

# 基于全寿命周期成本的配电网合环运行 经济性评估方法

黎洪光<sup>1</sup>, 林家俊<sup>2</sup>, 庄远灿<sup>2</sup>, 李玉荣<sup>1</sup>, 朱建全<sup>2</sup>

(1. 广州供电局有限公司, 广州 540620; 2. 华南理工大学电力学院, 广州 510640)

**摘要:** 系统研究了基于全寿命周期成本的配电网合环运行经济性评估方法, 并分析在南沙配电网中的应用。首先, 从配电网合环运行的基本特点出发, 系统建立配电网合环运行全寿命周期经济性评估框架; 其次, 提出一种配电网可用度的简化计算模型, 以获得复杂配电网合环运行情况下的全寿命周期停电成本; 再次, 综合考虑配电网合环运行的资产投资成本、运维检修成本、停电成本、报废成本等, 形成一套完整的全寿命周期经济性评估方法; 最后, 将所提方法应用于南沙配电网, 结果表明了所提方法的有效性。

**关键词:** 配电网; 合环运行; 经济性评估; 全寿命周期成本; 可用度

中图分类号: TM727.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)02-0162-05

## Economic Evaluation of Closed Loop Operation of Distribution Network Based on Life Cycle Cost

LI Hongguang<sup>1</sup>, LIN Jiajun<sup>2</sup>, ZHUANG Yuancan<sup>2</sup>, LI Yurong<sup>1</sup>, ZHU Jianquan<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Power Supply Bureau co., Ltd., Guangzhou 510620, China;

2. School of Electric Power Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** The economic evaluation of closed loop operation of distribution network based on life cycle cost is studied in this paper, and then is applied in Nansha distribution network. First, considering the general features of closed loop operation of distribution network, a framework of economic evaluation based on life cycle cost is proposed. Secondly, a simplified model of the availability of distribution network is put forward for calculating the power loss cost. Furthermore, taking into account the investment cost, operation and maintenance cost, power loss cost, and scrap cost simultaneously during the life cycle, a novel method for the economic calculation of distribution network is presented. Finally, the proposed method is applied in the Nansha distribution network, and the results show its feasibility and validity.

**Key words:** distribution network; closed loop operation; economic evaluation; life cycle cost; availability

电网合环运行对于提高供电可靠性具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。目前国外发达国家的配电网普遍采用合环运行的方式, 但是我国的配电网建设还相对滞后, 主要采用“闭环接线, 开环运行”的方式。为了提高供电可靠性, 目前国家电网和南方电网正在进行配电网合环运行的研究, 并在广州南沙等地进行试点。

配电网合环运行模式的转变, 需要新的资金投入。在这个过程中, 有必要对其经济性进行全面评估。目前国内外已经提出多种配电网经济评估方法, 如模糊综合评价方法、灰色关联分析法、层次分析法等, 部分方法已经得到了实际应用<sup>[3-4]</sup>。但是已有的方法主要侧重于某一阶段的经济性, 如初始投资阶段、运维管理阶段等, 较少从配电网合环运行的全寿命周期成本的角度进行分析。

全寿命周期成本(LCC)是指在方案论证、研制、生产、经营、维护和后期设备处理的生命周期中, 一切直接、间接和派生支付的所有费用的总

收稿日期: 2015-10-01

基金项目: 中国南方电网有限责任公司科技项目(0165HK1200429)

作者简介: 黎洪光(1964), 男, 广州番禺人, 高级工程师, 学士, 主要从事电力设备运行与检修研究工作(e-mail)lhg159@126.com。

和<sup>[5-8]</sup>。从这个意义上说, 全寿命周期成本是配电网合环运行经济性最为全面的反映。为此, 文献[9]从元件、费用、时间三个维度建立电力系统的成本模型, 提出了基于全寿命周期成本的经济性评估策略, 文献[10]提出计及可靠性的配电网全寿命周期成本模型, 文献[11]提出基于全寿命周期成本的配电网规划方案。这些方法各有特点, 但对故障成本的研究相对较少。此外, 已有的方法均是建立在配电网开环运行的基础上, 并未涉及配电网合环运行问题。

