

核危机博弈冲突消解图模型分析*

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的不足,调整冲突消解图模型分析方法并将其应用于核危机博弈分析。提出冲突消解图模型分析流程、相关定义和矩阵表示方法;以1969年爆发的中苏核危机为背景,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;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敏感性分析;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;根据模型数据分析结果,总结相关结论和决策参考。研究表明,冲突分析方法适用于核危机管控研究,采用与军事实力相匹配的策略在危机博弈演化中具有重要作用。

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:**1001-2486(2017)02-193-06

Game analysis for nuclear crisis using the graph model for conflict resolution

YOU Hanlin, LI Mengjun, JIANG Jiang, GE Bingfeng, ZHANG Xueting, XU Jianguo

(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 GMCR (graph model for conflict resolution) was adjusted and applied to games analysis for nuclear crisis. Firstly, the analysis framework, the related definitions and the matrix representation approaches were proposed. Secondly, the conflict model was calibrated based on the history background of the Sino-Soviet nuclear crisis in 1969, and the evolution of game state was unveiled by using matrix analysis algorithms. Thirdly, two parameters of conflict model were introduced, namely game policy and military capability, and the sensitivity analysis for their influence to stability results was researched. Fourthly, coalition analysis methodologies were utilized to identify the potential alliances of decision makers and its impact on national relation evolution. Finally, relevant conclusions and decision suggestions of nuclear security were summarized based on the analysis results of the conflict model. Results show that the GMCR is suitable for investigating nuclear crisis and the strategy matching with military capability play a key role in game evolution.

Key words: nuclear security; graph model for conflict resolution; game analysis; Sino-Soviet nuclear crisis

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^[1]。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^[2-4]。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^[2],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^[5]。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、数据匮乏且博弈状态效用难以精确量化的核安全问题研究中,显然不再适用^[6]。

为解决这一问题,系统工程研究领域学者在博弈论框架下提出了冲突分析理论^[7-8],并将其发展为输入数据需求更少、灵活性更强、分析功能更全面的冲突消解图模型(Graph Model for Conflict Resolution, GMCR)^[9-10]。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)^[11]、着眼于状态移动路径追溯的现状分析

* 收稿日期:2015-09-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71501182,71671186)

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(通信作者),男,副教授,博士,硕士生导师,E-mail:jiangjiangnudt@hotmail.com

(status quo analysis)^[12]、关注决策者关系的联盟分析(coalition analysis)^[13-14]以及降低模型分析计算复杂度的矩阵表示与分析方法^[15-16]等方面进一步完善了 GMCR 研究,并在英美战争(1812 年)^[17]、古巴导弹危机^[6]以及武器装备组合优化^[18]分析等军事研究领域得到成功应用。

为应对传统核安全威胁带来的挑战,根据核危机实际背景需求改进应用冲突消解图模型理论方法,识别可能达成妥协的均衡状态、分析博弈状态演化路径与影响因素,从而为战略力量建设与危机管控提供决策支撑。

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^[6],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。

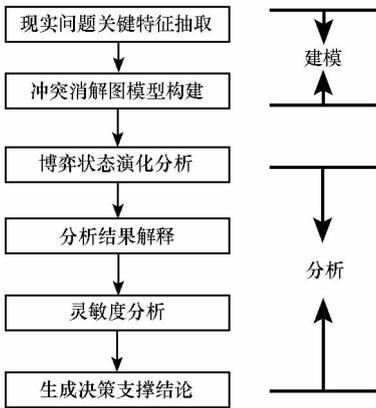


图 1 冲突问题分析流程

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^[11]。

定义 1 图模型 G 可描述为四元组 $G = (N, S, (A_i)_{i \in N}, (P_i)_{i \in N})$, 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 $i \in N, A_i \in S \times S$ 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 $i \in N, P_i \in \{>, \sim\}$ 是决策者对于可行状态的相对偏好; 若 $s >_i t$, 则对于决策者 DM_i

