

中图分类号: TM73 文献标志码: A 文章编号: 2095-641X(2019)05-0045-07 DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2019.05.008
著录格式: 徐昊亮, 彭玲艳, 王鹏善, 等. 电力通信网运行质量评价指标权重分配方法研究[J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(5): 45-51.

电力通信网运行质量评价指标 权重分配方法研究

徐昊亮¹, 彭玲艳², 王鹏善³, 程紫运¹, 靳攀润¹

(1. 国网甘肃省电力公司 经济技术研究院, 甘肃 兰州 730050; 2. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 河北 保定 071003;
3. 国网甘肃省电力公司 金昌供电公司, 甘肃 金昌 737100)

Research on Weight Allocation Method of Operation Quality Evaluation Indicator of Power Communication Network

XU Haoliang¹, PENG Lingyan², WANG Pengshan³, CHENG Ziyun¹, JIN Panrun¹

(1. Economics & Technology Research Institute, State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou 730050, China;
2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;
3. Jinchang Power Supply Company, State Grid Gansu Electric Power Company, Jinchang 737100, China)

摘要: 合理的指标权重分配方法是实现运行质量有效评价的关键。针对这一问题,文章首先分析了主观权重法、客观权重法、主观客观综合法以及 OWA 法等 4 种赋权方法的特性;然后,根据电力通信网运行质量评价的需求,设计并实现了指标权重的分配方法;最后,结合运行质量评价案例,研究了不同权重分配方法对评价结果的影响。研究成果对确定电力通信网运行质量评价指标权重分配方法具有参考价值。

关键词: 电力通信网;运行质量评价;多属性决策;权重分配方法;指标权重

Abstract: A reasonable weight allocation method of indicators is the key to effective evaluation of operational quality. For this, this paper analyzed the characteristics of four weight allocation methods including subjective weight method, objective weight method, subjective and objective comprehensive method and OWA method. Then, with the requirements of the operation quality evaluation of power communication network, those weight allocation methods were applied and compared. Finally, combined with a operation quality evaluation case, the influences of different weight allocation methods on the evaluation results were studied. The research results have a reference value for determining the indicator weight allocation method for power communication network operation quality evaluation.

Key words: power communication network; operation quality evaluation; multiple attribute decision making; weight allocation method; indicator weight

0 引言

指标权重分配方法主要分为主观法、客观法和主观客观综合法 3 种形式。主观权重分配由领域专家结合指标体系以及电力通信网运行质量影响要素和专业经验,通过主观判断的方式实现;客观权重分

配依赖指标统计值的客观分布情况,通过分散性测度实现,与决策者的主观态度和偏好无关;主客观综合法将主观和客观 2 种权重分配法进行合理结合,兼顾两者特点,实现综合权重分配。有序加权平均(Ordered Weighted Averaging, OWA)法在严格意义上讲属于主观与客观相结合的评价方法。OWA 的权重确定是主观的,代表了评估者的态度与偏好。而权重分配是客观的,与指标值大小顺序有关。

由于指标权重分配方法在多指标评价过程中的

基金项目: 国网甘肃省电力公司委托开发项目“电力通信网运行质量及业务风险评估技术研究”(SGGSJY00PSJS1800140)。

重要性,因此该研究方向引起了学者的广泛关注。在电力通信网运行质量评价方面,电力行业标准从不同角度规范了电力通信网运行质量评价指标^[1-3];文献[4-6]重点研究了评价指标筛选方法,但是没有对评价指标体系的设计进行详细说明;文献[7-11]重点研究了评价指标体系的设计问题。然而,现有成果对指标权重分配方法的研究较少。

