

基于决策者共识偏好的冲突分析图模型

赵士南, 徐海燕[†], 朱建军

(南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 211106)

摘要: 为刻画实际冲突中决策者复杂的决策行为, 完善冲突分析图模型稳定性理论的不足, 对共识偏好下图模型的稳定性进行研究. 首先, 将决策者偏好划分为共识偏好和非共识偏好; 然后, 在4种基本稳定性定义的基础上, 将图模型稳定性拓展到8种, 拓展后的稳定性不但能深刻反映共赢型、利己型及混合型决策者的决策行为, 还能有效预测不同行为模式下冲突局势的均衡结果; 最后, 通过案例验证所提出方法在解决实际冲突问题中的有效性.

关键词: 冲突分析图模型; 共识偏好; 稳定性分析

中图分类号: C934

文献标志码: A

Graph model for conflict resolution with consistent preference and its application

ZHAO Shi-nan, XU Hai-yan[†], ZHU Jian-jun

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

Abstract: Research on graph model for conflict resolution with consistent preference is carried out in this paper to depict complicated behaviors of decision makers in real conflicts and improve the stability drawback of the graph model for conflict resolution. Firstly, the preference of a decision maker is divided into consistent preference and inconsistent preference to show more important and accurate information about the conflict for the decision maker. Then the four basic stability concepts are expanded to eight stability concepts with consistent preference which can not only reflect the decision behaviors of the win-win, selfish and hybrid decision makers, but also effectively predict the equilibrium results of the aforementioned three types of decision makers. Finally, this method is applied to enterprise pollution dispute to demonstrate its effectiveness.

Keywords: graph model for conflict analysis; consistent preference; stability analysis

0 引言

目前,我国正处于经济社会发展的转型期,各利益群体间的矛盾冲突日益凸显,这使得我国冲突事件的种类、数量和规模不断扩大,冲突中决策者的行为方式也变得更加复杂多样,例如南海冲突、萨德事件、医患冲突等. 正确分析并解决我国现阶段不断涌现的热点冲突问题对我国构建和谐社会、促进经济社会协调发展具有重要的现实意义.

目前,主要有两种冲突分析理论: 博弈论冲突分析方法和冲突分析图模型理论. 前者需要大量准确的数据信息作为决策分析的基础,使得博弈论冲突分析方法很难被应用到实际冲突问题中^[1-2]. 然而,冲

突分析图模型(GMCR)是在经典对策论和偏对策理论的基础上发展起来的,对冲突行为进行正规分析的决策分析方法^[3]. 与博弈论相比,冲突分析图模型需要的数据信息更少,只需要相对偏好信息,而且对决策者行为的刻画更加多样. 国内外学者对冲突分析图模型的研究主要集中在5个方面: 偏好信息、稳定性概念、稳定后分析、应用研究及其相关拓展研究. 在偏好研究方面, Fang等^[4]最初只考虑了简单偏好的情况,为进一步刻画决策者复杂多样的偏好信息,文献[5-6]相继提出了不确定偏好和强度偏好. 随后,研究者们将偏好类型扩展到了混合偏好^[7-8]、模糊偏好^[9]和灰偏好^[10]. 对稳定性概念的研究主要集中

收稿日期: 2017-04-19; 修回日期: 2017-07-09.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71071076, 71471087, 61673209); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(KYZZ16_0145); 南京航空航天大学博士学位论文创新与创优基金项目(BCXJ17-11).

责任编委: 李登峰.

作者简介: 赵士南(1989-), 男, 博士生, 从事冲突分析、环境冲突等研究; 徐海燕(1963-), 女, 教授, 博士生导师, 从事冲突分析、博弈论决策理论等研究.

[†]通讯作者. E-mail: xuhaiyan@nuaa.edu.cn

在4种基本稳定性:纳什稳定(Nash)^[11],一般超理性稳定(GMR)^[12],对称超理性稳定(SMR)^[12],序列稳定(SEQ)^[13].在稳定后分析方面,学者主要对结盟稳定性^[14-16]及冲突路径演化^[17-18]进行了研究.在应用研究方面,GMCR理论最初用于解决军事冲突^[19],现已被广泛应用于水资源冲突^[20]、大气污染争端^[21]和能源战略冲突等领域^[22].近几年,国内外学者对GMCR理论的拓展研究包括决策者权利、超对策信息误解、决策者行为和态度等方面.考虑到决策者权利因素,文献[23]和文献[24]分别提出了基于GMCR的层次冲突模型和权利不对称模型;文献[25]考虑到决策者的认知误解,构建了策略认知误解下的一阶超对策冲突模型;文献[26]从反向视角考虑,在已知均衡解的情况下对决策者的行为类型进行了分析,但决策者的行为还是局限于4种基本稳定性上.

