

DOI:10.12158/j.2096-3203.2021.02.018

基于最优系统能效的配电网规划方法

谢伟¹, 王哲斐², 蔡秋烨³, 翁若方⁴

(1. 国网上海市电力公司青浦供电公司, 上海 201700; 2. 上海四量电子科技有限公司, 上海 201400; 3. 国网上海市电力公司嘉定供电公司, 上海 201800; 4. 国网上海市电力公司, 上海 200050)

摘要:在当前的配电网规划中,提升能效是最重要的目标之一。现有的配电网规划模型大都以经济性为目标。文中从配电网系统能效入手,提出基于最优系统能效的配电网规划模型,选取节点煤耗作为入手点,综合考虑配电网网损、分布式电源规划等能效因素,可以较为全面地反映配电网系统能效。在模型求解中,文中使用改进的粒子群(PSO)算法,在算法中加入惯性权值,可以在提高算法收敛速度的同时保证寻优结果的准确性,并给出了辐射网形态修正策略,确保规划结果的合理性。选取 IEEE 33 节点算例进行模型和算法验证,计算结果表明,文中的模型求解算法收敛快,稳定性高,配电网规划结果合理,有效提升了配网系统的能效水平,验证了文中配电网规划方法的有效性。

关键词:配电网规划;系统能效;粒子群(PSO)算法;惯性权值;分布式电源

中图分类号:TM726

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2021)02-0128-07

0 引言

随着经济不断发展,节能减排的重要性越来越高。在用电量大幅增长的今天,电力系统成为提高能效的入手点之一,而配电网作为直接与用户侧接触的部分,其不合理的规划会造成显著的能效损失,导致大量额外能源消耗^[1-3]。因此,对配电网进行合理的优化规划,对提高系统能效、电网运行的经济性和可靠性都有着重大意义^[4-5]。

在传统的配电网规划中,其规划目标大都与经济性有关。例如,文献[6]中给出的配电网模型主要以建设费用最小为优化目标;文献[7]中的规划模型以配电网运行费用最小为规划目标;文献[8]中的规划模型考虑了配网网损,但也是归算成经济性指标进行规划。在当今的电网发展模式,单纯追求经济性已经不再适用,更多的是要考虑节能减排。在已有的以提升电能传输效率为目标的配电网规划中,大都是关注配网网损的大小,例如文献[9]中给出的配网规划模型直接以减小配网网损为目标;文献[10]中的规划模型考虑了多种能效因素,但最终还是归算为对配网网损进行规划;文献[11]重点分析了分布式电源的接入对于配电网网损的影响。这些规划模型均难以全面反映整个配网的能效情况。

文中从配网系统能效入手,提出了基于最优系

统能效的配电网规划方法。系统能效即在完成相同电力供应的情况下,所付出的能源最少。考虑到煤炭在中国的能源占比非常高,所以文中提出的配电网规划模型选取煤耗作为入手点,从一个相对宏观的角度对配电网进行规划,能够较为全面地考虑网损、分布式电源规划等能效因素。

在规划模型优化求解中,文中使用粒子群(particle swarm optimization, PSO)算法^[12-15]的改进算法——惯性权重的粒子群算法(PSO-*w*)作为求解算法,其具有收敛快、寻优稳定的特点。制定了辐射网形态修正策略,保证了寻优结果的合理性。最后,选用 IEEE 33 节点算例进行模型和算法验证,并考虑了分布式电源的规划。计算结果表明,文中算法在收敛速度及寻优稳定性方面均有较高水平,规划结果稳定且合理,能够有效提升配网系统的能效。

1 基于最优系统能效的配电网规划模型

1.1 规划模型函数推导

文中提出的基于最优系统能效的配电网规划模型使用节点煤耗进行能效量化。节点煤耗的定义为:电力系统在用电侧每消耗单位电量的电能,发电侧以最节能的方式来满足负荷需求所消耗的标准煤的量^[16](单位电能即 1 kW·h,煤炭单位为 g)。节点煤耗 r_n 的表达式为:

$$r_n = \frac{\min \left(\sum_{k=1}^{N_G} \Delta f_k(P_{Gk}) \right)}{\Delta P_{Li}} \quad (1)$$

