

农村配电网规划项目可靠性提升效果评估方法

张俊成^{1,✉}, 陶毅刚¹, 黎敏¹, 黄泽杰², 李志铿², 杨海森²

(1. 广西电网有限责任公司, 广西 南宁 530023;

2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 规划项目供电可靠性提升效果的量化评估工作是以二级指标为规划导向的。为了解决农村配电网规划缺乏量化评估的问题, 文章提出了一种适用于农村配电网大规模规划项目可靠性提升效果快速评估的方法, 实现对规划项目可靠性提升效果的快速评估。[方法] 文章从农村配电网主要的特点分析出发, 结合配电网规划项目供电可靠性提升效果评估需求, 基于简化拓扑, 提出适用于农村配电网的规划项目供电可靠性提升效果评估方法。[结果] 通过与中压配电网可靠性评估行业标准进行对比, 计算精度误差在11%以内。[结论] 所提方法实现具备一定的计算精度, 能够满足对农村配电网大规模规划项目可靠性提升效果快速评估, 有效提升配电网规划质量。

关键词: 农村配电网; 配电网规划; 可靠性评估; 二级指标; 解析法

中图分类号: TM7; TM715

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)S2-0112-06

开放科学(资源服务)二维码:



Evaluation Method for Reliability Improvement Effect of Rural Distribution Network Planning Project

ZHANG Juncheng^{1,✉}, TAO Yigang¹, LI Min¹, HUANG Zejie², LI Zhikeng², YANG Haisen²

(1. Guangxi Electricity Power Co. LTD, Nanning 530023, Guangxi, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] Quantitative evaluation for power supply reliability improvement effect of planning projects is guided by secondary indexes. In order to solve the problems that the planning of rural distribution network is lacks, this paper proposes a rapid evaluation method for reliability improvement effect of large-scale rural distribution network planning projects. [Method] This paper first analyzed the main characteristics of rural distribution network. Then, based on the evaluation requirements of power supply reliability improvement effect of distribution network planning project and a simplified topology, this paper proposed an evaluation method for power supply reliability improvement effect of rural distribution network planning projects. [Result] The proposed method is compared with the industry standard for reliability evaluation of medium-voltage distribution networks, and the calculation accuracy error is within 11%. [Conclusion] The proposed method achieves a certain computational accuracy. It can meet the needs of rapid evaluation of reliability improvement effect of large-scale rural distribution network planning projects, and effectively improve the quality of distribution network planning.

Key words: rural distribution network; distribution network planning; reliability assessment; secondary index; analytical method

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI.

This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

在电力系统“发-输-变-配-用”的几大环节中, 配电网直接与用户相连, 是电能输送的末端环节^[1-3]。

配电网承担着将电能从电源或输电网传输到不同电压等级用户的重要任务, 配电网运行的可靠性水平, 直接关系到用户的供电质量和“获得电力”体验^[5-8]。

经过历年的建设和改造, 尽管城市与农村配网

网基础薄弱的现象有所缓解,但目前城市配网、农村配电网发展不充分、不平衡的情况仍然存在,尤其是农村配电网存在设备老旧、网架薄弱、故障频发等诸多问题,严重制约了配电网的可靠性水平提升及农村用户“获得电力”水平提升。

目前配电网规划项目主要从解决现状存在问题和满足负荷发展需求等角度进行立项,广泛采用的传统配电网规划方法并按照既定的标准、准则和经验来校核项目。随着配电网负荷的不断增长,通过上述方式来满足负荷增长和提升可靠性,不仅使电网企业承担了较大的投资压力,还制约了可靠性进一步提高。按照传统配电网供电可靠性评估方法,需要针对不同的配电网架开展精细化建模和分析^[9-12],或针对不同典型配电网架开展评估和计算^[13-14],无法满足大规模规划项目可靠性提升效果评估对建立标准化、快速化配电网可靠性评估的需求。因此,有必要研究一种适用于农村配电网大规模规划项目可靠性提升效果快速评估的方法,以进一步提升配电网规划质量。

1 农村配电网规划项目可靠性评估需求分析

1.1 农村配电网主要特点分析

为了适应农村配电网可靠性评估的应用,首先需要分析农村配电网的特点,主要特点如下:

1)网架特点:辐射线路较多,可转供电线路少,部分线路不满足典型接线;线路存在较大支线,部分支线没有安装分支开关;

