

计及地区差异的县域电网企业动态模糊综合评价方法

刘海涛¹,董亮² 通讯作者,马丙泰²,秦镜¹,韩伟¹,饶昌明³

(1.国网江苏省电力有限公司淮安供电分公司,江苏 淮安 223001;2.南京工程学院,江苏 南京 211167;

3.南京景兴瑞电力工程技术有限公司,江苏 南京 211300)

摘要:模糊综合评价法是分析县域电网企业经营发展的一种常规方法,当采用传统的模糊综合评价方法分析时,难以将各县域地区差异的影响考虑在内,故分析评价结果容易存在不合理之处。有鉴于此,提出了考虑地区差异的基于动态三角形隶属函数模型的模糊综合评价方法,该方法既克服了传统综合评价方法中忽略地区差异影响的缺点,又保留了可以同时考虑多输入、多产出分析的优点。依据文章提出的动态综合评价方法,以江苏省51家县域电网企业的多项指标数据为样本进行了实例分析,验证了该方法在评价指标数据中的适用性与合理性。

关键词:电网企业;经营发展;地区差异;动态隶属函数;模糊综合评价

[DOI]10.12231/j.issn.1000-8772.2020.29.035

随着县域经济的快速发展,社会用电量逐渐升高,对各县域电网企业电力系统电网质量要求也越来越高,如何科学合理的做好县域电网企业的规划评价体系、使电网改造资金能够发挥其最大的效益、满足社会经济发展与居民用电的需求,是各县域电网企业规划评价体系工作的核心内容。

在电网数据指标体系评价内容方面,文献[1]分别提出了一种针对微电网评估体系及评价方法。文献[2]建立了配电网综合评价体系在评价配电网中的应用。文献[3-4]分别从安全、电能质量等角度提出了相应的指标体系,能够正确地分析电网某一个方面的运行状况,但不能反映综合运行水平,并且有些数据指标脱离实际,无法直接进行应用。文献[5]采用了一种综合评价分析方法,将层次分析法(AHP)和变异系数法结合,计算指标主、客观权重,能够合理的实现对指标权重值的设定。文献[6]采用拉格朗日函数,针对配电网数据进行评价指标权重分析。文献[7]对家庭智能用电的情况,进行指标体系构建和评价方法分析。目前,评价方法可分为如下两个部分:指标评价和权重计算;其中在指标评价方面,AHP分析法经过较长时间的应用与发展,已派生出其他优化分析方法,例如改进AHP分析法、模糊层次分析法等,这些分析方法都是针对于难以确定判断矩阵或者判断矩阵很难通过一致性检验方才提出的。文献[8]基于AHP和熵值法的绿色物流发展指标权重研究。文献[9]采用层次分析法和熵权法确定配电网故障抢修质量与效率指标方面权重,加权求和得到综合得分。模糊评价是一种基于模糊数学的综合评价方法,该方法的核心是根据模糊数学的隶属度理论将定性评价转化为定量评价^[10]。文献[11]采用改进隶属度函数的模糊综合评价进行电能质量分析。文献[12]采用相关性分析法去除指标数据中相关性较强内容,然后再运用组合权重法合理赋权突出主导因素,从而筛选出具有极强代表性的合理的评估指标,由此构建出模糊神经网络综合评价体系。

上述主客观和模糊综合评价方法具备直观、简易等优点,但存在一定的局限性,其中使用主观赋权法确定权重,会受到专家研究内容、个人偏好等因素的影响;使用客观赋权法确定权重,往往侧重于指标本身的数据信息等等;现有参考文献用模糊综合评价法对指标进行处理,并没有考虑地区差异带来的影响,不能够合理的反映各县域的综合评价情况。因此文章从考虑地区差异出发,建立了基于动态隶属函数的模糊综合评价方法;实现了较为完整的评价指标体系的构建;可以合理的获得综合评价结果。

1 评价指标体系构建

本文遵循全面性、层次性、独立性、功能性、可操作性、差异性和继承性七大原则,将县级电网企业电网发展及生产经营评价体系中

的指标进行分级、分类。针对县级企业生产经营与电网发展状况,通过分析电网发展功能、相关技术、各环节表征,明确指标范围并分类;对所分类类别分别进行指标梳理,依次得出各级指标并分为三层见图1示。

