

## 分布式发电对配电网影响的综合评估

张立梅<sup>1,2</sup>, 唐巍<sup>1</sup>, 赵云军<sup>1</sup>, 王少林<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 河北农业大学信息科学与技术学院, 河北 保定 071001)

**摘要:** 对分布式发电 (Distributed Generation, DG) 接入配电系统后所产生的影响进行了研究和评估。通过分析 DG 接入对电网产生的各种影响, 总结提出了反应电网损耗、电压质量、可靠性、环境影响程度等的量化指标, 分析研究了针对各指标的计算方法。并基于层次分析法和主成分分析法相结合的方法实现各指标的线性加权, 从而综合评估 DG 对电网的影响。

以 20 节点系统为例, 在接入不同 DG 情况下对所述计算方法和综合评估方法进行了仿真验证, 并对结果进行了分析和讨论。

**关键词:** 配电网; 分布式发电; 评价指标; 综合评估

### The integrated evaluation of impact of distributed generation on distribution network

ZHANG Li-mei<sup>1,2</sup>, TANG Wei<sup>1</sup>, ZHAO Yun-jun<sup>1</sup>, WANG Shao-lin<sup>1</sup>

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Information Science & Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:** This paper studies and evaluates influences of Distributed Generation (DG) on the distribution networks. By analyzing various impacts after DG accessing to the network, this paper summarizes and proposes several quantification indices to show network losses, voltage quality, reliability, environmental impact degree, etc, and presents the calculation methods corresponding to different indices. To fulfill integrated evaluation of DG impact on distribution network, a linear weighting of each index is adopted. And the weight factor is defined based on the combination of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Principal Component Analysis (PCA). On the basis of the 20-node system, the simulation of the computation method and the integrated evaluation method is carried out aiming to different situations of DG, and simulation results are analyzed and discussed.

**Key words:** distribution network; distributed generation; performance indices; integrated evaluation

中图分类号: TM711; TM727.2; TM91 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)21-0132-04

## 0 引言

在能源需求与环境保护的双重压力下, 世界各国高度重视分布式发电供能技术发展。DG 是一种新型的、很有发展前途的发电和能源综合利用方式, 它具有节省投资、降低损耗、提高系统可靠性、效率高、能源种类多样等优点, 同时其位置灵活、分散的特点极好地适应了分散电力需求和资源分布, 它不但可用于电力调峰、建造备用电站或热电联供电站, 又可实现边远地区独立发电<sup>[1-2]</sup>。随着各种 DG 技术水平的提高及其成本下降, 它接入电网的数量会越来越多。然而, DG 接入配电系统既可能带来正面影响, 也可能导致一些负面影响如电压闪变、误动保护、逆向潮流等<sup>[3]</sup>。因此, 量化评估 DG 接入后对配电系统的影响对实现 DG 的大力发

展和应用具有重要的理论和现实意义。

有关评估 DG 接入对电网影响的研究已有一些文献资料。文献[4]从 DG 容量、能源价值、能源成本角度对 DG 的利益进行了量化评估; 文献[5-6]从 DG 接入对电压、网损、环境等方面进行了研究; 文献[1]对 DG 的接入引起的电压改善、网损降低及环境改善进行了研究。文献[7]从研究风力发电联网技术出发, 介绍了一种 DG 模式对系统稳定性影响的评价技术, 同时还在市场环境下, 对联网过程中的相关行为进行了经济分析。文献[8]提出 DG 环境效益的量化指标, 建立了考虑环保效益的电量成本计算模型。文献[3]对 DG 带来的负面影响(如谐波)进行了评估。有关 DG 接入后可靠性评估方面的文献有文献[9]和文献[10]。

现有文献大都是从 DG 影响的某一方面或几个方面进行评估。与此不同, 本文在综合考虑 DG 对电网可靠性、电压质量、环境影响和经济性的基础

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAJ04B06)

上,建立了 DG 接入后对电网产生影响的评估指标体系。通过分析各评估指标的特点,基于潮流结果计算各指标大小,并采用层次分析和主成分分析相结合的方法综合评估 DG 对电网的影响。在 20 节点系统上,接入不同情况 DG,对所述指标计算方法和综合评估方法进行仿真,分析讨论了仿真结果。