以上研究均将决策者的偏好独立看待,忽略了偏好之间的相互关系.为此,文献[27-28]引入了决策者态度因素,研究了决策者积极、中立、消极3种态度对偏好信息的影响,但没有对决策者不同态度下的稳定性进行改进.综上,现有文献对GMCR理论的研究存在几点不足:首先,没考虑到决策者的一致偏好或共识偏好,实际上决策者不但考虑利己的偏好,还会考虑与其他决策者的共识偏好;其次,对4种基本稳定性的定义过于宽泛,很难完全刻画实际冲突中决策者复杂的决策行为,对GMR稳定的定义存在一定问题,其实对手是否选择非理性的反击取决于他在状态点的收益情况.因此,本文对两个决策者的共识偏好及其稳定性展开研究.首先,将决策者偏好划分为共识偏好和非共识偏好;然后,将冲突图模型的4种基本稳定性拓展到8种,以充分刻画实际冲突中决策者复杂的决策行为,为解决我国现阶段的社会热点冲突问题具有重要的实际应用价值.

1 冲突分析图模型的理论基础

冲突分析图模型可以表示为

$$V = \{N, S, P, G\}.$$

其中: $N \geq 2$ 为冲突中所有决策者的有限非空集合, S 为所有可行状态的非空集合, P 为决策者的偏好信息, G 为决策者的状态转移图模型.

1.1 偏好结构与可达集

1) 偏好信息.

在冲突分析图模型理论中,决策者 i 对各状态点的偏好可以表示为 $P_i = \{\succ_i, \sim_i\}$.假设 s 和 q 是冲突中的任意两个可行状态($s, q \in S$),则 $s \succ_i q$ 表示对于

决策者 i 而言,状态 s 优于状态 q ; $s \sim_i q$ 表示对于决策者 i 而言,状态 s 和状态 q 是等价的; $s \prec_i q$ 表示对于决策者 i 而言,状态 s 劣于状态 q . s 与 q 的偏好关系必须满足以下3个性质^[3-4].

性质1 \succ_i 满足不对称性.对于 $s, q \in S, s \succ_i q$ 和 $q \succ_i s$ 不能同时成立.

性质2 \sim_i 满足自反性和对称性.对于 $s, q \in S, s \sim_i s$ 成立,称为自反性.如果 $s \sim_i q$ 成立,则 $q \sim_i s$ 也一定成立,称为对称性.

性质3 $\{\succ_i, \sim_i\}$ 满足完备性.对于 $s, q \in S, s \succ_i q, s \sim_i q, q \succ_i s$ 必定有一个成立.

$s \succeq_i q$ 表示对于决策者 i 而言,状态 s 优于或等价于状态 q ; $s \preceq_i q$ 表示对于决策者 i 而言,状态 s 劣于或等价于状态 q .

2) 可达集和改良可达集.

决策者 $i \in N$,初始状态 $s \in S, (s, q)$ 表示从状态 s 到状态 q 的弧线, A_i 表示决策者 i 的所有弧集(状态转移图中状态点之间转移的弧线集合),则决策者 i 的可达集和改良可达集可以表示^[3-4]如下:

i) $R_i(s) = \{q \in S : (s, q) \in A_i\}$,表示决策者 i 从初始状态 s 可以转移到的可行状态的集合,称为可达集合.

ii) $R_i^+(s) = \{q \in S : (s, q) \in A_i \& q \succ_i s\}$,表示决策者 i 从初始状态 s 开始,经过转移到达的单方面改进的可达状态的集合,称为改良可达集.

1.2 4种基本稳定性

稳定性是对冲突中决策者行为模式的刻画,冲突分析图模型主要包括4种基本稳定性:Nash、GMR、SMR和SEQ.参考文献[3-4,8],可以给出两个决策者 (i, j) 情况下4种稳定性的定义.

定义1 Nash: 设 N 为决策者集, S 为状态集,对于决策者 $i \in N$,如果状态 $s \in S$ 满足 $R_i^+(s) = \emptyset$,则状态 s 是决策者 i 的纳什稳定解,记为 $s \in S_i^{\text{Nash}}$.

定义2 GMR: 设 N 为决策者集, S 为状态集,对于决策者 $i \in N$,状态 $s \in S$,如果对于任一状态 $s_1 \in R_i^+(s)$,至少存在一个 $s_2 \in R_j(s_1)$,有 $s \succeq_i s_2$,则状态 s 是决策者 i 的一般超理性稳定解,记为 $s \in S_i^{\text{GMR}}$.

定义3 SMR: 设 N 为决策者集, S 为状态集,对于决策者 $i \in N$,状态 $s \in S$,如果对于任一状态 $s_1 \in R_i^+(s)$,存在一个 $s_2 \in R_j(s_1)$,有 $s \succeq_i s_2$,并且对于任一 $s_3 \in R_i(s_2)$,有 $s \succeq_i s_3$,则状态 s 是决策者 i 的对称超理性稳定解,记为 $s \in S_i^{\text{SMR}}$.

定义4 SEQ: 设 N 为决策者集, S 为状态集,对于决策者 $i \in N$,状态 $s \in S$,如果对于任一状态 $s_1 \in R_i^+(s)$,至少存在一个 $s_2 \in R_j^+(s_1)$,使得 $s \succeq_i s_2$,

则状态 s 是决策者 i 的序列稳定解, 记为 $s \in S_i^{SEQ}$.

