引文格式:周扬,秦昆,许艳青,等.利用地理流网络分析探测全球冲突社区结构[J].武汉大学学报(信息科学版),2026,51(1):78-98.DOI:10.13203/j.whugis20240502

Citation:ZHOU Yang,QIN Kun,XU Yanqing,et al.Community Detection of Global Conflict Based on Geographical Flow Network Analysis[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2026,51(1):78-98.DOI:10.13203/j.whugis20240502

利用地理流网络分析探测全球冲突社区结构

周 扬[1] 秦 昆[1] 许艳青[1] 喻雪松[1] 梁天祺[1]

1 武汉大学遥感信息工程学院,湖北 武汉,430079

摘 要:21世纪以来国际关系错综复杂,全球冲突此起彼伏。国家/地区之间的彼此影响形成了内部联系紧密的冲突集团,全面分析冲突集团的特征能够增进对国际局势的整体感知,为制定外交策略提供参考。冲突事件中的信息与物质的流动构成了国际冲突流这一特殊的地理流,地理流网络化挖掘以其全面的建模与分析能力为大尺度、动态性的国际冲突研究提供了方法基础。基于全球事件、语言和语调数据库提取国际冲突事件,以国家/地区为节点、国际冲突为边,构建时序的全球冲突流网络,运用多层社区分析、聚类分析等方法挖掘了国家/地区的冲突集团,并分析了不同类型冲突集团所反映的交互特征。研究结果表明:社区的拓扑特征、动态特性有助于进一步对冲突集团进行区分,针对冲突集团特征与模式的分析揭示出全球尺度整体上以中等规模的国际冲突为主,并且可以归纳为全球性综合冲突、区域性低强度冲突、局部持续性冲突、小规模冻结冲突以及局部热点地缘冲突。

关键词:全球冲突事件;地理流空间分析;复杂网络;社区探测;国际关系时空分析;统计分析;社区分类

中图分类号:P208 **文献标识码**:A **收稿日期**:2024-12-20

DOI:10.13203/j.whugis20240502 **文章编号**:1671-8860(2026)01-0078-21

Community Detection of Global Conflict Based on Geographical Flow Network Analysis

ZHOU Yang[1] *QIN Kun*[1] *XU Yanqing*[1] *YU Xuesong*[1] *LIANG Tianqi*[1]

1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: **Objectives**: Since the 21st century, persistent global conflicts have intensified the uncertainty in international relations. The interactions in conflicts form a distinct type of geographical flow, known as conflict flow. The comprehensive analysis of the characteristics and patterns within conflict flow can enhance the understanding of international relations and offer valuable insights for policy planning. Conflict events provide details of interactions between countries or regions, thereby offering a foundation for the study of large-scale and long-term conflict relations. Meanwhile, the development of network analysis has facilitated the representation of relationships, providing a feasible method for the study of conflict flow. **Methods**: Theories and methodologies concerning complex networks, particularly multilayer networks, are utilized to analyze the conflicts with dynamic characteristics between countries or regions. First, based on event data in the global database of events, languages and tones from 2021 to 2022, conflict events can be represented as edges between the nodes of countries or regions. The temporal international conflict flow network can be constructed by organizing and segmenting conflicts monthly. Second, the communities of countries or regions nodes can be identified from the international conflict flow network using a Louvain-like algorithm adapted for multilayer networks. Finally, these communities can be further represented as sub-networks. Based on the network topological feature measurements, a method that integrates clustering analysis, statistical analysis, and visualization can be employed to infer international conflict patterns within the commu-

基金项目:国家自然科学基金(42171448);中央高校基本科研业务费专项资金(2042024kf0005);国家社科重大项目(21&ZD332)。

第一作者:周扬,博士生,主要研究方向为时空大数据分析。zhouyang0612@whu.edu.cn

通信作者:秦昆,博士,教授。qink@whu.edu.cn

nities. **Results:** The statistical analysis of networks indicates that the countries or regions involved in conflicts remain relatively stable. However, the overall intensity of conflicts could demonstrate fluctuations during specific events. The spatial distribution of communities indicates that international conflicts are generally dispersed, while exhibiting aggregative patterns within localized areas. From statistical and clustering analysis of the network topological features, the communities can be classified into five distinct types, each representing a unique conflict pattern: (1) Global comprehensive conflicts are characterized as large-scale conflicts exhibiting limited overall intensity, primarily driven by a limited number of major countries or regions. (2) Low-intensity regional conflicts are primarily associated with large-scale international conflicts within specific areas, with relatively limited intensity and overall influence. (3) Localized persistent conflicts are mainly concentrated in localized areas within a specific continent, with the composition, intensity, and influence of conflicts remaining relatively stable. (4) Small-scale frozen conflicts can be classified as a category of stable conflicts, with limited scale and intensity. These conflicts are primarily associated with continuous bilateral events between neighboring countries or regions. (5) Localized intense geopolitical conflicts tend to cluster around areas with unstable situations. These conflicts are primarily associated with high-frequency, high-intensity bilateral conflict events between key countries or regions. The statistical and visual analysis indicate that the frequency and intensity of conflicts between most countries or regions remain relatively limited, except for the localized intense geopolitical conflicts. Additionally, with the exception of global comprehensive conflicts, the majority of conflict clusters exhibit a cohesive spatial distribution pattern. **Conclusions:** The international conflict flow network shows an overall stable distribution of conflicts with significant dynamic variations in intensity and frequency within localized areas. The characteristics associated with different types of conflicts can be reflected in the internal structure of the corresponding communities. Large-scale conflicts and intense geopolitical conflicts comprise limited proportions of international multi-actor conflicts. Therefore, the overall international environment can still be characterized by peace and stability. For countries or regions, detailed analysis of community structures within the international conflict flow network can provide additional support and reference for the dynamic adjustment of foreign policy and strategies.

Key words: global conflict events; geographical flow spatial analysis; complex network; community detection; spatiotemporal analysis of international relations; statistical analysis; community classification

当下国际关系风云变幻、错综复杂,国家/地区之间不同规模、不同类型的交互频繁发生。国际冲突是其中一种重要的交互,对国家/地区的贸易合作[1-2]、人口移动[3-4]、资源分配[5]、安全保障[6-7]等重要决策产生深远影响。综合分析国际冲突的交互特征或行为模式,能够为制定外交策略、推动构建和平稳定的发展环境提供有价值的参考。全球尺度下,不同的双边冲突彼此影响、相互关联,构成了国家/地区冲突集团[8-9],挖掘并分析国际冲突集团有助于揭示冲突的形成机制[10]、预测国际局势发展动向[11],并为推动冲突解决提供基础。

国际冲突涉及国家/地区间意识形态的传播与流动,包括以外交谴责为代表的虚拟空间信息的交换和以武装斗争为代表的现实空间物质的移动,这类地理对象以特定形式在不同位置之间的移动构成了一种能够反映国际关系的地理流[12-15]。在网络分析的框架下将地理流构造为地理流网络,可定量地刻画国际冲突的特征与模式[16]。在全球尺度的地理流网络中,社区结构能够表示联系紧密的国家/地区集团,例如国际偏好关系网络社区可用于识别国家/地区的盟友[17],贸易流网络社区反映了国际贸易的伙伴团体[18]。因此,对于国际冲突流网络,社区结构可表示由国家/地区紧密联系而构成的冲突集团,而社区内部的节点连接模式进一步反映了集团内冲突密度、频率等细节层面特征,能够为理解冲突流中的国家/地区交互模式、推断冲突形成的机制提供依据[19-20]。但是,目前冲突流网络化挖掘研究侧重于识别社区结构以确定冲突集团的构成,如何通过社区拓扑结构对冲突集团的差异性与相似性进行定性、定量分析是亟须解决的问题。

在冲突形成与发展的过程中,历史冲突能够

对当前国家/地区之间的冲突流产生影响[21-22],促使国家/地区构成具有动态特性的冲突集团。对于地理流网络化挖掘,可结合多层网络的方法分析国家/地区间交互的变化[23-25]。例如,对国际移民流网络中的消极联系进行时序分析,解释国家/地区间的竞争模式改变[26];通过动态的军事联盟网络,刻画国家/地区之间合作与博弈关系的演变趋势[27-28]。因此,针对国际冲突构建时序化的冲突流网络、挖掘冲突集团特征,有助于揭示国际冲突的演化规律,为预测冲突的未来发展趋势提供依据。但目前的冲突集团研究以静态、单层的冲突流网络分析为主,顾及冲突动态特性的多层地理流网络研究相对缺乏。

国际冲突事件记录了信息与物质在国家/地区间传播与流动的过程,是提取冲突流、构建地理流网络的重要基础。全球事件、语言和语调数据库(global database of events, language, and tone,GDELT)是国际冲突事件的重要数据来源[29],它从全球主要新闻媒体中自动提取各个国家、地区、组织之间不同类型的事件,时间范围涵盖1979年至今,目前每15 min更新一次,能够为全面、实时地进行国际冲突流网络分析提供支持。

针对国际冲突集团的地理流网络化挖掘中社区内部结构、动态特性分析不足的问题,本文从GDELT事件库中提取了国家/地区间的冲突并构建国际冲突流网络,通过多层网络社区探测方法获得动态的冲突集团;根据社区的拓扑结构特征、动态变化特性与社会经济属性,综合利用降维、聚类与统计分析对冲突集团进行分类并挖掘其中的冲突特征与模式差异,为进一步预测冲突演化趋势、分析冲突的影响因素提供参考。

1 数据与方法

1.1 数据来源与处理

本文通过GDELT的冲突事件提取全球尺度的国际冲突流,该数据库在2013年后实现了对全球所有国家/地区的覆盖[29-30],因此从数据全面性的角度可将GDELT事件的分析重点聚焦到2013年后。近年来,全球范围内热点冲突事件频发,涵盖了俄乌冲突、巴以冲突等影响力突出的地缘冲突,以及阿富汗危机、叙利亚危机等吸引广泛关注的地区性冲突。这些代表性事件冲突态势的发展通常与数周或数月尺度上的中短期变化相关联[31-33],为使数据分析能够连续地覆盖冲突态势的变化,本文以2021—2022年的GDELT冲突事件为研究对象。同时,收集整理了各有关国家/地区的属性信息作为分析冲突集团的补充,包括地理距离、国内生产总值(gross domestic product,GDP)、外部直接投资(foreign direct investment,FDI)以及全球和平指数(global peace index,GPI)。

1)GDELT冲突事件数据。GDELT的事件库对全球媒体进行实时的监测与分析,提取出事件的参与者、地点、时间、类型等信息,并基于“冲突与调解事件观测”对事件进行编码[34-35]。GDELT事件库中的事件可划分为“冲突”与“合作”两个主要类型,通过“QuadClass”进行标识。Goldstein量表能够衡量事件对于参与者的潜在影响[36],绝对值越高则影响越深远,因此可以用于反映特定时期内两个国家/地区之间冲突的强度。

本文基于QuadClass筛选GDELT事件库中的冲突类型事件,通过参与者代码(Actor1Code和Actor2Code)筛选发生冲突的国家/地区作为构造地理流网络的基础,利用Goldstein Scale字段计算国家/地区之间的冲突强度,并借助时间戳(Day)字段确定冲突事件发生的时间。

2)国家/地区属性数据:(1)地理距离测度。来自法国世界经济研究中心的GeoDist数据集,涵盖全球主要国家/地区首府城市之间的地理距离[37]。本文主要利用该数据探索距离与冲突强度的联系。(2) GDP与FDI数据。通过联合国统计司与世界银行分别提取2021年和2022年各个国家/地区的GDP和FDI统计数据,其中GDP衡量了国家/地区的经济规模,FDI则体现国家/地区对外的经济吸引力,可应用于分析冲突集团内的经济发展情况。(3) GPI数据。GPI即全球和平指数,可用于度量特定国家/地区社会发展的和平与稳定程度[38-39]。提取2021—2022年的GPI统计数据,以分析各个冲突集群的整体和平形势。

1.2 国际冲突流网络构建方法

基于一组对象V和对象间的关系E,能够表示一般的地理流网络$G=(V, E)$,其中V在网络内称为节点,E称为边。多层网络模型是对单层网络的扩展,根据文献[40]提出的“四元组”表示法[40],多层地理流网络M可定义为:

$$M=(V_M,E_M,V,L) \tag{1}$$

式中,V_M表示网络各层中节点的总和;$E_M\subseteq V_M\times V_M$定义了网络中的边,包括层内边

与层间边;多层网络节点可在不同层中复用,因此通过合并 V_M 中的重复项能够得到网络中非重复的节点 V,表示参与地理流网络构成的所有对象;由于多层网络可以包含多个主题,多层网络中的层 L 完整的表示应为 $L=\{L_\alpha\}_{\alpha=1}^{d}$,其中 d 即网络中包含的主题数量。