在多属性决策问题研究中,为了实现权重分配的科学性,越来越多的权重确定方法被提出。文献[12]提出了一种新的模糊层次分析方法(Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP),可以有效克服判断矩阵的一致性问题的,但该方法可能导致部分属性权重为0,从而使决策过程忽略某些属性的影响;文献[13]基于属性不兼容性的证据推理方法获得属性权重,是一种主观与客观相结合的方法;文献[14]考虑决策者的风险偏好,提出了一种基于平均熵的属性权重区间确定方法;文献[15]将多个专家给出的正互倒评判矩阵进行加权聚合得到综合主观权重,再将每个方案的属性灵敏度作为客观权重,最后利用乘法集成模型得到主客观的综合权重;文献[16]提出了一种基于无差异化阈值的属性比率分析方法,并用于多属性决策的属性权重分配;文献[17]提出了一种基于信念分布鉴别能力的属性权重分配方法;文献[18]利用不确定性测度表示属性重要度,提出了一种基于Choquet积分模型的属性聚合方法,其本质是OWA方法。可以看出,在多属性决策领域,属性权重分配方法的研究取得了显著的成果。

针对电力通信网运行质量评价问题,多属性决策领域的属性权重分配方法具有借鉴意义和参考价值。本文首先对已有的指标权重分配方法进行了分析,对各种方法的特点进行了概括;然后,结合电力通信网运行质量评价需求,设计并实现了不同的权重分配方法;最后,结合评价案例分别对所设计的指标权重分配方法进行了验证。研究成果对确定电力通信网运行质量评价的指标权重分配方法具有参考价值。

1 指标权重分配方法

1.1 主观权重分配法

主观权重分配是指决策者根据自身对被评价对象的知识掌握、主观认识和运行经验,甚至个人

偏好,利用某种系统化方法完成指标权重分配的过程。最具代表性的主观权重分配方法是层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)和网络层次分析法(Analytic Network Process, ANP)。当指标间存在明显依赖关系时,ANP适合用来进行指标分配。一般情况下选择AHP更为合适。为了适应不确定性决策环境,AHP被进一步推广为FAHP。FAHP有2种实现方法,一是基于模糊互补判断矩阵的AHP,二是基于模糊数的AHP。

效用函数法利用效用函数将不同取值范围、不同计量单位的指标统一成[0,1]的效用值,等价于指标权重分配。由于效用函数的形状、参数和取值范围是根据决策者知识和经验主观确定,因此,效用函数法属于主观权重分配法。

基于证据推理的权重分配方法将证据理论和效用理论相结合,实现指标权重的分配,属于主观权重分配方法。由于该方法与AHP、效用函数法相比,具有较高的复杂度,因此在实际应用中受到限制。

1.2 客观权重分配法

客观权重分配法是指根据决策矩阵的指标取值情况,利用信息熵或标准差等测度实现指标权重分配的过程。所得到的指标权重仅与决策矩阵中的客观数据有关,与决策者的主观认识无关。客观权重分配方法主要有熵权法(Entropy Weights, EW)、标准差法、准则互相关法(Criteria Importance through Inter-criteria Correlation, CRITIC)、逼近理想解排序法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Point, TOPSIS)等。客观权重分配法的基本思路是:指标权重完全依靠决策数据及其分布特性,指标所对应的决策数据的离差越大,指标对评价结果的排序作用越大,指标权重也越大。

1.3 主客观组合权重分配法

主客观组合权重分配法是指综合利用决策者主观知识与经验和决策数据的客观事实确定指标权重。利用乘积法或加权求和法,可以将主观法和客观法得到的权重组合起来,构成综合权重,达到相互补充的目的。主客观组合权重分配方法包括:AHP-EW、FAHP-EW、FAHP-TOPSIS等。

1.4 OWA法

OWA法分3个步骤实现:①对决策数据进行由大到小排序;②根据决策者的态度构成权重;③采用简单加权平均聚合方法得到最终结果。指标权重

与指标类型和指标值都没有关系,但与决策数据的顺序有关。OWA 的优势在于,可以较好地表达诸如“绝大多数”、“至少”、“几乎”等语言谓词的语义,而这些语义在典型的主观和客观权重分配方法中难以实现。

