

全球跨界水合作的时空结构:领域变迁与尺度分异

翟晨阳^{1,2,3}, 杜德斌^{1,2,3}, 侯纯光^{1,2,3}, 桂钦昌^{1,2}, 段德忠^{1,2}

(1. 华东师范大学全球创新与发展研究院, 上海 200062; 2. 华东师范大学城市与区域科学学院, 上海 200062; 3. 华东师范大学国家教育宏观政策研究院, 上海 200062)

摘要: 在当前全球性淡水危机加剧、水冲突频发的背景下, 跨界水合作成为化解水危机, 实现国家间和平可持续发展的关键。利用跨界水条约数据, 基于网络视角, 从全球尺度、区域尺度与国家尺度对跨界水合作的时空结构进行研究。结论如下: (1) 1820—2017年全球跨界水合作持续增多, 覆盖范围明显扩大, 合作领域从边界与水量向联合管理与水质保护转变, 合作目的由以规管性为主导向规管性、程序性和原生性并进转变。多边合作与跨界地下水合作是当前全球跨界水合作的发展趋势。(2) 同一时期五大洲跨界水合作发展进程与侧重领域存在较大差异; 尽管全球跨界水合作网络涵盖的流域与国家日益增多, 但其流域覆盖率仍较低。(3) 1820—2017年全球跨界水合作网络大致经历了“网络形成—网络扩张—网络分化”三个阶段; 欧洲国家间的跨界水合作联系相对较强, 亚洲国家在跨界水合作网络中也愈发活跃, 区域性与全球性并存是当前跨界水合作网络的重要特征。伴随着亚洲国家日益增长的跨界水合作需求, 中国应充分发挥负责任的发展中大国的作用, 加强与周边国家的跨界水合作, 不断提升自身在全球跨界水资源合作领域的地位。

关键词: 跨界水合作; 国际淡水条约; 领域变迁; 尺度分异; 网络分析

人口增长、经济发展以及消费方式的转变使得全球对水资源的需求正以每年1%的速度增长。淡水资源日益成为国家发展的重要战略资源^[1,2], 围绕水资源争夺的全球水冲突频发^[3,4], 全球和平与稳定受到严重威胁^[5]。实际上, 1972年联合国第一次环境与发展大会上就已经预警, 水危机将成为继石油危机后又一重大危机^[6]。另外, 《2015年全球风险报告》(世界经济论坛) 和《2019年兴都库什—喜马拉雅评估报告》皆认为, 水危机已成为阻碍全球发展与稳定的最重要的因素之一, 全球暖化背景下“亚洲水塔”地区冰川消融引发的自然灾害与水资源匮乏也将加剧亚洲地区的水冲突^[7]。在此背景下, 通过水资源的跨界合作(跨界水合作) 来实现各国利益, 促进和平发展, 成为当前国际社会的普遍共识^[8]。

跨界水合作是国家(或地区)间基于共同的利益目标, 围绕水资源管理、水资源分配、水设施建设和水污染治理等方面建立相关规范性、约束性和有效性的制度, 以实现国家间和平发展的合作行为。实践也证明, 跨界水合作是解决水冲突的最有效手段, 是国家间建立友好互信的重要途径。全球共有310条跨界河流(流域), 跨界水资源占全球可用淡水资源的60%以上, 影响着150多个国家和90%以上人口的可持续发展^[8,9], 其水道连通

收稿日期: 2020-01-08; 修订日期: 2020-03-03

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA20100311)

作者简介: 翟晨阳(1992-), 女, 陕西宝鸡人, 博士研究生, 主要从事世界经济地理与地缘政治研究。

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

通讯作者: 杜德斌(1963-), 男, 湖北宜昌人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事世界地理与地缘政治研究。E-mail: dbdu@re.ecnu.edu.cn

性、流动性与生态系统完整性等特征将世界各国尤其是域内国家紧密联系在一起, 形成复杂的地缘关系与利益有机体^[10], 对域内及其周边国家的生存发展和全球地缘政治格局的变化都有着重要影响。因此, 基于多尺度视角探讨跨界水合作特征的演变, 探索未来跨界水合作发展趋势, 进而推动全球跨界水合作更好地发展也成为当前学界研究的重点。

