

DOI: 10.7667/PSPC170516

一流配电网全寿命周期评价体系研究

李响¹, 胡天彤¹, 牛赛², 金洪声³, 张凯³, 王龙¹

(1. 郑州航空工业管理学院, 河南 郑州 450015; 2. 南阳供电公司, 河南 南阳 473000;
3. 郑州供电公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 现有配电网评价体系多适用于传统电网或偏重于评价电网技术性能, 不适用于单体项目。一流配电网是我国电力企业的发展目标。根据配网项目的全寿命周期, 在规划、设计、建设、运行等方面精选指标构建指标层, 从实施过程、电网性能、环境与社会影响、投资效益四个维度构建适用于配电网年度整体评价与单体项目评价的子体系。采用专家法与信息熵法相结合设置权重, 年度投资整体评价采用宏观性指标, 单体项目采用微观指标, 借鉴国际先进配电网指标, 建立指标隶属度函数。该体系成功应用于江苏南部某城市配电网年度投资评价。

关键词: 配电网; 评价体系; 全寿命周期; 信息熵; 权重

Research of the assessment system for the life-cycle of first-class distribution network

LI Xiang¹, HU Tiantong¹, NIU Sai², JIN Hongsheng³, ZHANG Kai³, WANG Long¹

(1. Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450015, China; 2. Nanyang Electric Power Company, Nanyang 473000, China; 3. Zhengzhou Electric Power Company, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The existing assessment system for distribution network is not suitable to the individual project, it is more applicable to the traditional power grid or focuses more on the assessment of power grid technology performance. The first-class distribution network is the development goal of Chinese electric power enterprise. According to the life-cycle of the distribution network project, this paper establishes an index system by carefully selecting index from the aspects of planning, design, construction and operation, and builds a sub-index system which is suitable to the distribution network annual overall assessment and the individual project assessment from four dimensions i.e. implementation process, power grid performance, environmental and social impact, and investment benefit. It sets weight by combination of the expert method and information entropy, conducts the overall assessment for annual investment by using the macroscopic index and for individual project by using the microcosmic index, and establishes index membership grade function by referencing international advanced distribution network index. The system has been applied to assess the annual investment of the distribution network of a city in southern Jiangsu successfully.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51105344).

Key words: distribution grid; assessment system; life-cycle; information entropy; weight

0 引言

随着技术的进步, 为满足经济的发展, 国内电力企业提出了建设“世界一流电网”的发展目标^[1-2]。配电网直接面对用户^[3-4], 一流配电网是“世界一流电网”的重要环节和体现^[5-7]。

为了评价配电网建设成效, 国内外不少专家与学者提出了不同的配电网评价体系, 并在实际工作中大量应用^[8-9]。这些评价体系主要用于评价配电网传统技术性能^[10-11], 比如网架结构、安全可靠、节能环保等方面, 部分经济发达地区城市配电网评价会加入低碳环保^[12-13]、互动兼容^[14-15]等方面, 但评价依然侧重在配电网整体的技术性能及其效果方面, 缺乏对电网综合性能及单体项目的全寿命周期评价。

本文以建立一流配电网全寿命周期评价体系为

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(51105344); 河南省科技攻关项目资助(172102210076; 182102210112); 河南省教育厅项目资助(18B470013)

目标,结合配电网建设、技术、影响等方面,精选指标,反映我国一流配电网核心价值 and 特征,以提高一流配电网建设成效和投资决策水平。评价体系从建设实施过程、电网性能、社会和环境影响、全寿命周期成本和效益四个维度构建,不仅适用于一流配电网年度投资评价,也可根据项目情况利用子体系或指标构成单体配电项目评价,前者侧重于宏观数据统计,后者侧重于微观指标校核。结合专家法与信息熵法设置权重以克服主、客观赋值的不利因素。以国际先进配电网指标值为参考,建立指标评分函数,根据指标值进行评价。该体系成功应用于江苏南部某城市配电网年度投资评价。

