

配网居民用户侧应急抢修资源多目标选址研究

王华昕, 倪 静, 赵永熹, 徐 晨, 陆 斌

(上海电力大学电气工程学院, 上海 200090)

摘 要:配网居民用户侧应急抢修主要针对 10 kV 以下的居民用户故障,其抢修处理量大、到达时间要求短。现有的应急抢修存在问题:未考虑不同地区的差异性及其不确定性进行布置;抢修资源选址模型单一。在此背景下,考虑不同目标对资源配置的影响,建立配电网应急抢修资源多目标选址模型。模型中根据故障工单及天气、路况等数据构建距离、成本目标函数,同时设置覆盖面积、到达距离约束。采用基于 Pareto 支配的多目标粒子群算法进行优化求解,通过基于信息熵的序数偏好法得到最终优化方案。最后,通过算例验证所述模型的可行性。

关 键 词:配电网抢修;应急选址;多目标优化

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2021.04.010 中图分类号:TM72 文章编号:1673-9140(2021)04-0073-08

Research on multi objective location of rush repair resources in residents' side for distribution network

WANG Huaxing, NI Jing, ZHAO Yongxi, XU Chen, LU Bing

(Electric Power Engineering of Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract:The rush repair work of the distribution network is mainly aimed at the faults of residential users below 10 kV. The rush repair is heavy workload and the requirement of the arrival time is short. The existing rush repair has the following problems: the differences and uncertainties of different regions are not fully considered for layout; the location selection model of repairing resources is simple. Considering the influence of different objectives on resources allocation, a multi-objective optimization location model for repair resources in distribution network is built. The distance and cost objective functions are constructed according to the failure schedule, weather and road conditions, and the constraints of the coverage area and arrival distance are set at the same time. A multi-objective particle swarm optimization (PSO) algorithm based on Pareto dominance is used to solve the optimization problem. The final optimization scheme is obtained by the ordinal number preference method based on information entropy. Finally, an case study is performed to illustrate the feasibility of the proposed model.

Key words: distribution network rush repair; emergency location; multi-objective optimization

配网居民用户侧应急抢修资源是指针对居民用户侧出现的配电网故障而设立的应急抢修队以及配套设施,是保障电力安全的重要资源,其覆盖范围广、业务量大,对抢修到达时间要求高。但在实际抢

修业务中,其应急抢修资源的选址存在随意性,部分地区因选址不合理,导致抢修到达时间较长、抢修任务分配混乱等情况,减慢抢修服务效率,增加用户停电损失的同时降低了配电网的可靠性。因此,需要对应急抢修资源进行科学选址,从而改善应急抢修资源的抢修能力,这对提升配电网供电可靠性有着重大的实际意义。

对配电网应急抢修的现有研究主要是关于应急电源或者抢修小队的配置问题^[1-5]。其中,文献[4]考虑了在抢修资源受限条件下的配电网抢修资源与调度问题,考虑了网络关系以及不同种类的抢修任务,运用模拟退火法进行计算得到最终抢修配置方案;文献[5]针对灾后电网的供电情况采用改进离散细菌群体趋药性算法进行多小队分阶段抢修策略研究,并且考虑了网架结构、分布式应急电源。此外,还有涉及应急抢修服务点及仓库的选址研究,如:文献[6]对多个电力系统应急服务点进行选址研究,以总停电损失之和最小为目标,基于图论理论从交通路径角度进行优化建模,但文献中未涉及不确定因素。上述文献研究对象的电压等级为 10 kV 以上,故障与网架结构紧密相连,但涉及居民用户侧故障的电压等级一般在 10 kV 以下,其网架结构复杂,且不确定因素众多,因此,无法直接套用上述文献的模型。参考常见应急选址中的优化模型^[7-9],可引入连续选址模型进行求解。文献[10]提供了一种思路,该文献是配电网抢修资源的单目标连续选址,将多设施选址问题转化为单设施选址的多次迭代,并且考虑了环境、天气等不确定因素对抢修资源的影响;文献[11]通过贝叶斯概率分布对抢修故障数据进行模拟,并对数据进行聚类得到抢修资源的最优位置。但是以上文献为单目标选址,用单目标进行优化存在考虑因素单一的局限性,不能体现抢修业务中的众多影响因素,因此,亟需构建配电网应急抢修资源的多目标选址优化模型。

