

基于组合权重的配电网运行经济性评价

卢志刚¹, 韩彦玲¹, 常磊²

(1. 燕山大学电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004; 2. 秦皇岛电力公司, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 针对配电网运行的经济性问题, 文中提出了一种基于关联规则和证据理论相结合的组合权重的评价方法。引入数据挖掘中的关联规则, 提出根据置信度来确定指标的客观权重; 运用 Dempster-Shafer 组合理论来综合专家意见确定指标的主观权重。在建立分层指标体系的基础上, 运用模糊综合评价法对电网的运行状况做出评价。实例分析表明基于组合权重的配电网运行经济性评价, 可以全面反映配网的运行情况, 对配网的经济运行和建设改造具有理论和实际的指导意义。

关键词: 关联规则; 证据理论; 组合赋权; 配电网运行; 经济性

The economic evaluation of the distribution system operation based on the combination weighing

LU Zhi-gang¹, HAN Yan-ling¹, CHANG Lei²

(1. Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China; 2. Qinhuangdao Electric Power Corporation, Qinhuangdao 066044, China)

Abstract: In view of the problem of the distribution network economic operation, the theory of evaluation is used to find the reason influencing the economic operation. A combination weighing method is proposed in this paper which is based on the association rule and evidential theory. Through finding the association between the indexes and the economic of the distribution system from the historical data, it proposes that using the association rule of data mining to allocate the index weights impersonally according to the confidence. The subjective weights are allocated through combining the expert's opinion to use the Dempster-Shafer theory and the AHP. According to the layered and classified index system, the economy of the distribution system operation is evaluated used the fuzzy comprehensive evaluation. The results of an example analysis indicate that the economical evaluation used the combination weighing can reflect the operation situation all-around, and provide preferably value for the distribution network economical operation.

Key words: association rule; evidential theory; combination weighing; operation of the distribution system; economy

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)18-0001-05

0 引言

我国在十一五规划中明确提出了建设节约型社会的目标, 因此努力开展节能降耗工作, 降低电网电能损失是电力企业对实现节约型社会的重要任务。而且随着电力市场的逐步形成, 对电网运行经济性的重视程度与日俱增。另一方面, 经过几年的负荷增长, 当初规划的电网不一定适合现在的负荷发展情况。为了全面掌握配电网运行的经济性, 指导电网的建设改造, 尤其是损失占一半以上的配电网, 有必要对配电网运行的经济性进行分析, 找出电网运行中的薄弱环节, 为配网的经济运行和降损节能提供有利的技术支撑。

以往的配网运行经济性分析或降损措施都是比较单一、或针对某一方面的分析^[1-3], 而没有将各个影响因素综合起来, 特别是从线损的方面对影响经济运行的综合分析。对于多指标多影响因素问题,

评价是一个有效的分析方法。

文献[4]提出了利用属性重要性来进行客观权重的分配方法, 论述了如何从客观数据中根据属性重要性确定各属性的客观权重。文献[5]采用的是基于客观信息熵的权重确定方法, 权重的确定都是采用的客观赋权法, 虽然避免了对专家经验的依赖, 但结果不一定与客观实际相符合。文献[6]利用群组决策方法和模糊数学求出指标权重, 虽然解决了构造比较判断矩阵中的模糊不确定性问题, 但还是由专家意见来决定各指标的重要性。文献[7]根据专家意见来确定各个指标的权重, 采用的都是主观赋权法, 过分依赖于专家经验。

针对以上问题, 本文在建立指标体系的基础上, 采用评价的方法来综合分析配电网运行的经济性。提出两种新的确定指标权重的方法, 采用组合权重的方法考虑各个指标之间的重要程度, 更合理的对配电网运行的经济性做出评估, 为配网的节能降耗

提供意见和建议。

1 基于关联规则的客观权重

本文提出应用数据挖掘中的关联规则来确定指标权重的方法,通过电网运行中积累的大量历史数据,挖掘各个指标的变化引起损耗的变化的置信度来判断各个指标的重要程度。

由于关联规则挖掘技术是建立在大量的历史数据的基础上的,因此摆脱了算法优缺点的限制,还可以克服各个影响因素之间存在非线性关系的问题,得到的权重比较客观、符合电网运行的实际情况,不存在其它客观权重确定方法可能发生与实际情况不符的问题。

