

基于改进证据理论的电力物资合同履行风险评估模型与仿真

孙 菁, 周剑岚

(华中科技大学 人工智能与自动化学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 针对电力物资合同履行风险评估中存在的多源信息不确定性及专家意见冲突问题, 提出一种融合犹豫模糊语言集(HFLTS)与改进 Dempster-Shafer 证据理论(DSET)的风险评估和公司达成模型。首先, 构建多维风险指标体系, 利用 HFLTS 处理专家评价的模糊性; 其次, 提出基于犹豫度与相似度的二维动态可靠度测度方法, 将专家可靠性纳入基本概率赋值(BPA)计算以动态修正证据源权重; 再次, 设计“显性引导+隐性建议”的双重反馈共识机制, 通过迭代优化提升群体意见一致性; 最后, 基于改进 DSET 融合规则生成评估结果。算例分析表明, 该模型将“与政府规划冲突”(风险值 0.302)识别为首要风险; 在处理冲突证据时, 动态可靠度机制能将低质量证据源权重从 17.0% 自动降至 5.1%, 且双重反馈机制仅需 6 轮迭代即可达成 0.902 的高水平共识。该模型在收敛速度与抗干扰能力上优于传统方法, 能够为电力物资管理提供量化决策支持。

关键词: 电力物资; 风险评估; D-S 证据理论; 群体决策; 系统仿真

DOI: 10.11907/rjdk.251822

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(XXXX)0XX-0001-06

扫描二维码阅读全文: 

Risk Assessment Model and Simulation of Electric Power Material Contract Performance Based on Improved D-S Evidence Theory

SUN Jing, ZHOU Jianlan

(School of Artificial Intelligence and Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To address the issues of multi-source information uncertainty and conflicting expert opinions in the risk assessment of electric power material contract performance, a risk assessment and consensus reaching model integrating Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (HFLTS) and improved Dempster-Shafer Evidence Theory (DSET) is proposed. Firstly, a multi-dimensional risk index system is constructed, utilizing HFLTS to handle the fuzziness of expert evaluations. Secondly, a two-dimensional dynamic reliability measurement method based on hesitancy degree and similarity degree is proposed, incorporating expert reliability into the calculation of Basic Probability Assignment (BPA) to dynamically revise the weights of evidence sources. Thirdly, a dual feedback consensus mechanism featuring "explicit guidance + implicit suggestion" is designed to improve the consistency of group opinions through iterative optimization. Finally, the comprehensive risk assessment results are generated based on the improved DSET fusion rule. Case analysis demonstrates that the model identifies "Conflict with Government Planning" (risk value 0.302) as the primary risk. When dealing with conflicting evidence, the dynamic reliability mechanism automatically reduces the weight of low-quality evidence sources from 17.0% to 5.1%, and the dual feedback mechanism achieves a high-level consensus of 0.902 within only 6 iterations. The proposed model outperforms traditional methods in terms of convergence speed and anti-interference capability, providing quantitative decision-making support for electric power material management.

Key Words: electric power materials; risk assessment; D-S evidence theory; group decision-making; system simulation

0 引言

随着电力行业物资集中采购模式的广泛应用, 合同履

约管理的重要性日益凸显。特别是在物资采购标准合同的履行过程中, 由于责任主体不明确、协同机制不完善等因素, 标准合同长期未履约风险逐步累积。因此, 如何科学评估此类长期未履约风险, 并精准识别其中的关键影响

收稿日期: 2026-03-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(72171096)

作者简介: 孙菁(2001-), 女, 华中科技大学人工智能与自动化学院硕士研究生, 研究方向为大群体决策; 周剑岚(1976-), 男, 博士, 华中科技大学人工智能与自动化学院副教授、硕士生导师, 研究方向为人因可靠性分析、大群体决策。

因素,已成为电力企业物资采购风险管理中亟待解决的关键问题。

在长期未履约风险评估这一复杂决策问题中,群体决策(Group Decision-Making, GDM)因其能够汇聚多方专家知识,逐渐成为主流解决方法^[1-5]。考虑到评估对象的复杂性与人类认知的模糊性,犹豫模糊语言术语集(Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets, HFLTSS)被广泛应用于表达专家偏好,并形成了犹豫模糊语言群体决策(Hesitant Fuzzy Linguistic Group Decision-Making, HFLGDM)这一重要研究方向^[6-8]。同时,为解决专家意见分歧,引入共识达成过程(Consensus Reaching Process, CRP)以提升决策一致性已成为研究热点^[9-16]。

尽管相关研究已取得显著进展,但在应用于电力物资合同这类高风险、非结构化决策场景时,现有研究在算法层面仍存在不足:①传统聚合算子(如加权平均)易导致犹豫模糊信息的语义丢失,难以精准捕捉证据冲突;②专家权重多为静态设定,缺乏基于数据质量的动态可靠度更新机制,易受低质量评价干扰;③共识反馈机制效率低,缺乏自适应调整策略,在“效率”与“专家自主性”之间缺乏平衡。