该文建立的配网居民用户侧应急抢修资源多目标选址模型在增加目标函数数量后,使得求解算法更为复杂,难以通过规划法得到精确解,因此,选择启发式算法进行求解。常见多目标选址的启发式算法有粒子群算法、模拟退火算法、遗传算法。对于配电网抢修资源位置优化而言,多目标选址模型为

NP-hard 问题,其抢修资源以及故障均为离散点的形式,因此,选择以粒子形式进行优化的粒子群算法,该方法易于和其他算法结合更快地得到最优解而广泛应用在各个领域中。

该文以配电网抢修到达时间以及配电网抢修资源成本为总目标,根据配电网抢修的业务特点制定约束条件,采用基于 Pareto 支配的多目标粒子群算法对配电网应急抢修资源进行选址优化,并通过算例进行分析,为配电网应急抢修资源科学定址提供参考依据。

1 配网应急抢修资源多目标选址模型

1.1 目标函数

配电网应急抢修资源选址受诸多因素的影响,是一个多目标优化问题。故障发生后用户的损失随时间推移而逐渐增大,为了减少用户损失,需要缩短配电网用户侧应急抢修队员的到达时间,即通过重新选址缩短抢修资源与故障点的距离。同时,对于企业而言,缩短距离可能使得抢修资源的租借成本提升,因此成本是一个不容忽视的问题。该文综合考虑配电网应急抢修资源与故障点之间的加权距离以及配电网应急抢修资源的成本,选择采用双目标函数进行选址优化,目标函数如下。

1) 到达距离。

到达时间是表征抢修质量的重要指标之一。不同地区在不同时段以及不同天气环境的情景下对应产生不同的抢修队行驶速度,该速度与抢修资源与故障点的距离共同决定了到达时间的长短。对于选址问题,用时间作为目标函数不能很好地表现选址中距离的大小,需要进行一系列运算,使得建模更为复杂,因此用到达距离的形式代替到达时间。将到达距离分为速度权重拟合矩阵与距离矩阵两部分,其数学式为

$$f_1 = \mathbf{W} \otimes \mathbf{X} \quad (1)$$

式中 \mathbf{X} 为距离矩阵; \mathbf{W} 为速度权重拟合矩阵; \otimes 为多设施选址运算。

将 j 个数据按照距离最近分成 m 个区域,按区域计算到达距离目标。

$$\mathbf{X} = |x_m - A_j(x)| + |y_m - A_j(y)| \quad (2)$$

式中 (x_m, y_m) 为应急抢修资源 m 的坐标; $(A_j(x), A_j(y))$ 为 j 故障点的坐标; $A_j \in M_i$ 为属于第 i 个抢修资源的故障点集合, 选择城市距离法表示 j 故障点与 m 应急抢修资源之间的距离。

$$\mathbf{W} = (\omega_1, \omega_2, \omega_{j3}, \omega_{j4}) \quad (3)$$

式中 ω_1 为故障点天气影响权重; ω_2 为故障点的所处时间段影响权重; ω_{j3} 为 j 故障点的地段影响权重; ω_{j4} 为 j 故障点工作满意度权重。

天气、时间均为不确定因素, 不能通过一部分数据代替整体情况。参考文献[10]中选用的模型引入大数据思想, 通过大量数据使得模型尽可能还原现实抢修中遇到的情景; 按天气和时间段各分成 2 组场景, 通过统计不同场景的概率对不确定性进行描述。该文沿用这种思想, 并对其进行 2 点改进: ①引入地段和满意度因素, 地段主要由可靠性规划等级确定, 如可靠性高的地方则对配置抢修资源更有影响, 而满意度低的地方更需要及时提供更好的抢修服务, 并且这两者是不相关但共同影响配电网应急抢修资源配置, 地段可通过可靠性规划等级或者专家评估得到, 而满意度则通过回访得到的打分记录或者投诉情况得到; ②对于不确定性影响因素, 文献[10]中虽进行场景划分, 但存在部分耦合的情况, 因此, 该文将场景分为天气和时段的组合形式, 记为天气好非高峰时段 B_{00} 、天气好高峰时段 B_{01} 、天气不好非高峰时段 B_{10} 、天气不好高峰时段 B_{11} 共 4 种场景, 通过统计各场景出现次数得到概率, 从而确定权重对应为 $\omega_{00} \sim \omega_{11}$ 。为了便于计算, 将式(1)转换为

$$f_1 = \sum_{j=1}^n \frac{\omega_{j3}}{\omega_{j4}} \left(\sum_{ii=00 \sim 11} \omega_{ii} \left(\sum_{B_{00} \sim B_{11}} \mathbf{X} \right) \right) \quad (4)$$

