

基于经济运行分析的分布式电源配电网线损分摊

张合川,王 茜,王 霞,葛玉娜

(国网冀北电力有限公司 技能培训中心,河北 保定 071000)

Line loss allocation based on economic operation analysis for distribution network with distributed generators

ZHANG Hechuan, WANG Qian, WANG Xia, GE Yuna

(Skills Training Center, State Grid Jibei Electric Power Company, Baoding 071000, China)

摘要:为了从经济运行角度研究分布式电源配电网线损分摊,给出一种基于经济运行分析的分布式电源配电网线损分摊计算方法。首先,采用等效电阻法计算最小配电网线损,并据此计算接入分布式电源前后配电网的经济运行负载区间;其次,分析配电网接入分布式电源前后经济运行负载区间变化的原因,并据此构建不同的运行场景;最后,采用潮流追踪算法计算分布式电源线损分摊电量,设置对应的奖惩系数修正计算的线损分摊电量。实例分析结果验证了所给方法的有效性和合理性。

关键词:配电网;分布式电源;经济运行;线损分摊;潮流追踪

Abstract: In order to research the problem of line loss allocation in distribution network with distributed generators from the perspective of economic operation, a calculation method of line loss allocation based on economic operation analysis for distribution network with distributed generators is proposed. Firstly, the minimum line loss of distribution network is calculated by using equivalent resistance method, then the economic operation load interval of the distribution network before and after the distributed generator is connected is calculated. Secondly, the reasons of the economic operation load interval change before and after the distribution network is connected to the distributed generator are analyzed, and different operation scenarios are constructed accordingly. Finally, the line loss allocation of distributed generators is calculated by using the power flow tracing algorithm, and the calculated line loss allocation is corrected by setting the corresponding reward and punishment coefficients. The results of example analysis verify the validity and rationality of the proposed method.

Key words: distribution network; distributed generator; economic operation; line loss allocation; power flow tracing

中图分类号:TM715;TN712 文献标志码:A

0 引言

线损是配电网在运行过程中因配电网结构、运行环境等因素导致的电流损失,科学合理的线损计算是配电网网络规划、经济运行、电网改造等的重要基础^[1]。传统配电网线损计算通常采用平均电流法、等效电阻法等方法,存在精度低、周期长等不足^[2-3]。当前广泛应用的潮流追踪法主要采用比例分摊计算线损^[4-5]。文献[6]根据监测点实时运行数据和开关状态,采用前推回代潮流算法在线计算配电网理论线损。文献[7]从潮流追踪求解空间角度建立潮流追踪物理属性与决策约束,拓展了有功潮流追踪的范围。文献[8]通过对智能采集系统采集的数据进行并集、差集、补集等运算来计算配电网线损,提升

了线损合格率。然而,配电网接入分布式电源后会使得线损发生变化,准确合理地反映接入分布式电源后配电网的线损分摊是保证配电网经济运行的重要方面。现阶段对分布式电源配电网线损分摊问题的研究较少^[9]。文献[10]研究了分布式电源接入位置及接入容量对配电网线损的影响,并未分析接入分布式电源后配电网的线损分摊。文献[11]给出了含分布式电源放射状配电网的线损分摊计算方法,但该方法未考虑分布式电源接入配电网后的功率变化对线损的影响。

为使配电网接入分布式电源后仍能处在经济运行状态,本文给出一种基于经济运行分析的分布式电源配电网线损分摊计算方法。通过考虑接入分布式电源对配电网负载率的改变,建立配电网线损与运行时间之间的关系函数,再用等效容量法计算接入分布式电源后配电网的等效电阻,以确定配电网在各时段所属的负载区,分析接入分布式电源前后负载区变化的原因以形成不同的运行场景,并据此为分布式电源的线损分摊设置奖惩系数,以修

收稿日期:2018-10-29;修回日期:2019-03-03

基金项目:国家重点研发计划课题基金项目(2017YFC0804704)

This work is supported by National Key Research and Development Program Fund of China (No.2017YFC0804704)

