

基于全生命周期费用（LCC）的配电装置改造的研究

尹来宾¹, 范春菊¹, 崔新奇², 邵能灵¹

(1. 上海交通大学电气工程系, 上海 200240; 2. 上海市电力公司超高压输变电公司, 上海 200063)

摘要: 对于如何将全生命周期费用 (Life Cycle Cost, LCC) 管理应用于配电装置改造方案的评价, 缺乏系统的理论研究。结合配电装置改造的实际情况, 以生命周期费用理论为基础, 对配电装置运行的全过程费用进行拆分, 提出了配电装置的全生命周期费用模型, 并结合变电站改造的实际算例, 研究了该模型在配电装置更新改造的决策分析中的应用。通过对两种方案的比较分析, 得出了变电站配电装置改造的经济性方案, 并进一步应用费用-效益分析法对配电装置的全生命周期费用进行评价。

关键词: 全生命周期费用 (LCC); 变电站改造; 配电装置; 经济性; 费用-效益分析法

Study of switchgear modification based on LCC

YIN Lai-bin¹, FAN Chun-ju¹, CUI Xin-qi², TAI Neng-ling¹

(1. Electrical Engineering Department, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2. EHV Transmission and Transformation Company, Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200063, China)

Abstract: It lacks of theoretical study about how to apply life cycle cost(LCC) management to the assessment of the modification scheme of switchgear. Based on the practical condition of the distribution devices and the LCC theory, the whole cost in switchgear's operation is decomposed and the LCC model suitable for distribution devices is proposed. The application of LCC in modification of distribution devices is illustrated by several numerical examples. By comparing and analyzing two schemes in switchgear's modification, the economical scheme is obtained. Furtherly, the application of cost-benefit analysis method is used to appraise LCC of switchgear.

Key words: life cycle cost (LCC); modification of substation; switchgear; economical; cost-benefit analysis method

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)06-0061-05

0 引言

配电装置包括控制电器 (断路器、隔离开关、负荷开关等), 保护电器 (熔断器、继电器及避雷器等)、测量电器 (电流互感器、电压互感器、电流表、电压表) 以及载流导体 (母线); 用来接受和分配电能, 是完成电能传输必需的电气设备。配电装置的经济性选择, 对变电站的投资与运行有重要影响, 因此, 在变电站的改造中应用先进的成本管理方法实现对配电装置的经济性选择具有重要意义。

配电装置的全生命周期成本分析的优点主要体现在三个方面: (1) 有助于决策者客观地对所选设备进行评估, 并以全寿命成本而不是最初的购置成本作为标准进行经济性选择; (2) 有助于找出控制成本, 提高资金利用率的方法; (3) 有助于对配电装置的新建和改造等方面的不同方案进行经济性评

估。本文通过对配电装置的运行和维护费用的具体分析, 根据 IEC60300-3-3 标准, 提出了变电站改造中的配电装置的全生命周期费用模型, 并通过实例分析, 进一步应用费用-效益分析法对不同方案进行费用效率分析, 实现了配电装置改造方案的经济性选择。

1 全生命周期成本分析原理介绍

根据 IEC60300-3-3 (国际电工委员会制定的全生命周期成本计算的标准) 的规定^[1], 设备的生命周期可以分为产品的设计与开发、制造、安装、运行、维护以及废弃, 因此, 设备的全生命周期成本可以定义为上述各阶段相关成本的总和。设备全生命周期成本 LCC 是指整个生命周期内所消耗的总成本, 包括购置成本 (Acquisition Cost), 拥有成本 (Ownership Cost) 和废弃成本 (Disposal Cost):

$$LCC = C_{aq} + C_{ow} + C_{di} \quad (1)$$

其中： LCC 是全寿命周期成本； C_{aq} 是设备的购置成本； C_{ow} 是设备的拥有成本（运行和维护成本）； C_{di} 是设备的废弃成本，包括报废成本和残值。