2) 综合成本。

成本作为设施选址重要的影响因素能直接影响设施的位置选择。对于配电网应急抢修资源, 位置影响的成本主要为抢修业务中日常开支以及房屋的租借成本, 因此, 将综合成本分为抢修和租借成本两部分。抢修应急资源距离故障点越远, 抢修队在路途中的成本会随之增加, 而当抢修资源靠近房价较大的地点时, 房屋租借的成本又可能相应提升。综合成本的数学计算公式为

$$f_2 = C_1 + C_2 \quad (5)$$

式中 C_1 为抢修成本, 表示每次抢修中耗材以及行驶成本; C_2 为租借成本。

$$C_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{roadj} c_{costj} \mathbf{X} \quad (6)$$

式中 c_{roadj} 为 j 故障点的抢修行驶成本系数, 是故障点本身的历史信息, 由历史数据中行驶里程与开支得到平均的抢修行驶成本系数; c_{costj} 为耗材系数, 由历史记录中本次抢修耗材与总耗材得到。

$$C_2 = \sum_{i=1}^m c_0 \omega_{i3} \quad (7)$$

其中, c_0 为抢修资源的租借成本系数, 结合 i 处的地段影响权重 ω_{i3} , 从而得到抢修资源 i 所处区域租借成本 C_2 。该式反映的是距离最近地点的租借成本, 通过地段系数反映地段的影响情况。

1.2 约束条件

根据配电网应急抢修的业务特点, 在资源选址优化的过程中, 包含距离约束以及覆盖面积约束。

1) 到达时间约束。

各个地区的 95598 对于到达时间都有相应的规定, 如: 上海为外环内 40 min、外环外 60 min 到达抢修现场。设计抢修资源位置时应考虑抢修驻点与易发生故障地区的到达时间约束:

$$|x_m - A_j(x)| + |y_m - A_j(y)| \leq L_j \quad (8)$$

式中 L_j 为规定时间内到达距离约束。

$$L_j = \bar{v}_j T \omega_{j3} \quad (9)$$

式中 \bar{v}_j 为抢修队到达故障点 j 的平均行驶速度, 该数值为故障点本身历史信息; T 为到达时间的规定最值, 根据配电网抢修承诺及各地区情况得到。

2) 覆盖面积约束。

$$K_{\min} S_{\Sigma} \leq \sum_{i=1}^m S_i \leq K_{\max} S_{\Sigma} \quad (10)$$

式中 $\sum_{i=1}^m S_i$ 为 m 个应急抢修资源覆盖区域面积之和; S_{Σ} 为该区域整体的覆盖面积; K_{\min} 、 K_{\max} 分别为备用覆盖约束的上、下限系数。

覆盖面积约束指的是抢修资源整体的覆盖面积约束以及重复覆盖的备用约束, 使得各个资源之间能相互支援, 减轻故障密集区域的抢修压力, 并将区域覆盖面积之和与区域总面积之比记为覆盖率。

3) 坐标约束。

$$x_1 \leq x_i \leq x_2 \quad (11)$$

$$y_1 \leq y_i \leq y_2 \quad (12)$$

其中, x_1, x_2 和 y_1, y_2 为应急抢修资源坐标选取的上、下限。坐标约束指的是抢修资源的位置必须满足一定范围要求,即通过坐标的形式表现。

2 配网应急抢修资源多目标选址算法及选址流程

粒子群算法是一种启发式智能算法,其思想是构造一系列粒子模拟鸟群觅食的行为,通过自身和种群之间的信息交互找到最优解。该算法易于实现,且有着很好的收敛性以及全局搜索能力^[12]。

