

基于改进人工鱼群算法的输电网规划

李传虎, 王林川, 刘 萍, 王 坤

(东北电力大学, 吉林 吉林 132012)

摘 要:对传统的输电网规划模型增加考虑不确定信息因素的影响,建立了不确定因素影响下的数学模型,使得规划后的网络具有一定的剩余容量以适应未来不确定负荷的变化,可以满足未来小幅度的负荷波动以及未来短时的大幅度区域负荷增长的不确定性。使用改进的人工鱼群算法可以快速有效地求解该模型。24 节点系统算例的计算结果验证了模型及算法的正确性及有效性。

关键词:输电网规划;不确定负荷;人工鱼群算法

Abstract: The influence of uncertain information factors to the traditional transmission network planning model is considered and the mathematical model of transmission network planning under the uncertain factors is established which receives a certain residual capacity to meet the changes of uncertain load in the future. It can satisfy the uncertainties including the fluctuation of small load and the short-time load increasing greatly of big area in the future. Using the improved artificial fish swarm algorithm can solve the model quickly and effectively. The calculation results of 24-node system prove that the mathematical model and the algorithm are correct and effective.

Key words: transmission network planning; uncertain load; artificial fish swarm algorithm

中图分类号: TM715 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)01-0052-04

0 引 言

输电网规划是规模庞大、计算复杂、带有大量等式和不等式约束条件的离散组合优化问题^[1]。目前进行输电网规划的方法分为数学优化方法和启发式方法两类。数学优化方法在理论上更为优越,一般可以保证解的最优性,但通常计算量过大,实际应用中有许多困难。启发式方法是以直观分析为依据的方法,通常是基于系统某一性能指标对可行路径上的一些参数作灵敏度分析,并根据一定的原则选择要架设的线路。启发式方法的优点是直观、灵活、计算量小、应用方便;缺点是无法从理论上证明其解的最优性,并且各启发式方法的收敛性也值得进行进一步的研究。

近年来应用于输电网规划的启发式方法主要有:遗传算法^[2-3]、粒子群算法^[4]、蚁群算法^[5]等。这些方法的提出丰富了输电网规划的解法,也为更好地进行电网规划工作打下了基础。

人工鱼群算法 (artificial fish swarm algorithm, AFSA) 是近年来提出一种模拟鱼类行为的优化方法,是集群智能思路的一个具体应用,它能很好地解决非线

性函数优化等问题。人工鱼群算法的主要优点是不需要了解问题的特殊信息,只需要对问题进行优劣的比较,初期有着较快的收敛速度;缺点是很难获得精确的最优解,而且算法在初期有较快的收敛性,后期收敛较慢。

通过引进保留精英机制和采用模拟植物生长算法作为后置程序的措施来改进人工鱼群算法 (improved artificial fish swarm algorithm, IAFA), 用于求解输电网规划问题。24 节点系统的算例表明了改进算法的有效性和可行性。

1 输电网规划的数学模型

电力市场环境下的电网规划面临如负荷变化、电源规划、政府政策、社会经济发展等更多不确定因素,这些因素将直接影响到规划方案的经济性和可靠性。因此,正确、客观、合理地描述这些不确定性信息是电网规划成功的基础^[6-8]。按照这些不确定信息的特点和性质不同,可分为随机不确定性、模糊不确定性、中介不确定性以及灰色不确定性等。这些不确定性在工程设计和实施过程中可能单独出现,也可能同时出现甚至相互联系、相互影响和相互作用,而这些不

确定性因素的影响最终都要体现在网络负荷变化上,从而为电网规划和实施带来困难。

传统的确定性负荷下的输电网规划模型,由于过于追求在网络安全前提下的线路投资最小化,常常会造成部分线路的容量在未来实际运行过程中被完全利用。在这种情况下,规划后的网络应对未来负荷波动的能力将较弱,有时比较小的负荷波动就可能会超过部分线路的传输容量。因此,计及负荷不确定性的影响,确保规划后的网络留有一定的可用传输容量是很有必要的,是解决不确定因素下系统安全性问题最基本的途径,可以有效地防止由于负荷的不确定性波动而造成的线路过载问题。

为此采用如下数学模型。

$$\max f = C_0 - \sum_{(i,j) \in \Omega} c_{ij} n_{ij} - \beta_1 \sum_{i \in \Omega_s} \gamma_{1i} - \beta_2 \sum_{i \in \Omega_s} \gamma_{2i}$$