## 1 分布式发电对电网影响指标

DG 接入对电网的影响是一个涉及面广而复杂的问题,本文从 DG 对系统网损、可靠性、电压质量、环境、延缓更新五个方面来研究。

### 1.1 DG 对电网损耗影响指标

DG 接入使配网的潮流发生改变,随之会引起网损改变,本文提出系统平均线损率、系统损耗改善程度、最大线路损耗改善程度三个指标从不同方面反应 DG 接入对电网损耗的影响。

(1) 系统平均线损率 ( $Id_1$ ),是反应 DG 接入后电网整体电能损耗情况的指标,其值越小表示系统损耗越少。其表达式为:

$$\text{系统平均线损率} = \frac{\text{非DG年供电量} + \text{DG年供电量} - \text{负荷年需求量}}{\text{非DG年供电量} + \text{DG年供电量}} \quad (1)$$

(2) 系统损耗改善程度 ( $Id_2$ ):是指安装 DG 前后电网损耗之比值。它是从系统的观点反应 DG 接入前后网损的变化情况,值越大表明 DG 降损效果越好。其表达式为:

$$\text{系统网损改善程度} = \frac{\text{未安装DG时的系统损耗}}{\text{安装DG后的系统损耗}} \quad (2)$$

(3) 最大线路损耗改善程度 ( $Id_3$ ):是反应 DG 接入后对局部线路损耗影响的指标,其表达式为:

$$\text{最大线路损耗改善程度} = \max_{i \in [1, N]} \left( \frac{\text{未安装DG时第}i\text{条线路的损耗}}{\text{安装DG后第}i\text{条线路的损耗}} \right) \quad (3)$$

### 1.2 DG 对电压质量的影响指标

DG 的接入会对全网电压产生影响,因而,为了量化分析 DG 接入对电压产生的影响,提出负荷节点电压合格率、系统电压改善程度和负荷节点电压最大偏移率三个指标,其含义如下:

(1) 负荷节点电压合格率 ( $Id_4$ ),是反应负荷节点电压是否超出允许范围内的指标,值越大越好。其表达式为:

$$\text{负荷节点电压合格率} = \frac{\text{负荷节点电压未超出允许范围的节点数}}{\text{负荷节点总数}} \quad (4)$$

(2) 系统电压改善程度 ( $Id_5$ ),是指系统安装 DG 前后系统电压指标之比值,它是反应 DG 对整个系统的电压影响程度的指标,值越大表明 DG 对系统电压改善越明显。其表达式为:

$$\text{系统电压改善程度} = \frac{\text{安装DG后的系统电压指标}}{\text{未安装DG时的系统电压指标}} \quad (5)$$

(3) 负荷节点电压最大偏移率 ( $Id_6$ ),是从局部的观点反应负荷节点电压偏离额定电压程度最大的指标,值越小越好,其表达式为:

$$\text{负荷节点电压最大偏移率} = \max_{i \in [1, N]} \frac{|\text{负荷节点的实际电压} - \text{负荷节点的额定电压}|}{\text{负荷节点的额定电压}} \quad (6)$$

### 1.3 DG 对电网供电可靠性的影响指标

随着电力市场的深入改革和发展,供电可靠性也成为衡量供电质量的重要指标之一,而 DG 接入给系统供电可靠性带来了重要的影响,因此本文提出了系统供电可用率、系统缺供电量变化率和用户缺供电量最大变化率三个指标来反应 DG 对电网供电可靠性的影响。

(1) 系统供电可用率 ( $Id_7$ ),是反应系统供电可靠性整体水平的指标,值越大表明系统供电可靠性越高。其内涵界定为:

$$\text{系统供电可用率} = 1 - \frac{\text{用户平均停电时间}}{\text{统计期时间}} \quad (7)$$

(2) 系统缺供电量变化率 ( $Id_8$ ),是反应安装 DG 前后系统可靠性发生改变的指标,值越大表明 DG 对电网供电可靠性改善效果越好。其表达式为:

$$\text{系统缺供电量变化率} = \frac{\text{安装DG前缺供电量} - \text{安装DG后缺供电量}}{\text{安装DG前缺供电量}} \quad (8)$$