典型的粒子群算法为单目标优化,且易陷入局部最优的问题,不能直接套用到多目标优化中。常见的多目标优化处理方法可分为加权法、准则法以及 Pareto 解 3 种。加权法和准则法通过人为设置系数将多目标转化为单目标,存在较大主观性,并且系数设置对最终结果影响较大,因此,该文选择基于 Pareto 支配进行多目标优化。该算法将典型粒子群算法中的权重进行修改,将定权重改为变权重,在两者差值较小的情况下对算法进行交叉变异操作,以解决粒子群容易陷入局部最优的问题,并且通过拥挤距离排序来实现非劣解集更新,并指导全局最优解的选取,从而实现在保持解集规模的同时使解的分布更均匀。

2.1 基于 Pareto 支配的多目标粒子群算法

1) Pareto 最优。

对于基于 Pareto 支配的多目标优化而言,如何判断某一个方案更优的依据是该方案与其他方案的支配关系。其中,方案 x_1, x_2 的支配关系用 $x_1 < x_2$ 表示,即满足: $f(x_1) \leq f(x_2), a \in \{1, 2, \dots, m\}$, 且 $\exists a \in \{1, 2, \dots, m\}$, 使得 $f_a(x_1) < f_a(x_2)$ 。

将每个粒子对应的方案根据支配关系进行筛选,并引用 NSGA-II 算法中的外部存储库以及拥挤距离构造 Pareto 最优集。

计算拥挤距离并进行排序,将超过存储库规模的解集剔除。拥挤距离^[13]为

$$f(i)_d = f(i)_d + \frac{f(i+1)_m - f(i-1)_m}{f_m^{\max} - f_m^{\min}} \quad (13)$$

式中 $f(i)_d$ 为拥挤距离,其初始值为 0; $f(i)_m$ 为第 i 个个体的第 m 个目标函数值; f_m^{\max} 为第 m 个目标函数最大值; f_m^{\min} 为第 m 个目标函数最小值。

2) 自适应权重。

$$\omega = (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \frac{r_{\max} - r}{r_{\max}} + \omega_{\min} \quad (14)$$

式中 r_{\max} 为最大迭代次数; r 为迭代次数; ω_{\max} 为权重的最大值; ω_{\min} 为权重的最小值。

3) 变异操作。

为了保证粒子的多样性,将遗传算法中的变异操作结合到全局最优粒子的选择中。

2.2 粒子设置

粒子的形式由求解的目标函数决定,在使用多目标粒子群算法对配电网应急抢修资源选址优化进行求解的过程中,每个抢修资源的坐标体现了位置的不同,即选址的不同,因此,将粒子的形式表示为每个资源在平面坐标系下的坐标。根据初始设定的抢修资源个数为 m , 可得粒子的大小为 $2m$ 个。由于考虑算法求解中 $1 \times 2m$ 的形式比 $2 \times m$ 的所需求解时间更少,因此,将粒子维度设置为 $1 \times 2m$, 即

$$x_i = [x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_m, y_m] \quad (15)$$

式中 x_i 为第 i 个粒子的位置。

2.3 方案选取

基于 Pareto 的多目标粒子群算法得到的是一组 Pareto 最优解,需要进一步处理得到最优方案。不同的决策者会根据各自的准则得到最优方案,这里为了提升客观性,选择运用基于信息熵的序数偏好法 (technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS) 对最优集进行排序,得到最优方案。

常见选择最优方案的方法有层次分析法、Delphi 法以及 TOPSIS 法。该文为双目标的优化问题,无需体现层次关系,并且需要一个较为客观的排序,因此选择基于信息熵的 TOPSIS 法,通过信息熵确定权重,通过 TOPSIS 法进行方案的排序。该文参考文献[14]所述方法进行 TOPSIS 法计算。

将 Pareto 最优集通过公式去量纲,即

$$f_m^* = \frac{f_m(x_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N f_m(x_i)}} \quad (16)$$

