

云检验环境下基于前景理论的电网物资供应商评价与优选

熊汉武¹, 樊炜¹, 牛艳召¹, 曾思成², 王玲³, 龚承柱^{3*}

(1. 国家电网有限公司物资部, 北京市 西城区 100031;

2. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192;

3. 中国地质大学(武汉)经济管理学院, 湖北省 武汉市 430074)

Evaluation and Optimal Selection of Power Grid Material Suppliers Based on Prospect Theory Under Cloud Inspection Environment

XIONG Hanwu¹, FAN Wei¹, NIU Yanzhao¹, ZENG Sicheng², WANG Ling³, GONG Chengzhu^{3*}

(1. Material Department, State Grid Corporation of China, Xicheng District, Beijing 100031, China;

2. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;

3. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei Province, China)

Abstract: The material department of State Grid Corporation of China has controlled the supply chain flow of power grid through the cloud inspection system of materials quality supervision and evaluation. In the cloud inspection environment, the information of power grid material suppliers demonstrates the characteristics of large quantity of resources, asymmetric semantic information, diversification and ambiguity of information, and the material department hopes to independently select the matching results. This paper defines the construction principle of supplier qualification and ability evaluation indicator system, and further forming and analyzing the qualification and ability evaluation index system of grid power material suppliers. Based on the prospect theory, the supplier qualification ability evaluation is modeled and analyzed, and the schemes are sorted according to the comprehensive prospect value. Finally, taking the power distribution transformer supplier as an example, the proposed evaluation model is detailedly calculated and the evaluation results are deep-going analyzed, which shows the feasibility and effectiveness of the proposed method in the power grid material cloud inspection environment.

Keywords: cloud inspection; power grid material supplier; prospect theory; evaluation and optimal selection

摘要: 电网物资部通过云检验质量监督评价体系实现对电

网物资供应链流程的掌控。在云检验环境下, 由于供应商信息具有资源数量大、语义信息不对称、信息多样化和模糊化的特点, 电网物资部希望可以自主选择匹配结果。首先明确供应商资质能力评价原则, 构建电网物资供应商资质能力评价指标体系; 然后采用前景理论, 对包含多类型信息的物资供应商进行综合评价, 并依据综合前景值对物资供应商进行评价与优选; 最后在电网物资云检验环境下, 以配电变压器供应商为例, 测算评价模型, 分析评价结果, 表明了该方法的可行性与有效性。

关键词: 云检验; 电网物资供应商; 前景理论; 评价与优选

0 引言

以大数据、云计算等网络信息技术为依托的云检验质量监督评价体系是国家电网有限公司物资部为响应2020年习近平总书记提出的以“新基建”为支撑, 建设数字经济, 尽快实现能源互联网, 促进实现“双碳”目标的重要举措^[1]。以往电网物资供应商选择模式存在选择范围窄、信息不对称、流程冗杂、选择周期长等局限性。由于缺乏科学的供应商选择评价方法, 评级指标选择不够合理, 可操作性不强, 大多只能凭经验判断, 使其效果未能达到要求。供应商选择是公司供应商进行综合评价的过程, 是一个复杂的、面向应用的多目标决策问题^[2]。国家电网物资部云检验系统通过建设一站式供应链服务平台“e链国网”和供应链管理平台“五E一中心”, 实现对物资供

基金项目: 国家电网有限公司管理咨询项目“云检验质量监督评价体系研究”(SGZB0000WZWT2100859)。

Management Consulting Project of State Grid Corporation of China “Cloud Inspection System of Materials Quality Supervision and Evaluation” (SGZB0000WZWT2100859).

供应商信息的可视化与高度共享,极大改进了传统选择模式。但是在云检验环境下,供应商资源的多样性、复杂性和模糊性也给供应商选择带来了新的难题。因此,如何在云检验环境下,更加科学合理地评估、选择和优化电网物资供应商,是电网物资部门面临的迫切问题。

目前,物资供应商评价与优选的相关研究主要包括两方面:评价标准如何确定和评价方法的适应性。在评价标准如何确定的问题上,Dickson^[3]通过调查,确定了多个不同的标准,包括物资供应质量、供应准时率、价格、口碑、售后服务、技术能力等方面,其中前三个标准最为通用,已在大多数物资供应商选择问题上得到应用。随着“精益物流、供应链管理、供应链协调”等管理目标成为企业关注的焦点,学者开展了有针对性的评价指标研究。黄瀚等^[4]认为,在“精益物流”目标下,物资供应商评价指标应该涵盖“质量、成本、效率、服务、合作”五大方面。钟谨贵等^[5]研究了第三方物流供应商选择评价方法,包括“物流成本、运输时效、顾客满意度、合作紧密程度、附加增值服务、报关与清关能力、企业信誉”7个指标。在应急物资供应方面,曾凡龙等^[6]将“产品价格、供应能力、配送时间、产品品质”作为供应商的评价指标。上述研究表明,“价格、质量、交货、服务”可以作为评价供应商的关键因素,本研究也将基于此,构建电网物资供应商评价指标体系。

在决策方法方面,早期的研究采用了一些经典方法来解决供应商选择问题,这些方法具有清晰的数值评估信息,例如AHP(analytic hierarchy process)、ANP(analytic network process)和TOPSIS(technique for order preference by similarity to an ideal solution)等方法。其中,AHP首先由Saaty^[7]提出,并应用于决策领域;Abdollahi等^[8]将ANP方法应用于供应商选择问题。此外,国内一些学者采用熵值法和TOPSIS方法进行供应商选择,例如王春红等^[9]采用基于前景理论-TOPSIS方法来选择装配式建筑PC构件供应商。然而,随着决策问题复杂性增加,决策信息越来越模糊。Pedrycz等^[10-11]认为语言变量适合描述定量评估信息,通过将语言变量转换为三角模糊数,提出了许多模糊决策方法。Hashemian等^[12]和Lee等^[13]通过模糊AHP推导出矩阵标准权重,采用模糊PROMETHEE(集中评价的偏好排序组织方法)和模糊TOPSIS进行供应商质量排序。Tirkolaee等^[14]基于模糊决策和多目标规划构建了在两级供应链