收稿日期:2020-09-12;修回日期:2020-10-20

基金项目:国家电网有限公司科技项目(SCSHJX00KXJS18-00777)

式中: P_{Li} 为负荷的增量; $\Delta f_k(P_{Gk})$ 为第 k 台发电机以出力 P_{Gk} 运行所增加的煤耗量; N_G 为发电机总数。

配电网是一个辐射状的网络,一般情况下,功率流向是从变电站节点开始,顺着辐射状的网络流向网络末端的负荷,所以整个配电网的电能消耗可以用变电站节点流过的电能来表征。可以推知,变电站节点的节点煤耗即整个配电网的节点煤耗,且这个节点煤耗与配电网本身是没有关系的,因为配电网消耗一定的电量,然后这些电量需要消耗多少煤由上级的输电、发电部分决定。

文中模型是一个配电网规划模型,所以只考虑配电网的部分。因此,可以假设上级输电、发电部分情况不变,即配电网变电站节点的节点煤耗是不变的。根据式(1)可以得出,在节点煤耗不变的情况下,若想降低配电网煤耗,只需减小配电网消耗的功率即可,这是文中模型的关键。

流经配网的电能除了供给负荷外,在传输的过程中也会有电能损失。另外,文中模型考虑了分布式电源的存在,分布式电源作为一个电源,可以等效为降低了负荷。因此,配电网消耗功率为:

$$P_{\Sigma} = \sum P_L + \sum P_{\Delta} - \sum P_{dg} \quad (2)$$

式中: P_{Σ} 为配电网向上级电网取用电能的总和; $\sum P_L$ 为配电网中的总网损; $\sum P_{\Delta}$ 为配电网中的总负荷; $\sum P_{dg}$ 为配电网中分布式电源的总出力。

综上推导,得到基于最优系统能效的配电网规划模型目标函数:

$$\min \left(\sum P_L + \sum P_{\Delta} - \sum P_{dg} \right) \quad (3)$$

1.2 规划模型约束条件

(1) 辐射网约束。配电网必须是一个辐射状的、连通的网络。通常使用罚函数的方式来对此进行表达,即规划结果一旦不符合辐射状、连通性的要求,目标函数的值就会非常大,相当于否决了这个结果^[17]。在计算过程中,并没有通过罚函数的方式,而是一旦检测出配电网规划结果不符合要求,就在计算结果的基础上进行改进,或者直接删除此次计算结果,其效果与罚函数相同^[18]。

(2) 配电网中分布式电源总量的约束。如果配电网中接入了过多的分布式电源,会使电网的电压不稳定,从而影响配电网中的电能质量。因此对配电网中分布式电源的总量加以约束,表达式为:

$$S_{\Sigma DG} < S_L \quad (4)$$

式中: $S_{\Sigma DG}$ 为配电网汇总分布式电源的总量; S_L 为配电网中允许接入分布式电源总量的上限。

(3) 各节点分布式电源安装容量的约束。由于

分布式电源大都不接受电力系统调度部门调度,所以如果某一节点接入的分布式电源容量过大,就容易造成事故。例如,形成反向潮流,导致配电网继电保护系统误动作。因此,需要对各节点分布式电源安装容量加以约束,其表达式为:

$$S_{DG_i} < S_{i_{max}} \quad (5)$$

式中: S_{DG_i} 为节点 i 所接入的分布式电源的总量; $S_{i_{max}}$ 为节点 i 所能够接入的分布式电源容量的上限。

2 基于 PSO-w 算法的优化求解方法

2.1 PSO-w 算法

文中使用 PSO-w 算法进行模型求解。PSO-w 在基本 PSO 算法的基础上加入了惯性权值 w , 其迭代公式为:

$$v_{id}(t+1) = wv_{id}(t) + c_1R[P_i(t) - x_{id}(t)] + c_2R[G(t) - x_{id}(t)] \quad (6)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (7)$$