上述 4 类权重分配方法的特性分析如表 1 所示。

表 1 权重分配方法的特性分析

Table 1 Characteristic analysis of weight allocation method

方法	信息来源	主观性	客观性	灵活性
主观法	决策者知识和经验	高	较低	较低
客观法	决策数据本身	较低	高	较低
组合法	主观与客观结合	较高	较高	较低
OWA 法	决策者的态度	低	低	高

由表 1 可以看出,主客观组合方法可以实现主观法和客观法的互补,整体具有较良好性能,在实际工程中得到普遍应用。OWA 在灵活性方面具有优势,而且能够更准确地表达决策者的态度,因此具有较强的应用潜力。主观法的特点是主观性强、客观性弱。客观法的特点是客观性强、主观性弱。

需要指出的是,主观权重分配的优势在于能够充分体现决策者的知识和经验,且指标权重不受被评价的电力通信网运行单位的数量影响,也不受指标值的影响,这样可以保证评价结果的公平性和评价标准的统一性。

2 电力通信网运行质量评价指标的权重分配

为了开展指标权重分配方法的研究,本文设计的评价流程如图 1 所示。

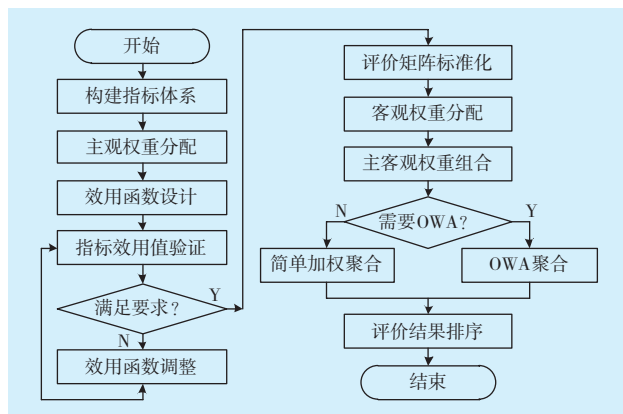


图 1 电力通信网运行质量评价流程

Fig.1 Operational quality evaluation process of power communication network

在图 1 所给出的评价流程中,与权重分配相关的环节包括:主观权重分配、客观权重分配、主客观权重组合以及 OWA 聚合。下面将重点对评价指标体系和 4 种权重分配方法进行描述。

2.1 评价指标体系

指标体系是电力通信网运行质量评价的主要方法。根据文献 [2] 提供的信息,本文建立了电力通信网运行质量评价指标体系(见图 2)。

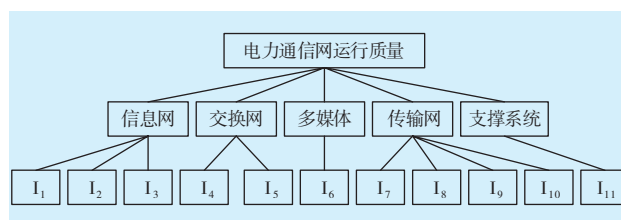


图 2 评价指标体系

Fig.2 Evaluation indicator system

图 2 给出的指标体系包含一级指标 5 项,二级指标 11 项,分别涵盖电力通信网的传输、交换、信息、多媒体和支撑系统等网络形态。评价指标主要包括:传输光缆、通信设备、网络节点、程控交换机、多媒体设备等网络要素。同时,还包括信息联网率、光纤覆盖率和通信设备监控率等网络状态指标。二级指标的相关说明如表 2 所示。