中选择供应商的可持续和可靠的新方法。Karsak等^[15]使用客观权重,应用数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)进行供应商排名。乌云娜^[16]、尤筱玥^[17]、王鲁萍^[18]等运用折衷排序法(VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, VIKOR)分别建立评价指标值为梯形模糊数、三角模糊数、犹豫模糊数、语义变量的供应商选择模型。

虽然以往的评价与决策方法可以应用于电网物资供应商选择问题,但仍存在一些不足,例如:在供应商评价指标体系设计上,指标类型单一,难以多层次展示评价指标的多样性;在评价方法中,难以同时平衡供应商的质量和决策者偏好。因此,针对上述问题,本文在电网物资云检验环境以及混合型评价指标体系下,提出了一种基于前景理论的评价与优选方法。该方法通过电网物资云检验系统,挖掘电网物资供应商多种类型信息,根据决策者给出的各种属性的决策偏好(参考点),将获得的各种信息转化为决策偏好的盈亏决策矩阵,然后采用交叉循环迭代法求解变量模糊识别模型,得到各个物资供应商和决策偏好的最优隶属度和权重向量。最后,结合前景值和隶属度,综合得出各个供应商的综合前景值,从而对供应商进行评价和优选。

1 问题描述及评价指标

1.1 问题描述

为提升电网物资供应系统智能化水平,国家电网物资部目前已建立电网物资云检验平台,其核心业务流程如图1所示。在电网物资云检验平台“五E一中心”的支撑下,电网物资部门构建供应商全息多维评价业务管理体系,由供应链运营中心(electronic supply chain, ESC)具体实施。各专业管理人员通过手机端对供应商履约质效进行实时评价,数据同步至电子商务平台(e-commerce platform, ECP);ESC通过全业务统一数据中心将供应商工商、司法等外部信用信息推送至ECP;ESC通过全业务统一数据中心自动获取ECP、企业资源计划(enterprise resource planning, ERP)、生产调度平台(manufacture scheduling platform, MDS)、生产管理系统(power production management system, PMS)等平台的各维度数据,根据评价模型自动计算分析,形成供应商评价得分、分类等级、全息画像等成果,评价结果共享共用,为招标采购提供数据支撑。物资质量监督工作

通过一体化平台运行, 打破各专业条块界限, 促进业务融合, 不仅提供物资供应商的基础信息, 还可以提供经过信息处理后的供应商信息。

1.2 评价指标

电网物资供应商的评价指标需要基于“体系全面性、科学简明性、可比稳定性和操作灵活性”的原则进行综合考虑。在云检验环境下, 由于物资供应商信息

来源多样, 本文构建的电网物资供应商评价体系包括2级, 一级指标反映供应商的基础能力、过程管控、产品质量和服务支撑4个层面, 然后对4个一级指标进一步细化, 最终得到10个二级指标, 其中指标类型包括语义短语、精确数和区间数, 指标数据主要来自电网物资部的云检验系统, 部分是原始数据, 部分是基于原始数据通过公式计算得到, 还有一些是专家打分得到。具体的电网物资供应商评价体系如表1所示。

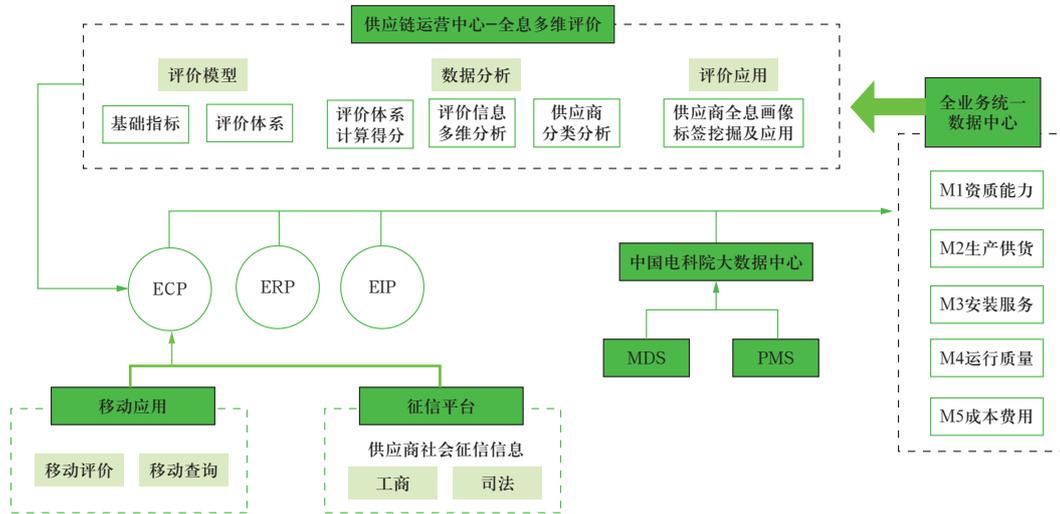


图 1 电网物资云检验平台

Fig. 1 Cloud inspection platform for power grid materials

表 1 电网物资供应商资质能力评价体系

Table 1 Evaluation system for power grid material suppliers

一级指标	二级指标	指标描述	指标类型	数据来源
基础能力	企业信誉	按照供应商相应资信等级赋值	语义短语	原始数据
	研发设计	供应商每年研发费用占总支出的比例	精确数	公式计算
	既有业绩	每年为电网企业供应的配电变压器数量	精确数	原始数据
过程管控	工艺控制	生产设备机械化、信息一体化程度	语义短语	专家打分
	监造配合度	供应商在监造过程中的配合程度	语义短语	专家打分
产品质量	合格性	物资到货进行抽检时的合格率	精确数	公式计算
	稳定性	配电变压器出厂试验时一次性通过率	精确数	公式计算
	运行故障率	使用过程中发生故障的台数与供货台数的比值	精确数	公式计算
服务支撑	履约配合度	用户对于整个过程的满意程度	语义短语	专家打分
	故障保障度	配电变压器从出现故障到重新正常运行的时间	区间数	原始数据