式中: $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$ 为粒子在空间里面的坐标, i 为第 i 个粒子,一共 d 个变量来表示 d 维坐标; $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$ 为粒子的速度,表示每一次的迭代过程中粒子所移动的距离; P_i 为每一个粒子自身所到达的使结果最优的位置; G 为全局极值; t 为迭代的次数; c_1, c_2 为加速系数; w 为权重系数; R 为随机数^[19-20]。

w 对 PSO 算法主要有以下方面的影响。当 w 取值变大时,粒子的移动速度也就相应增大,这样可以增大粒子的搜索空间,有利于发现新的更优解,但是也容易因为移动速度过快而错过最优解;当 w 取值变小时,粒子的移动速度也就相应减小,这样可以使粒子在搜索最优解时更为精细,即提高了粒子的局部搜索能力,但是这样容易造成局部最优。为了均衡以上因素,提出对 w 值做线性递减处理的方法,其计算公式为:

$$w = \frac{I_{max} - I}{I_{max}} \times (w_{max} - w_{min}) + w_{min} \quad (8)$$

式中: w_{max}, w_{min} 分别为 w 的初始值与终止值; I 为目前所迭代次数; I_{max} 为提前设定好的最大迭代次数。

w 可以扩大迭代初期的搜索步长,能够在搜索范围内进行较为广泛的搜索,然后慢慢缩小搜索的步长,使搜索变得精细化。这样既可以防止陷入局部最优,也可以避免错过全局最优解。

2.2 离散二进制 PSO 算法

基础的 PSO 算法是针对连续函数设计的,其中的变量都是连续变量,但是有很多问题都是整数的问题,尤其是文中的网架规划。关于网架建设或者

不建设,只有 2 种可能,所以实际上是一个“0-1”问题,因此采用离散二进制 PSO 算法^[21-22]。

在离散二进制 PSO 算法中,所有的位置变量 x_{id} 都只能取 0 或 1。速度变量不需要这样取值,而是可以转化为一个类似概率的问题:如果速度较快,那么位置偏向于取 1,反之则偏向于取 0。为了表达这种原理,使用模糊函数 $Sigmoid(x)$,其具体表达式为:

$$Sigmoid(v_{id}) = \frac{1}{1 + e^{-v_{id}}} \quad (9)$$

当随机数 R 小于函数值时,则位置分量为 1,反之则为 0。

2.3 辐射网形态修正策略

在配电网网架规划的结果中,需要对非辐射网络结果进行修正。检测配电网是否为辐射网的方法如下:以配电网的变电站节点作为根节点,然后搜索与变电站节点相链接的子节点,作为下轮搜索的根节点,以此类推。在搜索过程中,从图论的观点看,如果发现某个节点的入度不为 1,那么该规划结果就不是辐射状网络,需要进行改进。

改进策略分为以下几类。

(1) 网络中存在回路情况。如图 1 所示,支路 [5]、支路 [6] 以及支路 [7] 3 条支路构成了一个回路,这是不允许的,修改的方法为断开回路中 1 条造价较高且阻抗也较高的支路。

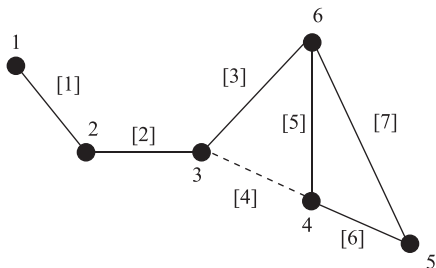


图 1 网络中有回路情况

Fig.1 The situation that has a loop

(2) 孤点情况。如图 2 所示,节点 5 与其他节点均无连接,这样的情况就是孤点情况。改进的方法为:从这个节点开始,向其上级节点进行搜索,然后比较这些节点与其上级节点之间支路的造价情况以及阻抗情况,按照低造价、低阻抗的选择标准,选择 1 条最优的支路把这个孤点连接到网络之中。

(3) 孤链情况。如图 3 所示,支路 [6] 与其他节点都没有连接,这样的支路就是孤链。改进的方法为:首先要找出与这条孤链上的所有节点,搜索这些节点的上级节点,然后比较这些节点与其