式中 N 为方案个数, $m = 1, 2, \dots, N$; $f_m(x_i)$ 为方案的第 m 个目标函数值。

根据公式计算每个方案的相对距离,即

$$d(x_i) = \frac{d_+(x_i)}{d_+(x_i) + d_-(x_i)} \quad (17)$$

与正、负理想方案的距离分别为

$$d_+(x_i) = \sqrt{\sum_{m=1}^N [\bar{\omega}_m f_m^*(x_i) - \bar{\omega}_m f_{m+}^*]^2} \quad (18)$$

$$d_-(x_i) = \sqrt{\sum_{m=1}^N [\bar{\omega}_m f_m^*(x_i) - \bar{\omega}_m f_{m-}^*]^2} \quad (19)$$

其中, f_{m+}^* 、 f_{m-}^* 表示标么化后的最大、最小值。

$$\bar{\omega}_m = \frac{1 - H_m}{N - \sum_{i=1}^n H_m} \quad (20)$$

$$H_m = -\frac{1}{\ln(n) \cdot \ln(N)} \sum_{m=1}^N \sum_{i=1}^n (\eta_{mi} \ln(\eta_{mi})) \quad (21)$$

$$\eta_{mi} = \frac{f_m^*(x_i)}{\sum_{m=1}^N \sum_{i=1}^n f_m^*(x_i)} \quad (22)$$

2.4 选址流程

配电网应急抢修资源的选址问题的数据来源于配电网故障抢修系统 (trouble call management, TCM), 该系统详细记录了每个故障工单的信息, 从 95598 热线电话接到报修电话至最终送电时间, 覆盖整个配电网抢修流程。从 TCM 系统可以得到每一个故障工单的位置、故障发生时间、到达时间等基本信息, 通过这些信息结合历史天气、道路以及回访情况构建大小为 $n \times 9$ 的故障工单矩阵 \mathbf{DX} , \mathbf{DX} 的每列表示一个故障工单的所属抢修资源旧编号、故障平面 x 坐标位置、故障平面 y 坐标位置、告知时间、到达时间、历史天气、故障所属地段权重、抢修满意度、抢修成本系数。其中, 时间以及坐标通过 TCM 系统处理得到; TCM 中的时间数据为时间节点, 根据各个抢修阶段计算相应时间, 而系统中的坐标为经纬度形式, 出于对居民用户的隐私保护以及优化过程中计算简化, 将经纬度通过坐标变换成直角坐标。

根据多目标粒子群算法以及配电网应急抢修资源模型, 建立配电网应急抢修资源多目标选址优化流程, 如图 1 所示。具体步骤如下:

- 1) 导入故障工单的完整数据, 包括到达时间、处理时间等以及对应的天气、路况、满意度数据;
- 2) 数据进行处理得到故障工单矩阵 \mathbf{DX} , 将 \mathbf{DX} 导入多目标粒子群算法中;
- 3) 对粒子群算法进行初始化赋值, 对粒子进行初始化;
- 4) 根据式(1)~(7)计算目标函数;
- 5) 根据式(8)~(12)将不满足约束条件的粒子对应的目标函数添加惩罚因子;
- 6) 根据式(13)计算拥挤距离并排序得到 Pareto 解集;
- 7) 更新个体最优及全局最优, 更新迭代速度;
- 8) 根据式(14)改变权重;
- 9) 当不满足结束条件时, 重复步骤 4~8;
- 10) 根据基于信息熵的 TOPSIS 法对 Pareto 最优集进行排序得到最优方案。