(3) 用户缺供电量最大变化率 ( $Id_9$ ),是反应 DG 接入对用户可靠性影响最大的指标,值越大表明 DG 接入对该用户的影响越大。表达式为:

$$\text{用户缺供电量最大变化率} = \max_{i \in [1, N]} \left( 1 - \frac{\text{用户}i\text{安装DG后的缺供电量}}{\text{用户}i\text{安装DG前的缺供电量}} \right) \quad (9)$$

### 1.4 DG 对环境的影响指标

DG 发电技术清洁、环保是其得以发展应用的条件之一,因此,量化 DG 带来的环境利益也是衡量 DG 经济性必不可少的条件。本文延用文献[8,11]的环境改善程度指标,其含义如下:

(1) 系统环境改善程度 ( $Id_{10}$ ),指安装 DG 前后系统排放的污染气体量的比值。值大的表明接入 DG 环保性能好,其公式为:

$$\text{系统环境改善程度} = \frac{\text{安装DG前系统排放的污染气体量}}{\text{安装DG后系统排放的污染气体量}} \quad (10)$$

### 1.5 延缓网络更新换代指标

DG 接入可以满足负荷增长需求,从而延缓网络更新投资成本<sup>[12]</sup>,本文提出平均线路容量裕度变化率和最大线路容量裕度变化率 ( $Id_{12}$ )。

(1) 平均线路容量裕度变化率 ( $Id_{11}$ ),是反应安装 DG 前后系统线路容量裕度变化情况的指标,其表达式为:

$$\text{平均线路容量裕度变化率} = \frac{\text{安装DG后容量裕度} - \text{无DG时容量裕度}}{\text{无DG时容量裕度}} \quad (11)$$

(2) 最大线路容量裕度变化率 ( $Id_{12}$ ), 是反应 DG 接入对线路容量裕度影响最大的指标。表达式为:

$$\text{最大线路容量裕度变化率} = \max_{j \in [1, N_1]} \left( \frac{\text{安装DG前后支路/容量裕度变化量}}{\text{支路的最大允许容量}} \right) \quad (12)$$

## 2 指标计算方法及综合评估方法

### 2.1 指标计算方法

上述各指标中, 指标  $Id_1$ 、 $Id_2$ 、 $Id_3$ 、 $Id_4$ 、 $Id_5$ 、 $Id_6$ 、 $Id_{11}$  及  $Id_{12}$  需要潮流计算结果, 本文采用前推回代潮流算法获得, 且把 DG 当作负的负荷处理。下面具体说明指标  $Id_5$ 、 $Id_7 \sim Id_{10}$  计算时所涉及的变量。

(1) 系统电压指标  $\lambda$ : 其计算式采用<sup>[11]</sup>

$$\lambda = \sum_{i=1}^N U_i L_i k_i \quad (13)$$

式中:  $U_i$  指负荷节点  $i$  的电压幅值, 但只包括电压不越限时的情况, 而当超过电压阈值时取零;  $L_i$  是节点  $i$  的负荷;  $k_i$  为各负荷节点的权重因子;  $N$  为系统节点数, 且  $k_i$  应满足

$$\sum_{i=1}^N k_i = 1, \text{且 } k_i \in [0, 1] \quad (14)$$

(2) 系统环境改善程度指标 ( $Id_{10}$ ): 用系统排放的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  四种污染气体量的加权平均值来表示系统排放的污染气体量 ( $E$ )<sup>[7-8]</sup>:

$$E = \sum_{i=1}^4 \alpha_i E_i \quad (15)$$

式中,  $\alpha_i$ 、 $E_i$  分别表示第  $i$  种污染气体的权重因子和排放量, 且满足

$$\sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1, \text{且 } 0 \leq \alpha_i \leq 1 \quad (16)$$

(3) 缺供电量 ( $EENS$ ): 计算公式采用

$$EENS = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \gamma_i P_i) \quad (17)$$

式中:  $n$  是负荷点数;  $\lambda_i$  是负荷点的故障率 (次/年);  $\gamma_i$  为负荷点故障平均停电持续时间 (h/次);  $P_i$  是负荷点处的负荷大小。