(1)评价指标初选。构建合理的评价指标体系应遵循客观性、系统性、实用性、科学性。参考以上原则,在评价指标体系构建过程阶段,一方面要选择可以全面体现各县域企业电网发展和生产经营情况的指标数据;此外,还要考虑选择指标内容的有效性、数据的采集难度、计算量等具体现实情况构建指标体系。

(2)评价指标筛选。基于以上的思想方法,文章针对电网发展和生产经营建立初步指标体系;再进行指标筛选。对因素层指标进行筛选,筛选过程分为两步:一是计算指标间皮尔逊系数,考虑选取指标间相关性程度,以0.8为界限决定指标去留;二是通过主成分分析法选取载荷较大的指标作为关键指标^[13],再结合专家意见和实际需求考虑保留部分中被删除的指标,最终确定县级电网企业生产经营与电网发展评价指标体系。对指标体系进行可操作性、代表性、独立性、全面性、区域性检查,主要采用皮尔逊系数法和主成分分析法对指标进行筛选,主成分分析法不方便对大量指标直接筛选,而皮尔逊系数法便于从大量指标中迅速找到指标间的强相关关系,所以考虑先使用皮尔逊系数法筛选出中间指标,再经过主成分分析法进一步筛选。

以生产经营和电网发展数据进行皮尔逊相关性分析和主成分分析:

①皮尔逊系数法:假设X,Y为两个评价指标,其皮尔逊相关系数如公式(1)所示:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N})(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N})} \quad (1)$$

每两个指标间都需要计算一次相关系数,若该系数绝对值接近于1,说明两项指标的线性相关性很强,若接近0,说明相关性很小。

②主成分分析法:主成分分析,该方法核心是采用降维思想,即将多指标数据参数转化到较少的几个主成分分析,其中每个主成分都能够反映原始变量的大部分信息,且所含信息互不重复。最终得到指标体系表如表1所示。

2 评价方法构建

(1)指标权重值计算。熵值法是依据熵的概念和性质,把各种指标的信息量化,进而得到指标权重系数的一种方法。信息熵越小,表明信息的无序度越低,其信息的效用值越大,指标的权重越大。反

表 1 电网发展与生产经营综合评价指标体系表

一级指标	二级指标	三级指标	单位
生产经营	经营业绩	电费回收率	%
		应收电费余额占比	%
		全口径售电量	%
		全口径劳动生产率	万元/人
		投入产出比	1: N
	节能	主营业务收入	万元
		市场占有率	%
		综合线损率	%
		新能源装机占比	%
		单位资产所电网量	kWh/元
	资产质量	单位资产所供调度口径负荷	KW/元
		发电量	kWh
		电网量同比增长率	%
		基建投资所占比重	%
		电网基建投资比重	%
资产投资状况	技术改造投资所占比重	%	
	单位投资增售电量	kWh/元	
	单位投资增供负荷	KW/元	
	人身事故伤亡	人	
	电网事故	次	
安全生产	设备事故	次	
	第三方客户满意度指数	%	
	110 千伏容载比	kVA/kW	
	35 千伏容载比	kVA/kW	
	户均配变容量	kVA	
电网服务	电网可靠率 (RS-1)	%	
	农网综合电压合格率	%	
	10kV 平均电网半径	km	
	10-20 千伏线路电缆化率	%	
	10-20 千伏架空线路绝缘化率	%	
电网能力	用电信息采集覆盖率	%	
	智能电表覆盖率	%	
	电网质量	智能化	
		技术装备	
		智能化	
技术装备			
智能化			

之, 指标的信息熵越大, 其信息的效用值越小, 指标权重越小。因此可以采用熵值法来确定指标数据的权重值^[4]。通过采用熵值法对原始基本数据进行归一化、取对数等运算处理, 最终可以得到相应指标的客观权重值。

(2) 动态模糊综合评价法。模糊综合评价方法是依据模糊数学的隶属度理论, 对受到多重因素制约的对象做出一个总体评价, 并将定性评价转化为定量评价。该方法的指标体系将待评对象的众多影响因素按性质分为多个层次^[5], 一般为三层, 对应三级指标体系, 如图 1 所示。

首层是目标层; 评价目标用 A 表示, 里面含有评价数据内容; 其中: 中间层是内容层; 评价内容用 A_k(k=1, 2, 3...m) 表示, 其中 m 表示评价内容数量, 评价内容下又有多个评价因素; 底层为因素层, 评价因素 A_{kj}(j=1, 2, 3...p_k) 含义为: 评价内容中包含的第 j 个评价因素。