2 评价与优选方法

根据电网物资供应商评价体系,可以发现电网物资部的预期和评价供应商的属性值通常有精确数、区间数和语义短语3种形态,不失一般性,本文构建混合型多属性评价和优选问题。物资供应商集为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m\}$, 各个指标属性集为 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_n\}$, 由供应商集和指标属性集形成决策矩阵为 $B = [B_{ij}]_{m \times n}$, 根据已知信息和对未来的期望,电网物资部给出了关于属性的期望向量 $E = \{E_1, E_2, \dots, E_j, \dots, E_n\}$ 。上文中: A_i 为第 i 个候选供应商; C_j 为第 j 个属性; B_{ij} 为第 i 个候选供应商的第 j 个属性值,属性之间相互独立。

为了匹配电网物资评价指标体系,把指标属性分为精确数、区间数和语义短语(比如“优、良、劣”)3种类型,依次用 C^N 、 C^I 、 C^L 表示,且 $C^N \cup C^I \cup C^L = C$ 。各类指标属性特征如下。

1) 当属性 $C_j \in C^N$ 时, $C_j = B_j$, 其中 B_j 是实数型数值,一般假定 $B_j \geq 0$;

2) 当属性 $C_j \in C^I$ 时, $C_j = [B_j^L, B_j^U]$, 其中 B_j^L 、 B_j^U 是实数型数值,一般假定 $B_j^U \geq B_j^L \geq 0$;

3) 当属性 $C_j \in C^L$ 时, $C_j = B_j$, 其中 $B_j \in S$ 。 S 为提前设定的语义状态集,即 $S = \{S_f | f = 0, 1, \dots, (T/2) - 1, T/2, (T/2) + 1, \dots, T\}$, 其中 S_f 表示 S 中第 $f+1$ 个语义语言,当 T 为偶数时, S 包含 $T+1$ 个元素。当 $T=6$ 时, $S = \{S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$, 顺次对应“非常差、差、较差、中、较好、好、非常好”7个状态,即 $S = \{VP, P, MP, M, MG, G, VG\}$ 。 S 作为语义状态集,有如下3个性质: ①有序性,当 $f > g$ 时, $S_f > S_g$, 即状态 S_f 优于状态 S_g ; ②存在逆运算“neg”,当 $g = T - f$ 时, $S_g = \text{neg}(S_f)$; ③极值运算,当 $S_f > S_g$ 时,有 $\max\{S_f, S_g\} = S_f$, $\min\{S_f, S_g\} = S_g$ 。对于语义短语的处理和计算,本文将语言转换成对应的三角模糊数,假如 $C_j = S_f$, 则:

$$C_j = (\max\{(f-1)/T, 0\}, f/T, \max\{(f+1)/T, 1\}) \quad (1)$$

各个属性的期望向量 $E = \{E_1, E_2, \dots, E_j, \dots, E_n\}$ 可看作参照点,将参照点设定为期望向量更符合前景理论的特征。本文要解决的问题是,在已知决策者的期望向量 E 和最初决策矩阵 $B = [B_{ij}]_{m \times n}$ 的情况下,通过可变模糊识别模型和前景理论计算电网物资部的隶属度、各个属性的权重向量和前景决策矩阵,采用隶属度和前景理论,对电网物资供应商进行多角度评价和优选。

2.1 数据规范化处理

各个属性变量在混合型多属性问题中可区分为成本型变量和收益型变量,其集合分别记作 C_C 和 C_B ,前者越小越有利,后者越大越有利,并通过规范化处理期望向量和决策矩阵,消除不同物理量纲对决策结果的影响。令 $M = \{1, 2, \dots, i, \dots, m\}$, $N = \{1, 2, \dots, j, \dots, n\}$, 属性属于不同类别,不能直接测算,其规范化处理方式如下。

1) 当属性 $C_j \in C^N$ 、 $i \in M$ 时,记 $P_j^+ = \max\{\max\{B_{ij}\}, E_j\}$, $P_j^- = \min\{\min\{B_{ij}\}, E_j\}$, 规范化计算公式为

$$E_j' = \begin{cases} (E_j - P_j^-) / (P_j^+ - P_j^-), & j \in C_C \\ (P_j^+ - E_j) / (P_j^+ - P_j^-), & j \in C_B \end{cases} \quad (2)$$

$$B_{ij}' = \begin{cases} (B_{ij} - P_j^-) / (P_j^+ - P_j^-), & j \in C_C \\ (P_j^+ - B_{ij}) / (P_j^+ - P_j^-), & j \in C_B \end{cases} \quad (3)$$