2)线路特点:线路类型以架空线(绝缘线/裸导线)为主;线路长度较长,约几十公里;各线路分段的线路长度分布不均衡;

3)负荷特点:用户数分布不均衡,较多负荷分布在大支线上;

4)配电自动化特点:配电自动化程度较低,主要以人工复电为主。

针对农村配电网的线路分段不均和大支线用户数较多的特点,配电网规划项目可靠性评估方法应考虑采取分段建模并考虑大支线的方式构建;由于农村配电网配电自动化程度较低,主要以人工复电为主,停电时间基数较大,配电网规划项目可靠性评估方法可忽略配电自动化类型的差异,以提高方法的可操作性。

1.2 配电网规划项目可靠性评估需求分析

配电网规划项目的可靠性评估主要从量化分析供电可靠性的角度有效支撑配电网规划环节的决策和分析。其核心的分析需求主要有:

1)开展规划项目的可靠性提升效果评估和排序:根据项目实施前后的供电可靠性评估结果,对项目实施的供电可靠性提升效果进行分析和评估,并基于项目实施后供电可靠性提升效果和单位投资的供电可靠性提升效果等维度对规划项目库进行项目优先级排序。

2)开展规划项目不同方案的比选:对同一规划项目不同方案实施后的可靠性提升效果进行分析和评估,实现对同一个项目不同方案的方案比选,有效支撑配电网精准规划。

由上述的分析需求可知,配电网规划项目可靠性评估主要目的在于对不同项目或同一项目不同方案之间进行比选。因此,配电网规划项目可靠性评估方法应更多关注可靠性评估结果的相对值。

配电网规划项目库的项目数量众多,通常开展配电网规划项目可靠性评估及规划项目精准投资计算以一个县区甚至一个城市为评估范围,涉及项目数量数以千计,因此配电网规划项目可靠性评估方法应能适应大批量的配电网规划项目的可靠性提升效果评估,具备操作的可行性。

因此,配电网规划项目可靠性评估应该在现有供电可靠性评估方法的基础上,兼顾应用场景对计算精度、操作可行性的需求。

2 农村配电网规划项目可靠性评估方法

2.1 基本假设

根据上一节农村配电网规划项目可靠性评估需求分析结果,对可靠性评估条件作出如下假设:

考虑到农村配电变压器高压侧通常均装设熔断器,因此假设配变故障仅影响配变所带负荷,不影响所在支线及主干线路其他负荷。

分支线路根据其支线开关类型划分为有分界开关的重要支线和有刀闸或开关但无法自动隔离故障的支线两种类型。

1)有分界开关的重要支线定义为支线出口处安装了自动分界开关,支线故障将通过分界开关进行隔离,支线故障不出门。

2)有刀闸或开关但无法自动隔离故障支线定义为支线出口处未安装自动分界开关(但安装了非自动化开关或刀闸),支线故障将无法通过分界开关进行自动隔离,需要人工定位隔离,支线故障将导致主干线用户感受故障定位隔离时间。

考虑农村配电网线路较长且大多为架空线路,线路故障率较高。线路分段数较少导致开关数量较少,且开关本体引发的故障率较低,开关缺陷一般能通过紧急缺陷处理解决。因此可以认为线路故障的可能性远高于开关故障的可能性,为了简化分析和减少规划项目供电可靠性评估方法的数据输入量和填写工作量,在农村配电网的可靠性分析中忽略开关故障的影响。

农村配电网停电时间基数较大,不同型式的配电自动化对于农村线路影响较小,因此配电自动化开关的线路故障隔离和非故障段恢复时间可在0~2 min 范围内统一取值。

2.2 现有可靠性评估方法

目前供电可靠性评估方法主要为模拟法和解析法。模拟法采用抽样方式开展可靠性评估,但计算精度受到模拟时间和收敛精度等各种因素的限制,对于配电网开展可靠性评估的使用意义不强。《中低压配电网可靠性评估导则》(DL/T 1563)将解析法主要分为故障模式后果分析法和最小路法,开展可靠性评估通常基于详细的拓扑结构。故障模式后果分析法通过分析所有可能的故障事件及其对系统造成的后果,建立故障模式后果分析表,通过该表计算负荷点和系统可靠性指标。最小路法通过搜索每个负荷点的最小路,将非最小路上设施故障的影响折算到相应的最小路的节点上,再对最小路上的设施与节点进行计算即可得出单个负荷点的可靠性指标,综合所有负荷点的可靠性指标即可得到系统的可靠性指标。