鉴于此,本文提出了一种融合改进 Dempster-Shafer 证据理论(Dempster-Shafer Evidence Theory, DSET)、动态可靠度测度与双重反馈机制的混合群决策模型。首先,引入 DSET 框架将犹豫模糊语言集转化为证据体进行融合,利用其处理不确定性信息的优势解决意见聚合失真问题;其次,构建基于“犹豫度+相似度”的二维专家可靠度测度模型,实现权重的动态优化^[17-18];最后,设计“显性引导+隐性建议”的双重反馈共识机制,在保障专家决策自主权的同时显著提升共识达成的迭代效率。算例仿真结果证明,该模型在识别关键风险因子和处理冲突证据方面具有良好的收敛性与鲁棒性,能够为电力物资合同管理提供科学的决策支持。

1 研究理论与方法

1.1 犹豫模糊语言集基础

设 $S = \{s_\alpha | \alpha = -\tau, \dots, 0, \dots, \tau\}$ 为一个下标对称的语言术语集^[19]。为了将语言评价转化为数值语义,采用语言尺度函数(Linguistic Scale Function, LSF): $s_\alpha \rightarrow \kappa_\alpha$ 进行映射,如式(1)所示。

$$f(s_\alpha) = \frac{(\alpha + \tau)}{2\tau}, \alpha \in [-\tau, \tau] \quad (1)$$

犹豫模糊语言术语集 H_s 被定义为 S 中连续语言项的有序有限子集^[20]。为量化 h_s 的不确定性与评价值,定义犹豫度 $hd(H_s)$ 与得分函数 $G(H_s)$ 如式(2)所示^[21]。

$$hd(H_s) = \frac{\#H_s \ln(\#H_s)}{(2\tau + 1) \ln(2\tau + 1)} \quad (2)$$

$$G(H_s) = (1 - hd(H_s)) \times \left(\frac{1}{\#H_s} \sum_{s_i \in H_s} f(s_i) \right), \quad (3)$$

其中, $\#H_s$ 表示 H_s 中语言项的个数。若 H_s^1, H_s^2 为 S 上的两个 HFLTSS, 根据 H_s^1 和 H_s^2 的得分值, 可由式(4)计算出它们之间的距离测度^[21]。

$$d(H_s^1, H_s^2) = |G(H_s^1) - G(H_s^2)|. \quad (4)$$

1.2 D-S 证据理论基础

DSET 通过识别框架 Θ 和基本概率赋值函数(Basic Probability Assignment, BPA)处理不确定信息。BPA 满足 $m(\emptyset) = 0$ 且 $\sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1$ 。假设 m_1 和 m_2 是两个独立的证据源, Dempster 组合规则通过正交和运算融合证据, 其合成公式及相关系数如式(5)、式(6)所示^[22]。

$$m_{12}(A) = \begin{cases} \frac{\sum_{B \cap C = A} m_1(B)m_2(C)}{1 - K}, & A \neq \emptyset \\ 0, & A = \emptyset \end{cases} \quad (5)$$

$$K = \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B)m_2(C) \quad (6)$$

其中, K 为冲突系数, 反映了证据间的冲突程度。当证据源之间存在高度冲突时($K \rightarrow 1$), 经典 Dempster 规则可能导致融合结果失真。因此, 后续章节将在此基础上提出一种改进的加权融合方法。

2 改进证据理论与双重反馈共识模型

该风险评估模型主要包含 3 个核心模块: 专家动态可靠度测度、基于 DSET 的群体意见生成和双重反馈共识迭代机制。算法总体执行流程如图 1 所示。

2.1 专家动态可靠度测度

在群决策过程中, 专家的判断质量受其犹豫程度(认知不确定性)与群体一致性(离群程度)共同影响^[23-24]。设 H_{ij}^p 为专家 e_p 对备选方案 x_i 在属性 c_j 上的评价, 定义专家 e_p 的犹豫度 $hd(H_{ij}^p)$ 见式(2), 定义专家 e_p 与其他专家的相似度 $sd(H_{ij}^p)$ 如式(7)所示。

$$sd(H_{ij}^p) = \frac{1}{t-1} \sum_{q=1, q \neq p}^t (1 - d(H_{ij}^p, H_{ij}^q)) \quad (7)$$

综合上述两项指标, 定义专家 e_p 的综合可靠度 r_{ij}^p 如式(8)所示。

$$r_{ij}^p = \frac{\left(sd(H_{ij}^p) \times (1 - hd(H_{ij}^p)) \right)^{1/2}}{\sum_{p=1}^t \left(sd(H_{ij}^p) \times (1 - hd(H_{ij}^p)) \right)^{1/2}} \quad (8)$$