2) 当属性 $C_j \in C^I$ 、 $i \in M$ 时,记 $P_j^+ = \max\{\max\{B_{ij}^U\}, E_j^U\}$, $P_j^- = \min\{\min\{B_{ij}^L\}, E_j^L\}$, 规范化计算公式为

$$[E_j^L, E_j^U] = \begin{cases} [(E_j^L - P_j^L) / (P_j^U - P_j^L), \\ (E_j^U - P_j^L) / (P_j^U - P_j^L)], & j \in C_C \\ [(P_j^U - E_j^U) / (P_j^U - P_j^L), \\ (P_j^U - E_j^L) / (P_j^U - P_j^L)], & j \in C_B \end{cases} \quad (4)$$

$$[B_{ij}^L, B_{ij}^U] = \begin{cases} [(B_{ij}^L - P_j^L) / (P_j^U - P_j^L), \\ (B_{ij}^U - P_j^L) / (P_j^U - P_j^L)], & j \in C_C \\ [(P_j^U - B_{ij}^U) / (P_j^U - P_j^L), \\ (P_j^U - B_{ij}^L) / (P_j^U - P_j^L)], & j \in C_B \end{cases} \quad (5)$$

3) 当属性 $C_j \in C^L$ 、 $i \in M$ 时,将 E_j 和 B_{ij} 通过式(1)转换成对应的三角模糊数。

规范化处理数据后得到期望向量为 $E' = \{E_1', E_2', \dots, E_j', \dots, E_n'\}$, 决策矩阵为 $B' = [B_{ij}']_{m \times n}$ 。

2.2 确定前景决策矩阵

基于前景理论,决策层需要通过参考点来测算出不同物资供应商属性的“收益”或者“损失”。这里采用欧氏距离方法,将物资供应商的属性值 B_{ij}' 与期望属性 E_j' 进行比较,从而确定前景决策矩阵 $V = [V_{ij}]_{m \times n}$ 。由于属性的不同,比较方式也不同,具体如下。

1) 当属性 $C_j \in C^N$ 时,直接比较 B_{ij}' 与 E_j' 的大小。

2) 当属性 $C_j \in C^1$ 时, 记 $S(\bar{B}_{ij}) = (B_{ij}^L + B_{ij}^U) / 2$, $S(\bar{E}_j) = (E_j^L + E_j^U) / 2$, $K(\bar{B}_{ij}) = (B_{ij}^U - B_{ij}^L)$ 和 $K(\bar{E}_j) = (E_j^U - E_j^L)$ 。当 $S(\bar{B}_{ij}) \neq S(\bar{E}_j)$ 时, 若 $S(\bar{B}_{ij}) > S(\bar{E}_j)$, 则 $B_{ij}' > E_j'$; 若 $S(\bar{B}_{ij}) < S(\bar{E}_j)$, 则 $B_{ij}' < E_j'$ 。当 $S(\bar{B}_{ij}) = S(\bar{E}_j)$ 时, 若 $K(\bar{B}_{ij}) < K(\bar{E}_j)$, 则 $B_{ij}' > E_j'$; 若 $K(\bar{B}_{ij}) = K(\bar{E}_j)$, 则 $B_{ij}' = E_j'$; 若 $S(\bar{B}_{ij}) > S(\bar{E}_j)$, 则 $B_{ij}' < E_j'$ 。

3) 当属性 $C_j \in C^L$ 时, 若 $B_{ij}' > E_j'$, 则 $B_{ij}' > E_j'$; 若 $B_{ij}' < E_j'$, 则 $B_{ij}' < E_j'$; 否则相等。

根据上述规则, 当 $i \in M$ 时, 欧氏距离 D_{ij} 的计算公式为

$$D_{ij} = \begin{cases} |B_{ij}' - E_j'| & , j \in C^N \\ \sqrt{[(B_{ij}^L - E_j^L)^2 + (B_{ij}^U - E_j^U)^2] / 2} & , j \in C^1 \\ \sqrt{[(B_{ij}^L - E_j^L)^2 + (B_{ij}^M - E_j^M)^2 + (B_{ij}^U - E_j^U)^2] / 3} & , j \in C^L \end{cases} \quad (6)$$

进一步, 通过比较 B_{ij}' 与 E_j' , 确定物资供应商的属性对于期望的“收益”或“损失”。由于决策层在“收益”和“损失”上存在不同风险偏好^[19], 可以进一步建立前景决策矩阵 $V = [V(B_{ij})]_{m \times n}$, 其中 $V(B_{ij})$ 表示第 i 个供应商的第 j 个属性前景值, 其计算公式为

$$V(B_{ij}) = \begin{cases} (D_{ij})^\alpha & , B_{ij}' \geq E_j' \\ -\theta(-D_{ij})^\beta & , B_{ij}' < E_j' \end{cases} \quad (7)$$

式中: 参数 α 和 β 表示 $V(B_{ij})$ 的凹凸程度, 且 $0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1$; θ 表示决策者损失厌恶水平, 且 $\theta > 1$ 。

2.3 确定权重和隶属度

前文已构造出前景决策矩阵, 可以计算供应商每个属性的前景值。为了确定供应商的累积前景值, 必须确定属性权重, 只有在同一个属性权重下, 各个供应商才能进一步相互比较。根据式 (6) 提出的欧氏距离 D_{ij} 的计算方法, 可知 $D_{ij} \in [0, 1]$ 。当 $D_{ij} \rightarrow 0$ 时, 说明第 i 个供应商的第 j 个属性与决策者第 j 个属性的期望差距相对较小; 当 $D_{ij} \rightarrow 1$ 时, 说明第 i 个供应商的第 j 个属性与决策者第 j 个属性的期望差距相对较大。根据上述特征, 构造两极对立模糊模式识别中心, 判别各供应商与决策者期望之间的隶属度, 以及最优属性权重。首先, 构建各个属性的对立模式识别中心矩阵 $V_c = [v_{hj}]_{2 \times n}$, 其中 h 取值 1 或 2。当 $h = 1$ 时, 表示处于最优模式, 对应的 $v_{1j} = 0$; 当 $h = 2$ 时, 表示处于最劣模式, 对应的 $v_{2j} = 1$ 。显然, 当 $D_{ij} \rightarrow 0$, 越靠近最优模式; 相反, 当 $D_{ij} \rightarrow 1$, 越靠近最劣模式。然后, 构造供应商隶属度矩阵 $U = [u_{hi}]_{2 \times m}$, 其中 u_{hi} 表示第 i 个供应商与 2 个对立模式中心的隶属度, 由于模

