

数据驱动的犹豫模糊语言信息策略优先权排序方法

朱 军, 陈 璐, 徐海燕

(南京航空航天大学经济与管理学院, 南京 211106)

摘 要: 数据挖掘使得决策者获取信息更为方便有效。本文在冲突分析图模型理论框架下, 首先基于数据对冲突策略进行挖掘, 实现了冲突策略的合理构建。其次, 考虑到现实冲突中决策者对某策略的选择更多表现为一种被选择的可能性, 将犹豫模糊语言信息和冲突分析图模型理论进行有效交叉融合, 采用犹豫模糊语言信息进行评估, 并基于粗糙集思想对犹豫模糊语义评价信息进行集结以代表这种可能性; 进一步地, 提出一种新的基于犹豫模糊语言信息的冲突分析图模型策略优先权排序法。最后, 对沭河跨境水污染进行建模分析, 对沭河水污染治理提出建议, 并且就状态排序结果对比了新旧两种方法, 结果验证本文提出方法的合理性。

关键词: 冲突分析图模型; 犹豫模糊语言信息; 粗糙集; 策略优先权排序; 数据挖掘

中图分类号: C934 **文献标志码:** A

Hesitant Fuzzy Linguistic Information Option Prioritizing Method Based on Data-Driven

ZHU Jun, CHEN Lu, XU Haiyan

(College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

Abstract: Data-driven makes it more convenient and effective for decision-makers to obtain information. Under the theoretical framework of graph model for conflict resolution, this paper firstly mines conflict strategies based on data-driven, and realizes the rational construction of conflict strategies. Secondly, considering that decision-makers' choice of a certain strategy is more likely to be a possibility of being selected in real conflicts, this paper effectively integrates the hesitant fuzzy linguistic information with the theory of graph model for conflict resolution, and uses the hesitant fuzzy linguistic information for evaluation. Based on the rough set theory, the information of hesitant fuzzy semantic evaluation is aggregated to represent this possibility. Furthermore, a new option prioritizing method for graph model of conflict resolution based on hesitant fuzzy linguistic information is proposed. Finally, the cross-border water pollution of the Shu River are modeled and analyzed to compare the novel and classic methods, so as to verify the rationality of the method proposed in this paper.

Key words: graph model for conflict resolution; hesitant fuzzy linguistic information; rough set; option prioritizing; data mining

引言

随着互联网、大数据等信息技术的迅猛发展,科研创新工作愈发依赖于数据的获取和分析,数据成为驱动当代科学研究发展的重要基础。各学科的发展都将数据挖掘技术融入研究,以期获得更为客观的研究结果。冲突分析图模型理论也不例外,通过对大量冲突事件的信息进行数据挖掘与分析,能够获取冲突事件各参与主体的策略信息,从而建立更为客观的冲突模型,通过对冲突模型进行稳定性求解,可以对冲突事件进行详细分析,对冲突事件的解决提供建议。目前,通过数据建立冲突模型进行冲突稳定性分析的研究较少^[1],因此本文提出了考虑犹豫模糊语言信息的策略优先权排序方法。

冲突分析图模型理论是一种对冲突行为进行分析的决策分析方法,其以经典对策论^[2]和偏对策理论^[3]为基础,其由于冲突建模时仅仅需要少量的定性信息而得以广泛应用。1987年,Kilgour等^[4]第一次正式提出了冲突分析图模型理论(Graph model for conflict resolution,GMCR)。1993年,Fang等^[5]对该理论进行了完整的描述。随后该理论被应用于大气污染、水污染、军事冲突及舆论冲突等各个领域。

冲突分析图模型包括冲突建模及稳定性分析两方面。其中,冲突建模过程包含决策者和策略提取、可行状态生成及状态排序计算。状态排序结果直接影响冲突事件的稳定性分析。对于状态排序问题,Fang等^[6]提出了策略加权平均法、策略优先权排序法和直接状态排序法。其中,策略优先权排序法因为比直接状态排序法计算速度更快,比策略加权平均法更能反映决策者的感情色彩,在使用上更为广泛。策略优先权排序法在使用上依据状态下的策略选择是否满足策略声明而获得得分,再依据策略声明权重获取状态的偏好。这种方法考虑的策略选择以前只有被选择和不被选择两种情况。然而现实生活中,对策略的选择不仅仅只有这两种情况,更多表现为一种被选择的可能性。Bashar等^[7]提出模糊策略优先权排序法,在考虑策略选择的可能性时,采用 $[0,1]$ 上的某个模糊真值来表示;Zhao等^[8]利用区间灰数来表征和刻画这一可能性,并在此基础上给出灰色策略优先权排序法。目前对冲突分析图模型中策略选择的可能性进行了一定的研究,但对于如何获取这一可能性的研究较为缺乏。

语言作为一种表述意见最普遍、最直接的方式,通常被用于表达专家的意愿。1975年,Zadeh^[9]提出了模糊语言法,将语言变量作为专家决策信息的表达形式,降低了语言信息运算的复杂度。2012年,Rodriguez等^[10]提出了犹豫模糊语言集(Hesitant fuzzy linguistic term set,HFLTS)的概念,将决策者定性且犹豫的偏好进行充分的表达。2015年,Liao等^[11]给出HFLTS的数学定义,用HFLE来表示语言变量的犹豫模糊语言值。由于犹豫模糊语言对描述决策者的评价信息具有较大的优势,其已经被应用于决策、聚类分析、医疗诊断、人事评估以及信息检索等诸多领域。

本文首先利用Python技术爬取冲突事件的相关信息,并对其进行预处理,通过LDA(Latent Dirichlet allocation)模型^[12]确定冲突中决策者的关键策略,从而构建冲突分析模型。其次,针对决策者在策略的选择过程中可能存在犹豫模糊特性,多位专家以犹豫模糊语言对冲突策略进行评价,并通过基于粗糙集思想的犹豫模糊语言转换方法^[13]将多位专家的评价信息数据一致化为区间粗糙数。最后,对2020年沭河跨境水污染冲突事件进行分析,分别运用了策略优先权排序法与本文提出的基于犹豫模糊语言信息的策略优先权排序法对冲突事件进行求解,证明本文所提方法的合理性。同时,本文所提方法的结果也可以为解决沭河水污染冲突问题提供相应的策略建议。

1 基本理论

1.1 冲突分析图模型理论

一般地,将冲突参与方统称为决策者,记为DM。冲突分析图模型的结构可以用 $V = \{N, S, P, G\}$ 表示^[4]。

(1) N 表示冲突中所有决策者(DM_1, DM_2, \dots, DM_N)所组成的有限非空集合。记所有策略为 o_1, o_2, \dots, o_z , 每个策略都有被选择和不被选择两种情况, 即有 2^z 种状态。

(2) S 表示所有可行状态所组成的非空集合。可行状态是指去除某些在现实中不可能存在的冲突状态^[6], 假设共有 r 个可行状态, 即 $r = |S| \leq 2^z$ 。