本文基于GDELT事件库构造全球尺度的冲突流网络,各层中的节点均为国家/地区,可以利用各层之间节点的同质性将式(1)中的 V_M 与 V 合并,使网络简化为多路复用网络[41]。国际冲突流网络定义为 $M_c=(V_c,E_c,L_c)$,其中,V_c 表示GDELT冲突事件记录的国家/地区集合;E_c 包含层内边和层间边,层内边表示特定月份中国家/地区之间存在冲突,权重为二者在对应月份中所有冲突事件的Goldstein Scale绝对值之和,层间边反映了国际冲突的时间顺序;层集合 L_c 表示冲突发生的时段,与冲突事件聚合的时间粒度相关。冲突事件的聚合一方面应平衡不同粒度的影响,减轻时间粒度(例如日)过细带来的稀疏性和噪声影响,避免时间粒度(例如年)过粗对动态变化的掩盖[42-44];另一方面需顾及国家/地区对于冲突中交互存在响应周期,可达数周以至数月[45-47]。基于平衡性与响应周期的综合考虑,本文以月作为冲突事件聚合的单位。假设 l_n、l_{n+1} 分别为当前层和后续层,则二者分别包含当前与后续月份内各国家/地区之间发生的所有冲突;l_n 和 l_{n+1} 之间的层间边连接两层之间的同名节点,表明 l_n 层涵盖的冲突在时间上先于 l_{n+1} 层。此外,由于本文针对GDELT中的冲突事件,L_c 仅涉及1个主题,若给定研究时段内包含的月份数 m,可将 L_c 简化表示为 $\{l_1,l_2,\cdots,l_m\}$。

给定表1的聚合后GDELT冲突事件,利用上述网络构建方法,可得如图1所示国际冲突流网络。

表 1　GDELT事件库的冲突事件聚合示例

Table 1　Example of Aggregated Conflict Events in GDELT Event Database

时段编号	国家/地区1	国家/地区2	冲突事件累计加权
1	乌克兰	俄罗斯	3
1	俄罗斯	波兰	1
2	乌克兰	俄罗斯	3
2	乌克兰	波兰	1
2	俄罗斯	波兰	2

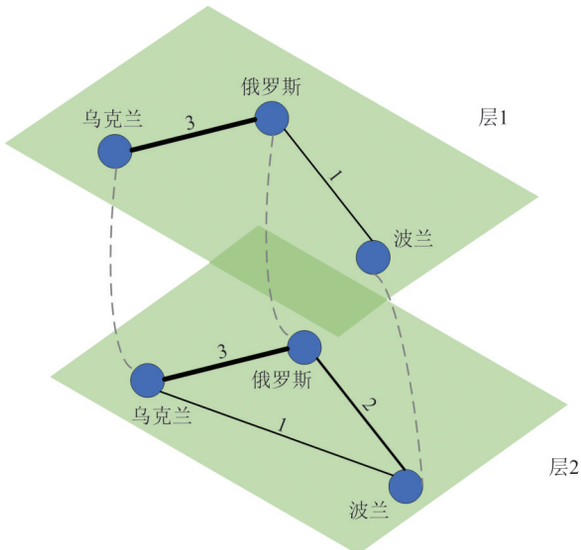


图 1　国际冲突流网络结构示例

Fig. 1　Example of International Conflict Flow Network

1.3　国际冲突流的社区探测方法

1.3.1　多层网络社区探测

在国际冲突中,部分国家/地区出于特定原因形成紧密联系的团簇,即社区结构,预示着相关国家/地区之间在一定时期内的冲突强度相较于社区外部更加显著。社区探测的主要目的是提取社区内部节点联系明显强于社区之间节点联系的集群,在此过程中常以模块度 Q 作为迭代的目标[48]。模块度 Q 度量了社区内节点间的边数与随机情况下的边数之差,在冲突流网络中反映冲突在特定国家/地区组合间的集中程度,即模块度越高,则探测到的冲突越集中在相应的国家/地区集群内,反之则反映冲突在全球各国家/地区之间分布相对平均。单层网络中,模块度 Q 的计算公式为:

$$Q=\frac{1}{2}\sum\left(A_{ij}-\frac{k_ik_j}{2m}\right)\delta\left(g_ig_j\right) \tag{2}$$

式中,A_{ij} 为网络的邻接矩阵中的元素,表示节点 i 与 j 之间是否存在连接;k_i 和 k_j 表示节点 i 与 j 的度;m 为网络的边数;$\delta\left(g_ig_j\right)$ 用于衡量节点 i 与 j 的社区所属 g_i 和 g_j,二者相同时取1,否则取0。

多层网络社区划分不仅需要考虑层内连接,也需顾及层间连接,因此模块度的计算公式为:

$$Q_M=\frac{1}{2\mu}\sum_{ijsr}\left[\left(A_{ijs}-\gamma_s\frac{k_{is}k_{js}}{2m_s}\right)\delta_{sr}+\delta_{ij}\omega\right]\delta\left(g_{is},g_{jr}\right) \tag{3}$$

式中,A_{ijs} 是由层 s 中节点 i 与 j 之间的边权重构成的邻接矩阵中的元素;k_{is}、k_{js} 分别表示层 s 中的节

点i与j的强度;δ是判断随机变量相等与否的算子,当两个变量相等时取值为1,否则为0;m为层s中所有节点的总强度;μ为在层s中采样到节点i的概率;g_{is}和g_{jr}分别表示分配给层s中节点i的标签以及分配给层r中节点j的标签;γ和ω是分别从层内和层间反映社区的分辨率参数。

以不同尺度对地理流网络进行划分能够获得规模形态各异的社区,可用分辨率参数γ对划分的尺度进行衡量,γ越高,则节点间耦合关系越强,社区越接近于聚集的小规模集群[49-50]。对于多层网络,社区的规模反映在层内与层间两个维度,可增加分辨率参数ω以控制层间的耦合强度,ω越高,则层间耦合强度越强,各层中社区内的节点构成具有越显著的连贯性[23]。因此在国际冲突流网络中,分辨率参数γ的低值主要与分布范围广、规模大的国际冲突相关,高值对应的冲突则主要聚焦于局部范围内的小规模国家/地区集团;从时间顺序的角度看,分辨率参数ω的低值侧重于反映冲突的短期动态变化,高值则侧重于体现国家/地区之间的长期化冲突。

本文采用一种基于多层模块度提出的类Louvain算法探测国际冲突流网络的社区[51]。对于此类算法中的社区划分随机性,采取共识聚类的策略[52],对社区反复进行迭代、统计,构造矩阵$\boldsymbol{A}_{\text{rep}}$,表示节点$i$和$j$共属同一社区的概率$a$,计算公式为:

$$a=\frac{n_{ij}}{N} \tag{4}$$

式中,n_{ij}为迭代过程中节点i和j属于相同社区的次数;N为迭代的次数。而后,将式(3)中的A_{ijs}替换为$\boldsymbol{A}_{\text{rep}}$进行社区探测。

为进一步对比不同国家/地区间冲突的特征与模式,体现冲突的动态变化,本文将类Louvain算法得到的原始社区按时间顺序切分,并应用于冲突集团分析。

1.3.2 社区划分对比

国际冲突的影响范围、持续时间等方面具有差异性、多元性[53-55],在冲突流网络中表现为不同规模、形态的社区划分,综合分析其中的典型社区有助于发现国家/地区间的主要冲突模式。因此,本文利用社区划分结果构建随机变量,以归一化互信息(normalized mutual information, NMI)指标测度社区划分的相似性,提取冲突流网络中的代表性社区划分。NMI的计算公式为:

$$v_{\text{NMI}}=\frac{-2\sum_{X=1}^{M}\sum_{Y=1}^{N}P(m,n)\lg\left(\frac{P(m,n)}{P(m)P(n)}\right)}{\sum_{X=1}^{M}P(m)\lg\left[P(m)\right]+\sum_{Y=1}^{N}P(n)\lg\left[P(n)\right]} \tag{5}$$

式中,v_{NMI}为归一化互信息值;M和N分别表示X和Y两种社区划分中的社区数量;m和n分别为X和Y中的社区;X包含社区m和Y包含社区n的概率分别为$P(m)$和$P(n)$;$P(m,n)$表示社区m属于划分方案X、社区n属于划分方案Y的联合概率。NMI值越接近1,则两种社区划分的相似性越高,表明两组社区反映的国际冲突越一致;NMI越接近0,则两组社区反映的国际冲突具有越显著的差异。本文分别对分辨率参数γ和ω进行调整,通过NMI分析分辨率对冲突流网络社区划分的主要作用区间,并根据NMI的变化趋势提取代表性的社区划分。

1.4 拓扑结构测度方法

1)点边数:用n_N和n_E分别表示网络中所包含节点和边的数量,可以用于量化特定时期内国家/地区之间冲突的规模。

2)边强度:即边权重,可反映两个国家/地区间的冲突频率、激烈程度等特征。本文以单月内两个国家/地区之间冲突事件的Goldstein Scale之和作为网络中对应边的权重,计算公式为:

$$w_{ij}=\sum g_{ij} \tag{6}$$

式中,w_{ij}为节点i和j之间边的权重;g_{ij}为节点i和j代表的国家/地区之间某一冲突事件的Goldstein Scale值。

3)点强度:反映了连接到特定节点的各条边的权重。在国际冲突流网络中,节点的强度体现了一定时间内国家/地区参与冲突的强度,能够量化其受到冲突事件的影响,计算公式为:

$$s_n=\sum_j w_{ij} \tag{7}$$

式中,s_n为节点i的强度;节点j是与i相连的任意节点,w_{ij}为连接节点i和j的边的权重。

4)中心性:中心性可以衡量网络中节点的重要性,从而提供一种对比国家/地区在冲突中的影响力的方法。本文以参与冲突的频率与事件的影响程度综合表示国家/地区的重要性,将节点度与节点强度结合计算加权度中心性c_i:

$$c_i=\frac{d_i s_{n,i}/(N-1)}{2\sum_{u,v\in V}w_{uv}} \tag{8}$$

式中,d_i为节点i的度;$s_{n,i}$为节点i的点强度;N表示网络的节点数量;w_{uv}为u和v之间边的权重。

5）聚类系数：聚类系数是对于网络节点之间连接紧密程度的度量，反映国家/地区形成的小规模冲突团体数量，其计算公式为：

$$c=\frac{1}{n_N}\sum\frac{2n_E(i)}{d_i(d_i-1)} \tag{9}$$

式中，c为网络的聚类系数；$n_E(i)$表示连接到节点i的边数。

6）平均路径长度：网络的平均路径长度l定义为任意节点间包含的边数平均值，平均路径越短，则国家/地区之间直接冲突比重越高，反之则经由第三方传递的间接冲突比重相对较高，其计算公式为：

$$l=\frac{2\sum n_E(ij)}{n_N(n_N-1)} \tag{10}$$

式中，$n_E(ij)$表示节点i和j之间的边数。

2　结果与分析

2.1　国际冲突流网络的整体结构

根据 2021—2022 年 GDELT 事件库中的冲突事件，提取国家/地区间的冲突并构建国际冲突流网络$M_c=(V_c,E_c,L_c)$，网络在数量上的主要特征表现为：剔除 2021—2022 年间未被记录到国际冲突事件的国家/地区，网络中共捕获 195 个非重复节点。对研究时段内的各个月份以 Goldstein Scale 值为权重聚合国家/地区间的事件，共得到 56 870 条表示国家/地区间冲突的层内边；冲突中物质、信息流动对冲突双方具有双向影响，因此可将E_c中的层内边等效为无向边。L_c共涵盖 24 层，相邻层以同名节点间的层间边连接，共涉及 4 485 条层间边；层的顺序反映了冲突的时序关系，不同层之间的结构特征差异则能够进一步体现冲突态势的演变。以 2021 年与 2022 年两个代表性时段为例，国际冲突流网络结构的动态变化如图 2 所示。世界地图的底图来源于标准地图服务系统，审图号为 GS(2016)1561。

图 2 显示在 2021 年 3 月—5 月以及 2022 年 1 月—3 月期间，国际冲突流网络维持以美国、俄罗斯、中国、英国、澳大利亚等少数节点为核心的组成模式。网络中边的权重在节点之间分配不均，高权重的边以少数核心节点作为主要连接目标，并且具有显著的动态变化特性。例如，2022 年 1 月—3 月在英国、美国等国家维持冲突流网络核心地位的背景下，高权重边呈现出向俄罗斯集中的显著趋势。因此，上述两个时段内全球层面冲突的分布具有空间上的非均匀性、时间上的动态性，其中高强度、高频率的冲突主要围绕着局部范围内的特定国家/地区展开。为进一步量化分析冲突范围和强度的动态变化，对国际冲突流网络所有层中的活跃节点数量、边的数量以及边权重进行了统计，结果如图 3 所示。

