

1948—2018年国际河流跨境水冲突的时空演化规律

王 涛^{1,2}, 刘承良^{1,2,3}, 杜德斌^{1,2,3}

(1. 华东师范大学世界地理与地缘战略研究中心, 上海 200062; 2. 华东师范大学
城市与区域科学学院, 上海 200241; 3. 华东师范大学全球创新与发展研究院, 上海 200062)

摘要: 随着全球气候变化和人类社会经济高速发展, 水资源供需矛盾日益突出, 国际河流流域跨境水冲突不断加剧, 其时空演化规律成为当前跨学科研究的热点和难点。为此, 从水冲突“事件—关系”视角, 对1948—2018年间全球跨境水冲突的时空演化规律进行系统分析发现: ① 1948—2018年全球跨境水冲突规模总体呈非单调波动增长态势, 在1987年前后发生显著突变, 表现出兼具趋势性、突变性和波动性等多维特征的非单调动力过程; ② 全球跨境水冲突事件以围绕水文干预和资源权属争夺的低强度事件为主, 大坝等水利工程建设引发的冲突显著增加, 南亚、西亚和东非地区成为主导全球跨境水冲突趋势演化的“序参量”; ③ 全球跨境水冲突呈现由单中心向多中心格局转变的空间扩散趋势, 但“北多南少、东多西少、相对集中”的总体不均衡格局基本锁定, 形成以30°N为中心、横跨南亚—中亚—西亚—东非高水资源压力区的水冲突密集带; ④ 国家间跨境水冲突关系趋于普遍化、复杂化和网络化, 发育多个流域性网络社团, 但水冲突关系的“马太效应”和极化分布特征持续显著, 产生“路径锁定”效应; 水冲突“规模—强度”关系存在一定的空间错配。

关键词: 跨境水冲突; 事件—关系; 时空演化; 国际河流流域; 突变点

DOI: 10.11821/dlxb202107016

1 引言

河流在满足人类生产生活用水需求方面具有不可替代性, 支撑着全球范围内超过20亿人口的日常供水和16%的电力供应^[1], 创造了巨大的经济、社会、生态和文化价值^[2]。社会经济发展对河流的依赖性, 使得各国对河流的重视程度越来越高, 随之而来的水资源安全问题也逐渐被纳入国家安全的范畴之内^[3-4]。由于自然流动性, 许多河流超越国家边界成为国际河流 (包括跨界河流和边界河流)^[5], 其分水线所包围的河流集水区形成国际河流流域。截至2018年, 全球共有310个国际河流流域, 涉及150多个国家, 蕴藏了全球近60%的河流径流量^[6]。这些国际河流的水资源开发、利用与分配涉及流域内各个国家利益, 域内任何单方面水行为都有可能引发跨境水冲突^[3]。随着近年来全球水资源供需矛盾日益突出, 国际河流水政治关系越发敏感^[7]。尤其是被喻为“亚洲水塔”的青藏高原周边河流受气候变化影响突出^[1, 8], 跨境水冲突频发^[9], 有关“水战争”和“水霸权”等新闻事件不时见诸报端, 给中国周边地缘安全和区域合作带来较大隐患。

收稿日期: 2020-12-11; 修订日期: 2021-05-14

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA20100311) [Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA20100311]

作者简介: 王涛(1990-), 男, 河南新乡人, 博士生, 研究方向为世界地理与地缘关系。

E-mail: 52193902013@stu.ecnu.edu.cn

通讯作者: 刘承良(1979-), 男, 湖北武汉人, 教授, 博导, 中国地理学会会员(S110013672M), 研究方向为世界经济地理。

E-mail: cliu@re.ecnu.edu.cn

当前,“水危机”已成为全球五大风险之一^[10],跨境水冲突日渐成为非传统安全领域的重要问题和新时代资源环境外交的重要议题,受到国内外学者广泛关注。已有研究主要集中于以下几个方面:①研究进展梳理。国内外学者通过定性分析、文献计量与可视化等方法对已有跨境水冲突研究进行了梳理,并从数据更新、尺度综合与交叉研究等方面进行了展望^[3, 11-13]。②时空分布及发生原因。已有时空规律研究以国外占绝对主导,主要基于国际水事件数据库(International Water Event Database, IWED)的早期数据(更新至2008年)展开事件分析^[14-16],研究尺度以单个流域或区域居多^[11]。其背后的原因解析则多基于流域案例视角,从社会经济和气候变化等综合因素进行解释^[7, 17],但仍未达成共识^[11]。③热点区域识别与风险评估。由国际机构主导,以联合国环境署的跨界水评估项目(TWAP)^[18]和世界资源研究所的水风险评价(Aqueduct)项目^[19]最具影响力。④水政治与水外交。国外学者基于“水霸权”理论基本形成两大思想流派:以“水霸权”理论为内核的现实主义地缘政治流派^[20](强调权力不对称)和质疑“水霸权”理论的批判主义地缘政治流派^[21](强调“流域”本体的多维解释和水冲突中的话语与叙事);国内学者则更多地从水政治复合体^[22]、水外交和地缘政治^[9]等角度展开对策研究。⑤水资源管理与水冲突治理。主要从国际法或条约^[23]、公共资源管理视角开展跨境水资源管理^[24],强调发挥流域管理机构的重要作用^[24],探讨了水资源分配模式等问题^[25];一些学者则从国际河流安全^[26]和“去安全化”^[4]视角对跨境水冲突治理路径进行探讨。

不难看出,国内外学者对跨境水冲突进行了较为全面的研究。研究视角上,以国际法、公共管理、国际关系等视角居多,但对时空演化规律的挖掘不够,亟需发挥地理学综合性优势,为解剖冲突原因和化解冲突风险提供理论依据。研究尺度上,集中于区域或单个流域尺度,尤其是国内相关研究以中国周边若干特定流域^[12]居多,全球视野略显不足;亟待系统研判全球跨境水冲突总体走势和热点地区,为中国参与全球治理、服务“一带一路”对外基础设施合作和维护国家海外利益提供决策支撑。研究方法上,以定性研究居多,定量研究相对略少, IWED数据相对陈旧^[11],有待更新刻画近10年全球跨境水冲突动态演化规律。

鉴于此本文通过互联网大数据挖掘,基于IWED数据遴选标准,建立了1948—2018年全球跨境水冲突时空数据库。在此基础上,从水冲突“事件—关系”视角,力图系统揭示1948—2018年间全球跨境水冲突的时空演化规律,为后续跨境水冲突研究提供支撑,并为中国海外水利项目合作和防范冲突风险提供政策参考。

2 研究方法 with 数据处理

2.1 研究方法

2.1.1 事件分析法 事件分析法最初由McClelland于20世纪60年代提出^[14]。主要根据多种来源的媒体报道,提取国家间互动关系的新闻事件,并基于一定准则对事件蕴含的信息进行编码和属性赋值^[27],广泛用于地缘政治^[28]和水政治^[4, 11, 16]等的定量研究。

所谓跨境水冲突事件,是指基于新闻媒体报道的国际河流流域内国家间围绕国际河流水资源的开发利用、归属、分配和保护等问题所发生的口头、经济、外交或军事等层面的冲突性政治互动行为^[29],不包括流域外第三方国家与流域内国家之间的水冲突行为、流域内各国的国内水冲突问题以及流域水资源作为受害对象的冲突事件(如水作为武器或战争目标等)^[14]。从行为主义角度来讲,跨境水冲突的本质是国家间围绕国际河流发生的水政治事件及事件中包含的双边或多边冲突关系(图1)。本文利用事件分析

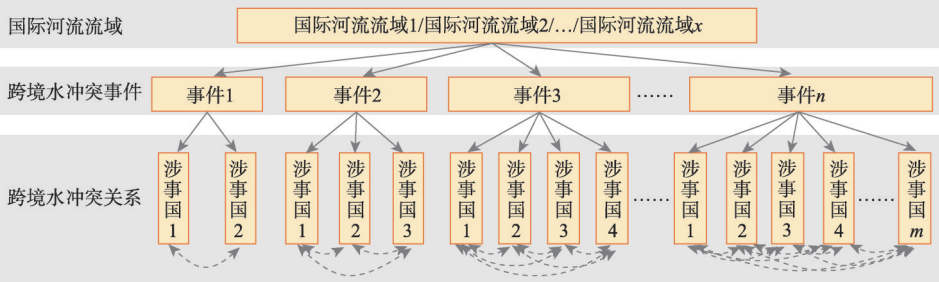


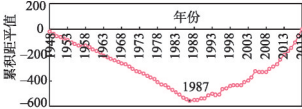

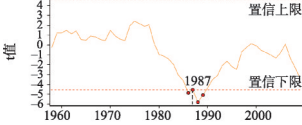
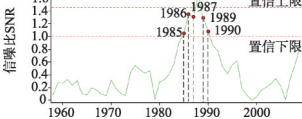
图1 国际河流跨境水冲突“事件—关系”分析框架