表 2 二级指标说明

Table 2 Description of secondary indicators

名称	类别	编码	单位	统计周期	效用区间
信息网节点平均不可用时长	信息网	-I ₁	min	月	[43,430]
营业所信息网联网率	信息网	+I ₂	%	月	[0.7,0.9]
变电站信息网联网率	信息网	+I ₃	%	月	[0.8,0.9]
调度交换机平均不可用时长	交换网	-I ₄	min	月	[4.3,43]
行政交换机平均不可用时长	交换网	-I ₅	min	月	[430,4 300]
多媒体设备平均不可用时长	多媒体	-I ₆	min	月	[43,430]
变电站光纤覆盖率	传输网	+I ₇	%	季	[0.8,0.9]
光缆段平均中断时长	传输网	-I ₈	min	月	[43,430]
通信设备平均不可用时长	传输网	-I ₉	min	月	[4.3,43]
通信业务平均中断时长	传输网	-I ₁₀	min	月	[0.4,4.3]
通信设备自动监控率	支撑系统	+I ₁₁	%	季	[0.6,0.9]

表 2 提供了评价指标的概述、类型、统计周期和效用区间等信息。对应指标编码前面的符号“+”和“-”,分别表示指标为效益型和成本型。其中,效用区间根据电力通信网运行统计经验确定,用来确

定指标效用函数的参数值,是指标值相对于评价目标表现出的效用灵敏区间。以指标“信息网节点平均不可用时长(I_1)”为例进行说明。该项指标属于成本型,其统计周期为1个月,近似为43 200 min。运行规程要求“信息网络节点的可用率不应低于99%”,由此确定,节点的平均不可用时长应小于432 min/月。若保证可用率高于99.9%,则意味着平均不可用时长小于43 min/月。由此定义:①当指标值每月小于43 min时,效用值大于0.9;②当指标值每月大于430 min时,效用值小于0.1。该指标的效用区间定义为[43,430]。同理,可以确定其他指标的效用区间,但要区分效益型指标和成本型指标。

2.2 评价矩阵标准化

为了消除评价指标不同量纲对评价过程造成的不可公度性,评价之前需要对评价矩阵进行标准化处理。本文采用“效用函数法”对评价矩阵进行标准化。

2.2.1 原始评价矩阵

设电力通信网运行质量评价矩阵表示为

$$E = \{x_{ij}\}_{m \times n} \quad (1)$$

式中, m 为参评的电力通信网运行单位数量, n 为评价指标数量(参见图2给出的指标体系); x_{ij} 表示第*i*个运行单位 A_i 在第*j*项评价指标 C_j 上表现出的性能, $i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n$ 。

2.2.2 效用函数变换后的评价矩阵

为了能够实现指标聚合,评价指标需要根据表2提供的信息进行效用函数的转换。设效用函数的通用表达式为:

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-a(x-b))} \quad (2)$$

式中, x 为评价指标的实际测量统计值,单位为min或%; a 和 b 分别为函数参数,可以由评价指标的效用区间来确定。若效用区间为 $[x_b, x_r]$,且 $f(x_b)=0.1$,则 a 、 b 分别为:

$$b = \frac{x_l + x_r}{2} \quad (3)$$

$$a = \frac{\ln 9}{b - x_l} \quad (4)$$

效益型指标的效用函数 $f_e(x)=f(x)$,成本型指标的效用函数 $f_c(x)=1-f_e(x)$ 。效用函数变换后的评价矩阵为:

$$E_u = \{y_{ij}\}_{m \times n} \quad (5)$$

2.3 指标权重分配

2.3.1 主观权重

本文采用FAHP法确定图2给出的评估指标体系一级指标和二级指标的主观权重,采用基于模糊一致性矩阵的FAHP^[19]。

模糊一致性矩阵采用0.5~0.95标度法进行赋值,矩阵元素 a_{ij} 的赋值规则如表3所示。

表3 模糊一致性矩阵赋值规则

Table 3 Fuzzy consistency matrix assignment rules

序号	规则	赋值
1	指标 <i>i</i> 与 <i>j</i> 同等重要	0.5
2	指标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 一般重要	0.6
3	指标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 明显重要	0.7
4	指标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 显著重要	0.8
5	指标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 特别重要	0.9
6	指标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 极端重要	0.95
7	其他重要	取(0.5, 0.95)中间值
8	不重要	$a_{ji}=1-a_{ij}$

