

# 基于冲突消解图模型的核危机博弈分析\*

游翰霖, 李孟军, 姜江, 葛冰峰, 张雪婷, 徐建国

(国防科技大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 核安全是国家安全体系的重要组成部分。针对博弈过程量化分析方法不足的问题, 改进冲突消解图模型分析方法并将其应用于核危机博弈分析。首先, 提出冲突消解图模型分析流程、相关定义和矩阵表示方法。其次, 以 1969 年中苏核危机为背景, 基于历史数据构建核危机冲突模型, 应用矩阵表示算法分析博弈状态演化过程。第三, 引入博弈政策和军事能力两类模型参数, 调节参数进行博弈模型灵敏度分析。第四, 应用联盟分析方法识别出可能存在的决策者联盟及其对国家关系演化的影响。最后, 根据模型数据分析结果, 总结相关结论和决策参考。

**关键词:** 核安全; 冲突消解图模型; 博弈分析; 中苏核危机

**中图分类号:** TP18      **文献标志码:** A      **文章编号:**

## Game Analysis for Nuclear Crisis Using the Graph Model for Conflict Resolution

YOU Han-lin, LI Meng-jun, JIANG Jiang, GE Bing-feng, ZHANG Xue-ting, Xu Jian-guo  
(College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** – Nuclear Security is an important part of national security. To deal with the lack of quantitative methodologies in the current researches, the Graph Model for Conflict Resolution (GMCR) is modified and applied for games analysis for nuclear crisis. First, the analysis framework, related definitions and matrix representation approaches are proposed for this problem. Second, the conflict model is calibrated based on the history background of the nuclear crisis of Sino-Soviet in 1969 and evolution of game state is unveiled using matrix analysis algorithms. Third, two parameters of conflict model, namely Game Policy and Military Capability, are introduced and their influence to results of stability analysis is researched. Fourth, methodologies of coalition analysis are used to identify the potential alliances of decision makers and discuss their impact to national relation evolution. At last, relevant conclusions and decision suggestions of nuclear security are summarized base on analysis results of the conflict model.

**Keywords:** Nuclear Security, Graph Model for Conflict Resolution, Game Analysis, Nuclear Crisis of Sino-Soviet.

核安全是国家安全体系的重要组成部分。一方面, 由突发事件(如古巴导弹危机)引发核战争的传统安全威胁依然存在; 另一方面, 由军备竞赛引发的核军控、核扩散以及核恐怖主义等非传统安全威胁形势日益严峻<sup>[1]</sup>。相关领域学者从国际政治、条约法规以及利益关系等角度研究了核安全问题<sup>[2-4]</sup>。但对于核安全研究中的核心要素, 即以国家利益为目标的博弈过程<sup>[2]</sup>, 仍缺乏有效的量化分析方法。

博弈论是量化描述多决策者交互行为的有效方法, 在解决军事决策问题中得到成功应用<sup>[5]</sup>。但传统博弈论方法需要决策者在各博弈状态的定量收益数据, 在信息敏感而难以精确

量化的核安全问题研究中, 显然难以适用<sup>[6]</sup>。

为解决这一问题, 国外学者在博弈论框架下提出了冲突分析理论<sup>[7][8]</sup>, 并将其发展为灵活性更强、分析功能更全面的冲突消解图模型(GMCR)<sup>[9][10]</sup>。已有文献从识别决策者不再有移动激励的稳定状态分析(Stability analysis)<sup>[11]</sup>、着眼于状态移动路径的动态追溯的现状分析(Status quo analysis)<sup>[12]</sup>、关注决策者之间关系的联盟分析(Coalition Analysis)<sup>[13][14]</sup>以及降低模型分析计算复杂度的矩阵表示与分析方法<sup>[15][16]</sup>等方面进一步完善了 GMCR 研究, 并在 1812 年英美战争<sup>[17]</sup>、古巴导弹危机<sup>[6]</sup>、以及武器装备组合优化<sup>[18]</sup>分析等军事研究领域得到

\*收稿日期: 2015-09-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71501182, 71571185)