1.1 问题描述

给定一组项目 $I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ 和一个事务数据库 $D = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, 其中 $t_i = \{I_{i1}, I_{i2}, \dots, I_{ik}\}$ 并且 $I_{ij} \in I$, 关联规则是形如 $X \Rightarrow Y$ 的蕴含式, 其中 $X, Y \subset I$ 是两个项目集合, 称为项目集并且 $X \cap Y = \Phi$ 。

关联规则 $X \Rightarrow Y$ 的支持度(s)是数据库中包含 $X \cup Y$ 的事务占库中所有事务的百分比。

关联规则 $X \Rightarrow Y$ 的置信度(c)是包含 $X \cup Y$ 的事务数与包含 X 的事务数的比值。

若 $s(X \Rightarrow Y) \geq$ 最小支持度, 且 $c(X \Rightarrow Y) \geq$ 最小置信度, 称为关联规则 $X \Rightarrow Y$ 为强规则, 否则为弱规则。通常根据实际情况来指定最小支持度和最小置信度。一般来说, 只有支持度和置信度均较高的关联规则才可能是用户感兴趣、有用的关联规则^[8-10]。

1.2 权重的确定

将大量的历史数据分类, 找出各个指标与损耗的值。计算各个指标值和损耗的变化程度, 采用最邻近聚类方法将变化程度离散化, 应用关联规则挖掘各个指标的变化程度与损耗变化程度之间的关系, 找出各个指标对损耗的影响程度。从挖掘的各个规则中寻找有意义的、置信度大的规则, 按其置信度确定权重 α_i 。

$$\alpha_i = \frac{c_i}{\sum_i c_i} \quad (1)$$

式中: N 为指标的个数。

由于采用的是各个指标的变化程度, 因此省去了量纲化处理的工作。

2 基于 D-S 证据理论的主观权重

基于关联规则的客观权重确定方法从实际运行数据中找出了运行中各个指标的重要程度, 但要电网进行建设改造, 提高运行的经济性, 还要考虑经济性以外的其它因素。例如, 功率因数的客观权重重要比负荷率高, 但电力公司认为提高负荷率要比提高功率因数的成本低, 有可能优先考虑从负荷率方面提高运行的经济性, 就会给负荷率较大的权重。考虑到这种情况, 就有必要考虑专家意见, 权重的确定中加入主观权重。

依据专家意见确定权重不能依据一个专家的意见, 多个专家的意见存在较多的不确定信息和模糊性, 如何对各个专家意见进行有效的综合往往引起人们的忽略。证据推理能够较好的处理具有模糊和不确定信息的合成问题, 本文应用 Dempster-Shafer 合成法则对群组的意见进行综合分析使得结果能真实反映群组的意见^[11-15]。

2.1 D-S 证据理论

定义 1: 对于 1 个集合 A , 我们称集合 $B = \{C | C \subseteq A\}$ 是集合 A 的幂集, 表示为 2^A 。对于 1 个判决问题, 用集合 Θ 表示我们能够认识到的所有可能结果, 该集合 Θ 就称为识别框架。

通常我们感兴趣的命题都对应着 Θ 的 1 个子集, Θ 的所有子集构成的集合称为 Θ 的幂, 表示为 2^Θ 。

定义 2: 设 Θ 为识别框架, 如果集函数 $m: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ (其中 2^Θ 为 Θ 的幂集) 满足:

$$\begin{cases} m(\phi) = 0 \\ \sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1 \end{cases} \quad (2)$$

则称 m 为框架 Θ 上的基本概率指派函数或基本可信度分配。 $m(A)$ 称为 A 的基本概率值 BPN(basic probability number); 若 $m(A) > 0$, 则称 A 为焦点元素(focal element)。