20世纪八九十年代, 随着欧洲一体化进程的加速及其在莱茵河和多瑙河流域实现较为成功的跨界水合作, 与跨界水合作有关的研究日益增多^[11]。已有研究主要集中在以下几个方面: (1) 对跨界水合作普遍性与重要性的论证。一些学者通过实证研究指出, 尽管水冲突问题日益加剧, 但从跨界河流的实际情况来看, 合作仍占主导地位^[12,13]; 还有一些学者在论证跨界水合作重要性的基础上建构了支持跨界水合作的理论框架^[14-16]。(2) 探讨跨界水合作的影响因素。不同学者对各自认为最为重要的影响因素进行了讨论, 但总体可以归纳为流域特征^[17] (如水资源匮乏程度、地缘位置等)、国内因素^[18] (如利益诉求、政治环境等) 和国际因素^[19] (流域各方相对实力、流域治理机构的权威性) 等三大类。(3) 基于特定流域的跨界水合作问题分析与经验总结。由于不同跨界河流 (流域) 具有不同的自然特征与社会文化环境, 因此不少研究对特定流域的跨界水合作现状与存在问题进行分析, 并总结相关经验与不足^[20-25]。(4) 跨界水合作的演变, 如对跨界水合作研究范式^[26]、跨界水合作内容^[27-29]、制度框架^[30]和原则^[31]等的演变进行研究。(5) 跨界水合作与水外交, 从国际关系视角探讨跨界水合作中的国家间地缘政治关系^[32,33]。

通过文献梳理可以看出, 跨界水合作对缓和区域地缘政治关系, 加强地缘联系具有重要意义。在制度主义框架下, 以水条约为基础的合作机制研究是当前跨界水合作研究的重点^[26]。但已有研究也存在如下不足: (1) 较多研究从国际关系和国际法等视角入手, 从地理学视角探讨跨界水合作的研究相对较少; (2) 以往研究多以典型案例的定性分析为主, 缺乏全球观与多尺度性, 鲜有从不同尺度定量探讨全球跨界水合作时空结构的演变; (3) 多数研究更关注跨界水合作的内容, 较少注意到合作机制建立背后所反映的国家间关系网络。跨界水合作的本质是国家间的利益关系互动, 跨界水条约将具有共同利益诉求的国家联系起来, 逐步形成跨界水合作网络; 伴随着网络形成、发展与演变, 网络中的国家在不同的历史时期也表现出不同的节点特征与关系特征, 反映出各国的水政治取向, 并最终塑造了当前全球跨界水合作网络的结构形态, 继而影响着未来跨界水合作的产生与发展。

为此, 本文以1820—2017年跨界水条约数据为基础, 从全球尺度、区域尺度以及国家尺度三个层面分别对跨界水合作的领域变迁、空间差异以及跨界水合作网络的结构演变与节点特征等内容进行研究。一方面丰富了当前跨界水合作机制的研究内容, 另一方面, 以期刻画全球跨界水合作进程, 推动中国与周边国家更好地实现跨界水合作提供相关参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 网络视域下的全球跨界水合作特征测度

国家间签订水条约行为具有明显的节点和关系特征, 不同国家通过水条约而被纳入不同规模、不同领域、不同尺度下的水合作网络中。基于复杂网络节点邻接矩阵建构方法, 以国家为节点, 以国家间的水条约关系为边, 以国家间的水条约数量为边权重, 构建全球跨界水合作加权网络。全球跨界水合作网络的建构, 使得本文可借助系统网络统计特征量来测度全球跨界水合作网络的结构特征及其演化。