1 一流配电网全寿命周期评价体系

一流配电网全寿命周期评价体系如图 1 所示,该评价体系由下而上分四层:

(1) 指标层

可由多层组成,需遵循系统、科学、独立、可量化比较原则,从工程规划、设计、建设、运行、退役等全寿命过程构建,并考虑项目影响、安全可靠、智能水平、投资成本及效益。

(2) 过程层

以指标层为基础,包含过程、性能、影响、效益四个方面。过程评价是对配网建设项目的决策、准备、实施阶段的进行全面检查、分析和评价;电网性能评价不仅评价电网安全、可靠等技术性能指标,而且结合电网发展趋势,衡量电网基础设施、测控网络、组织管理方面智能化水平。影响评价从环境与社会方面评价配电网项目,体现配电网项目社会责任及环境效益。效益分析采用成本-效益法,项目成本计算全寿命周期成本,效益需要配网项目所有效益,如增供、降损等。

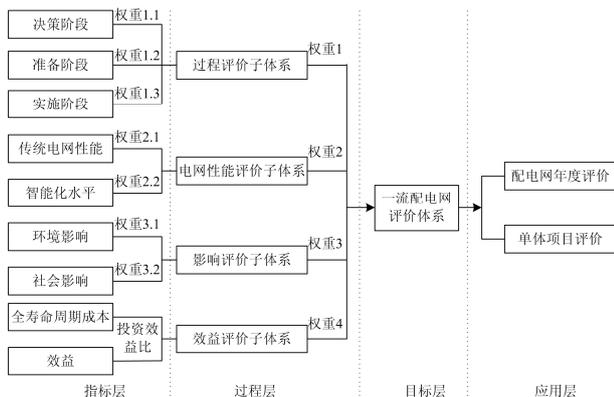


图 1 一流配电网全寿命周期评价体系
Fig. 1 Life-cycle assessment system of the world-class distribution grid

(3) 目标层

构建涵盖一流配电网核心价值 and 特征的全寿命周期评价体系。

(4) 应用层

整个体系可用于评价配电网年度投资,亦可根据项目建设目标利用子体系评价单体项目。

2 评价子体系的构建

2.1 过程评价子体系的构建

过程评价子体系如图 2 所示。决策阶段主要评价电网规划和实施能力,反映在配网建设前期是否经过理论分析、合理规划并予以实施。准备阶段主要评价项目实施前的准备工作是否充分。实施阶段主要评价项目管理和组织实施水平。

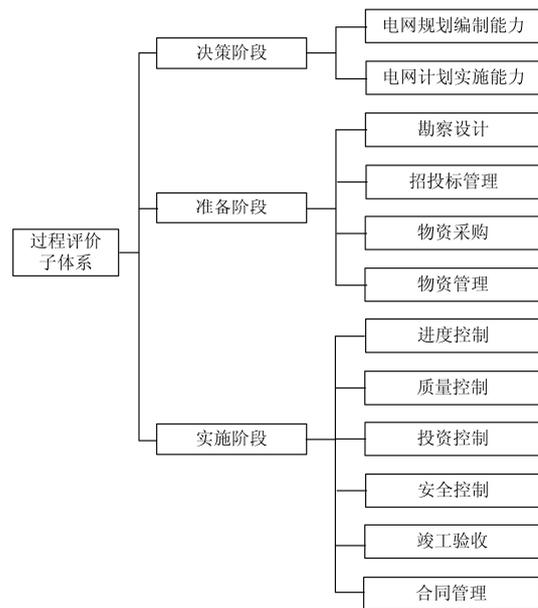


图 2 过程评价子体系

Fig. 2 Process assessment subsystem

2.2 电网性能评价子体系的构建

国内外一些专家、学者从网架结构、安全性、可靠性等方面对配电网进行评价,取得了较为丰硕的成果^[16],在此本文不再赘述;对智能电网也展开了积极、有效的研究,特别是通信设施的智能化程度、新能源的兼容接入与统一控制^[17-18]。配电终端、智能电表、智能变电站等设备是信息采集的重要基础;基础设施采集的信息需要通过可靠、快速的测控网络传递到管理系统,电力企业通过配电自动化、需求侧、电动汽车等管理系统对大数据分析实现管理技术智能化。智能化评价体系如图 3 所示。