当模糊一致性矩阵建立后,由文献[19]可知,指标权重可以按下式计算:

$$w_{si} = \frac{\sum_{j=1}^k a_{ij} + \frac{k}{2} - 1}{k(k-1)} (2a_{ii})^2 \quad (6)$$

式中, a_{ij} 为模糊一致性矩阵的元素, $i, j=1, 2, \dots, k$ 。但是,式(6)中的 w_{si} 需要进行如下归一化处理:

$$w_i = \frac{w_{si}}{\sum_{i=1}^k w_{si}} \quad (7)$$

式中, w_i 为第*i*项指标的归一化主观权重。

2.3.2 客观权重

本文采用熵权法确定指标的客观权重。首先对效用函数标准化后的评价矩阵 E_u 进行预处理,表达式为:

$$p_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^m d_{ij}} \quad (8)$$

然后,利用下式计算指标差异度:

$$W_{oj} = 1 + \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m [p_{ij} \ln(p_{ij})] \quad (9)$$

式中, W_{oj} 是第*j*项指标差异度量, p_{ij} 由式(8)确定。

最后,对 W_{oj} 归一化,即可得第*j*项指标的熵权:

$$\omega_j = \frac{W_{oj}}{\sum_{j=1}^n W_{oj}} \quad (10)$$

式中, ω_j 是第 j 项指标的归一化熵权。

2.3.3 组合权重

利用式(7)和式(10)分别计算得到主观和客观权重。设主观权重相量 $W_s=[w_1, w_2, \dots, w_m]$, 客观权重相量 $W_o=[\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m]$, 为了便于计算, 本文利用下式得到组合权重向量:

$$w_{bi} = \frac{w_i \cdot \omega_i}{W_s \cdot W_o^T}, i=1, 2, \dots, m \quad (11)$$

2.3.4 OWA 权重

如果评价过程希望表达“绝大多数指标占优则整体为优”的评价态度, 那么简单加权平均方法难以实现这一目的, 就应利用 OWA 聚合方法来实现。设 OWA 权重向量为:

$W_{OWA}=[0.154, 0.154, 0.153, 0.151, 0.145, 0.123, 0.077, 0.031, 0.009, 0.002, 0.001]$ 。

聚合函数为:

$$F_{wa}(D) = D \cdot W_{OWA}^T \quad (12)$$

式中, D 为标准化评价矩阵 E_U 经过降序按行排序以后的结果。

3 实例分析

设参评的电力通信网运行单位为 7 个, 分别表示为 A_1, A_2, \dots, A_7 。评价指标体系如图 2 所示, 其 11 项二级指标分别为 I_1, I_2, \dots, I_{11} 。构建原始评价矩阵, 结合表 2 确定的效用区间, 根据式(2)、(3)、(4), 得到效用函数矩阵 E_U , 该矩阵用于求解客观权重。

3.1 实例指标权重分配

3.1.1 主观权重分配

图 2 中的 5 项一级指标: 信息网、交换网、多媒体网、传输网和支撑系统, 分别表示成 F_1, F_2, \dots, F_5 , 通过 FAHP 方法对其进行权重分配。根据表 3 提供的赋值规则得到一级指标的模糊一致性矩阵, 然后再根据式(6)和式(7)得到主观权重(见表 4)。

同理, 通过构建模糊一致性矩阵计算得到二级指标的主观权重如表 5 所示。

综合考虑一级指标和二级指标, 评价指标的全局主观权重向量为:

$W_s=[0.101 \ 0, 0.026 \ 9, 0.056 \ 2, 0.143 \ 6, 0.095 \ 8, 0.104 \ 6, 0.034 \ 3, 0.086 \ 7, 0.109 \ 8, 0.142 \ 5, 0.098 \ 6]$ 。