作者简介: 游翰霖(1990—), 男, 贵州遵义人, 博士研究生, E-mail: hlyou1990@hotmail.com  
姜江(通讯作者), 男, 讲师, 博士, E-mail: jiangjiangnudt@hotmail.com

了成功应用。

在已有成果的基础上，本文将改进的 GMCR 方法应用于解决核安全研究领域，提出核危机冲突建模与分析方法。以 1969 年中苏边界冲突引发的核危机为背景，构建核安全态势冲突消解图模型，分析博弈状态演化过程和各类稳定状态。引入博弈政策和军事实力两类参数变量，对冲突消解图模型进行灵敏度分析，识别可能存在的决策者联盟，预测国家关系的演化趋势。根据博弈模型数据分析结果，总结核危机博弈研究相关结论，为国家外交政策和军事力量建设规划提供决策参考。

## 1 GMCR 建模与分析方法

冲突问题的分析流程包括模型构建和模型分析两部分<sup>[6]</sup>，如图 1 所示。通过介绍 GMCR 数据表述定义和分析方法基本概念，为后续分析奠定理论基础。

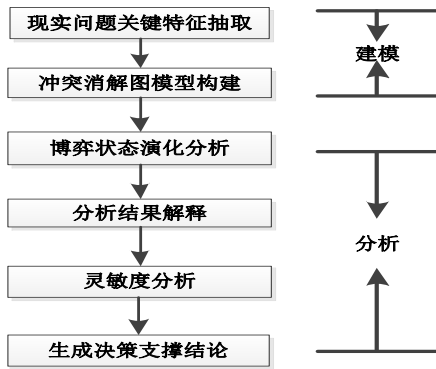


图 1 冲突问题分析流程

Fig.1 Analysis framework for conflict resolution

### 1.1 GMCR 数据描述

冲突消解图模型是描述决策者根据自身偏好，选择可行策略从而改变博弈状态的有效工具。图模型包含决策者、可行状态、合法状态转移路径以及相对偏好数据，其描述方式如定义 1 所示<sup>[11]</sup>。

定义 1：图模型  $G$  可描述为四元组  $G=(N, S, (A_e)_N, P_e)$ ，且：

1)  $N=\{1,2,\dots,n\}$  是决策者集合，且  $|N|\in[2,+\infty)$ 。

2)  $S$  是由决策者策略组合经过筛选得到的可行博弈状态集合，且  $|S|\in[2,+\infty)$ 。

3) 对于  $i\in N$ ， $A_i\subseteq S\times S$  是决策者  $DM_i$  的合法状态转移路径；若  $(s,t)\in A_i$ ，则决策者  $DM_i$  在一次移动中从状态  $s$  转移到状态  $t$ 。

4) 对于  $i\in N$ ， $P_i\in\{\succ_i,\sim_i\}$  是决策者对于可行状态的相对偏好；若  $s\succ_i t$ ，则对于决策者  $DM_i$  有状态  $s$  优于状态  $t$ ；若  $s\sim_i t$ ，则对于决策者  $DM_i$  状态  $s$  与状态  $t$  无显著差别。

根据  $(P_i)_{i\in N}$  包含的信息，可以获取决策者  $DM_i$  对于集合  $S$  包含的各个状态的偏好序。以此为基础，可以得到决策者博弈状态转移中单方面移动 (UM) 和单方面提升 (UI) 数据，如定义 2-3 所示。

定义 2：对于  $\forall i\in N\wedge s\in S$ ，决策者  $DM_i$  在状态  $s$  在一步单方面移动后可以到达的博弈状态集合可表示为  $R_i(s)=\{t\in S|(s,t)\in A_i\}$ 。

定义 3：对于  $\forall i\in N\wedge s\in S$ ，决策者  $DM_i$  在状态  $s$  在一步单方面提升后可以到达的状态集合可表示为  $R_i^+(s)=\{t\in S|(s,t)\in A_i\wedge t\succ_i s\}$ 。