定义 3: 给定一个识别框架 Θ , $m: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ 是 Θ 上的基本概率赋值, 定义函数

$$Bel: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$$

$$Bel$$

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B) \quad (\forall A \subset \Theta)$$

称该函数是 Θ 上的信任函数(Belief Function)。

$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B)$ 表示 A 的所有子集的可能度之和, 即表示对 A 的总信任, 从而可知

$$Bel(\phi) = 0, \quad Bel(\Theta) = 1$$

定义 4: 给定识别框架 Θ , 称 $1 - Bel(\bar{A})$ 为 A

的似然函数, 记为 $pl(A)$, 且 $pl(A) + pl(\bar{A}) \geq 1$, $pl(A) \geq Bel(A)$ 。

证据组合规则: 设 Bel_1 、 Bel_2 是同一辨识框架 Θ 上基于两个独立证据的信任函数, m_1 和 m_2 分别是其对应的基本概率指派, 设焦点元素分别为 A_1, \dots, A_I 和 B_1, \dots, B_L , 又设

$$K = \sum_{\substack{i,j \\ A_i \cap B_j = \emptyset}} m_1(A_i)m_2(B_j) < 1,$$

其中 $i = 1, \dots, I$; $j = 1, \dots, L$ 。

则

$$m(c) = \begin{cases} \frac{\sum_{\substack{i,j \\ A_i \cap B_j = c}} m_1(A_i)m_2(B_j)}{1-K} & \forall c \in \Theta, c \neq \emptyset \\ 0 & c = \emptyset \end{cases} \quad (3)$$

2.2 主观权重的确定

在本文中, 将基本概率分配函数 $m(A)$ 视为专家针对某属性的因素给出的关于该因素的评价等级的评价度。每个专家确定的指标重要程度相当于一个证据体, 利用层次分析法中的 1-9 标度, 对指标 i , j 的重要程度进行打分, 采用 Dempster-Shafer 合成公式将各个专家意见进行合成, 最终得到 i 指标比 j 指标的重要程度。最后根据各个指标的重要程度写出判断矩阵, 求取权重。

3 组合权重

本文采用乘法合成法对决策指标进行组合赋权, 即首先将上述主、客观赋权法确定的权重系数对应相乘, 最后将乘积进行归一化处理。具体赋权公式为:

$$\omega_j = \frac{\alpha_j \times \beta_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j \times \beta_j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

其中: α_j 和 β_j 分别为第 j 个指标的客观和主观权重, ω_j 为第 j 个指标的组合权重。

4 仿真算例

4.1 指标体系

建立评估的指标体系, 实质上是要确定配电网经济运行的主要影响因素。可以通过调节负荷、改造网架结构和更换电网设备来提高电网运行的经济性。因此, 从当前电网结构下负荷是否合理; 当前负荷下电网结构、设备是否经济三方面出发, 遵循系统性、科学性、客观性、实用性原则^[16]来建立如

表 1 的指标体系。本文以某地区一个区域实际运行的 10 kV 线路为例进行评价。

表 1 指标体系

Tab.1 The index system

一级指标	二级指标
负荷	负荷率
	功率因数
	最佳负荷区域
配网设备	高耗能变压器
	导线截面积
	变压器容量
网架结构	导线变压器匹配度
	运行方式
	电容器投切
	供电半径
	容载比

4.2 客观权重

以电网运行的 36 组历史数据为例, 找出各个指标值及其变化值, 采用最邻近聚类法离散化后, 按前面所述方法进行关联规则的挖掘, 以负荷为例, 挖掘的规则如表 2~4。

表 2 最佳负荷区域的置信度

Tab.2 The confidence of the load magnitude

置信度	1	2	3	4
1	84.62	50	28.57	0
2	15.39	50	57.14	10
3	0	0	14.29	30
4	0	0	0	60

表 3 负荷率的置信度

Tab.3 The confidence of the load factor

置信度	1	2	3	4
1	42.86	57.14	53.85	20
2	14.29	28.57	25	40
3	14.29	14.29	8.33	10
4	28.57	0	8.33	30