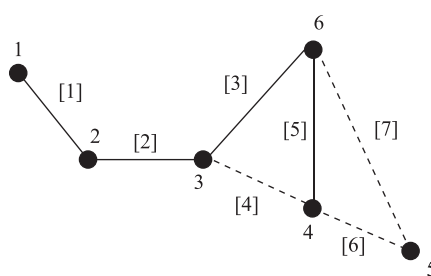


图 2 网络中有孤点情况

Fig.2 The situation that has isolated points

上级节点之间支路的造价、阻抗情况,按照低造价、低阻抗的选择标准选择 1 条最优的支路,把这个孤链连接到网络之中。

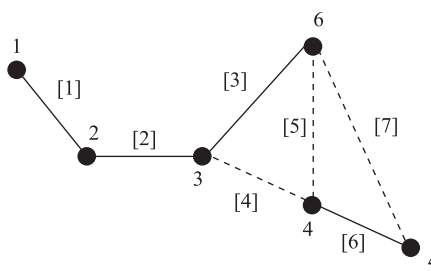


图 3 网络中有孤链情况

Fig.3 The situation that has a solitary chain

(4) 孤环网情况。如图 4 所示,支路 [5]、支路 [6] 以及支路 [7] 3 条支路形成了一个环网,且与网络中其他节点均无连接,这样的环网就叫做孤环网。改进的方法为:首先使用孤链的处理方法,把孤环网连接到配电网网络之中,然后以高造价、高阻抗的选择标准,把环网中的 1 条支路断开。

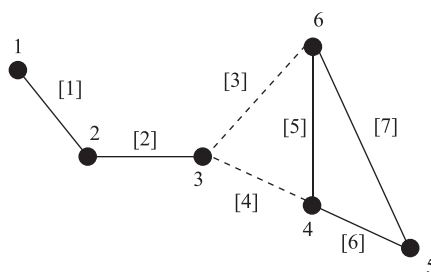


图 4 网络中有孤环网情况

Fig.4 The situation that has a lone ring

3 算例分析

3.1 参数设置

选用 IEEE 33 节点算例^[23-24]来进行计算和分析。此系统是一个有着 37 条待选线路的待建配电网,电压等级设定为 12.66 kV,整个配电网有功负荷总和为 3 715.0 kW,无功负荷的总和为 2 300 kvar。其规划前的结构如图 5 所示,其中,1 节点作为配

网的变电站节点,其他节点都是负荷节点,均是分布式电源可以安装的位置。

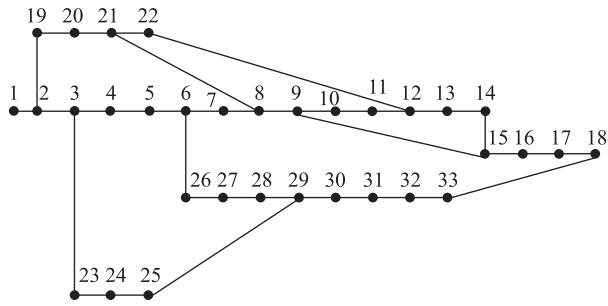


图5 33节点待规划配电网网络结构

Fig.5 33-bus distribution network structure to be planned

设置分布式电源总安装容量的最大值为 $200 \text{ kV}\cdot\text{A}$,单台分布式电源的容量设定为 $50 \text{ kV}\cdot\text{A}$ 。PSO算法的参数中,加速系数 c_1, c_2 取 2,惯性权值 w_{\max}, w_{\min} 分别取 1.2, 0.8,最大迭代次数设置为 80 次,种群规模(粒子数)设置为 40。

3.2 配电网规划分析

3.2.1 配网规划分析

通过 PSO 算法对算例进行求解,得到规划结果。由于算例中是 37 条待选线路,根据配电网辐射性、连通性的要求,必须选择其中的 32 条线路投建,因此有 5 条线路不投建。对于分布式电源规划,每台分布式电源所对应的号码就是分布式电源所投建的节点号码。配电网规划结果如表 1 所示。