(1) 整体网络密度

整体网络密度 (D_g) 用以反映全球跨界水合作网络中所有缔约国间的联系程度, 网络密度越大则表示网络中国家之间的联系越紧密。全球跨界水合作网络属于无向网络, 其整体网络密度计算公式为^[34]:

$$D_g = 2m/[n(n-1)] \quad (1)$$

式中: m 为网络中包含的实际关系数目 (条); n 为网络中节点数目 (个)。

(2) 度中心性与加权重度中心性

度中心性 (C_d) 指与该节点直接相连的其他节点的个数, 用来表征节点的连接程度; 加权重度中心性 (C_s) 指与该节点相连的边的权重相加。在全球跨界水合作网络中, 一个国家的度中心性指与该国签署水条约的国家数目, 反映了国家在跨界水合作中合作对象的广度; 加权重度中心性则反映了国家在跨界水合作中的活跃程度, 其公式如下^[34]:

$$C_d(i) = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (2)$$

$$\text{标准化公式为: } C_d(i) = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n-1} \quad (3)$$

$$C_s(i) = \sum_{j \in N_i} w_{ij} \quad (4)$$

式中: a_{ij} 表示跨界水合作网络邻接矩阵, 当两国间共同签署跨界水条约时赋值为 1, 反之则为 0; w_{ij} 表示国家 i 与国家 j 之间共同参与的条约数目 (条); N_i 表示与国家 i 共同签署水条约的国家的集合。

1.2 数据获取

跨界水条约作为规定双边 (或多边) 关系中具体权利与义务的基本法律手段, 是实现国际合作不可缺少的工具^[35], 也是跨界水合作机制建设的最基本形式之一。由俄勒冈州立大学教授亚伦·沃尔夫团队建立的《国际淡水条约数据库》(International Freshwater Treaties Database) 详细记录了水条约的名称、签署时间、涵盖流域与缔约国, 并识别了条约所涉及或关注的主要问题领域等信息, 不仅被联合国下属机构和世界银行等机构广泛采用^[36], 也是当前跨界水冲突与合作研究的重要数据支持。因此, 本文以该数据库为主要数据来源, 但由于该数据库仅更新到 2007 年, 故根据其条约收集标准, 结合俄勒冈大学的《世界环境协定》(International Environmental Agreements) 数据库与联合国粮食及农业组织的 FAOLEX 数据库对 2007—2017 年的条约数据进行补充^①。选取缔约国间初次签订的条约 (Primary Agreement) 及其替换 (Replacement of a Primary Agreement)、修订 (Amendment to a Primary Agreement) 及增补 (Protocol to a Primary Agreement) 条约来刻画全球跨界水合作进程及国家间的跨界水合作关系, 剔除重复值与缺失缔约国等信息的条约后, 共得到 484 条双边或多边条约 (图 1)。考虑到不同历史时期国家单元、国家边界及国际局势等的巨大差异, 采用重大历史事件划分法, 将研究时段根据第一次世界大战结束 (1918 年)、第二次世界大战结束 (1945 年) 和苏联解体 (1991 年) 划分为 1820—1918 年、1919—1945 年、1946—1991 年以及 1992—2017 年四个阶段, 以便更

① 依据《国际淡水条约数据库》相关说明对条约进行筛选, 为确保数据的一致性, 在《世界环境协定》数据库与粮农组织数据库中对俄勒冈淡水条约数据库中 2000—2007 年剔除缺失值后的 25 条约进行检索, 得到全部 25 条检索结果, 即采用上述两个数据库作为补充数据的来源, 保证了补充数据的完整性。

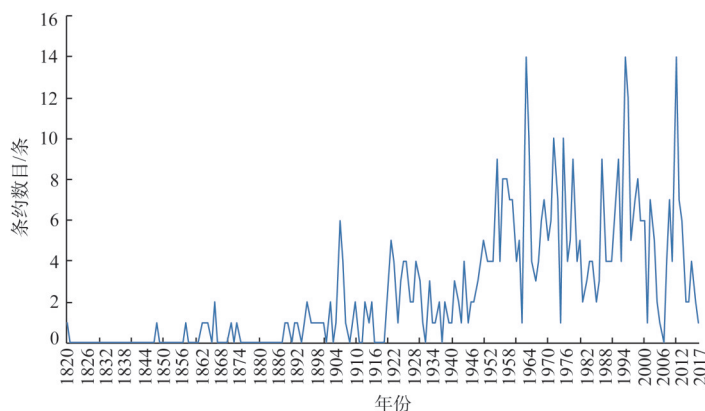


图1 1820—2017年全球跨界水条约数目统计

Fig. 1 Statistics on international transboundary water agreements from 1820 to 2017