Fig. 1 The technical framework of "event-relation" of international freshwater conflicts

法，基于“事件—关系”视角，对全球跨境水冲突事件和国家间水冲突关系进行计量分析。

2.1.2 时间序列突变点检测 从统计学视角，时间序列趋势的突变可以理解为一个统计特性到另一个统计特性的显著变化^[30]。常用时间序列突变点检测方法^①包括 Mann-Kendall 法、累积距平法、有序聚类法、滑动 t 检验法、Yamamoto 法和 Pettitt 法等^[30-32]。与其他方法相比，Mann-Kendall 法有时并不能准确的识别出突变点^[32]，且任何单一的突变点检测方法都有其适用范围和缺陷，多种方法的共同使用和验证能够最大限度减少检测方法差异带来的误差，从而增加检测结果的可信度^[31-32]。因此，本文基于前人使用较多且识别效果相对较好的累积距平法、有序聚类法、滑动 t 检验法和 Yamamoto 法等 4 种突变点检测方法，多重识别验证 1948—2018 年全球跨境水冲突时间序列突变点，选取结果稳定性最高的年份作为突变点年份（表 1）。

2.1.3 变异系数 引入变异系数（Coefficient of Variability, CV）测度跨境水冲突事件时间序列的波动性和各国对外水冲突规模的差异性，其公式为^[33]：

表 1 基于不同突变点检测方法的全球跨境水冲突时间序列突变点识别			
Tab. 1 Identification of change points in the time series of global freshwater conflict events based on different methods			
检测方法	序列趋势判读	显著性水平	突变点年份
累积距平法		趋势判读	1987
Fisher 最优分割有序聚类法		0.01	1987、1988 (按 2 类分)
滑动 t 检验法		0.05	1987
Yamamoto 检测法		0.05	1985、1986、1987、 1989、1990

① 详细计算公式见参考文献[30-32]。

$$CV = S/|\bar{x}| \quad (1)$$

式中: S 为数据标准差; $|\bar{x}|$ 为数据平均值。

2.1.4 核密度 引入核密度分析方法研究跨境水冲突事件的空间分布特征, 其公式为^[34]:

$$f_n(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (2)$$

式中: $k(x)$ 为核函数; $h > 0$, 为带宽或搜索半径, 取值 400 km (基于流域边界限定的默认值调校); $x-x_i$ 为估计点到样本 x_i 处的距离; n 为已知点数目; d 是数据维度。

2.2 数据来源和处理

2.2.1 数据来源 美国俄勒冈州立大学依托跨境淡水争端项目数据库 (Transboundary Freshwater Dispute Database, TFDD) 创建的国际水事件数据库 (IWED)^②, 是当前跨境水冲突研究领域的核心数据来源^[11, 16], 被学术界、联合国和其他机构广泛使用^[16, 18]。但该数据库覆盖时段为 1948—2008 年, 且已停止更新, 数据略显陈旧^[11]。因此, 本文基于 1948—2008 年 IWED 数据库构建原则和标准, 利用 Google News 挖掘更新获得 2009—2018 年的跨境水冲突数据。其他自然和社会经济数据 (表 2^③), 主要来源于世界银行的世界发展指标 (WDI) 数据库、联合国粮农组织 Aquastat 全球水信息系统数据库以及俄勒冈州立大学 TFDD 数据库等。国际河流流域边界来源于俄勒冈州立大学 TFDD 数据库。

2.2.2 数据处理 基于 IWED 原始数据库的创建方法和处理标准^④, 通过互联网大数据挖掘, 将跨境水冲突数据更新到 2018 年, 并建立 1948—2018 年全球跨境水冲突时空数据库: ① 数据采集与筛选。首先, 按照 IWED 数据库创建方法中的新闻媒体来源^⑤, 定向爬取 2001—2018 年 Google News 上的全球跨境水冲突新闻事件数据^⑥, 共获得 3.74 万条原始数据; 其次, 按照 IWED 事件数据筛选标准^④对原始数据进行清洗与合并, 得到筛选后的 763 条跨境水冲突事件数据。② 事件数据编码与属性表构建。按照 IWED 确定的编码和赋值标准^④, 提取事件发生时间、地点、涉事国家名称、事件强度和问题类型等信息, 构建筛选后的事件数据属性表。根据 IWED 的编码规则, 跨境水冲突事件冲突强度划分为 -1~7 (从口头冲突到战争) 共 7 个等级, 事件问题类型分为 1~13 共 13 种类型^⑥。③ 数据验证。以筛选后的 2001—2008 年事件数据为样本, 与 IWED 数据库中的 2001—2008 年原始数据进行比对验证。结果显示, 8 个年份的数据精度分别为 95.83%、95.00%、

② <https://transboundarywaters.science.oregonstate.edu/content/international-water-event-database>.

③ 表 2 中“流域类型划分”列的等级标准确定方法: 水资源压力水平的高低参照联合国《The United Nations World Water Development Report 2019》划分标准, 流域水冲突事件数量的等级划分是通过事件数据聚类分析获得, 最低等级为中等水冲突是考虑到前 15 位流域之外仍有其他大量低水冲突流域。表中数据来源: a 供给端指标; 气候类型来源于中国地图出版社出版的《世界地图集 (第二版)》, 多年平均降水量数据 (1901—2019 年均值) 来源于东英吉利大学气候研究组官网, 多年平均径流深数据 (1971—2000 年均值) 来源于 TFDD 数据库 (联合国 TWAP 数据库也可获得); b 需求端指标; 人口数量 (2015 年)、人口密度 (2015 年) 和各行业取水量 (2010 年) 3 个指标数据均来源于 TFDD 数据库 (联合国 TWAP 数据库也可获得); c 水资源压力指数数据 (2015 年) 来源于世界资源研究所官网。需要说明的是, 由于流域尺度的数据统计和获取困难, 以上数据均为目前可获得、且被联合国等国际机构广泛使用^[18, 19]的最新数据, 部分数据年限差异不影响总体结果的参考价值。

④ <https://transboundarywaters.science.oregonstate.edu/sites/transboundarywaters.science.oregonstate.edu/files/Database/Data/Events/Yoffe%20%26%20Larson-Event%20Coding.pdf>.

⑤ Google News 的最早可检索年份为 2001 年, 采集 2001—2008 年的数据, 目的是通过重叠年份的数据进行对比验证。

⑥ IWED 的水冲突事件强度和问题类型详细划分。 https://transboundarywaters.science.oregonstate.edu/sites/transboundarywaters.science.oregonstate.edu/files/Database/Data/Events/Events_field_descriptions%20%28by%20Yoffe%29.doc.

表 2 全球主要冲突流域水资源指标和类型划分

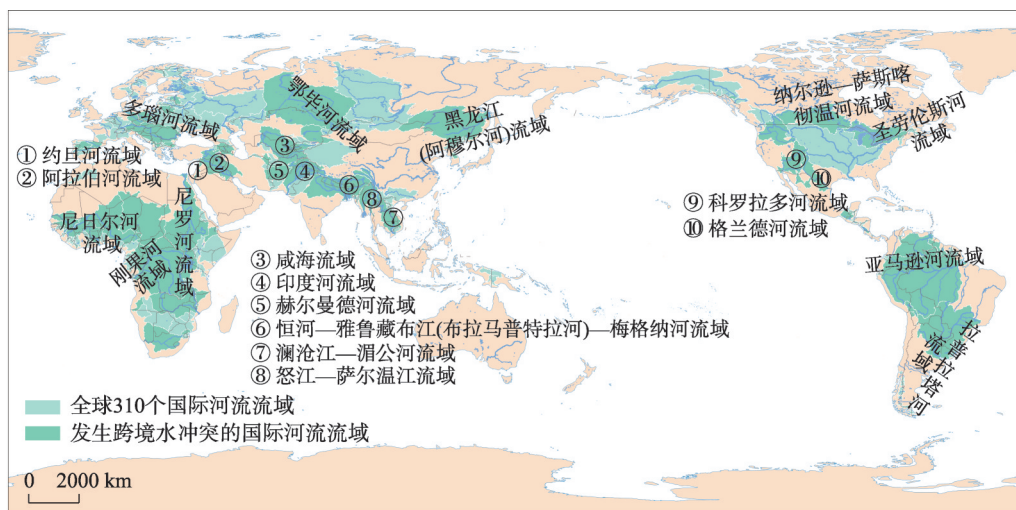
Tab. 2 Water resources indicators and type division of conflictive basins