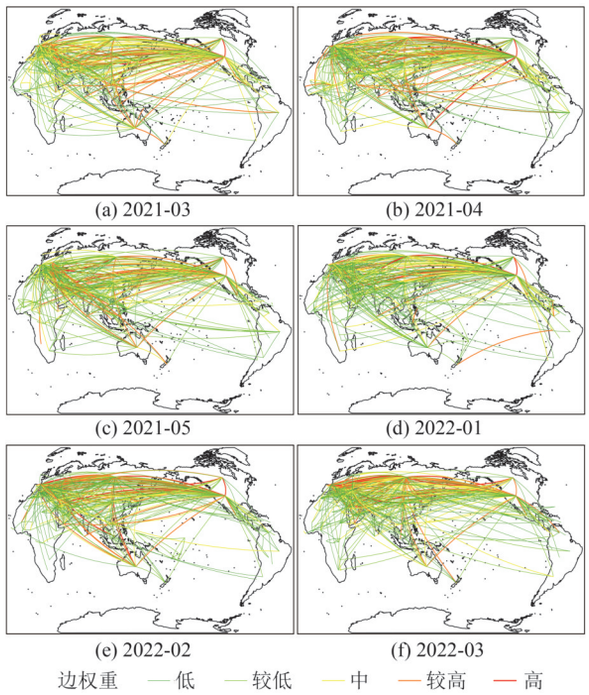


图 2　国际冲突流网络结构变化

Fig. 2　Structure Evolution of International Conflict Flow Network

图 3 显示的网络中，活跃节点的数量基本维持在 185～190 个，表明在 2021 年、2022 年国际冲突的影响范围维持在相对稳定的状态。边的数量整体上呈现先增后降的趋势，表明国际冲突的密度存在动态变化，部分国家/地区之间存在不稳定或短期冲突。图 3 体现出边的权重具有明显波动性，权重趋势曲线的高峰可能预示这一时期爆发了某些特殊或重大的国际冲突事件。例如，冲突流网络的边权重在 2022 年 2 月—4 月期间大幅提升，结合边权重的空间分布可推断这一变化可能与 2022 年 2 月“特别军事行动”以及俄乌冲突局势升级存在关联。因此，在此期间，物质与信息流动强度、频率变化是国际冲突动态性的主要表现形式，在空间上以少数国家/地区为中心形成冲突集中分布是冲突聚集性与非均匀性的体现，可作为分析国际冲突集团的重要参考。

2.2　国际冲突流网络的社区结构探测

针对国际冲突集团特征的分析依赖于冲突流网络的社区结构提取。由于分辨率参数γ和ω

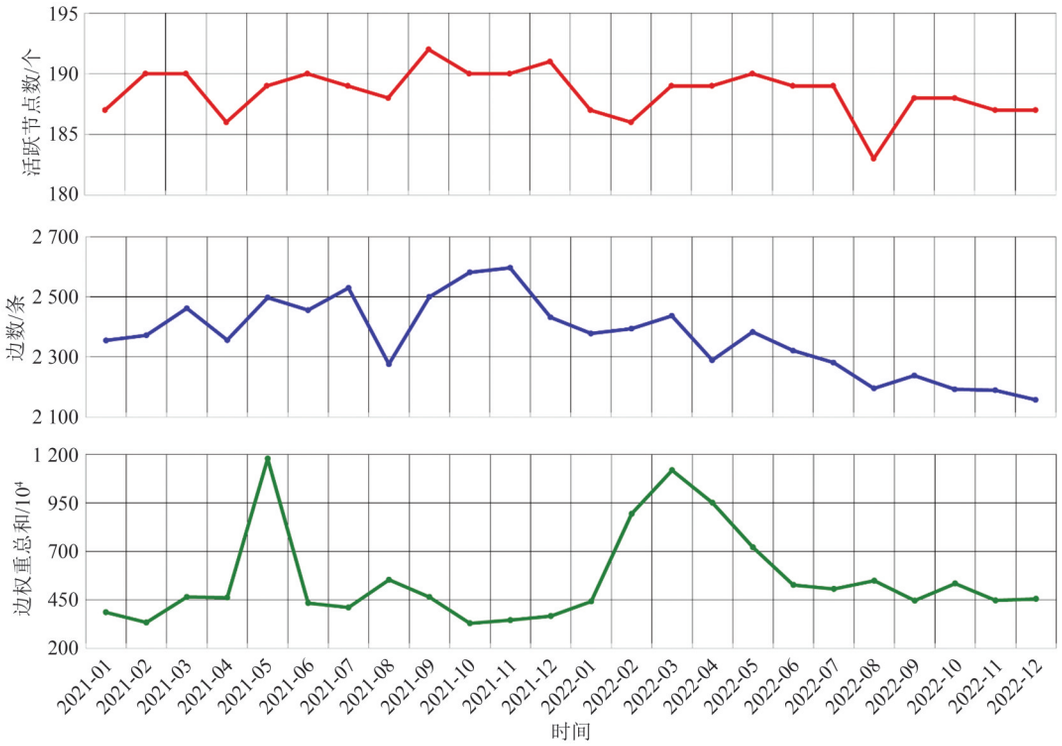


图3 国际冲突流网络各层的动态结构特征

Fig. 3 Basic Structures of Each Layer in International Conflict Flow Network

能够对社区划分产生一定影响,如图4所示,本文利用NMI刻画社区划分的差异,并分别分析了社区划分随γ和ω变化的趋势,作为提取代表性国际冲突集团的参考。

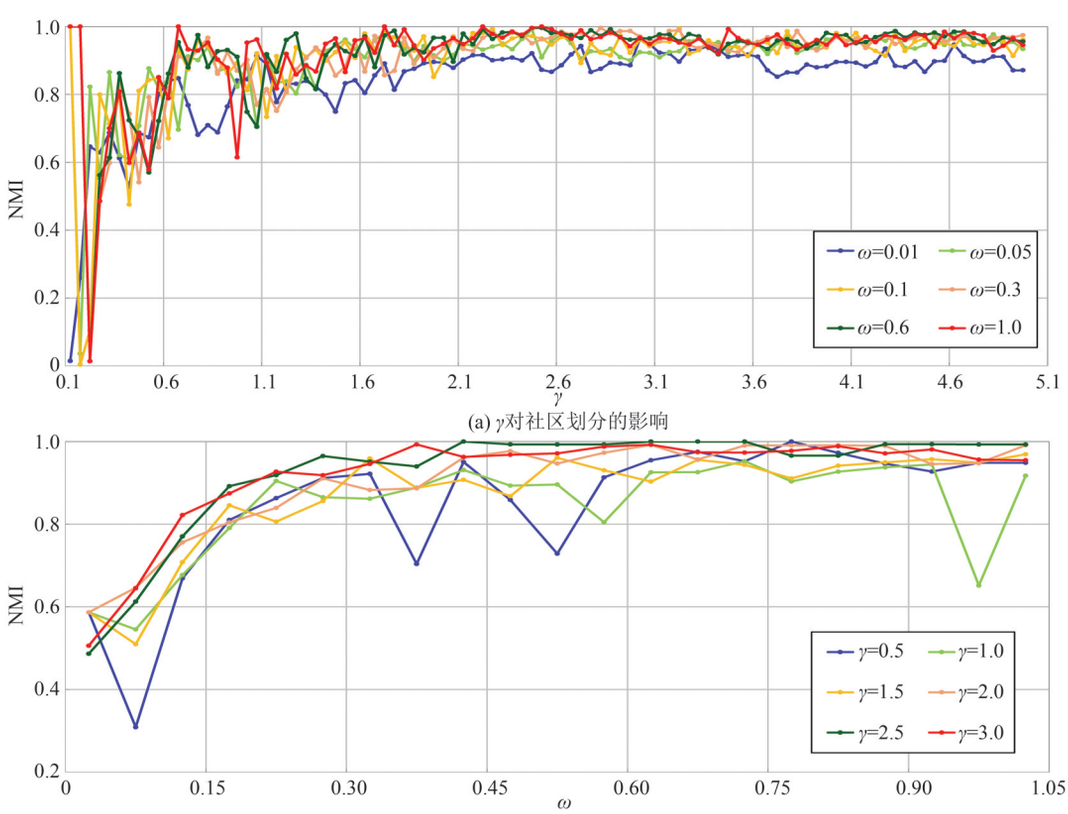


图4 分辨率参数对社区划分结果的影响

Fig. 4 Impact of Resolution Parameters on Community Partitions

图 4 显示出社区的构成随着 γ 增加到 1.6 逐渐趋于稳定,当参数超出临界范围($\gamma>2$)时已难以通过提高分辨率挖掘新的冲突集团,且在 γ 增加过程中,社区的规模收缩、数量上升增加了冲突集团识别与可视化分析的困难,因此将 $\gamma=2$ 作为国际冲突流网络社区划分的层内分辨率上限。同样,若 ω 超出 0.3～0.5 区间,各层间社区的构成将趋于一致,继续提升层间耦合度难以挖掘新的冲突集团,因此可以弱耦合度(低 ω)提取冲突的动态变化,以强耦合度(高 ω)体现冲突的连续性。本文结合分辨率参数 γ 和 ω 对社区探测的影响规律,通过表 2 所示的代表性社区划分挖掘国际冲突集团。

以 2021 年 1 月为基准,如图 5 所示,以字母 A 到 E 区分社区划分方案,以数字区分每种划分方案中各个国家/地区所属的社区,对国家/地区按照所属的社区进行分类设色,显示出社区的主要空间分布模式可归纳为“分散”与“凝聚”两种,并且社区划分方式对二者相对的比重具有显著影响。

表 2　社区划分方式与分辨率参数对应关系

Table 2　Correspondence Between Resolution Parameters and Community Partitions

编号	γ 参数	ω 参数
1	1.5	0.01
2	1.5	0.10
3	1.5	1
4	2	1
5	1	1

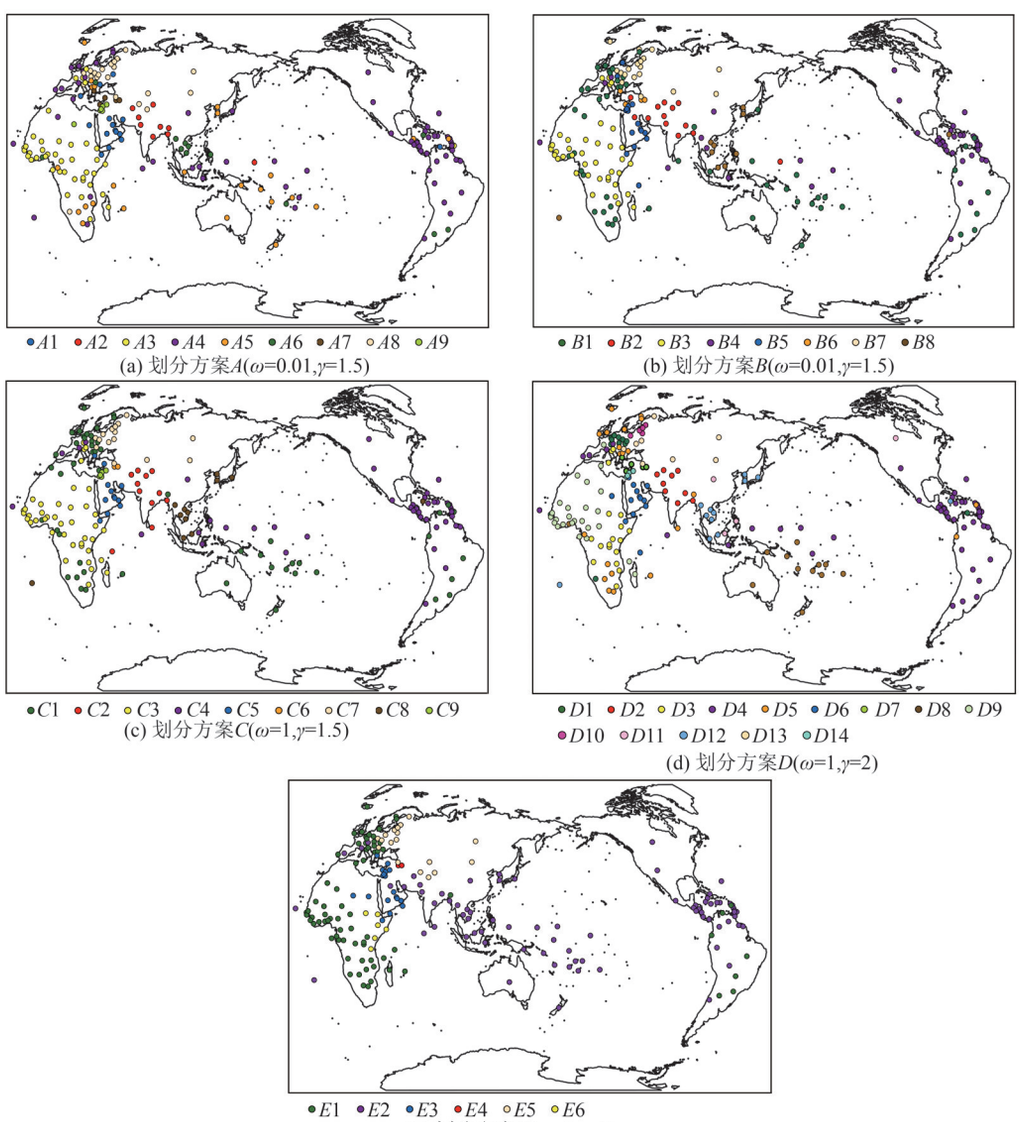


图 5　典型社区划分的空间分布(以 2021 年 1 月为基准)

Fig. 5　Spatial Distribution of Representative Partitions (Based on January 2021)

相对分散的分布模式以图5中$A4$、$B4$、$C4$、$E2$等社区为代表,其分布的范围可进一步分解为多个子区域,例如上述社区主要围绕北美、东亚两大中心分布,反映出这部分社区的形成可能与多领域的冲突(如贸易争端、经济制裁、外交谴责)综合叠加影响相关。凝聚式分布以$B5$、$D6$、$D13$等社区为代表,主要分布在某一大洲的特定区域内,如$B5$、$D6$社区集中分布在中东地区,$D13$社区以东欧的俄罗斯、乌克兰为中心。在主体结构方面,凝聚式分布的社区相较于分散分布的社区更为突出,更有助于推断冲突集团形成的主要原因,例如$B5$、$D6$社区可能与巴以冲突有关,$D13$社区的形成可能主要受俄乌冲突影响。社区划分能够揭示国际冲突存在"分散与凝聚并存"的格局,表明国家/地区构成和空间分布是对冲突集团进行初步分类的重要依据。然而社区划分难以从频率、强度或类型等方面对冲突进一步区分,因而需要结合社区内部结构的分析以挖掘冲突集团的特征与模式。