从上面4种基本稳定性定义可以看出: 1) Nash 是一步稳定, 没考虑对手的反应; 2) GMR 和 SEQ 都是两步稳定, 其中 GMR 考虑了对手的非理性反击, 而 SEQ 考虑了对手的理性反击, 认为对手只在改善自身收益的情况下才会进行回击; 3) SMR 是3步稳定, 是在 GMR 的基础上进一步考虑决策者 i 自己可能的反击. 然而, 上述4种基本稳定性的定义过于宽泛, 很难完全刻画实际冲突中决策者复杂的决策行为. 其中对 GMR 稳定的定义存在一定问题: GMR 稳定性定义表明, 当决策者 i 从初始状态 s 转移到一个更优的状态 s_1 时, 对手会在状态 s_1 点不惜一切代价进行反击, 即使自身收益受损. 实际上, 当决策者 i 从状态 s 转移到 s_1 后, 如果对手在状态 s_1 的收益相比于初始状态 s 也得到了改善(共赢), 则此时对手不可能采取非理性的报复性回击(GMR); 如果对手在状态 s_1 的收益相比于初始状态 s 降低了, 即状态 s_1 只是决策者 i 的单方改良可达, 则此时对手可能会采取非理性的报复性回击(GMR), 也可能采取理性回击(SEQ). 之所以会出现上面的问题, 是由于现有冲突图模型理论将决策者的偏好信息独立看待, 没考虑决策者之间的一致偏好或共识偏好. 下面将对共识偏好下的冲突图模型的可达集及稳定性进行分析.

2 基于共识偏好的冲突分析图模型

2.1 共识改良集和非共识改良集

首先, 对下文要用到的符号作如下说明(决策者 j 的符号含义与 i 类似).

表1 符号含义说明

符号	解释
P_i	决策者 i 的偏好集合
P_i^+	决策者 i 的偏好矩阵
P^c	决策者 i 和 j 的共识偏好集合
P_i^d	决策者 i 的非共识偏好集合
CP^+	决策者 i 和 j 的共识与非共识偏好矩阵
$R_i(s)$	决策者 i 在状态 s 的可达集合
$R_i^{c+}(s)$	决策者 i 在状态 s 的共识改良可达集合
$R_i^{d+}(s)$	决策者 i 在状态 s 的非共识改良可达集合
m	状态点的总个数
DP_i^+	决策者 i 的非共识改良矩阵

偏好集合和偏好矩阵是一一对应的关系: 如果已知偏好集合, 则可以写出其对应的偏好矩阵; 反之, 如果已知偏好矩阵, 则可以写出其对应的偏好集合. 由文献[29]可以给出偏好矩阵的定义.

定义5 偏好矩阵(P_i^+): 设 N 为决策者集, 决策者 $i \in N, S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ 为状态集, 状态 s_k, s_h

$\in S$, 则决策者 i 的偏好矩阵可以表示为

$$P_i^+ = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1h} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2h} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kh} & \dots & a_{km} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mh} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

其中

$$a_{kh} = \begin{cases} 1, & s_h \succ_i s_k; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)表明: 对于决策者 i 而言, 如果状态 s_h 优于状态 $s_k (s_h \succ_i s_k)$, 则偏好矩阵的第 k 行第 h 列元素 $a_{kh} = 1$, 否则 $a_{kh} = 0$.

1) 共识偏好与非共识偏好.

共识偏好集也称为一致偏好集, 是指所有决策者偏好认知相同的集合, 用 P^c 表示. 共识偏好集合越大, 表明冲突程度越小. 非共识偏好集也称为非一致偏好集, 是指决策者偏好不一致的集合, 非共识偏好集合越大, 表明冲突越激烈. 下面给出共识与非共识偏好矩阵 CP^+ 的定义.

定义6 共识与非共识偏好矩阵(CP^+): 设 N 为决策者集, 决策者 $i, j \in N, S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ 为状态集, 状态 $s_k, s_h \in S, a_{kh}$ 和 b_{kh} 分别为决策者 i 和 j 偏好矩阵中第 k 行、第 h 列的元素, 则决策者 i 和 j 的共识与非共识偏好矩阵为

$$CP^+ = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1h} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2h} & \dots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{k1} & c_{k2} & \dots & c_{kh} & \dots & c_{km} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mh} & \dots & c_{mm} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

其中

$$c_{kh} = \begin{cases} 1, & a_{kh} = b_{kh} = 1; \\ 0, & a_{kh} = b_{kh} = 0 \ \& \ a_{hk} = b_{hk}; \\ -1, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

式(4)表明, 对于决策者 i 和 j 而言: 如果状态 s_h 优于状态 $s_k (a_{kh} = b_{kh} = 1)$, 则 CP^+ 矩阵中的元素 $c_{kh} = 1$; 如果状态 s_h 都劣于或等价于状态 $s_k (a_{kh} = b_{kh} = 0 \ \& \ a_{hk} = b_{hk})$, 则 $c_{kh} = 0 (a_{hk} = b_{hk} = 1$ 表示劣于, $a_{hk} = b_{hk} = 0$ 表示等价); 如果两者对状态 s_h 和 s_k 的偏好不一致, 则 $c_{kh} = -1$. 因此, CP^+ 矩阵中元素

值为“0”和“1”的部分对应决策者*i*和*j*的共识偏好,元素值为“-1”的部分对应两者的非共识偏好.

2) 共识改良集与非共识改良集.

