

## 基于改进型蜻蜓算法的停电计划优化方法

莫东 罗翠云 邓秋荃 吴茵 孙艳

北京清能互联科技有限公司, 北京 100000

**[摘要]**供电可靠性是电力公司的一项重要工作,其好坏直接影响到公司的整体经营状况,同时也是企业设备技术、设备管理水平的体现。中国经济正在加快向高质量发展的步伐,电力系统的可靠性也在逐步提升。本文在多目标约束条件下,利用多目标优化理论,建立了年度停电计划的数学模型,并在此基础上,提出了一种新的改进的蜻蜓算法,使其具有更好的整体性能和分布的均匀性,从而达到经济、可靠、均衡的目的。最后,利用 IEEE RTS79 模型,将两种传统的群智能算法进行了比较。通过模拟计算,证明了该方法在保证电力调度均衡和最优备用的情况下,可以显著地改善优化问题的求解效率。

**[关键词]**智能电网;电力调度;停电检修;停电计划;智能算法

DOI: 10.33142/hst.v5i6.7491

中图分类号: TP301

文献标识码: A

## Optimization Method of Outage Scheduling Based on Improved Dragonfly Algorithm

MO Dong, LUO Cuiyun, DENG Qiuquan, WU Yin, SUN Yan

Beijing Tsintergy Internet Technology Co., Ltd., Beijing, 100000, China

**Abstract:** Power supply reliability is an important work of electric power companies. Its quality directly affects the overall business situation of the company, and it is also the embodiment of enterprise equipment technology and equipment management level. China's economy is speeding up the pace of high-quality development, and the reliability of the power system is also gradually improving. In this paper, under the condition of multi-objective constraints, the mathematical model of annual outage plan is established by using multi-objective optimization theory, and on this basis, a new improved dragonfly algorithm is proposed to make it have better overall performance and uniformity of distribution, so as to achieve the goal of economy, reliability and balance. Finally, two traditional swarm intelligence algorithms are compared using IEEE RTS79 model. Through simulation, it is proved that this method can significantly improve the efficiency of solving the optimization problem while ensuring the balance of power dispatching and optimal reserve.

**Keywords:** smart grid; power dispatching; power failure maintenance; outage plan; intelligent algorithm

### 引言

随着电网总体运行发展,各类供电业务的综合跨越越来越困难,其中最突出的就是调度中心的断电和计划维护。在电力行业,通常采用计划维修,也就是按照一定的周期进行维修,但维修周期、项目和进度的管理都是建立在经验基础上的,这就给维修单位带来了很大的困难。同时,由于电网的检修和关断组合成指数式的增加,必须综合考虑经济、环保、智能化等因素,从而使电力系统的运行得到最大程度的优化。

电力系统的供电保障是电力系统的重要组成部分,电力系统的优化配置、国家能源战略的实施是电力系统的重要组成部分。在电力系统故障诊断中,电力系统的安全运行和供电可靠性都是多目标优化问题的一种约束,该方法可以应用于多目标优化问题<sup>[1]</sup>,该方法是将系统的总体目标函数提高到最小或最大,然后求解相应的模型输入参数。一般情况下,模型的计算结果与算法的效率和精确度有关。然而,群智能算法群组成员数目多,使得算法收敛速度慢,迭代到规定的精确度也受到限制<sup>[17]</sup>。通过 IEEE 的实例,模拟比较了该方法在电力系统中的收敛速度、精度和效率,为电力系统的智能化调度和电力系统的故障检修规划决

策提供了理论依据。

### 1 停电计划模型

#### 1.1 优化目标函数

可靠性、经济性、分配均衡性、准备性是电网失效最优的总体目的。

$$F=f_1+f_2+f_3+f_4 \quad (1)$$

$f_1$  是可靠度,  $f_2$  是经济度,  $f_3$  是分布均衡指数,  $f_4$  是储存指数,  $F$  是优化问题的最佳方案。

##### 1.1.1 可靠性指标

可靠度指数是对供电可靠度进行定量的定量,其表达式如下:

$$f_1 = \frac{\sum_{i \in \Phi} T_{id}}{n} \quad (2)$$

$n$  为该区域内电网节点的总数;  $\Phi$  为用电户总数;  $T_{id}$  为该区域内用电户长时间停电的时长。

##### 1.1.2 经济性指标

停电经济性指标的数学模型为:

$$f_2 = \sum_{i \in \varphi} (C_p \cdot Q_{LOL,i} + \mu_i \theta_i p_i) \quad (3)$$