单因素的模糊评价方法概述: 令指标的论域对应三个模糊子集, 即{好, 中, 差}={E1, E2, E3}, 其对应的隶属函数为 μ₁, μ₂, μ₃ 且因素不同, 模糊子集的隶属函数模型也不相同。隶属函数的建立主要根据实际经验来进行对应法则的探求, 建立从论域 U 到 [0, 1] 上的映射, 用来反映某对象具有某种模糊性质或属于某个模糊概念的程

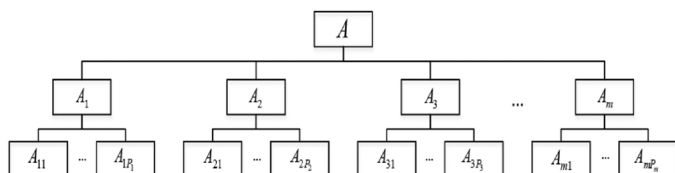


图 1 指标体系流程图

度。这种函数关系建立的是否正确, 要看是否符合客观规律, 这便是隶属函数确定的原则^[6]。

基于效益型指标隶属函数模型如图 2 所示, 隶属函数曲线公式如公式(2)所示:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 0, x \leq a_2 \\ \frac{x-a_2}{a_1-a_2}, a_2 < x \leq a_1 \\ 1, a_1 < x \end{cases}$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, x \leq a_3 \text{ or } x \geq a_1 \\ \frac{x-a_3}{a_2-a_3}, a_3 < x \leq a_2 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, a_2 < x < a_1 \end{cases}$$

$$\mu_3(x) = \begin{cases} 1, x \leq a_3 \\ \frac{x-a_2}{a_3-a_2}, a_3 < x \leq a_2 \\ 0, a_2 < x \end{cases}$$

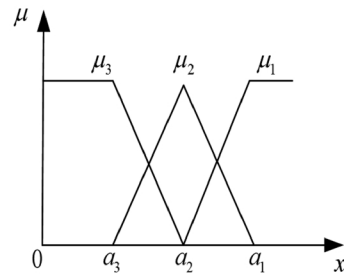


图 2 效益型隶属函数曲线

其中 分别表示指标数据的最大值, 平均值和最小值。根据指标评分函数分析, 计算出每项指标所得分数, 接着再计算出总的评分。其中指标评分函数表达式如公式(3)所示:

$$F_{k,i} = \frac{\mu_1(x)F_1 + \mu_2(x)F_2 + \mu_3(x)F_3}{\sum_{i=1}^3 \mu_i(x)} \quad (3)$$

F_{k,i} 为各指标得分; F₁, F₂, F₃ 分别为指标属于好中差时的分数基准值, 通常选择为固定值。因此在三角形隶属函数模型中, 并没有考虑地区差异的影响, 缺乏同质性基础, 影响评估结果的公允性, 对评分结果带来一定的误差。所以文章提出了动态三角形隶属函数的模糊综合评价方法模型。该模型最大优点在于能够考虑地区差异因素在综合评价指标结果的影响。使对各项指标数据分析评分结果具有合理性。

模糊综合评价方法的关键是单因素评价得分 F_{k,j} 的计算和权重 ω_{k,j}, ω_k 的确定。ω_{k,j}, ω_k 采用熵值法来确定, 单因素评价得分 F_{k,j} 采用模糊集理论计算。

动态模糊综合评价法具体步骤表达如下:

表 2 地区差异因素表

序号	地区差异因素
S1	地区 GDP/亿元
S2	人均 GDP/元/人
S3	地区人口/万人
S4	地区面积/平方公里
S5	35 千伏-110 千伏变电站容量/万千瓦安
S6	10-20 千伏配电变压器容量/万千瓦安
S7	35 千伏-110 千伏线路长度/公里
S8	10-20 千伏配网线路长度/公里

①计算因素层得分 $F_{k,j}$ 。对于因素层中各项单因素 $A_{k,j}$, 计算评价得分 $F_{k,j}$, 依据得分确定各单因素的评价效果。

为了量化地区差异会对综合评价结果产生的影响, 首先要考虑地区差异因素选择原则: 即地区差异因素应选取对电网总体评价结果产生影响, 但不在电网企业主观掌控范围内的指标因素, 常选择与电网企业所处的社会经济和电网规模有关, 因此选出地区差异的八项因素如下表 2 所示。