典型的全寿命周期成本及其组成见图 1 所示。

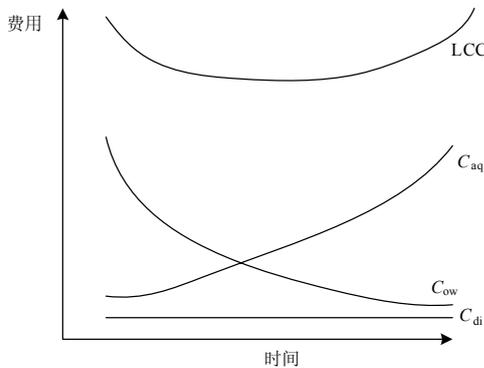


图 1 典型全寿命周期成本的组成

Fig.1 Typical composition of life cycle cost

由图 1 可知设备的寿命周期成本中，购置成本所占的比例随时间下降，拥有成本所占的比例随时间上升，而且在很多情况下，购买设备的成本低于全寿命周期的拥有成本，通常设备的废弃成本很小（但是变压器的废弃成本较大），因此在考虑设备的投资时，应该考虑设备的整个寿命周期的费用，而不是只考虑其初始价格。

在进行合理的长期财政计划时，全寿命周期成本概况是非常关键的信息。要实现全寿命周期成本概况的准确估计，必须要考虑通货膨胀率、利息率、汇率和税率的影响。在评估阶段，灵敏性分析可以确定成本因素对 LCC 的影响程度，从而提出进一步的优化方案，同时应用数据的不确定性也应适当加以考虑^[2-7]。

2 配电装置 LCC 模型的建立

根据 IEC60300-3-3 标准，对配电装置 LCC 模型的主要构成要素进行具体的分析，建立配电装置的 LCC 模型，并给出计算的表达式。

配电装置的全寿命周期成本模型可定义为三大成本之和，即 IEC 标准中的一次投资成本、运行维护成本以及处置成本。

配电装置的 LCC 模型可定义如式 (2) 所示：

$$LCC_{\text{配电装置}} = C_{iv} + C_{omc} + C_{dc} \quad (2)$$

其中： C_{iv} (investment costs) 指配电装置的一次投资成本，包括配电装置改造工程所需土地的购置或出售，相关的土建成本，试验成本，以及配电装置涉及的设备及其维修设备的购置成本、员工培训费

用和数据记录成本； C_{omc} (operation and maintenance costs) 指配电装置的运行维护成本，包括配电装置涉及设备的安装成本、故障损失成本、故障前的检修成本和故障后的维修成本、人工费用等； C_{dc} (disposal cost) 指配电装置的处置成本，包括配电装置涉及设备的报废成本及残值。

2.1 配电装置的一次投资成本 (investment costs)

配电装置的一次投资成本可定义如式(3)所示：

$$C_{iv} = C_{pc} + C_{lc} + C_{cw} + C_{td} \quad (3)$$

式中， C_{pc} (purchase cost) 指配电装置涉及的一次设备和电缆等的购置成本； C_{lc} (land cost) 指配电装置改造所需土地的购买或出售成本，计算分析时，土地购买成本取正值，土地出售成本取负值； C_{cw} (civil work cost) 指改造工程的土建成本； C_{td} (training and documenting cost) 指员工的培训成本和数据记录成本。

2.2 配电装置的运行与维护成本 (operation and maintenance costs)