2.3 社会和环境因素影响评价子体系的构建

影响评价分为社会和环境因素影响评价,影响评价

子体系如图 4 所示。从电网服务角度来看，电网的社会影响主要体现在户户通电、低电压治理、客户效益及服务满意度等方面。可通过合理依法制定电价来保证客户效益；可利用先进的管理软件和通信技术为客户提供优质服务，从而获取客户服务满意度。

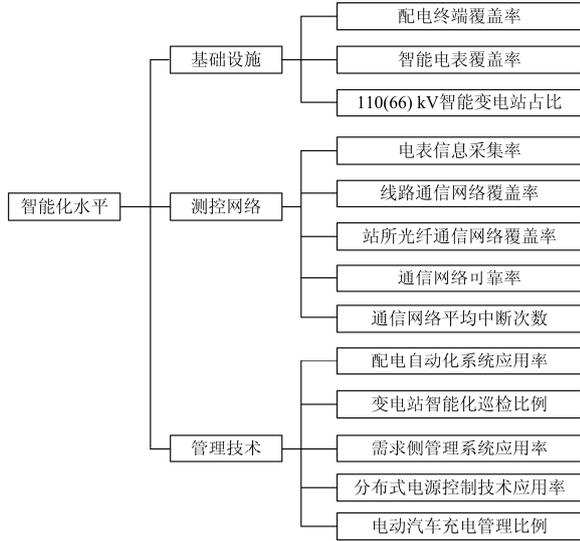


图 3 智能化水平评价子体系

Fig. 3 Smart assessment subsystem

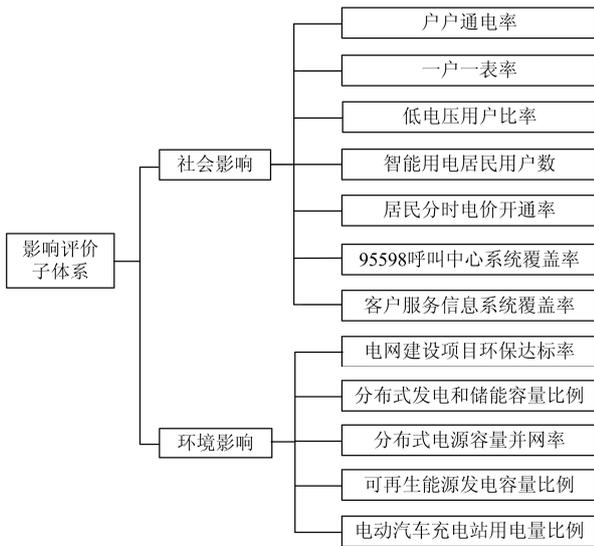


图 4 影响评价子体系

Fig. 4 Impact assessment subsystem

环境影响一方面要考虑工程本身形成的直接环境效益，即电网建设过程中对环境质量、资源节约与利用、生态平衡及环境管理的影响等，着重于项目竣工后是否通过环保验收。另一方面需要考虑在满足用户电力需求的基础上，通过能源替代、清洁能源并网减少有害气体排放所带来的效益，在我国主要是电动汽车、分布式电源方面。