国际河流流域	供给端(气候条件与 水资源禀赋)			需求端(社会经济 用水压力)			水资源 压力指 数(%)	水冲突 事件数 量(起)	流域类 型划分	水冲突 事件主要 问题类型	流域水 冲突 本质
	主要气候 类型	多年平 均降水 量(mm)	多年平 均径流 深(mm)	人口 数量 (千万人)	人口 密度 (人/km ²)	各行业 取水量 (亿 m ³ /a)					
印度河流域	高山气候/ 亚热带沙漠 气候	408	206	23.37	273	2947	85.9	200	高水资源 压力—高 水冲突	水量分配、 水电开发、 大坝建设	水源 竞争
约旦河流域	亚热带沙漠 和草原气候	240	117	1.21	269	62	91.4	177	高水资源 压力—高 水冲突	水量分配	水源 竞争
阿拉伯河 流域	亚热带沙漠 和草原气候	324	170	7.44	86	1117	70.7	175	高水资源 压力—高 水冲突	水量分配、 水电开发、 大坝建设	水源 竞争
恒河—雅鲁 藏布江(布拉 马 普 特 拉 河)—梅格纳 河流域	热带季风 气候	1188	860	95.57	575	5001	67.9	147	高水资源 压力—高 水冲突	水量分配、 水电开发、 大坝建设	水源竞 争与能 源开发
尼罗河流域	热 带 草 原/ (亚)热带沙 漠气候	624	129	32.61	110	784	17.2	136	低水资源 压力—高 水冲突	水电开发、 大坝建设、 水量分配	能源开 发与水 源竞争
多瑙河流域	温带落叶阔 叶林气候	744	278	7.31	91	538	15.6	104	低水资源 压力—中 等水冲突	水电开发、 大坝建设、 水质污染、 环境保护	能源开 发与环 境保护
澜沧江—湄 公河流域	热带季风气 候	1476	647	7.68	98	296	6.9	75	低水资源 压力—中 等水冲突	水电开发、 大坝建设	能源 开发
咸海流域	温带沙漠气 候	264	103	5.62	46	1066	65.8	42	高水资源 压力—中 等水冲突	水电开发、 大坝建设、 水量分配	水源 竞争
赫尔曼德河 流域	亚热带沙漠 和草原气候	156	79	1.19	29	407	96.5	28	高水资源 压力—中 等水冲突	水量分配	水源 竞争
格兰德河 流域	亚热带沙漠 和草原气候	384	23	1.90	35	189	82.4	27	高水资源 压力—中 等水冲突	水量分配	水源 竞争
科罗拉多河 流域	温带沙漠气 候/高 山 气 候	300	40	1.43	22	215	83.6	22	高水资源 压力—中 等水冲突	水量分配	水源 竞争
拉普拉塔河 流域	热 带 雨 林/ 热 带 草 原/ 亚热带草原 气候	1200	344	13.67	46	321	11.1	35	低水资源 压力—中 等水冲突	水电开发、 大坝建设	能源 开发
怒江—萨尔 温江流域	热带季风气 候/高山气 候	1080	662	1.14	43	26	8.4	21	低水资源 压力—中 等水冲突	水电开发、 大坝建设	能源 开发
圣劳伦斯河 流域	温带落叶阔 叶林气候	912	490	4.64	57	556	40.0	17	中水资源 压力—中 等水冲突	水质污染	环境 保护
纳尔逊—萨 斯喀彻温河 流域	亚寒带针叶 林 气 候/温 带草原气候	492	93	0.57	5	112	38.7	16	中水资源 压力—中 等水冲突	水电开发、 大坝建设	能源 开发

96.55%、97.92%、96.83%、100%、100%和100%，总体精度为97.10%。整体来看，数据误差较小，精度满足研究需要，可信度较高。④ 时空数据库构建。将2009—2018年的更新数据与1948—2008年IWED数据进行汇总，并根据事件发生位置信息^⑦，结合Google Maps进行矢量化，构建1948—2018年全球跨境水冲突时空数据库，包括1387起跨境水冲突事件^⑧和1671对跨境水冲突双边关系。

2.3 研究范围

与最新国际跨境淡水争端数据库保持一致^⑥，本文研究范围包括310条国际河流流域(图2)，重点关注发生跨境水冲突的国际河流流域。



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1667号的标准地图制作，底图无修改。

图2 全球发生跨境水冲突的国际河流流域分布

Fig. 2 Distribution of international river basins with transboundary freshwater conflicts

3 国际河流跨境水冲突的时序演化规律

3.1 跨境水冲突事件的时序演化

3.1.1 表现出非单调波动增长和阶段性突变的复合演化特征 1948—2018年全球跨境水冲突事件规模在长期趋势上表现出波动增长态势，但在20世纪80年代末出现明显突变，形成稳定微降和快速波动上升2个发展阶段(图3)。① 1948—2018年全球跨境水冲突整体呈现波动增长的非单调演化过程。全球跨境水冲突事件由1948年的3起迅猛增长到2018年的75起(图3b)，整体增长趋势显著。但波动剧烈，水冲突事件增长幅度超出±50%的年份接近一半(达到34个)，变幅在±10%以内的年份只占10%，表现为非单调波动增长过程。② 以1987年为突变点，呈现由轻微下降向快速增长的阶段性突变。多种方法的时间序列突变点检测结果表明(表1)，1987年是全球跨境水冲突趋势突变最显著和最稳定的年份。利用指数平滑方法对原始数据进一步降噪处理发现(图3a)，以1987年

⑦ 跨境水冲突事件的发生地既可能位于两国边境附近，也可能位于某国境内，如上游国在境内建设大坝所引发的与下游国之间的水冲突。

⑧ 对于1948—2008年IWED原始数据库中涉及苏联、南斯拉夫、捷克斯洛伐克、东西巴基斯坦、阿拉伯联合共和国等历史国家的事件数据，采取属地原则，根据事件位置信息将涉及国家分解归属到当今的各个独立主权国家。此外，IWED原始数据库中包舍少量“INT、UNK、OTH”等不符合定义标准的数据，一并进行剔除。

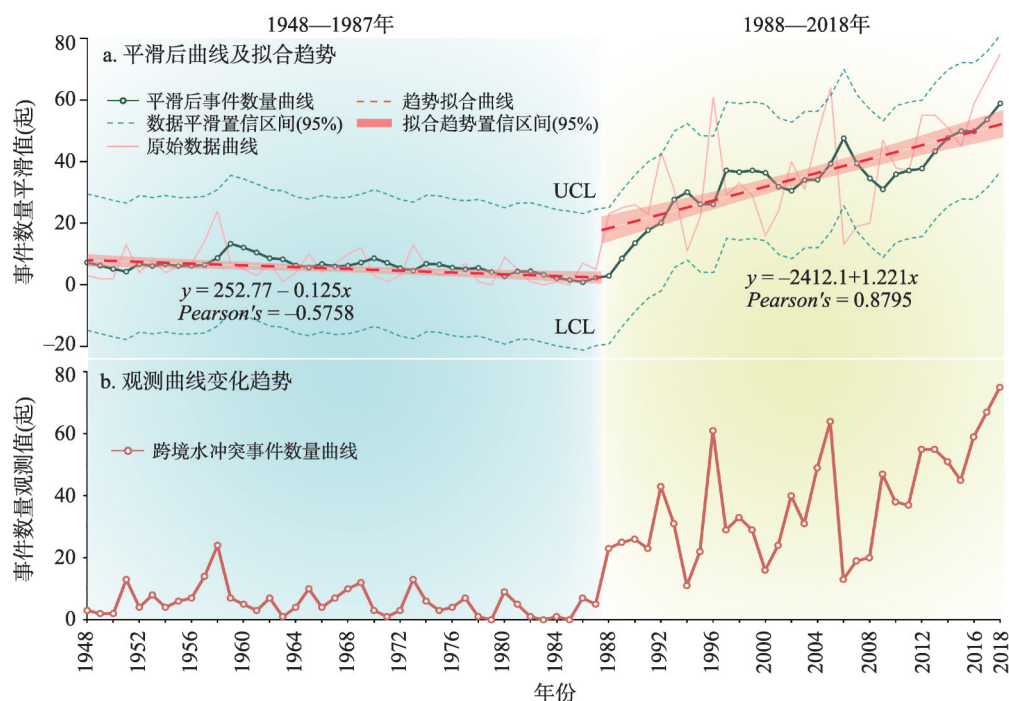


图3 1948—2018年全球跨境水冲突事件的时序演化

Fig. 3 The temporal evolution of global freshwater conflict events from 1948 to 2018

为突变点, 全球跨境水冲突变化呈现稳定微降(1948—1987年)和快速波动上升(1988—2018年)2个阶段。20世纪80年代末以来, 全球跨境水冲突事件不断频发, 部分归因于世界政治体系剧变(尤其是苏联解体)造成的主权国家和国际河流数量增多(流域的“国际化”), 以及90年代以来全球人口经济快速增长、水资源供需矛盾加剧造成的水政治关系紧张^[35-36]。