表 1 配电网规划结果

Table 1 Distribution network planning results

计算次数	不投建支路号(5条)	分布式电源投入个数	分布式电源所在节点
1	7, 9, 14, 28, 32	4	17, 18, 31, 32
2	7, 9, 14, 28, 32	4	17, 17, 18, 32
3	7, 9, 14, 28, 32	4	11, 17, 17, 32
4	7, 10, 14, 28, 32	4	17, 18, 32, 33
5	7, 9, 14, 28, 32	4	17, 18, 32, 33
6	7, 9, 14, 28, 32	4	16, 18, 31, 31
7	7, 9, 14, 28, 32	4	17, 18, 32, 33
8	7, 9, 14, 28, 32	4	30, 31, 33, 33
9	7, 9, 14, 28, 32	4	16, 18, 32, 32
10	7, 9, 14, 28, 32	4	32, 32, 33, 33

由表 1 的规划结果可以看出,网架规划部分结果是非常稳定的,可以确定 5 条不投建支路号分别是 7, 9, 14, 28, 32。由此可以得到网架规划结果,如图 6 所示。

由表 1 可得到以下结论。第一,在算例中设置了分布式电源总容量为 $200 \text{ kV}\cdot\text{A}$,单台分布式电源

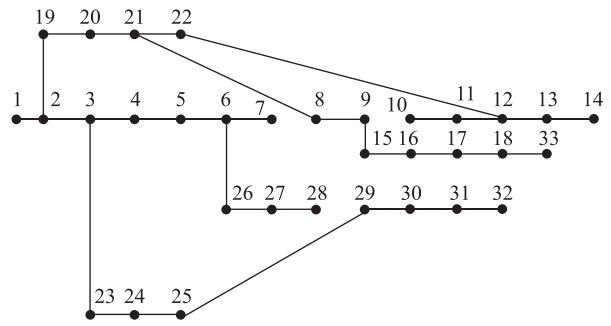


图6 网架规划结果

Fig.6 Grid planning results

容量为 $50 \text{ kV}\cdot\text{A}$,而所有的规划结果都是投入了 4 台分布式电源,所以每次的规划都是尽可能地增加分布式电源的投入。第二,虽然分布式电源的选址结果略有不稳定,但是几乎都分布在 16, 17, 18, 31, 32, 33 这几个节点上面。从图 6 的网架规划结果可以看出,分布式电源都是分布在配电网网络末端,这样的规划结果是非常合理的,因为分布式电源规划在网络末端可以最大限度地减小系统网损,从而减小配电网从上级电网取用的总功率。

3.2.2 配电网规划效果

适应度收敛过程如图 7 所示,可以看出,在接入分布式电源的前提下,在寻优过程中,配电网的向上级电网取用电功率从 3650 kW 下降到 3625 kW ,说明在确定分布式电源接入容量的情况下,优化算法是有效的。

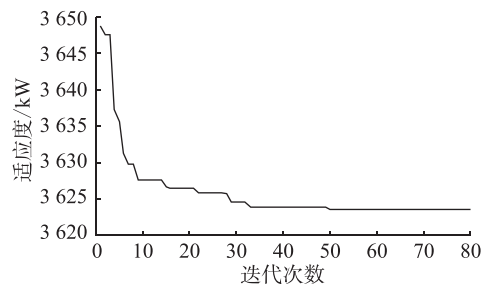


图7 适应度收敛过程

Fig.7 Fitness convergence process

但是由于这里的电功率绝大多数是负荷功率,而分布式电源最大接入量仅占不到 6%,所以仅总电功率下降并不能够有效反应算法的优化作用。考虑配电网优化对网损的影响,配电网网损的变化趋势如图 8 所示。可以看出,配电网网损在优化后下降了约 15%~20%,算法优化效果显著。

3.3 算法性能分析

使用文中所述的 PSO-w 算法以及离散二进制 PSO 算法,按照上述参数取值,对 33 节点算例进行 10 次计算,计算结果如表 2 所示。

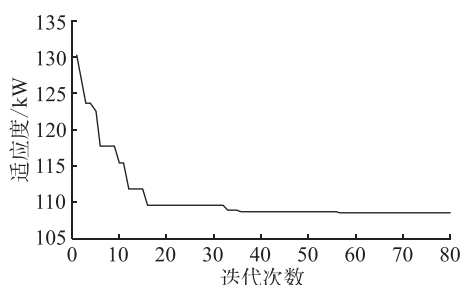


图 8 配电网网损变化曲线

Fig.8 Curve of distribution network loss

表 2 计算结果

Table 2 Calculation results

计算次数	适应度/kW	收敛代数	计算时间/s
1	3 623.6	43	52.67
2	3 623.8	40	54.69
3	3 624.5	65	50.59
4	3 624.1	51	53.66
5	3 623.8	32	59.26
6	3 623.7	26	51.36
7	3 623.8	41	49.23
8	3 623.8	50	53.40
9	3 623.7	63	54.78
10	3 623.5	39	50.94