配电装置的运行维护成本可定义如式(4)所示：

$$C_{omc} = C_{exc} + C_{inc} + C_{prc} + C_{cc} + C_{fc} + C_{moc} \quad (4)$$

式中： C_{exc} (experimentation cost) 指配电装置涉及设备的相关试验成本，配电装置中的有些设备在投入运行前应进行一些必要的试验，以完成设备技术标准的测试，如 GIS 设备在安装过程中的检测试验项目应包括绝缘电阻测试、主回路电阻测量、断路器分合闸机械特性测试、压力开关动作试验、SF6 气体含水量测量、CT 试验、VT 试验、LA 试验、开关操作连锁功能试验、SF6 气体泄露试验、断路器防跳试验、控制回路操作试验、主回路交流耐压试验等^[8]； C_{inc} (installation cost) 指配电装置设备的安装成本，包括设备安装时的运输、人工和调试的总费用； C_{prc} (preventive cost) 指故障前的检修成本，主要是指有计划的定期检修成本，设备的维护应制定相关的检修计划，以保持配电装置整体的品质，延长设备的运行寿命，对于敞开式配电装置每年的维护、检修成本按配电装置设备购置成本的 1.5% 考虑，而 GIS 装置的检修一般为 15 年一次，但费用较大； C_{cc} (corrective cost) 指故障后的维修成本，配电装置发生故障时，排除故障所需的检测成本、设备使用成本、人工成本等相关费用； C_{fc} (failure cost) 指配电装置的故障损失成本，在规定的寿命周期内，因发生故障而停运以及效率下降所造成的损失； C_{moc} (man and other cost) 指人工费及其他成本，在配电装置的寿命周期内，负责运行或管理人员的工资，以及与配电装置运行维护有关

的,不包括在上述费用的一切费用。

2.3 配电装置设备的处置成本(disposal cost)

配电装置设备的处置成本主要包括报废成本 C_{sc} (scrap cost) 和设备的残值 C_{sv} (scrap value)。报废成本是指设备退役后的拆除和运输费用;残值是指设备报废后的可回收费用,计算时取负值。由于配电装置涉及的金属设备较多,因此其残值可按配电装置设备费用的 5%~10%考虑。处置成本的计算可定义如式(5)所示:

$$C_{dc} = C_{sc} + C_{sv} \quad (5)$$

3 LCC 模型在变电站配电装置改造中的应用分析

随着上海地区新电源的大量投入,上海地区变电站短路电流持续增长,以至部分变电站存在短路电流超标的问题,一些断路器、保护电器等配电装置设备已经不能满足分断快速增长的短路电流的需要。另外,随着科学技术的发展,变电站的二次设备也一直在改进之中,变电站的综合自动化技术要求继电保护、测量仪表等配电装置做调整以提高继电保护动作的可靠性。因此,为了消除电网的运行瓶颈,保证电网的安全运行和供电的可靠性,实施高压配电装置改造,提高开关的遮断容量十分必要。

城区变电站的高压配电装置改造也应符合经济性的要求。随着经济和城市建设的发展,城区土地十分宝贵,地价越来越昂贵。城区变电站必须符合城市的形象及环保等要求,并追求综合经济、社会效益。有关资料表明,采用 GIS 的配电装置和敞开式配电装置相比可节省占地面积 80%以上。即使同样敞开式配电装置,由于简化接线也会减少变电站的占地面积。因此,对城区老式变电站的高压配电装置改造,能有效减少变电站的占地面积,具有很好的经济性。此外,一些老站的 GIS 设备由于运行了较长时间,存在一些问题,如闸刀接触器老化等,但并不影响设备的正常使用。根据电网发展规划,一些老站的三相短路电流将超过现有配电装置的遮断容量。因此, GIS 在发展规划上存在着更新或改造扩容的要求。而且,在 GIS 的本身状态上也需要对设备状态进行评估,从而做出相应改进措施。

利用配电装置 LCC 模型可以实现配电装置更新和改造成本的量化,有助于对各种方案进行有效的经济性评价,从而实现改造成本较小,综合效益最大的目标。当不同方案的全寿命成本相差较小时,可以应用费用-效益分析法,找出合适的系统效益因子,对各方案的费用效率进行计算,比较选出费用效率较大的方案,实现改造的效益最大化。

通过对配电装置 LCC 模型的研究与分析,可以为其他重要电力设备的经济性改造提供经验,也可以把这种方法推广到整个变电站改造的经济性评估,实现资源的最优配置。

4 配电装置改造中 LCC 应用实例

上海地区许多超高压变电站建成于 20 世纪 80 年代,运行至今已有近三十多年。许多老站站户外型配电装置高型构架已接近设计使用年限,已严重威胁到电网的安全运行,必须尽快实施对其原有高压配电装置的改造工作。