(3) P 表示决策者的可行状态偏好信息。每个决策者对状态的偏好是由 S 上的一对二元关系 $\{>, \sim\}$ 表示。对于状态 $s_1, s_2 \in S, s_1 >_i s_2$ 表明对于决策者 i 来说, 相较于状态 s_2 , 更喜欢状态 $s_1; s_1 \sim_i s_2$ 表明对于决策者 i 来说, 相较于状态 s_2 , 同样喜欢状态 s_1 。

(4) G 表示各决策者针对所有可行状态的状态转移图模型。 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\}$ 表示图模型中所有决策者状态转移的弧线集合, A_i 记录了决策者 i 在各个状态之间转移的弧线集合。

假设某一冲突事件决策者集合 $N = \{DM_1, DM_2\}$, $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$, 其可能的状态转移图模型如图1所示。图1表示决策者 DM_1 可以在状态 s_1 和 s_2 之间以及 s_3 和 s_4 之间进行相互转移, 决策者 DM_2 可以从状态 s_2 转到状态 s_4 、从状态 s_3 转到状态 s_1 。

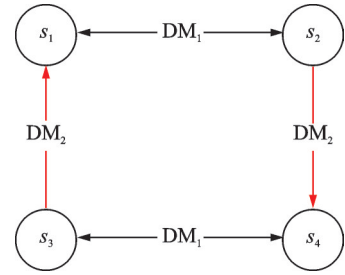


图1 状态转移图实例

Fig.1 State transition diagram example

1.2 策略优先权排序

策略优先权排序法是指基于策略声明权重以获得每个决策者对状态的偏好, 具体解释如下。

(1) 策略声明及排序

声明是由策略以及逻辑符号组成的, 逻辑符号及其含义见表1。表1中, o_1 和 o_2 表示两种策略, 符号“ \neg ”“ $\&$ ”和“ $|$ ”分别表示“非”“与”以及“或”关系, 符号“IF”和“IFF”分别表示条件形式“如果”和双条件形式“当且仅当”。

记决策者 DM_i 的策略声明总数为 k , 不同的策略组合构成了某一决策者 DM_i 的策略声明 $\Omega_j^i (1 \leq j \leq k)$ 。策略声明常用符号及解释说明如表1所示。在这些声明中, 出现越早的声明则拥有越大的优先权。 DM_i 策略声明排序: $\Omega_1^i > \Omega_2^i > \Omega_3^i > \Omega_4^i > \Omega_5^i$ 。

(2) 策略声明是否满足特定状态下的策略选择

DM_i 的某个策略声明 $\Omega_j^i (1 \leq j \leq k)$, 对于任何 $s \in S$, 只有满足和不满足两种情况。如果策略声明 Ω_j^i 满足状态 s 下对某条策略的选择, 则记 $\Omega_j^i(s) = 1$; 如果策略声明 Ω_j^i 不满足状态 s 下某条策略的选择, 则记 $\Omega_j^i(s) = 0$ 。

(3) 基于策略声明的状态得分排序

定义1^[6] 对于决策者 DM_i , 通过给每个状态点 s 设定一个“分值” $\Psi(s)$ 来对这些状态按照分值从大到小的顺序进行排序。 $\Psi_j^i(s)$ 为状态点 s 基于 $\Omega_j^i(s)$ 的取值的分值, $1 \leq j \leq k$, 具体地, 有

$$\Psi_j^i(s) = \begin{cases} 2^{k-j} & \Omega_j^i(s) = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

表1 策略声明常用符号及解释说明

Table 1 Common symbols and explanations for strategy statements

策略声明	解释说明
$\Omega_1^i: \neg o_1$	不希望选择策略 o_1
$\Omega_2^i: o_1 \& o_2$	希望选择策略 o_1 和 o_2
$\Omega_3^i: o_1 o_2$	希望选择策略 o_1 或 o_2
$\Omega_4^i: o_2 \text{IF} o_1$	如果选择了策略 o_1 , 则选择策略 o_2
$\Omega_5^i: o_2 \text{IFF} o_1$	当且仅当选择策略 o_1 时, 才选择策略 o_2 ; 不选择策略 o_1 时, 也不选择策略 o_2

则决策者 DM_i 状态 s 的得分值为

$$\Psi^i(s) = \sum_{j=1}^k \Psi_j^i(s) \quad (2)$$

最后,依据得分大小对所有状态进行排序。

1.3 LDA 主题模型

一个冲突事件,往往能够从在线信息中获取冲突各方的策略、偏好、期望等。冲突分析图模型在建模阶段,可以参考冲突各方的在线信息。对在线信息文本进行数据挖掘,可以识别决策者的主要策略及偏好。利用LDA主题模型能够有效实现在线信息的主题分割,并将主题分割的结果作为识别决策者策略的主要依据。基于LDA主题模型的在线信息挖掘及处理的具体步骤如下:

(1)分词。根据冲突实际情况,确定要数据挖掘需要保留的词条类别,利用jieba分割工具确定分词,以获取适用于文本分析的具体词条对象。

(2)停用词。删除文本中的无意义词,包括冠词、介词或感叹词以及一些表情符号和非词性特殊字符。

(3)Gensim主题模型预处理。对所需爬取的信息确定分词和停用词后,可以得到有效的信息列表,进一步通过词条分割到词典、语料生成、TF-IDF转换等对数据进行预处理。

将预处理后的数据输入到LDA主题模型中,可以得到一个概率分布形式的主题,其具体操作流程如图2所示。爬取信息中多项分布的主题分布参数集用 (α, θ_x) 表示,每个主题上多项分布的词分布参数集用 (β, φ_y) 表示。多项式分布的参数可以利用Dirichlet分布估计,其中,Dirichlet分布的参数集为 (α, β) ,多项式分布的参数集为 (θ_x, φ_y) 。 $Z_{x,t}$ 表示信息 x 中第 t 个主题编号, $W_{x,t}$ 表示信息 x 中主题 y 的词条分布中的第 t 个词条。通过对信息的主题分布 θ_x 抽取主题 $Z_{x,t}$,然后在对应主题的词分布 φ_y 中抽取词条 $W_{x,t}$,不停重复直至所有信息完成以上步骤。进一步地,决策者参考主题词和概率,可以确定冲突策略。

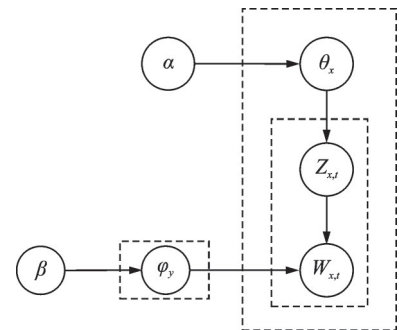


图2 LDA主题模型的流程

Fig.2 Process of LDA topic model

综上,完整的算法说明如下:(1)收集冲突事件的文本信息,并采用LDA主题模型提取冲突事件的决策者和冲突策略;(2)计算可行状态^[6],提取状态转移信息,并进行状态排序;(3)稳定性分析,计算每个决策者各自的稳定性,求解冲突事件的整体稳定性。