本文从全寿命周期成本的角度提出一种配电网合环运行经济性评估方法, 为配电网合环运行的规划建设与运维管理提供决策依据。

### 1 配电网合环运行经济性评估框架

在本文提出的基于全寿命周期成本的配电网合环运行经济评估方法中, 配电网合环运行的全寿命周期成本分为初始投资成本、运维检修成本、故障停电成本及报废成本, 具体如图 1 所示。



图 1 全寿命周期成本的构成

Fig. 1 Composition of Life Cycle Cost

在上述的配电网合环运行的各类成本中, 故障成本的计算是一个难点。由于电力系统的任一个元件的故障均可能引发停电事故, 故配电网合环运行的停电概率与各个元件的故障概率有关。又由于配电网的元件数量众多, 接线方式比合环运行方式复杂, 因而配电网合环运行的停电概率计算较为困难。此外, 配电网因故障停电又产生三个方面的成本, 由于停电造成的企业损失、社会损失, 以及由于处理故障投入的成本。因此, 本文首先对配电网合环运行的故障成本进行研究, 然后再综合其它各种成本, 对配电网合环运行的经济性进行全面评估。

### 2 故障停电损失

#### 2.1 馈线可用度

在电力企业停电损失的计算中, 本文首先建立

配电网的合环运行的简化模型, 接着在设备可用度的基础上计算出各条等效馈线的不可用度及停电时间期望值, 最后计算得到该合环运行线路故障引起的电力企业的停电损失。其中, 配电网的合环运行的标准模型如图 2 所示。

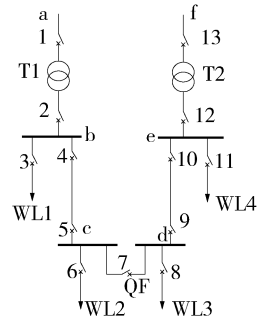


图 2 配电网合环运行的简化模型

Fig. 2 Simplified Model of Closed Loop Operation of Distribution Network

在图 2 所示的简化模型中, 合环点两侧的负荷分别被等效为 WL1、WL2、WL3、WL4 四个负荷。变压器低压侧与合环点之间的多段线路被等效为一段。隔离开关、断路器也相应地按一段来进行等效。通过这种方式, 可以使一个复杂的合环运行线路变得更为简单、清晰, 后续的配电网合环运行的停电损失计算也较为方便。

配电网合环运行等效前后应具有相同的可用度。等效前元件  $i$  的可用度  $A_i$  可通过下式进行计算:

$$A_i = \frac{T_{i,U}}{T_{i,S}} = \frac{T_{i,U}}{T_{i,U} + T_{i,D}} \quad (1)$$

式中:  $T_{i,U}$  为元件  $i$  的平均无故障工作时间;  $T_{i,D}$  为馈线  $i$  的平均修复时间。

上式中  $T_{i,U}$  可通过式(2)计算得到, 即

$$T_{i,U} = \int_0^{\infty} tf(t) dt \quad (2)$$

式中:  $f(t)$  为故障密度函数。当  $f(t) = Xe^{-Xt}$  呈指数分布, 且故障率  $X(t) = X$  为常数时有

$$T_{i,U} = \int_0^{\infty} tXe^{-Xt} dt = \frac{1}{X} \quad (3)$$

同理, 当修复率  $Y$  为常数时, 修复时间  $T_{i,D}$  服从指数分布, 有:

$$T_{i,D} = \int_0^{\infty} tYe^{-Yt} dt = \frac{1}{Y} \quad (4)$$

在得到变压器低压侧至合环点之间的各个元件

的可用度之后,便可进一步计算它们等效之后的可用度。在图2所示的等效模型中,变压器低压侧至合环点之间的各个元件具有串联关系。在串联系统中,各个元件的可用度与它们的综合可用度的关系为:

$$A' = \prod_{i=1}^n A_i \quad (5)$$

式中:  $A'$  为串联系统的综合可用度;  $n$  为串联元件的个数。

假定等效前合环点  $k(k=1, 2)$  侧具有段  $X$  段线路,各段线路均采用纵差保护,则其变压器低压侧至合环点之间的等效可用度为:

$$A'_k = A_L^X A_S^{4X} A_F^{2X} \quad (6)$$

式中:  $A'_k$  为合环点  $k$  侧的变压器低压侧至合环点之间的等效可用度;  $A_L$ 、 $A_S$ 、 $A_F$  分别为各段线路的可用度、隔离开关的可用度以及断路器的可用度。

进一步可以计算各条馈线的可用度。对于节点  $j$ ,假定其左右两侧的元件(或等效元件)的个数为  $K_1$ 、 $K_2$ ,则其可用度为:

$$A_j = A_L A_S A_F \left( \sum_{i=1}^{K_1} A_{1,i} + \sum_{i=1}^{K_2} A_{2,i} \right) \quad (7)$$

式中:  $A_j$  为节点  $j$  的等效馈线的可用度;  $A_{1,i}$  为节点  $j$  左侧第  $i$  个元件的可用度;  $A_{2,i}$  为节点  $j$  右侧第  $i$  个元件的可用度。

## 2.2 故障停电成本

在得到节点  $j$  的等效馈线的可用度的基础上,进一步计算其停电时间期望值为:

$$T_j = 8760 \times (1 - A_j) \quad (8)$$

式中:  $T_j$  为节点  $j$  的等效馈线的停电时间期望值。

假定每售一度电,电网的售电利润为  $p$  元,则电网由于停电产生的成本为:

$$C'_F = \sum_{j=1}^{K_3} P_j T_j p \quad (9)$$

式中:  $C'_F$  为电网的停电成本;  $P_j$  为节点  $j$  的等效馈线的功率;  $K_3$  为等效馈线的数量,一般假定为4。

为了计算故障停电产生的社会成本,可先计算单位电量的GDP贡献量。假定某区域在一定时间内的社会用电量为  $W$ ,GDP为  $Q$ ,则每度量的GDP贡献量  $G$  为:

$$G = \frac{Q}{W} \quad (10)$$

在此基础上,可进一步得到故障停电产生的社会成本为:

$$C''_F = \sum_{j=1}^N P_j T_j G \quad (11)$$

式中:  $C''_F$  为故障停电产生的社会成本。

## 2.3 故障处置成本

故障处置成本由配电设备故障处置成本  $C_{W,1}$  和资产报废处置成本  $C_{W,2}$  组成。即:

$$C_W = C_{W,1} + C_{W,2} \quad (12)$$

配电设备故障处置成本又分为可修复性与不可修复性故障进行考虑。对于可修复性配电设备的故障处置成本,可通过下式计算:

$$C_{W,1} = \sum_{i=1}^{K_4} D_{1,i} + D_{2,i} \quad (13)$$

式中:  $D_{1,i}$  为修复设备  $i$  时,拆除设备所用的材料、机械台班、人工成本的费用;  $D_{2,i}$  为安装调试设备  $i$  时所用的材料、机械台班、人工成本的费用;  $K_4$  为待修复的设备的数量。