可以利用配电装置 LCC 模型,对上海地区某 500 kV 变电站的 220 kV 配电装置的改造进行 LCC 相关研究。该变电站已运行 20 余年,220 kV 配电装置采用户外敞开式,仓位为 12,占地面积约为 $150 \times 60 \text{ m}^2$,其最大遮断电流为 30 kA,设备老化较为严重。而且随着上海地区大量新机组的投产和负荷持续增长,该变电站 220 kV 母线短路电流进一步升高,2010 年将达到 45 kA。配电装置的遮断容量已不能满足要求,迫切需要改造更新,以保证供电安全^[4-11]。

4.1 改造方案说明

方案一:利用原有场地,对 220 kV 配电装置进行翻新改造,新建架构,更新断路器等设备,保持原有仓位数 12 不变,根据《上海电网若干技术原则的规定》中的有关要求,改造工程中 220 kV 电气设备承受短路电流的能力均按 220 kV 侧 50 kA 极限值校验;

方案二:采用 220 kV GIS 配电装置,设备承受短路电流的能力按 220 kV 侧 50 kA 极限值校验,仓位为 12,并预留备用间隔,占地面积约为 $40 \times 25 \text{ m}^2$,能够腾出场地,为将来发展做土地预留。

4.2 配电装置的土地成本 C_{lc}

假设上海地区土地价格为 500 元 / m^2 ,方案一无土地的征用或节省,故土地成本 $C_{lc1} = 0$;方案二的土地成本为:

$$C_{lc2} = (40 \times 25 - 150 \times 60) \times 500 = -400 \text{ 万元}$$

4.3 配电装置设备处置成本 C_{dc}

为便于计算比较,敞开式与 GIS 配电装置的报废成本均取 $C_{sc} = 10$ 万元,敞开式配电装置的残值按设备购置成本的 5% 计算, GIS 装置的残值按设备购置成本的 10% 计算,将数据代入式(5),各方案的处置成本分别为:

$$C_{dc1} = C_{sc1} + C_{sv1} = 10 - 5\% \times 1000 = -40 \text{ 万元}$$

$$C_{dc2} = C_{sc2} + C_{sv2} = 10 - 10\% \times 2400 = -230 \text{ 万元}$$

4.4 配电装置故障成本 C_{fc}

在本文的分析中，将故障成本计入运行与维护成本中，对于不同的方案，故障成本分析如下：

方案一：户外敞开式配电装置故障成本的计算可采用以往运行经验数据进行分析，具体数据如表 1 所示。

表 1 220 kV 敞开式配电装置的可靠性指标

Tab.1 Reliability index of 220 kV open-type distribution device

次/百仓·a

配电装置类型	强迫停运率	计划停运率	非计划停运率
户外敞开配电装置	2.428	0.309	0.008

假设每次配电装置故障时，均能在 24 h 内排除，由表 1 的运行数据可以求出

(1) 每仓的年强迫运行时间为

$$T_1 = 2.428/100 \times 24 = 0.583 \text{ h};$$

(2) 每仓年非计划停电时间为

$$T_2 = 0.008/100 \times 24 = 0.0019 \text{ h}$$

(3) 每仓的年故障停运时间为

$$T = T_1 + T_2 = 0.583 + 0.0019 = 0.5849 \text{ h}$$

(4) 30 年断电损失成本

每小时停电损失功率以同电压等级变电站非计划停电统计损失数量 15 万 kW，每度电利润损失以 0.14 元计。则配电装置的故障成本为：

$$C_{fc1} = 0.5849 \times 15 \times 0.14 \times 12 \times 30 = 442.2 \text{ 万元}$$

方案二：GIS 配电装置故障率（次/年）与配电装置运行年限的统计函数关系为：

$$y = 0.0046x^2 - 0.0659x + 0.7171$$

则 GIS 配电装置 30 年全寿命年限每年每间隔的平均故障次数为：

$$\frac{1}{30} \int_0^{30} 0.0046x^2 - 0.0659x + 0.7171 dx = 0.0111 \text{ 次}$$

假设每次配电装置故障时，均能在 24 h 内排除，每小时停电损失功率以同电压等级变电站非计划停电统计损失数量 15 万 kW，每度电利润损失以 0.14 元计。则配电装置的故障成本为：

$$C_{fc2} = 0.0111 \times 24 \times 15 \times 0.14 \times 12 \times 30 = 201.4 \text{ 万元}$$