共识改良集是指能使所有决策者收益都得到改良的状态集,而非共识改良集是指仅能使决策者自身收益得到改良的状态集.

定义7 共识改良集:决策者*i, j* ∈ *N*,状态*s, q* ∈ *S*,记 $\Phi_i^{c+}(s) = \{q : q \succ_i s \ \& \ q \succ_j s\}$ 为决策者*i*在状态*s*处的共识改良集.

定义8 非共识改良集:决策者*i, j* ∈ *N*,状态*s, q* ∈ *S*,记 $\Phi_i^{d+}(s) = \{q : q \succ_i s \ \& \ s \succ_j q\}$ 为决策者*i*在状态*s*处的非共识改良集.

由上述定义和式(3)可以求出决策者*i*和*j*的共识与非共识改良矩阵.令 a_{sq} 和 b_{sq} 分别为决策者*i*和*j*偏好矩阵中第*s*行、第*q*列对应的元素, c_{sq} 为共识与非共识偏好矩阵 CP^+ 的元素,则决策者*i*的共识改良矩阵 CP_i^+ 中元素(*s, q*)的值为

$$CP_i^+(s, q) = \begin{cases} 1, & a_{sq} = c_{sq} = 1; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

决策者*i*的非共识改良矩阵 DP_i^+ 中元素(*s, q*)的值表示为

$$DP_i^+(s, q) = \begin{cases} 1, & a_{sq} = 1 \ \& \ c_{sq} = -1; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (6)$$

推论1 决策者*i*与*j*的共识改良矩阵相等,即 $CP_i^+ = CP_j^+$.

3) 共识改良可达集和非共识改良可达集.

定义9 共识改良可达集: $R_i^{c+}(s) = \{q \in S : R_i(s, q) \in A_i \ \& \ CP_i^+(s, q) = 1\}$.

共识改良可达集也称为共赢可达集,是决策者*i*从初始状态*s*开始,经过转移可以到达的能使所有决策者收益都改进的可达状态的集合,是共识改良集与可达集的交集.

定义10 非共识改良可达集: $R_i^{d+}(s) = \{q \in S : R_i(s, q) \in A_i \ \& \ DP_i^+(s, q) = 1\}$.

非共识改良可达集也称为利己可达集,是决策者*i*从初始状态*s*开始,经过转移可以到达的仅能自己单方面改良的可达状态的集合,对手的收益没有改善.非共识改良可达集是非共识改良集与可达集的交集.

推论2 一般可达集是共识改良可达集与非共识改良可达集的并集,即下式成立:

$$R_i^{c+}(s) \cup R_i^{d+}(s) = R_i^+(s). \quad (7)$$

2.2 共识偏好下的稳定性定义

如果决策者追求群体的共同利益,希望所有决策者实现共赢,则该决策者会优先考虑群体的共识偏好.下面定义共识偏好下的稳定性概念.

定义11 共识纳什稳定(gNash):设*N*为决策者集,*S*为状态集,初始状态*s* ∈ *S*,对于决策者*i* ∈ *N*,如果状态*s*满足 $R_i^{c+}(s) = \emptyset$,则状态*s*是决策者*i*的共识纳什稳定解,记为 $s \in S_i^{gNash}$.

gNash的逻辑定义表明,如果决策者*i*在状态*s*不存在共识改良可达集,即该决策者不可能转移到使所有决策者共赢的状态点,则状态点*s*是决策*i*的共识纳什稳定解.如果状态*s*对于冲突中所有的决策者而言都是共识纳什稳定解,则该状态*s*被称为冲突的共识纳什均衡解.因为决策者*i*的共识改良可达集必定能使所有决策者共赢,所以对手不可能对其进行非理性的反击,因此现实中不存在gGMR的情况.对手只有在利己的情况下才会对决策者进行理性反击,故gGMR退化成gSEQ.

定义12 共识序列稳定(gSEQ):设*N*为决策者集,*S*为状态集,决策者*i* ∈ *N*,状态*s* ∈ *S*,如果对于任一状态 $s_1 \in R_i^{c+}(s)$,至少存在一个 $s_2 \in R_j^{d+}(s_1)$,使得 $s \succeq_i s_2$,则状态*s*是决策者*i*的共识序列稳定解,记为 $s \in S_i^{gSEQ}$.

gSEQ的逻辑定义表明,虽然决策者*i*转移到的状态能使所有决策者都获益,但对手仍有进一步单方面改良转移的动机.如果决策者*i*的所有共识改良可达集都受到对手的理性反击,而且决策者*i*在对手转移后的状态劣于初始状态*s*,则此时决策者*i*会选择在状态*s*点保持不动,状态*s*被称为决策者*i*的共识gSEQ稳定解.如果状态*s*对于冲突中所有决策者而言都是共识序列稳定,则该状态被称为冲突的共识序列均衡解.