2 基于犹豫模糊语言的策略优先权排序

冲突分析图模型理论中,假设某一冲突事件共有 N 位决策者、 z 个策略 (o_1, o_2, \dots, o_z) 以及 r 个可行状态,按照冲突事件的实际背景,各个状态的具体信息如表2所示。其中“0”代表决策者不选择对应的策略,“1”代表决策者选择对应的策略。

通过LDA主题模型对冲突事件的信息进行数据挖掘与分析,能够有效获取冲突中决策者的策略;同时,在数据挖掘与分析的过程也可以发现决策者在策略的选择时多是通过语义进行表述,且存在着犹豫模糊性。Bashar等^[7]曾经提出过这样的现象:在状态 s_1 下,当 DM_2 因为 DM_1 选择了 o_1 而不得不选择 o_3 时,即使它不愿意选择 o_2 和 o_4 ,它也不一定完全不选择 o_2 和 o_4 ,即 DM_2 对策略 o_2 和 o_4 的选择意愿表现为在0和1之间的某种可能性。

2.1 犹豫模糊集和犹豫模糊语义评价

对于决策者 DM_i 在特定状态 s 下对某个策略 o 选择可能性的表示,犹豫模糊语义评价信息能够较为合理地进行描述。假设一个有序的离散语言集合 $L = \{l_t; t = 0, 1, 2, \dots, g\}$,其中 l_t 代表一个语言评价变量,用以描述决策者 DM_i 在特定状态 s 下对某条策略的选择可能性。

定义 2 A_L 为 L 的一个有序子集为一个犹豫模糊语言术语集, ϑ_u 代表第 u 位专家的语言变量, $A_L(\vartheta_u)_o^s$ 表示在状态 s 下第 u 位专家对策略 o 被选择的犹豫模糊语义评价结果。 $A_L(\vartheta_u)_o^s = \{l_{f_1}, l_{f_2}, \dots, l_{f_m}\} \subset L$,其中 $0 \leq f_v \leq g, 1 \leq v \leq m$,

下标 v 仅仅是方便说明及计算,并没有实际意义。选取 h 位专家对决策者 DM_i 在特定状态 s 下对某条策略 o 的选择可能性进行评价,则评价结果为 $A = \{A_L(\vartheta_1)_o^s, \dots, A_L(\vartheta_u)_o^s, \dots, A_L(\vartheta_h)_o^s\}, 1 \leq u \leq h$ 。需注意,对于需要调整状态的判断是决策者根据实际冲突事件进行判断,会随冲突问题及冲突情境的变化而改变,因此没有明确的标准获取规则。

假设选取3位专家利用犹豫模糊语义对策略选择的犹豫模糊性进行评价,进而调整冲突事件相应的可行状态,结果如表3所示。

表 2 冲突事件的所有可行状态

Table 2 All available states of a conflict event

决策者	策略	状态			
		s_1	s_2	\dots	s_r
DM ₁	o_1	1	0	\dots	1
	o_2	0	1	\dots	0
DM ₂	o_3	1	0	\dots	1
	o_4	0	0	\dots	0
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
DM _N	o_z	1	1	\dots	1

表 3 犹豫模糊语言下的可行状态

Table 3 All available states under hesitant fuzzy language

决策者	策略	状态			
		s_1	s_2	\dots	s_r
DM ₁	o_1	1	0	\dots	1
	o_2	$A_L(\vartheta_1)_{o_2}^{s_1}, A_L(\vartheta_2)_{o_2}^{s_1}, A_L(\vartheta_3)_{o_2}^{s_1}$	1	\dots	$A_L(\vartheta_1)_{o_2}^{s_r}, A_L(\vartheta_2)_{o_2}^{s_r}, A_L(\vartheta_3)_{o_2}^{s_r}$
DM ₂	o_3	1	$A_L(\vartheta_1)_{o_3}^{s_2}, A_L(\vartheta_2)_{o_3}^{s_2}, A_L(\vartheta_3)_{o_3}^{s_2}$	\dots	1
	o_4	$A_L(\vartheta_1)_{o_4}^{s_1}, A_L(\vartheta_2)_{o_4}^{s_1}, A_L(\vartheta_3)_{o_4}^{s_1}$	$A_L(\vartheta_1)_{o_4}^{s_2}, A_L(\vartheta_2)_{o_4}^{s_2}, A_L(\vartheta_3)_{o_4}^{s_2}$	\dots	$A_L(\vartheta_1)_{o_4}^{s_r}, A_L(\vartheta_2)_{o_4}^{s_r}, A_L(\vartheta_3)_{o_4}^{s_r}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
DM _N	o_z	1	1	\dots	1

定义 3^[13] 假设实数 $\beta \in [0, g]$ 为语义术语集 L 经某集结方法得到的实数,令 $t = \text{round}(\beta)$,则 β 可由函数 Δ 表示为二元语义符号,即

$$\Delta[0, g] \rightarrow L \times [-0.5, 0.5) \tag{3}$$

$$\Delta(\beta) = (l_t, \alpha_t) \tag{4}$$

式中: l_t 为 L 中第 t 个元素, α_t 为符号转移值,表示 l_t 与信息 β 的偏差,即 $\alpha_t = \beta - t, \alpha_t \in [-0.5, 0.5)$,其中 $t = \text{round}(\beta), \text{round}$ 为四舍五入算子。若 (l_t, α_t) 为二元语义符号,则存在函数 Δ^{-1} ,使得

$$\begin{aligned} \Delta^{-1}: L \times [-0.5, 0.5] &\rightarrow [0, g] \\ \Delta^{-1}(l_t, \alpha_t) &= t + \alpha_t = \beta \end{aligned} \tag{5}$$

根据式(5),存在函数 Δ^{-1} ,使得评价结果 A 转换为

$$\Delta^{-1}(A) = \{ \Delta^{-1}(A_L(\vartheta_1)_o^s), \dots, \Delta^{-1}(A_L(\vartheta_u)_o^s), \dots, \Delta^{-1}(A_L(\vartheta_h)_o^s) \} \tag{6}$$

式中: $\Delta^{-1}(A_L(\vartheta_u)_o^s) = \{ f_1, f_2, \dots, f_m \}; 1 \leq u \leq h$ 。

2.2 基于粗糙集思想的语义评价信息转化

针对式(6),考虑所有决策者的评价结果,定义集结方法如下:

定义 4^[14] 假设有 m 个语义评价结果 $\Delta^{-1}(A_L(\vartheta_u)_o^s) = \{ f_1, f_2, \dots, f_m \}$,按数字大小的排序为 $f_1 < f_2 < \dots < f_m$,则对于 $f_v \in \Delta^{-1}(A_L(\vartheta_u)_o^s) (1 \leq v \leq m)$, f_v 的近似域定义为

$$\underline{\text{Apr}}(f_v) = \cup \{ Y \in \Delta^{-1}(A_L(\vartheta_u)_o^s) | Y \leq f_v \} \tag{7}$$

$$\overline{\text{Apr}}(f_v) = \cup \{ Y \in \Delta^{-1}(A_L(\vartheta_u)_o^s) | Y \geq f_v \} \tag{8}$$

式(7)为 f_v 的下近似域,式(8)为 f_v 的上近似域。

$\underline{\text{Lim}}(f_v)$ 和 $\overline{\text{Lim}}(f_v)$ 分别为 f_v 的下限和上限,分别定义为

$$\underline{\text{Lim}}(f_v) = \frac{1}{M_L} \sum Y | Y \in \underline{\text{Apr}}(f_v) \tag{9}$$

$$\overline{\text{Lim}}(f_v) = \frac{1}{M_u} \sum Y | Y \in \overline{\text{Apr}}(f_v) \tag{10}$$

式中 M_L 和 M_u 分别为在 f_v 下近似和上近似域中对象的数量。

定义 5^[15] 采用粗糙数的概念将 f_v 表示为 $R_u^{\text{num}}(f_v)$,将其定义为

$$R_u^{\text{num}}(f_v) = [\underline{\text{Lim}}(f_v), \overline{\text{Lim}}(f_v)] \tag{11}$$

式中 $R_u^{\text{num}}(f_v)$ 代表第 u 位专家语义评价 f_v 的转化结果。

定义 6^[16] 利用算术平均法将集合 $\{ R_u^{\text{num}}(f_1), R_u^{\text{num}}(f_2), \dots, R_u^{\text{num}}(f_m) \}$ 集成,即

$$\Delta^{-1}(A_L(\vartheta_u)_o^s) = [\underline{N}_u, \overline{N}_u] = \left[\frac{\sum_{v=1}^m \underline{\text{Lim}}(f_v)}{m}, \frac{\sum_{v=1}^m \overline{\text{Lim}}(f_v)}{m} \right] \tag{12}$$

式中 $\Delta^{-1}(A_L(\vartheta_u)_o^s)$ 代表综合了专家所有的评价结果之后,第 u 位专家的语义评价结果。

定义 7^[16] 利用算术平均法将 $\Delta^{-1}(A)$ 进行集成,即

$$\Delta^{-1}(A) = \left[\frac{1}{h} \sum_{u=1}^h \underline{N}_u, \frac{1}{h} \sum_{u=1}^h \overline{N}_u \right] \tag{13}$$

式中 $\Delta^{-1}(A)$ 代表综合了所有专家对决策者 DM_i 在特定状态 s 下对某策略选择可能性的评价结果。

考虑决策者的犹豫模糊性后,利用定义4~7将犹豫模糊语言转换成相应的区间数,从而实现对可行状态的调整,如表4所示,其中 $[a, b]$ 代表对策略选择的可能性,即犹豫模糊性。

定义 8 归一化处理。将 $\Delta^{-1}(A)$ 除以语言术语集元素总数 g ,得到决策者 DM_i 在特定状态 s 下对某策略的选择可能性,即

表 4 冲突事件的所有可行状态调整

Table 4 All available state adjustments for conflict events

决策者	策略	状态			
		s_1	s_2	\dots	s_r
DM ₁	o_1	1	0	\dots	1
	o_2	$[a_1, b_1]$	1	\dots	$[a_5, b_5]$
DM ₂	o_3	1	$[a_3, b_3]$	\dots	1
	o_4	$[a_2, b_2]$	$[a_4, b_4]$	\dots	$[a_6, b_6]$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
DM _N		1	1	\dots	1

$$\text{deg}=[a, b]=\frac{\Delta^{-1}(A)}{g} \quad (14)$$

2.3 基于犹豫模糊语言的策略优先权排序得分及状态优劣比较

(1)基于犹豫模糊语言的策略优先权排序得分

定义 9 记决策者 DM_i 的策略声明总数为 k 。如果策略声明 Ω_j^i 满足状态 s 下策略的选择,则记 $\Omega_j^i(s)=\text{deg}$;否则记 $\Omega_j^i(s)=1-\text{deg}$,表示策略声明 Ω_j^i 不满足状态 s 下的某条策略的选择。

定义 10 在某一状态 s 下的策略选择可能性确定之后, $\Omega_j^i(s)$ 的值也随之确定。状态点 s 基于 $\Omega_j^i(s)$ 取值的增分值 $\Psi_j^i(s)$ 为

$$\Psi_j^i(s)=2^{k-j}\times\Omega_j^i(s) \quad (15)$$

式中 k 为 DM_i 的策略声明的总数,且 $1\leq j\leq k$ 。则决策者 DM_i 状态 s 的得分值为

$$\Psi^i(s)=[\Psi^i(s)^L, \Psi^i(s)^U]=\sum_{j=1}^k\Psi_j^i(s) \quad (16)$$

(2)状态优劣比较

对于 DM_i 的所有可行状态的得分 $\Psi^i(s), s\in S$, 对其进行排序有如下定义:

定义 11^[7] 对于决策者 DM_i 的任意两个状态的得分 $\Psi^i(s_1)=[\Psi^i(s_1)^L, \Psi^i(s_1)^U]$ 和 $\Psi^i(s_2)=[\Psi^i(s_2)^L, \Psi^i(s_2)^U]$, $\Psi^i(s_1)\geq\Psi^i(s_2)$ 的可能度 $p(\Psi^i(s_1)\geq\Psi^i(s_2))$ 为

$$p(\Psi^i(s_1)\geq\Psi^i(s_2))=\min\left\{\max\left(\frac{\Psi^i(s_1)^U-\Psi^i(s_2)^L}{\text{len}(\Psi^i(s_1))+\text{len}(\Psi^i(s_2))}, 0\right), 1\right\} \quad (17)$$

式中: $\text{len}(\Psi^i(s_1))=\Psi^i(s_1)^U-\Psi^i(s_1)^L$; $\text{len}(\Psi^i(s_2))=\Psi^i(s_2)^U-\Psi^i(s_2)^L$ 。

定义 12^[7] 设 $p_{s_1, s_2}=p(\Psi^i(s_1)\geq\Psi^i(s_2))$ 表示 $s_1\geq s_2$ 的可能度, 则对于所有可行状态的得分 $\Psi^i(s), s\in S$, 将任意两个状态得分进行比较后得到的可能度矩阵为 $P=(p_{s_1, s_2})$, 其中, $p_{s_1, s_2}\geq 0, p_{s_1, s_2}+p_{s_2, s_1}=1, p_{s_1, s_1}=\frac{1}{2}$ 。

定义 13^[7] DM_i 的任一状态得分 $\Psi^i(s_k)(k=1, 2, \dots, r)$ 的排序得分 ξ_k 为

$$\xi_k=\frac{1}{r(r-1)}\left(\sum_{d=1}^r p_{kd}+\frac{r}{2}-1\right) \quad k=1, 2, \dots, r \quad (18)$$