对于不可修复性配电设备故障处置成本,可通过下式进行计算:

$$C_{W,2} = \sum_{i=1}^{K_5} D_{1,i} + D_{2,i} + D_{3,i} \quad (14)$$

式中:  $D_{3,i}$  为替换设备  $i$  的费用;  $K_5$  为待更换的设备的数量。

## 3 基于全寿命周期分析的配电网合环运行成本

### 3.1 初始投资成本

采用等年值法对配电网合环运行的初始投资成本进行计算。当设备正常运行且达到资产期望寿命时,有:

$$C_S = M_0 \frac{r(1+r)^\kappa}{(1+r)^\kappa - 1} + \sum_{n=1}^{\tau} M_n \frac{r(1+r)^{\kappa-\eta_n}}{(1+r)^\kappa - 1} \quad (15)$$

式中:  $C_S$  为设备的初始投资成本的年值;  $M_0$  为设备一次性初始投资;  $r$  为社会折现率;  $\kappa$  表示设备期望运行的年限;  $\tau$  表示技改的次数;  $\eta_n$  表示第  $n$  次技改的年份;  $M_n$  表示第  $n$  次技改的费用。

当未超过资产期望寿命而报废时,有:

$$C_S = M_0 \frac{r(1+r)^{\kappa'}}{(1+r)^{\kappa'} - 1} + \sum_{n=1}^{\tau} M_n \frac{r(1+r)^{\kappa'-\eta_n}}{(1+r)^{\kappa'} - 1} \quad (16)$$

式中:  $\kappa'$  为设备实际运行年限。

### 3.2 运维检修成本

配电网合环运行的运维成本是指对设备进行修复、维护、修理等, 使设备长期处于稳定、高效的状态而投入的成本。本文采用历史统计值对运维检修成本进行计算, 具体为:

$$C_J = \sum_{m=1}^{K_0} f_m L_m \quad (17)$$

式中:  $K_0$  为运维检修项目的数量;  $f_m$  为第  $m$  类项目检修的次数;  $L_m$  为第  $m$  类设备每次运维检修的综合费用, 主要包括检修所用的车辆、材料、人工成本。

### 3.3 报废成本

资产设备报废处置成本  $C_B$  由报废资产处置成本与收入构成。其计算公式如下:

$$C_B = C_{B,1} - C_{B,2} \quad (18)$$

式中:  $C_{B,1}$  为资产报废处置成本;  $C_{B,2}$  为报废资产处置收入。

为了计算的方便,  $C_{B,2}$  直接采用现值计算, 即:

$$C_{B,2} = b \times M_0 \quad (19)$$

式中:  $b$  为馈线组成设备的残值的折算系数, 一般可按经验值取 2%。

## 4 算例分析

### 4.1 算例参数

以南沙配电网为例, 对四个典型的配电网合环线路进行计算。其中, 各个合环线路的接线如图 3~图 6 所示, 各类设备的造价如表 1 所示, 各分支线的负荷功率如表 2 所示。

