

基于地理信息系统的配电网优化设计

配电网优化是当前电力系统规划的研究热点，为了获得更加合理的配电网优化方案，提出一种基于地理信息系统的配电网优化方法。首先对当前配电网优化研究现状进行了分析，并针对配电网特点构建了配电网优化数学模型；然后采用粒子群算法对配电网优化数学模型进行了求解，并与地理信息系统结合得到了配电网优化的最优结果；最后采用仿真模拟实验对其性能进行了测试。结果表明，此方法可以准确找到最优配电网优化方案，且方案更加科学和合理，为复杂配电网提供了一种新的优化工具。

王建东 曾繁祎/海南电网有限责任公司三亚供电局

0 引言

随着改革开放的力度加大，人民经济和生活水平日益提高，用电量也越来越大，然而我国目前的电力成本相当高，用电浪费十分严重，影响着人们的日常生活^[1-2]。配电网优化和规划可以对电力资源进行合理利用，因此，配电网系统优化与设计已经成为电力系统中的热门研究课题^[3-5]。

配电网优化是一种多约束、非线性的组合优化问题，针对该问题，国内外许多学者投入了大量的时间，开展了深入的研究，同时提出了一些性能良好的配电网优化方法^[6]。传统配电网优化技术主要根据配电子网的特点，在保证供电质量的前提下，尽可能降低电网运行成本，然而配电网受到许多因素（如天气、价格）影响，采用传统方法（如穷举法等）难以建立准确的数学模型，因此不可能获得十分理想的配电网优化方案^[7]。近些年来，随着群智能技术的不断成熟和深入研究，一些学者将遗传算法、蚁群算法以及模拟退火算法应用于

配电网优化设计与研究中，并获得了比较理想的配电网优化效果^[8]。在实际应用中，每一种群智能算法都有自己的优缺点：如遗传算法的遗传算子值如何设置没有理论指导，全凭经验进行设计，导致得到的配电网方案可能是局部极优方案；蚁群算法没有初始化，如果设置不当，导致算法求解的后期收敛速度慢，求解效率十分低，尤其对于大规模配电网有时无法实现^[9]。为此，一些学者对群智能算法进行了相应的改进，以便在一定程度上获得更优的配电网优化方案，但是目前均没有很好地与地理信息系统结合，配电网优化方案有待进一步改善^[10]。

为了获得更加合理的配电网优化方案，提出一种基于地理信息系统的配电网优化方法。首先建立配电网优化的数学模型；然后采用粒子群算法对配电网优化数学模型进行求解，并与地理信息系统数据处理优势相结合，得到了配电网优化的最优结果；最后采用仿真模拟实验对其性能进行测试。结果表明，本文方法可以准确地找到最优配电网优化方案，且方案更加科学和合理，同时为复杂配电网系统提供了一种新的优化工具。

1 配电网优化问题的数学模型

与其他优化问题不同，配电网优化有着自身的特殊性，如线路呈辐射状、线路组合方案多以及约束条件多等，这是一项复杂的工作，当前配电网优化的目标函数为



王建东/工程师

关键词/Keywords

配电网优化 ·
地理信息系统 ·
粒子群优化算法 ·
仿真模拟实验 ·

$$\min C = \sum_{j=1}^{n_e} \sum_{i=1}^{n_p} L_i (C_i(r_j) \lambda_j + k \sum_{l=1}^{n_l} r_l \frac{P_l^2 + Q_l^2}{V_l^2}) + \sum \text{设备投资} + \sum \text{维护费用} \quad (1)$$

