

密切值法在电能质量综合评价中的应用

黄静^{1,2}, 马宏忠¹, 纪卉¹

(1. 河海大学电气学院, 江苏 南京 210098; 2. 荆楚理工学院电子信息分院, 湖北 荆门 448002)

摘要: 密切值法作为一种多目标的决策方法适用于多测点、多指标的评价系统。从电能质量的多种评价指标着手, 将密切值法用于电能质量的综合评价中。该方法具有原理简单、概念清晰、易于实现等特点, 同时不需要确定隶属函数等主观性参数, 使评价结果更具客观性, 实例计算结果表明该方法是有用的, 可供电力系统电能质量问题的分析、评价参考。

关键词: 密切值法; 电能质量; 综合评价

Application of intimate data method in synthetical evaluation about power quality

HUANG Jing^{1,2}, MA Hong-zhong¹, JI Hui¹

(1. College of Electric Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Jingchu Institute of Technology, Jingmen 448002, China)

Abstract: The intimate data method, which is one of multi-goal decisions-making methods, is suitable for the multi-measuring points and the multi-targets appraisal system. This paper focuses on multiple evaluation indexes of power quality and introduces intimate data method into synthetic valuation of power quality. This method, which has simple principle, clear conception and high feasibility, can make the valuation result more objective without determining the subjective parameters such as membership function. The testing results came from practical cases verifies the effectivity of this method for electricity quality analysis and assessment in power system.

Key words: intimate data method; power quality; synthetic evaluation

中图分类号: TM714 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)03-0060-04

0 引言

随着电力系统负荷结构的巨大变化, 许多新设备和装置都带有基于微处理机数字控制器和功率电子器件, 它们对电能质量异常极为敏感; 同时供电系统中许多新型用电设备的出现又会导致电力系统谐波污染和电能质量下降。电能作为一种能源商品, 必然要求做到按质定价, 优质优价。电能商品的特殊性和电能质量指标的多样性, 使电能质量指标难于统一量化和评价。这样, 建立一套全面且公正的电能质量综合评价体系来对电能质量进行科学评价是建立公平电力市场的先决条件, 也是衡量电能质量优劣和制定电价的主要依据。

目前, 电能质量的评估方法很多, 如模糊理论^[1]、模糊数学与层次分析法结合^[2]、属性识别与层次分析法^[3]、遗传投影寻踪^[4]等等, 这些方法各有特点。文献[1]给出了各项电能质量指标的模糊模型, 形成了隶属度, 根据择近原则来判断电能质量等

级, 该方法需要制定指标隶属样本级, 且没有给出各指标间的量化关系; 文献[2]是模糊方法与层次分析法相互结合进行综合评价, 先确定电能质量指标的隶属度函数及隶属度, 再建立二级评判模型, 但是由于确定某些指标权重时采用调查或专家意见, 客观性不足。文献[3]提出了属性识别和层次分析法相结合, 综合考虑了影响电能质量的各种稳态和暂态因素, 建立了电能质量综合评价的属性识别模型, 但是由于各指标权重是在 1-9 标度法得到的判断矩阵的基础上确定的, 所以最终评价的结果仍带有一定的主观性; 文献[4]利用寻踪投影法把多指标问题转化为单一投影指标问题, 据最佳投影值与对应的等级关系建立了用于电能质量综合评估的遗传投影寻踪插值模型, 但该方法在处理小样本问题时易产生模型误差; 文献[5]对文献[2]进行了改进, 通过可变的综合权重来增强对电能质量评估结果的客观性, 但是无法改变由层次分析法得到的权重本身的主观性。

密切值法是一种决策过程简明、快捷、客观,决策结果直观、优化的多目标决策的优选法,它适用于多测点、多指标的质量评价。该方法在水环境质量评价、企业经济效益综合评价中已有应用,本文尝试将密切值法用于对电能质量进行综合评价,经过实例计算验证:该方法可行。

1 电能质量评价指标

1.1 电能质量定义

由于供电部门和电力用户所站角度不同,对电能质量不能给出一个准确统一的定义。供电部门可以将电能质量定义为电压、频率的合格率及连续供电的年小时数;电力用户可以将电能质量定义为使设备运行不发生中断或扰动。如何描述供用电双方的相互作用和影响,并给出相应定义是人们一直探索的问题。文献[6]将电能质量定义为:导致用电设备故障或不能正常工作的电压、电流或频率的偏差,其内容包括频率偏差、电压偏差、电压波动与闪变、三相不平衡、暂时或瞬态过电压、电压暂降与短时中断及供电连续性等。