表 4 功率因数的置信度

Tab.4 The confidence of the power factor

置信度	1	2	3	4
1	75	60	16.67	0
2	12.5	26.67	66.7	14.29
3	12.5	6.7	0	28.57
4	0	6.7	16.67	57.14

这些规则反应了负荷大小、负荷率、功率因数的变化引起电网损耗的变化的概率。当负荷变化不大, 损耗也变化不大的置信度为 84.62%, 负荷率变化大, 损耗变化大的置信度为 42.86%, 说明负荷大

小对线损的影响要比负荷率大。选择置信度最大的

表 5 负荷方面指标的权重

Tab.5 The index weights of the load

最佳负荷区域	负荷率	功率因数
0.418	0.212	0.370

有意义的规则根据式(1)来确定权重如表 5。

4.3 主观权重

同样以负荷为例, 6 个专家对指标 i 比 j 的重要程度打分(满分为 1)如表 6。

根据式(3)组合专家意见, 结果见表 7。

表 6 专家意见

Tab.6 The expert's opinion

	功率因数/负荷率			负荷区域/负荷率			负荷区域/功率因数		
1-9 标度	2	3	4	3	4	5	1	2	3
m_1	0.6	0.3	0.1	0.6	0.3	0.1	0	0.6	0.4
m_2	0.5	0.5	0	0.7	0.3	0	0	0.5	0.5
m_3	0.7	0.2	0.1	0.1	0.4	0.5	0.1	0.3	0.6
m_4	0.4	0.6	0	0.4	0.5	0.1	0	0.8	0.2
m_5	0.9	0.1	0	0.7	0.3	0	0	0.9	0.1
m_6	0.9	0.1	0	0.9	0.1	0	0.1	0.5	0.3

表 7 组合结果

Tab.7 The results of the combination

	功率因数/负荷率			负荷区域/负荷率			负荷区域/功率因数		
1-9 标度	2	3	4	3	4	5	1	2	3
结果	0.997	0.0026	0	0.951	0.0485	0	0	0.813	0.0181

由表 7 得到判断矩阵如表 8。

主观权重如表 9。

表 8 判断矩阵

Tab.8 The judgment matrices

a \ b	负荷率	功率因数	最佳负荷区域
负荷率	1	1/2	1/3
功率因数	2	1	1/2
最佳负荷区域	3	2	1

表 9 主观权重

Tab.9 The subjective weights

最佳负荷区域	负荷率	功率因数
0.54	0.163	0.297

4.4 评价结果

由式(4)确定各指标的组合权重如表 10。其它指标的权重如表 11。

根据组合权重, 运用模糊综合评价方法对配网的评价结果如表 12。

表 10 组合权重

Tab.10 The combination weights

最佳负荷区域	负荷率	功率因数
0.61	0.093	0.297

表 11 各指标的权重

Tab.11 The weights of the indexes

指标	权重
负荷方面	0.405
配网设备	0.195
网架结构	0.40
高耗能变压器	0.304
导线截面积	0.118
变压器容量	0.578
匹配度	0.164
运行方式	0.054
电容器投切	0.28
供电半径	0.086
容载比	0.416

由表 12 可知, 此地区配电网运行的经济情况不是很好, 网架结构和配网设备两方面得分低。

1) 高耗能变压器比较多, 应更换节能型变压器。

2) 导线截面积的选择不尽合理, 且没有注意导线与变压器的选择相匹配, 在对电网进行改造时, 应注意选择导线的材料、型号或变压器型号相匹配, 使它们的经济运行区域相一致。

3) 此外线路上流动的无功过大, 应优化电容器的投切, 以减少损耗, 提高电网运行的经济性。

表 12 综合评价结果

Tab.12 The results of the comprehensive evaluation

指标	负荷方面			配网设备			网架结构				
	最佳负荷区域	负荷率	功率因数	高耗能变压器	导线截面积	变压器容量	匹配度	运行方式	电容器投切	供电半径	容载比
得分	80.24	74.6	87.6	45	65.57	90.56	45	98	63.36	72	72
	81.9			73.76			66.56				
	74.18										