定义13 共识对称超理性稳定(gSMR):设*N*为决策者集,*S*为状态集,决策者*i* ∈ *N*,状态*s* ∈ *S*,如果对于任一状态 $s_1 \in R_i^{c+}(s)$,存在一个 $s_2 \in R_j^{d+}(s_1)$,有 $s \succeq_i s_2$,并且对于任一 $s_3 \in R_i(s_2)$,有 $s \succeq_i s_3$,则状态*s*是决策者*i*的共识对称超理性稳定解,记为 $s \in S_i^{gSMR}$.

gSMR的逻辑定义表明,在遭到对手的理性回击后,决策者*i*还会作出进一步的反击.如果决策者*i*在进一步反击后到达的状态点仍劣于原状态*s*,则决策者*i*会选择在原状态*s*点保持不动,状态*s*被称为决策者*i*的gSMR稳定解.如果状态*s*对于冲突中所有决策者而言都是gSMR稳定,则该状态被称为冲突的

gSMR均衡解.

推论3 根据gNash、gSEQ和gSMR三种稳定性的逻辑定义,很容易推出它们之间的逻辑关系:

$$S^{gNash} \subseteq S^{gSMR} \subseteq S^{gSEQ}. \quad (8)$$

2.3 非共识偏好下的稳定性定义

如果冲突中决策者不考虑群体共同利益,只追求自身利益,则属于利己型决策者,在进行冲突稳定性分析时需要使用非共识偏好下的稳定性定义.

定义14 非共识纳什稳定(dNash): 设 N 为决策者集, S 为状态集, 状态 $s \in S$, 对于决策者 $i \in N$, 如果状态 s 满足 $R_i^{d+}(s) = \emptyset$, 则状态 s 是决策者 i 的非共识纳什稳定解, 记为 $s \in S_i^{dNash}$.

非共识纳什稳定的逻辑定义表明, 如果决策者 i 在状态 s 不存在非共识改良可达集, 即决策者 i 不能转移到仅使自身改良的状态点, 则状态 s 是决策者 i 的非共识纳什稳定解. 如果状态 s 对于冲突中所有的决策者而言都是非共识纳什稳定解, 则该状态 s 被称为冲突的非共识纳什均衡解.

定义15 非共识一般超理性稳定(dGMR): 设 N 为决策者集, S 为状态集, 对于决策者 $i \in N$, 状态 $s \in S$, 如果对于任一状态 $s_1 \in R_i^{d+}(s)$, 至少存在一个 $s_2 \in R_j(s_1)$, 有 $s \succeq_i s_2$, 则状态 s 是决策者 i 的非共识一般超理性稳定解, 记为 $s \in S_i^{dGMR}$.

非共识一般超理性稳定的逻辑定义表明, 决策者 i 考虑了对手非理性的报复回击, 认为对手会不惜一切代价来阻止自己的单方面改良可达. 因为决策者 i 在转移到仅对自己好的状态点后, 对手的收益会受损, 所以对手很可能会对自己进行非理性的报复反击.

定义16 非共识序列稳定(dSEQ): 设 N 为决策者集, S 为状态集, 决策者 $i \in N$, 状态 $s \in S$, 如果对于任一状态 $s_1 \in R_i^{d+}(s)$, 至少存在一个 $s_2 \in R_j^{d+}(s_1)$, 使得 $s \succeq_i s_2$, 则状态 s 是决策者 i 的非共识序列稳定解, 记为 $s \in S_i^{dSEQ}$.

dSEQ稳定与dGMR稳定类似, 都是两步稳定, 也考虑到了对手的回击, 但dSEQ稳定假定对手是理性的, 认为对手只有在利己的情况下才会阻止决策者 i 的单方面改良可达. 如果决策者 i 的所有非共识改良可达集都受到对手的非理性反击, 在对手非理性反击后的状态劣于初始状态 s , 则决策者 i 在状态点 s 是dSEQ稳定. 如果状态 s 对于冲突中所有的决策者而言都是dSEQ稳定解, 则该状态被称为冲突的dSEQ均衡解.

非共识对称超理性有两种类型.

定义17 非共识对称超理性稳定(一)(dSMR¹): 设 N 为决策者集, S 为状态集, 对于决策者 $i \in N$, 状态 $s \in S$, 如果对于任一状态 $s_1 \in R_i^{d+}(s)$, 存在一个 $s_2 \in R_j(s_1)$, 有 $s \succeq_i s_2$, 并且对于任一 $s_3 \in R_i(s_2)$, 有 $s \succeq_i s_3$, 则状态 s 是决策者 i 的dSMR¹稳定解, 记为 $s \in S_i^{dSMR^1}$.

dSMR¹是在dGMR的基础上又考虑到决策者 i 的进一步的反击. 在受到对手的非理性回击后, 决策者 i 还会作出进一步反击的可能. 如果决策者 i 在进一步反击后到达的状态点仍劣于原状态 s , 则决策者 i 会选择在原状态 s 点保持不动, 状态 s 则被称为决策者 i 的dSMR¹稳定解.

定义18 非共识对称超理性稳定(二)(dSMR²): 设 N 为决策者集, S 为状态集, 对于决策者 $i \in N$, 状态 $s \in S$, 如果对于任一状态 $s_1 \in R_i^{d+}(s)$, 存在一个 $s_2 \in R_j^{d+}(s_1)$, 有 $s \succeq_i s_2$, 并且对于任一 $s_3 \in R_i(s_2)$, 有 $s \succeq_i s_3$, 则状态 s 是决策者 i 的dSMR²稳定解, 记为 $s \in S_i^{dSMR^2}$.

dSMR²与dSMR¹类似, 但是在dSEQ的基础上又考虑了决策者的进一步反击, 假设对手也是理性的. 决策者 i 在遭到对手的非理性回击后, 还有可能作出进一步反击.