准确地探究不同时期全球跨界水合作的时空结构特征。可以看出, 1820—2017年, 全球跨界水合作数量持续增加, 1820—1918年签订的跨界水条约仅45条, 到1992—2017年, 签订条约数增长至140条。

2 结果分析

2.1 全球跨界水合作的领域变迁

(1) 全球跨界水合作参与国家较多, 覆盖流域较少, 合作领域趋向水质与联合管理

1820—2017年, 全球跨界水合作呈现出参与国家明显增多, 覆盖流域仍较少, 合作领域由边界和水量问题向联合管理和水质问题转变的演化特征, 多边合作与跨界地下水合作是全球跨界水合作的发展趋势。

自19世纪以来, 全球有超过70%的国家或地区签订过跨界水条约, 跨界水合作密度不断增大, 涉及流域约90个, 尽管条约参与国与覆盖的流域数目在逐渐增长, 但与全球跨界河流总数相比, 流域覆盖率仍较低(表1)。全球跨界水合作中双边条约占比从1820—1918年的98.78%持续降低至1992—2017年的59.26%, 但其仍占主导地位; 全球性或涉及多流域的条约也从无到有, 增长至1992—2017年的8条。从合作领域来看, 1820—1918年签订的跨界水条约中, 超过60%的条约与边界及水量问题相关, 在1992—2017年签订的条约中, 联合管理(40.00%)与水质(33.57%)是条约关注的重点, 其次是水量(18.57%)和技术合作与援助(12.86%), 关注边界与领土问题的条约数不足1%(图2)。

由图2可以看出, 自19世纪以来, 跨界水资源问题日益受到关注, 以合作的方式处理国际跨界水资源问题是发展的主流, 尤其是二战结束后, 伴随着区域间国际合作的不断加强, 全球跨界水合作快速发展。全球跨界水合作领域变迁的过程也是各国经济社会不断发展、对人与自然关系认识不断深入的过程, 早期的跨界水合作伴随着国家领土主权的斗争多与边界问题相关。此后, 由于各国社会经济发展需要, 全球跨界水合作开始重点关注水电开发与基础设施建设等领域; 冷战结束后, 世界各国进入相对稳定的快速发展阶段, 各国所面临的淡水资源短缺、流域生态恶化与水冲突加剧等问题日益突出, 而各国对水利利益共享与流域综合管理理念认识的不断深入, 水质和联合管理成为当前全球跨界水合作的重点。20世纪八九十年代后, 由于对跨界地下水重视程度的提升和

表 1 1820—2017 年全球跨界水合作统计

Table 1 Statistics on international transboundary water cooperation from 1820 to 2017

指标	1820—1918 年 (99 年)	1919—1945 年 (27 年)	1946—1991 年 (46 年)	1992—2017 年 (26 年)
签订条约数/条	45	58	241	140
跨界水合作密度	0.19	0.88	2.14	2.20
双边条约占比/%	98.78	91.38	79.25	59.29
涉及缔约国数目/个	27	55	117	130
涉及流域数/个	23	30	59	44
跨界地下水条约数/条	1	0	0	5
全球性或多流域条约数/条	0	1	5	10