$\Phi$  是断电装置的顺序,  $C_p$  是电力价格;  $Q_{LOL}$ ,  $i$  为电

力设备顺序中每个电力设备  $i$  的断电所引起的负载损耗;  
 $p_i$  为电力消耗装置  $i$  在断电过程中所引起的电力损耗;  
 $\mu_i$  是电力设备  $i$  的断电条件。

### 1.1.3 分布平衡性指标

数学模型为:

$$f_3 = \frac{1}{365} \sqrt{\sum_{j=1}^{365} (t_j - \bar{t})^2} \quad (4)$$

$t_j$  为  $j$  天内实际计划的停电数;

$\bar{t}$  为年计划的平均数。

### 1.1.4 储备指标

储备指标的数学模型为:

$$f_4 = \sum_i^T \sum_{i \in \varphi} \rho_{it} Q_{it} \quad E_k \in \theta \quad (5)$$

## 1.2 约束条件模型

在优化模型中, 电力削减增量、冲突风险和电力限制是最大的限制, 其中电力削减和电力供应限制是最大的, 电力削减和电力供应的限制是最小的。

### 1.2.1 功率削减增量约束

功率削减增量约束的计算公式为:

$$\begin{cases} Q_i \leq E_1, \text{state}_b = 1 \\ Q_i \leq E_s, \text{state}_b = 0 \\ i \in \varepsilon \end{cases} \quad (6)$$

$\varepsilon$  为装置断电后的其它设备,  $Q_i$  表示装置的量值,  $E_1$  表示测量的上限,  $E_s$  表示测量的下限;  $\text{state}_b$  指的是一个断路器或一个开关。

### 1.2.2 冲突风险约束

冲突风险约束为:

$$\begin{cases} D_k \leq D_i \\ D_k \leq D_j \end{cases} \quad (7)$$

$D_i$  是在装置 A 被切断之后, 切换器被关闭的危险;  
 $D_j$  为在装置 B 被切断后, 断开开关的危险;  $D_k$  是指装置 B 与装置 A 在同一时间被切断的危险数值。

### 1.2.3 供电约束

供电约束表达式为:

$$E_k \in \theta \quad (8)$$

$E_k$  是指在特定时段内必须断电的装置;  $\theta$  是在特定的时间里, 需要保护的装置。

### 1.2.4 设备健康状态约束

本文采用系统设备综合健康指数计算模型<sup>[7]</sup>及其设备健康指标作为约束条件, 其数学模型为:

$$\begin{cases} 0, 0.90 \leq H(t) \leq 1.00 \\ 1, 0.70 \leq H(t) < 0.90 \\ 2, 0.55 \leq H(t) < 0.70 \\ 3, 0.35 \leq H(t) < 0.55 \\ 4, 0.20 \leq H(t) < 0.35 \\ 5, 0.00 \leq H(t) < 0.20 \end{cases} \quad (9)$$

$n$  是装置的数量,  $m$  是特性参数的数量; 用 AHP 方法确定了该参数的权重;  $\rho_{it}$  是该特性参数的权值;  $h_{ij}(t)$  是对应于装置  $i$  的特性参数的健康指标。在健康指标的基础上, 将有限制的电力中断方案按照下列公式进行排序。

$$H(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \omega_i \rho_{ij} h_{ij} \quad (10)$$

0 表示装置的状态良好的装置; 1 表示该装置的工作状况良好, 可长期使用; 2 表示该装置存在故障, 不宜长时间使用; 3 表示装置的状况更为反常; 4 表示设备出现了严重的不正常现象, 应该在一星期之内停止维护; 5 是设备故障, 必须马上进行修理。

### 1.2.6 断电时长窗口

$t_i$  是设备断电检修的时间;  $T_i$  为装置的整修周期。

### 1.2.7 断电协调约束

断电协调约束计算公式为:

$$S_i = S_j \quad (11)$$

$S_i$  和  $S_j$  分别代表设备  $i$  和设备  $j$  的停电周期。

## 1.3 停电计划优化模型

### 1.3.1 多目标蜻蜓算法

$$S_i = - \sum_{j=1}^N X - X_j \quad (12)$$

目标函数拆分的公式为:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^N v_j}{N} \quad (13)$$

按如下公式进行单元聚合:

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} - X \quad (14)$$

$X$  为当前设备的位置;  $X_j$  为相邻单元位置  $j$ ;  $N$  为相邻个体的数目。

按如下公式模拟捕猎过程:

$$F_i = X^+ - X \quad (15)$$

$X^+$  为猎物所在位置。

e. 自然天敌限制。

按如下公式定义自然天敌限制:

$$E_i = X^- + X \quad (16)$$

其中步进矢量的描述方法与 PSO 算法相似。

本文在此处以一维数组的位置更新为例叙述其数学过程:

$$\Delta \mathbf{X}_{t+1} = (sS_i + \alpha A_i + cC_i + fF_i + eE_i) + w\Delta \mathbf{X}_t$$

$$\mathbf{X}_{t+1} = \mathbf{X}_t + \Delta \mathbf{X}_{t+1} \quad (17)$$

$A_i$  表示个体  $i$  的目标水平,  $c$  表示集群加权,  $C_i$  表示个体的聚集程度,  $F$  表示捕猎因子;  $F_i$  为单株  $i$  的捕食位置,  $e$  为其天然捕食因子;  $E_i$  表示个体  $i$  的天然天敌位置,  $w$  表示惯性因子,  $t$  表示重复次数。

### 1.3.2 改进型多目标蜻蜓算法

为改善帕累托解集合的分布均匀性和物种多样性, 提

出了在拥挤距离下保存和共享生态位的方法。

a. 拥挤距离下的外部储备维护

$$\begin{aligned} f(P(X,n)+1) &= \\ \lg(P(X,n)+1) - g(P(X,n)-2) & \\ f(P(X,n)-1) &= \\ \lg(P(X,n)+2) - g(P(X,n)-1) & \end{aligned} \quad (18)$$

在此基础上,按照拥挤距离的定义,对最优解X进行排序,将P(X,n)归类为P(X,n),将相应的目标函数值表示为g(P(X,n)),在进行动态维护时,将该位置信息P(X,n)+1的最优解的拥挤分量如下:

在此基础上,在考虑到这些因素的影响下,对最小的拥挤距离进行了删减,并对删除后的拥挤成分进行了求解;重新修正拥挤距离,增大最优方案储存规模,增加个体密集区域的密度。

b. 分享生态位

在外部储备中,个体Xi的适应程度可以由生态位分享机制来定义:

$$F_i = \frac{1}{S_i}, i = 1, 2, \dots, N_s \quad (19)$$

NS是指在一个生态位内的个体数目;Si是个人分享的水平;Si是指:

$$S_i = \sum_{j=1}^{N_s} f_{sh}(d_{ij}), j = 1, 2, \dots, N_s \quad (20)$$

fsh(dij)是在单个Xi与Xj间的共享功能,其表达式如下:

$$f_{sh}(d_{ij}) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{d_{ij}}{\sigma_{share}}\right)^\alpha & 0 < d_{ij} < \sigma_{share} \\ 0 & d_{ij} \geq \sigma_{share} \end{cases} \quad (21)$$

α表示一个函数的形状, sigmshare表示一个预定的共用距离; dij表示单个Xi与Xj的欧氏距离,表示如下:

$$d_{ij} = \|X_i - X_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad (22)$$

本文利用个体共享度和小生境个体数的特点,通过引入正、反馈法,降低群体中同类个体的总体适应性,提高了算法在迁移时选取相似个体的可能性,减少了理解陷入局部最优的问题。

#### 1.4 基于DMODA算法的停电计划模型

a. 获得全部断电装置和它们的电气参数和拓扑关系

通过分析,得出了一种基于不同时段电价与维护资源的最优分配预测结果。计算了供电约束、设备健康约束、停电窗口约束、设备检修最大时间限制。

b. 初始化参数

随机生成群体的初始位置、速度,确定最大容量、最大迭代次数、所有者权重。

c. 为每一个人计算一个目标功能。

d. 建立基于Pareto的方案集合,并基于外部存储能力来决定是否进行动态维护。

e. 根据生态位分享机制,选取各成员,并对权重系数及半径参数进行更新。

f. 使用逆向和低级优先的方式,根据约束函数和目标函数值。反复练习。如果反复次数最多,那么将会把所有答案都输出到外部的内存中。

## 2 算例分析

文中给出了IEEE79的实例,对此算法进行了试验研究。表1显示了计划停电和维修的线路信息,bi表示IEEE79系统中的汇流排;在该系统中,ei表示电力供应号码;li为系统的子线号码;维护期为3个月,在3个月内,1号线和6号线不能同时进行检修;线路保养费为35000元,节假日加倍;维护工作最大限度为4组/天,一天内最多可检查4组设备。

表1 线路检修信息

线路名	起点	终点	bi	ei	li
1	N1	N2	2	2	10
2	N2	N4	5	10	22
3	N4	N9	3	4	13
4	N9	N12	4	11	21
5	N10	N11	4	14	24
6	N12	N23	6	13	28
7	N15	N21	5	18	30
8	N17	N22	8	1	18