以故障模式后果分析法为例,基于详细拓扑的故障模式后果分析法对于不同配电网系统,缺乏标准化的求解流程,故障模式后果分析表的结构和规模受配电网系统的拓扑影响较大,不适合对农村中低压配电网开展大规模可靠性评估。

为此,文章考虑以线路分段为最小单位的开展农村配电网规划项目的可靠性评估,即以分段开关划分的线路段为最小评估单元,线路段的主要属性

包括线路类型、线路长度和用户数。为简化考虑,线路类型取线路段的主要线路类型、线路长度取主干线的实际长度,用户数根据统计口径的差异取中压用户数或低压用户数。

2.3 文章所提评估方法

2.3.1 架空线路段故障产生的停电时户数

故障段线路发生故障停运后,变电站出线开关跳闸,经故障定位、重合闸等操作后故障段上游用户恢复供电,故障段上游用户感受故障定位、隔离和倒闸操作等时间;故障段下游用户感受从停电发生到复电全过程。

以规划项目所涉及的某线路第*i*个线路段发生故障为例,架空线路故障停运后的停电时户数可以表示为:

$$T'_i = \lambda_f L_i \left[(t_f + t_{df}) M_i + t_{df} \left(\sum_{j=1}^{i-1} M_j + \sum_{j=i+1}^N M_j \right) \right] \quad (1)$$

式中:

λ_f ——线路故障停运率(%);

t_f ——线路平均故障停运时间(h);

t_{df} ——故障停运定位、隔离和刀闸操作时间(h);

L_i ——分段线路长度(m);

M_i ——分段*i*的用户数(户);

N ——线路分段数(个)。

上式中 $\sum_{j=i+1}^N M_j$ 为本段线路停运下游用户数,包括本段的联络分支上的可转供用户。实际中可能出现故障段下游不能完全转供的情况,此时括号中 $\sum_{j=i+1}^N M_j$ 应根据实际拆分为可转供电用户数 M_{ts} 和不可转供电用户数 M_{ms} 。可转供用户感受停电时间为 t_{df} ,不可转供用户感受的停电时间应为 $t_f + t_{df}$ 。则式(1)可修正为:

$$T'_i = \lambda_f L_i \left[(t_f + t_{df}) (M_i + M_{ms}) + t_{df} \left(\sum_{j=1}^{i-1} M_j + M_{ts} \right) \right] \quad (2)$$

t_{df} 根据线路自动化配置情况,可取 t_{dfm} (人工故障停运定位、隔离和刀闸操作时间)和 t_{dfa} (自动化故障停运定位、隔离和刀闸操作时间)。

2.3.2 电缆线路段故障产生的停电时户数

电缆线路段与架空线路段的故障后果的区别在于,电缆线路故障可通过环进环出开关进行隔离,使故障线路前后可恢复用户和可转供电用户恢复供电,因此电缆故障的停电时户数计算公式与式(2)类似,

但故障段用户无需感受停电时间 t_p , 具体如下:

$$T''_i = \lambda_f L_i \left[(t_f + t_{df}) M_{nfs} + t_{df} \left(\sum_{j=1}^{i-1} M_j + M_{ts} \right) \right] \quad (3)$$

2.3.3 配电变压器故障产生的停电时户数

当故障位于配电变压器, 根据上节的基本假设, 假设配变故障仅影响配变所带负荷, 不影响所在支线及主干线路其他负荷。因此全线因配电变压器故障导致的停电时户数可表示为:

$$T'''_i = \lambda_t t_i \sum_{j=1}^N M_j \quad (4)$$

式中:

λ_t —— 配变故障停运率(%);

t_i —— 配变故障修复时间(h)。

2.3.4 馈线的故障停运时间计算

综合上述分析结果, 可以得到规划项目涉及的任一线路因故障导致的停运时间如下式所示:

$$T_i = T'_i + T''_i + T'''_i \quad (5)$$

式中:

T'_i 、 T''_i 和 T'''_i 的表达式分别见式(2)、式(3)和式(4)。

2.3.5 规划项目实施后减少的停电时户数计算

基于故障模式后果分析法(FMEA法)的思想, 构建单条中压线路的停电时户数评估方法: 首先枚举各段线路停运并计算其导致的停电时户数, 然后累加各分段停运时户数, 得到线路停电时户数的评估值。单条中压线路的停电时户数评估值表示为:

$$T = \sum_{i=1}^N T_i \quad (6)$$

式中:

T —— 停电时户数的评估值(时户);

T_i —— 各设施停运导致的停电时户数(户);

N —— 线路分段数(个)。

规划项目可靠性提升效果评估通过项目实施前后涉及线路的停电时户数差值进行计算, 具体如下:

$$\Delta \text{时户数} = \sum_{\text{涉及线路}} (T_{\text{实施前}} - T_{\text{实施后}}) \quad (7)$$

式中:

T —— 实施前/后线路的停电时户数(户)。

2.4 算法流程

农村配电网规划项目可靠性提升效果评估方法流程如图 1 所示。具体步骤如下:

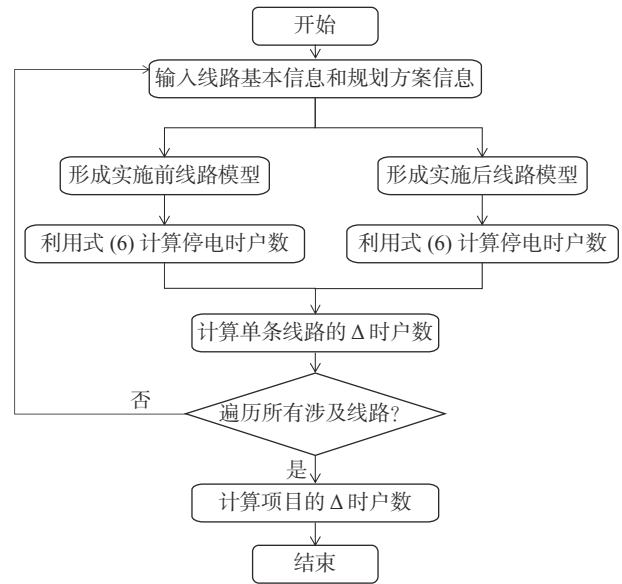


图 1 农村配电网规划项目可靠性提升效果评估方法流程
Fig. 1 Process of evaluation method for reliability improvement effect of rural distribution network planning project

- 1) 输入线路基本信息和规划方案信息;
- 2) 形成实施前的线路模型, 利用式(6)计算停电时户数;
- 3) 形成实施后的线路模型, 利用式(6)计算停电时户数;
- 4) 计算单条线路的 Δ 时户数;
- 5) 判断是否遍历项目涉及的所有线路, 如果否, 则回到步骤(1), 反之则进入步骤(6);
- 6) 计算项目的 Δ 时户数, 即项目实施后供电可靠性, 提升效果评估结果。

3 算例及验证

以《中低压配电网可靠性评估导则》(DL/T 1563)的附录算例为基础, 开展评估方法的验证。

上述算例的网络参数和可靠性参数在此处不再赘述。

行标算例基于详细的拓扑结构, 分别采用逐个元件的故障模式后果分析和计算, 形成故障模式后果分析表, 忽略开关故障时, 最终行标算例网络的可靠性评估结果如表 1 所示。