2.4 经济效益评价子体系的构建

配电网建设中的全寿命周期总成本 LCC 应包含：① 配电网建设项目的初始投入成本 CI；② 运维成本 CO；③ 检修成本 CM；④ 故障成本 CF；⑤ 退运处置成本 CD。

$$LCC = CI + CO + CM + CF + CD \quad (1)$$

电网的投资效益 EB 包含：① 投资后电网的增供电量效益 EB_{ZG} ；② 降损效益 EB_{KK} ；③ 环境效益 EB_{HJ} 。

$$EB = EB_{ZG} + EB_{KK} + EB_{HJ} \quad (2)$$

效益与成本均需考虑资金的时间价值，采用成本-效益比较法：

$$EB/LCC > 1 \text{ 或 } EB - LCC > 0 \quad (3)$$

2.5 单体项目与年度配电网评价体系异同

单体项目的评价体系与年度配电网评价体系在评价内容上存在着差别：

(1) 涉及评价子体系数量不同

单体项目建设极有可能改变了评价体系部分子体系，配电网评价体系要涉及所有子体系，所以更加全面。比如架空入地工程，改变电网的安全可靠性能，而不会提高电网智能化水平，评价时应不考虑智能化水平。

(2) 评价指标的角度不同

单体项目主要侧重于微观校验，配电网主要侧重于宏观统计。如对单条配电线路考虑安全性指标可采用“N-1”通过与否指标，对配电网考虑安全性指标可采用“N-1”通过率。

3 基于专家法及信息熵法确立权重

为消除主、客观赋权的不利因素，在设置初始权重时，可采用主客观相结合的方式，借鉴专家经验，客观赋值基于信息熵法^[19-20]。

(1) 若有 m 个指标，想要得到某个指标的权重值 $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{im}(1 \leq i \leq m)$ ，可以组织 n 位专家对指标设置权重，或者同一区域的指标权重 n 年历史值，或者是 n 个不同区域电网的指标权重值，构成该指标的初始权重矩阵。

$$X = \{X_{ij}\}, (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (4)$$

(2) 对第 i 个指标的初始权重标准化

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_{ij}\}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}} \quad (5)$$

(3) 求第 i 个指标权重的信息熵

$$E_i = -\sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (6)$$

其中, $p_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{j=1}^n X'_{ij}}$, 且 $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

(4) 计算各指标的权重

$$w_i = \frac{1 - E_i}{m - \sum_{i=1}^m E_i} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

4 评分标准及综合评分

4.1 单体项目评分方法与标准

单体项目的指标评分仅需考虑是否达到一流配电网的要求, 如“N-1”通过情况等。部分指标的隶属度函数需视指标数据进行拟合, 拟合曲线需要结合一些散点, 散点值的选取往往根据最大值、最小值、标准值即一流配电网指标区间值, 然后利用一些数据处理软件(如 Matlab、Origin 等软件)进行拟合。考虑到我国配电网建设情况, 很多指标趋优越来越困难, 故指标隶属度函数多采用二次函数进行拟合。

4.2 年度评价评分方法与标准

配电网年度全寿命周期评价体系的指标可以分

为趋优指标和非趋优指标。非趋优指标只需考虑该指标是否达到一流配电网区间, 无需对比其他年度; 趋优指标的隶属度函数建立不仅需考察指标是否满足一流配电网要求, 还需对比不同年度, 分析指标的变化规律。比如城市用户供电可靠率, 一流电网要求区间为 99.995%~99.999%, 若评价某城市一流配电网的用户供电可靠率, 不仅要满足一流电网的区间要求, 而且要求逐年呈上升趋势。

4.3 体系综合评分

配电网整体评价或子体系评价采用逐层递推加权法, 若相同层级共计 i 个指标, 权重和得分分别为 w_i 、 x_i , 则综合得分为

$$y = \sum w_i x_i \quad (8)$$

5 算例

以江苏南部某城市电网作为算例, 评价该城市电网在 2015 年度投资情况, 限于篇幅, 以过程评价为例, 对过程评价各个阶段选取具体评价指标, 根据专家法与信息熵法设置权重, 如表 1 所示。

表 1 江苏南部某城市一流配电网过程评价

Table 1 Process assessment of first-class distribution system of a city in southern Jiangsu