则所有的 $\xi_k(k=1, 2, \dots, r)$ 组成排序向量 $\xi=(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_r)^T$ 。利用 $\xi_k(k=1, 2, \dots, r)$ 的值对状态得分 $\Psi^i(s_k)$ 进行排序, ξ_k 值越大, 状态 s_k 越优于其他状态。

3 基于犹豫模糊语言的沭河水污染冲突案例分析

沭河发源于山东省沂山,是沂沭泗水系一条重要的洪水排泄河道。由于沭河马陵山段水域宽阔,江苏新沂市很多村民在此设置网箱养鱼。2020年6月18日凌晨,一场暴雨过后,网箱养殖鱼出现大量死亡。徐州市新沂生态环境局(DM_2)认定,来自山东郯城的客水水质污染使得沭河的水体氨氮值过高,是造成鱼类死亡的主要原因。据此,该部门向山东郯城县生态环境局(DM_1)发函,希望对方采取应对措施,查明问题原因,尽快治理污染。尽管郯城县生态环境局回函确认,水质超标主要原因是强降水和农业面源污水,并表态要加大污染处置力度。对于下游渔民的损失,可以根据相关材料自行起诉要求赔偿。但现实情况是,下游渔民的损失很难找到具体的问责对象,赔偿面临巨大的挑战,从而导致该跨境水污染冲突加剧。本文基于犹豫模糊语言对沭河水污染冲突进行分析。

3.1 沭河水污染事件冲突分析模型

(1) 决策者和策略

设置超参数 $\alpha = 50/V$, $\beta = 0.01$, 其中 V 为主题数量, 通过 LDA 模型对网上关于沭河水污染事件相关信息进行数据挖掘与处理, 获取冲突策略从而建立冲突分析模型。由于上游水污染对下游渔民造成了损失, 但上游环境局迟迟不承担水污染造成的损失, 下游环境部则代表渔民利益敦促上游环境部尽快解决问题, 中央政府为化解冲突也在努力出台一系列政策。因此本文将冲突参与的主要决策者概括为: 山东郯城县生态环境局 (DM_1)、徐州市新沂生态环境局 (DM_2) 以及中央政府 (DM_3), 各决策者、策略及策略解释如表 5 所示。

表 5 决策者、策略及策略解释表

Table 5 Decision makers' strategy and strategy interpretation sheet

决策者	策略	策略解释
DM_1	1. 保持现状	本次水污染由强降水将农业污染带至下游, 无法将责任归咎到具体对象, 上游相关部门可以维持现状
	2. 协商合作	与上游合作, 对上游的污染处理带来的发展福利提供回馈, 并建立完备的污水处理应急机制处理水污染
DM_2	3. 坚持污染负责	坚决要求“谁污染、谁负责”, 并对污染带来的损失要求上游赔偿
	4. 自行承担损失	无法找到具体污染对象, 自行治理污染, 承担损失
DM_3	5. 激励补偿	建立水源保护与建设基金, 开展水污染的治理工作并对下游受污染地区进行补偿, 同时对上游在水资源开发利用过程中的节水、护水行为进行政策性奖励或技术性支持
	6. 控制惩罚	实施段面水量与水质总量控制制度, 在重要河段设置控制断面, 同时建立和完善有利于实施断面总量监控的外部环境, 如果监测到断面的水量或水质超标, 则对上游进行惩罚

(2) 可行状态和状态转移图

决策者对策略选择的不同组合构成多个状态。根据状态删除的 4 个原则^[6]: 删除互斥状态(多个策略至多选择一个)、删除关联状态(多个策略至少选择一个)、删除独立状态以及现实中不可能存在的状态。将策略被接受记为 1, 不被接受记为 0, 最终得到冲突的 13 种可行状态如表 6 所示。表 6 中, “—”代表“0/1”, 状态 s_{13} 表示只要徐州市新沂生态环境局 (DM_2) 辖内的渔民自行承担损失, 则其他决策者的策略选择与否无关, 因为冲突已经得到了解决。

表 6 决策者可行状态表

Table 6 Decision makers' available state sheet

决策者	策略	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}
DM_1	1. 保持现状	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	—
	2. 协商合作	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	—
DM_2	3. 坚持污染负责	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	—
	4. 自行承担损失	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
DM_3	5. 激励补偿	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	—
	6. 控制惩罚	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	—

结合冲突的实际情况,状态转移图如图3所示。其中,圆圈代表可行状态,有向弧的箭头指向可以由初始状态一步转移到的状态。

(3)策略偏好信息

考虑到实际冲突情况:(1)现实中上游往往不愿意去通知下游,一旦造成了损失,上游往往是消极被动的。且部分上游地区落后,不一定能有完备的水质监测系统;(2)下游民众缺乏在享受上游带来的发展福利时,为上游提供回馈的意识;(3)中央政府希望上下游进行紧密合作,促进共同发展。各决策者策略声明如表7所示。

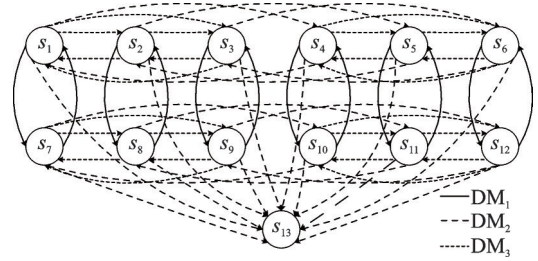


图3 沭河水污染冲突可行状态转移图
Fig.3 Available state transition diagram of the Shu river water pollution conflict

表7 决策者策略声明(从优到劣)

Table 7 Decision makers' strategy statements (best to worst)

决策者	策略声明	声明解释
DM ₁	4	最希望新沂生态环境局自行承担损失
	-3	其次,不希望新沂生态环境局坚持污染负责
	-11F2	接着,在新沂生态环境局进行协商合作的情况下,不保持现状
	-6&-5	再次,希望中央政府进行激励补偿;不希望中央政府进行控制惩罚
	1	最后,希望保持现状
DM ₂	-4	最不希望自行承担损失
	-1	接着,不希望郯城县生态环境局保持现状
	2	其次,希望坚持协商合作
	5&-6	再次,希望中央政府采取激励补偿及控制惩罚的政策
DM ₃	3	最后,坚持污染负责
	-1&-2	最希望郯城县生态环境局不保持现状,同时新沂生态环境局进行协商合作
	-4	其次,不希望新沂生态环境局自行承担损失
	5&-6	再次,希望采取激励补偿及控制处罚的政策
	-3	最后,不希望新沂生态环境局坚持污染负责

3.2 基于犹豫模糊语言的策略优先权排序

(1)犹豫模糊语言下的可行状态

状态 s_1 是一种现实中合理的状态:DM₁ 没有选择保持现状,DM₂ 较为自私、不愿负责、选择坚持让 DM₁ 进行污染负责,DM₃ 选择控制惩罚。状态 s_2 、 s_3 同理。