5 结论

本文引入关联规则来确定指标的客观权重,用 Dempster-Shafer 合成法则综合专家意见确定主观权重。组合赋权法可以克服单一赋权法的缺点,得出比较科学的权重系数。通过实例分析找出了配网运行中的薄弱环节,能清晰地反映各个指标的重要程度及全网的运行情况,对配网的运行有了全面的掌握,可以为电网的经济运行,节能降损提出有价值的建议。

参考文献

- [1] 朱向阳.基于改进禁忌搜索算法的配电网电压无功优化控制[J].继电器,2006,34(14):35-37.
ZHU Xiang-yang. Volt/var Control in Distribution Systems Based on the Modified Tabu Search[J]. Relay, 2006,34(14):35-37.
- [2] 杨欣.配电网运行区域的划类分析[J].现代电子技术,2005,(12):80-81.
YANG Xin. Analysis of Distribution Network Movement Region Delimitation[J]. Modern Electronic Technique, 2005,(12):80-81.
- [3] 卢志刚,李爽,韩彦玲,等.配电网技术经济运行区域的研究及应用[J].高电压技术,2007,33(6):156-159.
LU Zhi-gang, LI Shuang, HAN Yan-ling, et al. Study on Technical Economic Operation Area of the Distribution Network[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(6):156-159.
- [4] 黄定轩,武振业,宗蕴璋.基于属性重要性的多属性客观权重分配方法[J].系统工程理论方法应用,2004,13(3):203-207.
HUANG Ding-xuan, WU Zhen-ye, ZONG Yun-zhang. An Impersonal Multi-Attribute Weight Allocation Method Based on Attribute Importance[J]. Systems Engineering-Theory Methodology Applications, 2004, 13(3):203-207.
- [5] 黄定轩.基于客观信息熵的多因素权重分配方法[J].系统工程理论方法应用,2003,12(4):321-324.
HUANG Ding-xuan. Means of Weights Allocation with Multi-Factors Based on Impersonal Message Entropy[J]. Systems Engineering-Theory Methodology Applications, 2003,12(4):321-324.
- [6] 王鹤,曾鸣,陈珊,等.基于模糊层次分析法的供电服务质量综合评价模型[J].电网技术,2006,30(17):92-96.
WANG He, ZENG Ming, CHEN Shan, et al. Comprehensive Evaluation Model for Power Supply Service Quality Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Power System Technology, 2006,30(17):92-96.
- [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] 张云涛,龚玲.数据挖掘原理与技术[M].北京:电子工业出版社,2004.
ZHANG Yun-tao, GONG Ling. The Principle and Technologies of Data Mining[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [9] Han J, Kamber M. Data Mining Concepts and Techniques[M]. Academic Prints, 2001.
- [10] WANG Qing-yi, FAN Yan, ZOU Xiang, et al. The Research on Association Rule Mining Method Based on Data Cluster[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences, Computer Sciences Special, 2000,36(11):64-69.
- [11] 何胜强,张安,史志富.基于 D-S 证据理论的导弹武器系统效能评价[J].传感技术学报,2007,20(4):881-884.
HE Sheng-qiang, ZHANG An, SHI Zhi-fu. Effective Evaluation of Missile Weapon System Based on D-S Evidence Theory[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007,20(4):881-884.
- [12] 孙奇,杨伟.D-S 证据理论融合改进 BP 网络的短期负荷预测研究[J].继电器,2007,35(7):61-65.
SUN Qi, YANG Wei. Research on Load Forecasting of Fusion Between D-S Evidential Theory Improved BP Network[J]. Relay, 2007,35(7):61-65.
- [13] 孙旭,任震.空间负荷预测在城市电网规划中的应用[J].继电器,2005,33(14):79-81.
SUN Xu, REN Zhen. Application of Spatial Load Forecasting in Urban Power Network Planning[J]. Relay, 2005,33(14):79-81.
- [14] Lhall D, Llinas J. An Introduction to Multisensor Data Fusion[J]. Proceedings of the IEEE, 1997,85(1):6-20.
- [15] 杨萍,刘卫东.基于证据理论的群决策层次评价方法研究[J].系统工程与电子技术,2002,24(2):41-44.