式中, n_e 和 n_p 分别为故障模式和负荷点的个数; r_l 为馈线段 l 的电阻; r_j 为故障模式 j 的停运持续时间;其他参数具体见文献[11]。

当前配电网系统可靠性估计方法的类型多种多样,每一种方法均有自己的应用领域,本文选择的配电网系统可靠性指标计算公式如下

$$\lambda_s = \sum_i (\lambda'_i + \lambda''_i) \quad (2)$$

$$\mu_s = \sum_i (\lambda'_i r'_i + \lambda''_i r''_i) \quad (3)$$

$$r_s = \frac{\mu_s}{\lambda_s} = \frac{\sum_i (\lambda'_i r'_i + \lambda''_i r''_i)}{\sum_i (\lambda'_i + \lambda''_i)} \quad (4)$$

式中, r_s 为配电网的停运持续时间; λ'_i 为故障率; r'_i 为故障修复时间; λ''_i 为检修停运率; r''_i 为检修持续时间。

根据式(3)和式(4)可以得到配电网系统的可靠评价指标,如表1所示。

表1 配电网系统的可靠评价指标

设备	r'_i	r''_i	λ'_i	λ''_i
熔断器	5.164	2.955	0.501	0.383
断路器	9.943	5.201	2.523	9.110
隔离开关	3.267	4.722	0.324	2.937
变压器	6.031	7.287	0.455	2.494
架空线	5.977	7.261	9.467	19.791
负荷开关	6.581	4.959	1.458	6.322

在配电网优化求解过程中,用户停电损失是必须要考虑的一个因素,而当前用户停电损失的评估方法众多,其中相对于其他方法,用户调查法具有明显优势,因此本文选择用户调查法评估用户停电损失,具体步骤如下:

1) 对用户的类型进行划分,将不同用户归类到相应的类别中。

2) 向用户发放一些调查表,用户对调查表中的相应内容和数据进行填写。

3) 从用户手中收集相应的调查表,去除一些无用和不合理的调查表,并统计和分析调查表。

4) 根据统计结果得到配电网系统中用户停电损失数据。

配电网系统中各类用户的停电损失数据具体如表2所示。

表2 各类用户的损失数据

负荷类型	1 h	2 h	4 h	8 h	24 h
民用	0.149	0.463	1.652	3.708	18.075
商用	15.345	31.451	71.840	116.639	133.392
小工业	6.436	10.873	19.914	42.516	63.914
大工业	2.055	2.545	3.877	6.895	21.776
办公	19.202	33.007	61.483	113.940	238.623
政府	1.357	2.772	6.469	23.798	180.445
农区	0.693	1.162	1.922	3.496	9.357

2 地理信息系统

地理信息系统(GIS)是一种可以对数据进行采集、存储和加工的工具,集成了计算机科学、经济学、管理学和地理学等优点,典型的系统结构如图1所示^[12]。在配电网系统的优化过程中,有许多数据与地理位置密切相关,因此,本文利用GIS对用电用户数据进行处理和分析。

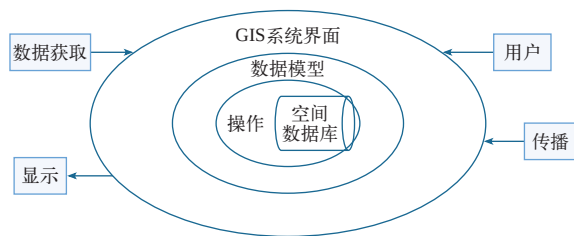


图1 GIS的结构

3 配电网优化问题的求解

设粒子群中共有 M 个粒子,空间维度为 n ,对于第 i 个粒子,在 t 时刻的坐标位置和速度为

$$X_i^t = (x_{i2}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{in}^t) \quad i=1,2,\dots,M \quad (5)$$

$$V_i^t = (v_{i2}^t, v_{i2}^t, \dots, v_{in}^t) \quad (6)$$

那么第 i 个粒子的速度和位置的改变方式具体如下

$$v_{ij}^t = \omega v_{ij}^{t-1} + c_1 r_1 (p_{ij} - x_{ij}^{t-1}) + c_2 r_2 (g_{ij} - x_{ij}^{t-1}) \quad (7)$$