由上表可知, 行标算例采用的计算方法算得故障停电时户数为 0.323 2 时户, SAIDI-F 为 0.064 6 h, ASAI 为 99.999 26%。

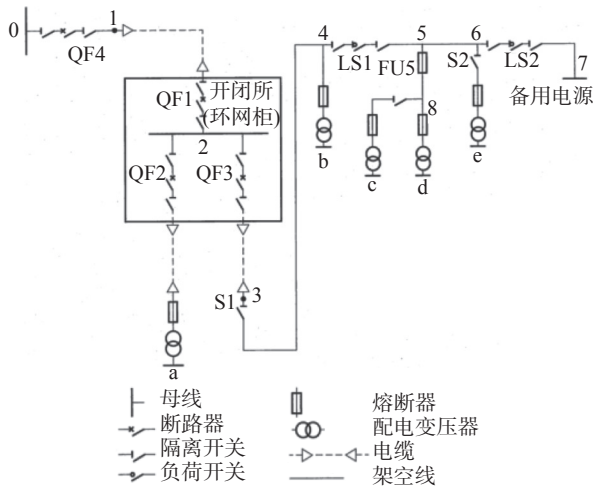


图2 DL/T 1563 算例网络

Fig. 2 Example network in DL/T 1563

表1 行标算例网络的评估结果

Tab. 1 Evaluation results of example network in industry standards

可靠性指标	行标评估结果
故障停电时户数/户	0.323 2
SAIDI-F/h	0.064 6
ASAI/%	99.999 26

利用文章所提评估方法,可以将行标算例网络划分为4个分段,其中4-b分支、6-e分支长度计入主干线。原有的详细拓扑结果可以按分段近似为如图3所示结构。

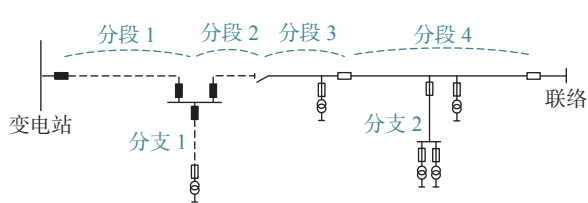


图3 算例网络的分段近似拓扑

Fig. 3 Segment approximate topology of example network

按照图3的网络结构,可以对分段信息进行总结,如表2所示。

根据表2的评估参数,利用文章所提评估方法,经过评估,可以获得如表3所示的评估结果。

由表3可知,文章所提评估方法的评估结果偏保守,误差范围在11%以内。误差产生的原因是文章所提方法采用标准化的分段建模的方式,简化了分段线路内部的线路类型差异,造成了评估结果存

在一定偏差,但文章所提方法能够更好地针对大量项目开展供电可靠性提升效果评估。对于项目可靠性提升效果评估而言,文章所提方法充分考虑了农村配电网用户分布不均、线路长度分布不均、存在部分线路可转供电或无法转供电等特点,按段建模,无需根据网络结构生成不同规模和结构的故障模式后果分析表,实现建模过程标准化;逐段开展计算,计算复杂度可控,实现评估过程的标准化,较能适应农村配电网的供电可靠性评估需求。

表2 评估参数

Tab. 2 Evaluation parameters

序号	分段/个	线路长度/km	用户数/户	停运后下游可转供电用户数/户
主干线路	1-2	2	0	5
	2-3	3	0	4
	3-4	3+1.5	1	3
	4-5-6	1+2+0.5	3	0
分支线路	2-a	1	1	0
	5-8-c-d	1+1.5+1.5	2	0

表3 评估结果

Tab. 3 Evaluation results

可靠性指标	行标评估结果	文章评估结果	评估误差
停电时户数	0.323 2 户	0.064 6 户	10.27%(相对误差)
SAIDI-F	0.356 4 h	0.071 3 h	10.27%(相对误差)
ASAI	99.999 26%	99.999 18%	0.000 06%(绝对误差)

4 结论

文章从农村配电网主要特点的分析出发,结合配电网规划项目供电可靠性提升效果评估需求,基于简化拓扑,提出适用于农村配电网的规划项目供电可靠性提升效果评估方法。所提方法通过与行标《中低压配电网可靠性评估导则》(DL/T 1563)中附录算例方法进行对比,验证了方法的计算精度。所提方法实现对农村配电网大规模规划项目可靠性提升效果快速评估,有效提升配电网规划质量。

参考文献:

[1] 黄向成. 考虑设备全寿命周期的配电网可靠性评估研究 [D]. 广州: 广东工业大学, 2020. DOI: 10.27029/d.cnki.ggdgu.2020.001807.
HUANG X C. Research on reliability evaluation of distribution network considering life cycle of equipment [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2020. DOI: 10.27029/d.cnki.ggdgu.2020.001807.