表 4 一级指标的模糊一致性矩阵和主观权重

Table 4 Fuzzy consistency matrix and subjective weights for level 1 indicators

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	主观权重
F_1	0.50	0.45	0.60	0.35	0.60	0.184 1
F_2	0.55	0.50	0.65	0.40	0.70	0.239 4
F_3	0.40	0.35	0.50	0.25	0.55	0.104 6
F_4	0.65	0.60	0.75	0.50	0.80	0.373 3
F_5	0.40	0.30	0.45	0.20	0.50	0.098 6

表 5 二级指标主观权重

Table 5 Subjective weights of secondary indicators

二级指标	主观权重	二级指标	主观权重
I_1	0.548 7	I_7	0.092 0
I_2	0.146 0	I_8	0.232 2
I_3	0.305 3	I_9	0.294 1
I_4	0.6	I_{10}	0.381 7
I_5	0.6	I_{11}	1
I_6	1		

3.1.2 客观权重分配

根据式(8)、(9)、(10)可得到基于熵权法的客观权重向量。熵权向量为:

$W_o=[0.070 \ 1, 0.128 \ 5, 0.084 \ 3, 0.031 \ 1, 0.073 \ 6, 0.049 \ 5, 0.219 \ 4, 0.071 \ 5, 0.090 \ 2, 0.104 \ 1, 0.077 \ 8]$ 。

3.1.3 组合权重分配

根据式(11), 结合熵权重向量 W_o , 可得到组合权重向量为:

$W_B=[0.090 \ 6, 0.044 \ 3, 0.060 \ 7, 0.057 \ 1, 0.090 \ 3, 0.066 \ 2, 0.096 \ 4, 0.079 \ 4, 0.126 \ 9, 0.189 \ 9, 0.098 \ 2]$ 。

3.1.4 指标聚合

不同权重聚合后得到的排序结果如表 6 所示。

表 6 不同权重确定方法下的聚合结果

Table 6 Aggregation results under different weight determination methods

运行单位	FAHP	Entropy	COM	OWA
A_1	0.452	0.408	0.415	0.656
A_2	0.500	0.431	0.480	0.658
A_3	0.450	0.550	0.477	0.727
A_4	0.389	0.333	0.366	0.560
A_5	0.313	0.175	0.222	0.421
A_6	0.509	0.620	0.517	0.798
A_7	0.391	0.432	0.391	0.663

在表 6 中, FAHP 表示利用主观权重向量 W_s 对效用函数评价矩阵进行简单加权平均得到的评价结果, 结果为: $A_6 \succ A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_7 \succ A_4 \succ A_5$ 。

Entropy 表示利用熵权法权重向量 W_o 对效用函数评价矩阵进行简单加权平均得到的评价结果, 结果为: $A_6 \succ A_3 \succ A_7 \succ A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_5$ 。

COM 表示利用组合权重 W_B 对效用函数评价矩阵进行简单加权平均得到的评价结果, 结果为: $A_6 \succ A_2 \succ A_3 \succ A_1 \succ A_7 \succ A_4 \succ A_5$ 。

OWA 表示利用有序加权向量 W_{OWA} 对效用函数评价矩阵进行有序加权平均得到的评价结果, 结果为: $A_6 \succ A_3 \succ A_7 \succ A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_5$ 。

不同权重的排序结果如图 3 所示。

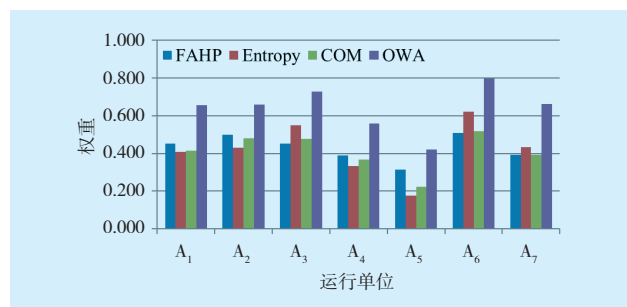


图 3 不同权重的排序结果

Fig.3 Sorting results with different weights

3.2 结果分析

根据图 3 所示结果对主观权重、客观权重、组合权重和 OWA 等不同方法的性质进行如下分析。

1) 评估结果排序。表 6 给出了 4 种权重分配方法的评价结果及其排序情况。结果表明, 指标权重的变化可能对排序的中间顺序有一定影响, 但整体排序规律影响不大。这说明评价矩阵的指标值在评估过程中起决定性作用。