1.2 电能质量综合评价指标

目前我国制定并颁布了六项电能质量国家标准,涉及到电压允许偏差、电压波动与闪变、公用电网谐波、三相电压允许不平衡度、电力系统频率允许偏差、暂时过电压和瞬时过电压。从现有标准与文献[6]中给出的电能质量的定义比较看出,我国的电能质量标准体系还不完善。随着数字式自动控制技术在工业生产中的大规模应用,电压暂降问题已得到了各有关部门的广泛关注。据统计,在欧洲和美国,电力部门与用户对电压暂降的关注程度比其他电能质量问题的关注程度要强的多。电能作为一种商品对它的质量进行评价,应从技术性指标和服务性指标两方面考虑,结合相关文献选择图1所示指标为电能质量综合评价指标。

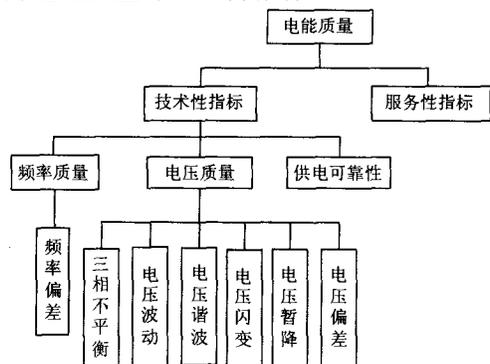


图1 电能质量综合评价指标

Fig. 1 Integrated evaluation index of power quality

2 密切值法评价模型

2.1 建立样本指标矩阵

设某一电能质量评价问题有 n 个监测点(样本) z_1, z_2, \dots, z_n , m 个监测项目(评价指标) s_1, s_2, \dots, s_m 。假设样本 $z_i (i=1, 2, \dots, n)$ 在指标 $s_j (j=1, 2, \dots, m)$ 下的取值为 c_{ij} , 连同 m 个评价指标 p 级评价标准对应的分级标准值 d_{ij} 一起构成样本指标初始矩阵 Y , 记为:

$$Y = (c_{ij})_{(n+p)m}$$

式中: $i = 1, 2, \dots, n + p; j = 1, 2, \dots, m$

2.2 样本指标矩阵规范化处理

由于参与电能质量评价的指标分为正向指标(指标值越大质量越好)和逆向指标(指标值越小质量越好),因此应对初始样本矩阵进行规范化处理,即先把逆向指标化为正向指标,再进行归一化处理,计算公式为:

$$r_{ij} = \frac{c_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^{n+p} c_{ij}^2\right)^{1/2}} \quad (1)$$

$$r_{ij} = -\frac{c_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^{n+p} c_{ij}^2\right)^{1/2}} \quad (2)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, n + p; j = 1, 2, \dots, m$

式(1)用于正向指标的计算,式(2)用于逆向指标的计算。

得到的规范化样本指标矩阵为:

$$Z = (r_{ij})_{(n+p)m}$$

式中: $i = 1, 2, \dots, n + p; j = 1, 2, \dots, m$

2.3 求各评价指标的虚拟最优点和最劣点

令:

$$\begin{aligned} r_j^+ &= \max_{1 \leq i \leq n+p} \{r_{ij}\} \\ r_j^- &= \min_{1 \leq i \leq n+p} \{r_{ij}\} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $j = 1, 2, \dots, m$

虚拟“最优点”和“最劣点”的集合分别是由各归一化指标的最大值和最小值组成,即:

虚拟最优点的集合为: $A^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_m^+)$

虚拟最劣点的集合为: $A^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_m^-)$ (4)

2.4 求各样本点的“密切值”

根据欧氏空间距离计算方法计算各样本与最优点的欧氏距离 d_i^+ 、与最劣点的欧氏距离 d_i^- , 计算公式分别为:

$$d_i^+ = \left[\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2 \right]^{1/2}$$

$$d_i^- = \left[\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2 \right]^{1/2}$$
(5)