3.1.2 以低强度冲突事件为主, 平均冲突强度趋于下降 近年来, 全球跨境水冲突强度^⑨逐渐缓和, 口头言辞层面的低强度跨境水冲突事件主导地位进一步增强。① 1948—2018年全球跨境水冲突以低强度水冲突事件为主。其所占比重由第一阶段的70.8%增加到第二阶段的87.34%(图4a), 而平均冲突强度由1948年的-4(中等强度)下降到2018年的-1.64(低强度区间范围内)。表明国家间趋于采用更加和平与理性的方式解决水争端。除20世纪60年代约旦河流域部分因水源争端发生了第三次中东战争外, 进入21世纪后, 没有再发生因水而致的战争级别高强度水冲突事件。② 低强度主导的水冲突常态, 某种程度可从国际水法的约束作用上体现出来。由于国际河流水资源的准公共产品属性, “有限主权论”和“沿岸国共同体论”^[37]等学说成为国际水法的基本准则。围绕国际河流水资源的共享和公平利用等国际水法规则, 对跨境水冲突间接起到一定的限制约束

⑨ 为便于3.1.2和3.1.3部分的绘图和称呼, 对事件等级和问题类型进行整合命名, 将事件冲突强度按照-7到-1的原分级标准整合统称为5个等级(不改变原分级标准中的7个等级赋值), 即将原标准中的-7和-6等级(战争)统称为高强度、-5等级(小规模军事冲突)称为中高强度、-4等级(政治军事敌对)称为中等强度、-3等级(外交和经济对峙)称为中低强度、-2和-1等级(口头言辞冲突)统称为低强度; 将事件问题类型按照1~13的原分类标准, 整合统称为水量(2、9)、大坝建设与水电开发(3、10)、水质与污染(1)、涉水领土与边界(12、13)、流域管理与经济发展(6、7、8、11)、航运和渔业(4、5)等六大问题类型。

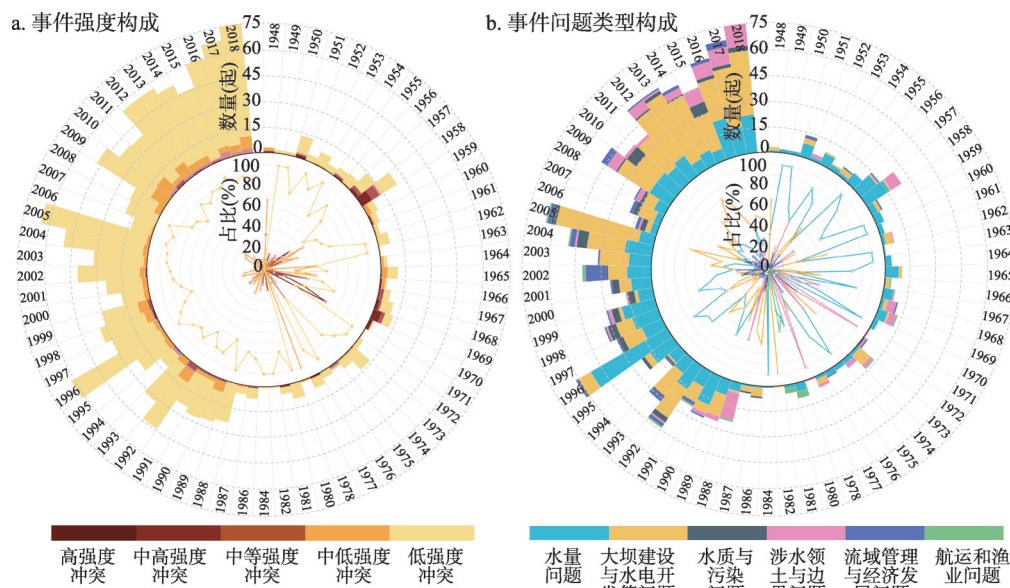


图4 1948—2018年全球跨境水冲突事件的强度与问题类型构成演化

Fig. 4 Evolution of the intensity and issue types composition of global freshwater conflict events from 1948 to 2018

作用,发动战争或军事冲突等高强度水冲突的高额外交成本和负面国际形象,会在一定程度上遏制冲突冲动,口头对抗和外交纠纷成为水冲突的常态化形式。

3.1.3 以水文干预和资源权属型冲突为主,大坝等水利工程建设引发的冲突显著增加 国际河流水资源的稀缺性、政治性和安全敏感性,基本决定了围绕国际河流水资源的开发利用、水量分配、资源归属等问题的水文干预型和资源权属型冲突占据绝对主导地位。

① 重大水利工程建设等水文干预措施带来的纠纷和围绕水量分配、涉水领土与边界^⑩等资源权属的争端是全球跨境水冲突的矛盾焦点所在。1948—2018年大坝建设与水电开发等问题、水量问题、涉水领土与边界问题三大类跨境水冲突问题类型占比高达89.11% (图4b),居于绝对主导位置。这些问题聚焦河流水资源的调蓄控制(水位、流量、空间再分配等)、开发利用(水电能源)、数量分配与资源权属(尤其是干旱缺水地区的涉水领土主权争夺)等方面,本质上皆属于水文干预型和资源权属型冲突。② 水冲突事件问题类型构成发生明显变化,大坝等水利工程开发建设引发的冲突增加明显。大坝建设与水电开发等问题导致的水冲突事件比重由第一阶段的21.2%增长到第二阶段的49.55%,逐渐超过了水量问题引发的事件比重(由56.52%下降到29.06%)。各国或出于应对气候变化导致的水量不稳定与旱涝灾害目的、或出于促进国内水资源的时空再分配目的、或出于满足不断增长的能源需求等目的而规划实施了越来越多的大坝建设、跨流域调水和水电站开发等水利工程,导致跨境河流的水文过程发生显著变化(如水位、流量、泥沙、水温等的大幅度变化)^[7, 12, 16],引发了越来越多的跨境水冲突纠纷,逐渐成为全球层面的首要诱因。

3.1.4 少数地区成为全球跨境水冲突演化的主导力量 1948—2018年间全球不到20%的国际河流流域发生了跨境水冲突事件,且高度集中于5%的主导性流域(排名前15位流域水冲突事件量占总数的88.1%) (图5)。

^⑩ 涉及河流上游水源地权属争夺、河流边界划分以及河中岛等河流上、中、下游沿岸领土主权归属和边界划分的冲突。

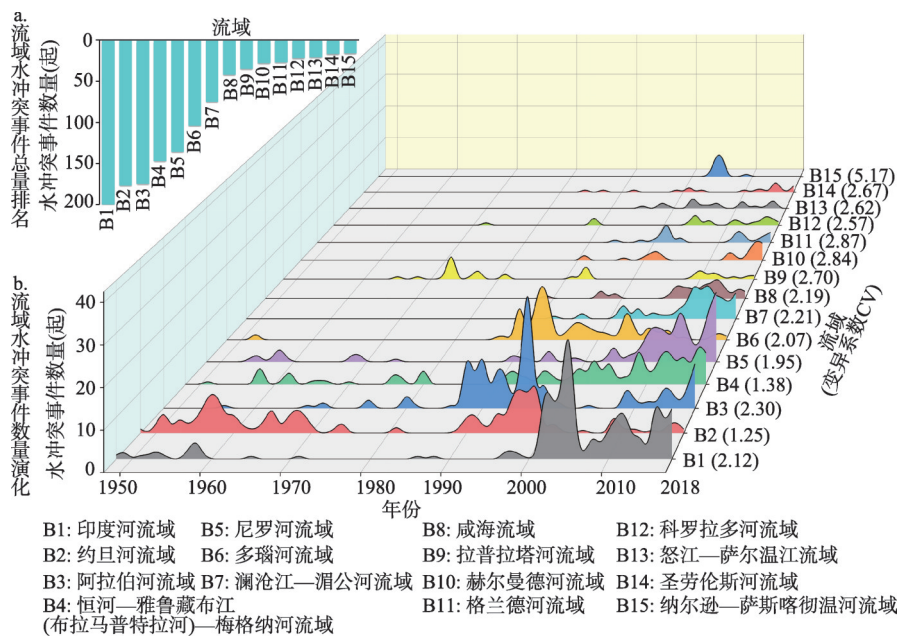


图5 1948—2018年全球主要国际河流流域(排名前15位)的跨境水冲突演化趋势

Fig. 5 The trend of global freshwater conflict events in major river basins from 1948 to 2018

(1) 南亚、西亚和东非地区成为全球跨境水冲突演化的“序参量”。1948—2018年全球跨境水冲突事件高度集中于印度河流域(200起)、约旦河流域(177起)、阿拉伯河流域(175起)、恒河—雅鲁藏布江—梅格纳河流域(147起)、尼罗河流域(136起)等南亚、西亚和东非地区的5个国际流域(图5)。其水冲突发生时间较早并在时序上具有较强的连贯性,变异系数整体较小(图5),与全球跨境水冲突总体演化趋势表现出较高的一致性。这些流域开发历史悠久,因气候干旱(如约旦河、阿拉伯河与尼罗河流域)和人口爆长(如约旦河、印度河与恒河流域),水资源供需矛盾突出^[18-19],国家间围绕稀缺水资源的争夺激烈,已成为全球水政治局势的“火药桶”^[18, 20]。