2) 主观权重的应用。虽然主观权重仅与决策者的主观因素有关, 与指标的客观值无关, 但是, 主观权重分配方法能够充分表达领域专家的知识经验, 使权重分配更趋合理。当运行质量状态作为评价目标, 而不是把运行单位的排序作为主要决策依据时, 主观权重往往更加公平合理。

3) 客观权重的应用。客观权重仅与客观的指标取值有关, 与决策者的主观因素无关, 强调取值变化较大的指标的重要性。但是, 评价矩阵在进行标准化处理过程中, 会丢失部分绝对评价信息, 从而导致

公平性的丧失。因此, 客观权重适用于运行单位的排序, 不适用于质量等级的评价。另外, 当所有指标值的变化程度相等时, 指标的熵权值会近似相等, 等价于等权重的情形, 这会降低客观权重的作用。

4) 综合权重的应用。组合权重将主观和客观权重利用式(11)进行组合, 得到兼顾主客观性质的权重分配方法。理论上讲, 组合权重应该能够得到良好的效果。然而, 测试结果表明, 部分指标的综合权重既大于主观权重, 又大于客观权重, 如指标 I_9 、 I_{10} 的组合权重。这意味着, 在主观和客观上都不被认为重要的指标, 却在组合权重中成了重要指标。这是式(11)存在的问题。

5) OWA 的应用。OWA 采用有序加权聚合, 不是简单加权平均, 因此, OWA 得到的排序结果与前述几种加权方法的结果差别较大。然而, OWA 可以更全面地描述综合评价目的, 所以, OWA 可以作为主观和客观综合权重法的补充, 从另一个角度给出排序结果。

4 结语

本文分析了 4 种指标权重分配方法的特点, 并结合案例对不同权重分配方法的使用场景及作用效果进行了研究。

研究表明, 权重分配在一定程度上影响评价结果。当评价目的是公平评价电力通信网运行质量, 而不是强调评价结果排序时, 使用主观权重分配法更趋合理、简单和公平; 当评价目的是为了突出结果排序时, 使用客观权重分配法更科学和有效; 使用主观和客观综合法能有效结合专家经验及实际运行情况, 但是可能会导致个别指标权重偏离评价者的预期; OWA 采用有序加权聚合, 是对主观和客观权重分配法的补充, 并能表达评价者的态度。

参考文献:

- [1] DL/T 544——2012: 电力通信运行管理规程[S]. 2012.
- [2] Q/GDW 11180——2014: 国家电网公司统一统计指标体系规范[S]. 2014.
- [3] Q/GDW 1871.4——2014: 国家电网通信管理系统技术基础第 4 部分指标体系[S]. 2014.
- [4] 徐慧, 罗超, 刘志刚. 层次分析法评价指标筛选方法探讨[J]. 中国海上油气, 2007, 19(6): 415-418.