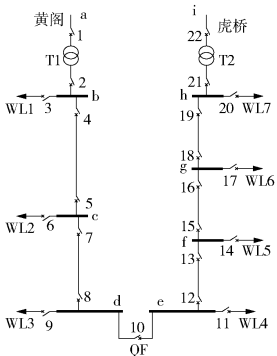


图 3 黄阁线-虎桥线  
Fig. 3 Huangge Line-Huqiao Line

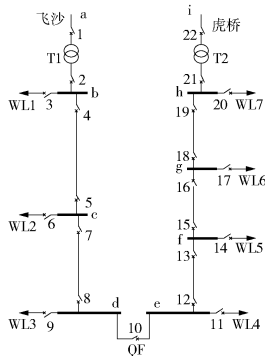


图 4 飞沙线-虎桥线  
Fig. 4 Feisha Line-Huqiao Line

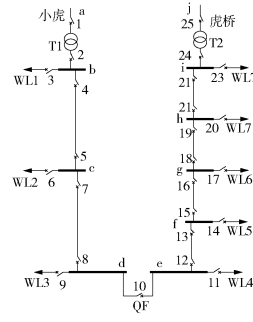


图 5 小虎线-黄阁线  
Fig. 5 Xiaohu Line-Huangge line

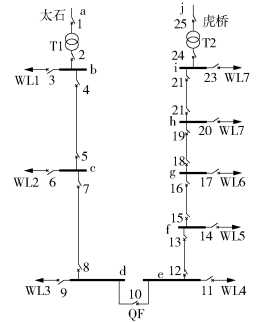


图 6 太石线-立信线  
Fig. 6 Taishi Li Lixin L

表 1 设备造价

Table 1 Prices of Components

设备名称	参数及价格
主馈线	YJV22-8.7/15-3*120, 21.8 万元/km, R=0.181 Ω/km, X=0.095 Ω/km
分支线	ZA-YJ-10 kV-3*50 mm <sup>2</sup> , 12 万元/km, R=0.435 Ω/km, X=0.107 Ω/km
电缆	10 kV, 300 mm <sup>2</sup> , 90 万/km
变压器	S9-1 250/10 kV, 8.78 万元/台
断路器	ZW32-12/630-20, 0.5 万元/台
隔离开关	GN19-10/630 A, 0.092 万元/台
熔断器	0.045 万元/台
继电保护装置	28 万/套

表 2 各分支线的负荷功率

Table 2 Loads of Branch Lines

分支线	MW			
	黄阁-虎桥	飞沙-虎桥	太石-立信	小虎-黄阁
1	9.74	6.40	1.60	3.17
2	8.81	7.24	2.40	4.03
3	9.28	11.54	4.01	2.40
4	1.74	0.79	1.00	4.80
5	1.45	1.31	1.50	1.44
6	1.16	1.31	2.00	1.15
7	1.45	1.84	2.50	0.67
8	-	-	1.00	1.54

### 4.2 故障停电损失计算方法校验

为了测试本文所提的合环运行停电成本简化计算模型的有效性, 分别利用本文所提的方法以及基于实际网络的计算方法计算上述四个典型合环线路的停电损失的年值, 结果如表 3 与表 4 所示。

表3 基于简化模型的停电损失

Table 3 Power Loss Cost Based on the Simplified Model

分支线	元			
	黄阁-虎桥	飞沙-虎桥	太石-立信	小虎-黄阁
1	36874.34	34285.10	17541.34	18597.84
2	45098.36	41931.65	22359.77	23706.49
3	9522.14	8853.52	22916.55	24296.82
4	7682.15	7142.73	17541.34	18597.84
总和	99176.99	92213.00	80359.00	85198.99

表4 基于实际网络的停电损失

Table 4 Power Loss Cost Based on the Actual Network

分支线	元			
	黄阁-虎桥	飞沙-虎桥	太石-立信	小虎-黄阁
1	25 677.43	16 880.47	4 343.96	8 592.39
2	26 684.46	21 931.91	7 653.01	12 844.15
3	30 114.15	37 484.85	13 962.89	8 369.34
4	5 724.66	2 591.21	3 579.83	17 165.89
5	4 705.34	4 259.64	28 876.08	27 693.24
6	3 511.11	3 973.17	6 981.46	4 017.28
7	3 821.05	4 842.76	7 971.89	2 140.70
8	-	-	2 714.97	4 166.01
总和	100 238.20	91 964.01	76 084.10	84 989.00

从表3与表4可以看出,基于简化模型计算得到的停电损失与基于实际网络计算得到的停电损失较为接近,最大误差可以控制在6%以内,这说明本文所提的方法具有较高的精度。同时,本文所提的方法不受分支数量的限制,计算简单,操作方便,易于应用。

#### 4.3 合环与开环运行的全寿命周期成本

对于上述的四个典型线路,分别按采用合环运行方案及开环运行方案,并计算这两种方案的全寿命周期成本,并按等年值法进行折算,从而形成对其经济性的全面评估,结果如表5与表6所示。