对上述计算结果进行数据统计处理,并加入普通 PSO 算法的计算结果作为对比,结果见表 3。

表 3 计算结果数据统计

Table 3 Calculation result data statistics

参数	算法	
	PSO	PSO-w
平均值/kW	3 622.70	3 623.83
最优值/kW	3 629.2	3 623.5
最差值/kW	3 815.3	3 624.5
标准差/kW	15.134 560	0.283 039
平均迭代次数	61	45
平均计算时间/s	72.145	53.058

由表 2 和表 3 可得到以下结论:(1) PSO-w 算法稳定性是较好的,因为 10 次独立计算的适应度值都非常接近,说明优化结果基本一致。PSO-w 算法的最优值与最差值之间仅差了不到万分之三,并且标准差也降到了 0.28,体现了算法的稳定性。(2) PSO-w 算法的效率高,运行速度较快,从统计结果来看,平均迭代次数为 45 次,最大迭代次数为 65 次,最少为 26 次,收敛速度较快,平均计算时间小于 1 min,运行速度较好。(3) PSO-w 算法在结果稳定性、收敛速度以及计算速度几个方面均明显优于普通 PSO 算法。

4 结语

文中从系统能效入手,提出基于最优系统能效的配电网规划方法。该方法以节点煤耗为入手点,较为全面地考虑了配网网损、分布式电源出力、位置等能效因素。算例验证表明,文中算法可以有效提升配网系统能效,收敛快且稳定性高。配电网规划结果合理,验证了文中配电网规划模型和求解算法的有效性,为配电网规划提供了一个可行方案,具有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 赵芳,杜兆斌. 敏感负荷对含新能源配网规划的影响[J]. 电力工程技术,2018,37(5):56-63.
ZHAO Fang, DU Zhaobin. Impact analysis of voltage sensitive load on planning of distribution network with new energy[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(5):56-63.

[2] 杨文丽. 计及可靠性评估的中压配电网规划方案比选[J]. 电力工程技术,2018,37(2):13-19,43.
YANG Wenli. Comparison and selection of MV distribution network planning schemes considering reliability assessment[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(2):13-19, 43.

[3] 唐俊熙,王梓耀,张俊潇,等. 基于文化蚁群算法的高可靠多电源配电网规划模型[J]. 电力系统保护与控制,2020,48(7):99-107.
TANG Junxi, WANG Ziyao, ZHANG Junxiao, et al. High reliability multi-power distribution network planning model based on memetic ant colony algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(7):99-107.

[4] 肖振锋,辛培哲,刘志刚,等. 泛在电力物联网形势下的主动配电网规划技术综述[J]. 电力系统保护与控制,2020,48(3):43-48.
XIAO Zhenfeng, XIN Peizhe, LIU Zhigang, et al. An overview of planning technology for active distribution network under the situation of ubiquitous power internet of things[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(3):43-48.

[5] 雷超帆,赵华东,江南. 融合粒子群与蚁群算法的机器人路径规划[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2020,34(1):235-241.
LEI Chaofan, ZHAO Huadong, JIANG Nan. Robot path planning based on particle swarm optimization and ant colony fusion algorithm[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2020, 34(1):235-241.

[6] 吴志,刘亚斐,顾伟,等. 基于改进 Benders 分解的储能、分布式电源与配电网多阶段规划[J]. 中国电机工程学报,2019,39(16):4705-4715,4973.
WU Zhi, LIU Yafei, GU Wei, et al. A modified decomposition method for multistage planning of energy storage, distributed generation and distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2019, 39(16):4705-4715, 4973.