### 1.2 GMCR 分析方法

稳态分析是冲突消解问题中的重要内容。冲突消解问题中通用的稳定状态包括纳什稳态 (Nash)、一般元理性稳态 (GMR)、对称元理性稳态 (SMR) 以及序贯稳态 (SEQ)。若识别出某一状态对于所有决策者都是稳定的，即均衡状态 (Equilibrium)<sup>[11]</sup>。

联盟分析是检测决策者是否有动机形成相互协调配合的联盟和研究可能存在联盟对博弈状态演化结果的影响的重要方法。当一部分决策者能够通过结成联盟而保证所有成员均能获益，则认为此类联盟可能存在<sup>[13]</sup>。判定条件如定义 4-6 所示。

定义 4：若存在联盟  $H\subset N$ ，则联盟从博弈状态  $s\in S$  出发，其可达状态集为  $R_H(s)$ 。

定义 5：对于联盟  $H$ ，其联盟提升节点集  $R_H^{++}(s)=\{t\in R_H(s)|\forall i\in H,t\succ_i s\}$ 。

定义 6：若博弈状态  $s_1,s_2$  都是冲突模型  $G$  的均衡状态，且  $\exists s_2\in R_H^{++}(s_1)$ 。

联盟分析是对稳态分析结果的进一步推演。通过计算决策者联盟结构对状态演化的影响，识别出三类稳定强度依次递增的状态集：无联盟时的均衡状态集、某一确定联盟结构下的均衡状态集和任意联盟结构下的均衡状态集<sup>[14]</sup>。

### 1.3 GMCR 矩阵表示方法

GMCR 矩阵表示方法可有效降低计算复杂度，并提供可容纳不同概念定义和分析算法的灵活框架。表示决策者  $DM_i$  单方面移动后的可达矩阵  $J_i$  及其偏好的矩阵  $P_i^+$  如公式 (1)<sup>[15]</sup>。

$$J_i(s, q) = \begin{cases} 1, & \text{if } q \in R_i(s) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, P_i^+(s, q) = \begin{cases} 1, & \text{if } q \succ_i s \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

根据 GMCR 数据表述定义, 设计对应的矩阵变换算法, 如公式 (2) 所示<sup>[15]</sup>。

$$J_i^+(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } J_i(i, j) = P_i^+(i, j) = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \text{sign}[M(i, j)] = \begin{cases} 1 & \text{if } M(i, j) > 0 \\ 0 & \text{if } M(i, j) = 0 \\ -1 & \text{if } M(i, j) < 0 \end{cases}$$

$$M_i^{(t)} = \text{sign}(J_i^+ * (\bigvee_{j \in H-i} M_j^{(t-1)})), M_i^{(t,+)} = \text{sign}(J_i^+ * (\bigvee_{j \in H-i} M_j^{(t-1,+)}))$$

$$M_H^\delta = \bigvee_{t=1}^{\delta} M_i^{(t)}, M_H^{\delta_+} = \bigvee_{t=1}^{\delta_+} M_i^{(t,+)} \quad (2)$$

其中,  $J_i^+(i, j)$  是决策者  $DM_i$  的单方面提升矩阵;  $M_i^{(t)}$  是  $DM_i$  发起, 经过  $t$  步单方面移动后的可达矩阵;  $M_H$  是决策者集合  $H$  的可达矩阵;  $M_i^{(t,+)}$  和  $M_H^{\delta_+}$  是对应的单方面提升可达矩阵。

根据 GMCR 稳定状态定义, 1.2 中所示的四类稳态的矩阵表述如定义 (7-10) 所示<sup>[15-16]</sup>。

定义 7: 状态  $s$  是决策者  $DM_i$  的 Nash 稳态, 当且仅当  $e_s^T * J_i^+ = 0$ ,  $e_s$  是单位矩阵第  $s$  列向量。

定义 8: 状态  $s$  是决策者  $DM_i$  的 GMR 稳态, 当且仅当  $M_i^{GMR}(s, s) = 0$ ,  $E$  是元素全为 1 的  $m$  阶方阵且  $M_i^{GMR} = J_i^+ * [E - \text{sign}(M_{N-i}) * (E - P_i^+)^T]$ 。