为了减少低可靠度信息对决策的干扰, 利用 r_{ij}^p 对专家初始权重 λ_p 进行动态修正和归一化, 得到支持度 ω_{ij}^p 如式(9)所示。

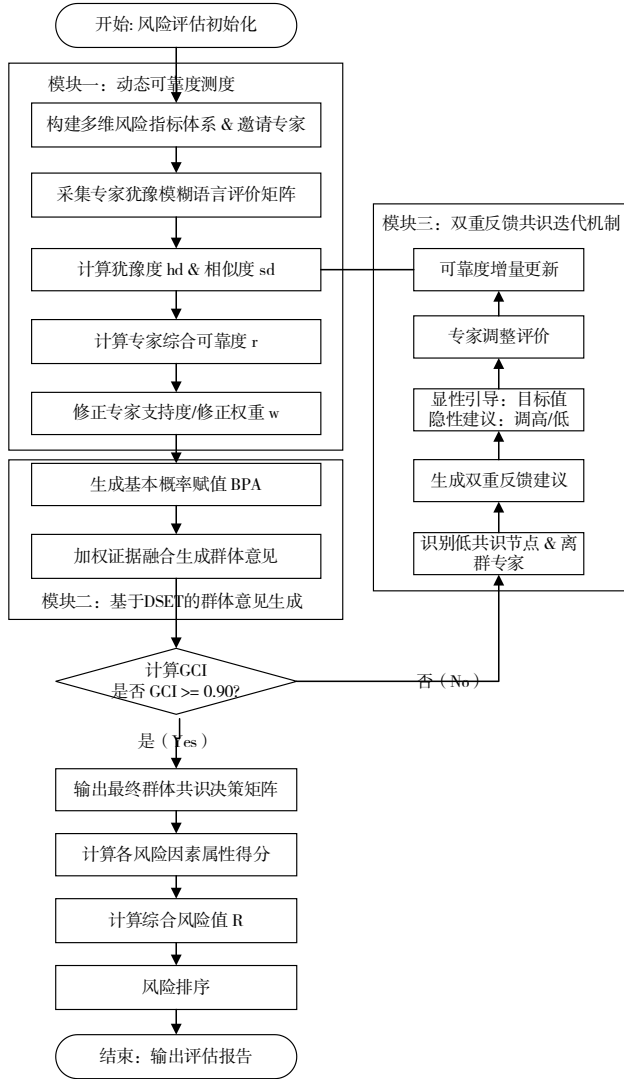


Fig. 1 Flow of the risk assessment model algorithm

图 1 风险评估模型算法流程

$$\bar{\omega}_{ij}^p = \frac{\lambda_p}{1 + \lambda_p - r_{ij}^p} \quad (9)$$

$$\sum_{p=1}^t \frac{\lambda_p}{1 + \lambda_p - r_{ij}^p}$$

该机制确保了犹豫度高或偏离群体共识的专家权重被自动抑制。

2.2 基于改进证据理论的群体意见生成

利用BPA机制处理HFLTS评价信息,本文提出一种基于动态可靠度的加权证据融合规则。经典Dempster组合规则通过正交和实现证据的互补,在处理高冲突证据时会出现“Zadeh悖论”。Yager规则通过将冲突信度归于未知集 Θ 以解决矛盾,但这增加了系统的不确定性^[25]。Murphy平均法虽然通过简单的算术平均预处理降低了冲突,但忽略了证据源本身的质量差异^[26]。鉴于本文解决的是专家群体决策问题,证据冲突本质上反映了专家认知的差异而非测量误差。因此,本文摒弃可能导致“一票否决”现象的正交和运算,采用加权平均聚合策略。该策略的核心优势在于利用上文计算的动态可靠度 $\bar{\omega}_{ij}^p$ 作为权重,不仅

规避了冲突系数 $K \rightarrow 1$ 时的失效问题,还能在融合过程中有效过滤低质量专家的噪声,相比Murphy等权平均法,更能保留高信度专家的意见分布特征。

不同于传统的正交和运算,该规则利用修正后的支持度 $\bar{\omega}_{pk}$ 直接构造群体BPA,具体生成公式如式(10)所示。

$$m(A_g) = \sum_{H_{jk} \in A_g} \bar{\omega}_{pk} \quad (10)$$

群体综合意见证据体 H_{ij}^G 的综合评分值可按式(11)形式计算。

$$G(H_{ij}^G) = \sum_{A_g \in H_{ij}^G} G(A_g) m(A_g) \quad (11)$$

2.3 双重反馈共识迭代模型

为解决群体评价中的意见冲突,设计基于“测度—反馈—修正”的闭环共识模型。该模型包含共识度测量、双重反馈建议生成和专家可靠度动态更新3个关键环节。

2.3.1 共识度测度

首先计算个体评价与群体意见的一致性。定义专家 e_p 与群体意见的接近度如式(12)所示^[27]。

$$PM_{ij}^p = 1 - d(H_{ij}^p, H_{ij}^G) \quad (12)$$

进一步计算所有专家对属性 c_j 上风险 a_i 的共识程度,如式(13)所示。

$$CD_{ij} = \frac{1}{t} \sum_{p=1}^t pm_{ij}^p, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