式中: $i=1,2,\dots,n+p$; $j=1,2,\dots,m$

令 $d^+ = \min_{1 \leq i \leq n+p} \{d_i^+\}$; $d^- = \max_{1 \leq i \leq n+p} \{d_i^-\}$

则第 i 个样本点的密切值 E_i 为

$$E_i = (d_i^+ / d^+) - (d_i^- / d^-)$$
(6)

式中: $i=1,2,\dots,n+p$

2.5 实测样本点的电能质量评价

根据 E_i 的大小对各样本点及各分级限值样本点进行排序, 根据样本点和各分级样本点所处的相对位置对各样本进行分级。如果样本处于 1 级标准的前面, 则该样本的电能质量为 1 级; 如果某样本位置处于 1 级标准和 2 级标准之间, 则该样本电能质量为 2 级; 依此类推, 就可以确定各样本点的电能质量状况。

3 实例应用

3.1 电能质量等级界限及各监测点实测数据

表 1 电能质量综合评估指标等级界限

Tab.1 The boundary grade of synthetic evaluation index of power quality

等级		优 (1 级)	良 (2 级)	中 (3 级)	合格 (4 级)
电压指标	电压偏差/(%)	1.20	3.00	4.50	7.00
	电压暂降/(%)	0.90	0.80	0.50	0.10
	三相不平衡/(%)	0.50	1.00	1.50	2.00
	电压波动/(%)	0.50	1.00	1.50	2.00
	电压闪变/(%)	0.20	0.50	0.80	1.00
	总谐波畸变率/%	1.00	2.00	3.00	5.00
频率指标	频率偏差	0.05	0.10	0.15	0.20
	供电可靠性指标	0.95	0.85	0.80	0.70
	服务性指标	0.90	0.80	0.70	0.60

文献[1]和[2]中采用模糊数学的方法对各项指标建立了模型, 计算了各项指标的隶属度, 它们对电能质量的等级划分为: 优、合格、低、不合格; 文献[7]将电能质量评价用 5 级模糊评价集合 {优质, 良好, 合格, 较差, 很差} 来描述。笔者结合多篇文献中的电能质量等级划分, 将电能质量分为优质、良好、中等、合格、不合格 5 个等级, 为便于评价结果的比较, 现引用文献[4]中的基本数据。为便于计算只取前 4 级的数值用于计算。电能质量评价指标的等级界限见表 1。(根据 GB/T 14549-1993 公用电

网谐波中的指标包括总谐波畸变率、奇次谐波电压含有率、偶次谐波电压含有率。其中, 总谐波畸变率是一个重要指标, 它定义为畸变波形因谐波引起的偏离正弦波形的程度。表 1 用总谐波畸变率描述电压谐波)。

评价指标中: 电压暂降、供电可靠性指标、服务性指标为逆向指标, 其余为正向指标。

同样选用文献[4]中的重庆市沙坪坝区某观测站 5 个观测点的电能质量实测数据进行计算分析。其实测数据见表 2。

表 2 监测点电能质量实测数据

Tab.2 Power quality measured data of monitoring points

测点	1	2	3	4	5
电压偏差/(%)	3.212	6.68	4.35	5.33	4.22
电压暂降/(%)	0.7963	0.1589	0.5156	0.5856	0.4863
三相不平衡/(%)	0.83	1.36	1.35	1.74	1.83
电压波动/(%)	1.33	1.53	1.95	1.37	1.58
电压闪变/(%)	0.473	0.847	0.634	0.826	0.828
总谐波畸变率/(%)	1.72	4.28	2.67	3.36	4.57
频率偏差	0.0922	0.1562	0.118	0.1787	0.1892
供电可靠性指标	0.833	0.762	0.796	0.74	0.764
服务性指标	0.832	0.713	0.864	0.684	0.783