定义 9: 状态  $s$  是决策者  $DM_i$  的 SMR 稳态, 当且仅当  $M_i^{SMR}(s, s) = 0$ , 其中

$$M_i^{SMR} = J_i^+ * [E - \text{sign}(M_{N-i}) * W]$$

$$W = (E - P_i^+)^T \wedge [E - \text{sign}(J_i^+ * (P_i^+)^T)] \quad (3)$$

定义 10: 状态  $s$  是决策者  $DM_i$  的序贯稳态, 当且仅当  $M_i^{SEQ}(s, s) = 0$ , 其中

$$M_i^{SEQ} = J_i^+ * [E - \text{sign}(M_{N-i}^+ * (E - P_i^+)^T)] \quad (4)$$

## 2 核危机博弈模型

以 1969 年中苏边境冲突引发的核危机为背景, 基于建模假设构建冲突模型, 分析博弈状态演化过程和决策者可能达成的均衡状态。

### 2.1 问题背景与建模假设

1969 年, 中国和苏联在边境爆发武装冲突, 两国关系急剧恶化。苏联领导层提出了三种应对方案: 一是对中国实施大规模核打击从而“一劳永逸”地解决问题, 二是采取有限的核打击摧毁中国的抵抗力量, 三是使用谈判和威慑的手段解决问题。同时, 在当时的冷战格局下, 美国的态度对核危机博弈过程具有重要影响<sup>[19]</sup>。

使用核武器将付出高昂的政治成本和承担巨大的军事风险, 只有能够确保发动核攻击符合国家利益时, 决策者才会做此选择。由于苏联军事力量对中国的绝对优势和当时的冷战对峙格局, 可以排除中美两国首先使用核力量的可能性<sup>[19]</sup>。为明确模型描述边界, 根据问题背景提取三类建模假设条件:

假设 1: 博弈中各方决策者绝对理性, 国家利益是决定策略选取的唯一因素。

假设 2: 一旦发起核攻击, 在博弈状态演化过程中冲突烈度只会增强, 无法减弱。

假设 3: 在苏联发起军事进攻前, 中国和美国都不会选择动用武装力量。

### 2.2 博弈模型

冲突模型包含美国、苏联和中国三方决策者, 即  $N = \{US, USSR, PRC\}$ 。其中美国的策略包含军事干涉 (MI) 和外交调停 (PM), 苏联的策略包含全面核打击 (FD) 和有限核打击 (LA), 中国的策略包含全面核报复 (FR)、有限核报复 (LR) 和停止抵抗向苏联屈服 (SR)。根据模型假设条件, 从理论上存在的 128 项状态中遴选出 28 项可行状态, 如表 1 所示。

表 1 可行博弈状态列表

Tab.1 The list of feasible states

决策者	选项	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
美国	MI	N	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	Y	N
	PM	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	Y
苏联	FD	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N
	LA	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	Y
	FR	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
中国	LR	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N
	SR	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

状态  $s_1$  是冲突模型的初始状态，若中国选择屈服，博弈状态演化结束。根据假设条件，整理分析从  $s_1$  出发，博弈状态间的合法转移路径，生成冲突模型的结构数据，如图 2 所示。