正采用潮流追踪算法计算的线损分摊,尽可能使配电网接入分布式电源后不偏离经济运行区间。

1 确定配电网经济运行区间

配电网经济运行是实现电力系统节能降损的重要保证,其经济运行时间 t_e 是在供电量额定的前提下,配电网损耗最小时对应的时间,可采用等值电阻法计算^[12]。配电网总损耗 W_t 为

$$W_t = \sum_i \Delta P_{0,i} t + \frac{K^2 S_L^2 R_{eq} \times 10^{-3}}{U^2 \cos^2 \alpha} \quad (1)$$

式中: $\sum_i \Delta P_{0,i}$ 为配电网全部变压器空载损耗和; t 为配电网某一特定运行时间; K 为均方根负荷与平均负荷的比值; S_L 为在 t 内的平均运行负荷; U 为配电网额定电压; R_{eq} 为配电变压器与配电网线路的总等效电阻; $\cos \alpha$ 为功率因数。若将一天划分为若干时段,并采集某一时段的供电量 W_0 , 则 S_L 可利用 W_0 等效替代,即 $S_L = W_0/t$ 。则式(1)可变换为

$$W_t = \sum_i \Delta P_{0,i} t + \frac{K^2 W_0^2 R_{eq} \times 10^{-3}}{U^2 t \cos^2 \alpha} \quad (2)$$

对式(2)求导可得 t_e 为

$$t_e = \frac{KW_0}{U \cos \alpha} \sqrt{\frac{R_{eq} \times 10^{-3}}{\sum_i \Delta P_{0,i}}} \quad (3)$$

若已知配电网在特定时段的有功供电量 W_p 及功率因数 $\cos \varphi$, 则其经济运行时间 t_e 与最小配电网功耗 W_{min} 为

$$\begin{cases} t_e = \frac{KW_p}{U \cos \varphi} \sqrt{\frac{R_{eq} \times 10^{-3}}{\sum_i \Delta P_{0,i}}} \\ W_{min} = \frac{KW_p}{U \cos \varphi} \sqrt{\sum_i \Delta P_{0,i} R_{eq} \times 10^{-3}} \end{cases} \quad (4)$$

配电网接入分布式电源前, W_p 为配电网电源侧供电量,文献[13]给出了配电网等值电阻 R_{eq} 的计算过程。配电网接入分布式电源后,其负荷与接入分布式电源前一样,但接入位置和容量变化会改变配电网原发电机有功功率, W_p 和 R_{eq} 的计算按如下方法。

假设配电网线损率较低,其供电量近似等于系统负荷消耗电量之和,且忽略分布式电源接入后对配电网电压的影响。由于分布式电源出力间断且不稳定,其发电量与变压器容量不总是成正比,故无法按变压器容量分配总均方根电流,可用等效容量法计算配电网的等效电阻,使分布式电源等效容量与变压器共同分配首端均方根电流,且所分电流正好等于分布式电源自身均方根电流。设配电网在 T 时段内的首端均方根电流是 $I_{if,0}$, 分布式电源等效容量 S_s 可根据式(5)求得

$$\frac{S_s}{\left(\sum_{i=1}^m S_i\right) + S_s} \cdot I_{if,0} = -I_{if,s} \quad (5)$$

式中: S_i 为第 i 台配电变压器额定容量; m 为配电变压器数量; $I_{if,s}$ 为分布式电源端口均方根电流。

配电网等效电阻 R_{eq} 等于配电网线路等值电阻 R_L 与配电变压器线圈等值电阻 R_T 之和,其计算如式(6)所示

$$R_{eq} = R_L + R_T = \frac{\sum_j \left[R_j \left(\sum_{i=1}^{m_j} S_i \right)^2 \right]}{\left[\left(\sum_{i=1}^m S_i \right) + S_s \right]^2} + \frac{U^2 \left(\sum_{i=1}^m \Delta P_{k,i} \times 10^3 \right)}{\left[\left(\sum_{i=1}^m S_i \right) + S_s \right]^2} \quad (6)$$