式中心对立, 因此满足 $u_{2i} = 1 - u_{1i}$ 。假设各个属性的权重为 w_j , 根据各个供应商与决策者期望的欧氏距离 D_{ij} , 令 $r_{ij} = D_{ij}$, 可以进一步计算各个供应商与对立模式中心的广义加权欧氏距离 $f_i(u, w)$ 如下:

$$f_i(u, w) = \left\{ \sum_{h=1}^2 u_{hi} \sqrt{\sum_{j=1}^n [w_j (r_{ij} - v_{hj})]^2} \right\}^2 = \sum_{h=1}^2 \left\{ u_{hi}^2 \sum_{j=1}^n [w_j (r_{ij} - v_{hj})]^2 \right\} \quad (8)$$

显然, 若 $f_i(u, w)$ 越小, 物资供应商 i 与期望目标的距离越近, 即对期望向量的识别越优。设定 $F(u, w)$ 为物资供应商集中各个供应商与所有参照点的差异, 则 $F(u, w) = [f_1(u, w), f_2(u, w), \dots, f_m(u, w)]$ 。由于各个供应商之间是独立且平等的关系, 建立优化模型如下:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m f_i(u, w) = \sum_{i=1}^m \sum_{h=1}^2 \left(u_{hi}^2 \sum_{j=1}^n [w_j (r_{ij} - v_{hj})]^2 \right) \quad (9)$$

满足约束条件:

$$\sum_{h=1}^2 u_{hi} = 1, \sum_{j=1}^n w_j = 1, 0 \leq u_{hi} \leq 1, 0 \leq w_j \leq 1 \quad (10)$$

针对该目标优化问题, 构造拉格朗日松弛函数:

$$L(u, w, \lambda_u, \lambda_w) = \sum_{i=1}^m \sum_{h=1}^2 \left(u_{hi}^2 \sum_{j=1}^n [w_j (r_{ij} - v_{hj})]^2 \right) - \lambda_u (\sum_{h=1}^2 u_{hi} - 1) - \lambda_w (\sum_{j=1}^n w_j - 1) \quad (11)$$

令 $\partial L / \partial u = 0$, $\partial L / \partial w = 0$, $\partial L / \partial \lambda_u = 0$, $\partial L / \partial \lambda_w = 0$, 得:

$$u_{hi} = \left\{ \sum_{k=1}^2 \left[\frac{\sum_{j=1}^n [w_j (r_{ij} - v_{jh})]^2}{\sum_{j=1}^n [w_j (r_{ij} - v_{jk})]^2} \right] \right\}^{-1} \quad (12)$$

$$w_j = \left\{ \sum_{k=1}^2 \left[\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{h=1}^2 [u_{hi} (r_{ij} - v_{jh})]^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{h=1}^2 [u_{hi} (r_{ik} - v_{kh})]^2} \right] \right\}^{-1} \quad (13)$$

式 (12) 和 (13) 给出了 u_{hi} 和 w_j 的计算方法, 因为模型的复杂多变性, 式 (12) 和 (13) 采用梯度下降法难以迭代求解^[20]。本文采用可变模糊模式识别模型中的循环迭代方法^[21]来求解最优隶属度矩阵 u_{hi}^* 和权重向量 w^* , 步骤如下:

- 1) 设定 w 的迭代精度 ε , 通常设定 $\varepsilon = 0.0001$;
- 2) 初始权重向量随机取值 $w^0 = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 要求 $w_j \geq 0$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$;
- 3) 将 w^0 代入式 (12), 解得相应的初始矩阵 u_{hi}^0 ;

4) 将矩阵 u_{hi}^0 代入式 (13), 求解向量 w^1 ;

5) 比较 w^1 与 w^0 , 若 $\max |w^1 - w^0| < \varepsilon$, 则停止迭代, 得到最终结果; 否则, 继续输入权重 w^1 进行循环迭代, 直至达到迭代精度后, 退出循环。

在迭代求解过程中, 由于模型的合理性和收敛性已经在理论上得到了证明^[20], 因此权重向量 w 既是变量又是已知的, 则交叉迭代过程结束得到的就是最优隶属度矩阵 u_{hi}^* 和最优属性权重向量 w^* 。最优隶属度矩阵 u_{hi}^* 中, 当 $h=1$ 时, 代表各个供应商与辨识中心最优集之间的隶属关系, 可记作 $U(A_i)$ 。

2.4 排序与优选

在前景理论中, 可根据前景决策矩阵判断各个供应商的属性值属于“收益”或是“损失”。这里采用可变模糊迭代中求得的权重向量 $w^* = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n)$, 根据累积前景理论^[22], 各个物资供应商的累积前景值 $P(A_i)$ 计算如下:

$$P(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j V(b_{ij}), \quad i \in M \quad (14)$$

如果通过累积前景值判断供应商的优劣, 则 $P(A_i)$ 越大, 物资供应商 A_i 越好; 如果通过物资供应商的隶属度判断, 则 $U(A_i)$ 越大, 物资供应商 A_i 越好。当前大多数研究仅单方面根据前景值或隶属度进行评价与优选^[15], 但两者实际上是从2个维度来判断物资供应商与决策者预期的关系, 评价结果取决于决策者的风险偏好。如果供应商 A_i 的累积前景值较大, 隶属度较低, 说明供应商 A_i 前景较优, 但与决策期望偏差较大, 供应商 A_i 不是最优的。若供应商 A_i 的累积前景值较低, 但隶属度较高, 表明供应商 A_i 虽然比较接近决策期望, 但前景较差, 供应商 A_i 同样不是最优的。当且仅当供应商 A_i 的累积前景值越大, 且隶属度越高, 供应商 A_i 越优。因此, 本文为更精确和全面地对各个供应商进行排序和优选, 将各个供应商的累积前景值