评价子体系	评价指标	单位	权重 w_i	满分值	指标数值	得分 x_i
过程评价	1 决策阶段	—	0.20	2.00	—	1.46
	1.1 电网规划编制能力	—	0.50	1.00	—	0.95
	1.1.1 规划项目准确率	%	0.40	0.40	91.22	0.36
	1.1.2 负荷预测准确率	%	0.30	0.30	94.83	0.28
	1.1.3 电量预测准确率	%	0.30	0.30	98.98	0.30
	1.2 电网计划实施能力	—	0.50	1.00	—	0.51
	1.2.1 前期工作计划完成率	%	0.30	0.30	83.30	0.25
	1.2.2 电网基建开工计划调整率	%	0.30	0.30	41.00	0.12
	1.2.3 电网基建投产计划调整率	%	0.40	0.40	34.20	0.14
	2 准备阶段	—	0.30	3.00	—	1.68
	2.1 勘察设计	—	0.30	0.90	—	0.86
	2.1.1 初设评审按期完成率	%	1.00	0.90	95.00	0.86
	2.2 招投标管理	—	0.10	0.30	—	0.24
	2.2.1 工程设计、施工、监理招标计划执行率	%	1.00	0.30	80.00	0.24
	2.3 物资采购	—	0.20	0.60	—	0.58
	2.3.1 物资采购计划准确率	%	0.40	0.24	91.75	0.22
	2.3.2 物资采购标准执行率	%	0.30	0.18	100.00	0.18
	2.3.3 物料主数据申请规范性	%	0.30	0.18	100.00	0.18
	3 实施阶段	—	0.50	5.00	—	4.11
	3.1 进度控制	—	0.20	1.00	—	0.80
	3.1.1 开工计划完成率	%	0.50	0.50	60.00	0.30
	3.1.2 投产计划完成率	%	0.50	0.50	100.00	0.50
	3.2 质量控制	—	0.20	1.00	95.00	0.38
	3.2.1 优质工程综合指标	%	0.40	0.40	95.00	0.38
	3.3 投资控制	—	0.20	1.00	92.70	0.93
	3.3.1 工程造价控制指标	%	1.00	1.00	92.70	0.93
	3.4 安全控制	—	0.20	1.00	0.00	1.00
3.4.1 基建安全稳定事故(事件)次数	次	1.00	1.00	0.00	1.00	
3.5 工程结算	—	0.20	1.00	100.00	1.00	
3.5.1 工程竣工结算按期完成率	%	1.00	1.00	100.00	1.00	
过程评价得分	—	0.23	23	—	16.65	

注: 该指标体系的权重采用德尔菲法

过程子体系总分 23 分，该市配电网得分 16.65 分，得分率 72.4%，说明实施过程总体目标控制良好，但可进一步加强电网项目落实情况，实施工程设计、施工、监理招标投标制度，并且力争按照计划开工。

采用专家法对过程评价、电网性能评价、影响评价、投资效益评价子体系的权重进行设置，初始权重矩阵 X 为

$$X = \begin{Bmatrix} 0.215 & 0.285 & 0.280 & 0.220 \\ 0.265 & 0.245 & 0.255 & 0.235 \\ 0.260 & 0.265 & 0.275 & 0.200 \end{Bmatrix} \quad (9)$$

采用信息熵法计算各评价子体系的权重为

$$w_i = [0.23 \quad 0.27 \quad 0.24 \quad 0.26] \quad (10)$$

该城市 2015 年度一流配电网评价子体系权重、得分及综合得分如表 2 所示。

表 2 评价子体系的权重及综合评估值

Table 2 Weight and comprehensive assessment values of the assessment subsystem

评价子体系	权重 w_i	得分 x_i	综合得分 y
过程评价	0.23	16.65	77.62
电网性能评价	0.27	17.73	
影响评价	0.24	21.35	
投资效益评价	0.26	21.89	