4.5 总成本计算

其他 LCC 相关成本，根据运行经验，列出配电装置费用表，如表 2 所示。

表 2 配电装置不同方案下 LCC 的相关费用

Tab.2 Related costs of distribution device's LCC in different schemes

万元

成本选项	C_{iv}				C_{omc}						C_{dc}	
	C_{pc}	C_{lc}	C_{cw}	C_{td}	C_{exc}	C_{inc}	C_{pre}	C_{cc}	C_{fc}	C_{moc}	C_{sc}	C_{sv}
方案一	1 400	0	300	50	50	150	450	30	442.2	240	10	-50
方案二	2 400	-0.8x	600	50	24	300	60	20	201.4	60	10	-240

4.6 两种方案 LCC 的比较

为了便于两方案的比较，只计算配电装置未来 20 年的寿命周期费用，根据公式 (2)、(3)、(4)、(5)，代入数据计算，LCC 计算结果如表 3 所示。

表 3 配电装置 LCC 计算结果

Tab.3 Calculation of distribution device's LCC

万元

	C_{iv}	C_{omc}	C_{dc}	LCC
方案一	1 750	1 362.2	-40	3 072.2
方案二	2 650	665.4	-230	3 085.4

从表 3 的计算结果可知，采用 GIS 装置要比户外敞开式配电装置在原有基础上改造的一次投资成本多 900 万元左右，但以配电装置运行寿命 30 年的总成本比较，采用 GIS 装置的方案与更新改造敞开式配电装置设备的方案的 LCC 相差不多。而且采

用 GIS 装置，技术成熟，安全可靠，不仅能够节省大量用地，以便于变电站的扩建，而且能够有效地提高供电的可靠性和设备的可维护性，故可考虑优先选择方案二。

5 应用费用-效益分析法进行 LCC 评估

费用-效益分析法在方案的 LCC 比较时，不仅考虑一次投资成本，还要研究费用的效率，这与传统的收益率分析不同，传统的投资收益率 R 式和费用效率 CE 式的计算式分别为：

$$CE = SE/LCC \quad (6)$$

$$R = (S - C)/C_{iv} \quad (7)$$

式中：CE 为费用效率；SE 为系统效益；LCC 为寿命周期费用； R 为收益率； S 为销售额； C 为成本； C_{iv} 为一次投资成本^[7]。

变电站 LCC 管理的目标应是在满足可用率、可靠性要求下,使变电站全寿命周期成本最小。要进行变电站的费用-效益分析,就要选择 CE 中最重要因子,即系统的可靠性。采用平均故障间隔时间 MTBF 来表示可靠性的大小时,则有:

$$CE = MTBF/LCC \quad (8)$$

式中, MTBF 表示系统的平均故障间隔时间。

方案一的费用效率计算:

(1) 配电装置的年平均故障率

$$\lambda_1 = 12 \times (2.428 + 0.008) / 100 = 0.292 \text{ 次/年}$$

(2) 配电装置的平均故障间隔时间

$$MTBF_1 = 1/\lambda_1 = 1/0.292 = 3.42 \text{ 年} = 29960 \text{ h}$$

则费用效率

$$CE_1 = MTBF_1/LCC_1 = 29960/3072.2 = 9.75;$$

方案二的费用效率计算:

(1) 配电装置的年平均故障率

$$\lambda_2 = 0.0111 \times 12 = 0.133 \text{ 次/年};$$

(2) 配电装置的平均故障间隔时间

$$MTBF_2 = 1/\lambda_2 = 1/0.133 = 7.52 \text{ 年} = 65875 \text{ h}$$

则费用效率

$$CE_2 = MTBF_2/LCC_2 = 65875/3085.4 = 21.35。$$

两方案的费用效率计算比较如表 4 所示。

表 4 费用效率计算结果比较

Tab.4 Comparison of cost-benefit's calculation result

	λ	MTBF	LCC	CE
方案一	0.292	29 960	3 072.2	9.75
方案二	0.133	65 875	3 085.4	21.35

由表 4 可知: $CE_1 < CE_2$, 方案二的费用效益更好,在两方案的 LCC 相差不大时,通过费用效率的比较,选择方案二进行变电站配电装置的改造能够实现经济性与可靠性的统一。