和隶属度综合考虑, 即提出综合前景值 $R(A_i)$, 其取决于各个供应商的累积前景值 $P(A_i)$ 和隶属度 $U(A_i)$, 计算方法为

$$R(A_i) = \begin{cases} U(A_i)P(A_i) & , P(A_i) \geq 0 \\ U(A_i)[1 - P(A_i)] & , P(A_i) < 0 \end{cases} \quad (15)$$

式 (15) 体现了 $P(A_i)$ 不同正负取值对于综合前景值的影响。根据综合前景值 $R(A_i)$, 可以更好地对电网物资供应商进行评价和优选。

3 应用分析

考虑物资部 X 的配电变压器供应商遴选问题。目前存在5个供应商 $\{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$ 可供选择, 需要考虑10个属性 $C_1 \sim C_{10}$, 分别为 C_1 : 研发费用占比, %; C_2 : 产品抽检合格率, %; C_3 : 出厂试验一次性通过率, %; C_4 : 运行故障率, %; C_5 : 年度供货量, 万台; C_6 : 故障恢复时间, min; C_7 : 信誉水平; C_8 : 企业信息化程度; C_9 : 监造配合度; C_{10} : 用户满意度。其中信誉水平按照供应商相应资信等级赋值, 企业信息化程度主要包括供应商的生产设备机械化、信息一体化程度, 监造配合度是指供应商在监造过程中的配合程度, 用户满意度是指电网公司对于整个供应过程的满意程度。其中 $C_1 \sim C_4$ 是精确数类型, $C_5 \sim C_6$ 是区间数类型, $C_7 \sim C_{10}$ 是语义短语类型。基于电网物资部云检验数据, 通过电网物资部在过去对变压器供应商期望的考虑, X 公司决策者提出了期望目标, 转化成期望向量为

$$E = \{ [0.04, 0.05], [0.94, 1], [0.9, 1], [0.03, 0.05], [16, 18], [15, 20], G, MG, G, MG \} \quad (16)$$

利用本文提出的方法对变压器供应商进行评价与优选。首先, 根据式 (1) 处理不同类型信息, 得到初始决策矩阵如表2所示。然后按照式 (2) - (5), 规范化处理决策者期望和初始决策矩阵, 结果如表3所示。

表2 具有不同信息类型的初始决策矩阵
Table 2 Initial evaluation data with different information types

属性 供应商	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A_1	0.04	0.9	0.88	0.05	[15,16]	[15,20]	MG	P	MG	M
A_2	0.03	0.92	0.93	0.038	[12,14]	[17,25]	M	M	M	M
A_3	0.045	0.95	0.95	0.045	[18,20]	[10,15]	G	MG	MG	G
A_4	0.042	0.96	0.96	0.06	[16.5,19]	[25,30]	MG	M	M	MG
A_5	0.035	0.92	0.92	0.04	[15,16.5]	[18,25]	M	MG	G	MG

表 3 数据规范化后的期望向量与决策数据
Table 3 Evaluation data after standardized processing

D_{ij}	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A_1	(0.5,0.5)	(0.00,0.00)	(0.20,0.20)	(0.33,0.33)	(0.38,0.50)	(0.50,0.75)	(0.50,0.67,0.83)	(0.17,0.33,0.50)	(0.5,0.67,0.83)	(0.33,0.50,0.67)
A_2	(0.00,0.00)	(0.20,0.20)	(0.53,0.53)	(0.73,0.73)	(0.00,0.25)	(0.25,0.65)	(0.33,0.50,0.67)	(0.33,0.50,0.67)	(0.33,0.50,0.67)	(0.33,0.50,0.67)
A_3	(0.75,0.75)	(0.50,0.50)	(0.67,0.67)	(0.50,0.50)	(0.75,1.00)	(0.75,1.00)	(0.67,0.83,1.00)	(0.5,0.67,0.83)	(0.5,0.67,0.83)	(0.67,0.83,1)
A_4	(0.60,0.60)	(0.60,0.60)	(0.33,0.33)	(0.00,0.00)	(0.56,0.88)	(0.00,0.25)	(0.50,0.67,0.83)	(0.33,0.50,0.67)	(0.33,0.50,0.67)	(0.5,0.67,0.83)
A_5	(0.25,0.25)	(0.20,0.20)	(0.00,0.00)	(0.67,0.67)	(0.38,0.56)	(0.25,0.60)	(0.33,0.50,0.67)	(0.5,0.67,0.83)	(0.67,0.83,1.00)	(0.5,0.67,0.83)

根据式 (6) 和表3中的数据, 计算各个物资供应商与决策层期望向量之间的欧氏距离, 结果如表4所示。

表 4 各供应商与期望向量之间的距离矩阵
Table 4 Euclidean distance between each supplier and expectation

D_{ij}	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A_1	0.353 6	0.761 6	0.573 1	0.473 8	0.197 6	0.000 0	0.166 7	0.333 4	0.166 7	0.333 4
A_2	0.790 6	0.583 1	0.361 2	0.341 8	0.500 0	0.190 4	0.333 4	0.166 7	0.333 4	0.333 4
A_3	0.250 0	0.360 6	0.335 0	0.373 4	0.250 0	0.250 0	0.000 0	0.000 0	0.166 7	0.000 0
A_4	0.291 5	0.316 2	0.473 8	0.744 6	0.098 8	0.500 0	0.166 7	0.166 7	0.333 4	0.166 7
A_5	0.559 0	0.583 1	0.744 6	0.335 0	0.159 3	0.206 2	0.333 4	0.000 0	0.000 0	0.166 7