在确定相关地区差异指标后, 结合电网发展和生产经营指标, 可以确定各项指标和地区差异指标之间相关度如表 3 所示。

其中: S_i 中 $i(i=1, 2, \dots, 8)$ 表示地区差异因素序号; 等号右边为 1 表示分析的电网发展和生产经营指标与地区差异因素指标呈正相关; -1 表示数据间呈负相关; 无数据空格表示没有直接相关性。

结合相关度结果和地区差异因素具体指标内容, 进行动态表达式建立, 如公式(4)所示:

$$\begin{aligned}
 F_1^{p,q} &= 95 + \frac{5}{C_p} \times \sum_{i=1}^8 (S_{p,i} \times a_i^q) \\
 F_2^{p,q} &= 72 + \frac{5}{C_p} \times \sum_{i=1}^8 (S_{p,i} \times a_i^q) \\
 F_3^{p,q} &= 45 + \frac{5}{C_p} \times \sum_{i=1}^8 (S_{p,i} \times a_i^q)
 \end{aligned} \tag{4}$$

其中: $F_1^{p,q}, F_2^{p,q}, F_3^{p,q}$ 为动态指标评分表达式, 表达式中第一项的 95、72、45 分别为评价优、中、差的基准值, 第二项为修正值, 其中 p 表示分析指标的序号, q 表示分析的县域电网企业序号 $F_1^{p,q}$ 表示对第 q 个企业的第 p 个指标进行评分为优时的分数, $F_2^{p,q}$ 表示对第 q 个企业的第 p 个指标进行评分为中时的分数, $F_3^{p,q}$ 表示对第 q 个企业的第 p 个指标进行评分为差时的分数; C_p 表示相互有相关性的总的个数; 表示第 q 个企业的指标与第 i 个地区差异因素间的修正系数, 具体为: $a_i = \frac{X_{q,i}}{\max(X_{q,i})}, a_i^q \in (0, 1]$ 。

企业的第 p 个指标进行评分为差时的分数; C_p 表示相互有相关性的总的个数; 表示第 q 个企业的指标与第 i 个地区差异因素间的修正系数, 具体为: $a_i = \frac{X_{q,i}}{\max(X_{q,i})}, a_i^q \in (0, 1]$ 。

其中 $X_{q,i}$ 表示考虑地区差异中指标变量中的元素值, $\max(X_{q,i})$ 表示考虑地区差异中指标变量元素最大值, i 表示因地区差异引入相关变量; $S_{p,i}$ 表示第 p 个指标与第 i 个地区差异因素的相关度。

②确定各单因素的权重 $\omega_{k,j}$ 。对于各项内容 $A_k (k=1, 2, 3, \dots, m)$, 确定其包含的各个因素的权重 $\omega_{k,j}$, 要满足 $\omega_{k,j} > 0$, 且 $\sum \omega_{k,j} = 1$ 。

③计算内容层得分 F_k 。内容 A_k 的评价得分 $F_k = \sum_{j=1}^{P_k} F_{k,j} \times \omega_{k,j}$, 其中 P_k 为二级指标的个数, 依据得分确定各内容的评价效果。

④确定各内容的权重 ω_k 。评价目标为 A 内各项内容的权重 $\omega_k > 0$, 且 $\sum \omega_k = 1$ 。

⑤计算综合评价分 F 。总得分 $F = \sum_{k=1}^m F_k \times \omega_k$ 。

通过上述过程的分析和计算, 最终可以得到采用动态模糊综合评价方法处理后的综合评价分数。

3 案例分析

以江苏省 51 个县域电网企业指标数据分析为例, 对比传统模糊综合评价法与动态模糊综合评价结果。由熵值法, 得到三级指标权重值如表 4 所示:

表 4 三级指标客观权重值

三级指标	客观权重
全口径售电量	0.109
全口径劳动生产率	0.015
投入产出比	0.033
主营业务收入	0.084
市场占有率	0.017
综合线损率	0.030
新能源装机占比	0.017
单位资产所电网量	0.053
单位资产所供调度口径负荷	0.057
发电量	0.155
电网量同比增长率	0.008
基建投资所占比重	0.009
电网基建投资比重	0.010
技术改造投资所占比重	0.016
单位投资增售电量	0.019
单位投资增供负荷	0.005
人身事故伤亡	0
电网事故	0
设备事故	0
第三方客户满意度指数	0
110 千伏容载比	0.035
35 千伏容载比	0.045
户均配变容量	0.038
电网可靠率 (RS-1)	0.017
农网综合电压合格率	0.008
10 千伏平均电网半径	0.062
10-20 千伏线路电缆化率	0.051
10-20 千伏架空线路绝缘化率	0.022
用电信息采集覆盖率	0.006
智能电表覆盖率	0.006
电费回收率	0
应收电费余额占比	0

其中部分指标数值全部相等, 考虑客观权重值为 0。依据动态隶属函数模糊综合评价方法进行各项指标评分计算,

表 3 评价指标与地区差异因素的相关度

指标数据	考虑地区差异相关性指标数据		
全口径售电量	S1=-1	S3=-1	S4=-1
全口径劳动生产率			
投入产出比			
主营业务收入	S1=-1	S3=-1	
市场占有率	S4=1		
综合线损率	S4=1	S7=1	S8=1
新能源装机占比	S4=1		
单位资产所电网量			
单位资产所供调度口径负荷			
发电量	S2=-1	S3=-1	
电网量同比增长率			
基建投资所占比重	S2=-1		
电网基建投资比重	S2=-1		
技术改造投资所占比重	S2=-1		
单位投资增售电量			
单位投资增供负荷			
110 千伏容载比	S5=1	S7=1	
35 千伏容载比	S5=1	S7=1	
户均配变容量	S3=1	S6=1	
电网可靠率 (RS-1)	S4=1		
农网综合电压合格率	S4=1	S7=1	S8=1
10kV 平均电网半径			
10-20 千伏线路电缆化率	S8=1		
10-20 千伏架空线路绝缘化率	S8=1		
用电信息采集覆盖率			
智能电表覆盖率	S4=1		

表5 江苏县级电网企业经营与发展综合评价对比结果

电网企业编号	传统模糊综合评价法		动态模糊综合评价法	
	分值	排名	分值	排名
1	85.34	1	83.80	1
2	82.91	2	81.57	3
3	82.21	3	82.68	2
4	81.97	4	80.63	4
5	81.46	5	80.42	5
6	80.14	6	79.60	6
7	73.52	7	75.23	7
8	73.06	8	73.63	9
9	72.57	9	72.73	10
10	72.36	10	72.62	11
11	72.09	11	72.12	14
12	71.70	12	73.66	8
13	71.52	13	72.28	12
14	71.29	14	70.02	21
15	70.18	15	72.21	13
16	70.01	16	70.77	18
17	69.86	17	69.38	25
18	69.40	18	71.38	15
19	69.16	19	70.92	17
20	69.11	20	70.98	16
21	69.01	21	69.96	22
22	68.95	22	70.71	20
23	68.65	23	70.72	19
24	68.12	24	69.89	23
25	68.11	25	67.57	31
26	67.62	26	69.48	24
27	67.17	27	68.93	26
28	66.99	28	68.55	29
29	66.91	29	68.92	27
30	66.70	30	68.67	28
31	66.21	31	67.17	32
32	66.12	32	66.78	34
33	65.87	33	66.58	35
34	65.79	34	67.77	30
35	65.31	35	66.88	33
36	65.09	36	66.26	36
37	64.90	37	63.76	42
38	64.11	38	63.68	43
39	64.01	39	64.77	41
40	63.81	40	66.17	37
41	63.8	41	66.07	38
42	62.91	42	65.37	39
43	62.39	43	63.37	44
44	62.39	44	64.86	40
45	62.38	45	63.35	45
46	61.89	46	62.25	47
47	61.70	47	61.42	50
48	61.47	48	61.63	48
49	61.39	49	61.39	51
50	60.64	50	63.13	46
51	59.75	51	61.52	49

结合客观权重值,得出综合评价与传统模糊综合评价法结果对比如表5所示。

从表4、5对比结果可以看出,在考虑了地区差异的动态模糊综合评价方法后,可以得出如下结论:

(1)与传统模糊综合评价法结果相比,各电网企业排名总体趋势基本没有发生大范围跳动。例如排名前五的各电网企业,名次基本没有出现大的变化,与传统方法评价结果整体上具有一致性。

(2)部分电网企业综合分值出现浮动,说明地区差异在模糊综

合评价结果中会产生影响,表明考虑地区差异是有意义的。例如编号为14电网企业在考虑地区差异后排名下降七位,原因在于考虑了该电网企业地区面积较大,人口总数多等地区差异因素影响,同时该电网企业全口径售电量和发电总量等仅居于中等水平,所以会使得综合评价结果出现较大幅度的变动;编号为50的电网企业在考虑地区差异后排名提升四位,原因在于考虑该地区区域面积小,总人口数相对较少,虽然总体产值等方面没有其他大部分区域高,但是考虑区域变压器、线路长度和人均GDP等存在的优越性,使得排名和综合成绩得到提升。

4 结束语

常规模糊综合评价法可以用来分析县域电网企业经营发展指标数据,但由于地区差异因素在传统模糊综合评价方法里很难得到体现,使得指标数据分析结果缺乏一定的公允性。针对该项不足,提出了考虑地区差异的动态隶属函数模型的模糊综合评价方法,该方法既能有效考虑地区差异带来的影响,又继承了传统综合评价方法中可以同时考虑多输入、多产出分析的优点。根据文章提出的动态模糊综合评价方法,通过对江苏省51家县域电网企业的指标数据进行实例评价分析,验证了该动态模型方法在评价指标数据中的可行性与合理性。

参考文献

[1]吴鸣,赵婷婷,赵凤展,等.微电网运行效果评价指标体系及评价方法[J].电网技术,2018,42(3):690-697.
 [2]徐润萍,高亚静,刘茶.配电网综合评价指标体系及应用研究[D].华北电力大学硕士学位论文,2019.
 [3]文云峰,崔建磊,张金江,等.面向调度运行的电网安全风险管理系统(一)概念及架构与功能设计[J].电力系统自动化,2013,37(9):66-73.
 [4]林海雪.电能质量指标的完善化及其展望[J].中国电机工程学报,2014,34(29):5073-5079.
 [5]方嵩,彭嵩,赵晋泉,等.DG启动及运行特性综合评价指标与方法[J].电测与仪表,2019,56(14):5-11.
 [6]白恒远,潘凯岩,王森,等.基于拉格朗日函数的配电网评价指标权重研究[J].电测与仪表,2019,56(08):1-8.
 [7]徐梦佳,王渝红,赵贺,等.家居智能用电水平指标体系及评价方法研究[J].电测与仪表,2017,54(10):38-43.
 [8]郭毓东,徐亚纯,郝祖涛.基于AHP和熵值法的绿色物流发展指标权重研究[J].科技管理研究,2013,33(18):57-62.
 [9]施萱轩,孟军,梁浩,等.配电网故障抢修质量与效率评价体系研究[J].电力工程技术,2018,37(5):143-147.
 [10]ZADEH L. A. Fuzzy sets[J].Information&Control,1965,8(3):338-353.
 [11]蒋金良,袁金晶,欧阳森.基于改进隶属度函数的电能质量模糊综合评价[J].华南理工大学学报,2012,40(11):107-112.
 [12]党存禄,李永强,杨海兰.含风电场的输电网运营效率评估[J].电力工程技术,2020,39(04):77-86.
 [13]朱蕾,蒋浩.基于改进主成分分析的低压配电网供电所综合评价方法[J].电力工程技术,2018,37(04):38-44.
 [14]黄国庆,王明旭,王国良.效能评估中的改进熵值法赋权研究[J].计算机工程与应用,2012,48(28):245-248.
 [15]王敬敏,朱益平.基于模糊层次分析法的变电站建设项目节能综合评价研究[J].华东电力,2012,40(4):552-555.
 [16]张晓红.基于三角模糊数的电力需求侧管理效果评价[J].统计与决策,2008,(15):61-63.

作者简介:李海涛(1979-),男,江苏淮阴人,高级工程师;马丙泰(1994-),男,江苏连云港人,硕士研究生;秦饒(1980-),女,江苏泰兴人,统计师;韩伟(1986-),男,江苏常州人,高级工程师;饶昌明(1977-),男,江苏南京人,工程师。

通讯作者:董亮(1981-),男,江西鹰潭人,高级工程师。