6 结论

在电力系统的改造工程中应用 LCC 分析法,不仅能够节约资金,实现效益最大化,而且节约了大量土地,减少了对土地这一日益紧张资源的征用量。本文详细介绍了配电装置的 LCC 模型,通过实例计算及费用-效益分析,实现了不同的改造方案的经济性选择。

(1) 随着上海地区新电源的大量投入,上海地区变电站短路电流持续增长,以至部分变电站存在短路电流超标的问题,一些断路器,保护电器等配电装置设备已经不能满足分断快速增长的短路电流的需要。在变电站改造中,配电装置的改造是非常

必要的。

(2) 利用 LCC 模型对配电装置的运行维护进行详细的分析,结果表明,在配电装置改造中,采用 GIS 配电装置是比较合理的,也是经济性的必然要求。

全寿命周期成本分析不仅可以应用到配电装置的更新改造,而且也可以在变电站更新改造中作为经济性分析的重要方法,是今后对变电站改造不同方案进行经济性评估的发展趋势。

参考文献

- [1] International Electro Technical Commission. Life cycle costing[S]. International Standard 60300-3-3, 2004.
- [2] Kawauchi Y, Rausand M. Life cycle cost analysis in oil and chemical process industries[EB/OL]. <http://www.ntnu.no/ross/reports/lcc.pdf>, 1999.
- [3] Jun H K, Kim J H. Life cycle cost modeling for railway vehicle[J]. IEE, 2007.
- [4] Maintenance Engineering Society of Australia. International Conference of Maintenance Societies, ICOMS[C]. 2003.
- [5] 崔新奇,尹来宾,范春菊,等. 变电站改造中变压器全生命周期费用(LCC)模型的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(7): 69-73.
CUI Xin-qi, YIN Lai-bin, FAN Chun-ju, et al. Study of LCC for power transformer in modification of transformer substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(7): 69-73.
- [6] 易永辉,王坤,王震学,等. 基于全寿命周期管理的智能变电站应用方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(13): 99-103.
YI Yong-hui, WANG Kun, WANG Zhen-xue, et al. Research of application schemes of smart substation based on whole-life cycle management[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(13): 99-103.
- [7] 张俊. 基于全寿命周期成本(LCC)的变电站建设的决策分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
ZHANG Jun. Decision-making analyses of electric substation's construction based on life cycle costs[D]. Chongqing: Chongqing University, 2007.
- [8] 梁邦彦. 喜河水电站 330 kV GIS 安装、试验及日常维护[J]. 西北水力发电, 2007, 23(3): 102-105.
LIANG Bang-yan. Installation, testing and maintenance of 330 kV GIS for the Xihe hydro power station[J]. Journal of Northwest Hydroelectric Power, 2007, 23(3): 102-105.
- [9] 周朝霖,徐迪,苏光. 500 kV 变电所内 GIS 与常规配电装置的比较[J]. 山东电力技术, 2004, 2: 42-45.
ZHOU Chao-lin, XU Di, SU Guang. The comparison between GIS and normal switch gear in 500 kV substation[J]. Shandong Electric Power, 2004, 2: 42-45.

(下转第 70 页 continued on page 70)

power load forecasting[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2002, 14(3): 8-12.

[4] 石恒初, 严正, 黄涛, 等. 基于小波分析的短期电力负荷组合预测方法[J]. 继电器, 2007, 35(17): 22-26.
SHI Heng-chu, YAN Zheng, HUANG Tao, et al. A method of combination forecast for short-term power load based on wavelet analysis[J]. Relay, 2007, 35(17) : 22-26.

[5] 顾洁. 应用小波分析进行短期负荷预测[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(2): 40-44, 65.
GU Jie. Application of wavelet analysis to short-term load forecasting of power system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2003, 15(2): 40-44, 65.