- [7] 高红均,刘俊勇. 考虑不同类型 DG 和负荷建模的主动配电网协同规划[J]. 中国电机工程学报,2016,36(18):4911-4922,5115.
GAO Hongjun, LIU Junyong. Coordinated planning considering different types of DG and load in active distribution network[J]. Proceedings of the CSEE,2016,36(18):4911-4922,5115.
- [8] 宋毅,薛振宇,滕林,等. 面向一体化配电网规划设计平台的数据集成技术研究及应用[J]. 电网技术,2016,40(7):2199-2207.
SONG Yi, XUE Zhenyu, TENG Lin, et al. Data integration technology research and application in integrated distribution network planning platform[J]. Power System Technology,2016,40(7):2199-2207.
- [9] 黄河,高松,朱磊,等. 考虑多能互补的主动配电网规划与高效 Benders 求解方法[J]. 中国电力,2019,52(6):11-18.
HUANG He, GAO Song, ZHU Lei, et al. Active distribution network planning model and Benders solution strategy considering multi-energy complementation [J]. Electric Power, 2019, 52(6):11-18.
- [10] 陈潇雅,刘志坚,刘晓欣,等. 基于长期负荷预测和联络分析的配电网规划[J]. 广东电力,2019,32(3):59-65.
CHEN Xiaoya, LIU Zhijian, LIU Xiaoxin, et al. Distribution network planning based on long-term load forecasting and Tie-line analysis [J]. Guangdong Electric Power, 2019, 32(3):59-65.
- [11] 张晓莉,王秦飞,冀汶莉. 一种改进的自适应惯性权重的粒子群算法[J]. 微电子学与计算机,2019,36(3):66-70.
ZHANG Xiaoli, WANG Qinfei, JI Wenli. An improved particle swarm optimization algorithm for adaptive inertial weights[J]. Microelectronics & Computer,2019,36(3):66-70.
- [12] 黄洋,鲁海燕,许凯波,等. 基于 S 型函数的自适应粒子群优化算法[J]. 计算机科学,2019,46(1):245-250.
HUANG Yang, LU Haiyan, XU Kaibo, et al. S-shaped function based adaptive particle swarm optimization algorithm[J]. Computer Science, 2019, 46(1):245-250.
- [13] 杨楠,董邦天,黄禹,等. 考虑不确定性和多主体博弈的增量配电网源网荷协同规划方法[J]. 中国电机工程学报,2019,39(9):2689-2702.
YANG Nan, DONG Bangtian, HUANG Yu, et al. Incremental distribution network source-load collaborative planning method considering uncertainty and multi-agent game[J]. Proceedings of the CSEE,2019,39(9):2689-2702.
- [14] 吕凯,唐昊,王珂,等. 计及源荷双侧不确定性的跨区互联电网源网荷协同调度[J]. 电力系统自动化,2019,43(22):38-45.
LYU Kai, TANG Hao, WANG Ke, et al. Coordinated Dispatching of source-grid-load for inter-regional power grid considering uncertainties of both source and load sides[J]. Automation of Electric Power Systems,2019,43(22):38-45.
- [15] 黄伟,柳思岐,叶波. 考虑源-荷互动的园区综合能源系统站-网协同优化[J]. 电力系统自动化,2020,44(14):44-53.
HUANG Wei, LIU Siqi, YE bo. Station-network cooperative optimization of integrated energy system for park considering source-load interaction[J]. Automation of Electric Power Systems,2020,44(14):44-53.
- [16] 高赐威,罗海明,朱璐璐,等. 基于电力系统能效评估的蓄能用电技术节能评价及优化[J]. 电工技术学报,2016,31(11):140-148.
GAO Ciwei, LUO Haiming, ZHU Lulu, et al. The energy-saving assessment and optimization of energy storage and electricity utilization technology based on the energy efficiency evaluation of power system [J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2016,31(11):140-148.
- [17] 崔承刚,杨晓飞. 基于内部罚函数的进化算法求解约束优化问题[J]. 软件学报,2015,26(7):1688-1699.
CUI Chenggang, YANG Xiaofei. Interior penalty rule based evolutionary algorithm for constrained optimization [J]. Journal of Software,2015,26(7):1688-1699.
- [18] 邓长虹,马庆,肖永,等. 基于自学习迁移粒子群算法及高斯罚函数的无功优化方法[J]. 电网技术,2014,38(12):3341-3346.
DENG Changhong, MA Qing, XIAO Yong, et al. Reactive power optimization based on self-learning migration particle swarm optimization and Gaussian penalty function [J]. Power System Technology,2014,38(12):3341-3346.
- [19] 王东风,孟丽,赵文杰. 基于自适应搜索中心的骨干粒子群算法[J]. 计算机学报,2016,39(12):2652-2667.
WANG Dongfeng, MENG Li, ZHAO Wenjie. Improved bare bones particle swarm optimization with adaptive search center [J]. Chinese Journal of Computers,2016,39(12):2652-2667.
- [20] 张君则,艾欣. 基于粒子群算法的多类型分布式电源并网位置与运行出力综合优化算法[J]. 电网技术,2014,38(12):3372-3377.
ZHANG Junze, AI Xin. A particle swarm optimization based comprehensive optimization algorithm for grid-connected positions and operation parameters of multi-type distribution generations [J]. Power System Technology, 2014, 38(12):3372-3377.
- [21] 马天祥,王春英,贾静然,等. 基于二进制粒子群算法的交直流混合配电网故障恢复方法[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(9):112-119.
MA Tianxiang, WANG Chunying, JIA Jingran, et al. Fault recovery method for AC/DC hybrid distribution network based on binary particle swarm optimization algorithm [J]. Power System Protection and Control,2019,47(9):112-119.
- [22] 张涛,史苏怡,徐雪琴. 基于二进制量子粒子群算法的含分布式电源配电网重构[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(4):22-28.
ZHANG Tao, SHI Suyi, XU Xueqin. Distribution network re-configuration with distributed generation based on improved quantum binary particle swarm optimization [J]. Power System Protection and Control,2016,44(4):22-28.