XU Hui, LUO Chao, LIU Zhigang. Discussion on screening

- method of evaluation index of analytic hierarchy process[J]. China Offshore Oil and Gas, 2007, 19(6): 415-418.
- [5] 张彩庆, 李祺. 电力稽查效益评价指标筛选方法[J]. 电力建设, 2014, 35(8): 140-144.
- ZHANG Caiqing, LI Qi. Screening method for power inspection efficiency evaluation index[J]. Electric Power Construction, 2014, 35(8): 140-144.
- [6] 张朝阳, 赵涛, 王春红. 基于粗糙集的属性约简方法在指标筛选中的应用[J]. 科技管理研究, 2009, 29(1): 78, 85.
- ZHANG Chaoyang, ZHAO Tao, WANG Chunhong. Application of attribute reduction method based on rough set in index screening[J]. Science and Technology Management Research, 2009, 29(1): 78, 85.
- [7] 谢迎军, 王玉亭, 李炜, 等. 电力企业通信网运行质量评估指标体系[J]. 中国电力, 2017, 50(10): 22-27.
- XIE Yingjun, WANG Yuting, LI Wei, et al. Indicator system for operation quality of electric power communication network[J]. Electric Power, 2017, 50(10): 22-27.
- [8] 耿亮, 刘柳, 金鹏, 等. 电力通信网综合评价指标体系建设与实证分析[J]. 电子技术应用, 2015, 41(12): 152-155.
- GENG Liang, LIU Liu, JIN Peng, et al. Construction and empirical analysis of comprehensive evaluation indicator system for power communication network[J]. Electronic Technology Application, 2015, 41(12): 152-155.
- [9] 刘军. 电力通信指标体系研究与设计[C]// 2016电力行业信息化年会论文集, 2016.
- [10] 施健, 刘益畅, 巢玉坚, 等. 电力通信指标体系研究[J]. 电力信息与通信技术, 2013, 11(12): 16-21.
- SHI Jian, LIU Yichang, CHAO Yujian, et al. Research on power communication indicator system[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2013, 11(12): 16-21.
- [11] 樊秀娟, 袁兆君, 广泽品. 基于多策略均衡的电力通信传输网运行状态评估方法研究[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(10): 109-113.
- FAN Xiujuan, YUAN Zhaojun, GUANG Zejing. Research on operation state evaluation method of power communication transmission network based on multi-strategy equalization[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2017, 15(10): 109-113.
- [12] GOYAL R K, KAUSHAL S, SANGAIAH A K. The utility based non-linear fuzzy AHP optimization model for network selection in heterogeneous wireless networks[C]// IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) held as part of IEEE World Congress on Computational Intelligence (IEEE WCCI), 2016.
- [13] CHIN K S, CHAO F U, WANG Y M. A method of determining attribute weights in evidential reasoning approach based on incompatibility among attributes[J]. Computers & Industrial Engineering, 2015(87): 150-162.
- [14] ZHOU M, LIU X B, YANG J B, et al. Evidential reasoning approach with multiple kinds of attributes and entropy-based weight assignment[J]. Knowledge-Based Systems, 2019(163): 358-375.
- [15] WANG B H, ZHANG S. A subjective and objective integration approach of determining weights for trustworthy measurement[J]. IEEE Access, 2018(6): 25829-25835.
- [16] HATEF I, MOHAMMAD A. Indifference threshold-based attribute ratio analysis: a method for assigning the weights to the attributes in multiple attribute decision making[J]. Applied Soft Computing, 2012(2): 1929-1938.
- [17] FU C, XU D L, XUE M. Determining attribute weights for multiple attribute decision analysis with discriminating power in belief distributions[J]. Knowledge-Based Systems, 2018(143): 127-141.
- [18] YAGER R R. Categorization in multi-criteria decision making[J]. Information Sciences, 2018(460): 416-423.
- [19] YU H W, ZHANG B. A hybrid MADM algorithm based on attribute weight and utility value for heterogeneous network selection[J]. Journal of Network and Systems Management, 2018(72): 68-80.

编辑 张钦芝

收稿日期: 2019-01-18



徐昊亮

作者简介:

徐昊亮(1981-),男,高级工程师,从事通信与智能化规划、智能电网技术研究工作;

彭玲艳(1995-),女,硕士研究生,从事电力通信网运行质量评价技术的研究工作, 2535616797@qq.com;

王鹏善(1981-),男,助理工程师,从事电力系统自动化方面的研究工作;

程紫运(1992-),女,工程师,从事通信与智能化规划技术的研究工作;

靳攀润(1985-),男,工程师,从事通信与智能化规划技术的研究工作。