### 2.2 综合评估方法

上述各指标可作为单一指标用来衡量 DG 接入对某一属性方面的影响, 为了综合评估 DG 接入对电网产生的影响, 本文采用上述各指标的加权求和作为 DG 对电网影响的综合评估, 即

$$I = \sum_{i=1}^N w_i I_i \quad (18)$$

式中:  $N$  表示指标数;  $I_i$  指第  $i$  个指标;  $w_i$  指第  $i$  个指标的权重因子, 它满足

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1, \text{且 } w_i \in [0, 1] \quad (19)$$

因此, 确定各分项指标权重是实现综合评估的关键。为了使确定出指标权重既考虑专家经验, 又结合客观实际, 本文采用层次分析法和主成分分析法相结合的方法确定指标权重, 即采用层次分析法和主成分分析法分别确定各分项指标权重后, 然后再按一定的百分比确定出最终的指标权重。其表达式为:

$$w = 0.5w_{\text{AHP}} + 0.5w_{\text{PCA}} \quad (20)$$

式中:  $w$  为指标权重向量;  $w_{\text{AHP}}$ 、 $w_{\text{PCA}}$  分别为层次分析法、主成分分析法确定的指标权重向量。

层次分析法是通过专家打分构造判断矩阵, 然后求取判断矩阵的最大特征值对应的特征向量 ( $v$ ), 并由公式 (21) 求取各指标权重。

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{k=1}^m v_k} \quad (21)$$

式中:  $v_i$  为特征向量  $v$  的第  $i$  维分量;  $m$  是指标数。

主成分分析法则是由原始信息矩阵构建各指标的相关矩阵, 然后通过求取相关矩阵的特征值  $\lambda$  及各特征值对应的特征向量  $v_k$ , 并采用公式 (22) 确定各指标权重。

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^p BF_k v_{ki}}{\sum_{k=1}^p BF_k} \quad (22)$$

式中:  $v_{ki}$  为特征向量  $v_k$  的第  $i$  维分量;  $BF_k$  为第  $k$  个特征值的百分率, 即

$$BF_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{k=1}^m \lambda_k} \quad (23)$$

## 3 算例分析

为了验证分析所提指标及评估算法, 本文以 20 节点系统为基础, 分情况接入不同类型、不同位置 and 不同容量 DG 进行大量仿真。仿真系统拓扑结构、线路及负荷参数见文献[13]。潮流计算参数: 变电站电压 1.02 (p.u.), 基准功率 10 MVA, 电压基值 10 kV, 收敛精度  $10^{-4}$ 。可靠性指标参数: 线路故障率 0.1 次 / (年·km), 线路故障平均停电持续时间 3h/次, DG 故障率  $\lambda_{\text{DG}}$  取 5 次/年, DG 平均停电持续时间  $\gamma_{\text{DG}}$  取 50 (h/次)。各种 DG 污染排放数据取自文献[8]。表 1 列出了下列几种情况下的各指标值:

Case1: 一个 DG 接入节点 5, 注入有功、无功

$P=0.0816$ ,  $Q=0.0598$ ;

Case2: 一个 DG 接入节点 20, 注入有功、无功  $P=0.0816$ ,  $Q=0.0598$ ;

Case3: 两个 DG, 接入节点 5 和 20, 注入有功、无功依次为  $P=0.0816$ ,  $Q=0.0598$  和  $P=0.0424$ ,  $Q=0.0309$ ;

Case4: 三个 DG, 接入节点 5、11 和 20, 注入有功、无功依次为  $P=0.0816$ ,  $Q=0.0598$ 、 $P=0.0424$ ,  $Q=0.0309$  和  $P=0.0034$ ,  $Q=0.0025$ ;

Case5: 五个 DG, 接入节点 5、8、11、15 和 20, 注入有功、无功依次为  $P=0.0816$ ,  $Q=0.0598$ 、 $P=0.0424$ ,  $Q=0.0309$ 、 $P=0.0034$ ,  $Q=0.0025$ 、 $P=0.0677$ ,  $Q=0.0505$  和  $P=0.0025$ ,  $Q=0.0018$ 。