约束条件如下。

$$\sum_{j=1}^{N_D} d_j - \sum_{i=1}^{N_G} g_i = 0$$

$$g_{i \min} \leq g_i \leq g_{i \max} \quad i=1, 2, \dots, N_G$$

$$d_{j \min} \leq d_j \leq d_{j \max} \quad j=1, 2, \dots, N_D$$

$$Z_{l \min} \leq Z_l \leq Z_{l \max} \quad l=1, 2, \dots, N_l$$

式中, f 为方案总投资费用; C_0 为一个很大的正常数; C_{ij} 为支路 ij 间增加单条线路的投资成本; n_{ij} 为实际增加线路的条数; β_1 为正常情况下网络切负荷惩罚因子; β_2 为紧急情况下网络切负荷惩罚因子; r 为最小切负荷列向量; Ω 为所有可增加线路的支路集合; Ω_s 为负荷节点集合。约束条件分别为网络平衡约束、发电厂机组容量约束、负荷的容量约束及输电容量约束。参数 N_G 为发电机组节点数; N_D 为负荷节点数; N_L 为线路总数; g_i 为发电机出力; $g_{i \max}$ 和 $g_{i \min}$ 为发电机 i 容量上下限; d_j 为负荷功率; $d_{j \max}$ 和 $d_{j \min}$ 为负荷 j 容量上下限; z_l 为线路潮流; $z_{l \max}$ 和 $z_{l \min}$ 为线路 l 容量上下限。

2 模型的求解

采用改进人工鱼群算法来求解所建立的模型。相比蚁群算法、神经网络等其他近代优化算法,传统 AFSA 的优点是对问题的要求比较宽松,对参数的依赖性较弱,只需要比较目标函数,全局寻优能力强。但是,该算法也存在缺点,主要是难以获得精确最优解,前期算法收敛快,后期收敛较慢。针对输电网规划问题,特对人工鱼群算法做以下改进:采取保留精

英方法,当一条人工鱼试探 $trytimes$ 次后,在无法寻得比当前解更优的解时,不再是盲目地随机移动一步同时替换解值,而是随机移动一步同时保留上一步的解值;采用模拟植物生长算法作为鱼群算法的后置算法程序,利用植物生长算法的极强的局部寻优能力,去获取精确最优解。

传统人工鱼群算法解决输电网规划问题的基本过程如下。

1) 输入初始数据,如人工鱼条数、最大迭代次数、视野、觅食尝试次数等。

2) 利用随机数发生器在控制变量可行域内随机生成个人工鱼个体,形成初始鱼群。鱼群中的每个人工鱼个体都代表一个初始方案。计算初始鱼群个体当前位置的食物浓度,令食物浓度最大者进入公告板,保存其位置及食物浓度值。

3) 各人工鱼分别执行觅食行为、追尾行为;选择行为后食物浓度较大者实际执行,缺省方式为觅食行为。这是以通过最有效的行动方式搜寻更优的规划方案。

4) 各人工鱼行动一次后,检验自身位置的食物浓度并与公告板比较,如果优于公告板,则将其取代。即每条人工鱼检查自己是否搜索到此时最合理的规划方案。

5) 判断是否达到预置的最大迭代次数,若是则输出计算结果;否则转步骤 4)。

各条人工鱼通过不断改变自身的位置,并将对应位置的食物浓度与公告板比较,在经过一系列的反复搜索寻优过程后,可能包含最优解的最佳结果将被留在公告板上。

改进后的人工鱼群算法求解提出的数学模型算法流程图如图 1。

在图 1 所示的流程图中,初始解采用二进制编码方式,模型中的最小切负荷量的计算需要同时计算正常情况和紧急情况下的最小切负荷量;后置的模拟植物生长算法是用来寻求精确最优解的,因此只进行减线操作,即对于随机选到的可行解的编码位进行减 1 操作。对于寻求到的既有经济性优点又满足一定负荷量变化的规划方案,本方法输出 3 个方案,包括最优解及几个次优解,便于规划人员参照比较。