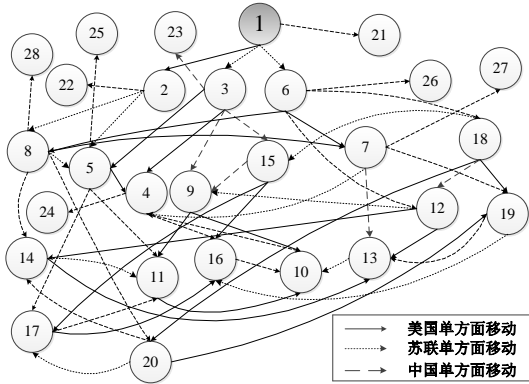


图 2 中苏核危机博弈模型

Fig.2 Game model for the nuclear crisis of Sino-Soviet

结合核危机实际背景，使用博弈状态优先排序法和适当情况下的直接排序法能够获取不同决策者的偏好信息<sup>[18]</sup>。对于美国，一方面不希望与苏联爆发大规模的直接冲突，另一方面需要避免中国屈服而被苏联完全控制，倾向于使用外交手段解决核危机。对于苏联，一方面希望中国因军事压力而屈服，另一方面需要尽可能避免美国干涉和中国抵抗造成的损失，中国的抵抗更具有可信度和现实威胁。对于中国，首先要维护国家主权和尊严，其次要争取国际支持遏制战争爆发，还需要尽量防止冲突升级造成的损失<sup>[19]</sup>。综合实际背景和模型假设条件，分析得到决策者偏好数据，如表 2 所示。

表 2 决策者偏好序列

Tab.2 The preference rank of different decision makers

决策者	偏好序列
美国	$s_2 \succ s_1 \succ s_{18} \succ s_{20} \succ s_6 \succ s_8 \succ s_{12} \succ s_{14} \succ s_9 \succ s_{11}$ $\succ s_{15} \succ s_{17} \succ s_3 \succ s_5 \succ s_{21} \succ s_{26} \sim s_{13} \succ s_{23} \sim s_{19}$ $\succ s_{22} \sim s_{10} \succ s_{28} \sim s_{16} \succ s_{25} \sim s_7 \succ s_4 \succ s_{27} \succ s_{24}$
苏联	$s_{21} \succ s_{26} \succ s_{23} \succ s_{22} \succ s_{28} \succ s_{25} \succ s_{27} \succ s_{24} \succ s_6$ $\succ s_3 \succ s_1 \succ s_8 \succ s_5 \succ s_2 \succ s_{15} \succ s_{17} \succ s_4 \succ s_{18} \succ s_{20}$ $\succ s_9 \succ s_{11} \succ s_7 \succ s_{12} \succ s_{14} \succ s_{16} \succ s_{10} \succ s_{19} \succ s_{13}$
中国	$s_2 \succ s_1 \succ s_{13} \succ s_{14} \succ s_{12} \succ s_{19} \succ s_{20} \succ s_{18} \succ s_{10}$ $\succ s_{11} \succ s_9 \succ s_7 \succ s_8 \succ s_6 \succ s_{16} \succ s_{17} \succ s_{15} \succ s_4 \succ s_5$ $\succ s_3 \succ s_{21} \sim s_{22} \succ s_{26} \sim s_{28} \sim s_{27} \succ s_{23} \sim s_{24} \sim s_{25}$

### 2.3 博弈状态演化分析

基于 2.2 所示的冲突模型博弈状态、模型结构和决策者偏好数据，根据 1.2 所示的 GMCR 矩阵表示方法和稳态判定条件，生成冲

突模型稳态分析结果，如表 3 所示。

表 3 冲突模型稳态分析结果

Tab.3 The preference rank of different decision makers

状态	Nash				GMR				SMR				SEQ				
	1	2	3	E	1	2	3	E	1	2	3	E	1	2	3	E	
1				√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2	√		√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	√	√			√	√			√	√			√	√			
4	√	√			√	√			√	√			√	√			
5	√	√			√	√			√	√			√	√			
6	√	√			√	√			√	√			√	√			
7	√	√			√	√			√	√			√	√			
8	√	√			√	√			√	√			√	√			
9	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
10	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
11	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
12	√		√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	
13	√		√		√		√		√		√		√		√		
14	√		√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	
15	√	√			√	√			√	√			√	√			
16	√	√			√	√			√	√			√	√			
17	√	√			√	√			√	√			√	√			
18	√				√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
19	√				√		√		√		√		√		√		
20	√				√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
21	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
22	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
23	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
24	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
25	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
26	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
27	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
28	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	