式中: $\Delta P_{k,i}$ 为第 i 台配电变压器的额定负载损耗; n 为整个配电网的配电线路数; R_j 为第 j 条配电线路的电阻; m_j 为 j 条配电线路后挂配电变压器台数。

因配电网的负荷不停变化,且接入分布式电源后的出力也因外界因素改变而变化,故其不能长期运行在固定的经济运行时间,可通过确定经济运行区间来达到较优经济效益。令 ΔW 表示配电网经济运行区间,即在该区间配电网损耗为最优经济运行时间内最小配电网损耗 W_{min} 的增量,有 $\Delta W = \lambda W_{min}$, λ 为趋优代价因子,可按实际节能需求设置。取 $\lambda = 0.05$, 令某特定时段供电量为 W_s , 根据式(4)可得该时段配电网的经济运行区间为 $[t_1, t_2]$ 。 t_1 为配电网经济运行区间的下限,且 $t_1 = t_e (\lambda - \sqrt{\lambda^2 - 1})$; t_2 为配电网经济运行区间的下限,且 $t_2 = t_e (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$ 。图1给出了配电网经济运行区间划分及其运行状态示意图。

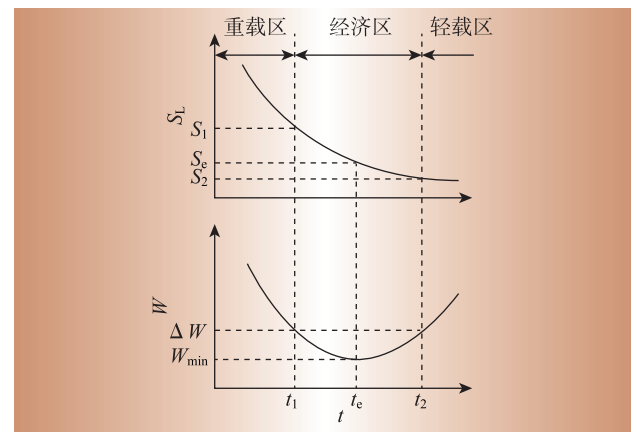


图1 配电网经济运行区间及其运行状态

Fig. 1 Economic operation range and state of distribution network

由图1可知,若配电网在特定时段的实际运行时间为 $[0, t_1]$, 说明配电网处于重载区间,其负荷较重且配电网损耗较高;若配电网在特定时段的实际运行时间为 $[t_1, t_2]$, 说明配电网处于经济运行区间,

其负荷与配电网设备匹配且配电网损耗较低,具有最优经济效益;若配电网在特定时段的实际运行时间为 $[t_2, \infty)$,说明配电网处于轻载区,其负荷与配电网设备不匹配,配电网投入资源多造成浪费,且配电网损耗较高。

2 分布式电源配电网线损分摊计算方法

分布式电源配电网线损分摊的计算方法主要步骤如下。

Step 1: 计算配电网接入分布式电源前后所处的运行区间。

Step 2: 分析配电网接入分布式电源前后所处运行区间发生变化的现象及其原因,形成对应的不同运行场景,如表1所示。由于在投建分布式电源时首先会分析配电网负荷需求及有功出力,所以场景3在实际情况中不会出现,主要考虑场景1和场景2。

Step 3: 对不同的配电网场景给出对应的线损分摊奖惩措施以修正线损计算。场景1中,配电网接入分布式电源后从重载转为经济,应进行奖励。场景2中,配电网接入分布式电源后偏离经济运行区间,从经济转为轻载,虽然配电网线损改变可能不大,但配电网原有有功出力将大幅下降,出现配电网接入分布式电源后的线损率高于原配电网线损率的情况,则应进行惩罚,以激励分布式电源朝降损方向发展。奖惩系数是指在特定时段内奖励或惩罚时间占总时段的比值。若一天(24 h)时段内,配电网接入分布式电源后,场景1的时间为 c_1 ,场景2的时间为 c_2 ,则分布式电源应奖励时间为 c_1 ,应惩罚时间为 c_2 。奖惩系数 RP 的计算方法为