中将MOPSO和MODA方法与文中所述的方法进行了比较,结果表明,三种方法的种群数目均为100;200的外部存储能力;重复的最大数目是500个。模拟和计算的结果显示在图1中。从图1可以看出,在选择初始参数的情况下,使用文中所述的方法只需要230次;MOPSO和MOPSO算法都需要进行400次以上的迭代运算才能得到同样的结果,而MOPSO算法在进行200次迭代后,其收敛曲线也会发生发散,这是因为初值选择不当造成的。从稳定性和收敛速度上看,文中算法是最有效的。

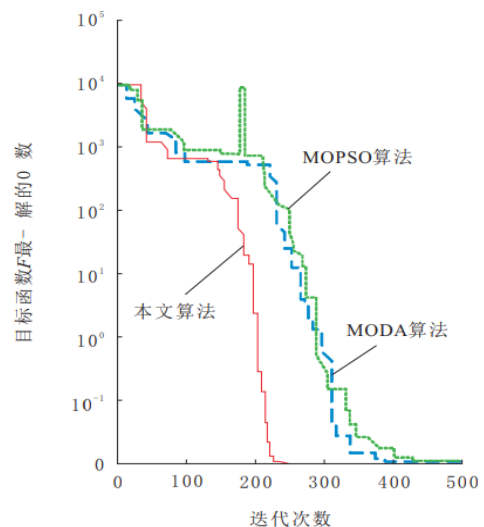


图1 不同算法收敛性示意

### 3 结束语

通过 IEEE 的一个例子,对基于 MODA 和 MOPSO2 的改进算法在收敛速度、精度和效率等方面进行了改进。通过实例分析,证明了所提方法能在保证求解精度的前提下,将重复次数减少一半,从而大大提高了故障维修方案的编制速度。

#### [参考文献]

- [1]唐伟宁,张俊勃.考虑计划冲突的电网停电计划排期方法[J].电网技术,2022(7):14.
- [2]曹明贵.基于边缘计算的配电网不停电检修研究[D].北京:电子科技大学,2021.
- [3]陈智豪.基于回溯搜索/交替优化的停电计划编排双迭代求解方法[D].北京:华南理工大学,2021.
- [4]蔡智洋,李晶,陈志聪,等.基于改进型蜻蜓算法的停电计划优化方法[J].机械与电子,2020,38(11):37-41.
- [5]蔡智洋,叶萌,陈志聪,等.基于多目标遗传算法的电网停电检修规划方法研究[J].电气应用,2020,39(9):69-75.
- [6]朱军飞,徐民,周佳陈,等.多维停电计划智能管控系统关键技术研究及实现[J].电力需求侧管理,2020,22(4):35-39.
- [7]佟佳弘,武志刚,管霖,等.电力调度文本的自然语言理解与解析技术及应用[J].电网技术,2020,44(11):4148-4156.
- [8]毛琳明,陈刚,张中良,等.配电网停电计划优化排程关键技术研究[J].第三届智能电网会议论文集,智能用电,2019(76):206-209.

[9]杨才明,肖林朋,朱炳铨,等.电网停电计划自学习约束规则专家库构建[J].中国科技信息,2018(17):83-86.

[10]潘琪,吴锋,王亮,等.CIM/SVG 数据交互技术在电网预警和停电计划处理系统中的应用[J].中国电力,2018,51(4):155-160.

[11]罗煜.电力大客户负荷预测及配电网调度模式研究[D].石家庄:华南理工大学,2016.

[12]罗理鉴,马骞,张菁.南方电网智能综合停电管理系统设计与实现[J].电力信息与通信技术,2016,14(10):91-96.

[13]窦迅,王俊,叶飞,等.考虑虚拟电厂组合策略的售电公司优化调度及购售电决策[J].电网技术,2020(5):11.

[14]张逸康,赵晋泉,刘子文,等.大电网调度自动巡航中经济运行域的构建方法[J].电力系统自动化,2020(5):11.

[15]于德鳌,李慧,刘思嘉,等.基于改进萤火虫算法的含风电系统环境经济调度[J].电力科学与技术学报,2020,35(2):84-92.

[16]马晓薇,樊培培,章海斌,等.基于PMS 2.0系统的超特高压电网作业计划管理[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2022,27(2):26-29.

[17]赵云超.依托“三精一控”模式打造可靠性管理“一盘棋”[J].农电管理,2022(6):37-39.

作者简介:莫东(1987.1-),广西玉林,男,工学硕士,高级工程师,广西电网电力调度控制中心(南宁),研究方向:电力系统优化调度。