由于决策者对均衡状态的偏好不同，即

$$\begin{aligned}
 & s_2, s_1 \succ_{US} s_{18}, s_{20} \succ_{US} s_9, s_{11} \succ_{US} s_{21} - s_{28} \\
 & s_{21} - s_{28} \succ_{USSR} s_2, s_1 \succ_{USSR} s_{18}, s_{20} \succ_{USSR} s_9, s_{11} \quad (5) \\
 & s_2, s_1 \succ_{PRC} s_{18}, s_{20} \succ_{PRC} s_9 - s_{11} \succ_{PRC} s_{21} - s_{28}
 \end{aligned}$$

在当前博弈态势下，无法找到各方决策者完全接受的妥协方案，稳态分析结果未能冲突问题。一般条件下，施加的核威慑强度越大，对手越倾向于屈服。因此，若博弈态势维持不变，苏联倾向于增强对中国的军事压力。

### 3 灵敏度分析

根据核危机实际历史背景，引入博弈政策和军事实力两类参数变量，对冲突消解图模型

的结构数据和决策者偏好数据进行灵敏度分析,研究参数变量对博弈状态的影响。应用联盟分析方法,分析国家关系的演化趋势。

### 3.1 博弈政策灵敏度分析

博弈政策(Game Policy)是指决策者采取并被其他决策者认知并接受的既定策略方案。博弈政策确定了决策者选取策略的模式,从而改变冲突消解图模型结构数据。结合实际历史背景,本文设置中国方面的两种博弈政策:1、决不屈服,2、全力反击<sup>[19]</sup>。决不屈服博弈政策将中国的可选策略集限定为{FD,LD},从图模型中删除状态 $s_{21}\text{-}s_{28}$ ,其余状态的稳态分析与表3中 $s_1\text{-}s_{20}$ 一致。此时,完全稳定的均衡状态集合为 $E_{NGSS}=\{s_9,s_{10},s_{11}\}$ ,非短视均衡状态集合为 $E_{GSS}=\{s_1,s_2,s_{18},s_{20}\}$ 。由于

$$\begin{aligned} s_2, s_1 \succ_{US} s_{18}, s_{20} \succ_{US} s_9, s_{11} \\ s_2, s_1 \succ_{USSR} s_{18}, s_{20} \succ_{USSR} s_9, s_{11} \\ s_2, s_1 \succ_{PRC} s_{18}, s_{20} \succ_{PRC} s_9, s_{11} \end{aligned} \quad (6)$$

博弈状态 $s_1, s_2$ 对于各方决策者均为较优的均衡状态,将其视为可能的妥协方案。

全力反击博弈政策是指一旦遭到任何强度的核攻击,即强制性地启动全面核报复,将中国的可选策略集进一步限定为{FD},稳态分析结果与表3中 $s_1\text{-}s_{14}$ 一致。此时, $E_{NGSS}=\{s_9,s_{10},s_{11}\}$ 且 $E_{GSS}=\{s_1,s_2\}$ 。对于三方决策者,均有和平状态远优于全面核战争,即 $s_2, s_1 \succ s_9 - s_{11}$ 。核危机演变为军事冲突的风险进一步降低。

### 3.2 军事力量灵敏度分析

军事力量(Military Capability)是指决策者采取军事行动策略时,影响博弈状态的能力。军事能力决定了对敌方可能造成的损失,从而改变其他决策者对博弈状态的偏好。结合实际背景,本文设置三种军事力量水平递减等级:1、全能力,2、强能力,3、弱能力。

全能力分析结果如表3所示。在强能力状态下中国遭到有限核打击后能够发起全面核报复;但在遭受全面核打击后,剩余作战力量只能采取有限核报复。此时, $E_{NGSS}=\{s_9,s_{10},s_{11},s_{21},s_{22},s_{23},s_{24},s_{25},s_{26},s_{27},s_{28}\}$ , $E_{GSS}=\{s_2\}$ 一旦美国默许苏联进攻中国,包含完全稳定和非短视稳定的可接受均衡状态集 $E_{NGSS} \cup E_{GSS}=\{s_9,s_{21},s_{23},s_{26}\}$ ,这时,中国的博弈稳态只有屈服和全面核战争。