(2) 欧洲、东南亚、中亚、北美等区域强化了全球跨境水冲突的阶段性突变特征。排名第6~15位的流域主要位于欧洲(多瑙河流域)、东南亚(澜沧江—湄公河流域、怒江—萨尔温江流域)、中亚(咸海流域、赫尔曼德河流域)、北美(格兰德河流域、科罗拉多河流域、圣劳伦斯河流域、纳尔逊—萨斯喀彻温河流域)等地区。与南亚、西亚和东非地区的前5位流域相比,欧洲、东南亚、中亚、北美这些地区的国际流域水冲突事件数量明显骤降,水冲突事件绝大部分发生于第二阶段,主要由水电开发、河流污染和水量分配等问题引发^[15, 21, 38]。且水冲突事件数量的波动性较强,变异系数较大(大部分超过2.5)(图5),冲突“锁定效应”较弱。

3.2 跨境水冲突关系的时序演化

为了度量分析国家之间的水冲突关系规模及其结构变化,本文主要从“各个国家两两之间的双边冲突规模(关系次数)”和“单个国家对外冲突总规模(关系次数)”两个角度指标,对跨境水冲突关系的时序演化进行分析。

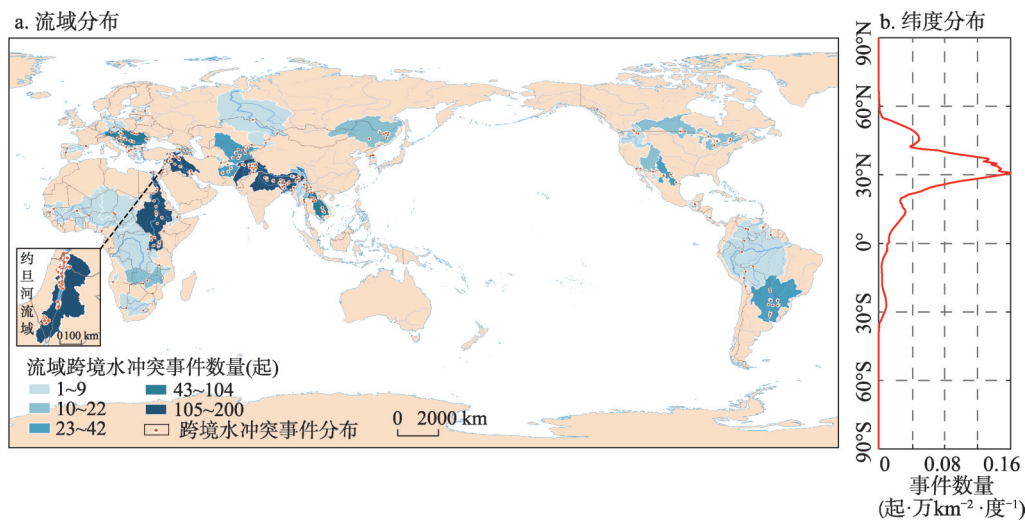
3.2.1 国家间双边水冲突关系规模呈幂律分布,“马太效应”明显,但各国对外水冲突关系规模则趋指数分布 1948—2018年国家间双边水冲突关系与各国对外水冲突关系的规模分布均呈现不均衡性,水冲突高度集中于少数国家之间,具有“马太效应”(图6)。

冲突受空间相互作用的影响更为明显。从第一阶段到第二阶段,前20位高水冲突量国家中,与其发生水冲突的他国数量占其邻国总数的平均比重由59.9%上升到了98.5%,且部分国家与越来越多的流域内非邻国发生水冲突,如埃及、埃塞俄比亚、泰国等。跨境水冲突现象越来越普遍,邻国较多的国家表现尤为突出;1948—1987年,邻国数量越多的国家,其对外水冲突次数并不一定越多;而1988—2018年,邻国数量较多的国家对外发生水冲突的次数显著增加,平均对外水冲突次数由8.14增加到了27.06次,充分表明地理邻近性和空间相互作用对跨境水冲突的发生概率具有较大影响。

4 国际河流跨境水冲突的空间演变特征

4.1 跨境水冲突事件的空间格局演变

4.1.1 呈现“北多南少、东多西少、相对集中”的空间异质性 全球跨境水冲突事件分布呈现出显著空间异质性,相对集中于北半球和东半球,密集分布于以30°N为中心的气候干旱带(图8),南亚、中亚、西亚和东非等高水资源压力地区成为全球跨境水冲突的主要策源地。



注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1667号的标准地图制作,底图无修改。

图8 1948—2018年全球跨境水冲突事件的总体分异格局

Fig. 8 The overall distribution pattern of global freshwater conflict events from 1948 to 2018

(1) 20°N~40°N的全球干旱带成为跨境水冲突事件的密集分布带。受副热带高压控制,20°N~40°N的大部分地区以沙漠气候和季风气候为主,集中了全球跨境水冲突事件总数的60%(图8)。跨境水冲突事件前5位的国际河流流域(印度河流域、约旦河流域、阿拉伯河流域、恒河—雅鲁藏布江(布拉马普特拉河)—梅格纳河流域和尼罗河流域)均分布于这一地带。

(2) 跨境水冲突高度集中于“南亚—中亚—西亚—东非”地带。该地带人口密集、经济较落后但增长较快、水资源压力较大,与全球水资源压力分布格局高度吻合^[39],也与联合国预测的高水冲突风险区基本一致^[18]。1948—2018年这些地区的国际河流流域均发生了较大规模的跨境水冲突事件(普遍超过15起),占全球总量的90%左右。

4.1.2 形成“水资源压力—水冲突规模”关系的类间异质性 不同水资源压力—水冲突规模

组合表现出类型多样性, 跨境水冲突规模前15位国际流域可划分出高一高型、高一中型、中—中型、低—高型、低—中型等五种模式(表2)。

(1) 高一高型, 即高水资源压力—高水冲突型流域。包括印度河流域、约旦河流域、阿拉伯河流域、恒河—雅鲁藏布江(布拉马普特拉河)—梅格纳河4个流域。因气候干旱或人口压力巨大, 水资源供需矛盾突出, 域内国家间围绕稀缺水资源争端持续不断, 是典型的自然—人为因素复合驱动模式, 如印度—巴基斯坦、印度—孟加拉国、以色列—约旦、土耳其—叙利亚和土耳其—伊拉克等国间的水冲突, 其本质是资源导向下的稀缺水源竞争, 叠加领土争端、宗教冲突和民族矛盾等地缘政治因素, 水冲突协调难度较大。

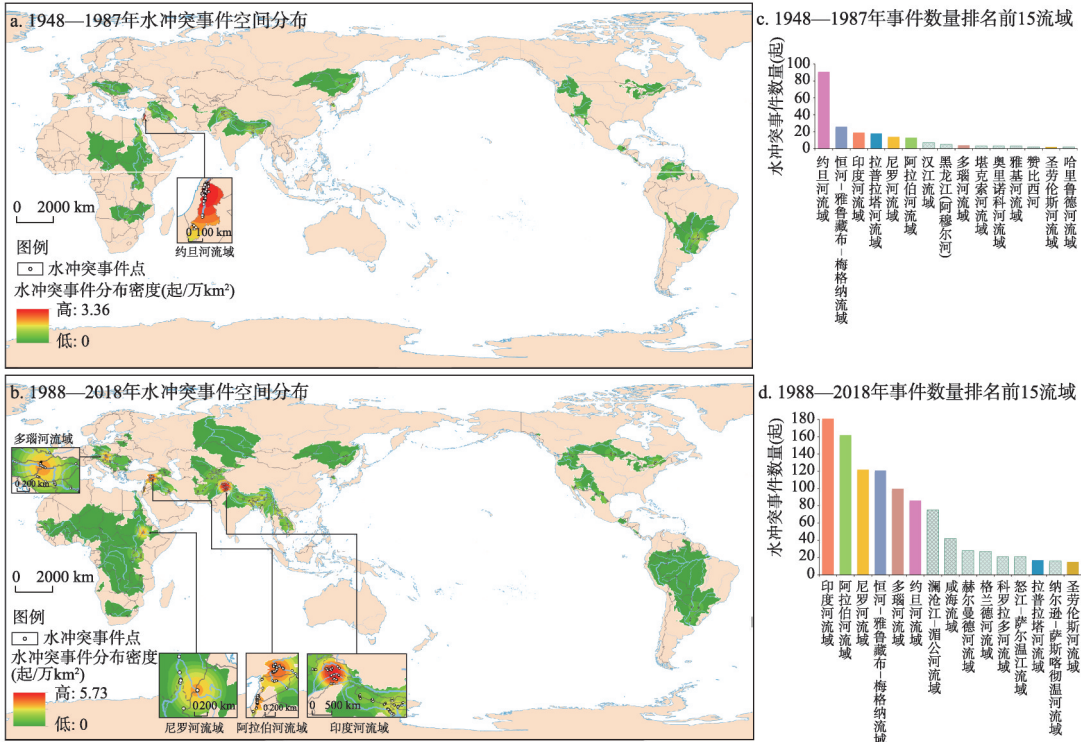
(2) 高一中型, 即高水资源压力—中等水冲突型流域。包括咸海流域、赫尔曼德河流域、格兰德河流域和科罗拉多河流域。大多地处沙漠或荒漠气候, 水资源匮乏, 对气候变化敏感, 但人口压力适中, 水冲突数量处于中等水平, 水冲突根源聚焦水资源利用和分配。如中亚五国对阿姆河与锡尔河灌溉水源的争夺和过度使用导致咸海的萎缩, 美国与墨西哥围绕科罗拉多河和格兰德河的水量分配纠纷^[40]等。