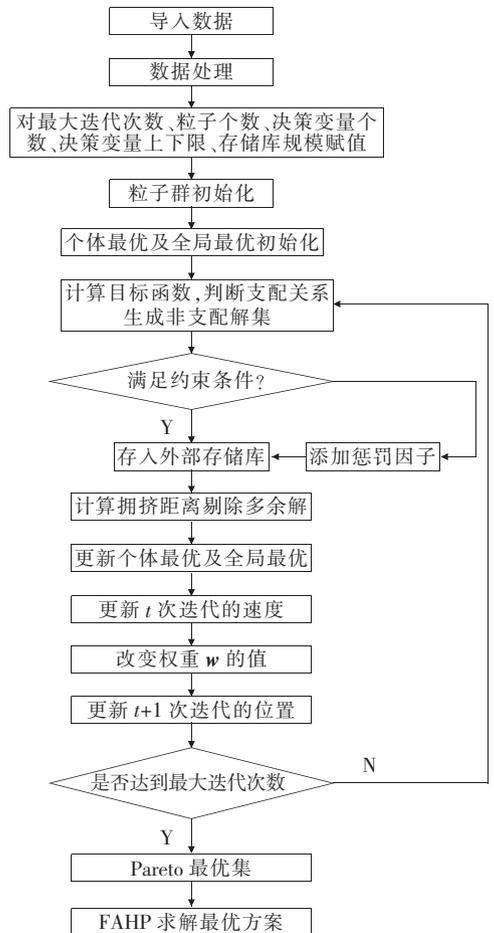


图 1 配电网应急抢修资源多目标选址优化流程

Figure 1 Flowchart of multi-objective location optimization for rush repair resource of distribution network

3 算例分析

3.1 算例数据

算例中采用某特大城市中一个区域的现有应急抢修资源分布以及历史数据,对该区域进行配电网应急抢修资源的选址优化。

以距离为数据,绘制该区域的历史故障工单分布热点图,如图2所示,深色部分表示该区域故障工单多、抢修压力大。根据文献[15]所述,可选择典型年的典型月作为数据进行优化,如2014年的7、8月等。该文选择2014年7月TCM系统的历史数据作为数据来源。天气数据可根据该城市的历史天气数据库得到,在 DX 中用0表示好天气、1表示坏天气,时段可根据告知时间进行判断,同样用0和1进行表示。该区域的地段情况差别不大,且回访数据中无投诉信息,由此建立故障工单矩阵 DX 。根据 DX 可计算出 w_1 、 w_2 ,对于地段影响权重 w_3 以及工作满意度权重 w_4 选择忽略。

对于多目标粒子群算法的参数进行设置:最大迭代次数为200,粒子向量维度为12,最大存储个数为100,权重 w 为0.5, w_{\min} 为0.4, w_{\max} 为0.9。



图2 某区域配电网故障分布热点

Figure 2 Fault distribution diagram of a distribution network

3.2 算例分析

根据上述配电网抢修资源多目标优化模型以及MOPSO算法得到其Pareto最优集,如图3所示。图3为配电网应急抢修资源多目标粒子群优化的结果,其中星形为存储库中的Pareto最优集,由此构成Pareto前沿。

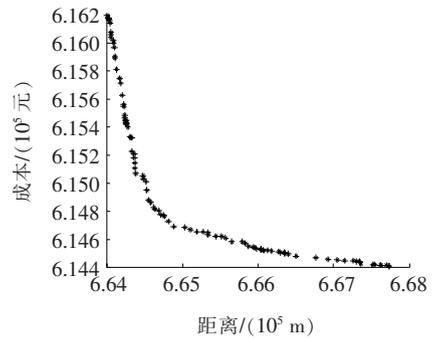


图3 配电网应急抢修资源选址 Pareto 最优集结果

Figure 3 Distribution of Pareto solutions for rush repair resource of distribution network

根据TOPSIS法对Pareto最优集进行排序,得到TOPSIS排序最优的是Pareto最优集中的20号方案,而Pareto最优集中到达距离最小以及成本最小的方案在TOPSIS中分别排43与86,3个方案的详细数据如表1所示,可以看出,在决策者无偏好的情况下,方案20与87、40相比兼顾到达距离和成本,因此选择方案20作为最终方案。

优化前、后的抢修资源位置如表2所示,其中3、4、6位置变化较大,其余位置变化较小,可根据情况进行适当保留。将优化前、后的位置分别标注在图4、5中,其坐标轴表示该区域离市中心位置的距离。

表1 不同方案对比

Table 1 Comparison of different schemes

方案编号	TOPSIS 排序	到达距离/km	成本/万元	备注
20	1	664.272	61.539 9	TOPSIS 排序最小
87	43	663.996	61.619 1	到达距离最小
40	86	667.735	61.440 5	成本最小

表2 优化前、后结果

Table 2 Results before and after optimization

资源编号	优化前		优化后	
	x 坐标	y 坐标	x 坐标	y 坐标
1	-14 448.79	-54 769.550	-12 804.53	-54 997.96
2	-10 059.51	-49 706.500	-9 947.23	-49 878.33
3	-20 746.53	-50 762.087	-22 765.26	-46 897.87
4	-21 108.11	-38 366.900	-15 026.96	-40 071.62
5	-31 149.07	-37 868.320	-29 701.79	-37 356.91
6	-39 144.49	-40 461.740	-43 010.11	-38 026.61