进一步计算属性 c_j 下的属性共识度 CD_j 与全局共识度GCI,如式(14)、式(15)所示。

$$CD_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m CD_{ij}, j = 1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

$$GCI = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n CD_j. \quad (15)$$

设定共识阈值 ε (取0.900)。若 $GCI \geq \varepsilon$,则结束共识过程;否则,进入反馈调整阶段。

2.3.2 双重反馈建议生成

找出共识度最低的风险因素—属性组合 (i^*, j^*) 和对该组合共识贡献最低的专家 e^* ,计算专家当前评价与群体评价的差异,如式(16)所示。

$$\Delta = d(H_{ij^*}^p, H_{ij^*}^G) \quad (16)$$

如果 $\Delta > 0$,说明专家评价高于群体意见,建议降低评价;如果 $\Delta < 0$,则建议提高评价。提供两种类型的建议:①显性建议:建议专家将评价调整为当前群体意见中BPA最大的焦点元素;②隐性建议:仅给出调整方向(提高或降低),不指定具体目标。该机制在保证共识收敛速度的同时,最大程度保留了专家的决策自主权。

2.3.3 专家可靠度增量更新

专家的可靠度不仅取决于历史声誉,更取决于其在共识过程中的配合度与最终评价质量。本文提出基于调整行为的可靠度增量更新规则,若专家 e^p 接受建议并修改了评价,其下一轮可靠度 r_{ij}^p 更新为如式(17)所示。

$$r_{ij}^{p, (t+1)} = \alpha \cdot r_{ij}^{p, (t)} + \beta \cdot \text{score}_{\text{adjust}} + \gamma \cdot PM_{ij}^{p, (t+1)} \quad (17)$$

其中, $r_{ij}^{p,(t)}$ 为上一轮可靠度; $\text{score}_{\text{adjust}}$ 为行为指示变量 (接受建议取 1, 否则取 0); $PM_{ij}^{p,(t)}$ 为当前迭代的接近度量; α, β, γ 是权重系数, 满足 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。

3 算例分析与仿真

为验证本文混合风险评估模型的有效性, 选取某省级电力公司物资采购标准合同管理场景进行实例分析。邀请 5 位资深专家 ($e_1 \sim e_5$) 对识别出的 8 个关键风险因素 ($a_1 \sim a_8$) 进行评估 (见表 1), 评估维度包括发生可能性 (c_1)、影响程度 (c_2) 和可控性 (c_3)。

Table 1 Key risk factors and descriptions

表 1 关键风险因素及描述

风险编号	风险因素	描述
a_1	供应商破产或产能不足	供应商因经营问题无法继续履约
a_2	产品质量问题	交付物资不符合质量要求
a_3	技术规范变动	项目实施过程中技术标准发生变化
a_4	施工计划未按时执行	项目进度延误影响物资交付
a_5	监管沟通不足	监管部门与供应商沟通不畅
a_6	原材料成本上涨	市场价格波动导致成本超预算
a_7	部门权责不明确	内部管理职责不清影响决策
a_8	与政府规划冲突	项目与地方政府规划不一致

3.1 初始评价信息采集

采用均匀映射方法, 将七粒度语言术语集映射至 $[0, 1]$ 区间, 具体语言术语集定义和映射关系如表 2 所示。

Table 2 Definition and mapping relations of linguistic term sets

表 2 语言术语集定义和映射关系

s_{-3} (非常低)	s_{-2} (低)	s_{-1} (较低)	s_0 (中等)	s_1 (较高)	s_2 (高)	s_3 (非常高)
0.0	0.167	0.333	0.500	0.667	0.833	1.000

限于篇幅, 仅列出专家 e_1 的评价矩阵如表 3 所示, 专家 $e_2 \sim e_5$ 的评价数据结构与表 3 一致, 此处略去。

Table 3 Evaluation matrix of expert e_1

表 3 专家 e_1 评价矩阵

风险因素	c_1	c_2	c_3
a_1	$\{s_1, s_2\}$	$\{s_2, s_3\}$	$\{s_0, s_1\}$
a_2	$\{s_0\}$	$\{s_1\}$	$\{s_1, s_2\}$
a_3	$\{s_2\}$	$\{s_2, s_3\}$	$\{s_0\}$
a_4	$\{s_1\}$	$\{s_1\}$	$\{s_0, s_1\}$
a_5	$\{s_0, s_1\}$	$\{s_2\}$	$\{s_1\}$
a_6	$\{s_1\}$	$\{s_1, s_2\}$	$\{s_0\}$
a_7	$\{s_2\}$	$\{s_2\}$	$\{s_{-1}, s_0\}$
a_8	$\{s_0\}$	$\{s_3\}$	$\{s_{-1}\}$