而言, 有状态 s 优于状态 t ; 若 $s \sim_i t$, 则对于决策者 DM_i 而言, 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(UT)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 在单方面移动一步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 在单方面提升一步后可以到达的状态集合可表示为 $R_i^+(s) = \{t \in S | (s, t) \in A_i \wedge t >_i s\}$ 。

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(Nash)稳态、一般元理性稳态(General MetaRational, GMR)、对称元理性稳态(Symmetric MetaRational, SMR)以及序贯稳态(Sequentially, 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)^[11]。

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^[13]。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, 可达状态集表示为 $R_H(s)$ 。

定义 5 对于联盟 H , 其单方面提升可达状态集表示为 $R_H^{++}(s) = \{t \in R_H(s) | \forall i \in H, t >_i s\}$ 。

定义 6 若博弈状态 s_1, s_2 都是冲突消解图模型 G 的同一类型的均衡状态, 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、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^[14]。

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^+ 如式(1)^[15]所示。

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

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。

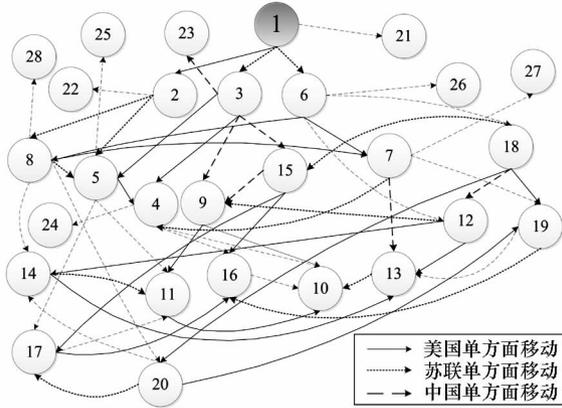


图 2 中苏核危机博弈模型

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^[18]。对于美国而言,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。对于苏联而言,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。对于中国而言,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^[19]。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 Preference rank of different decision makers

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

2.3 博弈状态演化分析

基于 2.2 节所示的冲突模型数据,根据 1.2

节所示的 GMCR 矩阵表示方法和稳态判定条件,编写 MATLAB 矩阵分析算法生成冲突模型稳态分析结果,如表 3 所示。其中 1 代表美国,2 代表苏联,3 代表中国是否在当前状态达到对应类型的稳定,E 代表是否达到均衡稳态。

表 3 冲突模型稳态分析结果

Tab. 3 Results of stability analysis

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

$$\begin{cases} s_2, s_1 > US^{s_{18}}, s_{20} > US^{s_{9-11}} > US^{s_{21-28}} \\ s_{21-28} > USSR^{s_2}, s_1 > USSR^{s_{18}}, s_{20} > USSR^{s_{9-11}} \\ s_2, s_1 > PRC^{s_{18}}, s_{20} > PRC^{s_{9-11}} > PRC^{s_{21-28}} \end{cases} \quad (5)$$

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,稳态分析结果未能解决冲突问题。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 敏感性分析

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敏感性分析,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 博弈政策敏感性分析

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,设置中国方面的两种博弈政策:决不屈服;全力反击^[19]。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 $s_{21 \sim 28}$,其余状态的稳态分析结果与表3中 $s_{1 \sim 20}$ 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

$$\begin{cases} s_2, s_1 >_{US} s_{18}, s_{20} >_{US} s_{9 \sim 11} \\ s_2, s_1 >_{USSR} s_{18}, s_{20} >_{USSR} s_{9 \sim 11} \\ s_2, s_1 >_{PRC} s_{18}, s_{20} >_{PRC} s_{9 \sim 11} \end{cases} \quad (6)$$

博弈状态 s_1, s_2 对于三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 $s_{1 \sim 14}$ 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 $s_2, s_1 > s_{9 \sim 11}$ 。核危机演变为军事冲突的风险进一步降低。