2.3 国际冲突流网络的社区特征与模式

冲突流网络中局部的节点彼此间遵循一定方式建立起相对紧密的联系,形成不同形态的社区结构,能够反映不同的冲突模式。节点连接方式的差异不仅直观体现在社区规模上,也反映在边强度、节点强度、节点相对地位与节点间连接密度等方面。由于社区内部的节点相互连接可以组成新的网络,本文将节点连接方式的比较转化为地理流网络的测度分析,以社区内部的边与节点构造地理流网络,将网络结构的相似性与差异性作为归纳冲突集团主要特征与模式的依据。

对于具有时间顺序的多层地理流网络,其结构差异主要由同层的节点间的链接反映。因此在生成新的地理流网络过程中,将社区以层为单位进行分割并保留社区内部节点间的边,基于前文的网络测度方法构造了9项分类指标,如表3所示。

表3 拓扑结构测度指标定义与含义

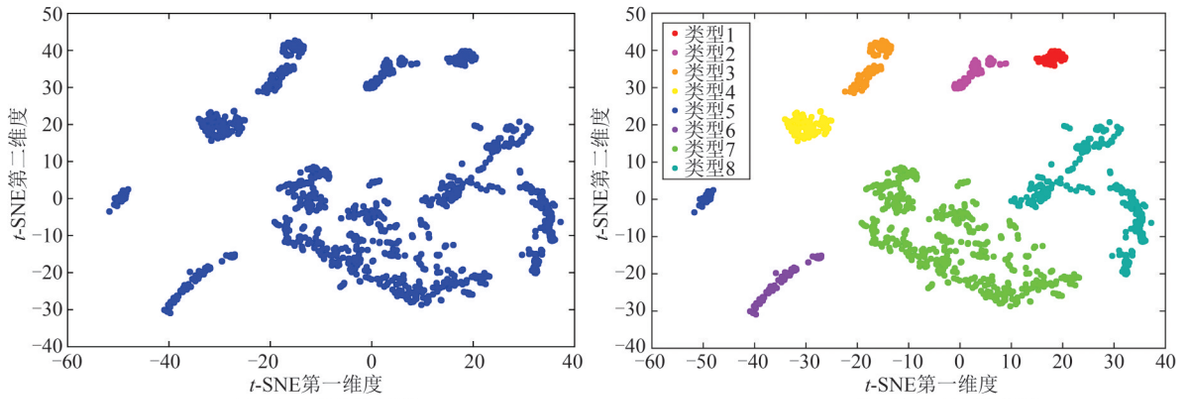
Table 3 Topological Structure Measurement Indicators

指标	符号	含义
节点数	n_N	包含的国家/地区数量,反映冲突的规模
边数	n_E	国家/地区间直接冲突的数量,反映冲突的规模
社区内外边强度比值	$w_{i/o}$	社区内部边强度与社区间的边强度之比,反映国家/地区参与程度
平均中心性	c_{mean}	社区内节点的平均重要性,反映相关国家/地区集群的整体影响力
中心性最大值	$c_{\max}$	社区内节点的最高中心性,反映核心国家/地区的相对影响力
点强度均值	$s_{n,\text{mean}}$	社区中节点的平均强度,反映相关国家/地区之间冲突的平均强度
点强度最大值	$s_{n,\max}$	社区中最高点强度,反映特定冲突中参与度最高国家/地区
平均路径长度	l	反映国家/地区之间直接冲突的比重
聚类系数	c	反映冲突与国家/地区联系的紧密程度

根据表3中的指标,对基于社区内部连接构造的网络进行了测度,从而将社区表示为9维的拓扑特征向量。为可视化并区分不同类型的社区的特征,采用t-分布邻域嵌入(t-distributed stochastic neighbor embedding,t-SNE)将向量降至2维。通过多轮测试,最终以3.7为最小分类半径、5为最小密度进行密度聚类,得到8个反映冲突集团特征的类簇,如图6所示 。

在图6所示的聚类结果中,类型7的社区在数量上占据了多数,预示该类社区可能代表国际冲突集团的主要模式。为进一步分析不同类型冲突集团的特征与模式差异,从8类冲突集团的样本构成分别提取出其中的典型社区,对典型社区构造地理流网络并进行可视化,如图7所示。

图7显示,社区的规模以及内部边的强度是从空间分布上对不同社区类型进行区分的关键要素。在规模上,类型1至类型3社区中节点和边的数量相对更多,分布范围覆盖不同的大洲,类型4的社区在节点规模上与前3类接近,但主要集中分布在非洲大陆;类型5、类型7与类型8在节点与边的数量上显著低于类型1~3社区,且分布集中在特定区域内(如中亚、南亚、东欧);类型6对应的社区则更为明确指向小规模的国家/地区组合。在社区内部的边强度上,中高强度的边在类型1、2、3、8社区内所占比重更高且主要连接到少数节点,表明这些集团的核心为少数国家/地区间的冲突;剩余4类社区内缺少高强度的边,表明相关区域以相对低烈度的冲突为主。



(a) 社区拓扑特征的降维　　(b) 社区拓扑特征的聚类

图 6　基于拓扑特征的社区聚类

Fig. 6　Community Clustering Based on Topological Features

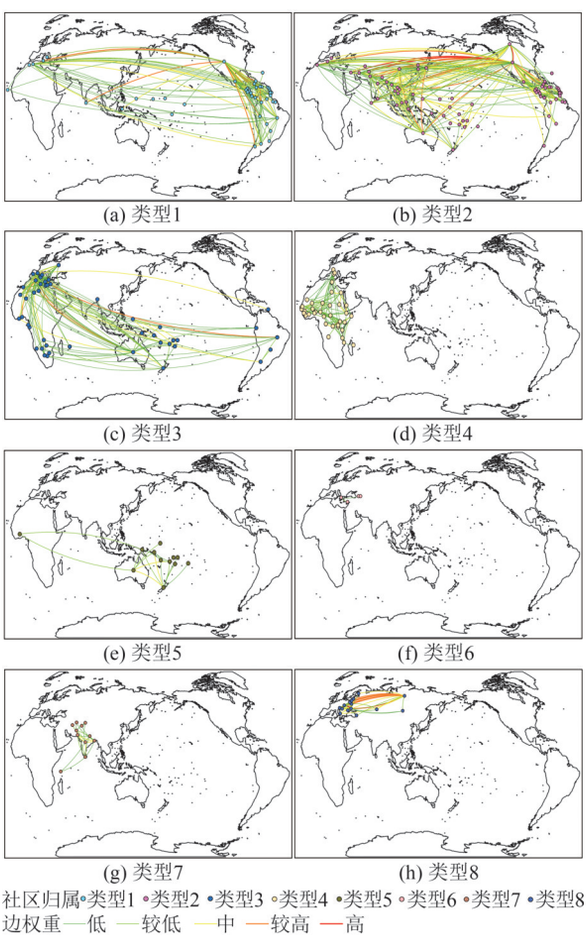


图 7　不同类型社区节点与节点间连边的空间分布

Fig. 7　Spatial Distribution of Nodes and Edges Within the Communities

如表 4 所示,对社区的主要分布区域和重要节点进行统计得出,类型 1、2、3 社区大多以中国、美国、英国、法国等具有全球影响力的节点为中心,高强度边大多连接到核心节点,可能反映冲突在空间层面的“扩散”。除类型 1、2、3 的其他类型社区则主要反映冲突在局部范围内的“集中”,其中类型 4 相关的冲突聚集体现在大洲层面,可能与非洲区域的动荡局势相关;类型 5、7、8 相关的冲突集中在更为明确的区域内,例如类型 8 主要以俄罗斯、乌克兰所在的东欧为中心,可能与区域内的主要矛盾(如俄乌冲突)相关;类型 6 侧重于反映小范围内几对国家/地区间的冲突。因此,总体上国际冲突中局部、集中的冲突比例高于大规模、分散的冲突,高强度的冲突比重低于强度有限的冲突,频繁参与冲突的国家/地区比重低于参与度有限的国家/地区。

图 7 与表 4 所示的空间分布模式本质上反映了冲突的规模、激烈程度差异,在地理流网络中,冲突的规模与激烈程度可表示为节点数、边数、节点强度与边强度等网络拓扑特征。因此,地理流网络的拓扑结构特征测度不仅能够应用于冲突集团的聚类,也能够作为对比分析不同类型冲突集团差异性与相似性的依据。如图 8 所示,本文通过散点图体现社区在拓扑结构上的差异,并以此归纳各类冲突集团的主要特征。

图 8 反映出拓扑结构指标在不同类型社区间分布不均,具有高值聚集性,表明可利用同类社区在结构层面的显著共性对冲突集团的主要特征进行识别。

在国际冲突流网络中,节点数与边数反映冲突的规模,即冲突集团内国家/地区的数量以及国家/地区彼此间冲突的数量。图 8(a)、8(b)显示规模相对较大的冲突集团主要对应于类型 1、2、3、4 社区,表明相关的冲突影响范围相对广泛;规模相对小的冲突集团主要涉及类型 6、8 社区,表明相关的冲突倾向于集中在范围有限的区域内。

网络中节点或边的强度衡量了集团内冲突的频率、激烈程度,节点强度反映国家/地区在冲

表4 社区的重要节点与分布区域统计

Table 4 Statistics of Important Nodes and Distribution Areas of the Communities

类型	重要社区的分布区域	重要节点
1	亚洲、欧洲、美洲为主,全球均有分布	中国、美国、加拿大、巴西、印度
2	亚洲、美洲、欧洲为主,各大洲均有分布	中国、美国、加拿大、澳大利亚、英国、巴西、印度
3	欧洲西部、南美洲、大洋洲与非洲区域	法国、英国、巴西、阿根廷、澳大利亚、阿尔及利亚
4	非洲区域	肯尼亚、利比亚、尼日利亚、科特迪瓦
5	非洲、南美洲、大洋洲区域	南非、津巴布韦、巴布亚新几内亚
6	东亚区域,欧洲区域	亚美尼亚、阿塞拜疆,希腊、土耳其,朝鲜、韩国
7	东亚区域,中亚与南亚区域,东欧与中亚区域	越南、日本、韩国等,印度、巴基斯坦、阿富汗等,俄罗斯、乌克兰、哈萨克斯坦
8	中东地区,欧洲区域	巴勒斯坦、以色列、叙利亚等,俄罗斯、乌克兰、白俄罗斯

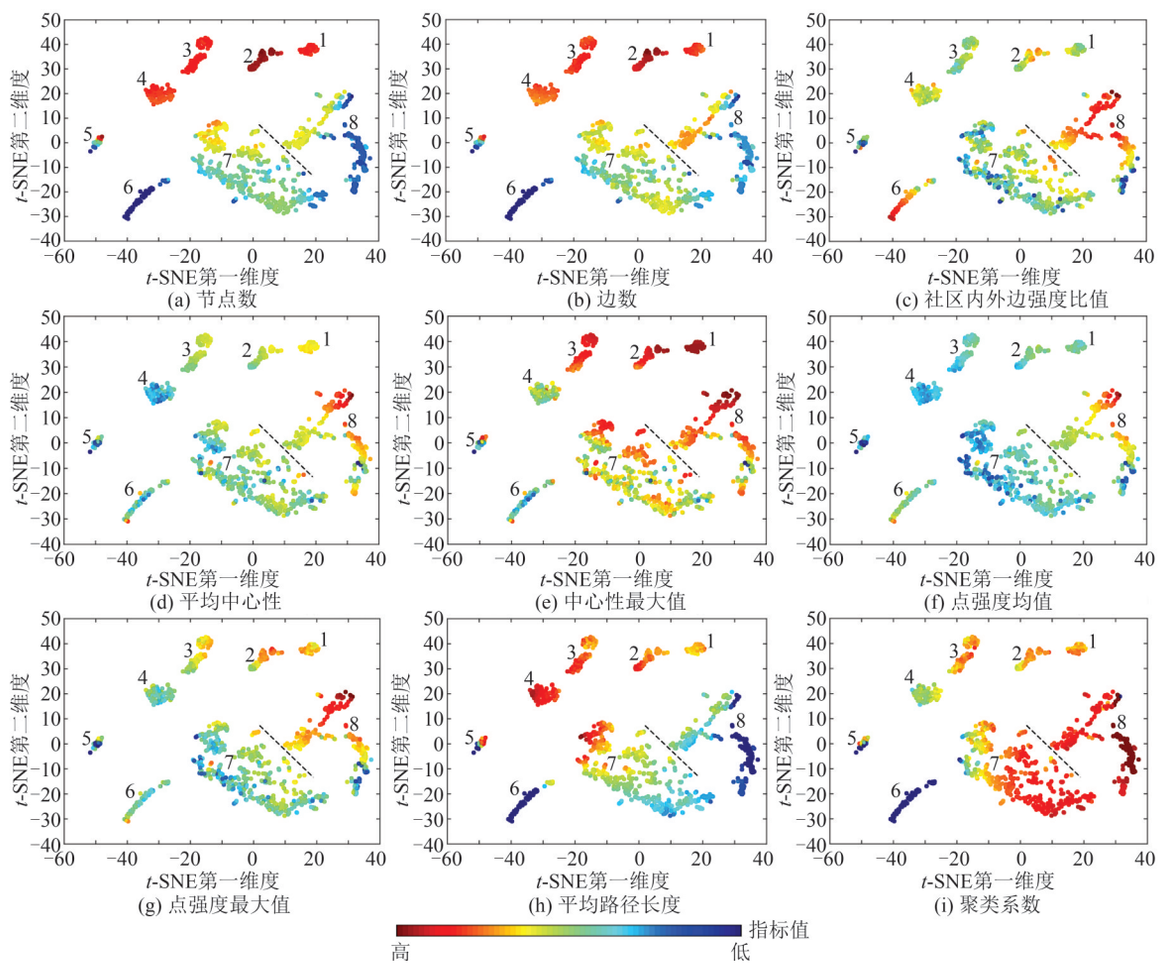


图8 社区的拓扑结构特征测度

Fig. 8 Topological Structure Feature Measurement of Community Clusters

突集团中参与冲突的频率以及相关冲突的激烈程度,边的强度是对特定国家/地区之间冲突强弱的测度,并且社区内边强度相对于社区间边强度越高,则冲突越集中在集团内部。图8(f)、8(g)显示出高烈度、高频率冲突的集团主要由类型8的社区代表,图8(c)表明与类型6、8社区相关的冲突主要集中在冲突集团内部,对于相关国家/地区有较强的凝聚力。

