$ ，等于0表示目标函数达到最优或收敛到最小值，等于1表示约束条件得到满足。

将继电保护设备的控制终端进行故障消除，用蚁群算法来进行寻优描述，在此过程中控制输出最小均方根误差估计值的计算公式为：

$$x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=0}^n (a-b)^2} \quad (5)$$

公式中： $b$  为数据点的数量； $a$  为实时负荷量的偏移量； $b$  为控制分量；设定在控制过程中，时间负荷总量的控制带宽为  $\Delta$ ，则蚁群寻优控制的适应度函数为：

$$p(t) = e^{\frac{-X}{\Delta r}} \quad (6)$$

公式中： $\Delta r$  为继电保护设备的带宽。通过加入多径分量来对其添加权重，从而得到自适应消缺控制的模型。根据继电保护装置发生的故障类型，运用构建的消缺控制模型进行设备的惯性参数适应，不断进行信息素更新，直到迭代完成，这样就能够得到在同一时刻内的控制参数最优结果<sup>[7]</sup>。通过对负荷进行控制，能够得到在消纳控制过程中的偏差值。当实际调整负荷为  $R(r)$  时，预期需要调整的负荷量为：

$$R(k) = \begin{cases} \sum te, k=1 \\ \sum te + N(t), k \neq 1 \end{cases} \quad (7)$$

公式中： $te$  为终端变量。根据所期望调整的负荷分布比例，根据蚁群的寻优结果，来进行消缺控制。设定蚁群的寻优结果为阈值，当实际负荷量与期望负荷量的偏差值在阈值外时，需要重新配置继电保护设备的参数；当实际负荷量与期望负荷量的偏差值在阈值内时，说明控制已完成。这样就能够完成消缺控制方法的应用。

## 二、实验测试与分析

### 1. 实验准备

某变电站共有继电保护设备15000套，其中主变保护设备数量为 125套，继电保护设备安装率为100%。为了准确掌握验证设备的消缺控制性能，在特殊时段对设备进行停电处理。根据相应的标准进行检验，其检验周期表为：

表2 继电保护设备检验周期表

序号	设备	检验周期	检验范围
1	非微型	年限	直流控制回路的转换开关
2	微型	年限	操作回路中的辅助触点
3	专用光纤通道	年限	站端保护设备连接用光纤通道

实验所用环境由继电保护装置，电源等。其中，电源电压为AC220V±10%，频率为50Hz，为三相交流电源，功率因数为0.75，额定输出为10V/2A。

### 2. 结果与分析

以某变电站的继电保护设备故障统计数据为例，根据观测得到保护设备在不同年限下对应的平均故障发生次数，结果如表3所示：

表3 继电保护设备故障统计

运行年限	平均故障/次	运行年限	平均故障/次
0.5	0	5.5	1
1	0	6	0
1.5	1	6.5	0
2	0	7	0
2.5	0	7.5	0
3	0	8	0
3.5	0	8.5	0
4	1	9	0
4.5	0	9.5	0
5	0	10	0

由实验结果可知，针对十年中的平均故障发生次数来计算故障率，得到的平均故障率结果为0~1次，结果符合预期。说明运用本文消缺控制方法能够保证缺陷故障已被彻底消除，保证消缺效果符合标准。提升继电保护设备健康水平，满足电网运行需要。

检修间隔时间越长，表示消缺效果越好。已知传统方法的检修时间间隔为4.3年。因此，在不同设备的运行工况下，得到检修时间间隔，具体如下图所示：

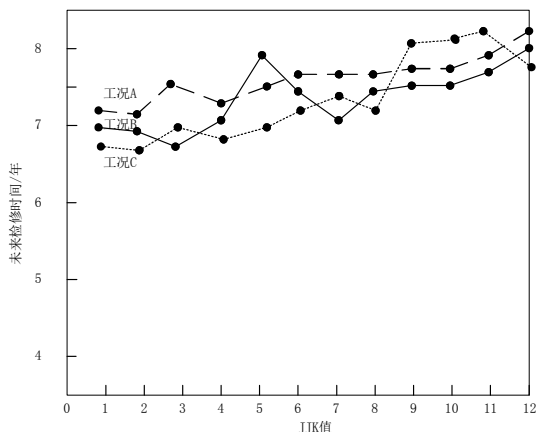


图1 保护设备检修时间间隔

由图中结果可知，在不同工况下，保护设备的检修时间间隔均在6年以上，设备的运行状态较好，使得检修的时间间隔长久，能够达到良好的消缺控制效果。说明运用本文控制方法能够有效避免因过度控制造成的资源浪费，能够减少时间损失，防止变电站继电保护系统过度检修，从而提升了变电站的供电可靠性。

综上所述，运用本文消缺控制方法能够对基础故障进行修正，结合电力系统的实际情况，运用科学的控制方法，快速实施消缺控制，使得结果能够更加准确，保障电力系统的稳定运行。

### 三、结束语

本次从消缺控制入手，基于改进蚁群算法，深入分析基于改进蚁群算法的变电站继电保护消缺控制方法相关问题，研究其应用效果并分析。运用该方法来优化保护设备的配置，提升电网运行的可靠性。运用消缺控制方法进行远程监控，提升继电保护设备的灵敏度。但方法中还存在一些不足之处，例如每个保护设备的动作时间问题，故障定位时间问题，保护设备配置特征挖掘等。今后应更加完善计算，根据电网的实际情况，初始化蚁群算法的参数，计算每个状态下各个保护设备的动作时间，保障控制过程中的安全性。通过设定终止条件，输出最优的保护设备配置方案，实现了基于改进蚁群算法的变电站继电保护消缺控制方法的有效应用，为电网的安全稳定运行提供有力支持。

### 参考文献

- [1]袁梦顺, 陈谋, 邵书义, 吴庆宪, 闫东. 基于改进精英蚁群算法的无人机三维航迹规划[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(2): 37-42.
- [2]董翔宇, 季坤, 朱俊等. 对特高压变电站巡检机器人路径规划改进蚁群算法的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(18): 154-160.
- [3]赵志, 段炼, 路东林, 张杨, 邱雪. 基于蚁群算法的无人机三维路径规划与冲突解脱[J]. 航空计算技术, 2022, 52(4): 33-37.
- [4]郑浩野. 基于时序网络结合深度学习的变电站继电保护故障诊断方法[J]. 电子器件, 2022, 45(02): 396-402.
- [5]叶远波, 刘宏君, 黄太贵等. 变电站继电保护设备状态检修可靠性分析方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(10): 170-177.
- [6]闵家新, 郎小毅, 李洋等. 基于泛在物联网的继电保护设备智能运维技术[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(03): 1024-1029.
- [7]于晓军, 刘志远, 吴建云等. 基于无线同步信息的继电保护分布式智能测试系统[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(11): 121-129.

作者简介: 卢波(1989年4月15日), 性别: 男; 籍贯: 湖北黄石; 民族: 汉; 学历: 硕士研究生; 职称: 工程师; 职务: 国网黄石供电公司变电运检分公司副经理; 研究方向: 电气工程及其自动化; 单位: 国网湖北省电力有限公司黄石供电公司。