$$v_{ij}^t = \begin{cases} v_{\max} & v > v_{\max} \\ -v_{\max} & v < -v_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

$$x_{ij}^t = x_{ij}^{t-1} + v_{ij}^t \quad (9)$$

式中, ω 为粒子的惯性权重; c_1 、 c_2 为粒子的加速因子^[13]。

粒子群算法和地理信息系统的配电网优化流程如图2所示。

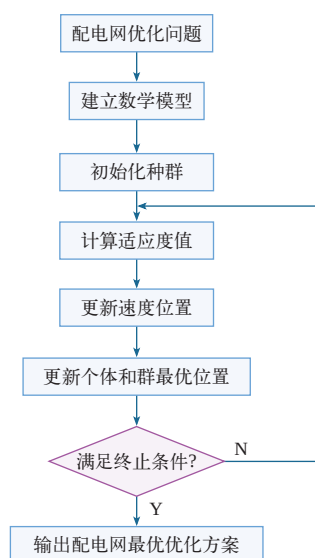


图2 配电网优化问题的求解流程

基于粒子群算法和地理信息系统的配电网优化问题求解步骤具体如下:

- 1) 初始化粒子群, 每一个粒子初始位置代表一种配电网优化方案。
- 2) 根据目标函数对每个粒子代表配电网优化方案优劣进行评估。
- 3) 根据配电网优化方案的目标函数值更新每个粒子的历史最优位置。
- 4) 根据配电网优化方案的目标函数值更新整个粒子群的历史最优位置。
- 5) 根据式 (7) ~ 式 (9) 对每一个粒子的位置和速度参数进行更新操作。
- 6) 检测粒子群优化算法的终止条件, 如果满足终止条件, 输出粒子群的最优位置。
- 7) 根据粒子群的最优位置得到最佳的配电网优化方案。

4 仿真测试

4.1 实验环境

为了分析本文提出的配电网优化方法的有效性, 在Intel 双核 2.80 GHz CPU、4 G RAM、1 000 GB的硬盘以及Win 7的个人计算机上, 利用VC 6.0++进行仿真模拟实验, GIS软件采用MapInfo professional 6.5^[14], 同时为了测试本文方法的优越性, 选择文献[15]的配电网优化方法进行对比实验, 配电网优化初始方案如图3所示。

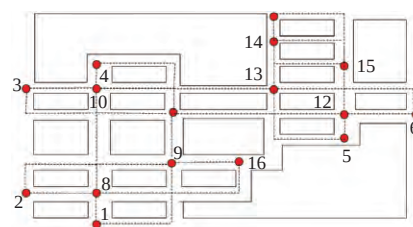
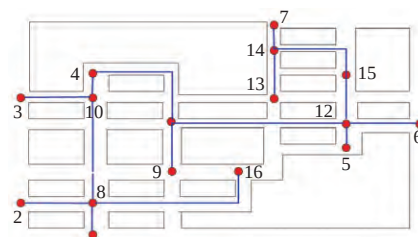


图3 配电网优化的初始方案

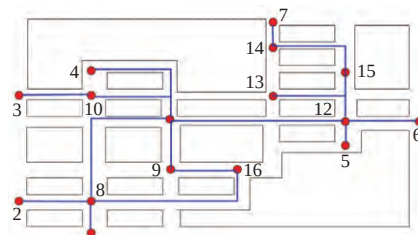
4.2 结果与分析

4.2.1 最优方案对比

本文方法和文献[15]方法对图3的配电网初始方案进行优化和求解, 得到的结果如图4所示。从图4可知, 相比于文献[15]方法的配电网方案, 本文方案更加合理、科学, 配电网规划的费用更低, 这主要由于本文方法综合了地理信息数据分析和处理的优点, 以及粒子群优化算法全局寻优