状态 s_4 是一种现实中合理的状态:DM₁ 没有选择保持现状,DM₂ 不自私、愿意负责、选择与 DM₁ 协商合作,DM₃ 选择控制惩罚。状态 s_5 、 s_6 同理。

状态 s_7 是一种现实中合理的状态:DM₁ 没有选择保持现状,DM₂ 不自私、愿意负责、选择与 DM₁ 协商合作,DM₃ 选择控制惩罚。状态 s_8 、 s_9 同理。

状态 s_{10} 是一种现实中不太合理的状态:DM₁ 选择了保持现状,DM₂ 不自私、愿意负责、选择与 DM₁

协商合作、但不会完全不选择坚持让DM₁进行污染负责、存在犹豫模糊性,DM₃选择控制惩罚。状态s₁₁、s₁₂同理。

状态s₁₃中DM₂选择自行承担损失,冲突事件解决。

决策者可行状态如表8所示,其中需要调整的策略选择用H₁、H₂和H₃表示,每一个H_q={A_L(ϑ₁),A_L(ϑ₂),A_L(ϑ₃)}。表8中考虑状态s₁₀,当DM₁选择保持现状、DM₃选择控制惩罚时,DM₂有协商合作的意愿,但对于选择坚持让DM₁进行污染负责的可能性并不是没有;s₁₁、s₁₂与s₁₀同理。

表8 决策者可行状态表
Table 8 Decision makers' available state sheet

决策者	策略	s ₁	s ₂	s ₃	s ₄	s ₅	s ₆	s ₇	s ₈	s ₉	s ₁₀	s ₁₁	s ₁₂	s ₁₃
DM ₁	1.保持现状	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	—
	2.协商合作	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	—
DM ₂	3.坚持污染负责	1	1	1	0	0	0	1	1	1	H ₁	H ₂	H ₃	—
	4.自行承担损失	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
DM ₃	5.激励补偿	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	—
	6.控制惩罚	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	—

(2) 犹豫模糊语义评价及评价信息转化

针对上述H₁、H₂和H₃,设定一个有序的离散语言术语集合L,用以描述决策者DM_i在特定状态s下对策略Ω_jⁱ的选择可能性。其中,L={l₁:很不愿意,l₂:不愿意,l₃:一般,l₄:愿意,l₅:很愿意}。对于H₁、H₂和H₃,选择了解各个决策者立场的3位专家进行评价,采用式(5)进行转化,评价及转化结果如表9所示。

表9 犹豫模糊语义评价
Table 9 Hesitant fuzzy language evaluation results

调整策略	语义评价结果	
	A _L (ϑ _u) _o	Δ ⁻¹ (A _L (ϑ _u) _o)
H ₁	{l ₂ },{l ₂ ,l ₃ },{l ₂ ,l ₃ }	{2},{2,3},{2,3}
H ₂	{l ₂ },{l ₁ ,l ₂ ,l ₃ },{l ₁ ,l ₂ }	{2},{1,2,3},{1,2}
H ₃	{l ₁ ,l ₂ },{l ₂ },{l ₁ }	{1,2},{2},{1}

(3) 语义评价信息转化

采用定义4~7,将表9中的Δ⁻¹(A_L(ϑ_u)_o)转换为表10中的Δ⁻¹(A)。

表10 语义评价结果转化
Table 10 Language evaluation transformation results

调整策略	语义评价结果		
	R _u ^{num} (f _v)	Δ ⁻¹ (A _L (ϑ _u) _o)	Δ ⁻¹ (A)
H ₁	[2,2.4],[2,2.4],[2.4,3], {[2,2.4],[2.4,3]}	[2,2.4],[2.2,2.7],[2.2,2.7]	[2.13,2.6]
H ₂	[1.6,2.25],[1,1.83],[1.6,2.25], [1.83,3],[1,1.83],[1.6,2.25]	[1.6,2.25],[1.48,2.36],[1.3,2.04]	[1.46,2.22]
H ₃	{[1,1.5],[1.5,2]}, [1.5,2],[1,1.5]	[1.25,1.75],[1.5,2],[1,1.5]	[1.25,1.75]

(4)归一化及结果调整

采用定义 8,将语义评价结果归一化,如表 11 所示。根据定义 9,沭河水污染冲突的策略声明满足状态关系如表 12 所示。

表 11 归一化结果
Table 11 Normalized results

调整策略	H_1	H_2	H_3
结果	[0.426, 0.52]	[0.292, 0.444]	[0.25, 0.35]

表 12 调整后的沭河水污染冲突的策略声明满足状态关系

Table 12 Satisfied relationship between strategy statements and states of the Shu river water pollution conflict event after adjusting

决策者	策略声明	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}
DM ₁	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	-3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	[0.48,0.574]	[0.556,0.708]	[0.65,0.75]	1
	-1IF2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
	-6&.5	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
DM ₂	-4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	-1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
	5&.6	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	3	1	1	1	0	0	0	1	1	1	[0.426,0.52]	[0.292,0.444]	[0.25,0.35]	0
DM ₃	-1&.2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	-4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	5&.6	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	-3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	[0.48,0.574]	[0.556,0.708]	[0.65,0.75]	1

(5)基于犹豫模糊语言的状态得分及排序

根据式(15,16),各状态得分如表 13 所示。

表 13 状态得分表
Table 13 Status score sheet

决策者	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}
DM ₁	4	6	4	12	14	12	5	7	5	[4.84,5.592]	[8.448,9.66]	[6.2,7]	28
DM ₂	25	25	27	28	28	30	17	17	19	[20.426,20.52]	[20.292,20.44]	[22.25,22.35]	8
DM ₃	4	4	6	13	13	15	4	4	6	[4.48,4.574]	[4.556,4.71]	[6.65,6.75]	1

DM₁的状态排序:根据式(17), $s_{10} > s_7, s_{10} > s_8$ 。完整状态排序结果为

$$s_{13} > s_5 > s_4 \sim s_6 > s_{11} > s_8 > s_{12} > s_2 > s_{10} > s_7 \sim s_9 > s_1 \sim s_3$$

DM₂的状态排序:根据式(17), $s_{10} > s_{11}$ 。完整状态排序结果为

$$s_6 > s_4 \sim s_5 > s_3 > s_1 \sim s_2 > s_{12} > s_{10} > s_{11} > s_9 > s_7 \sim s_8 > s_{13}$$

DM₃ 的状态排序:根据式(17), $s_{11} > s_{10}$ 。完整状态排序结果为

$$s_6 > s_4 \sim s_5 > s_{12} > s_3 \sim s_9 > s_{11} > s_{10} > s_1 \sim s_2 \sim s_7 \sim s_8 > s_{13}$$