为了计算前景决策矩阵, 需要确定式 (7) 中的参数 α, β 和 θ 。本文采用Tversky^[22]的实验数据, 即 $\alpha = \beta = 0.88$, $\theta = 2.25$, 得到前景决策矩阵如表5所示。

表 5 前景决策矩阵
Table 5 Prospect decision data for each supplier

V_{ij}	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
A_1	0.000 0	-1.770 5	-1.378 6	0.000 0	-0.540 2	0.000 0	-0.465 1	-0.855 8	-0.465 1	-0.855 8
A_2	-1.829 7	-1.399 7	0.408 1	0.388 8	-1.222 6	-0.522 7	-0.855 8	-0.465 1	-0.855 8	-0.855 8
A_3	0.295 2	0.407 5	0.382 0	0.420 3	0.295 2	-0.664 3	0.000 0	0.000 0	-0.465 1	0.000 0
A_4	0.338 0	0.363 1	0.000 0	-1.735 7	0.130 5	0.543 4	-0.465 1	-0.465 1	-0.855 8	-0.465 1
A_5	-1.348 7	-1.399 7	-1.735 7	0.382 0	-0.446 9	-0.560 6	-0.855 8	0.000 0	0.000 0	-0.465 1

通过式 (12) - (13) 进行交叉循环迭代计算求解, 最终得到的最优隶属度矩阵 u_{hi}^* 为

$$u_{hi}^* = \begin{bmatrix} 0.8783, 0.8476, 0.9804, 0.9106, 0.9576 \\ 0.1217, 0.1524, 0.0196, 0.0894, 0.0424 \end{bmatrix} \quad (17)$$

最优权重为

$$w^* = [0.0366, 0.0292, 0.0306, 0.0368, 0.1099, 0.0975, 0.1407, 0.2241, 0.1448, 0.1498] \quad (18)$$

各个物资供应商的隶属度为 $U = [0.8783, 0.8476, 0.9804, 0.9106, 0.9576]$ 。依据式 (14), 各个物资供应商的累积前景值为 $P = [-0.6060, -0.7431, -0.0498, -0.3368, -0.4231]$ 。最后根据式 (15) 计算得到各个供应商的综合前景值为 $R = [-0.0738, -0.1133, -0.0010, -0.0301, -0.0179]$ 。根据得到的各个供应商的隶属度、累积前景值和综合前景值, 对供应商进行排序和对比分析, 结果如表6所示。

表6 本文实例在不同决策方法下的供应商排序
Table 6 Optimization and ranking of suppliers under different evaluation methods

A	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	排序
$U(A)$	0.878 3	0.847 6	0.980 4	0.910 6	0.957 6	$A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$
$P(A)$	-0.606 0	-0.743 1	-0.049 8	-0.336 8	-0.423 1	$A_3 > A_4 > A_5 > A_1 > A_2$
$R(A)$	-0.073 8	-0.113 3	-0.001 0	-0.030 1	-0.017 9	$A_3 > A_5 > A_4 > A_1 > A_2$

由表6可以看出, 如果根据隶属度排序, 最优供应商为 A_3 , 次优供应商为 A_5 ; 如果从累积前景值来看, 最优供应商为 A_3 , 次优供应商为 A_4 ; 如果根据综合前景值排序, 最优供应商为 A_3 , 次优供应商为 A_5 。结果说明, 供应商 A_4 的前景值比供应商 A_5 更高, 但供应商 A_5 与决策者的期望最为接近。综合考虑, 最终的最优供应商为 A_3 , 次优供应商为 A_5 。

4 结论

针对电网物资种类和供应商数量较多, 存在信息不对称和个性化需求的问题, 本文在电网物资云检验环境下, 构建物资供应商评价指标体系, 采用基于前景理论的混合型多决策模型对供应商进行评价与优选, 解决电网物资供应商选择中主观因素影响、信息利用不充分等现实问题。通过本文提出的评价与优选方法, 可以将电力物资采购服务供应链中的供应商选择评价方法引入电网公司购买服务的选择评价, 并引入电网公司采购的宏观调控目标对其进行改进。与当前的电网物资供应商评价方法对比, 该方法充分利用了云检验环境下信息的多样性, 规避了权重分配时可能出现的主观因素影响, 有助于电网物资部门更加科学合理的选择供应商, 保障电网安全稳定运行。