中心性度量了国家/地区在国际冲突中的影响力与地位,中心性越高,则该国家/地区对冲突形成发展的影响越显著,主导地位越突出;社区内节点在网络中的整体的中心性越高,则冲突集团对于国际局势具有越强的影响力。图8(d)体现类型8中的部分冲突集团对国际局势的影响相对显著,图8(e)表明类型1、2、3、8冲突集团中包含了在国际事务中具有突出主导地位的国家/地区。

平均路径长度与聚类系数体现了冲突集团

中不同国家/地区彼此联系的紧密程度,平均路径长度越短,则彼此联系越紧密,各方直接冲突的比例越高;聚类系数越高,表明国家/地区彼此间联系越紧密,冲突越频繁。图 8(h)表明类型 6、8 对应的集团中国家/地区间直接的冲突比例相对较高,图 8(i)则反映出类型 8 的冲突集团中各个国家/地区之间联系更为紧密。

拓扑结构指标在部分类别的社区上体现出相对一致的分布规律,例如类型 1~3 均以规模相对大的社区为主,包含影响力相对较高的关键节点,但社区表现出的整体影响力有限,这表明国际冲突流网络中部分不同类型的社区可能同时对应相似的冲突模式。因此,进一步统计不同类别社区的拓扑结构指标平均值,如图 9 所示。

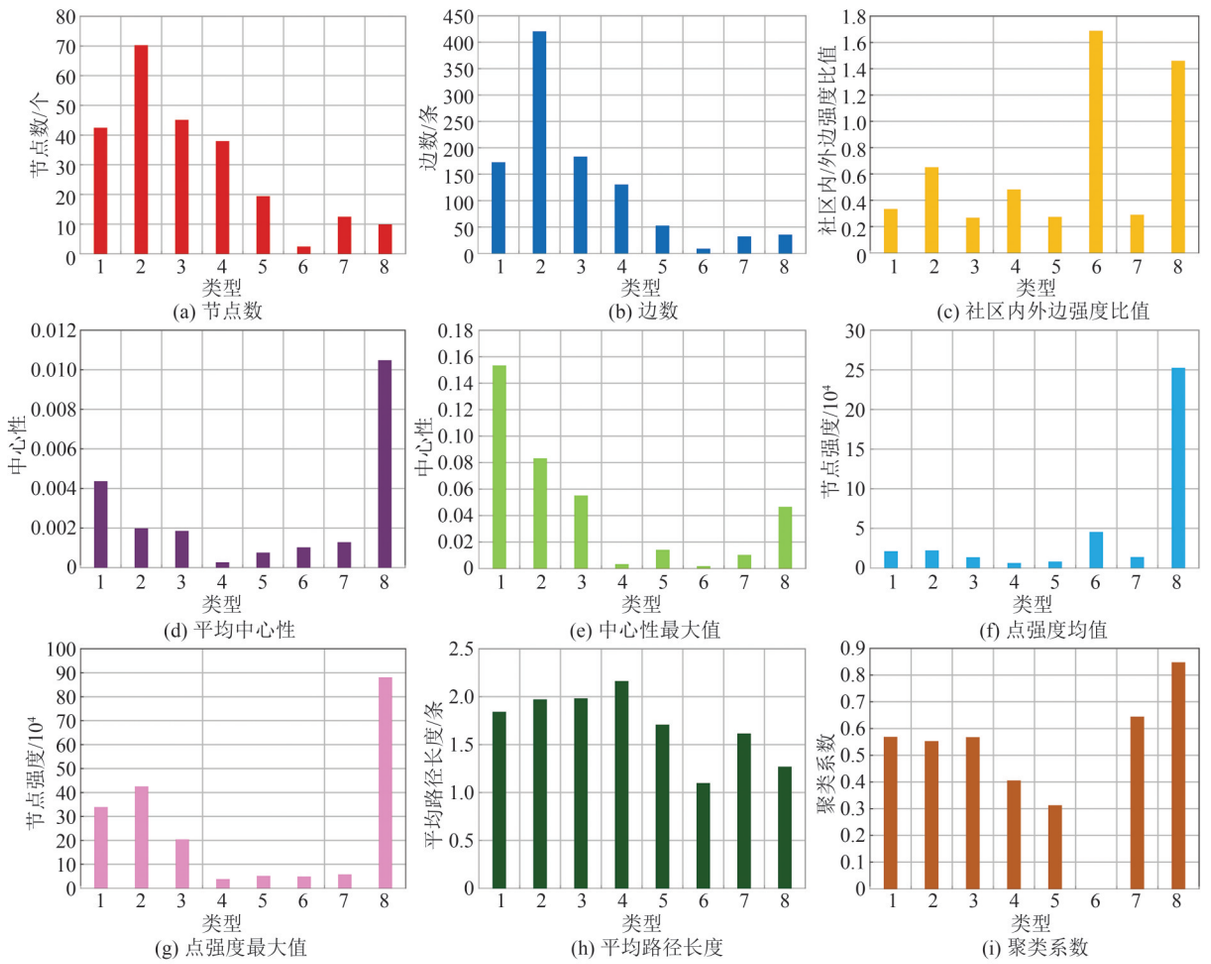


图 9　各类型社区拓扑结构特征指标平均值

Fig. 9　Aaverage of Topological Indicators of the Communities

结合图 8 与图 9,从规模、激烈程度、影响力与紧密度上分别对比不同类型社区的拓扑特征可得出:(1)在冲突规模上,类型 1~4 社区规模相对较大,类型 6 社区之外的其他社区则具有中等规模;(2)在冲突激烈程度方面,类型 1~3 社区包含中高强度的节点,但社区中冲突的整体强度有限,类型 8 的社区在个体与整体上均体现出较高强度,其余社区仅表现出有限的强度;(3)在冲突影响力方面,类型 1~3 社区围绕高中心性节点构成但整体表现出的中心性有限,类型 8 的社区在整体与个体层面均表现出较高的中心性,其余社区在整体与个体层面产生的影响相对有限;(4)在冲突对国家/地区联系的紧密程度上,类型 6、8 社区的国家/地区间联系相对紧密,其余类型社区整体上差距有限。

因此,综合不同社区在拓扑结构上呈现出的相似性,类型 1~3 社区均可表示大规模的冲突集团,内部的冲突主要由影响力突出的国家/地区主导形成,其余非主导地位的国家/地区之间的联系相对稀疏。涉及联盟关系的国际冲突是其中的代表之一[10, 56],此类冲突中,在核心的国家/地区推动作用下,不同的军事同盟、经济体同盟之间可能出现规模相对较大的交互,例如大规模的武装冲突、国际性的贸易争端等。

同样，类型5、7社区可反映规模有限的局部冲突集团，此类冲突在全球层面体现出的影响力相对有限，集团内部国家/地区冲突整体缓和，频率相对有限，同时国家/地区之间的联系相较于大规模冲突集团更为密切。因此，这类冲突可能与特定区域的长期性国际议题相关，例如中亚地区长期以来存在水资源紧张的问题[57]，促使区域内各国间形成纷繁复杂的冲突联系，但冲突事件发生的频率相对有限。

相较于其他类型，类型4、6、8社区在拓扑特征上呈现出显著的差异性。其中，类型4代表的冲突集团尽管具有较大规模，但冲突的影响力与强度均相对有限，国家/地区间联系相对松散。此外，这类冲突集团主要由非洲国家构成，可能与非洲长期以来复杂动荡的国际形势有关[58-59]。类型6主要反映少数国家/地区间具有一定影响力的小规模、低强度冲突，在社区的构成上则以亚美尼亚-阿塞拜疆、朝鲜-韩国等存在显著性历史遗留问题的国家/地区组合为主，各方关切的核心问题未能得到彻底解决[60-61]，具有“冻结冲突”的特征。类型8涉及高强度、高影响力的局部冲突，相关国家/地区彼此之间维持了紧密的联系，同时这类冲突集团大多涵盖俄罗斯、乌克兰、巴勒斯坦、以色列等国家/地区，其形成过程可能受到俄乌冲突、巴以冲突等国际社会广泛关注的热点冲突影响。

对于部分局势瞬息万变的国际热点冲突（如俄乌冲突），短期内的特殊事件可导致社区内部节点之间的关系发生大幅变化，例如2022年2月俄罗斯与乌克兰暴发大面积军事冲突后，二者连边的强度与节点的重要性大幅提升。反之，若主要国家/地区主导的冲突事件能够维持在平稳运行的状态，则以这些节点为核心形成的社区可能长期保持相对稳定的结构。

因此，如图10所示，可通过当前时段相对于上一时段（上一层）的拓扑特征改变，对社区的结构动态变化进行分析，进一步区分不同类型冲突的关键特征。

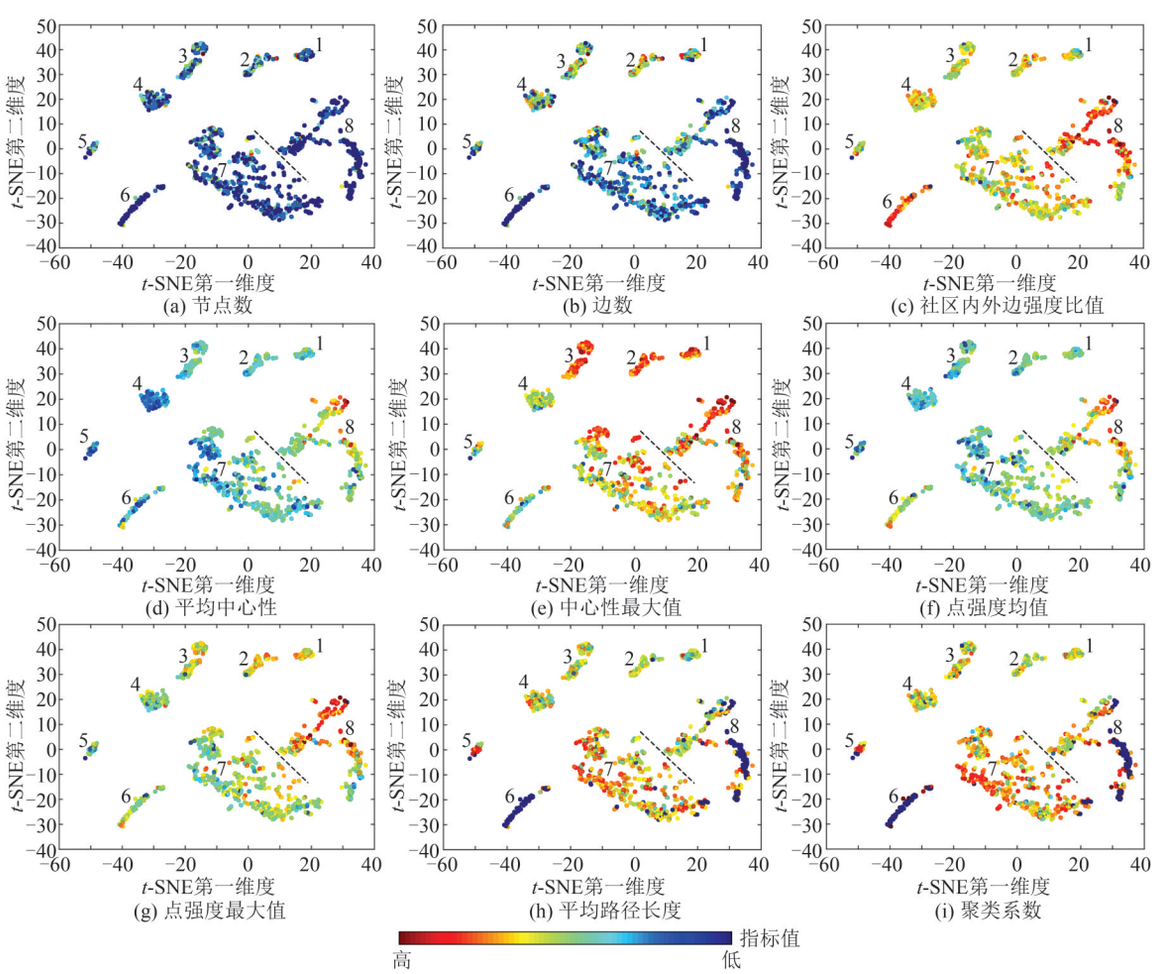


图10　社区的拓扑特征变化测度

Fig. 10　Topological Feature Change Measurements of the Communities

其中,冲突集团的规模变化幅度有限并且主要表现为边数的波动,主要的变化来自类型1~4大规模社区,表明冲突集团的国家/地区构成相对稳定。冲突激烈程度的变化主要集中反映在类型8相关的社区上,同时类型6、8冲突集团内部与外部的相对冲突强度变化显著,表明局部小规模社区的国家/地区之间冲突强度相对更易受外部形势变化的影响。冲突集团的整体影响力变化有限,主要体现在类型1、2、3、8社区的少数节点中心性波动相对明显,表明多数国家/地区能够维持对国际冲突形势发展的稳定影响。冲突联系紧密程度的动态变化以类型5、7社区为主,表明局部范围的冲突集团中存在少数国家/地区间冲突的产生或消失。