(6)模糊真值策略优先权^[7]的状态得分排序

由于文献[7]中也有“模糊”特性,其模糊是决策者 i 的某一偏好声明(例如第 j 个) Ω_j^i 不一定完全满足或者不满足状态 s 下的策略选择,即 $\Omega_j^i(s)$ 不是只有“0”“1”两种数值。

依旧采用 DM₂ 在状态 s_{10} 、 s_{11} 、 s_{12} 下,其希望坚持污染负责的偏好声明满足的真值为 $\Omega_3^2(s_{10})=0.6$ 、 $\Omega_3^2(s_{11})=0.8$ 、 $\Omega_3^2(s_{12})=0.4$,如表 14 所示。

表 14 决策者的偏好声明与特定状态下策略选择满足关系表

Table 14 Satisfied relationship between decision makers' preferred statements and strategy selection under specific conditions

状态 s	状态 s 下偏好声明的模糊真值		
	DM ₁	DM ₂	DM ₃
s_1	(0,0,1,0,0)	(1,1,0,0,1)	(0,1,0,0)
s_2	(0,0,1,1,0)	(1,1,0,0,1)	(0,1,0,0)
s_3	(0,0,1,0,0)	(1,1,0,1,1)	(0,1,1,0)
s_4	(0,1,1,0,0)	(1,1,1,0,0)	(1,1,0,1)
s_5	(0,1,1,1,0)	(1,1,1,0,0)	(1,1,0,1)
s_6	(0,1,1,0,0)	(1,1,1,1,0)	(1,1,1,1)
s_7	(0,0,1,0,1)	(1,0,0,0,1)	(0,1,0,0)
s_8	(0,0,1,1,1)	(1,0,0,0,1)	(0,1,0,0)
s_9	(0,0,1,0,1)	(1,0,0,1,1)	(0,1,1,0)
s_{10}	(0,1,0,0,1)	(1,0,1,0,0.6)	(0,1,0,0)
s_{11}	(0,1,0,1,1)	(1,0,1,0,0.2)	(0,1,0,0)
s_{12}	(0,1,0,0,1)	(1,0,1,1,0.4)	(0,1,1,0)
s_{13}	(1,1,1,0,0)	(0,1,0,0,0)	(0,0,0,1)

按照文中的方法,设置 DM₂ 对状态 s_{10} 、 s_{11} 、 s_{12} 下偏好声明为希望坚持污染负责的真实度的判断的置信度 ρ 值为 2,其偏好排序结果如下:

DM₁ 的状态排序: $s_{13} > s_5 > s_4 \sim s_6 > s_{11} > s_{10} \sim s_{12} > s_8 > s_2 > s_7 \sim s_9 > s_1 \sim s_3$ 。

DM₂ 的状态排序: $s_6 > s_4 \sim s_5 > s_3 > s_1 \sim s_2 > s_{12} > s_{11} > s_{10} > s_9 > s_7 \sim s_8 > s_{13}$ 。

DM₃ 的状态排序: $s_6 > s_4 \sim s_5 > s_{12} > s_3 \sim s_9 > s_{11} \sim s_{10} > s_1 \sim s_2 \sim s_7 \sim s_8 > s_{13}$ 。

3.3 排序结果对比及稳定性结果

表 15 展示了各决策者的状态排序对比,反映了基于犹豫模糊语言的策略优先权排序法与模糊真值策略优先权排序法^[7]得到的排序结果之间的差别,这些偏好排序进一步可以得到决策者各自的偏好矩阵,进而对稳定性产生重大影响。区别的主要原因是本文犹豫模糊性的重点体现在决策者决策行为上,可行状态 $s \in S$ 进行了改变(表 8),导致所有决策者的 $\Omega_j^i(s)$ 都发生改变(表 12);文献[7]中的模糊特性体现在策略声明(例如第 j 个)上,其改变只会改变某一个决策者 i 的 $\Omega_j^i(s)$ (表 14)。

对比两种排序方法,对于 DM₁ 而言,区别在于 $s_8 > s_{12}$, $s_2 > s_{10}$, $s_{12} > s_{10}$ 。在模糊真值策略优先权排序法中, s_{12} 下 DM₂ 不选择坚持让 DM₁ 进行污染负责, $\Omega_2^1(s_{12})=1$;而在本文的方法中,考虑实际情况认

为 s_{12} 中 DM_2 存在选择坚持让 DM_1 进行污染负责的可能性, $\Omega_2^1(s_{12})=[0.65, 0.75]$, 在同样的权重下, 导致本文方法中状态 s_{12} 的得分降低, 导致 $s_8 > s_{12} > s_2 > s_{10}$ 。同理, 对于 s_{12} 与 s_{10} , 因为 s_{12} 下 DM_3 可以对 DM_2 的损失进行补偿, 所以 s_{12} 下 DM_2 选择坚持让 DM_1 进行污染负责的可能性比 s_{10} 低, 表现为 $\Omega_2^1(s_{10})=[0.48, 0.574]$ 、 $\Omega_2^1(s_{12})=[0.65, 0.75]$, 导致 $s_{12} > s_{10}$; 而在模糊真值策略优先权排序法中没有进行考虑, 导致 $s_{12} \sim s_{10}$ 。对于 DM_3 而言, 区别在于 $s_{11} > s_{10}$, 因为 s_{11} 下 DM_3 可以对 DM_2 的损失进行补偿, 所以 s_{11} 下 DM_2 选择坚持让 DM_1 进行污染负责的可能性比 s_{10} 低, 导致状态 s_{11} 得分较低小。

表 15 排序结果对比表

Table 15 Sorting result comparison sheet

决策者	模糊真值策略优先权排序法 ^[7]	考虑犹豫模糊语言的策略优先权排序法	区别
DM_1	$s_{13} > s_5 > s_4 \sim s_6 > s_{11} > s_{10} \sim$	$s_{13} > s_5 > s_4 \sim s_6 > s_{11} > s_8 > s_{12} >$	$s_8 > s_{12}, s_2 > s_{10}$
	$s_{12} > s_8 > s_2 > s_7 \sim s_9 > s_1 \sim s_3$	$s_2 > s_{10} > s_7 \sim s_9 > s_1 \sim s_3$	$s_{12} > s_{10}$
DM_2	$s_6 > s_4 \sim s_5 > s_3 > s_1 \sim s_2 > s_{12} >$	$s_6 > s_4 \sim s_5 > s_3 > s_1 \sim s_2 > s_{12} >$	无
	$s_{10} > s_{11} > s_9 > s_7 \sim s_8 > s_{13}$	$s_{10} > s_{11} > s_9 > s_7 \sim s_8 > s_{13}$	
DM_3	$s_6 > s_4 \sim s_5 > s_{12} > s_3 \sim s_9 >$	$s_6 > s_4 \sim s_5 > s_{12} > s_3 \sim s_9 > s_{11} >$	$s_{11} > s_{10}$
	$s_{11} \sim s_{10} > s_1 \sim s_2 \sim s_7 \sim s_8 > s_{13}$	$s_{10} > s_1 \sim s_2 \sim s_7 \sim s_8 > s_{13}$	