在弱能力状态下,中国在遭到有限核打击

后就不能发起全面核报复,在遭受全面核打击后完全丧失核报复的能力。此时, $E_{NGSS}=\{s_9,s_{10},s_{11},s_{21},s_{22},s_{23},s_{24},s_{25},s_{26},s_{27},s_{28}\}$ , $E_{GSS}=\{s_{18},s_{20}\}$ 无论美国的态度如何,均有和平状态 $s_1, s_2 \notin E_{NGSS} \cup E_{GSS}$ 。中国只能选择屈服或者核战争。

### 3.3 决策者关系演化分析

由前文可知,在博弈政策2和军事力量1同时成立的条件下,博弈模型均衡状态集 $E_{NGSS} \cup E_{GSS}=\{s_1,s_2,s_9,s_{10},s_{11}\}$ 。根据定义4-6,识别出可能存在的决策者联盟关系及其对博弈状态演化的影响。

根据问题实际背景,处于战争边缘的中国和前苏联不可能结盟。因此,从非平凡联盟集合 $\{\{US,USSR\},\{US,PRC\},\{USSR,PRC\},\{US,USSR,PRC\}\}$ 中筛选出两种可行联盟关系:

$$\begin{aligned} \text{联盟关系1: } H_{11}=\{US,USSR\}, H_{12}=\{PRC\} \\ \text{联盟关系2: } H_{21}=\{US,PRC\}, H_{22}=\{USSR\} \end{aligned} \quad (7)$$

对于联盟关系1,从初始状态 $s_1$ 出发,存在 $R_{H_{11}}(s_1) \cap (E_{NGSS} \cup E_{GSS})=\{s_1,s_2\}$ 。根据表2所示决策者偏好数据, $s_1 \succ_{USSR} s_2 \wedge s_2 \succ_{US} s_1$ 。此时, $R_{H_{11}}^+(s_1) \cap (E_{NGSS} \cup E_{GSS})=\emptyset$ 。因此,美国和苏联都没有动机加入此联盟。

对于联盟关系2,从初始状态 $s_1$ 出发,存在 $R_{H_{21}}(s_1) \cap (E_{NGSS} \cup E_{GSS})=\{s_1,s_2\}$ 。根据表2所示决策者偏好数据, $s_2 \succ_{US} s_1 \wedge s_2 \succ_{PRC} s_1$ 。此时,即 $R_{H_{21}}^+(s_1) \cap (E_{NGSS} \cup E_{GSS})=\{s_2\}$ 。美国和中国均能从 $s_1 \rightarrow s_2$ 的博弈状态转移中获益,存在形成联盟的动机。

## 4 结论

为解决核安全研究中定量分析方法不足的问题,本文改进并应用GMCR方法,以1969年中苏边界冲突引发的核危机为背景,构建冲突模型并得到博弈过程中的稳态分析结果;引入博弈政策和军事能力两类模型参数,讨论了参数改变对稳态分析结果的影响;应用联盟分析方法,识别出可能存在的决策者联盟及其对国家关系演化的影响。

中苏核危机实际博弈过程验证了本文提出方法的有效性。由于中国拥有实现全面核报复的军事能力,并采取坚决抵抗的博弈政策,苏联最终放弃了核打击策略。出于安全威胁和战略利益的考虑,中美两国在此次核危机后开始改变相互敌视态度,改善国家关系并形成了联手对抗苏联的实际同盟,与本文分析结果一致。

本文在博弈政策制订、军事力量建设和外交关系选择等方面为维护国家核安全提供了决策参考,但在模型数据获取与量化描述以及博弈状态演化预测方面仍存在研究需求。在下一步工作中,将继续研究决策者偏好信息的获取