对数据进行归一化处理，采用雷达图进行各个评价子体系进行分析，如图 5 所示。

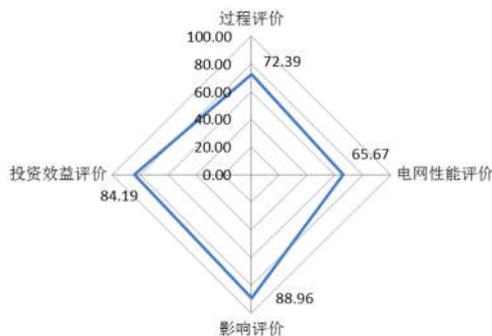


图 5 评价子体系雷达图

Fig. 5 Radar chart of the assessment subsystem

从雷达图可以直观地看到，该城市的一流配电网在投资效益、环境及社会影响方面取得了较好的成果，但电网性能存在较大不足。由于智能电网的建设周期长、投资金额大、技术水平高，所以该城市配电网在智能化、配电自动化、分布式电源方面与一流配电网存在差距。特别是我国现在智能化变电站和配电自动化主要建设在一线城市、省会城市及发达地区的县市核心区，所以覆盖面不广，影响

电网智能化水平。社会影响和环境影响相对较好，但也存在电力及用户双向互动不足、清洁能源使用受限的问题。

6 结论

本文依据配电网项目全寿命周期，从配网项目实施过程、技术性能、投资成效、社会和环境四个方面精选指标，结合专家法与信息熵法确定各级指标权重，建立一流配电网全寿命周期评价体系。该体系不仅适用于配电网年度评价，而且适用于配电网单体项目评价。通过江苏南部某城市配电网的成功应用，验证了该体系科学、可行，且对一流配电网的投资决策与导向有着现实意义。

参考文献

- [1] 王旭, 黄俊辉, 谈健, 等. 国际电网评价关键指标"一流水平"量化评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(2): 80-84.
WANG Xu, HUANG Junhui, TAN Jian, et al. Quantitative assessment on the "world-class" of the key indicators of grid assessment[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2016, 28(2): 80-84.
- [2] 徐科, 刘明志, 张军, 等. 世界一流城市电网评价指标体系[J]. 电力建设, 2015, 36(11): 51-57.
XU Ke, LIU Mingzhi, ZHANG Jun, et al. Index system for world-class urban power network[J]. Electric Power Construction, 2015, 36(11): 51-57.
- [3] QUINTERO J, ZHANG H, CHAKHCHOUKH Y, et al. Next generation transmission expansion planning framework: models, tools, and educational opportunities[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2014, 29(4): 1911-1918.
- [4] Council of European Energy Regulators (CEER). 2013 annual report[R]. CEER, 2013.
- [5] 贾清泉, 艾丽, 董海艳, 等. 考虑不确定性的电压暂降不兼容度和影响度评价指标及方法[J]. 电工技术学报, 2017, 32(1): 48-57.
JIA Qingquan, AI Li, DONG Haiyan, et al. Uncertainty description and assessment of incompatibility & influence index for voltage sags[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2017, 32(1): 48-57.
- [6] 卫泽晨, 赵凤展, 王佳慧, 等. 网格化中低压智能配电网评价指标体系与方法[J]. 电网技术, 2016, 40(1): 249-255.
WEI Zechen, ZHAO Fengzhan, WANG Jiahui, et al. Gridding assessment index system and method of MV and LV intelligent distribution network[J]. Power System Technology, 2016, 40(1): 249-255.
- [7] 黄飞, 宋璇坤, 周晖, 等. 基于效果与基础互动的电网