推论4 根据非共识偏好下5种稳定性的逻辑定义, 可以得到他们之间的逻辑关系:

$$S^{dNash} \subseteq S^{dSMR^2} \subseteq S^{dSMR^1} \subseteq S^{dGMR}, \quad (9)$$

$$S^{dNash} \subseteq S^{dSMR^2} \subseteq S^{dSEQ} \subseteq S^{dGMR}. \quad (10)$$

非共识稳定性概念之间的逻辑关系也可以表示成图1的形式.

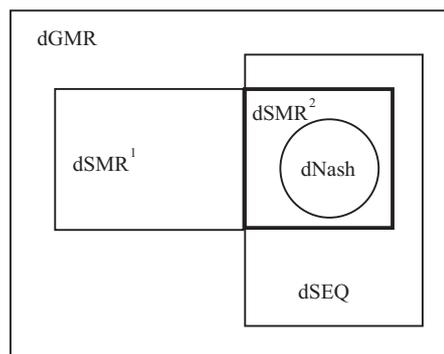


图1 非共识稳定性概念之间的逻辑关系

推论5 gNash、dNash和Nash满足如下逻辑关系:

$$S^{Nash} = S^{gNash} \cap S^{dNash}. \quad (11)$$

3 案例分析: 企业污染冲突

企业污染冲突最早是由Hipel教授^[30]提出的, 分析了政府与企业之间的污染博弈过程. 该冲突中主要涉及两个决策者(DM): 政府(DM₁)和污染企业

(DM₂). 政府有两个策略,即强监管和弱监管;企业也有两个策略,即环保型和污染型. 该冲突的可行状态如表2所示,其中Y表示选择,N表示不选择.

表2 企业污染冲突的可行状态

决策者	策略	s ₁	s ₂	s ₃	s ₄
政府(DM ₁)	强监管	Y	Y	N	N
	弱监管	N	N	Y	Y
企业(DM ₂)	环保型	Y	N	Y	N
	污染型	N	Y	N	Y

冲突的状态转移模型如图2所示. 在图2中: 黑色圆点表示可行状态,弧的箭头方向表示由初始状态转移到某个可达状态,实线表示DM₁的状态转移情况,虚线表示DM₂的状态转移情况.

政府和企业的偏好信息如下:

$$DM_1: P_1 = s_1 \succ s_3 \succ s_2 \succ s_4; \quad (12)$$

$$DM_2: P_2 = s_3 \succ s_1 \succ s_4 \succ s_2. \quad (13)$$

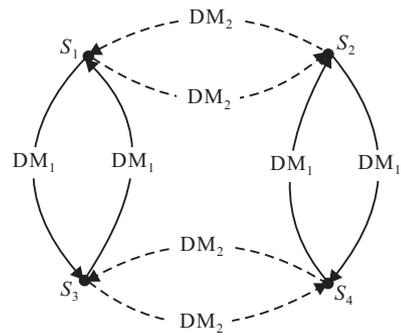


图2 企业污染冲突的状态转移图模型

3.1 一般稳定性分析

根据上述冲突信息可以求出企业污染冲突的稳定性结果,如表3所示. 在表3中: “√”表示在某稳定性定义下某状态对某个决策者是稳定的,如果一个状态中所有的决策者在某稳定性定义下都是稳定的,则称该状态为该稳定性定义下的均衡解(Equilibrium),用“E”表示,对应位置标注“*”.

表3 企业污染冲突模型的一般稳定性分析结果

状态	Nash			GMR			SMR			SEQ		
	DM ₁	DM ₂	E									
s ₁	√	√	*	√	√	*	√	√	*	√	√	*
s ₂	√			√			√			√		
s ₃		√		√	√	*	√	√	*		√	
s ₄												

由表3可知,如果采用Nash、GMR、SMR和SEQ四种基本稳定性进行分析,则该冲突的强均衡解为状态s₁(Y N Y N),即政府选择强监管、企业选择环保型.

3.2 共识偏好下的稳定性分析

1) 共识偏好与非共识偏好.

根据政府和企业的偏好信息,可以分别求出政府和企业的偏好矩阵(定义5)如下:

$$P_1^+ = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, P_2^+ = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

利用定义6可以求出政府和企业的共识与非共识偏好矩阵如下:

$$CP^+ = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

根据上面矩阵中的0、1元素可以得到政府和企业的共识偏好集

$$P^c = \{s_1 \succ s_2, s_3 \succ s_2, s_1 \succ s_4, s_3 \succ s_4\}. \quad (16)$$

根据上面矩阵中的-1元素可以得到政府和企业的非共识偏好集

$$DM_1: P_1^d = \{s_1 \succ s_3, s_2 \succ s_4\}; \quad (17)$$

$$DM_2: P_2^d = \{s_3 \succ s_1, s_4 \succ s_2\}. \quad (18)$$

式(16)表明政府和企业都倾向于环保型. 式(17)和(18)表明政府更倾向于强监管,而企业则希望政府采取弱监管策略,这也是冲突的根源所在. 两者的共识偏好和非共识偏好如图3所示.