3.2 建立无量纲的规范化样本矩阵

根据表 1 和表 2 中的数据建立原始样本指标矩阵为:

$$Z = \begin{bmatrix} 3.212 & 0.7963 & 0.83 & 1.33 & 0.473 & 1.72 & 0.0922 & 0.833 & 0.832 \\ 6.68 & 0.1589 & 1.36 & 1.53 & 0.847 & 4.28 & 0.1562 & 0.762 & 0.713 \\ 4.35 & 0.5156 & 1.35 & 1.95 & 0.634 & 2.67 & 0.1180 & 0.796 & 0.864 \\ 5.33 & 0.5856 & 1.74 & 1.37 & 0.826 & 3.36 & 0.1787 & 0.740 & 0.684 \\ 4.22 & 0.4863 & 1.83 & 1.58 & 0.828 & 4.57 & 0.1892 & 0.764 & 0.783 \\ 1.20 & 0.90 & 0.50 & 0.50 & 0.20 & 1.00 & 0.05 & 0.95 & 0.90 \\ 3.00 & 0.80 & 1.00 & 1.00 & 0.50 & 2.00 & 0.10 & 0.85 & 0.80 \\ 4.50 & 0.50 & 1.50 & 1.50 & 0.80 & 3.00 & 0.15 & 0.80 & 0.70 \\ 7.00 & 0.10 & 2.00 & 2.00 & 1.00 & 5.00 & 0.20 & 0.70 & 0.60 \end{bmatrix}$$

根据公式(2)进行规范化处理, 得无量纲规范化矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.2273 & -0.4441 & 0.1944 & 0.2990 & 0.2196 & 0.1724 & 0.2118 & -0.3461 & -0.3604 \\ 0.4726 & -0.0886 & 0.3185 & 0.3440 & 0.3932 & 0.4289 & 0.3588 & -0.3166 & -0.3089 \\ 0.3078 & -0.2876 & 0.3161 & 0.4384 & 0.2943 & 0.2676 & 0.2710 & -0.3307 & -0.3743 \\ 0.3771 & -0.3266 & 0.4074 & 0.3080 & 0.3834 & 0.3367 & 0.4104 & -0.3074 & -0.2963 \\ 0.2986 & -0.2712 & 0.4285 & 0.3552 & 0.3843 & 0.4580 & 0.4346 & -0.3174 & -0.3392 \\ 0.0849 & -0.5020 & 0.1171 & 0.1124 & 0.0928 & 0.1002 & 0.1148 & -0.3947 & -0.3899 \\ 0.2123 & -0.4462 & 0.2342 & 0.2248 & 0.2321 & 0.2004 & 0.2297 & -0.3531 & -0.3466 \\ 0.3184 & -0.2789 & 0.3512 & 0.3372 & 0.3714 & 0.3006 & 0.3445 & -0.3323 & -0.3033 \\ 0.4953 & -0.0558 & 0.4683 & 0.4496 & 0.4642 & 0.5011 & 0.4594 & -0.2908 & -0.2599 \end{bmatrix}$$

3.3 虚拟最优与最劣点集合确定

根据公式(3)可知规范化矩阵 R 中每列的最大值构成虚拟最优点集合, 每列的最小值构成最劣点的集合。

3.4 计算各等级及各监测点的密切值

根据公式(4)和(5)得到与最优点的欧氏距

离 d_i^+ 、与最劣点的欧氏距离 d_i^- 、密切值 E_i 结果见表 3。

表 3 各样本最优 d_i^+ 、最劣距离 d_i^- 、密切值 E_i

Tab. 3 The optimal d_i^+ , the worst d_i^- , intimate data of all samples

样本点	距离	d_i^+	d_i^-	E_i
1		0.7502	0.3135	0.7501
2		0.2422	0.8281	0.2421
3		0.4957	0.5821	0.4956
4		0.3855	0.6949	0.3854
5		0.3338	0.7606	0.3338
1级		1.0245	0	1.0245
2级		0.7391	0.3031	0.7391
3级		0.4159	0.6257	0.4158
4级		0	1.0245	0

根据 E_i 的大小对各样本点及各分级限值样本点进行排序为:

$$1.0245 > 0.7501 > 0.7391 > 0.4956 > 0.4158 > 0.3854 > 0.3338 > 0.2421 > 0$$

由排序知道: 点 1 的密切值在 1 级和 2 级之间, 确定为 2 级; 点 2、4、5 的密切值在 3 级之下, 确定为 4 级; 点 3 的密切值在 2 级与 3 级之间, 确定为 3 级。

3.5 不同评价方法结果比较

不同文献中的电能质量综合评价方法结果比较见表 4。

表 4 不同综合评价方法的评价比较

Tab.4 Comparison of different integrated evaluation method

方法	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5
文献[2]	2 级	4 级	3 级	3 级	4 级
文献[3]	2 级	4 级	3 级	4 级	4 级
文献[4]	2.0455 级	4 级	3 级	3.4615 级	4 级
本文	2 级	4 级	3 级	4 级	4 级