采用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 确定专家初始权重。首先, 构建包含“专业职称”“从业年限”和“业务熟悉度”3 个维度的专家能力评价指标体系; 其次, 组织专家组进行两两比较, 构造判断矩阵并进行一致性检验; 最后, 计算得到特征向量并归一化, 作为各专家的初始静态权重。经计算, 专家 $e_1 \sim e_5$ 的初始权重向量为: $\lambda = [0.25, 0.20, 0.20, 0.18, 0.17]$ 。

3.2 专家可靠度测度与支持度修正

根据式 (2-3) 和式 (7-9), 计算各专家在不同属性下的犹豫度、相似度和综合可靠度, 修正各专家的证据支持度, 作为后续 BPA 生成的权重基础, 如表 4 所示。

Table 4 Calculation of reliability and support degree for experts on

$a_1 \sim c_1$

表 4 专家在 $a_1 \sim c_1$ 上的可靠度和支持度计算

专家	H_S	$hd(H_S)$	$G(H_S)$	$sd(H_S)$	r_{ij}^p	$\bar{\omega}_{ij}^p$
e_1	$\{s_1, s_2\}$	0.102	0.674	0.919	0.195	0.238
e_2	$\{s_2\}$	0.000	0.833	0.879	0.202	0.201
e_3	$\{s_1, s_2\}$	0.102	0.674	0.919	0.195	0.200
e_4	$\{s_2\}$	0.000	0.833	0.879	0.202	0.185
e_5	$\{s_1\}$	0.000	0.667	0.914	0.206	0.177

3.3 构建群体决策矩阵

利用改进的加权证据融合规则聚合专家意见, 生成初始群体决策矩阵如表 5 所示。

Table 5 Initial group decision matrix

表 5 初始群体决策矩阵

风险因素	c_1	c_2	c_3
a_1	$(\{s_1, s_2\}, 0.438),$ $(\{s_2\}, 0.386),$ $(\{s_1\}, 0.177)$	$(\{s_2, s_3\}, 0.425),$ $(\{s_3\}, 0.358),$ $(\{s_2\}, 0.217)$	$(\{s_0, s_1\}, 0.412),$ $(\{s_1\}, 0.355),$ $(\{s_0\}, 0.233)$
a_2	$(\{s_1, s_2\}, 0.385),$ $(\{s_0, s_1\}, 0.385),$ $(\{s_1\}, 0.325),$ $(\{s_0\}, 0.290)$	$(\{s_1\}, 0.402),$ $(\{s_1, s_2\}, 0.348),$ $(\{s_2\}, 0.250)$ $(\{s_1, s_2\}, 0.385),$	$(\{s_1, s_2\}, 0.418),$ $(\{s_1, s_2\}, 0.332),$ $(\{s_1\}, 0.250)$ $(\{s_0\}, 0.452),$
a_3	$(\{s_2\}, 0.315),$ $(\{s_1\}, 0.300)$ $(\{s_1\}, 0.402),$	$(\{s_3\}, 0.325),$ $(\{s_2\}, 0.250)$ $(\{s_1\}, 0.452),$	$(\{s_{-1}, s_0\}, 0.325),$ $(\{s_{-1}\}, 0.223)$ $(\{s_0, s_1\}, 0.385),$
a_4	$(\{s_0, s_1\}, 0.348),$ $(\{s_0\}, 0.250)$ $(\{s_1\}, 0.402),$	$(\{s_1, s_2\}, 0.325),$ $(\{s_2\}, 0.223)$ $(\{s_2\}, 0.425),$	$(\{s_1\}, 0.315),$ $(\{s_0\}, 0.300)$ $(\{s_1\}, 0.452),$
a_5	$(\{s_0, s_1\}, 0.325),$ $(\{s_0\}, 0.273)$ $(\{s_1\}, 0.385),$	$(\{s_1, s_2\}, 0.348),$ $(\{s_1\}, 0.227)$ $(\{s_2\}, 0.402),$	$(\{s_0, s_1\}, 0.325),$ $(\{s_0\}, 0.223)$ $(\{s_0\}, 0.425),$
a_6	$(\{s_0, s_1\}, 0.325),$ $(\{s_2\}, 0.290)$ $(\{s_2\}, 0.385),$	$(\{s_1, s_2\}, 0.348),$ $(\{s_1\}, 0.250)$ $(\{s_2\}, 0.425),$	$(\{s_0, s_1\}, 0.358),$ $(\{s_1\}, 0.217)$ $(\{s_0\}, 0.452),$
a_7	$(\{s_1, s_2\}, 0.325),$ $(\{s_1\}, 0.290)$ $(\{s_0\}, 0.402),$	$(\{s_2, s_3\}, 0.348),$ $(\{s_3\}, 0.227)$ $(\{s_3\}, 0.525),$	$(\{s_{-1}, s_0\}, 0.325),$ $(\{s_{-1}\}, 0.223)$ $(\{s_{-1}\}, 0.452),$
a_8	$(\{s_{-1}, s_0\}, 0.325),$ $(\{s_{-1}\}, 0.273)$	$(\{s_2, s_3\}, 0.275),$ $(\{s_2\}, 0.200)$	$(\{s_{-2}, s_{-1}\}, 0.325),$ $(\{s_{-2}\}, 0.223)$