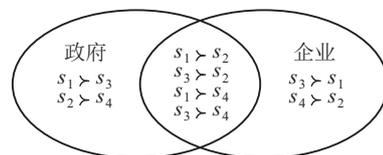


图3 共识偏好集和非共识偏好集

2) 共识偏好下稳定性分析.

如果政府和企业都是共赢型的决策方式,即都重视群体的共同利益,则根据gNash、gSEQ、gSMR稳定性(定义11~定义13)可以求出企业污染冲突中共识偏好下的稳定性结果如表4所示.

由表4可知,如果政府和企业都属于共赢型决策者,即更加关注两者的共识偏好,则该企业污染

表4 企业污染冲突的共识偏好稳定性分析

状态	gNash			gSEQ			gSMR		
	DM ₁	DM ₂	E	DM ₁	DM ₂	E	DM ₁	DM ₂	E
s ₁	√	√	*	√	√	*	√	√	*
s ₂	√			√			√		
s ₃	√	√	*	√	√	*	√	√	*
s ₄	√			√			√		

冲突的强均衡解为 $E_g = \{s_1, s_3\}$. 其中: s_1 表示政府

选择强监管, 企业选择环保型; s_3 表示政府采取弱监管, 企业选择环保型.

3) 非共识偏好下稳定性分析.

如果政府和企业都是利己型的, 即都只注重自身利益, 则根据 dNash、dGMR、dSEQ、dSMR¹ 和 dSMR² 稳定性(定义14~定义18)可以求出企业污染冲突中非共识偏好下的稳定性结果如表5所示.

表5 企业污染冲突的非共识偏好稳定性分析

状态	dNash			dGMR			dSEQ			dSMR ¹			dSMR ²		
	DM ₁	DM ₂	E	DM ₁	DM ₂	E	DM ₁	DM ₂	E	DM ₁	DM ₂	E	DM ₁	DM ₂	E
s ₁	√	√	*	√	√	*	√	√	*	√	√	*	√	√	*
s ₂	√	√	*	√	√	*	√	√	*	√	√	*	√	√	*
s ₃		√		√	√	*	√			√	√	*		√	
s ₄		√			√		√			√			√		

由表5可知, 如果政府和企业都属于利己型的决策者, 即更加关注自身偏好(非共识偏好), 则该企业污染冲突的强均衡解为 $E_d = \{s_1, s_2\}$. 其中: s_2 表示政府采取强监管, 企业选择污染型, 这是利己型决策者行为博弈的结果. 由表4和表5也可以求出当政府和企业有一方为共赢型、另一方为利己型时(混合型决策)的冲突均衡解.

综上所述, 共识偏好与非共识偏好下冲突均衡解的交集, 与一般稳定性分析的结果(表3)相一致, 即 $E_g \cap E_d = \{s_1\}$. 但与一般稳定性定义相比, 共识偏好和非共识偏好下冲突稳定性定义更加丰富多样, 能充分刻画共赢型、利己型及混合型决策者的决策行为方式, 从而为冲突分析专家提供更符合实际的决策参考信息.

4 结 论

本文将决策者偏好划分为共识偏好和非共识偏好, 并在 Nash、GMR、SEQ 和 SMR 四种基本稳定性定义的基础上, 将冲突图模型的稳定性概念拓展到了8种, 弥补了 GMR 稳定存在的不足. 研究表明: 1) 共识偏好与非共识偏好能充分反映冲突争端的根源所在; 2) 共识偏好与非共识偏好下冲突均衡解的交集与一般稳定性分析的结果相同; 3) 与一般稳定性定义相比, 共识偏好和非共识偏好下冲突稳定性定义能充分刻画共赢型、利己型及混合型决策者的行为方式, 并能有效预测不同决策者行为模式下冲突发展的均衡结果.

在实际冲突中, 当决策者之间的权利不对称时, 跟随者往往会迎合领导者, 选择两者之间的共识偏好, 而领导者有3种可能: 1) 对跟随者漠不关心, 即保

持自己的偏好不变; 2) 希望与跟随者实现共赢, 即选择两者的共识偏好; 3) 希望跟随者收益减少, 即选择非共识偏好. 因此, 本文提出的基于共识偏好的冲突图模型理论对于研究决策者权利不对称的冲突问题具有重要的参考价值.

参考文献(References)

- [1] 熊国强, 张婷, 王海涛. 情绪影响下群体性冲突的 RDEU 博弈模型分析[J]. 中国管理科学, 2015, 23(9): 162-170.
(Xiong G Q, Zhang T, Wang H T. The RDEU game model analysis of group conflict influenced by emotion[J]. Chinese J of Management Science, 2015, 23(9): 162-170.)
- [2] 徐选华, 周声海, 汪业凤, 等. 非常规突发事件应急决策冲突消解协调方法[J]. 控制与决策, 2013, 28(8): 1138-1144.
(Xu X H, Zhou S H, Wang Y F, et al. Conflict eliminating coordination method for emergency decision of unconventional outburst incidents[J]. Control and Decision, 2013, 28(8): 1138-1144.)
- [3] Kilgour D M, Hipel K W. Conflict analysis methods: The graph model for conflict resolution[M]. Handbook of Group Decision and Negotiation. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010: 203-222.
- [4] Fang L, Hipel K W, Kilgour D M. A decision support system for interactive decision making: The graph model for conflict resolution[M]. New York: Wiley, 1993: 39-45.
- [5] Li K W, Hipel K W, Kilgour D M, et al. Preference uncertainty in the graph model for conflict resolution[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2004, 34(4): 507-520.
- [6] Hamouda L, Kilgour D M, Hipel K W. Strength of preference in the graph model for conflict resolution[J]. Group Decision and Negotiation, 2004, 13(5): 449-462.