注：跨界水合作密度为某一时期签订条约数占总条约数的比例除以该时期时间跨度占总时间跨度的比例。

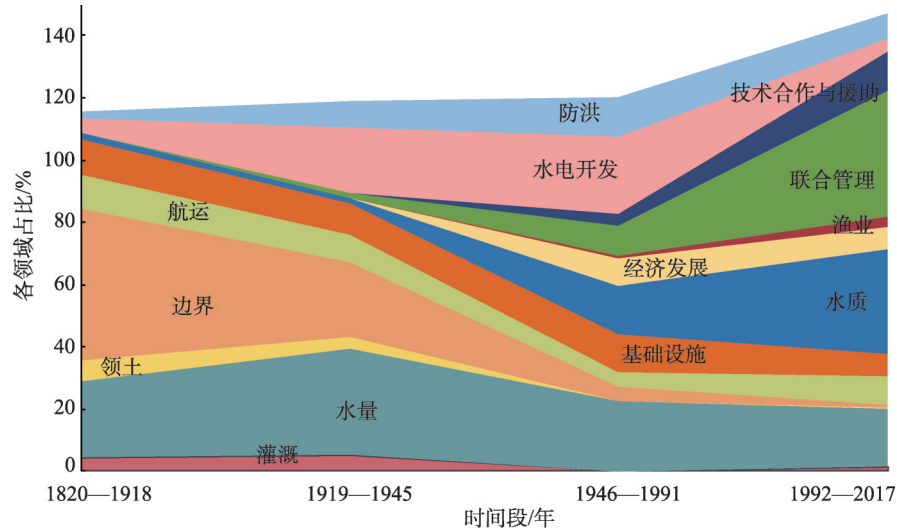


图2 1820—2017 年全球跨界水条约主要涉及领域^②

Fig. 2 Issue area of international transboundary water agreements from 1820 to 2017

勘探、评价技术的提高，有关跨界地下水的条约数明显增加，跨界地下水合作也成为跨界水合作新的关注点。

(2) 全球跨界水合作的目的由以规管性为主导向规管性、程序性与原生性并进转变

规范各方行为始终是跨界水条约签订的主要目的，制定跨界水合作所依据的程序，建立跨界水资源管理合作的新原则或新规范是全球跨界水合作的发展趋势。根据TFDD项目的划分标准，跨界水条约按照其目的可以分为规管性、程序性、纲领性和原生性四类^③。1918年以前，规管性条约占条约总数的61.54%，明显高于其他三类，原生性条约占比最少（5.13%）；1992—2017年规管性（36.80%）、程序性（32.80%）与原生性（30.40%）条约占比大致相等，纲领性条约比例相对较低（16.80%）（图3）。从时间尺度来看，规管性条约始终相对较多，程序性与原生性条约在冷战结束后明显增多，建立新的跨界水资源管理原则与规范，构建跨界水资源合作保障机构与制度是当前全球跨界水合作的重要趋势。

② 由于条约具有综合性，部分条约涉及多个领域，故占比之和可能大于1。

2.2 全球跨界水合作的尺度分异

2.2.1 洲际尺度下全球跨界水合作空间差异特征

全球310条跨界河流分布在除南极洲与大洋洲之外的其他五大洲（即亚洲、欧洲、非洲、南美洲和北美洲），据1820—2017年五大洲跨界水合作变化情况可以看出：

（1）欧洲在跨界水合作领域始终最为活跃，南美洲的跨界水合作相对较少；北美洲的跨界水合作在1919—1945年较为频繁，二战后，相较于其他大洲，其签署的条约数目明显减少；非洲的跨界水合作经历了一个先减少后增加的过程，早期受英法等殖民影响，非洲签署的跨界水条约较多，1919—1992年间有所下降，冷战结束后，随着非洲国家尤其是尼罗河流域的国家对跨界水合作重视程度的提高，其在跨界水资源领域的合作又逐渐增加；亚洲的跨界水合作自二战结束后持续快速增长（图4）。五大洲跨界水合作的流域覆盖率均较低，非洲、北美洲、欧洲、亚洲依次是四个时期内跨界水条约覆盖率最高的区域（图5），也体现出全球跨界水合作重心的洲际间转移。