3.4 共识达成过程

根据式 (12-15) 计算得到系统的初始全局共识度 $GCI = 0.801$, 未达到预设阈值 0.900, 需启动双重反馈共识机制。经过 6 轮迭代仿真, 全局共识度逐步收敛至 0.902, 达成共识目标。各轮次的关键调整路径和共识度变化如表 6 所示。

3.5 综合风险评估结果

基于达成共识后的群体决策矩阵, 计算各风险因素的属性得分, 并代入综合风险值计算公式: $R_i = E(c_1) \times$

Table 6 Records of multi-round iteration adjustments

表 6 多轮迭代调整记录

迭代轮次	低共识 区域	最低共识专 家	专家调整	属性共识度 变化	全局共识度 变化
迭代 1	a_8-c_3	$e_2(\{s_{-2},s_{-1}\})$	$\{s_{-1}\}$	0.680→0.735	0.801→0.823
迭代 2	a_6-c_1	$e_5(\{s_0,s_1\})$	$\{s_1\}$	0.715→0.768	0.823→0.842
迭代 3	a_2-c_3	$e_1(\{s_1,s_2\})$	保持原评价(受 轻微惩罚)	0.728→0.735	0.842→0.848
迭代 4	a_4-c_2	$e_3(\{s_1\})$	$\{s_1,s_2\}$	0.742→0.798	0.848→0.868
迭代 5	a_7-c_3	$e_4(\{s_0\})$	$\{s_0,s_1\}$	0.758→0.812	0.868→0.885
迭代 6	a_3-c_1	$e_2(\{s_1\})$	$\{s_1,s_2\}$	0.785→0.835	0.885→0.902

$E(c_2) \times (1 - E(c_3))$,得到最终风险排序如表 7 所示。

Table 7 Comprehensive risk values and rankings

表 7 综合风险值与排序

排名	风险因素	发生可能性	影响程度	可控性	综合风险值
1	a_8	0.427	0.944	0.275	0.302
2	a_1	0.735	0.928	0.594	0.277
3	a_4	0.596	0.731	0.585	0.198
4	a_7	0.685	0.825	0.521	0.128
5	a_3	0.645	0.785	0.488	0.122
6	a_5	0.612	0.698	0.435	0.108
7	a_2	0.578	0.645	0.412	0.101
8	a_6	0.534	0.598	0.385	0.093

结果表明,外部政策环境 a_8 是导致长期未履约的首要风险源,其次为供应商履约能力 a_1 。电力企业应将有限的管理资源优先用于应对外部政策变动、强化供应商准入与动态监控以及精细化项目进度管理。

4 实验对比与分析

4.1 参数敏感性分析

在专家可靠度更新式(17)中,参数 α 、 β 、 γ 分别控制历史惯性、调整行为和当前一致性权重。保持共识阈值不变,设置4组参数场景:场景I(基准组 $\alpha=0.6$)、场景II(历史主导 $\alpha=0.8$)、场景III(激励主导 $\beta=0.8$)和场景IV(当前一致主导 $\gamma=0.8$)。各场景下的风险排序结果如图2所示。

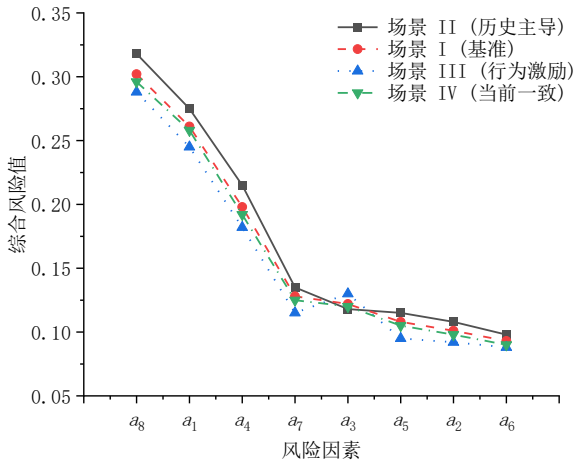


Fig. 2 Trends of risk values under different parameter configurations
图 2 不同参数配置下的风险值变化趋势

实验数据显示,尽管参数配置发生剧烈变化,关键风险因素 a_8 (与政府规划冲突)与 a_1 (供应商破产)始终稳居前两位。这表明,模型对参数变化具有良好的鲁棒性,能够稳定识别核心风险源。