- [23] QIAO F, MA J. Coordinated voltage/var control in a hybrid AC/DC distribution network[J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2020, 14(11):2129-2137.
- [24] 何若太, 张晓燕, 张航, 等. 计及分布式电源的配电网电压稳定性风险辨识方法研究[J]. 可再生能源, 2020, 38(5): 685-689.
- HE Ruotai, ZHANG Xiaoyan, ZHANG Hang, et al. Research on risk identification method of voltage stability of distribution network considering distributed energy[J]. Renewable Energy Resources, 2020, 38(5):685-689.

作者简介:



谢伟

谢伟(1986),男,硕士,工程师,从事供电企业电网运维检修工作(E-mail:281241293@qq.com);

王哲斐(1986),男,学士,工程师,从事电力科技领域技术开发工作;

蔡秋烨(1982),男,学士,工程师,从事电力科技领域技术开发工作。

Distribution network planning based on optimal system efficiency

XIE Wei¹, WANG Zhefei², CAI Qiuye³, WENG Ruofang⁴

(1. State Grid Qingpu Power Supply Company of Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 201700, China;

2. Shanghai Siliang Electronic Technology Co., Ltd., Shanghai 201400, China;

3. State Grid Jiading Power Supply Company of Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 201800, China;

4. State Grid Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200050, China)

Abstract: Nowadays it is the primary objective to improve energy efficiency of distribution network planning. However, it is focused on economic efficiency by most traditional models of distribution network planning. Therefore, a model of distribution network planning for optimal energy efficiency in power system is proposed. On the basis of the data for coal consumption, the factors are discussed such as the power loss of distribution network and the planning of distributed energy, and these factors reflect comprehensively the energy efficiency of distribution network system. An improved algorithm of particle swarm optimization (POS) is used for the solution process in the proposed model by adding inertia weights, and this algorithm improves the convergence speed the accuracy at the same time. A radiation network shape strategy is also carried out to correct results individually. IEEE 33-bus examples are selected for verification. The calculation results show that the model with fast convergence and high stability, effectively improves the energy efficiency level of the distribution system, and it makes sure that the results of distribution network planning are reasonable. The present method is verified for its effectiveness of distribution network planning.

Keywords: distribution network planning; system efficiency; particle swarm optimization (PSO) algorithm; inertia weight; distributed power

(编辑 钱悦)