图10反映出部分类型社区具有相对一致的变化规律,表明其中可能存在相似的时序演化模式,因此进一步对社区拓扑结构变化的平均值进行统计,如图11所示。

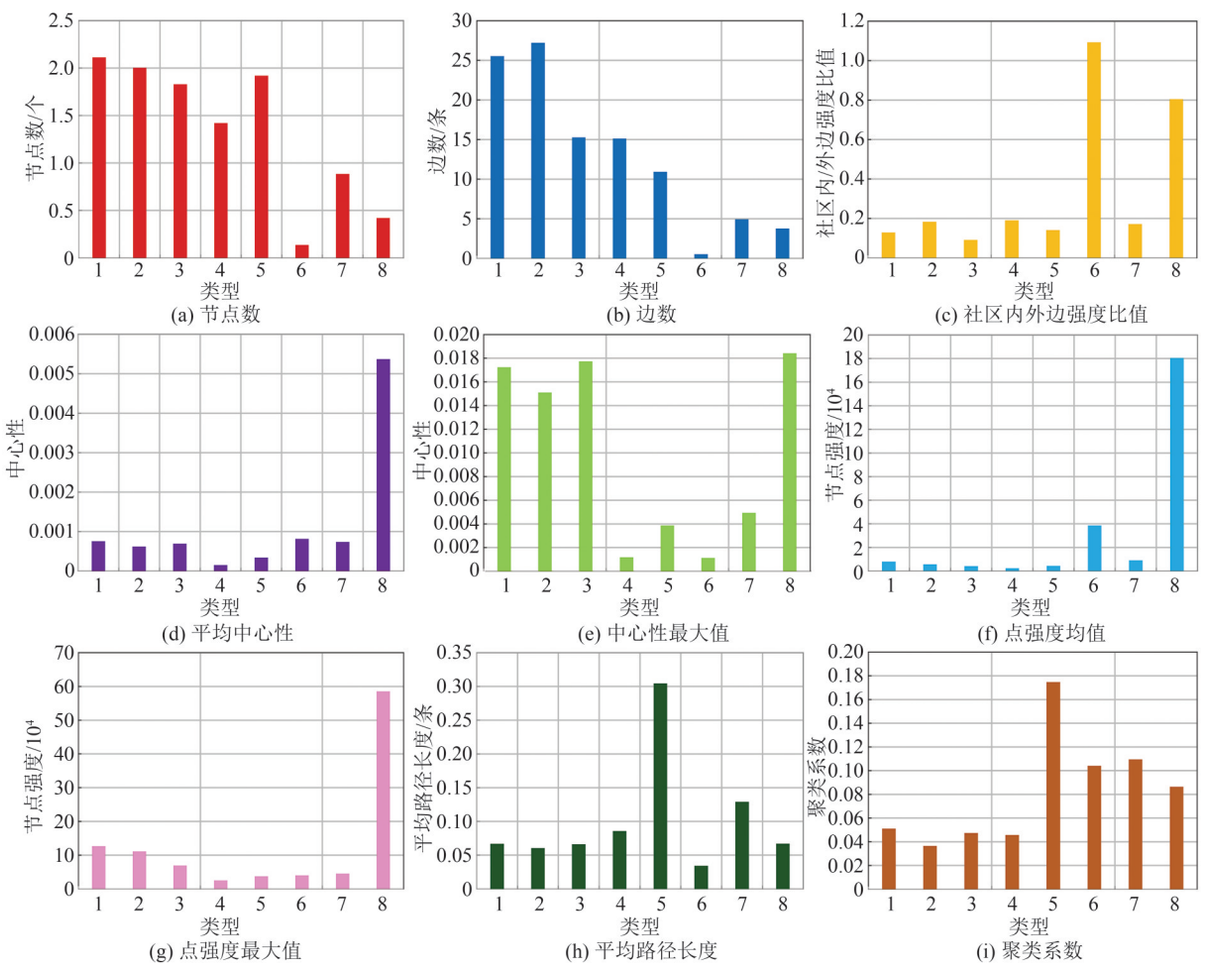


图 11　社区的拓扑结构指标平均变化

Fig. 11　Average Variance in Topology Indicators for Communities

图10与图11表明,在拓扑结构上呈现出一致性的社区具有相似的动态变化规律。其中,类型1~3社区反映出的冲突强度以及冲突对国际形势的影响基本维持稳定,国家/地区之间新的冲突产生或原有冲突消失的数量相对有限,表明由核心国家/地区主导的大规模冲突集团具有整体稳定的内部结构。而在类型5、7社区内冲突的强度与影响同样维持稳定,但部分国家/地区之间冲突产生或消失的比重高于其他类型社区,表明影响力相对有限的局部冲突集团中部分国家/地区之间的冲突可能随时间变化而产生或消失。

相较于其他类别,类型4、6、8冲突集团包含的社区在结构变化上同样呈现出相对独立的规律。其中,类型4对应的社区整体上缺少显著的结构变化,表明在强度与影响力有限的大规模冲突集团中具有相对稳定的国家/地区冲突模式。类型6社区在整体的冲突强度与冲突频率上波动相对明显,表明小规模社区中的少数国家/地区间冲突态势存在不稳定性,对内部或外部影响相对敏感。类型8社区的结构动态变化幅度相较于

其他类型社区更为显著,社区展现的冲突强度与影响力的波动明显,表明部分局部冲突集团发展变化频率相对较快,可能与部分瞬息万变的热点冲突有关。

在地理流网络中,节点之间建立连接时通常具有偏好性,例如节点可能倾向于同网络中其他重要节点进行连接。全球层面,国家/地区节点的重要性可由经济规模、社会发展、相对位置等多种要素反映。如图12所示,本文利用国家/地区的GDP、FDI衡量经济规模,GPI测度社会发展,距离度量位置关系,分析以上要素与冲突集团结构特征的联系。

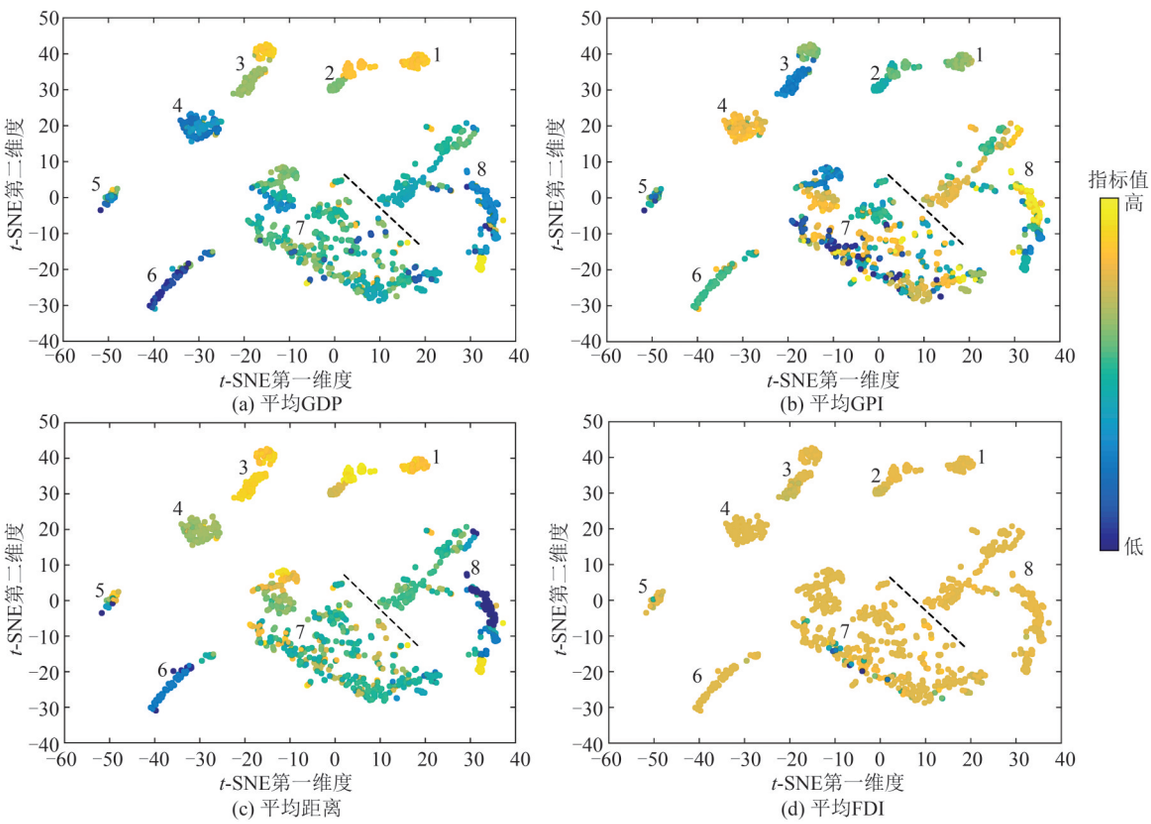


图12 社区的节点属性测度

Fig. 12 Node Attribute Measurements in the Communities

图12反映出整体上具有相对高GDP的节点集中在类型1~3冲突集团中,而投资流入相对高的节点主要分布在类型1、2冲突集团中,表明较高的整体经济发展水平、良好的经济环境与大规模且强度有限的国际冲突集团存在一定程度关联。类型4、8冲突集团中各节点的GPI指数整体偏高,表明相关社区内各个国家/地区的社会状况整体上可能处于动荡不安的状态,和平发展前景不容乐观。在位置关系上,平均距离相对较长的社区大多属于类型1~3,结合图7可知社区主要对应较大规模的全球性冲突集团;平均距离有限的社区集中分布在类型6、8中,对应小规模或局部的冲突集团。因此,社区的属性特征分布规律与拓扑结构分布规律呈现出一致性,即结构相对一致的冲突集团在社会经济发展上也存在相似性。如图13所示,本文进一步测度了社区的GDP、GPI、FDI、距离特征的平均值,以量化冲突集团在社会经济层面的相似性。

社区属性特征平均值测度反映出在结构上具有一致性的冲突集团在社会经济层面存在一定的相似性。其中,类型1~3社区的生产总值显著高于其他类型,同时类型1、2社区整体上能够获得相较于其他社区更高的投资,表明在特定国家/地区的主导下,经济相对发达的国家/地区之间可能倾向于形成对国际态势有一定影响的大规模冲突集团,但冲突整体上相对缓和、变化相对平稳。类型5、7社区的生产总值处于相对偏低的水平,体现了经济相对发达的国家/地区在低强度局部冲突中参与程度有限。

此外,类型4、6、8社区也在社会经济的不同层面体现出相对独立的特征。类型4的社区以有限的经济规模与动荡的社会环境为突出特点,并且在空间上具有相对集中的分布,因此国际社会应当提升对于此类冲突集团的关注,帮助有关国