表5 合环运行的全寿命周期成本

Table 5 Life Cycle Cost of Closed Loop Operation

项目	万元			
	黄阁-虎桥	飞沙-虎桥	太石-立信	小虎-黄阁
一次投资	83.7597	83.7597	85.3594	85.3594
报废成本	30.47	31.67	27.17	27.89
运维成本	18.73	18.73	18.71	18.71
停电损失	9.9177	9.2213	8.0359	8.5199
总成本	142.88	143.38	139.28	140.48

表6 开环运行的全寿命周期成本

Table 6 Life Cycle Cost of Open Loop Operation 万元

项目	黄阁-虎桥	飞沙-虎桥	太石-立信	小虎-黄阁
一次投资	82.3917	82.3917	83.9914	83.9914
报废成本	30.47	31.67	27.17	27.89
运维成本	18.66	18.66	18.64	18.64
停电损失	32.7828	32.7828	26.9155	28.6317
总成本	164.30	165.50	156.72	159.15

由上述两表格可得,开环运行方案的一次性投资及运维检修成本比合环运行方案略低,但由于合环运行方案的停电损失远小于开环运行,合环运行方案的总成本比开环运行方案小。因此,合环运行方案更有更好的经济性。

## 5 结论

本文系统地研究了配电网合环运行经济性评估的全寿命周期分析方法并应用于南沙配电网,主要得出以下结论:

1) 本文提出的配电网合环运行停电成本的计算方法具有较高的精度,且不受分支数量的限制,操作简单,便于应用。

2) 配电网在合环运行模式下的全寿命周期成本比开环运行模式下的,因而具有更好的经济性。

3) 将所提的方法在南沙配电网进行实际应用,能为南沙配电网的合环运行提供决策依据。

#### 参考文献:

- [1] 郭基伟,谢敬东,唐国庆. 电力设备管理中的寿命周期费用分析[J]. 高电压技术, 2003, 29(4): 13-15.  
GUO Jiwei, XIE Jindong, TANG Guoqing. Life Cycle Cost Analysis in Electrical Equipment Management [J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(4): 13-15.
- [2] 杨志栋,刘一,张建华,等. 北京10 kV配网合环试验与分析[J]. 中国电力, 2006, 39(3): 66-69.  
YANG Zhidong, LIU Yi, ZHANG Jianhua, et al. Loop Closing Examination and Analysis on Beijing 10 kV Distribution Network [J]. Electric Power, 2006, 39(3): 66-69.
- [3] 卢志刚,韩彦玲,朱连波,等. 考虑负荷变化的多运行数据配电网经济性评价[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(2): 109-114.  
LU Zhigang, HAN Yanling, ZHU Lianbo, et al. Conomic Evaluation of the Multi-group Operation Data Distribution System Based on the Load Change [J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2009, 21(2): 109-114.

(上接第161页 Continued from Page 161)

### 3 结论

基于新一轮电力体制改革,分析电网新盈利模式下现有可研经济评价方法的优缺点,针对深圳不同的主网项目类型,探索了适应新盈利模式下的主网经济评价指标及方法。采用整体评价和个体评价相结合的思路,分析了宏观层面项目投资对输配电价的影响以及个体层面项目的经济效益的评价方法。通过详细研究单一项目合理的收益分摊,率先改变传统电量加价的可研经济评价模式,算例证明此方法具有较好的可行性。新盈利模式下电网项目

的可研经济评价是一个新的课题,应在不断实践中完善经济评价方法,以提高电网建设项目的经济效益,为投资决策提供依据。

#### 参考文献:

- [1] 黄保军,史京楠. 电网建设项目经济评价方法研究 [J]. 电力建设, 2003(2): 45-48.
- [2] 刘斌. 浅谈电力体制改革对电网企业的影响 [J]. 中国电力(技术版), 2014(11): 160-163.
- [3] 陈晓霞,刘纳兵. 电网建设项目的经济评价方法 [J]. 珠江现代建设, 2007(6): 27-29.