表 1 各性能指标仿真结果

Tab.1 The results for the different performance indices

指标	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
$Id_1$	0.0203	0.0156	0.0171	0.0150	0.0182
$Id_2$	1.2381	1.6196	1.6473	1.5545	2.3460
$Id_3$	1.4436	10.5565	11.3313	1.8415	4.7310
$Id_4$	1	1	1	1	1
$Id_5$	1.0042	1.0094	1.0091	1.0081	1.0143
$Id_6$	4.16%	2.74%	3.12%	3.56%	2.50%
$Id_7$	99.39%	99.34%	99.44%	99.49%	99.65%
$Id_8$	8.04%	10.04%	16.81%	12.66%	29.72%
$Id_9$	0.7772	0.9229	0.9188	0.9229	0.9067
$Id_{10}$	1.1976	1.2034	1.3384	1.3492	1.6718
$Id_{11}$	0.2075	0.8303	0.6398	0.0480	0.0915
$Id_{12}$	0.0418	0.0428	0.0641	0.0656	0.1018

图 1 是与指标  $Id_1 \sim Id_{12}$  权重依次为 0.073957、0.04598、0.023415、0.13359、0.042585、0.026103、0.1216、0.0665、0.023379、0.060128、0.191384、0.191384 时上述五种情况的综合评估指标值。

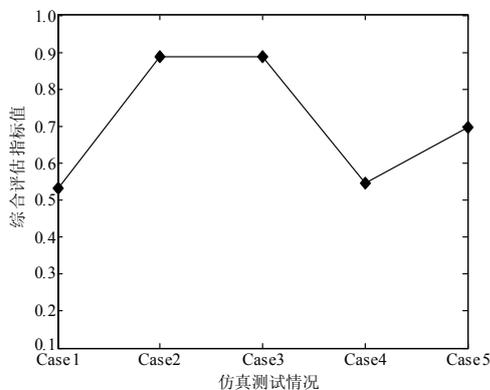


图 1 不同测试情况的综合评估指标值

Fig.1 Integrated performance indices for the different simulation

由表 1 可知, 所提每一个指标都能从不同侧面反应 DG 接入对电网的影响, 且其影响程度会随 DG 类型、接入位置、容量、布局等而改变, 如  $Id_1$  在 Case4 时最好、 $Id_5$  在 Case5 时最好、 $Id_6$  在 Case1 最好, 等等。因此, 为了协调各种影响, 必须对 DG 所产生的影响进行综合评估。由图 1 可知, Case2 和 Case3 是综合评估效果较好的情况。

## 4 结论

通过对 DG 接入配网产生的各种影响的分析, 论文分析提出了反应 DG 对电网损耗、电压质量、可靠性、环境影响等程度的量化指标, 并通过对各分项指标的归一化处理 and 线性加权, 提出了一种综合评估 DG 对电网影响的灵活方法。通过这些指标不仅可以单独量化、分析、评估 DG 接入对网损、电压、可靠性及环境等方面的影响, 还可通过选择不同的权重因数, 使规划工程人员进行 DG 规划问题时根据需要有侧重地区别对待, 灵活规划 DG 位置和定容, 而且它还可作为调度人员根据实际情况经济调度 DG 运行提供依据, 从而最大限度地发挥 DG 的经济效益。

## 参考文献

- [1] Pathomthat Chiradeja, Ramakumar R. An approach to quantify the technical benefits of distributed generation[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2004, 19 (4): 764-783.
- [2] 王建, 李兴源, 邱晓燕. 含有分布式发电装置的电力系统研究综述[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (24): 90-97.  
WANG Jian, LI Xing-yuan, QIU Xiao-yan. Power system research on distributed generation penetration[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (24): 90-97.
- [3] Orságová J, Toman P. Evaluation of negative effect of distributed generation[C]. //PQ 2008: 6th International Conference-2008 Power Quality and Supply Reliability, Conference Proceedings. 2008: 131-135.
- [4] Milligan M R, Graham M S. An enumerated probabilistic simulation technique and case study: integrating wind power into utility production cost models[C]. //National Renewable Energy Lab for Wind Energy Program. 1996.
- [5] Hoff T, Shugar D S. The value of grid-support photovoltaics in reducing distribution system losses[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 1995 (10): 569-576.
- [6] Ochoa L F, Padilha-Feltrin A, Harrison G. Evaluating distributed generation impacts with a multiobjective index[J]. IEEE Trans on Power Del, 2006, 21 (3): 1452-1458.

(下转第 140 页 continued on page 140)

Trans on Energy Conversion, 2006, 21 (1) : 171-180.