不同方法的评价结果表明: 密切值法与文献[2]中模糊数学方法、文献[3]中可变权重的模糊数学及文献[4]遗传投影寻踪插值所得到的分析结果一致, 说明该方法可以用于电能质量的评价。从分析过程知道该方法能全面地考虑各因素之间的相互影响, 提高了结果的准确性和科学性。利用 Matlab 编程仿真计算可知本文中的方法计算简单、结果有效、实用性强。

4 结论

密切值法是一种多目标决策的优选方法, 该方法概念清晰、原理简单、参数的意义明确, 克服了评价中的不确定性, 且无需确定隶属函数等主观性

参数, 必要时根据评价指标的重要性给予不同的权重会使结果更具客观性。实例分析表明: 密切值法用于电能质量的综合评价是可行的, 此方法易于计算, 结果可靠有效, 易推广。

参考文献

- [1] 贾清泉,宋家骅,兰华,等.电能质量及其模糊方法评价[J].电网技术,2000,24(6):46-49.
JIA Qing-quan,SONG Jia-hua, LAN Hua,et al.Power Quality and Fuzzy Method Evaluation[J].Power System Technology,2000,24(6):46-49.
- [2] 唐会智,彭见春.基于模糊理论的电能质量综合量化指标研究[J].电网技术,2003,27(12):85-88.
TANG Hui-zhi,PENG Jian-chun.Research on Synthetic and Quantificated Appraisal Index of Power Quality Based on Fuzzy Theory[J].Power System Technology, 2003, 27(12):85-88.
- [3] 赵霞,赵成勇,等.基于可变权重的电能质量模糊综合评价[J].电网技术.2005,29(6):12-16.
ZHAO Xia,ZHAO Chen-yong,et al.Fuzzy Synthetic Evaluation of Power Quality Based on Changeable Weight[J].Power System Technology,2005,29(6):11-16.
- [4] 周林,栗秋华,张凤.遗传投影寻踪差值模型在电能质量综合评估中的应用[J].电网技术,2007,31(7):32-35.
ZHOU Lin,LI Qiu-hua,ZHANG Feng.Application of Genetic Projection Pursuit Interpolation Model on Power Quality Synthetic Evaluation[J]. Power System Technology, 2007, 31(7):32-35.
- [5] 陈伟,郝晓弘,林洁.基于属性识别理论和AHP的电能质量综合评价体系和方法[J].电气应用,2006,(3):26-30.
CHEN Wei,HAO Xiao-hong,LIN Jie.Comprehensive Evaluation System and Method About Electrical Energy Quality based on Attribute Recognition Theory and AHP[J]. Electric Technology,2006,(3):26-30.
- [6] 肖湘宁.电能质量分析与控制[M].北京:中国电力出版社,2004.
XIAO Xiang-ning. Power Analysis and Control [M].Beijing: China Electric Power Press,2004.
- [7] 谭家茂,黄少先.基于模糊理论的电能质量综合评价方法研究[J].继电器,2006,34(3):55-59.
TAN Jia-mao,HUANG Shao-xian.Research on Synthetic Evaluation Method of Power Quality Based on Fuzzy Theory[J]. Relay, 2006,34(3):55-59.
- [8] 韩正伟,林锦国,邵如平.模糊多目标决策理论在电能质量中和评价中的应用[J].继电器,2007,35(10):33-36.
HAN Zheng-wei,LIN Jin-guo,SHAO Ru-ping. Application of Fuzzy Multi-objective Decision Making Theory in Synthetical Evaluation About Power Quality[J]. Relay,2007,35(10):33-36.