$$RP = \mu \cdot \frac{c}{24} \tag{7}$$

式中: c 为分布式电源应奖励或惩罚的时间,若在场景1下运行,则取 c_1 ,若在场景2下运行,则取 c_2 ; μ 为奖惩力度系数,反映接入分布式电源使配电网处于或偏离经济运行程度。通常 μ 值由电力公司和分布式电源用户协商后确定,可将 μ 划分为轻微($\mu=1, 1 \leq c \leq 2$)、中等($\mu=2, 3 \leq c \leq 4$)、较重($\mu=3, 5 \leq c \leq 6$)和严重($\mu=4, c > 6$)4个等级,根据分布式电源奖励或惩罚时间选取。

Step 4: 采用潮流追踪算法计算分布式电源在特定时段的线损分摊电量。潮流追踪法^[14]主要采用节点功率比例分配原则计算各节点的注入功率在功率流出支路上分配的情况。本文将线损分配给分布式电源、供电公司和用户,计算方法为:先采用潮流追踪算法计算分布式电源某天第 i 时段分摊的线损电量 E_i ,再根据对不同场景设置奖惩系数进行修正。第 i 时段的线损分摊电量 E'_i 如式(8)所示

$$E'_i = \begin{cases} E_i & \text{第}i\text{时段分布式电源未在场景1和2下运行} \\ (1 - RP)E_i & \text{第}i\text{时段分布式电源在场景1下运行} \\ (1 + RP)E_i & \text{第}i\text{时段分布式电源在场景2下运行} \end{cases} \tag{8}$$

式中: $E'_i > 0$ 说明该时段分布式电源应承担 E'_i 的线损量; $E'_i < 0$ 说明该时段分布式电源促进了配电网的经济运行,奖励 E'_i 的线损量。

计算出各时段的线损分摊后,可得分布式电源一天分摊的线损量

$$E_T = \sum_{i=1}^{24} E'_i \tag{9}$$

3 实例验证

以某实际运行配电网为例验证所给方法的合理性,其拓扑结构如图2所示,主要参数为:线路电

表1 配电网接入分布式电源前后所处运行区间变化的原因分析及对应不同场景的定义
Table 1 The reason analysis of the variation of operation interval before and after the distribution network is connected to the distributed generator and the definition of different scenes

序号	运行区间		原因分析	场景定义
	接入分布式电源前	接入分布式电源后		
场景1	重载区间	经济区间	分布式电源接入前,配电网负荷较重,负荷需求与配电网设备不匹配。分布式电源接入后,配电网总有功出力增加,缓解了配电网负荷需求,使配电网由重载区间运行转为经济区间运行	配电网在接入分布式电源前是重载运行状态,分布式电源的接入增加了其总有功出力,缓解了其负荷需求,使其转为经济运行状态
场景2	经济区间	轻载区间	分布式电源接入前,配电网的负荷需求与配电网设备相匹配。由于接入分布式电源,导致配电网原有有功出力及配电设备无法有效利用,配电网负载率大幅降低,使配电网偏离经济运行区间	配电网在接入分布式电源前是经济运行状态,接入分布式电源后,使配电网原有有功出力及配电设备无法有效利用,偏离经济运行状态
场景3	重载区间	轻载区间	分布式电源接入前,配电网负荷较重,负荷需求与配电网设备不匹配。由于过度增加分布式电源功率,导致配电网原有线路输送功率大幅降低,使配电网由重载区间运行转为轻载区间运行	配电网在接入分布式电源前是重载运行状态,在大规模接入分布式电源后,使配电网原有线路输送功率大幅降低,直接转为轻载运行状态