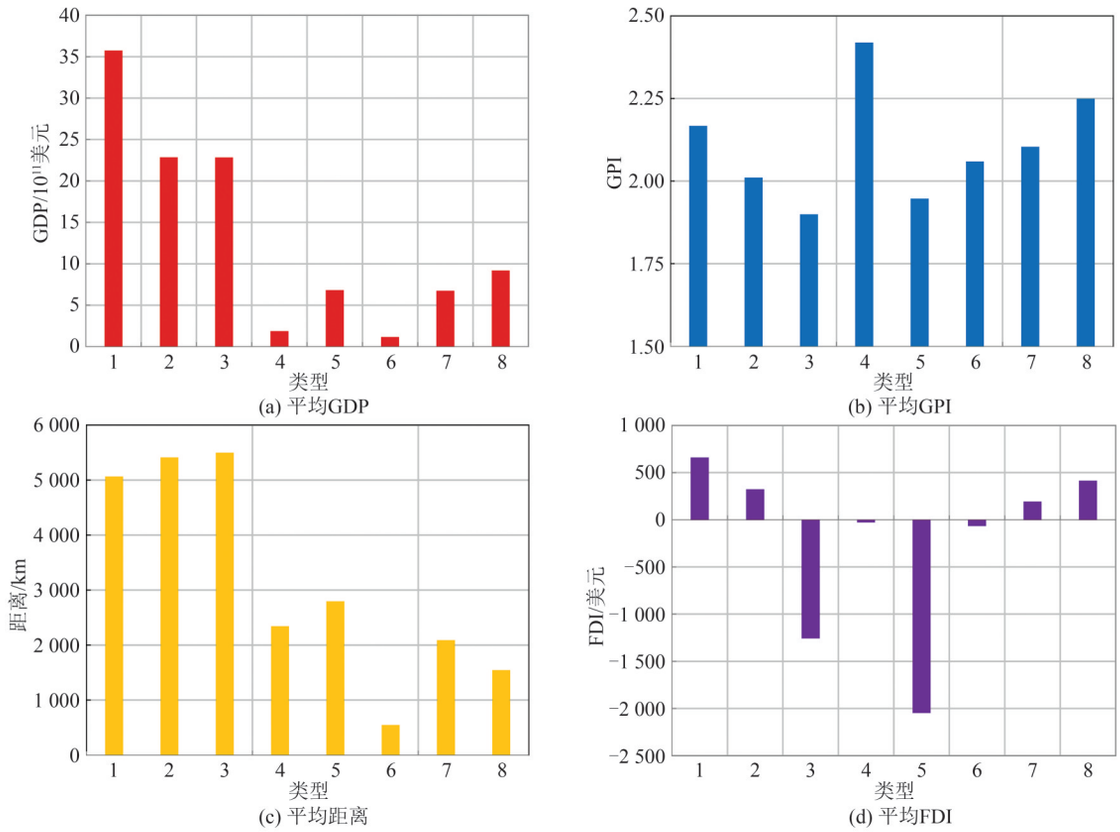


图 13　各类型社区的属性特征均值测度

Fig. 13　Average of Community Attribute Indicators

家/地区恢复安全与稳定。类型 6 的社区体现了有限的经济水平与较低的投资流入,可能受冲突集团规模过小的影响。类型 8 中的社区尽管整体局势相对动荡,仍有相对较高的外部投资流入,可能与冲突各方对部分关键行业的需求有关[62]。

距离测度显示类型 1~3 社区中节点的平均距离显著高于其他类型社区,类型 6 与类型 8 社区的节点在空间上相对接近,表明全球层面冲突关系呈现整体分散与局部聚集的格局。其中冲突的分散性体现在大规模的国际冲突可能横跨不同的区域或不同的大洲,例如图 5(e)中 $E2$ 社区在亚洲、欧洲、北美洲均有分布;冲突的聚集性则体现在规模相对小的冲突中,冲突各方集中分布在特定的区域内,例如图 5(d)中的 $D13$ 社区主要围绕俄罗斯与乌克兰呈现出聚集分布的特征。

2.4　社区特征与模式的归纳总结

本文对于聚类后的社区进行可视化分析反映出部分类型社区具有相对一致的空间分布规律,进一步结合均值统计与可视化分析,从拓扑结构、动态变化与社会经济属性层面对各类社区进行综合测度,结果表明类型 1~3 社区均体现了相对稳定的大规模冲突集团,类型 5、7 社区则能够反映长期性的局部冲突。因此,将国际冲突流网络中提取的社区归纳为 5 种冲突集团,包括全球性综合冲突、区域性低强度冲突、局部持续性冲突、小规模冻结冲突以及局部热点地缘冲突。对冲突集团各类别典型实例的空间分布分别进行可视化,如图 14 所示。

上述 5 种冲突的主要特征总结如下:

1)全球性综合冲突。包含类型 1~3 社区,是一种涉及众多国家/地区的全球性冲突。处于冲突中的国家/地区之间直接联系的比重相对较低,主要体现少数在冲突事件中有较高参与度与影响力的核心国家/地区的驱动作用,并且这种驱动作用呈现出随时间推移的动态变化特性。结合社会经济特征的分析,这一关系可能倾向于综合、全面地反映在各个领域上全球主要国家/地区主导的冲突态势。

2)区域性低强度冲突。对应类型 4 的社区,属于规模较大的区域性冲突。其中的国家/地区在全球冲突中的影响力大多比较有限,国家/地区之间共同参与冲突事件的频率与强度整体上偏低。从社会经济情况来看,相关国家/地区发展相对滞后、社会相对动荡,可能需要国际社会更多地关注并提供帮助与支持。整体上,此类社区可能倾向于反映远离全球性冲突核心区域

内 的

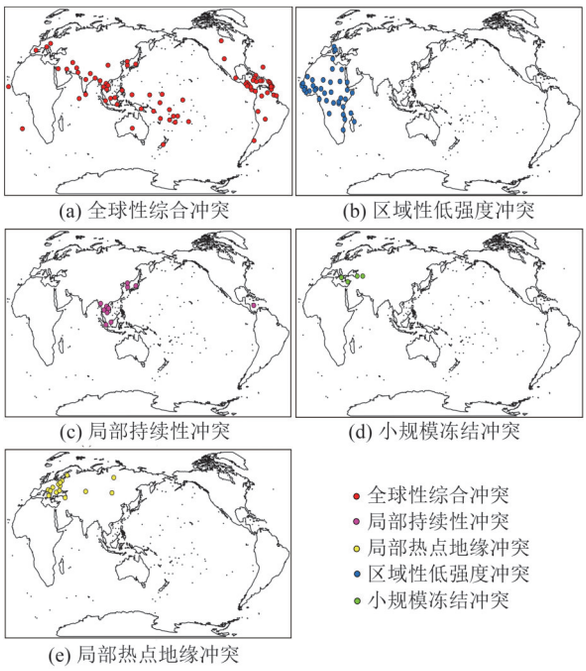


图14 国际冲突集团的典型实例空间分布

Fig. 14 Spatial Distribution of Typical Examples of International Conflicts

低烈度冲突。

3)局部持续性冲突。包括类型5、7社区,以反映中等规模的冲突为主。冲突主要涉及特定大洲的局部区域(如东亚、中亚等),相关的冲突事件在数量、影响力、动态变化幅度等方面整体上略低于上述的两种冲突,可能与特定区域内各个国家/地区针对某些共同关切的重点领域产生的冲突相关联。

4)小规模冻结冲突。对应类型6的社区,由少数几对国家/地区之间的直接冲突组合而成。参与者通常为空间上邻近的国家/地区(如朝鲜与韩国、亚美尼亚与阿塞拜疆),尽管在全球冲突中的影响力比较有限,但这些国家/地区组合基本能够维持相对稳定的冲突频率与强度,总体上可能更倾向于体现小范围内的冻结冲突。

5)局部热点地缘冲突。对应类型8的社区,在规模上属于中小型冲突。相关的国家/地区之间存在大量激烈、高频率的冲突事件,相较于全球上述其他冲突具有更高的影响力、更显著的时效性。从冲突的分布特性上,冲突事件主要围绕着俄乌冲突、巴以冲突等重大冲突的核心区域呈凝聚性的分布特征,可能是全球范围内影响力较高的热点地缘冲突的集中体现。

针对当前不同类型冲突关系并存的格局,本文的工作能够从全球与国家/地区的不同尺度上对国际冲突关系的形势感知与分析提供支撑。

1)在全球层面,大规模冲突在国际冲突中所占的比重相对有限,同时强度相对较高、对国际局势影响深远的热点冲突主要集中在有限的局部区域内,表明和平与发展依然是当前全球格局演化的主题。因此,在多边协议的框架下以协商途径和平解决国际问题、消弭冲突,对于全球治理依然具有建设性意义。

2)对于特定类型的国际冲突,例如俄乌冲突、巴以冲突为代表的热点地缘冲突,冲突集团内国家/地区间的交互模式具有相似性,表明同类型国际冲突在形成机制、作用机理上存在可比性。对同类型冲突的相似性进行学习、归纳,有助于将现有冲突的不同阶段中积累的应对经验进行迁移应用,进而在整体上提升针对该类冲突的解决能力。

3)对于特定的国家/地区,分析与之相关的主要冲突关系类型与特征,能够为理解国家/地区在全球体系中角色与定位提供重要的依据。在本文分析的时段内,中国面临的冲突以大规模、全球性冲突为主,同时未参与明确的热点地缘冲突或冻结冲突,冲突具有一定的国际影响力,但强度与频率整体上有限,表明中国在全球层面的角色是以和平为主的国际关系重要参与者,并且倾向于在局部区域内与邻近国家/地区保持相对稳健的关系。此外,特定时期内主要冲突关系类型的转变对国家/地区可能意味着所面临的国际环境出现实质性改变,可以在国家/地区的对外策略调整过程中发挥一定程度的参考作用。

3 结 语

本文利用2021—2022年的GDELT事件库提取国际冲突,基于地理流网络分析理论与方法构建国际冲突流网络,探测并分析网络中的社区结构,通过对社区进行聚类、可视化与统计分析,挖掘并归纳了全球尺度下国家/地区构成的冲突集团的主要特征与模式。研究结果表明:

1)基于多路复用网络模型,以事件发生的顺序聚合并组织GDELT中的冲突事件,能够提取出具有时间动态的国际冲突流。通过对网络拓扑结构进行统计分析发现,全球尺度下参与冲突的国家/地区相对固定,但国家/地区间的交互相对密集并且可能受部分特殊事件影响产生数量、强度上的突变,即冲突流的覆盖范围基本稳定而

时序变化相对显著。

2) 利用基于多层模块度扩展的社区探测方法,提取了国际冲突流网络中的社区结构。通过分析方法中的分辨率参数对社区结构的影响,确定了国际冲突流网络中典型的社区划分;通过空间分布分析发现社区在空间上呈现聚集性与分散性并存的特征。

3) 通过社区内部节点间的连接进一步构造了地理流网络,利用节点数、边数、中心性、节点强度等拓扑特征进行网络测度,并基于拓扑特征测度对社区进行聚类分析,发现国际冲突流网络中存在8类社区,其中多数与中等规模的冲突交互相关。进一步结合探索性数据分析,从拓扑结构、动态变化、节点属性层面分析各类别的相似性与差异性,可以将其归纳为5种主要的冲突关系,包括全球性综合冲突、区域性低强度冲突、局部持续性冲突、小规模冻结冲突以及局部热点地缘冲突。

4) 在全球层面分析不同类型冲突特征的差异有助于整体把握国际关系格局,提升针对特定类型冲突的解决能力;对特定国家/地区,把握核心冲突关系的特征能够辅助构建其在全球体系中角色与定位的认知,并为对外策略的动态调整提供参考。

本文提出的分析方法能够从地理流与多层网络分析的视角丰富、补充全球层面的国际冲突关系研究框架,同时为特定时期内冲突格局认知与冲突事件应对提供辅助决策的支持。

进一步的研究方向包括:

1) 细化冲突事件分析的尺度,一方面在全球尺度的基础上对研究区域进行分解,对比分析不同空间尺度下的冲突关系机制与特征。另一方面基于小时、天、星期、年等不同的时间粒度扩展国际冲突模式分析,并进一步对比长期、中期、短期等不同时间跨度下的国际冲突演化规律。

2) 在GDELT冲突事件的基础上进一步整合国际贸易、人口移动、交通运输等不同主题的地理流数据,构建不同的空间社会网络,通过相关性分析、因果分析等方法探索国际关系与社会经济的相互作用机制。

3) 引入多源数据,分析国际冲突流与自然要素、地理环境等要素的关联。

参　考　文　献

[1] SCHULTZ K A. Borders, Conflict, and Trade[J]. *Annual Review of Political Science*, 2015, 18: 125-145.

[2] 杜映昕. 国家间政治冲突对贸易的影响:文献综述及基于中国与大国关系的实证研究[J]. 经济学报, 2015, 2(1): 124-144.
DU Yingxin. The Effect of Political Conflicts on Trade: Literature Review and Empirical Study Based on China's Foreign Relations with Major Powers[J]. *China Journal of Economics*, 2015, 2(1): 124-144.

[3] CONTE A, MIGALI S. The Role of Conflict and Organized Violence in International Forced Migration [J]. *Demographic Research*, 2019, 41: 393-424.

[4] CRIPPA A, D'AGOSTINO G, DUNNE J P, et al. Conflict as a Cause of Migration[J]. *Oxford Economic Papers*, 2025, 77(2): 596-618.

[5] LE BILLON P. The Political Ecology of War: Natural Resources and Armed Conflicts[J]. *Political Geography*, 2001, 20(5): 561-584.

[6] 丁梓越, 刘海砚, 陈晓慧, 等. 顾及时空因素的国家恐怖袭击事件Cox回归分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(12): 1949-1959.
DING Ziyue, LIU Haiyan, CHEN Xiaohui, et al. Cox Regression Analysis of National Terrorist Attacks Considering Spatial and Temporal Factors[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(12): 1949-1959.

[7] 禹佳宁, 方志祥, 胡筱渊, 等. 红海袭击事件波及的全球战略物资海运网络变化分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2024 DOI: 10.13203/j.whugis20240099.
YU Jianing, FANG Zhixiang, HU Xiaoyuan, et al. Analysis of Changes in Maritime Transport Networks for Strategic Materials Affected by Attacks in the Red Sea [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2024, DOI: 10.13203/j.whugis20240099.