#### 参考文献 (References)

- [1] Scheffran J. Climate Change, Nuclear Risks and Nuclear Disarmament From Security Threats to Sustainable Peace [R]. World Future Council, Research Group Climate Change and Security, 2009.
- [2] Pietrobon A. Nuclear Powers' Disarmament Obligation under the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons and the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty: Interactions between Soft Law and Hard Law [J]. *Leiden Journal of International Law*, 2014, 27(1): 169-188.
- [3] 颜琳. 弃核决策: 安全、收益与规范路径 [J]. *国际论坛*, 2011, 13(4): 16-20.  
Yan L. The states decisions of forgoing nuclear weapons: approaches in terms of security, gains and norms [J]. *International Forum*, 2011, 13(4): 16-20. (in Chinese)
- [4] 李德顺. 战略稳定性中的相互依赖因素 [D]. 北京: 清华大学, 2012.  
Li D S. The Elements of Interdependence in the Strategic Stabilities [D]. Beijing: Tsinghua University, 2012. (in Chinese)
- [5] 姜鑫, 刘新建, 陈超. 基于多主体影响图及博弈论的军事决策建模[J]. *系统工程与电子技术*, 2011, 33(7): 1565-1569.  
Jiang X, Liu X J, Chen C. Modeling of military decision-making based on multi-agent influence diagrams and games [J]. *Systems Engineering and Electronic*, 2011, 33(7): 1565-1569. (in Chinese)
- [6] Hipel K W, Kilgour D M, Fang L. The graph model for conflict resolution [A]// *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, vol. 3, J. Cochran J, Ed. New York, NY, USA: Wiley, 2011: 2099-2111.
- [7] Howard N. Paradoxes of rationality: theory of metagames and political behavior [M]. Cambridge (MA): MIT Press, 1971.
- [8] Fraser N M and Hipel K W. Solving complex conflicts [J]. *IEEE Trans Syst. Man Cybern.* 1979. 9(12): 805-816.
- [9] Fang L, Hipel K W and Kilgour D M, et al. A decision support system for interactive decision making, Part I: model formulation [J]. *IEEE Trans Syst Man Cybern C Appl Rev.* 2003. 33(1): 42-55.
- [10] Fang L, Hipel K W and Kilgour D M, et al. A decision support system for interactive decision making, Part II: analysis and output interpretation [J]. *IEEE Trans Syst Man Cybern C Appl Rev.* 2003. 33(1): 56-66.
- [11] Kilgour D M and Hipel K W. Conflict analysis methods: The graph model for conflict resolution [M]. *Handbook of Group Decision and Negotiation, Advances in Group Decision and Negotiation 4*. New York, NY, USA: Springer, 2010: 203-222.
- [12] Li K W, Kilgour D M and Hipel K W. Status quo analysis in the graph model for conflict resolution [J]. *J. Oper. Res. Soc.* 2005. 56(6): 699-707.
- [13] Kilgour D M, Hipel K W and Fang L. Coalition analysis in assemble decision support [J]. *Group Decision and Negotiation*, 2001. 10(2): 159-175.
- [14] Inohara T and Hipel K W. Coalition analysis in the graph model for conflict resolution [J]. *Syst. Eng.*, 2008. 11(4): 343-359.
- [15] Xu H, Hipel K W and Kilgour D M. Matrix representation of solution concepts in multiple-decision-maker graph models [J]. *IEEE Trans Syst Man Cybern., Syst.* 2009. 39(1): 96-108.
- [16] Xu H, Hipel K W and Kilgour D M, et al. Theory and application of conflict resolution with hybrid preference in colored graphs [J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2013. 37(3): 989-1003.
- [17] Inohara T, Hipel K W and Walker S. Conflict analysis approaches for investigating attitudes and misperceptions in the war of 1812 [J]. *J. Syst. Sci. Syst. Eng.* 2007. 16(2): 181-201.
- [18] Ge B, Hipel K W and Fang L, et al. An interactive portfolio decision analysis approach for system-of-systems architecting using the graph model for conflict resolution [J]. *IEEE Trans Syst Man Cybern., Syst.* 2014. 44(10): 1328-1346.
- [19] 闫佼丽. 中国核战略与中美、中苏关系 (1954-1976年) [D]. 太原: 山西大学, 2005.  
Yan J L. The interaction between Chinese nuclear strategy and the relations of Sino-U.S. and Sino-Soviet [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2005. (in Chinese)