(下转第 70 页 continued on page 70)

纵联方向保护、距离保护、方向零序保护。

这种状态下,由高达 771 线路保护的 PT 断线过流功能作为零升初始阶段的线路保护,按照躲黑启动过程中的最大潮流整定,并对南热 220 kV 母线故障有 2 倍的灵敏度。在零升过程的开始阶段系统故障时,由于短路电流太小,PT 断线过流保护也可能不动作,这时运行人员通过监盘能够判断黑启动系统是否故障。

3 变压器保护配置

正常运行时,晓庄变#1 主变的差动保护启动值为: $0.8I_e$,黑启动过程中,高达#1 号机组单机运行方式下时,晓庄变#1 主变 220 kV 侧两相短路时短路电流为 $0.77I_e$,差动保护不能保护到整个变压器内部故障,变压器内部故障主要靠“瓦斯”保护以及高达电厂侧的 771 开关距离保护。

高达、南热、华京电厂侧的变压器保护,由于小系统方式下的短路电流较小,仍然以瓦斯保护作为主保护,同时根据短路电流计算结果调整差动保护的启动值以及后备保护定值。

4 逆功率保护定值调整

在黑启动过程中,当南热#5 机组与高达#1 机组并网后,两台机组所带负荷只有南热的厂用电,所需的有功功率很小(8 MW),当励磁电流或角功稍有不平衡,两台机组就有可能一台发出有功而另一台吸收有功,很容易导致逆功率保护动作。湖北电网黑启动过程中在两台机组并列时逆功率保护误动作^[3]。因此在黑启动过程中,考虑大负荷上来之前,将逆功率保护临时改投信号,待华京电厂的厂用负荷(22 MW)上来之后再南热机组以及高达机组的逆功率保护恢复。

5 结语

黑启动系统的主要特点是系统容量小,短路水

平较正常时大为减少,本文针对南京地区的黑启动试验讨论了黑启动方式下保护配置方案。在设计黑启动过程保护方案时,应注意两个方面:

a. 结合黑启动路径的具体情况,变电站定值尽量不调整,通过调整电厂定值达到保护变电站目的,以缩短黑启动的准备时间,便于在今后系统一旦全停时定值修改工作能快速实施;

b. 尽可能地保证在黑启动过程中,所有电气设备的保护都能有一定的灵敏度,以免造成不但黑启动不成功,反而造成设备烧损,更加延误系统的恢复。

建议作为黑启动厂站中需要调整定值的保护装置应设置一个专用黑启动定值区,以备黑启动时能快速投入。

参考文献

- [1] 李阳坡,等.电力系统黑启动过程中线路继电保护运行分析[J].华北电力大学学报,2006,(2).
LI Yang-bo. Operation Analysis of Transmission Line Protection During Power System Black-start[J].Journal of North China Electric Power University,2006,(2).
- [2] 李阳坡,等.电力系统黑启动过程中线路继电保护的配置与整定[J].电力系统自动化,2006,30(7).
LI Yang-bo,et al. Determination of Line Protection Scheme and Setting during Power System Black-start [J].Automation of Electric Power Systems,2006,30(7).
- [3] 刘江平,等.合理制订电网黑启动过程的继电保护方案[J].华北电力,2002.
LIU Jiang-ping, et al. Rationally Designing Relaying Protection Scheme for Power System Black-start[J]. Hu-bei Electric Power,2002.

收稿日期:2007-04-28; 修回日期:2007-11-19

作者简介:

曹海欧(1979-),男,工程师,从事继电保护调试工作;
E-mail:cho@jsepc.com.cn

张量(1970-),男,高级工程师,从事电网研究工作;
陈久林(1970-),男,高级工程师,从事继电保护调试工作。

(上接第 63 页 continued from page 63)

- [9] 李恩宽,梁川.密切值法在水环境质量综合评价中的应用[J].云南水力发电,2005(3):9-10,17.
LI En-kuan,LIANG Cuan. Intimate Data Method in Synthetical Evaluation about Water Environment Quality[J].Yunnan Water Power,2005(3):9-10,17.
- [10] 楼文高.基于密切值法的书刊印刷企业经济效益综合评价与排序[J].北京印刷学院学报,2002,10(4):15-17.
LOU Wen-gao. Economic Performance of Comprehensive Evaluation and Row Preface in Print Enterprise Based on intimate data method [J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication,2002,10(4):15-17.

收稿日期:2007-07-25; 修回日期:2007-08-12

作者简介:

黄静(1972-),女,讲师,在职硕士,主要从事电类课程教学。研究方向为电能质量及电力市场; E-mail: hjjh_jm@163.com

马宏忠(1962-),男,教授,主要从事电力设备故障分析、状态监测、故障诊断等方面的研究工作;

纪卉(1982-),女,在读硕士,主要从事电力设备故障诊断、监测、分析等方面的研究工作。