- 智能化水平综合评价指标体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(11): 142-148.
- HUANG Fei, SONG Xuankun, ZHOU Hui, et al. Research on comprehensive evaluation index system of grid's intelligence level based on interaction between effect and basis[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(11): 142-148.
- [8] 张心洁, 葛少云, 刘洪, 等. 智能配电网综合评估体系与方法[J]. 电网技术, 2014, 38(1): 40-46.
- ZHANG Xinjie, GE Shaoyun, LIU Hong, et al. Comprehensive assessment system and method of smart distribution grid[J]. Power System Technology, 2014, 38(1): 40-46.
- [9] 孙义豪, 李秋燕, 丁岩, 等. 基于主成分分析及系统聚类的县域电网综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 30-36.
- SUN Yihao, LI Qiuyan, DING Yan, et al. County power grid evaluation system based on principal component analysis and hierarchical cluster analysis[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 30-36.
- [10] 赵川, 叶华, 梁铃, 等. 电网调度运行关键绩效指标(KPI)的构建方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27(5): 97-102.
- ZHAO Chuan, YE Hua, LIANG Ling, et al. Construction method of key performance indicators (KPI) of dispatching operation[J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2015, 27(5): 97-102.
- [11] 贾亚飞, 朱永利, 王刘旺, 等. 基于 VMD 和多尺度熵的变压器内绝缘局部放电信号特征提取及分类[J]. 电工技术学报, 2016, 31(19): 208-217.
- JIA Yafei, ZHU Yongli, WANG Liuwang, et al. Feature extraction and classification on partial discharge signals of power transformers based on VMD and multiscale entropy[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(19): 208-217.
- [12] XU X H, ZHAI C G, CHEN L J, et al. Research on smart distribution network system architecture[C] // Proceedings of 2012 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia). May 21-24, 2012, Tianjin, China: 1-4.
- [13] 孙彦龙, 康重庆, 陈宋宋, 等. 低碳电网评价指标体系与方法[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(17): 157-162.
- SUN Yanlong, KANG Chongqing, CHEN Songsong, et al. Low-carbon power grid index system and assessment method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(17): 157-162.
- [14] 王晓晶, 陈星莺, 陈楷, 等. 智能配电网清洁性评估指标研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(31): 43-50.
- WANG Xiaojing, CHEN Xingying, CHEN Kai, et al. Research on cleaning assessment indices of smart distribution grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(31): 43-50.
- [15] 马瑞, 金艳, 刘鸣春. 基于机会约束规划的主动配电网分布式风光双层优化配置[J]. 电工技术学报, 2016, 31(3): 145-154.
- MA Rui, JIN Yan, LIU Mingchun. Bi-level optimal configuration of distributed wind and photovoltaic generations in active distribution network based on chance constrained programming[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(3): 145-154.
- [16] 倪敬敏, 何光宇, 沈沉, 等. 美国智能电网评估综述[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(8): 9-13, 66.
- NI Jingmin, HE Guangyu, SHEN Chen, et al. A review of assessment of smart grid in America[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(8): 9-13, 66.
- [17] 王彬, 何光宇, 梅生伟, 等. 智能电网评估指标体系的构建方法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(23): 1-5.
- WANG Bin, HE Guangyu, MEI Shengwei, et al. Construction method of smart grid's assessment index system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(23): 1-5.
- [18] 胡勇. 主动配电网用户侧能量管理系统设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(16): 149-155.
- HU Yong. Design and implementation of user energy management system on active distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(16): 149-155.
- [19] 李响, 黎灿兵, 曹一家, 等. 短期负荷预测的解耦决策树新算法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(3): 13-19.
- Li Xiang, Li Canbing, Cao Yijia, et al. New algorithm of short-term load forecasting according to decision tree and decoupling[J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2013, 25(3): 13-19.
- [20] Rusitschka S, Eger K, Gerdes C. Smart grid data cloud: A model for utilizing cloud computing in the smart grid domain[C] // First IEEE International Conference on Smart Grid Communications, October 4-6, 2010, Gaithersburg, MD, USA: 483-488.
-
- 收稿日期: 2017-04-11; 修回日期: 2017-06-06
作者简介:
李响(1979—), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为配电网规划与评估。E-mail: nomad0729@163.com
(编辑 张爱琴)