(a) 本文方法的结果



(b) 文献[15]方法的结果

图4 不同方法的配电网优化结果

能力的特点,较好地解决了传统方法存在的一些不足,获得了更加理想的配电网优化方案,证明本文方法是一种有效的配电网优化方法,而且具有一定的优越性。

4.2.2 问题求解速度的对比

对于现代大规模配电网系统,配电网优化方案求解速度比较重要,每一种方法均运行5次仿真测试,统计本文方法和文献[15]方法的求解时间,统计结果如图5所示。从图5可以发现,相对文献[15]的配电网优化方法,本文方法找到最优配电网方案平均时间更短,加快了配电网优化问题的求解速度,实际应用价值更高。

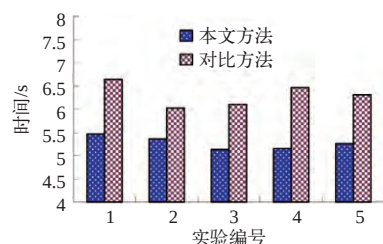


图5 不同方法的配电网平均求解时间对比

5 结束语

配电网优化一直是电力系统中的研究重点,由于配电网受到众多因素的影响,是一种复杂的非线性优化问题,针对当前求解算法存在易获得局部最优方案 and 没有考虑地理信息的缺陷,本文提出一种基于地理信息系统的配电网优化方法。该方法首先根据配电网特点建立以社会效益为优化目标的数学模型,然后采用粒子群算法对数学模型进行求解,并利用地理信息系统的数据分析功能,找到最优的配电网优化方案。仿真测试结果表明,本文方法避免了当前配电网优化方法的局限性,得到的配电网优化方案更加经济、可靠,可以为配电网规划人员提供更有价值的参考建议。

参考文献

[1] 陈拥军,姜宪.农村电力需求评价和电网规划[M].北京:中国水利水电出版社,2009.

[2] 国家电网公司.城市电力网规划设计导则[M].

北京:中国电力出版社,2006.

[3] 刘健,毕鹏翔,董海鹏.复杂配电网简化分析与优化[M].北京:中国电力出版社,2002.

[4] 倪秋龙,黄民翔.基于支路交换的模拟退火算法在配电网规划中的应用[J].电力系统及其自动化学报,2000,12(4):31-35.

[5] 金义雄,程浩忠,严建勇,等.现代启发式算法及其在输电网扩展规划中的应用[J].华东电力,2005,33(8):20-24.

[6] 杨文字,刘健,余健明,等.基于改进prim算法的配电网优化规划方法[J].电工技术学报,2005,20(3):75-79.

[7] 王金凤,杨丽徙,臧睿,等.基于改进遗传算法的配电网优化规划[J].电力自动化设备,2002,22(5):64-66.

[8] 刘立,王建兴,秦书硕,等.一种改进蚁群算法在配电网优化规划中的应用[J].科学技术工程,2011,24(11):5801-5804.

[9] 王天华,王平洋,范明天.用演化算法求解多阶段配电网规划问题[J].中国电机工程学报,2000,20(3):34-38.

[10] 王成山,王赛.基于空间GSI和Tbu搜索技术的城市中压配电网规划[J].电网技术,2004,28(14):68-73,78.

[11] 王春生,赵凯,彭建春.基于地理信息系统和遗传算法的配电网优化规划[J].电力系统自动化,2000(7):48-52.

[12] 王耀华,高金南,姚雷.基于地理信息系统的配电网规划优化系统的应用[J].电力与能源,2013,34(3):250-253.

[13] 孙才新.电力地理信息系统及其在配电网中的应用[M].北京:科学出版社,2003.

[14] 王林,梁小姣,金义雄,等.基于地理信息系统的配电网可靠性评估系统设计与实现[J].供用电,2014(6):62-64.

[15] 章文俊,程浩忠,王一,等.基于树形结构编码单亲遗传算法的配电网优化规划[J].电工技术学报,2009,24(5):154-161.

(收稿日期:2015-02-10) EA