压等级 10 kV ,功率因数 0.95 ,节点 22 个,线路 23 条,变压器 9 个,在第 11 节点处接入分布式光伏电源(额定容量 620 kW)。

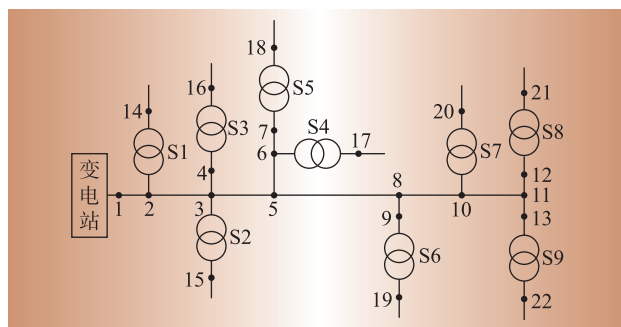


图2 配电网的网络拓扑图

Fig. 2 The network topology of the distribution network

按天采集并处理配电网与分布式光伏电源的相关数据,以 2 h 为一时段分析采集的数据。表 2 给出了所得分析结果。实例验证步骤如下:

Step 1: 确定所给实例配电网接入分布式光伏电源前后的运行状态。由表 2 可知:① 所给实例配电网一天中在 6:00~8:00 时段和 8:00~10:00 时段由经济运行状态转为轻载运行状态。由于该时段原负荷较小,接入分布式光伏电源后有功出力进一步减小,致使原配电设备和配电网有功出力不能充分利用,虽然线损有一定降低,但线损率却有所增加,由接入前的 1.26% 和 1.24%,增加到接入后的 1.52% 和 2.35%。② 所给实例配电网一天中在 10:00~12:00 时段由重载运行状态转为经济运行状态。由于该时段原负荷较大,接入分布式光伏电源降低了配电网有功出力,使配电网损耗从接入前的 10.41 kW 降

低到接入后的 8.28 kW,改善了配电网的运行状态,使配电网进入经济运行状态。

Step 2: 确定所给实例配电网接入分布式光伏电源后的运行场景。由 Step 1 确定的运行状态与表 1 相比可知,所给实例配电网在 6:00~8:00 时段和 8:00~10:00 时段,分布式光伏电源在场景 2 下运行;在 10:00~12:00 时段,分布式光伏电源在场景 1 下运行。

Step 3: 计算所给实例配电网接入分布式光伏电源后的奖惩系数。在 6:00~8:00 时段和 8:00~10:00 时段,分布式光伏电源运行在场景 2,应对分布式光伏电源惩罚,惩罚时间 $c_2 = 4$,惩罚力度系数 $\mu_2 = 2$,则 6:00~10:00 时段的奖惩系数 $RP_2 = 1/3$ 。在 10:00~12:00 时段,分布式光伏电源运行在场景 1,应对分布式光伏电源奖励,奖励时间 $c_1 = 2$,惩罚力度系数 $\mu_1 = 1$,则 10:00~12:00 时段的奖惩系数 $RP_1 = 1/12$ 。

Step 4: 计算所给实例配电网接入分布式光伏电源后的线损分摊。根据潮流追踪算法计算所给实例配电网接入分布式光伏电源后在 6:00~8:00 时段、8:00~10:00 时段和 10:00~12:00 时段的线损分摊为 0.39 kW、1.78 kW 和 2.71 kW,通过式(8)修正可得所给实例配电网接入分布式光伏电源后线损分摊 0.52 kW、2.37 kW 和 2.48 kW。根据式(9)可得采用潮流追踪算法计算的分摊电量为 18.58 kW,占分摊比例为 10.82%,采用所给方法计算得到的分摊电量为 19.07 kW,占分摊比例为 11.11%。这是由于所给实例中的惩罚时间大于奖励时间,所以从整体角度出发应惩罚分布式光伏电源,即分布式光伏电源应多分摊配电网损耗。

表 2 所给实例配电网接入分布式电源前后在一天不同时段所属运行区间判断

Table 2 The judgment of the operation interval before and after the given distribution network is connected to distributed generator at different times of the day