(下转第 18 页 continued on page 18)

表 1 各发电商成本函数系数和发电量动态调整系数

Tab.1 Cost function and dynamic adjustment coefficients

发电商	λ_i	a_i	b_i	c_i
1	3	0	2	0.02
2	4	0	1.75	0.0175
3	2.5	0	3	0.025
4	3	0	3	0.025
5	2	0	1	0.0625
6	4	0	3.25	0.00834

4 结论

本文利用电力市场的循环特性,将控制理论引入到短期电力市场中,并利用博弈论建立了不同寡头模式下的数学模型,并求出系统传递函数,得到基于 PI 控制的短期电力市场仿真模型。最后利用 Matlab 工具对短期电力市场的变化过程进行仿真。

参考文献

- [1] Alvarado F L. The Stability of Power System Markets[J]. IEEE Trans on PAS, 1999,14(2):505-511.
- [2] 薛禹胜. 综合防御由偶然故障演化为电力灾难——北美“8·14”大停电的警示[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(18):23-27.
XUE Yu-sheng. The Way from a Simple Contingency to System-Wide Disaster—Lessons from the Eastern Interconnection Blackout in 2003[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,27(18):23-27.
- [3] 赖业宁, 薛禹胜, 王海风. 电力市场稳定性及风险管理[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(12): 21-27.
LAI Ye-ning, XUE Yu-sheng, WANG Hai-feng. Electricity Market Stability and Its Risk Management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(12): 21-27.
- [4] 徐群, 薛禹胜, 辛耀中. 竞争充分性对电力市场稳定性的影响[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 24-29.
XU Qun, XUE Yu-sheng, XIN Yao-zhong. The Influences of Competition Sufficiency on Power Market Stability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(8): 24-29.
- [5] 薛禹胜, 徐群, 辛耀中, 等. 加州电力危机的动态仿真和防御对策分析(一)模型的建立和定性分析[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 29-34.
XUE Yu-sheng, XU Qun, XIN Yao-zhong, et al. Dynamic Simulation and Countermeasure Analysis of California Power Crisis, Part One Models and Qualitative Analyses[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7):29-34.
- [6] Duy Huu Manh Nguyen, Kit Po Wong. A General Stability Metric for Competitive Power Markets[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 19(2):320-325.
- [7] LIU You-fei, Ni Y X. Control Theory Application in Power Market Stability Analysis[A]. In: 2004 IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies (DRPT2004)[C]. 2004. 562-569.
- [8] Stothert A, Macleod I. Competitive Bidding As a Control Problem[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(1): 88-92.

收稿日期: 2007-12-26; 修回日期: 2008-04-07

作者简介:

陈旭(1967-), 女, 讲师, 研究方向为电力电子;

张平(1959-)男, 副教授, 主要研究方向为自动控制;

宋正强(1974-), 男, 博士, 主要研究方向为电力市场。E-mail:zhengqiangsong@yahoo.com.cn

Technology, 2002, 26(2):54-58.

收稿日期: 2007-12-27

作者简介:

卢志刚(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统运行及分析研究; E-mail:xiansun@ysu.edu.cn

韩彦玲(1982-), 女, 硕士研究生, 主要从事电网经济运行及评价的研究;

常磊(1964-), 女, 高级经济师, 主要从事电网经济管理工作。

(上接第 5 页 continued from page 5)

YANG Ping, LIU Wei-dong. Study on Group Decision Making in the Hierarchical Evaluation Process Based on Evidential Reasoning[J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(2):41-44.

- [16] 卢志刚, 张炜, 王新华, 等. 多目标多层次模糊综合评价在电力企业运营状况评价中的应用[J]. 电网技术, 2002, 26(2):54-58.

LU Zhi-gang, ZHANG Wei, WANG Xin-hua, et al. Application of Multi-object Multi-layer Fuzzy Comprehensive Evaluation of Economic Operation Situation of Electric Power Enterprise[J]. Power System