3.2 军事力量敏感性分析

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,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,均衡状态集 $E_{NGSS} = \{s_9, s_{10}, s_{11}, s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24}, s_{25}, s_{26}, s_{27}, s_{28}\}$, $E_{GSS} = \{s_2\}$ 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,存在 $E_{NGSS} = \{s_9, s_{10}, s_{11}, s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24}, s_{25}, s_{26}, s_{27}, s_{28}\}$, $E_{GSS} = \{s_{18}, s_{20}\}$,即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苏联不可能结盟。因此,从非平凡联盟全集 $\{\{US, USSR\}, \{US, PRC\}, \{USSR, PRC\}, \{US, USSR, PRC\}\}$ 中筛选出两种可行联盟关系:

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

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, $s_1 >_{USSR} s_2 \wedge s_2 >_{US} s_1$ 。此时, $R_{H_{11}}^{++} \cap (E_{NGSS} \cup E_{GSS}) = \emptyset$ 。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, $s_2 >_{US} s_1 \wedge s_2 >_{PRC} s_1$ 。此时,即 $R_{H_{21}}^{++} \cap (E_{NGSS} \cup E_{GSS}) = \{s_2\}$ 。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,以1969年中苏边界冲突引发的核危机为背景,改进应用GMCR方法构建核危机博弈模型,并得到稳态分析和博弈状态演化结果;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。

核危机真实历史过程验证了所提方法的有效性。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,寻求改善国家关系并最终形成了联手对抗苏联的实际同盟,与模型分析结果一致。

核危机博弈冲突消解图模型分析在博弈政策制订、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有进一步深入研究的必要。在下一步工作中,将继续研究决策者偏好信息的获取与度量、状态转移的概率/置信度计算以及决策者在联盟中的地位差异描述方法。同时,将 GMCR 方法应用于解决朝鲜半岛无核化、伊朗核问题以及国际核裁军谈判等热点问题。

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 Lin. 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 Deshun. 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 Xin, LIU Xinjian, CHEN Chao. Modeling of military decision-making based on multi-agent influence diagrams and games [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2011, 33(7): 1565-1569. (in Chinese)

[6] Hipel K W, Kilgour D M, Fang L. The graph model for

conflict resolution [M]. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*; New York, NY, USA: Wiley, 2011; 2099-2111.

[7] Howard N. Paradoxes of rationality: theory of metagames and political behavior [M]. Cambridge MA, USA: MIT Press, 1971.

[8] Fraser N M, Hipel K W. Solving complex conflicts [J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics*, 1979, 9(12): 805-816.

[9] Fang L P, Hipel K W, Kilgour D M, et al. A decision support system for interactive decision making, part I: model formulation [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Part C*, 2003, 33(1): 42-55.

[10] Fang L P, Hipel K W, Kilgour D M, et al. A decision support system for interactive decision making, part II: analysis and output interpretation [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Part C*, 2003, 33(1): 56-66.

[11] Kilgour D M, Hipel K W. Conflict analysis methods: the graph model for conflict resolution [M]. USA: Springer Netherlands, 2010: 203-222.

[12] Li K W, Kilgour D M, Hipel K W. Status quo analysis in the graph model for conflict resolution [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2005, 16(6): 699-707.

[13] Kilgour D M, Hipel K W, Fang L P. Coalition analysis in group decision support [J]. *Group Decision and Negotiation*, 2001, 10(2): 159-175.

[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, Hipel K W, Kilgour D M. Matrix representation of solution concepts in multiple-decision-maker graph models [J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics: Part A*, 2009, 39(1): 96-108.

[16] Xu H, Hipel K W, 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, Walker S. Conflict analysis approaches for investigating attitudes and misperceptions in the war of 1812 [J]. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2007, 16(2): 181-201.

[18] Ge B, Hipel K W, Fang L P, et al. An interactive portfolio decision analysis approach for system-of-systems architecting using the graph model for conflict resolution [J]. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Systems*, 2014, 44(10): 1328-1346.

[19] 闫俊丽. 中国核战略与中美、中苏关系(1954-1976年) [D]. 太原: 山西大学, 2005.
YAN Jiaoli. The interaction between Chinese nuclear strategy and the relations of Sino-U. S. and Sino-Soviet [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2005. (in Chinese)