时段	配电网 负荷有 功/kW	分布式 电源有 功/kW	接入分布式 电源后配 网等效有 功/kW	等效 电阻 / Ω	接入分布式电源前				接入分布式电源后			
					经济 运行 时间/h	经济 运行 区间	配电网 运行 区域	配 电 网 线 损/kW	经济 运行 时 间/h	经济 运行 区 间	配电网 运行 区 域	配 电 网 线 损/kW
0:00~2:00	517.44	0	517.44	0.89	0.85	[0.62,1.16]	经济	6.45	0.85	[0.62,1.16]	经济	6.45
2:00~4:00	496.29	0	496.29	0.89	0.81	[0.59,1.11]	经济	6.23	0.81	[0.59,1.11]	经济	6.23
4:00~6:00	482.10	0	482.10	0.89	0.79	[0.58,1.08]	经济	6.08	0.79	[0.58,1.08]	经济	6.08
6:00~8:00	487.52	110.36	377.16	1.24	0.80	[0.58,1.09]	经济	6.14	0.72	[0.53,0.99]	轻载	5.73
8:00~10:00	600.65	331.69	268.71	2.98	0.98	[0.72,1.35]	经济	7.45	0.80	[0.59,1.10]	轻载	6.32
10:00~12:00	802.44	518.99	283.45	4.73	1.31	[0.96,1.80]	重载	10.41	1.06	[0.78,1.46]	经济	8.28
12:00~14:00	746.09	577.31	168.78	11.90	1.22	[0.89,1.67]	经济	9.47	0.99	[0.72,1.35]	经济	7.64
14:00~16:00	771.19	365.68	405.51	2.68	1.26	[0.92,1.73]	经济	9.87	1.06	[0.77,1.45]	经济	8.19
16:00~18:00	722.20	100.44	621.77	1.06	1.18	[0.86,1.62]	经济	9.11	1.11	[0.81,1.52]	经济	8.50
18:00~20:00	645.66	0	645.66	0.89	1.06	[0.77,1.45]	经济	8.01	1.06	[0.77,1.45]	经济	8.01
20:00~22:00	606.67	0	606.67	0.89	0.99	[0.72,1.36]	经济	7.49	0.99	[0.72,1.36]	经济	7.49
22:00~24:00	561.99	0	561.99	0.89	0.92	[0.67,1.26]	经济	6.95	0.92	[0.67,1.26]	经济	6.95

根据上述实例分析可知,采用所给方法得到的结果符合所给实例配电网经济运行的激励措施要求,真实反映了接入分布式电源后对所给实例配电网负载率的影响,有利于激励所给实例配电网朝降损方向发展,有利于指导分布式光伏电源的规划投入。

4 结束语

针对接入分布式电源对配电网的影响,本文给出一种含分布式电源的配电网线损分摊计算方法。该方法通过分析接入分布式电源对配电网负载率的影响,判断配电网的经济运行状态,再通过对接入分布式电源前后配电网的运行状态变化原因分析,形成不同运行场景,并针对不同运行场景给出奖惩措施,对基于潮流追踪算法得到的线损分摊进行修正,得到分布式电源最终合理化的线损分摊结果,激励分布式电源朝降损方向发展。实例验证结果表明,所得结果能真实反映分布式电源的经济效益,可验证所给方法的有效性和合理性。D

参考文献:

- [1] 求真,许解,周洁.提升台区线损正确可算率的措施与实践[J].电力需求侧管理,2014,16(6):50-52.
QIU Zhen, XU Jie, ZHOU Jie. Measures and practice of elevating district loss correctly count rate [J]. Power Demand Side Management, 2014, 16(6):50-52.
- [2] 李新家,孔月萍,邹云峰,等.配电台区在线线损分级管理和智能异常分析设计[J].电力需求侧管理,2016,18(2):46-48.
LI Xinjia, KONG Yueping, ZOU Yunfeng, et al. The hierarchical management and intelligent abnormal analysis of the distribution area on-line line loss [J]. Power Demand Side Management, 2016,18(2):46-48.
- [3] 曹昉,舒雅丽,李成仁,等.混合Copula概率潮流追踪输电固定成本分摊法[J].电力系统及其自动化学报,2018,30(5):111-119.
CAO Fang, SHU Yali, LI Chengren, et al. Hybrid copula probabilistic power flow tracing method for allocation of fixed transmission cost [J]. Proceedings of the CSU-EP-ISA, 2018, 30(5):111-119.
- [4] 姜江.电网技术线损的影响因素和降损措施[J].电力需求侧管理,2016,18(5):45-47.
JIANG Jiang. Influencing factors and measures of technical line loss reduction [J]. Power Demand Side Management, 2016,18(5):45-47.
- [5] 吴鸿亮,门锟,董楠,等.基于J2EE架构的线损理论计算与诊断分析系统开发与应用[J].电力系统保护与控制,2016,44(5):108-116.
WU Hongliang, MEN Kun, DONG Nan, et al. Development and application of theoretical calculation and diagnosis analysis system of line loss based on J2EE framework [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5):108-116.
- [6] 李云薪,罗四倍.一种配电网理论线损实时计算分析系统[J].电力需求侧管理,2015,17(6):50-53.
LI Yunxin, LUO Sabei. Real-time calculation and analysis system for theoretical loss calculation of distribution network [J]. Power Demand Side Management, 2015, 17(6):50-53.
- [7] 洪邵云,程浩忠,黄丽娜,等.有功潮流追踪优化建模及其应用[J].中国电力,2017,50(4):81-86.
HONG Shaoyun, CHENG Haozhong, HUANG Lina, et al. Real power flow tracing optimal modeling and its application [J]. Electric Power, 2017, 50(4):81-86.
- [8] 张辉,李世军.基于集合运算的台区线损合格率提升策略初探[J].电力需求侧管理,2015,19(S1):6-8.
ZHANG Hui, LI Shijun. Area line loss rate promotions strategy based on set-operations [J]. Power Demand Side Management, 2015, 19(S1):6-8.
- [9] 曾鸣,马少寅,王蕾,等.基于分布式电源并网的配电网线损分摊定价模型[J].华东电力,2011,39(12):1965-1968.
ZENG Ming, MA Shaoyin, WANG Lei, et al. Loss allocation pricing model for distribution network with distributed generation [J]. East China Electric Power, 2011, 39(12):1965-1968.
- [10] 李健,林声宏,肖勇,等.分布式电源对低压配电网线损影响的研究[J].电器与能效管理技术,2015(5):49-52.
LI Jian, LIN Shenghong, XIAO Yong, et al. Research on the influence of distributed generation to low voltage distribution network line loss [J]. Electrical & Energy Management Technology, 2015(5):49-52.
- [11] JAGTAP K M, KHATOD D K. Distribution loss allocation technique with distributed generations [C]// National Power Systems Conference (NPSC), December 19-21, 2016, Bhubaneswar, India:1-5.
- [12] 唐佳,王丹,贾宏杰,等.基于元模型辅助粒子群算法的主动配电网最优经济运行[J].电力系统自动化,2018,42(4):95-103.
TANG Jia, WANG Dan, JIA Hongjie, et al. Optimal economic operation of active distribution networks based on hybrid algorithm of surrogate model and particle swarm optimization [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(4):95-103.
- [13] 王鑫,欧阳森.基于聚类分析和改进序关系法的大规模中压馈线降损改造方案[J].电力需求侧管理,2018,20(4):25-30.
WANG Xin, OUYANG Sen. Program of large-scale mid-voltage feeders loss-reduce reconstruction based on cluster analysis and improved ordinal relationship method [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20(4):25-30.
- [14] 王守相,周凯,苏运.基于随机森林算法的台区合理线损率估计方法[J].电力自动化设备,2017,37(11):39-45.
WANG Shouxiang, ZHOU Kai, SU Yun. Line loss rate estimation method of transformer district based on random forest algorithm [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(11):39-45.

作者简介:

张合川(1989),男,河北保定人,硕士研究生,讲师,主要研究方向为新能源电力系统、电力电子控制。

(责任编辑 李雅超)