3 算例分析

为了验证所提模型的正确性及改进算法的有效

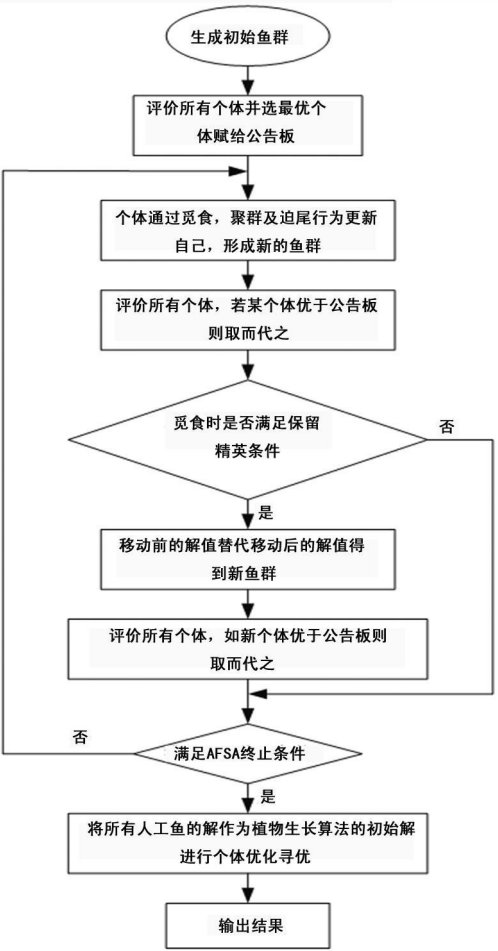


图 1 算法框图

性,对 IEEE-24 节点系统进行求解,24 节点系统是输电网规划中常用的算例,其原始结构图如图 2 所示,其基本数据参见文献 [9]。候选线路集选择与已有线路相同型号的线路进行扩建,线路的投资费用与线路长度成正比,节点间允许最多扩建支路数为 3 条。现假定规划年的每个节点负荷波动的幅度约为 ±5%,但是负荷波动的具体数学模型表述无法确定。假定图 2 东北部、中西部 2 个地区的总负荷量在用电高峰时都存在短时的负荷增长,并且增长幅度大于 15%,但每个地区的具体增长情况未知,在上述条件下,求解满足要求的网络规划方案。

为求解此 24 节点系统的规划优化方案,首先建立所提出的数学模型,根据人工鱼群算法,参数设置时考虑了文献 [10] 的意见,经调试,取人工鱼条数 ($N = 20$),最大觅食尝试次数 $trytimes = 45$,觅食视野 $Visual = 3$,最大迭代次数 $G_{max} = 15$,公告板最终保留 3 个结果。

利用传统人工鱼群算法程序和改进后的算法程序对该算例进行求解,各项计算指标结果比较如表 2

所示。

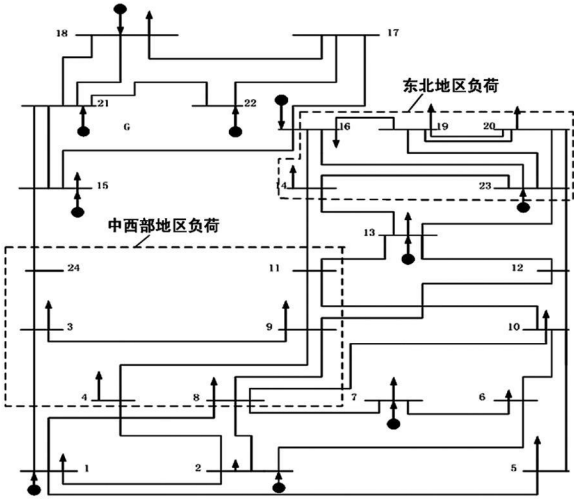


图 2 IEEE-24 RTS 系统

表 2 结果比较

指标	AFSA	IAFSA
总计算次数	50	50
种群数量	20	20
收敛次数	50	50
最优解出现代数范围	21~118	12~76
计算时间范围 /s	9.6~46	6.5~32

从运行计算的结果比较可以看出,IASFA 具有稳定的收敛性能,且用时较短。24 节点系统的规划结果如表 3 所示。

表 3 24 节点系统的规划结果

方案	架线方案	投资费用 /亿美元
1	—5(1), 3—9(2)	5.13
	4—9(1), 6—10(2)	
	7—8(2), 9—11(1)	
	10—11(1), 11—13(2)	
	15—16(2), 11—14(1)	
2	1—5(1), 3—24(2)	5.18
	4—9(2), 6—10(2)	
	7—8(2), 10—11(1),	
	11—13(1), 14—16(1),	
	15—24(1), 16—17(1)	
3	1—5(1), 3—24(2)	5.20
	4—9(2), 6—10(2)	
	7—8(2), 9—11(1)	
	10—12(1), 11—13(2)	
	15—16(2)	