[12] 刘芙蓉, 康勇, 段善旭, 等. 主动移频式孤岛检测方法的参数优化[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (1) : 95-99.  
LIU Fu-rong, KANG Yong, DUAN Shan-xu, et al. Parameter optimization of active frequency drift islanding detection method[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28 (1) : 95-99.

[13] 曾议, 吴政球, 刘杨华, 等. 分布式发电系统孤岛检测技术[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21 (1) : 106-110.  
ZENG Yi, WU Zheng-qiu, LIU Yang-hua, et al. Islanding detection method for distributed generation systems[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2009, 21(1): 106-110.

[14] Tan J C, Crossley P A, McLaren P G, et al. Application of a wide area backup protection expert system to prevent cascading outages[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17 (2) : 375-380.

[15] Yu B, Matsui M, So J, et al. A high power quality anti-islanding method using effective power variation[J]. Solar Energy, 2008, 82 (4) : 368-378.

[16] WANG Xiao-yu, Freitas W. Impact of positive feedback anti-islanding methods on small-signal stability of inverter-based distributed generation[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2008, 23 (3) : 923-931.

[17] 刘方锐, 段善旭, 康勇, 等. 多机光伏并网逆变器的孤岛检测技术[J]. 电工技术学报, 2010, 25 (1) : 167-171.  
LIU Fang-rui, DUAN Shan-xu, KANG Yong, et al. Islanding detection methods for multiple PV converters system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25 (1) : 167-171.

[18] 刘芙蓉, 康勇, 段善旭, 等. 主动移频式孤岛检测方法的参数优化[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (1) : 95-99.  
LIU Fu-rong, KANG Yong, DUAN Shan-xu, et al. Parameter optimization of active frequency drift islanding detection method[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28 (1) : 95-99.

收稿日期: 2010-04-10

作者简介:

张石 (1982-), 男, 博士研究生, 主要从事电力负荷预测、电力系统安全、太阳能发电应用等方面研究; E-mail: zhangshi2001@163.com

汪定伟 (1948-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统优化方面的研究;

张瑞友 (1979-), 男, 博士, 主要从事电力系统优化方面的研究。

(上接第 135 页 continued from page 135)

[7] 张乃国, 范正宇, 严登俊. 风力发电联网技术与经济效益分析[J]. 江苏电机工程, 2007, 26 (3) : 57-60.  
ZHANG Nai-guo, FAN Zhen-yu, YAN Deng-jun. Analysis of the technology and economic benefits of wind power integration[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2007, 26 (3) : 57-60.

[8] 钱科军, 袁越, 石晓丹, 等. 分布式发电的环境效益分析[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (29) : 11-17.  
QIAN Ke-jun, YUAN Yue, SHI Xiao-dan, et al. Environmental benefits analysis of distributed generation[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28 (29) : 11-17.

[9] Atwa, Yasser M. Reliability evaluation for distribution system with renewable distributed generation during islanded mode of operation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2009, 24 (2) : 572-581.

[10] Bae In-Su, Kim Jin-O. Reliability evaluation of distributed generation based on operation mode[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2007, 22 (2) : 785-790.

[11] 郑漳华, 艾芊, 顾承红, 等. 考虑环境因素的分布式发电多目标优化配置[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29 (13) : 23-28.  
ZHENG Zhang-hua, AI Qian, GU Cheng-hong, et al.

Multi-objective allocation of distributed generation considering environmental factor[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29 (13) : 23-28.

[12] Antonio Piccolo, Pierluigi Siano. Evaluating the impact of network investment deferral on distributed generation expansion[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2009, 24 (3) : 1559-1567.

[13] 王志群, 朱守真, 周双喜, 等. 分布式发电对配电网电压分布的影响[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (16) : 56-60.  
WANG Zhi-qun, ZHU Shou-zhen, ZHOU Shuang-xi, et al. Impacts of distributed generation on distribution system voltage profile[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (16) : 56-60.

收稿日期: 2010-04-12; 修回日期: 2010-08-31

作者简介:

张立梅 (1972-), 女, 讲师, 博士研究生, 研究方向为电力系统分析、新能源发电配电网规划、运行及可靠性评估等; E-mail: lmzhch@yahoo.com.cn

唐巍 (1971-), 女, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为电力系统分析与控制、地方电力系统优化运行、配电网可靠性、电网性能评估等。