4.2 算法有效性对比实验

为验证改进 DSET 算法在处理不确定性与离群数据方面的优势,本文选取了 3 种经典的冲突证据处理方法进行对比分析。①Yager 规则(保守策略,将冲突分配给全集);②Murphy 平均法(先对证据进行等权平均,再利用 Dempster 规则融合);③静态权重模型(不进行动态修正)。选取风险因素 a_1-c_1 ,设置离群专家 e_5 的评估意见为 $\{s_{-3}\}$,对比结果如表 8 所示。

Table 8 Simulation results of performance comparison of different algorithm models

表 8 不同算法模型性能对比仿真实验结果

对比维度	Yager 规则	Murphy 平均法	静态权重 DSET 模型	改进模型
算法机理	冲突归于 Θ	等权平均+正交和	固定权重加权	动态可靠度 加权
离群意见权重 $m(\{s_{-3}\})$	0.000	0.160	0.170	0.051
(邓熵 / Deng Entropy)	4.85	3.20 (平均阶段) / 0.92 (伪收敛)	3.84	1.21
抗干扰结论	无法决策	一般,受限于 1/n 的固定影响	较差,受离群 点影响	强,自动屏蔽 噪声

为了量化不同对比算法的性能,引入邓熵(Deng Entropy)作为不确定性度量指标^[28]。邓熵能够同时反映证据的冲突程度与模糊程度,熵值越小,表明决策结果的信度越聚焦,不确定性越低。Yager 规则由于将冲突全部分配给全集 Θ ,导致邓熵高达 4.85,说明系统处于极度不确定状态,无法支持决策。Murphy 平均法和静态权重模型由于未能有效识别专家质量,离群意见的权重仍保留在 0.16~0.17 左右,导致邓熵较高(>3.0),信度未能有效聚焦。本文模型通过可靠度机制将离群权重压低至 0.051,使得邓熵降至 1.21,证明了模型在保证信息不丢失的前提下,实现了对真实风险的最优聚焦。

4.3 共识反馈机制性能分析

为了验证本文机制的优越性,将其与传统单一反馈机制、自动调整机制从收敛速度、决策自主性等方面进行对比,结果如表 9 所示。①收敛速度方面:传统隐性反馈仅提示方向,导致迭代冗余;本文通过显性引导减少了无效

Table 9 Performance comparison of different feedback mechanisms

表 9 不同反馈机制性能比较

反馈机制	迭代轮次	收敛速度	专家自主权	优缺点分析
传统单一反馈	多(10次)	慢	高	需多次试探,效率低,容易产生疲劳
自动调整机制	少(4次)	极快	低	强制修改数据,损失专家经验信息
双重反馈机制	适中(6次)	较快	较高	显性引导减少盲目性,保留专家否决权

交互,仅用6轮即达成目标共识度;②决策自主性方面:相比自动调整模型强制修改数据,本文允许专家“拒绝建议”并仅施加权重惩罚,实现了算法效率与专家知识的动态平衡。

5 结语

针对电力物资合同履行风险评估中存在的多源信息不确定性与专家意见冲突问题,本文提出了一种融合改进证据理论与双重反馈机制的群决策模型。通过算例仿真与对比分析,得出以下结论:①算法有效性验证,仿真结果表明,模型准确识别出“与政府规划冲突”(风险值0.302)和“供应商产能不足”(风险值0.277)是当前电力物资管理的首要风险源,验证了模型在实际工程应用中的有效性;②高鲁棒性与抗干扰能力,基于“犹豫度+相似度”的二维动态可靠度测度算法,能够有效识别并自动抑制离群专家的噪声干扰,对比实验显示,该机制能够将低质量证据源的支持度从17.0%降级至5.1%,显著提升了决策系统的鲁棒性;③共识效率提升,所设计的“显性+隐性”双重反馈机制打破了传统单一反馈的局限,在保障专家决策自主权的同时,通过分级引导策略减少了无效交互,实现了共识过程的快速收敛。

未来工作中,将进一步探究在大规模群体决策场景下,共识阈值的自适应优化算法及其在电力供应链全链路风险管控中的应用。

参考文献:

- [1] CHEN K, JIANG Z, YANG J. Cognitive factors on the performance of group decisionmaking: a behavioral and eye-tracking study[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2025, 19: 1551447.
- [2] HE Y X, GUO B H, XIANG K Y. Optimization of GERT network model for industrial innovation chain considering information perturbation from the perspective of group decision-making[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2025, 30(2): 100-112.
何宇轩,郭本海,向堃毓.群决策视角下考虑信息扰动的产业创新链优化GERT网络模型[J]. *工业工程与管理*, 2025, 30(2): 100-112.
- [3] WANG Y M, LIU P D, WU X M. A new linguistic three-way decision model for multi-attribute group decision making problems under inconsistent group opinions[J]. *Expert Systems with Applications*, 2025, 286: 127894.
- [4] LIU X Q, LIN M, WEI G, et al. Group decision-making technique for risk assessment of corporate financial management under probability hesitant fuzzy sets[J]. *International Journal of Decision Support System Technology*, 2025, 17(1): 1-18.
- [5] ABDELALIM A M, SALEM M, SALEM M, et al. Analyzing cost overrun risks in construction projects: a multi-stakeholder perspective using fuzzy group decision-making and K-means clustering[J]. *Buildings*, 2025, 15(3): 447.
- [6] BIAN H Y, LI D Q, LIU Y, et al. Novel multiple criteria group decision-making method based on hesitant fuzzy clustering algorithm[J]. *IEEE Access*, 2024, 12: 128768-128779.
- [7] LIU P D, ZHANG X H, PEDRYCZ W. A consensus model for hesitant fuzzy linguistic group decision-making in the framework of Dempster-Shafer evidence theory[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2021, 212: 106559.
- [8] LIANG X, XU X X, CABRERIZO F J. A novel group decision-making method with adjustment willingness in a distributed hesitant fuzzy linguistic environment[J]. *Mathematics*, 2025, 13(7): 1186.
- [9] XIAO J M, CAI M, WEI G, et al. An adaptive consensus model with hybrid feedback mechanism: exploring interference effects under evidence theory[J]. *Information Fusion*, 2025, 118: 102949.
- [10] YU S M, XIAO J, DU Z J, et al. Personalized feedback constraint-driven minimum-relative-cost consensus in group decision-making[J]. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2025, 12(5): 2411-2422.
- [11] ZHANG B W, ZENG Y, AN Q X, et al. A Stackelberg game framework for double-incentive consensus mechanism with cost budget in group decision making[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2025, 55(4): 2681-2694.
- [12] TENG F, LIU X R, LIU P D, et al. Fuzzy opinion dynamics-driven consensus model within hybrid meso-scale structure in social trust network[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2025, 33(7): 2295-2307.
- [13] LIU Y Y, WANG Y, RODRÍGUEZ R M, et al. Automatic consensus models to balance consensus cost, consistency level and consensus degree with attitudinal trust mechanism[J]. *Information Sciences*, 2025, 176: 122222.
- [14] HUANG T, TANG X A, ZHANG Q, et al. An automatic consensus reaching approach with preference adjustment willingness for group decision-making[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2023, 31(10): 3331-3345.
- [15] YAN B, HU X X, WANG Y J, et al. A two-stage adaptive consensus reaching process with improved automatic strategy for multi-attribute large group emergency decision-making[J]. *Expert Systems with Applications*, 2025, 262: 125572.
- [16] TIAN X L, LI W Q, XU Z S, et al. An endo-confidence-based consensus with hierarchical clustering and automatic feedback in multi-attribute large-scale group decision-making[J]. *Information Sciences*, 2022, 608: 1702-1730.
- [17] WANG H, XU Z, ZENG X. Hesitant fuzzy linguistic term sets for linguistic decision making: current developments, issues and challenges[J]. *Information Fusion*, 2018, 43: 1-12.
- [18] FU C, YANG J B, YANG S L. A group evidential reasoning approach based on expert reliability[J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 246(3): 886-893.
- [19] XU Z. A method based on linguistic aggregation operators for group decision making with linguistic preference relations[J]. *Information Sciences*, 2004, 166(1-4): 19-30.
- [20] RODRÍGUEZ R M, MARTÍNEZ L, HERRERA F. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2012, 20(1): 109-119.
- [21] LIAO H, QIN R, GAO C, et al. Score-HeDLiSF: a score function of hesitant fuzzy linguistic term set based on hesitant degrees and linguistic scale functions: an application to unbalanced hesitant fuzzy linguistic MULTIMOORA[J]. *Information Fusion*, 2019, 48: 39-54.
- [22] WANG Y Z, CUI X Y. An ensemble model with convolutional neural network by DS evidence fusion for bearing fault diagnosis[J]. *Journal of Vibroengineering*, 2025, 27(4): 608-618.
- [23] FEI F, XIA J, FENG Y, et al. An ELECTRE-based multiple criteria decision making method for supplier selection using Dempster-Shafer theory[J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 84701-84716.
- [24] ZHOU M, LIU X B, CHEN Y W, et al. Evidential reasoning rule for MADM with both weights and reliabilities in group decision making[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2018, 143: 142-161.
- [25] YAGER R R. On the Dempster-Shafer framework and new combination rules[J]. *Information Sciences*, 1987, 41(2): 93-137.
- [26] MURPHY C K. Combining belief functions when evidence conflicts[J]. *Decision Support Systems*, 2000, 29(1): 1-9.
- [27] HERRERA-VIEDMA E, HERRERA F, CHICLANA F. A consensus model for multi-person decision making with different preference structures[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 2002, 32(3): 394-402.
- [28] DENG Y. Deng entropy[J]. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2016, 91: 549-553.