(3) 中—中型, 即中等水资源压力—中等水冲突型流域。主要是北美的圣劳伦斯河和纳尔逊—萨斯喀彻温河两个流域。该区域降水比较丰沛, 人口压力相对较小, 跨境水冲突主要是由水污染和环境保护、水利设施建设等问题引发。

(4) 低—高型, 即低水资源压力—高水冲突型流域。仅包括尼罗河流域, 该流域水冲突显著增加受水资源分布严重失衡和政治历史因素影响较大。就流域尺度来讲, 得益于上游白尼罗河和青尼罗河两大支流相对较好的气候降水条件, 整个尼罗河流域的水资源压力较低^[18]。但在国家尺度上, 流域内上下游国家间水资源压力差异极为悬殊, 上游“东非水塔”埃塞俄比亚和维多利亚湖大湖区周边国家的水资源丰富, 而下游国家埃及和苏丹气候干旱、水资源压力极高, 特别是埃及97%的地表水资源来自境外上游国家^[41]。此外, 由于历史原因(英国殖民时期将超过57%的尼罗河水量分配给埃及)^[41], 导致流域水资源的分布和使用权严重错配, 上游国家为了争取水权与埃及不断发生争端, 气候变化背景下河流量年际变化增大进一步加剧了紧张局势^[42], 水冲突事件显著增加, 埃塞俄比亚建设“复兴大坝”引发埃及强烈反应, 导致两国成为流域水冲突的核心。

(5) 低—中型, 即低水资源压力—中等水冲突型流域。包括多瑙河流域、澜沧江—湄公河流域、拉普拉塔河流域和怒江—萨尔温江流域。这些流域降水较丰, 人口压力不高, 跨境水冲突主要由水电开发和水电站建设(如多瑙河流域“加布奇科沃—大毛罗斯”大坝、湄公河流域“沙耶武里”和“栋沙宏”水电站和拉普拉塔河流域“伊泰普水电站”)、水污染和环境保护问题(如罗马尼亚金矿污染多瑙河事件)所致。

4.1.3 空间扩散趋势显著, 基本“锁定”于西亚、南亚和东非热点地区 1948—2018年全球发生跨境水冲突的流域数量和面积显著增加(图9), 以西亚为中心向南亚、中亚、东南亚、东南欧、东非等地区扩张, 但相对集中于西亚、南亚和东非等地区。① 跨境水冲突流域数量明显增加, 由第一阶段的26个流域增加到第二阶段的53个流域。新增水冲突流域以亚洲和非洲为主, 高度集中于亚洲和非洲欠发达地区, 围绕能源开发和水源调控产生的水冲突日趋普遍。② 两阶段部分流域水冲突事件持续发生, 高度锁定于西亚、南亚和东非等地区。1948—2018年全球61个发生跨境水冲突的国际流域有18个在2个阶段均有跨境水冲突事件发生, 水冲突事件数量持续上升, 且其集聚分布态势进一步强化(图9), 高度集中于西亚、南亚和东非等热点流域。



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1667号的标准地图制作,底图无修改。

图9 全球跨境水冲突事件的空间分布格局演变

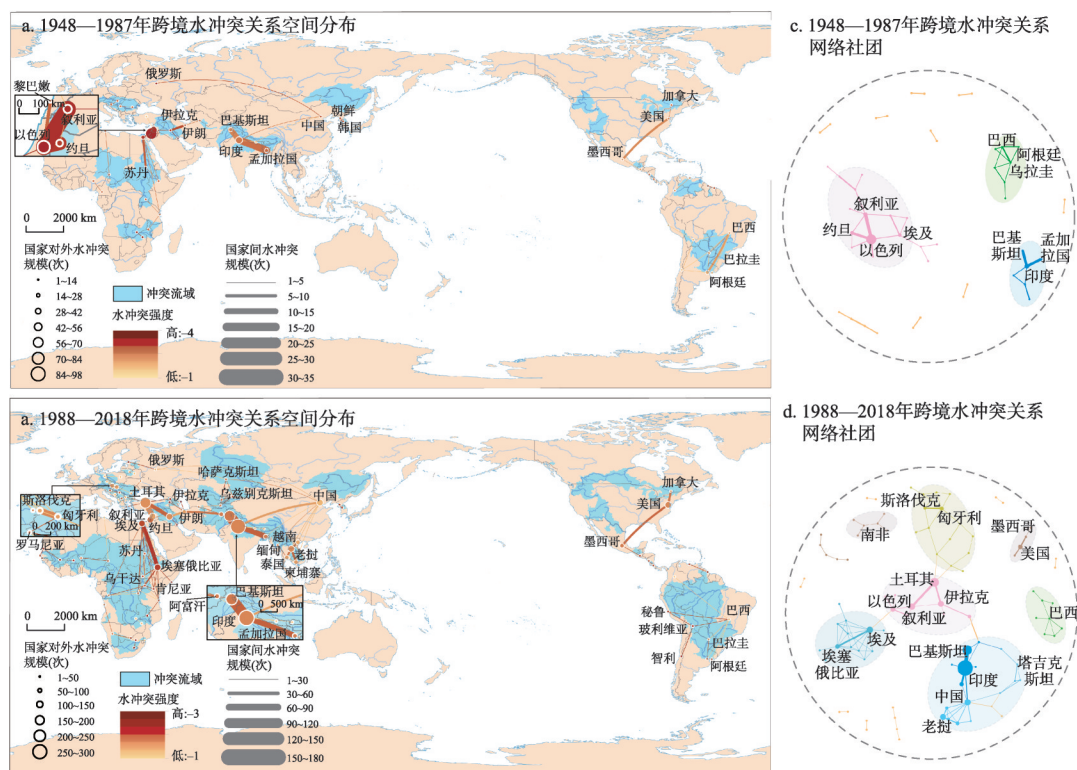
Fig. 9 Spatial evolution of the distribution patterns of global freshwater conflict events

4.1.4 由高度集聚于约旦河流域的单中心格局向多个热点流域涌现的多中心格局演变

1948—2018年全球跨境水冲突高度集中于少数核心区域，整体由第一阶段以西亚（约旦河流域）为核心的单中心格局向第二阶段以南亚、西亚、东非、西欧为核心的多中心格局演化。① 1948—1987年全球跨境水冲突事件高度集聚于约旦河流域，西亚成为全球跨境水冲突的极核。约旦河流域水冲突事件占全球40.27%，超出第2~6位流域冲突事件数量的总和，单中心格局十分突出（图9a）。② 1988—2018年南亚、西亚、东非和东南欧等地区的跨境水冲突事件密集爆发，成为新的增长极。该阶段，约旦河流域事件数量占全球比重骤降到7.41%，印度河流域（15.59%）、阿拉伯河流域（13.95%）、尼罗河流域（10.51%）、恒河—雅鲁藏布江（布拉马普特拉河）—梅格纳河流域（10.42%）、多瑙河流域（8.61%）等五大流域事件数量占比由第一阶段的33.63%上升到第二阶段的近65.55%，导致全球跨境水冲突呈现以南亚、西亚、东非和东南欧为核心的多中心格局（图9b）。

4.2 跨境水冲突关系的空间格局演变

4.2.1 跨境水冲突关系趋向复杂化和网络化,发育多个流域性网络社团 1948—2018年发生跨境水冲突的国家数量持续增加，水冲突关系日益复杂化和网络化，发育西亚、南亚、东南亚、东非、南美、东南欧等多个流域性网络社团（图10）。① 1948—2018年全球跨境水冲突关系渐趋网络化和复杂化。水冲突事件涉及国家由西亚和南亚向全球蔓延，国家数量由第一阶段的53个增长到第二阶段的98个，双边水冲突关系由48对增加到130对，复杂化和网络化趋势明显（图10），相关利益者不断增多，水冲突问题协调难度加大。② 水冲突关系网络结网化程度较低，形成多个流域性网络社团。跨境水冲突关



注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1667号的标准地图制作, 底图无修改。

图 10 全球跨境水冲突“规模—强度”关系的空间演变

Fig. 10 Spatial evolution of the "quantity-intensity" relations of global freshwater conflicts