这个规划结果较多地采用网状结构,网络电气连接紧密,实行多通道供、送电,故障下负荷转移方便,而常规优化方法为了节省投资而导致网架灵活性不够。表 3 中列出了 3 个规划方案,可以为规划人员提

供较大的选择余地。

4 结 语

传统的输电网规划过于关注经济性要求,而忽略了由于不确定信息带来的未来负荷变化的特点,因而适应能力较差。所建立的计及负荷不确定波动特点的输电网规划模型可以有效解决未来负荷点的长期小幅度波动以及某些区域短期大幅度波动影响,并且利用改进的人工鱼群算法通过 24 节点系统的算例进行了求解,算例分析表明了数学模型的正确性和算法的可行性及有效性。

参考文献

[1] 麻常辉,薛禹胜,鲁庭瑞,等. 输电规划方法的评述 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(12): 97—101.

[2] 叶在福,单渊达. 基于多种群遗传算法的输电系统扩展规划 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24(10): 24—27, 35.

[3] 王秀丽,王锡凡. 遗传算法在输电系统规划中的应用 [J]. 西安交通大学学报, 1995, 29(8): 1—9, 16.

[4] 金义雄,程浩忠,严健勇,等. 基于局优分支优化的粒子群收敛保证算法及其在电网规划中的应用 [J]. 中国电

机工程学报, 2005, 25(23): 12—18.

[5] 翟海保,程浩忠,吕干云,等. 多阶段输电网络最优规划的并行蚁群算法 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(20): 37—42.

[6] Leeprechanon N, Moorthy S S, Brooks R D. Transmission Planning in Deregulated Systems: a Model for Developing Countries[C]. 2001 IEEE Porto Power Tech Conference Porto Portugal.

[7] Hugh Rudnick. Planning in a Deregulated Environment in Developing Countries, Bolivia, Chile, and Peru [J]. IEEE Power Engineering Review, 1996, 16(7): 18—19.

[8] 曾庆禹. 电力市场条件下的发输电规划协调与运行模式 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(5): 1—5.

[9] ROMERO R, ROCHA C, MANTOVANI J R S et al. Constructive Heuristic Algorithm for the DC Model in Network Transmission Expansion Planning [J]. IEEE Proceedings, Generation, Transmission and Distribution, 2005, 152(2): 277—282.

[10] 刘耀年,李迎新,张冰冰,等. 基于人工鱼群算法的最优潮流计算 [J]. 电工电能新技术, 2006, 25(4): 30—33.

(收稿日期: 2009—08—10)

(上接第 8 页)

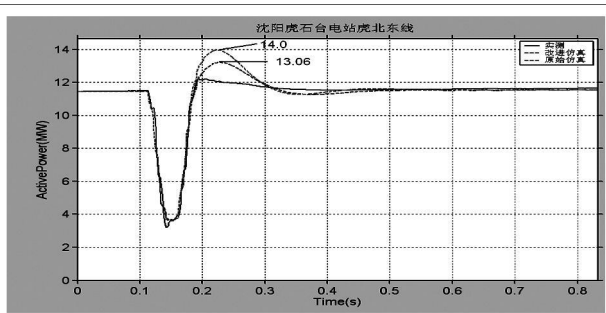


图 6 改进目标函数无功曲线

上述分析表明,将所提出的表征整体误差的动态变异率作为负荷模型的辨识函数,可以在辨识精度上有较为明显的改善,可以克服因权值处理不当而带来的电压稳态阶段超调误差。

5 结 论

1)提出了基于信号能量误差的计算式,对于整体误差具有很好的分辨及评估能力。运用所确定的误差水平评定方案,可解决批量仿真算例的误差计算

及评估。对东北电网主要负荷点的负荷数据及建模仿真数据评估表明,本方法是有效的。

2)所提出的误差计算准则对于现有的辨识算法有改善作用。

3)本方法对评估变化形式相对简单的量有效,对于其他变化形式的动态变量,相应的误差计算式可依据具体的数值特征确定。

参考文献

[1] 章健. 电力系统负荷建模方法的研究 [D]. 北京:华北电力大学, 1997.

[2] 朱守真,沈善德,郑宇辉,等. 负荷建模和参数辨识的遗传进化算法 [J]. 清华大学学报:自然科学版, 1999, 39(3): 37—40.

[3] 石景海. 考虑负荷时变性的大区电网负荷建模研究 [D]. 北京:华北电力大学, 2004.

[4] 石景海,贺仁睦. 动态负荷模型多曲线拟合参数辨 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(24): 18—22.

(收稿日期: 2009—10—10)