(责任编辑 黄肇和)

(下接第 166 页 Continued from Page 166)

- [4] 卢志刚,韩彦玲,常磊. 基于组合权重的配电网运行经济性评价 [J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(18): 1-6.  
LU Zhigang, HAN Yanling, CHANG Lei. The Economic Evaluation of the Distribution System Operation Based on The Combination Weighing [J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(18): 1-6.
- [5] 姜益民,马骏. 变压器的全寿命周期成本分析 [J]. 上海电力, 2004(3): 188-191.  
JIANG Yimin, MA Jun. Analysis of Life Cycle Cost of Transformer [J]. Shanghai Electric Power, 2004(3): 188-191.
- [6] 史京楠,韩红丽,徐涛. 全寿命周期成本分析在变电工程规划设计的应用 [J]. 电网技术, 2009, 33(9): 63-66.  
SHI Jingnan, HAN Hongli, XU Tao. Application of Life Cycle Costs Analysis In Planning Design of Power Transformation Projects [J]. Power System Technology, 2009, 33(9): 63-66.
- [7] 殷可,郁东升. 全寿命周期成本(LCC)在变电站主设备招标采购中的研究与实践 [J]. 华东电力, 2009, 37(3): 36-39.  
YIN Ke, Yu Dongsheng. Application of Life Cycle Cost to Bid-invitation and Purchase of Main Substation Equipment [J]. East

China Electric Power, 2009, 37(3): 36-39.

- [8] 姜文瑾,陈涛华,施广宇. 基于全寿命周期成本的变电站主变压器选择 [J]. 电工与电力, 2009, 29(1): 21-23.  
JIANG Wenjin, CHEN Taohua, SHI Guangyu. Choice for Main Transformers of Substations Based on Life Cycle Costs [J]. Electric Power and Electrical Engineering, 2009, 29(1): 21-23.
- [9] 柳璐,王和杰,程浩忠,等. 基于全寿命周期成本的电力系统经济性评估方法 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36(15): 45-50.  
LIU Lu, WANG Hejie, CHENG Haozhong, et al. Economic Evaluation of Power Systems Based on Life Cycle Cost [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(15): 45-50.
- [10] 康丽,廖庆龙. 计及可靠性的配电网全寿命周期成本模型 [J]. 水电能源科学, 2012, 30(6): 183-187.
- [11] 王颖. 基于全寿命周期成本的配电网规划方案评估 [J]. 农业科技与装备, 2013, 8(230): 52-53.

(责任编辑 黄肇和)

(下接第 176 页 Continued from Page 176)

- [5] 陆安定. 发电厂变电所及电力系统的无功功率 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [6] 胡浩,李晓锋. 无功合理补偿的容量计算与经济补偿方法 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2009, 30(5): 17-21.  
HU Hao, LI Xiaofeng. Capacity Calculation of Reasonable Reactive Power Compensation and the Economic Compensation Methods [J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2009, 30(5): 17-21.
- [7] 尹克宁. 变压器设计原理 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [8] 王兆生. 电容器谐振过电压保护装置开发 [D]. 济南: 济南大学, 2013.

- [9] 陈玉和,王宏斌. 变电站并联电容器电抗率混装方案及其校验 [J]. 电工电气, 2013(2): 40-43.  
CHEN Yuhe, WANG Hongbin. Conventional Scheme and Its Calibration of Substation Parallel Capacitor Reactance Rate [J]. Electrotechnics Electric, 2013(2): 40-43.
- [10] 柯建兴,陈乔夫,李达义,等. 电容器补偿无功时的谐波问题研究 [J]. 电工技术杂志, 2002, 30(7): 20-23.  
KE Zhenxing, CHEN Qiaofu, LI Dayi, et al. Research of Harmonic Problem on Capacitor Used for Reactive Power Compensation [J]. Electrotechnical Journal, 2002, 30(7): 20-23.

(责任编辑 高春萌)