系的网络发育程度较低, 以轴—辐式空间组织为主, 形成印度、以色列、土耳其、埃塞俄比亚等多个流域性中心。水冲突关系因地理邻近性的限制呈碎片化, 发育形成西亚、南亚、东南亚、东非、南美、东南欧等多个流域性网络社团。

4.2.2 跨境水冲突关系极化分布格局稳固, “路径锁定”效应下国家间易陷入水冲突怪圈

1948—2018 年尽管发生跨境水冲突的双边关系持续增多, 但以印度、巴基斯坦、以色列、土耳其等国家为核心的冲突关系始终占据支配地位 (图 10), 产生“路径锁定”效应。① 1948—2018 年间, 全球跨境水冲突关系高度集中于西亚、南亚、东非等地区国家之间, 极化趋势明显, 呈现出显著的“马太效应”, 且具有地方依赖性和空间粘滞性。第一阶段, 以色列—叙利亚、以色列—约旦、印度—孟加拉国、印度—巴基斯坦和以色列—黎巴嫩前五对双边水冲突关系的冲突次数占全球总量的 55.42%, 而关系对数量仅占 10%。第二阶段, 尽管前五对核心双边水冲突关系 (印度—巴基斯坦、土耳其—叙利亚、印度—孟加拉国、埃及—埃塞俄比亚和土耳其—伊拉克) 冲突次数占全球比重下降到了 34.83%, 但关系对数量比重不到 4%, 以色列、印度、伊拉克等国家始终处于核心地位。② 多重因素叠加作用下的极化型水冲突关系, 形成“路径锁定”效应。西亚、南亚、东非等热点国家间跨境水冲突历史恩怨由来已久, 彼此战略猜疑和不信任问题突出; 加上高水资源压力和高国内舆论压力的双重胁迫, 以及国内民族主义叠加影响, 导致这些国家外交妥协难度巨大, 进一步加剧地缘对抗态势, 引发后续连锁的跨境水冲突, 形成“路径锁定”效应^[9]。

4.2.3 跨境水冲突“规模—强度”关系向空间异配演化 比较双边水冲突“规模—强度”的对应关系发现,全球跨境水冲突规模与强度由较高的空间同配性向空间异配性演变,当前跨境水冲突次数较多国家往往具有较低的冲突强度(图10)。^① 第一阶段,跨境双边水冲突次数规模较大的国家(如以色列—叙利亚、以色列—约旦等),其平均冲突强度也较大,跨境水冲突规模与强度表现出明显的空间同配性。^② 第二阶段,高强度的跨境水冲突关系主要发生在冲突次数和规模较小的非洲国家之间,水冲突“规模—强度”关系某种程度上存在一定的空间错位。而印度—巴基斯坦、土耳其—叙利亚、印度—孟加拉国等水冲突较多的双边关系,其平均冲突强度显著下降,表明尽管近年来大部分国家水冲突规模有明显增长,但总体更趋于理性,避免矛盾激化。

5 结论与讨论

5.1 结论

基于数据挖掘和时空图示化,本文对全球跨境水冲突事件—关系的时空格局进行了定量刻画,研究发现:

(1) 国际河流流域跨境水冲突是一个复杂巨系统,其时序演化具有趋势性、突变性和波动性等多维特征,是自然与人文地理环境耦合作用的结果。1948—2018年全球跨境水冲突在非单调波动增长的总体趋势下,呈现明显的阶段性突变规律,形成稳定微降(1948—1987年)和快速波动上升(1988—2018年)2个阶段。南亚、西亚和东非等热点地区成为全球跨境水冲突的主导力量,而东南欧、东南亚、中亚等区域则强化了水冲突的阶段性突变。

(2) 国际河流跨境水冲突以水文干预和资源权属型的低强度冲突事件为主。重大水利工程建设等水文干预措施造成的冲突和围绕水量分配、涉水领土与边界等资源权属的争端是全球跨境水冲突的矛盾焦点所在,尤其是大坝等水利工程建设引发的冲突显著增加。但从冲突强度来看,口头对抗和外交纠纷等低强度事件仍是跨境水冲突的常态化形式。

(3) 气候水文和社会经济发展等自然—人文因素耦合作用下的水资源供需关系和水资源压力,决定了全球跨境水冲突“北多南少、东多西少、相对集中”的总体不均衡分布规律,形成并锁定了以西亚、南亚和东非为热点的水冲突密集带。全球跨境水冲突事件高度集中于20°N~40°N的气候干旱带,尤其是南亚、中亚、西亚和东非等地区成为全球跨境水冲突的主要策源地。自20世纪80年代末以来,全球跨境水冲突的空间扩散趋势显著,由高度集聚于约旦河流域的单中心格局向多个热点流域涌现的多中心格局演变。

(4) 在全球气候变化和社会经济高速发展驱动下,国家间跨境水冲突关系趋于普遍化、复杂化和网络化,跨境水冲突双边关系的“马太效应”和极化分布持续显著,热点国家间的水冲突关系形成“路径锁定”。1948—2018年流域内国家间发生水冲突的情况愈加普遍,水冲突关系日益复杂化和网络化,发育西亚、南亚、东南亚、东非、南美、东南欧等多个流域性网络社团;但跨境水冲突关系的极化分布格局十分稳固,以印度、巴基斯坦、以色列、土耳其等国家为核心的少数冲突关系始终占据支配地位,“马太效应”明显,在水资源压力、国内舆论和民族主义、地缘政治等多重因素复杂影响下,产生“路径锁定”效应。

5.2 讨论

受数据来源和篇幅所限,本文在以下几个方面,未来仍有待进一步改进和完善:^① 数据精度。基于新闻报道的长时间序列事件类数据,存在受媒体通讯技术发展影响(如

互联网等技术进步)的可能性,未来有待进一步改进研究方法,识别和剥离媒体技术发展带来的潜在偏差。② 发生机制研究。跨境水冲突是自然与人文地理环境因素耦合作用的结果,其背后的发生机制目前尚无共识性定论,有待从不同尺度和视角开展定量和定性集成研究。③ 跨境水合作研究。跨境水合作是国际水政治的重要组成,其时空演化规律及其与跨境水冲突的耦合机制有待深入探讨。

致谢:感谢匿名审稿专家们认真细致的专业审查及提出的宝贵修改意见,使本文得以极大改进和提升。感谢王帮娟同学在数据处理过程中给予的帮助。

参考文献(References)

- [1] Best J. Anthropogenic stresses on the world's big rivers. *Nature Geoscience*, 2019, 12(1): 7-21.
- [2] Grill G, Lehner B, Thieme M, et al. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 2019, 569(7755): 215-221.
- [3] Brochmann M, Gleditsch N P. Shared rivers and conflict: A reconsideration. *Political Geography*, 2012, 31(8): 519-527.
- [4] Li Xinlei, Hua Ran. Security order construction in the water security complex of international basin: Based on the water-event analysis of Lancang-Mekong River. *Social Science*, 2019, 3: 17-35. [李昕蕾, 华冉. 国际流域水安全复合体中的安全秩序建构: 基于澜沧江—湄公河流域水冲突—合作事件的分析. *社会科学*, 2019, 3: 17-35.]
- [5] Toset H P W, Gleditsch N P, Hegre H. Shared rivers and interstate conflict. *Political Geography*, 2000, 19(8): 971-996.
- [6] McCracken M, Wolf A T. Updating the register of international river basins of the world. *International Journal of Water Resources Development*, 2019, 35(5): 732-782.
- [7] Dinar S, Katz D, De Stefano L, et al. Climate change, conflict, and cooperation: Global analysis of the effectiveness of international river treaties in addressing water variability. *Political Geography*, 2015, 45: 55-66.
- [8] Immerzeel W W, Lutz A F, Andrade M, et al. Importance and vulnerability of the world's water towers. *Nature*, 2020, 577(7790): 364-369.
- [9] Du Debin, Liu Chengliang, Hu Zhiding, et al. The impact of "Asian Water Tower" change on the geopolitical environment around China. *World Regional Studies*, 2020, 29(2): 223-231. [杜德斌, 刘承良, 胡志丁, 等. “亚洲水塔”变化对中国周边地缘政治环境的影响. *世界地理研究*, 2020, 29(2): 223-231.]
- [10] World Economic Forum. The Global Risks Report 2020. 15th ed. Davos, Switzerland, 2020.
- [11] Bernauer T, Böhmelt T. International conflict and cooperation over freshwater resources. *Nature Sustainability*, 2020, 3(5): 350-356.
- [12] He Daming, Liu Changming, Feng Yan, et al. Progress and perspective of international river researches in China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(9): 1284-1294. [何大明, 刘昌明, 冯彦, 等. 中国国际河流研究进展及展望. *地理学报*, 2014, 69(9): 1284-1294.]
- [13] Yu Zihao, Du Debin, Liu Chengliang, et al. A literature review on water conflict. *World Regional Studies*, 2020, 29(5): 893-904. [喻子豪, 杜德斌, 刘承良, 等. 全球水冲突问题研究进展与热点的可视化分析. *世界地理研究*, 2020, 29(5): 893-904.]
- [14] Yoffe S, Fiske G, Giordano M, et al. Geography of international water conflict and cooperation: Data sets and applications. *Water Resources Research*, 2004, 40: W05S04. DOI:10.1029/2003WR002530.
- [15] De Stefano L, Edwards P, De Silva L, et al. Tracking cooperation and conflict in international basins: Historic and recent trends. *Water Policy*, 2010, 12: 871-884.
- [16] Zhou Qiuwen, Yang Shengtian, Cai Mingyong, et al. Security analysis of international river based on event data of the Yarlungzangbo-Brahmaputra River. *World Regional Studies*, 2013, 22(4): 127-133. [周秋文, 杨胜天, 蔡明勇, 等. 基于事件数据的雅鲁藏布江—布拉马普特拉河国际河流安全分析. *世界地理研究*, 2013, 22(4): 127-133.]
- [17] Mach K J, Kraan C M, Adger W N, et al. Climate as a risk factor for armed conflict. *Nature*, 2019, 571(7764): 193-197.
- [18] UNEP-DHI. Transboundary river basins: Status and trends. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2016.
- [19] Hofste R W, Kuzma S, Walker S, et al. Aqueduct 3.0: Updated decision-relevant global water risk indicators. Technical Note. Washington DC: World Resources Institute, 2019. DOI: 10.46830/writn.18.00146.
- [20] Zeitoun M, Warner J. Hydro-hegemony: A framework for analysis of trans-boundary water conflicts. *Water Policy*, 2006, 8: 435-460.
- [21] Hirsch P. The shifting regional geopolitics of Mekong dams. *Political Geography*, 2016, 51: 63-74.