参考文献

- [1] 康重庆. 能源互联网促进实现“双碳”目标[J]. 全球能源互联网, 2021, 4(3): 205-206.
KANG Chongqing. Energy Internet promotes the achievement of carbon peak and neutrality targets[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2021, 4(3): 205-206(in Chinese).
- [2] 王永真, 张靖, 潘崇超, 等. 综合智慧能源多维绩效评价指标研究综述[J]. 全球能源互联网, 2021, 4(3): 207-225.
WANG Yongzhen, ZHANG Jing, PAN Chongchao, et al. Multi-dimensional performance evaluation index review of integrated and intelligent energy[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2021, 4(3): 207-225(in Chinese).
- [3] DICKSON G W. An analysis of vendor selection systems and decisions[J]. Journal of Purchasing, 1966, 2(1): 5-17.
- [4] 黄瀚, 吴晓, 时磊. 精益生产方式下供应商模糊综合评价[J]. 科技管理研究, 2012, 32(2): 71-74.
HUANG Han, WU Xiao, SHI Lei. Supplier selection and evaluation under lean production mode[J]. Science and Technology Management Research, 2012, 32(2): 71-74(in Chinese).
- [5] 钟谨贵, 翁世洲, 朱俊. 基于概率优势关系粗糙集的第三方物流供应商选择评价[J]. 物流工程与管理, 2020, 42(11): 10-12.
ZHONG Jingui, WENG Shizhou, ZHU Jun. Selection and evaluation of third-party logistics suppliers based on rough set of probability dominance relations[J]. Logistics Engineering and Management, 2020, 42(11): 10-12(in Chinese).
- [6] 曾凡龙, 倪静, 王钰华. 基于直觉模糊偏好及COPRAS法的两阶段应急物资供应商选择研究[J]. 科技和产业, 2021, 21(6): 93-98.
ZENG Fanlong, NI Jing, WANG Yuhua. Research on two-stage supplier selection of emergency supplies based on intuitionistic fuzzy preference and COPRAS method[J]. Science Technology and Industry, 2021, 21(6): 93-98(in Chinese).
- [7] SAATY T L. Decision making with the analytic hierarchy process[J]. International Journal of Services Sciences, 2008, 1(1): 83.
- [8] ABDOLLAHI M, ARVAN M, RAZMI J. An integrated approach for supplier portfolio selection: lean or agile? [J]. Expert Systems With Applications, 2015, 42(1): 679-690.
- [9] 王红春, 郭循帆, 刘帅. 基于前景理论-TOPSIS的装配式建筑PC构件供应商选择[J]. 建筑经济, 2021, 42(9): 100-104.
WANG Hongchun, GUO Xunfan, LIU Shuai. Selection of PC component suppliers for prefabricated buildings based on prospect theory-TOPSIS[J]. Construction Economy, 2021, 42(9): 100-104(in Chinese).
- [10] PEDRYCZ W. Granular computing: analysis and design of intelligent systems[M]. CRC Press, 2013.
- [11] PEDRYCZ W, CHEN S M. Granular computing and decision-making[M]. Cham: Springer International Publishing, 2015.
- [12] HASHEMIAN S M, BEHZADIAN M, SAMIZADEH R, et al. A fuzzy hybrid group decision support system approach for the supplier evaluation process[J]. The International Journal of

- Advanced Manufacturing Technology, 2014, 73(5): 1105-1117.
- [13] LEE J, CHO H, KIM Y S. Assessing business impacts of agility criterion and order allocation strategy in multi-criteria supplier selection[J]. Expert Systems With Applications, 2015, 42(3): 1136-1148.
- [14] TIRKOLAE E B, MARDANI A, DASHTIAN Z, et al. A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 250: 119517.
- [15] KARSAK E E, DURSUN M. An integrated supplier selection methodology incorporating QFD and DEA with imprecise data[J]. Expert Systems With Applications, 2014, 41(16): 6995-7004.
- [16] 乌云娜, 胡勇. 基于模糊多准则妥协解排序法的光伏发电投资计划优选框架[J]. 电力建设, 2016, 37(2): 50-56.
WU Yunna, HU Yong. Selection framework of photovoltaic power generation project investment plans based on fuzzy VIKOR method[J]. Electric Power Construction, 2016, 37(2): 50-56(in Chinese).
- [17] 尤筱玥, 尤建新. 基于区间二元语义VIKOR的外包供应商选择模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2017, 45(9): 1407-1414.
YOU Xiaoyue, YOU Jianxin. Outsourcing supplier selection by interval 2-tuple linguistic VIKOR method[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2017, 45(9): 1407-1414(in Chinese).
- [18] 王鲁萍, 万校基, 钟依朵. 基于直觉梯形模糊VIKOR的第三方物流供应商选择评价[J]. 物流技术, 2018, 37(4): 96-101.
WANG Luping, WAN Xiaoji, ZHONG Yiduo. Evaluation and selection of third party logistics suppliers based on intuitionistic trapezoid fuzziness-VIKOR[J]. Logistics Technology, 2018, 37(4): 96-101(in Chinese).
- [19] 龚承柱, 李兰兰, 卫振锋, 等. 基于前景理论和隶属度的混合型多属性决策方法[J]. 中国管理科学, 2014, 22(10): 122-128.
GONG Chengzhu, LI Lanlan, WEI Zhenfeng, et al. A method for hybrid multiple attribute decision making based on prospect theory and membership[J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(10): 122-128(in Chinese).
- [20] 陈守煜, 李敏, 王淑英. 可变模糊聚类迭代模型合理性分析与应用检验[J]. 大连理工大学学报, 2009, 49(6): 932-936.
CHEN Shouyu, LI Min, WANG Shuying. Rationality analysis and application test of variable fuzzy clustering iterative model[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2009, 49(6): 932-936(in Chinese).
- [21] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2002.
- [22] TVERSKY A, KAHNEMAN D. Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty[J]. Journal of Risk and Uncertainty, 1992, 5(4): 297-323.

收稿日期: 2021-12-08; 修回日期: 2022-04-25。

作者简介:

熊汉武(1966), 男, 高级工程师, 研究方向为电网物资管理, E-mail: hanwu-xiong@sgcc.com.cn。

樊炜(1977), 男, 高级工程师, 研究方向为电网物资管理, E-mail: wei-fan@sgcc.com.cn。

牛艳召(1984), 男, 高级工程师, 研究方向为电网物资管理,

E-mail: yanzhao-niu@sgcc.com.cn。

曾思成(1990), 男, 工程师, 研究方向为电力系统自动化, E-mail: zengsicheng@epri.sgcc.com.cn。

王玲(1999), 女, 硕士研究生, 研究方向为数据挖掘, E-mail: 912664273@qq.com。

龚承柱(1987), 男, 副教授, 博士生导师, 研究方向为能源系统管理与决策。通信作者, E-mail: chengzhu.gong@cug.edu.cn。

(责任编辑 张宇)



熊汉武