[6] 汪新秀, 吴耀武, 熊信银, 等. 基于模糊小波网络的电力系统短期负荷预测方法[J]. 继电器, 2004, 32(4): 32-36.
WANG Xin-xiu, WU Yao-wu, XIONG Xin-yin, et al. A method of power system short-term load forecasting based on fuzzy wavelet neural networks [J]. Relay, 2004, 32(4): 32-36.

[7] 叶淳铮, 常鲜戎, 顾为国, 等. 基于小波变换和支持向量机的电力系统短期负荷预测[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 41-45.
YE Chun-zheng, CHANG Xian-rong, GU Wei-guo, et al. Short-term load forecasting based on wavelet transform and support vector machines[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(14): 41-45.

[8] 张大海, 江世芳. 基于小波包分析的电力负荷预测算法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004, 16(2): 51-53, 84.
ZHANG Da-hai, JIANG Shi-fang. Power load forecasting algorithm based on wavelet packet analysis[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2004, 16(2): 51-53, 84.

[9] 任雪梅, 陈逊, 徐腊元. 基于马尔科夫链和模糊聚类的电力系统短期负荷预测[J]. 北京理工大学学报, 2004, 24(5): 416-422.
REN Xue-mei, CHEN Xun, XU La-yuan. Power system short term load forecasting based upon a combination of Markov Chain and fuzzy clustering[J]. Transaction of Beijing Institute of Technology, 2004, 24(5): 416-422.

[10] 董继征, 王桓, 何怡刚, 等. 加权马尔科夫链在负荷预测中的应用[J]. 继电器, 2006, 34(3): 32-36.
DONG Ji-zheng, WANG Huan, HE Yi-gang, et al. Application of markov chain with weights to load forecasting[J]. Relay, 2006, 34(3): 32-36.

[11] DONOHO D L. De-noising by soft-thresholding[J]. IEEE Trans on IT, 1995, 41(3): 613-627.

[12] 程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.
CHENG Zheng-xing. The algorithm for wavelet analysis and its application[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1998.

[13] Koc C K, Chen G R, Chui C K. Complexity analysis of wavelet signal decomposition and reconstruction[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 1994, 30: 910-918.

[14] David L, Donoho, Iain M. Adapting to unknown smoothness via wavelet shrinkage[J]. Journal of the American Statistical Association, 1995, 12(90): 1200-1224.

[15] 杨正瓴, 王渭巍, 曹东波, 等. 短期负荷预测的 Ensemble 混沌预测方法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(23): 34-36.
YANG Zheng-ling, WANG Wei-wei, CAO Dong-bo, et al. Ensemble chaotic forecasting method in short term load forecasting[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(23): 34-36.

收稿日期: 2010-04-06; 修回日期: 2010-08-24

作者简介:

郭奎麟 (1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析, 负荷预测等; E-mail: guokuilin@sina.com

谭伦农 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力系统分析, 电力市场等;

黄虎 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为信号处理, 模式识别等。

(上接第 65 页 continued from page 65)

[10] 马骏, 韩天祥, 姚明, 等. 泰和变电站 220 kV GIS 设备改造 LCC 计算后评估研究[J]. 华东电力, 2005, 33 (12) .
MA Jun, HAN Tian-xiang, YAO Ming, et al. Ex2-post evaluation on LCC calculation for Taihe substation 220 kV GIS retrofit[J]. East China Electric Power, 2005, 33 (12) .

[11] 李中, 陈健. 500 kV 变电所保护布置方案研究[J]. 继电器, 2002, 30(11): 51-52, 75.
LI Zhong, CHEN Jian. Study on the laying of protection

and control equipments in the 500 kV substation[J]. Relay, 2002, 30(11): 51-52, 75.

收稿日期: 2010-03-22

作者简介:

尹来宾 (1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护及综合自动化; E-mail: yinlaibin@yahoo.cn

范春菊 (1967-), 女, 副教授, 博士, 长期从事人工智能在继电保护及综合自动化中应用的研究及教学工作;

崔新奇 (1974-), 男, 高级工程师, 从事变电站的运行与管理工作。