[8] OLIVELLA S, PRATT T, IMAI K. Dynamic Stochastic Blockmodel Regression for Network Data: Application to International Militarized Conflicts [J]. *Journal of the American Statistical Association*, 2022, 117(539): 1068-1081.

[9] POMEROY C, DASANDI N, MIKHAYLOV S J. Multiplex Communities and the Emergence of International Conflict[J]. *PLoS One*, 2019, 14(10): e0223040.

[10] OISHI K, SAKUWA K. Structural Balance of Alliance and Rivalry Networks in International Relations [J]. *Artificial Life and Robotics*, 2025, 30(2): 303-309.

[11] CHEN P, JATOWT A, YOSHIKAWA M. Con-

flict or Cooperation? Predicting Future Tendency of International Relations[C]//The 35th Annual ACM Symposium on Applied Computing, Brno Czech Republic, 2020.

[12] BATTY M. The New Science of Cities[M]. Cambridge, Mass: The MIT Press, 2017.

[13] GAO S, LIU Y, WANG Y L, et al. Discovering Spatial Interaction Communities from Mobile Phone Data [J]. *Transactions in GIS*, 2013, 17(3): 463-481.

[14] JIANG J Y, WANG X, LIU T Y, et al. Topological Relationship Model for Geographical Flows[J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2022, 49(6): 528-544.

[15] 胡圣,秦昆,喻雪松,等. 全球地理多元流网络数据存储与可视化系统的设计与实现[J]. 测绘地理信息,2023,48(5):155-158.
HU Sheng, QIN Kun, YU Xuesong, et al. Design and Implementation of Storage and Visualization System of Global Geographic Multi-flow Network[J]. *Journal of Geomatics*, 2023,48(5):155-158.

[16] 秦昆, 喻雪松, 周扬, 等. 全球尺度地理多元流的网络化挖掘及关联分析研究[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(10): 1911-1924.
QIN Kun, YU Xuesong, ZHOU Yang, et al. Network Mining and Association Analysis of Geographical Multiple Flows at a Global Scale[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2022, 24(10): 1911-1924.

[17] PAULS S D, CRANMER S J. Affinity Communities in United Nations Voting: Implications for Democracy, Cooperation, and Conflict [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2017, 484: 428-439.

[18] 彭澎, 程诗奋, 陈闪闪, 等. 全球液化石油气运输网络贸易社区特征及其演化分析[J]. 自然资源学报, 2020, 35(11): 2687-2695.
PENG Peng, CHENG Shifen, CHEN Shanshan, et al. Global Liquefied Petroleum Gas Trading Communities: An Analysis from the Perspective of Maritime Transportation Network[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(11): 2687-2695.

[19] DAKICHE N, BENBOUZID-SI TAYEB F, SLIMANI Y, et al. Tracking Community Evolution in Social Networks: A Survey[J]. *Information Processing & Management*, 2019, 56(3): 1084-1102.

[20] ZHANG P, LI M H, WU J S, et al. The Analysis and Dissimilarity Comparison of Community Structure[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2006, 367: 577-585.

[21] KIBRIS A. The Geo-temporal Evolution of Violence in Civil Conflicts: A Micro Analysis of Conflict Diffusion on a New Event Data Set[J]. *Journal of Peace Research*, 2021, 58(5): 885-899.

[22] NIEMAN M D. Moments in Time: Temporal Patterns in the Effect of Democracy and Trade on Conflict[J]. *Conflict Management and Peace Science*, 2016, 33(3): 273-293.

[23] HUANG X Y, CHEN D M, REN T, et al. A Survey of Community Detection Methods in Multilayer Networks[J]. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2021, 35(1): 1-45.

[24] SHEIKH M M, MALICK R A S. Community Detection in a Multi-layer Network over Social Media [C]// The 9th International Conference on Complex Networks and Their Applications, Madrid, Spain, 2020.

[25] YILDIRIMOGLU M, KIM J. Identification of Communities in Urban Mobility Networks Using Multi-layer Graphs of Network Traffic[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2018, 89: 254-267.

[26] SCHON J, JOHNSON J C. How Inter-state Amity and Animosity Complement Migration Networks to Drive Refugee Flows: A Multi-layer Network Analysis, 1991—2016[J]. *PLoS One*, 2021, 16(1): e0245712.

[27] JACKSON M O, NEI S. Networks of Military Alliances, Wars, and International Trade[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(50): 15277-15284.

[28] LI W H, BRADSHAW A E, CLARY C B, et al. A Three-Degree Horizon of Peace in the Military Alliance Network[J]. *Science Advances*, 2017, 3(3): e1601895.

[29] LEETARU K, SCHRODT P A. Gdelt: Global Data on Events, Location, and Tone, 1979—2012 [C]//The ISA Annual Convention, San Francisco, USA, 2013.

[30] 李萌, 袁文, 袁武, 等. 基于新闻大数据的北极地区地缘关系研究[J]. 地理学报, 2021, 76(5): 1090-1104.
LI Meng, YUAN Wen, YUAN Wu, et al. Big Data Analysis on Geographical Relationship of the Arctic Based on News Reports[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(5): 1090-1104.

[31] FANG Z X, YU H C, LU F, et al. Maritime Network Dynamics Before and After International Events [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(7): 937-956.

[32] YANG Y J,ZHAO L F,ZHU Y P,et al. Spillovers from the Russia-Ukraine Conflict[J]. *Research in International Business and Finance*, 2023, 66: 102006.

[33] ZHOU E, WANG X Y. Dynamics of Systemic Risk in European Gas and Oil Markets Under the Russia-Ukraine Conflict: A Quantile Regression Neural Network Approach[J]. *Energy Reports*, 2023, 9: 3956-3966.

[34] Gerner D J, Schrodt P A, Yilmaz O, et al. The Creation of CAMEO (Conflict and Mediation Event Observations): An Event Data Framework for a Post Cold War World[C]//The Annual Meeting of the American Political Science Association, Boston, USA, 2002.

[35] Schrodt P A, Yilmaz O, Gerner D J, et al. The CAMEO (Conflict and Mediation Event Observations) Actor Coding Framework[C]//The Annual Meeting of the International Studies Association, San Francisco, USA, 2008.

[36] GOLDSTEIN J S. A Conflict-Cooperation Scale for WEIS Events Data[J]. *Journal of Conflict Resolution*, 1992, 36(2): 369-385.

[37] MAYER T, ZIGNAGO S. Notes on CEPII's Distances Measures: The GeoDist Database[EB/OL]. (2011-12-25)[2024-11-20]. https://cepii.fr/PDF_PUB/wp/2011/wp2011-25.pdf.

[38] Institute for Economics and Peace. Global Peace Index 2021: Measuring Peace in a Complex World [EB/OL]. (2021-06-25)[2024-11-28]. http://visionofhumanity.org/reports.

[39] Institute for Economics and Peace. Global Peace Index 2022: Measuring Peace in a Complex World [EB/OL]. (2022-06-25)[2024-11-28]. http://visionofhumanity.org/reports.

[40] KIVELÄ M, ARENAS A, BARTHELEMY M, et al. Multilayer Networks[J]. *Journal of Complex Networks*, 2014, 2(3): 203-271.

[41] DE DOMENICO M. More Is Different in Real-World Multilayer Networks[J]. *Nature Physics*, 2023, 19(9): 1247-1262.

[42] SHELLMAN S M, HATFIELD C, MILLS M J. Disaggregating Actors in Intranational Conflict[J]. *Journal of Peace Research*, 47(1): 83-90.

[43] WEIDMANN N B, WARD M D. Predicting Conflict in Space and Time[J]. *The Journal of Conflict Resolution*, 2010, 54(6): 883-901.

[44] Yonamine J E. A nuanced Study of Political Conflict Using the Global Datasets of Events Location and Tone (GDELT) Dataset [D]. Pennsylvania, USA: The Pennsylvania State University, 2013.

[45] DO H N, XU K S. Analyzing Escalations in Militarized Interstate Disputes Using Motifs in Temporal Networks[C]// International Conference on Complex Networks and Their Applications, Madrid, Spain, 2021.

[46] LEVIN N, ALI S, CRANDALL D. Utilizing Remote Sensing and Big Data to Quantify Conflict Intensity: The Arab Spring as a Case Study[J]. *Applied Geography*, 2018, 94: 1-17.

[47] LIU M Z, LIU Y Z, WONG C W Y, et al. The Impacts of Geopolitics on Global Liquefied Natural Gas (LNG) Shipping Network: Evidence from Two Geopolitical Events[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2025, 267: 107706.

[48] NEWMAN M E J,GIRVAN M. Finding and Evaluating Community Structure in Networks[J]. *Physical Review E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 2004, 69(2): 026113.

[49] BEARDSLEY K, LIU H, MUCHA P J, et al. Hierarchy and the Provision of Order in International Politics[J]. *The Journal of Politics*, 2020, 82(2): 731-746.

[50] FORTUNATO S, BARTHÉLEMY M. Resolution Limit in Community Detection[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(1): 36-41.

[51] MUCHA P J, RICHARDSON T, MACON K, et al. Community Structure in Time-Dependent, Multiscale, and Multiplex Networks[J]. *Science*, 2010, 328(5980): 876-878.

[52] SARZYNSKA M, LEICHT E A, CHOWELL G, et al. Null Models for Community Detection in Spatially Embedded, Temporal Networks[J]. *Journal of Complex Networks*, 2016, 4(3): 363-406.

[53] BLACK N. When Have Violent Civil Conflicts Spread? Introducing a Dataset of Substate Conflict Contagion[J]. *Journal of Peace Research*, 50(6): 751-759.

[54] BUTCHER C R, GRIFFITHS R D. States and Their International Relations Since 1816: Introducing Version 2 of the International System Dataset (ISD)[J]. *International Interactions*, 2020, 46(2): 291-308.

[55] MAC GINTY R. Conflict Disruption: Reassessing the Peaceandconflict System[J]. *Journal of Intervention and Statebuilding*, 2022, 16(1): 40-58.

[56] 刘丰,董柞壮. 联盟网络与军事冲突:基于社会网络分析的考察[J]. 世界经济与政治,2015(6):65-80.
LIU Feng, DONG Zuozhuang. Alliance Network

and Military Conflicts: A Social Network Analysis Perspective [J]. *World Economics and Politics*, 2015(6): 65-80.

[57] PEÑA-RAMOS J A, BAGUS P, FURSOVA D. Water Conflicts in Central Asia: Some Recommendations on the Non-conflictual Use of Water [J]. *Sustainability*, 2021, 13(6): 3479.

[58] SIDOROVA G, LYUBENOVA E. Contemporary Wars in Africa or 21st Century Competition for Power [J]. *Journal of Asian and African Studies*, 2021, 56(6): 1318-1328.

[59] STRAUS S. Wars Do End! Changing Patterns of Political Violence in Sub-Saharan Africa [J]. *African Affairs*, 2012, 111(443): 179-201.

[60] AHMADI S A, HEKMATARA H, NOORALI H, et al. The Hydropolitics of Upper Karabakh, with Emphasis on the Border Conflicts and Wars Between Azerbaijan and Armenia [J]. *GeoJournal*, 2023, 88(2): 1873-1888.

[61] SMETANA M, LUDVÍK J. Between War and Peace: A Dynamic Reconceptualization of "Frozen Conflicts" [J]. *Asia Europe Journal*, 2019, 17(1): 1-14.

[62] ABDELZAHER D, RAMADAN N. Dynamic Capabilities and FDI in Conflict Zones: The Role of Diversification and Stock Management Capabilities [J]. *Review of International Business and Strategy*, 2023, 33(1): 154-175.

(上接第77页)

式和模型研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(6): 660-666.
LIU Yu, KANG Chaogui, WANG Fahui. Towards Big Data-Driven Human Mobility Patterns and Models [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6): 660-666.

[27] 周熙然, 李德仁, 薛勇, 等. 地图图像智能识别与理解: 特征、方法与展望[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(5): 641-650.
ZHOU Xiran, LI Deren, XUE Yong, et al. Intelligent Map Image Recognition and Understanding: Representative Features, Methodology and Prospects [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(5): 641-650.

[28] 陆锋, 诸云强, 张雪英. 时空知识图谱研究进展与展望[J]. 地球信息科学学报, 2023, 25(6): 1091-1105.
LU Feng, ZHU Yunqiang, ZHANG Xueying. Spatiotemporal Knowledge Graph: Advances and Perspectives [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2023, 25(6): 1091-1105.

[29] 苏世亮, 王卓伦, 何深静, 等. 社会地理计算的理论逻辑与研究范式及展望[J]. 地理学报, 2024, 79(1): 187-205.
SU Shiliang, WANG Zhuolun, HE Shenjing, et al. Rethinking the Theoretical Genesis, Research Paradigm and Research Agenda of Geo-Computational Social Sciences [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2024, 79(1): 187-205.

[30] 冉启斌, 丁俊. 汉语方言的相似度与差异: 基于ASJP模式语言距离计算的考察[J]. 语文研究, 2023(2): 17-26.
RAN Qibin, DING Jun. The Similarities and Differences of Chinese Dialects: An Investigation Based on ASJP Approach Linguistic Distance Calculation [J]. *Linguistic Research*, 2023(2): 17-26.