- [22] Wang Zhijian, He Qier. On hydropolitical complex of international rivers. *Journal of Economics of Water Resources*, 2013, 31(4): 36-39, 74-75. [王志坚, 何其二. 简论国际河流水政治复合体. *水利经济*, 2013, 31(4): 36-39, 74-75.]
- [23] Feng Yan, He Daming, Wang Wenling. Key indicators and the thresholds of trans-boundary water allocation based on river health and international treaties. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(1): 121-130. [冯彦, 何大明, 王文玲. 基于河流健康及国际法的跨境水分分配关键指标及阈值. *地理学报*, 2015, 70(1): 121-130.]
- [24] He Daming, Gou Junhua, Kung Hsiang-te. Competitive utilization, conflicts and solutions of water resources in international rivers (lakes). *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(Suppl.1): 38-46. [何大明, 苟俊华, Kung Hsiang-te. 国际河流(湖泊)水资源的竞争利用、冲突和求解. *地理学报*, 1999, 54(Suppl.1): 38-46.]
- [25] He Daming, Kung Hsiang-te, Gou Junhua. Study on allocation models of water resources in international rivers. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(Suppl.1): 47-54. [何大明, Kung Hsiang-te, 苟俊华. 国际河流水资源分配模式研究. *地理学报*, 1999, 54(Suppl.1): 47-54.]
- [26] Li Zhifei. Water security and the implementation of "One Belt One Road". *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2017, 17(3): 45-53. [李志斐. 水资源安全与“一带一路”. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2017, 17(3): 45-53.]
- [27] Yan Xuetong, Zhou Fangyin. A quantitative measurement of international bi-lateral political relations. *Social Sciences in China*, 2004(6): 90-103, 206. [阎学通, 周方银. 国家双边关系的定量衡量. *中国社会科学*, 2004(6): 90-103, 206.]
- [28] Chen Xiaoqiang, Yuan Lihua, Shen Shi, et al. Analysis of the geo-relationships between China and its neighboring countries. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(8): 1534-1547. [陈小强, 袁丽华, 沈石, 等. 中国及其周边国家间地缘关系解析. *地理学报*, 2019, 74(8): 1534-1547.]
- [29] Petersen-Perlman J D, Veilleux J C, Wolf A T. International water conflict and cooperation: Challenges and opportunities. *Water International*, 2017, 42(2): 105-120.
- [30] Wei Fengying. *Modern Climate Statistical Diagnosis and Prediction Techniques*. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press, 2007. [魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 2版. 北京: 气象出版社, 2007.]
- [31] Liu Jianyu, Zhang Qiang, Gu Xihui. Evaluation of ecological flow with considerations of hydrological alterations in the Poyang Lake basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(16): 5477-5485. [刘剑宇, 张强, 顾西辉. 水文变异条件下鄱阳湖流域的生态流量. *生态学报*, 2015, 35(16): 5477-5485.]
- [32] Bao Weimin, Shen Dandan, Ni Peng, et al. Proposition and certification of moving mean difference method for detecting abrupt change points. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(11): 2075-2085. [包为民, 沈丹丹, 倪鹏, 等. 滑动平均差检测法的提出及验证. *地理学报*, 2018, 73(11): 2075-2085.]
- [33] Chen Yanguang. *Mathematical Methods for Geography*. Beijing: Science Press, 2011. [陈彦光. 地理数学方法: 基础和应用. 北京: 科学出版社, 2011.]
- [34] Cao Zhi, Liu Yansui, Li Yurui, et al. Spatial pattern and its influencing factors of specialized villages and towns in China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(8): 1647-1666. [曹智, 刘彦随, 李裕瑞, 等. 中国专业村镇空间格局及其影响因素. *地理学报*, 2020, 75(8): 1647-1666.]
- [35] Wolf A T, Yoffe S B, Giordano M. International waters: Identifying basins at risk. *Water Policy*, 2003, 5: 29-60.
- [36] Vörösmarty C J, Green P, Salisbury J, et al. Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 2000, 289(5477): 284-288.
- [37] Tao Lei. On definition of water right of international rivers. *Journal of Economics of Water Resources*, 2010, 28(6): 27-29, 32, 70. [陶蕾. 国际河流水权概念辨析. *水利经济*, 2010, 28(6): 27-29, 32, 70.]
- [38] Bernauer T, Siegfried T. Climate change and international water conflict in Central Asia. *Journal of Peace Research*, 2012, 49(1): 227-239.
- [39] Wiltshire A, Gornall J, Booth B, et al. The importance of population, climate change and CO₂ plant physiological forcing in determining future global water stress. *Global Environmental Change*, 2013, 23(5): 1083-1097.
- [40] Barnett T P, Pierce D W. Sustainable water deliveries from the Colorado River in a changing climate. *PNAS*, 2009, 106(18): 7334-7338.
- [41] Gebrehiwet K. Hydro-hegemony, an antiquated notion, in the contemporary Nile River basin: The rise of water utilization in up-stream riparian countries. *Heliyon*, 2020, 6(9): e04877. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04877.
- [42] Siam M S, Eltahir E A B. Climate change enhances interannual variability of the Nile River flow. *Nature Climate Change*, 2017, 7(5): 350-354.

Spatio-temporal dynamics of international freshwater conflict events and relations from 1948 to 2018

WANG Tao^{1,2}, LIU Chengliang^{1,2,3}, DU Debin^{1,2,3}

(1. Center for World Geography and Geo-Strategic Studies, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. School of Urban and Regional Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 3. Institute for Global Innovation and Development, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: With global climate change and the rapid development of human society and economy, the contradiction between water supply and demand has become increasingly prominent in recent years, and the freshwater conflicts in international river basins have intensified, which has aroused widespread concern in academia. Here we analyzed the spatio-temporal dynamics of global freshwater conflicts (GFCs) over the last 70 years from the "event-relations" perspective, and establish a spatio-temporal database of GFCs from 1948 to 2018 based on data mining method and spatial analysis. The results show that: (1) The evolution of GFCs is a non-monotonic dynamic process with multi-dimensional characteristics of trend, mutation and volatility. The GFCs showed a general trend of fluctuating growth, with an obvious sudden change around 1987. (2) The GFCs are mainly composed of low-intensity conflicts, and the hydrological intervention and contention for resource ownership are the focus of conflicts. The number of conflicts caused by the construction of dams and other water conservancy projects increases significantly. South Asia, West Asia and East Africa are the leading forces driving the evolution of GFCs. (3) The pattern of GFCs has changed from single-center to multi-center, and there is a clear trend of spatial spread. However, the overall distribution pattern with more conflicts in the northern and eastern hemispheres and the pattern with less conflicts in the southern and western hemispheres is relatively stable. Along 30-degree north latitude, a dense zone of freshwater conflicts covering high water stress basins in South Asia, Central Asia, West Asia, and East Africa has formed. (4) International freshwater conflict has gradually become more ubiquitous, complicated and networked, and the basin communities of freshwater conflict network have increased significantly. But the "Matthew effect" of freshwater conflicts among countries are obvious, and its polarized distribution pattern is relatively stable. A "path-locking" effect has been formed among the major conflictive countries. There is a certain spatial mismatch between the quantity relationship and intensity relationship of GFCs.

Keywords: transboundary freshwater conflicts; event-relations; spatio-temporal dynamics; international river basins; change point