本文计算了 Nash^[17]、GMR (General metarationality)^[3-4]、SMR (Symmetric metarationality)^[3-4]、SEQ (Sequential stability)^[18] 4 种稳定性, 如表 16 所示。其中, Nash 稳定状态是 s_6 与 s_{13} , Nash 稳定性不考虑对手的反击; GMR 稳定状态是 $s_2, s_4, s_5, s_6, s_{10}, s_{11}, s_{12}$ 和 s_{13} , GMR 稳定性考虑对手的一步非理性反击; SMR 稳定状态与 GMR 相同, 其在 GMR 的基础上进一步考虑自身进行一步非理性反击; SEQ 稳定状态与 Nash 相同, SEQ 稳定性与 GMR 不同的是考虑对手的一步反击是理性的。综合 4 种稳定性及决策者各自的稳定性, 状态 s_6, s_{13} 为该冲突事件的均衡解。说明当中央政府同时采用激励补偿及控制惩罚的策略时, 上下游进行协商合作, 冲突事件得到解决; 当下游 (徐州市新沂生态环境局) 完全承担了损失时, 冲突事件也得到解决, 此时不利于水污染的治理。

表 16 基于犹豫模糊语言的沭河水污染冲突稳定性结果

Table 16 Conflict stability results of the Shu river water pollution based on hesitant fuzzy language

稳定性	决策者	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}
Nash	DM_1				✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
	DM_2				✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓
	DM_3			✓			✓			✓			✓	✓
GMR	DM_1		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	DM_2	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓
	DM_3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SMR	DM_1		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	DM_2	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓
	DM_3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SEQ	DM_1		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
	DM_2				✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓
	DM_3			✓			✓			✓			✓	✓

注: “✓”为某一决策者在某个状态下保持稳定。

4 结束语

本文在现有冲突分析图模型理论的基础上,首先基于数据挖掘对冲突各方的信息进行分析、处理,确定了各决策者的冲突策略,从而建立冲突分析图模型;其次,拓展探讨一种新的基于犹豫模糊语言信息的冲突分析图模型策略优先权排序法,考虑决策行为可能存在的犹豫模糊性,使得冲突分析图模型更加接近实际情况;最后利用NUAAGMCR软件对沭河跨境水污染事件进行建模及稳定性求解。本文研究具有如下特点:

(1)从冲突实际入手,以LDA主题模型确定各决策者的冲突策略,从而构建符合实际的冲突分析图模型,数据支撑克服了以往冲突分析图模型建模过程中策略确定的主观性。

(2)将犹豫模糊语言信息转换为区间粗糙数的方法引入到冲突分析图模型问题中,考虑了决策者的复杂性导致其决策行为上的可能性。探讨了一种新的基于犹豫模糊语言信息的冲突分析图模型策略优先权排序法,能够较好地改善等价偏好带来的问题。

(3)采用跨境水污染纠纷案例对本文提出的方法进行应用,方便以后对其他类型的冲突问题应用图模型冲突分析时对决策行为可能存在的犹豫模糊性进行考虑。

本文未对各参与主体的策略获取进行详细的介绍,仅仅给出了获取策略的一种方式,后续研究对冲突各个参与主体策略的获取还可以考虑数据分析中的其他方法;对于本文提出的考虑决策行为的犹豫模糊性的方法,对于犹豫模糊性的计算还可以采用其他群决策方法进行改进,使得犹豫模糊结果更为客观可信。此外,未来还可以考虑将本文提出的新方法应用于诸如政府-企业冲突和其他资源冲突等实际问题。

参考文献:

- [1] SARI D, SAPUTRI M E. Analyzing conflict resolution between online and conventional transportation using graph model for conflict resolution[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Economics, Business, Entrepreneurship, and Finance (ICEBEF 2018). Paris: Atlantis Press, 2019.
- [2] VON N J, MORGENSTERN O. The theory of games and economic behavior[M]. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1944.
- [3] HOWARD N. Paradoxes of rationality: Theory of metagames and political behavior[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1971.
- [4] KILGOUR D M, HIPEL K W, FANG L P. The graph model for conflicts[J]. *Automatica*, 1987, 23(1): 41-55.
- [5] FANG L P, HIPEL K W, KIGOUR D M. A decision support system for interactive decision making: The graph model for conflict resolution[M]. New York: Wiley, 1993.
- [6] FANG L P, HIPEL K W, KIGOUR D M, et al. A decision support system for interactive decision making—Part 1: Model formulation[J]. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C—Applications and Reviews*, 2003, 33(1): 42-55.
- [7] BASHAR M A, KILGOUR D M, HIPEL K W. Fuzzy option prioritization for the graph model for conflict resolution[J]. *Fuzzy Sets & Systems*, 2014, 246(1): 34-48.
- [8] ZHAO S N, XU H Y. Grey option prioritization for the graph model for conflict resolution[J]. *Journal of Grey System*, 2017, 29(3): 14-25.
- [9] ZADEH L A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning- III [J]. *Information Sciences*, 1975, 9(1): 43-80.
- [10] RODRIGUEZ R M, MARTINEZ L, HERRERA F. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2012, 20(1): 109-119.
- [11] LIAO H C, XU Z S, ZENG X J, et al. Qualitative decision making with correlation coefficients of hesitant fuzzy linguistic term sets[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2015, 76: 127-138.
- [12] ZELIKOVITZ S, HIRSH H. Using LSI for text classification in the presence of background text[C]//Proceedings of the Tenth International Conference on Information and Knowledge Management. New York: ACM, 2001: 113-118.

- [13] HERRERA F, MARTINEZ L. A2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words[J]. IEEE Trans Fuzzy Systems, 2000, 8(6): 746-752.
- [14] PAWLAK Z. Rough sets[J]. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 11(5): 341-356.
- [15] LIU B. Theory and practice of uncertain programming[M]. New York: Physica, 2002.
- [16] 耿秀丽, 张永政. 基于犹豫模糊集的改进FMEA风险评估方法[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(2): 340-348.
GENG Xiuli, ZHANG Yongzheng. Improved FMEA approach for risk evaluation based on hesitant fuzzy set[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2017, 23(2): 340-348.
- [17] NASH J F. Equilibrium points in n-person games[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1950, 36(1): 48-49.
- [18] FRASER N M, HIPEL K W. Conflict analysis: Models and resolutions[M]. New York: North-Holland, 1984.

作者简介:



朱军(1998-),男,硕士研究生,研究方向:冲突分析, E-mail: junzhu@nuaa.edu.cn



陈璐(1994-),博士研究生,研究方向:冲突分析、模糊决策理论与方法。



徐海燕(1963-),通信作者,女,教授,博士生导师,研究方向:冲突分析、智能决策、博弈论, E-mail: xuhaiyan@nuaa.edu.cn。

(编辑:张黄群)