- [2] 肖茂然. 含高渗透率分布式电源的配电网可靠性评估 [D]. 济南: 山东大学, 2020. DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2020.001990.
XIAO M R. Reliability evaluation of distribution network with high-permeability distributed generation [D]. Ji'nan: Shandong University, 2020. DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2020.001990.
- [3] 章晓凯. 龙湖区配电网供电可靠性提升策略研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2020. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2020.000810.
ZHANG X K. Study on promotion strategies of the power supply reliability of the distribution network in Longhu district [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2020.000810.
- [4] 杨潇. 配电网设备的供电可靠性研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2018.
YANG X. The power supply reliability of distribution network equipment research [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2018.
- [5] 丁吉. 配电网规划的综合效益评估方法研究 [D]. 成都: 西华大学, 2018.
DING J. Research on comprehensive-benefit evaluation method of distribution network planning [D]. Chengdu: Xihua University, 2018.
- [6] 马乐. 配电网供电可靠性分析及提高措施研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2016.
MA L. Analyses of power supply reliability and study of improve measures in distribution network [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [7] 王正国. 配电网可靠性评估与优化 [D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
WANG Z G. Reliability evaluation and optimization of distribution network [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009.
- [8] 肖颖涛, 王化全, 俞海峰, 等. 基于主成分分析法和模糊综合评价法的配电网评估 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(3): 105-112. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.018.
XIAO Y T, WANG H Q, YU H F, et al. Evaluation of distribution network status based on principal component analysis and correspondence analysis [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(3): 105-112. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.018.
- [9] 冯嘉顺, 曾繁祎, 赵青宇. 高可靠性主动配电网供电模式研究 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(1): 92-95. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.01.017.
FENG J S, ZENG F Y, ZHAO Q Y. Study on feeding mode for active distribution system with high reliability demand [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(1): 92-95. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.01.017.
- [10] 李健, 马彬, 张植华, 等. 基于网格的城市配电网优化规划方法研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(3): 38-42. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.03.007.
LI J, MA B, ZHANG Z H, et al. Research on a grid-based optimal planning method for urban distribution system [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(3): 38-42. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.03.007.
- [11] 梁赞, 冯永青. 基于可信性理论的有源配电网可靠性分析 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(2): 62-65. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.011.
LIANG Y, FENG Y Q. Reliability assessment of distribution networks with distributed generators based on credibility theory [J]. Energy Construction, 2015, 2(2): 62-65. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.011.
- [12] 李志铿, 杨海森, 陈超. 计及转供电概率的配电网可靠性评估 [J]. 南方能源建设, 2014, 1(1): 30-33. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2014.01.005.
LI Z K, YANG H S, CHEN C. Reliability evaluation for distribution system considering supply probability [J]. Energy Construction, 2014, 1(1): 30-33. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2014.01.005.
- [13] 冯新龙, 孙岩, 林声宏, 等. 配电网综合评价指标体系及评估方法 [J]. 广东电力, 2013, 26(11): 20-25, 53. DOI: 10.3969/j.issn.1007-290X.2013.11.004.
FENG X L, SUN Y, LIN S H, et al. Comprehensive evaluation index system of distribution network and evaluation method [J]. Guangdong Electric Power, 2013, 26(11): 20-25, 53. DOI: 10.3969/j.issn.1007-290X.2013.11.004.
- [14] 肖峻, 崔艳妍, 王建民, 等. 配电网规划的综合评价指标体系与方法 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(15): 36-40. DOI: 10.3321/j.issn:1000-1026.2008.15.008.
XIAO J, CUI Y Y, WANG J M, et al. A hierarchical performance assessment method on the distribution network planning [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(15): 36-40. DOI: 10.3321/j.issn:1000-1026.2008.15.008.

作者简介:



张俊成

陶毅刚

1986-, 男, 广西南宁人, 高级工程师, 电气工程学士, 主要从事配电网项目评审和发展规划研究工作 (e-mail) 418481317@qq.com。

黎敏

1982-, 女, 广西梧州人, 高级工程师, 电气工程学士, 主要从事配电网规划研究工作 (e-mail) 49504072@qq.com。

黄泽杰

1994-, 男, 广东汕头人, 工程师, 电气工程硕士, 主要从事综合能源, 配电网规划与仿真研究工作 (e-mail) rayhuangzj@126.com。

李志铿

1981-, 男, 广东顺德人, 正高级工程师, 电气工程博士, 主要从事综合能源, 配电网规划研究工作 (e-mail) lizhikeng@gedi.com.cn。

杨海森

1984-, 男, 湖北当阳人, 高级工程师, 电气工程学士, 主要从事综合能源, 配电网规划研究工作 (e-mail) yanghaisen2@gedi.com.cn。

(编辑 孙舒)