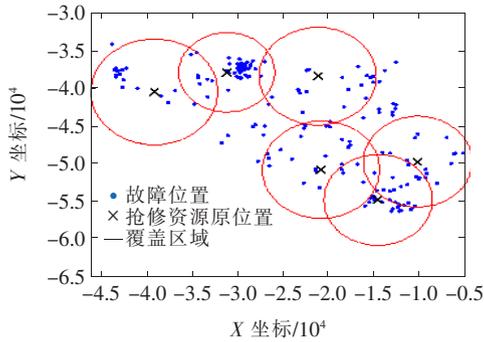


图 4 配电网应急抢修资源优化前分布情况

Figure 4 Distribution diagram for the rush repair resource of distribution network before optimization

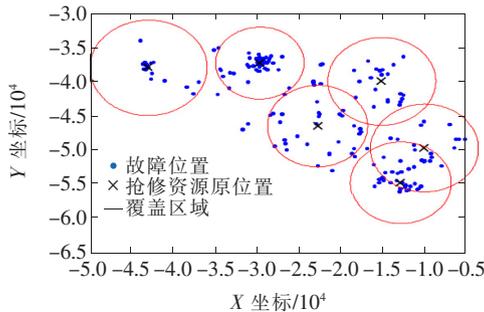


图 5 配电网应急抢修资源优化后分布情况

Figure 5 Distribution diagram for the rush repair resource of distribution network after optimization

将优化前、后的总距离、总成本、到达时间约束以及覆盖率进行对比,如表 3 所示,成本有所减少,满足了到达时间约束且覆盖率有所提升。其中优化后大幅减少的距离提升了区域的覆盖率,主要原因是优化后的抢修资源布点使得抢修资源更接近覆盖圆内的故障。由图 4、5 可以看出,优化前相邻的抢修资源布点可能导致抢修资源间同时作用的重叠面积较大,而优化后使得这部分的重叠面积减小,进而使整个抢修资源覆盖率提升。优化后的故障分布如图 6 所示,深色部分减少,抢修压力缓解。

为了验证该文采用改进粒子群算法的合理性,将其与常见的多目标求解算法(线性加权法)进行对比。算法对比结果如表 4 所示,可以看出,改进粒子群算法与线性加权法所得到的最优解误差较小,故该文采用的改进粒子群算法合理。

该文采用的改进粒子群算法通过逼近理想解排序法可以求得最优解,计算相对距离得到最优方案,此时的相对距离较线性加权法的相对距离短,虽然

表 3 优化前、后数据对比

Table 3 Data comparison before and after optimization

类别	距离/km	成本/万元	覆盖率/%
优化前	5 747.000	62.281 3	90.0
优化后	664.272	61.539 9	94.5



图 6 某区域配电网优化后故障分布热点

Figure 6 Fault distribution diagram of a distribution network after optimization

表 4 算法对比

Table 4 Comparison of algorithms

算法	总距离/km	总成本/万元	到达时间约束	覆盖率/%
优化前	5 747	62.281 3	不满足	90.0
改进粒子群	664	61.517 0	满足	94.5
线性加权法	773	57.988 6	满足	91.0

成本提高 6%,但是在合理范围内,且总距离减小 14%,覆盖范围有所提升,故改进粒子群算法比线性加权法更适用于该文的数学模型。

与文献[10]所述的单目标方案相比,该文提出的配电网应急抢修选址方案通过多目标考虑成本和距离,更便于决策者进行方案确定,且与其他基于电网结构所得的方案更符合实际配电网抢修情况。

4 结语

该文就配网居民用户侧应急抢修资源多目标选址问题进行了研究,建立了基于大数据分析技术下的配电网应急抢修资源多目标选址模型。求解过程中选用基于 Pareto 支配的多目标粒子群算法以及基于信息熵的序数偏好法得到最优选址方案,结果表明:

1) 优化后的应急抢修资源位置可以大幅度的缩短到达距离,减少抢修成本,并且在覆盖率上有所提升,证明了该模型能缩短距离以及减少成本,达到

了提高配电网故障抢修工作效率、优化资源配置、提高服务质量的目標。

2) 相比于常规多目标求解算法,改进多目标粒子群算法在求解大数据分析技术下的配电网用户侧应急抢修资源选址问题时具有明显优势。

3) 决策者可以将优化结果作为理论依据,根据实际情况及个人偏好情况进行适当修正,减轻决策者工作量,提升选址的科学性。

参考文献:

[1] 杨丽君,吕雪姣,李丹,等. 含分布式电源的配电网多故障抢修与恢复协调优化策略[J]. 电力系统自动化, 2016,40(20):13-19.

YANG Lijun, LV Xuejiao, LI Dan, et al. Coordinated optimization strategy of multi-fault repair and recovery for distribution network with distributed generators[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(20): 13-19.

[2] 杨丽君,张晶,程慧琳,等. 基于最优效用的配电网多故障抢修任务分配策略[J]. 电工技术学报, 2014,29(6): 263-270.

YANG Lijun, ZHANG Jing, CHENG Huilin, et al. A task allocation strategy of multi-fault rush repair for distribution network based on optimum utility[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(6):263-270.

[3] 黄弦超,杨雨,范闻博. 配电网多故障抢修与供电恢复联合优化模型[J]. 电力系统自动化, 2014,38(11):68-73.

HUANG Xianchao, YANG Yu, FAN Wenbo. Combined optimization model for maintenance scheduling and service restoration of distribution system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(11):68-73.

[4] 赵丽萍,张书伟,张雪岩,等. 基于随机机会约束规划的面向能源互联的主动配电网选址定容方法[J]. 电力系统保护与控制, 2020,48(14):121-129.

ZHAO Liping, ZHANG Shuwei, ZHANG Xueyan, et al. Locating and sizing method for energy interconnection oriented active distribution networks based on stochastic chance constrained programming[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(14):121-129.

[5] 卢志刚,刘照拯,张晶,等. 含分布式电源的配电网灾后

分阶段抢修策略[J]. 电工电能新技术, 2015,34(1):69-74.

LU Zhigang, LIU Zhaozheng, ZHANG Jing, et al. Staged rush repair strategy of distribution networks with distributed generators after disaster[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2015, 34(1):69-74.

[6] 梁博森,王宏,林振智,等. 电力系统应急服务多点最优选址规划[J]. 电力系统自动化, 2014,38(18):40-45.

LIANG Bomiao, WANG Hong, LIN Zhenzhi, et al. Optimal siting of power emergency multi-point service provisions[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(18):40-45.

[7] 王凡,李海峰,胥国毅,等. 调频关键参数对电网频率特性的影响及其灵敏度分析[J]. 电力系统保护与控制, 2020,48(20):1-8.

WANG Fan, LI Haifeng, XU Guoyi, et al. Influence of key parameters of frequency control on frequency characteristics of power grid and sensitivity analysis [J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(20): 1-8.

[8] 周东清,王一峰,葛宏伟. 基于协同进化的电力系统多目标优化[J]. 电测与仪表, 2020,57(20):73-80.

ZHOU Dongqing, WANG Yifeng, GE Hongwei. Multi-objective optimization of power system based on co-evolution[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2020, 57(20):73-80.

[9] 陈志宗,尤建新. 重大突发事件应急救援设施选址的多目标决策模型[J]. 管理科学, 2006,19(4):10-14.

CHEN Zhizong, YOU Jianxin. A multi-objective decision model of emergency rescue facility location for large scale emergency incidents[J]. Journal of Management Science, 2006, 19(4):10-14.

[10] 马晶,胡杨. 基于营配贯通的电网故障智能抢修作业[J]. 供用电, 2019, 36(6):72-77.

MA Jing, HU Yang. Intelligent repair operation for power grid fault based on the connection between marketing and power distribution[J]. Distribution & Utilization, 2019, 36(6):72-77.

[11] 苏剑,王卓,崔艳妍,等. 源—网协同的中压交直流混合配电网换流器选址研究[J]. 供用电, 2019, 36(5):59-65.

(下转第 131 页 Continued on page 131)