- [7] Xu H, Kilgour D M, Hipel K W, et al. Theory and application of conflict resolution with hybrid preference in colored graphs[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2013, 37(3): 989-1003.
- [8] 侯宇航, 徐海燕. 基于冲突图模型策略优先权排序法的强度偏好排序研究[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(9): 64-70.
(Hou Y H, Xu H Y. Research on option prioritization for strength of preference based on the graph model for conflict resolution[J]. *Chinese J of Management Science*, 2016, 24(9): 64-70.)
- [9] Bashar M A, Obeidi A, Kilgour D M, et al. Modeling fuzzy and interval fuzzy preferences within a graph model framework[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2016, 24(4): 765-778.
- [10] Kuang H, Bashar M A, Hipel K W, et al. Grey-based preference in a graph model for conflict resolution with multiple decision makers[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2015, 45(9): 1254-1267.
- [11] Nash J. Equilibrium points in n -person games[J]. *Proceedings of National Academy of Science*, 1950, 36(1): 48-49.
- [12] Howard N. Paradoxes of rationality: Games, metagames, and political behavior[M]. Cambridge: MIT Press, 1971: 73-88.
- [13] Fraser N M, Hipel K W. Conflict analysis: Models and resolutions[M]. New York: North-Holland, 1984: 243-246.
- [14] Inohara T, Hipel K W. Coalition analysis in the graph model for conflict resolution[J]. *Systems Engineering*, 2008, 11(4): 343-359.
- [15] Xu H, Kilgour D M, Hipel K W, et al. Theory and implementation of coalitional analysis in cooperative decision making[J]. *Theory and Decision*, 2014, 76(2): 147-171.
- [16] Bashar M A, Hipel K W, Kilgour D M, et al. Coalition fuzzy stability analysis in the graph model for conflict resolution[J]. *J of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2015, 29(2): 593-607.
- [17] Xu H, Li K W, Hipel K W, et al. A matrix approach to status quo analysis in the graph model for conflict resolution[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2009, 212(2): 470-480.
- [18] Matbouli Y T, Kilgour D M, Hipel K W. Robustness of equilibria in the graph model for conflict resolution[J]. *J of Systems Science and Systems Engineering*, 2015, 24(4): 450-465.
- [19] Fraser N M, Hipel K W, Jaworsky J, et al. A conflict analysis of the armenian-azerbaijani dispute[J]. *J of Conflict Resolution*, 1990, 34(4): 652-677.
- [20] Xiao Y, Hipel K W, Fang L. Incorporating water demand management into a cooperative water allocation framework[J]. *Water Resources Management*, 2016, 30(9): 2997-3012.
- [21] He S, Kilgour D M, Hipel K W. A general hierarchical graph model for conflict resolution with application to greenhouse gas emission disputes between USA and China[J]. *European J of Operational Research*, 2016, 257(3): 919-932.
- [22] Garcia A, Obeidi A, Hipel K W. Two methodological perspectives on the energy east pipeline conflict[J]. *Energy Policy*, 2016, 91(2016): 397-409.
- [23] He S, Kilgour D M, Hipel K W, et al. A basic hierarchical graph model for conflict resolution with application to water diversion conflicts in China[J]. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 2013, 51(3): 103-119.
- [24] Yu J, Kilgour D M, Hipel K W, et al. Power asymmetry in conflict resolution with application to a water pollution dispute in China[J]. *Water Resources Research*, 2015, 51(10): 8627-8645.
- [25] Aljefri Y M, Bashar M A, Fang L, et al. First-level hypergame for investigating misperception in conflicts[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2017(99): 1-18.
- [26] Wang J, Hipel K W, Fang L, et al. Behavioral analysis in the graph model for conflict resolution[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2017(99): 1-13.
- [27] Walker S B, Hipel K W, Xu H. A matrix representation of attitudes in conflicts[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics-Part B*, 2013, 43(6): 1328-1342.
- [28] Xu Haiyan, Xu Peng, Sharafat Ali. Attitude analysis in process conflict for C919 aircraft manufacturing[J]. *Trans of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 2017, 34(2): 115-124.
- [29] Xu H, Hipel K W, Kilgour D M. Matrix representation of conflicts with two decision-makers[C]. *IEEE Int Conf on Systems, Man, and Cybernetics*. Montreal: IEEE, 2007: 1764-1769.
- [30] Hipel K W. Formal models for conflict resolution and case studies[J]. *Conflict Resolution-Volume II*, 2009, 2(33): 86.

(责任编辑: 闫妍)