（2）从条约涉及领域来看，五大洲的跨界水合作各有侧重，但发展趋势相同。1820—1918年，非洲与北美洲跨界水条约主要围绕边界问题展开，欧洲国家的跨界水条约则主要涉及边界、水量、基础设施等多个领域，亚洲与南美洲这一时期条约数目较少，涉及领域并无明显特征；1919—1945年，水量问题是非洲与北美洲跨界水合作关注的重点，欧洲跨界水合作更为关注基础设施领域，南美洲较为关注边界与水量问题，亚洲的跨界水合作仍较少且无明显特征；1946—1991年是全球跨界水合作较为频繁的时期，水电与水量是这一时期五大洲跨界水合作共同的关注重点，此外，非洲的跨界水合作还主要围绕流域联合管理和经济发展展开，北美洲则对水质问题较为关注；1992—2017年，水质与流域联合管理是这一时期五大洲跨界水合作关注的重点，此外，水量也是这一时期亚洲与非洲国家跨界水合作较为关注的问题（图6）。可以看出，跨界水合作重点向联合管理与水质转变是五大洲跨界水合作的共同发展趋势，除此之外，欧洲与北美洲国家对跨界河流的开发利用程度普

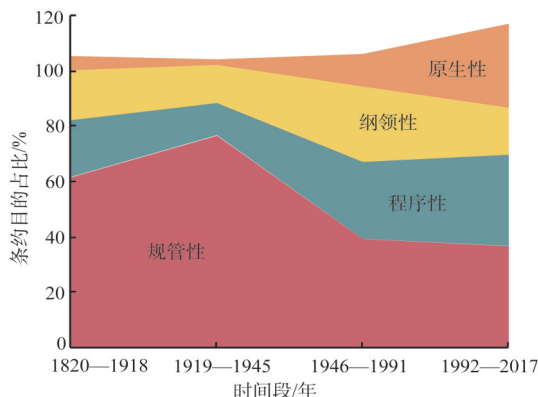


图3 1820—2017年全球跨界水条约主要目的统计^④

Fig. 3 Purpose of international transboundary water agreements from 1820 to 2017

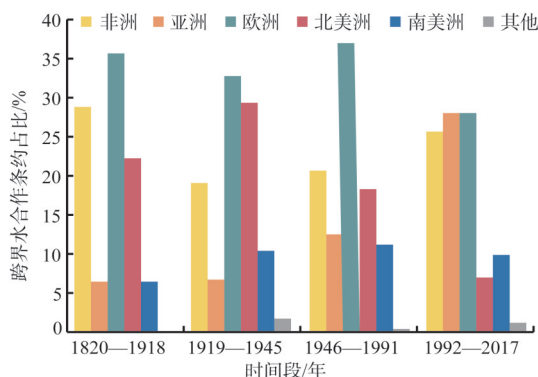


图4 1820—2017年五大洲跨界水合作条约占比

Fig. 4 Percentage of transboundary water cooperation agreements on five continents from 1820 to 2017

③ 规管性 (Regulatory)：制定规则来禁止或规定行为；程序性 (Procedural)：根据决策制定规程；纲领性 (Programmatic)：整合资源以实现共同的目标；原生性 (Generative)：建立跨界水资源管理合作的新原则或规范。

④ 由于条约具有综合性，部分条约涉及多个目的，故占比之和可能大于1。

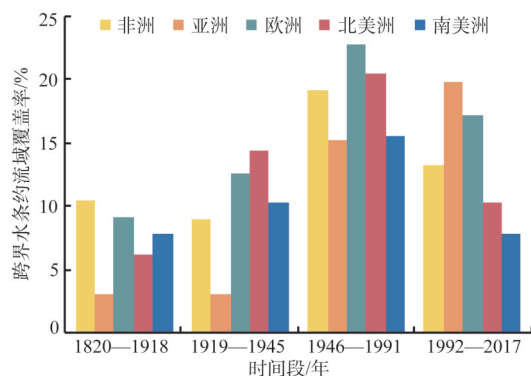


图5 1820—2017年五大洲跨界水条约覆盖率

Fig. 5 Coverage of transboundary water agreements on five continents from 1820 to 2017

遍较高，对水质的关注度也相对更高；非洲、南美洲国家更关注跨界河流的管理问题，亚洲国家的跨界水合作起步较晚，但其在协商水量、开发水电的同时，也较为重视在联合管理与水质保护等方面的合作。

2.2.2 流域尺度下全球跨界水合作空间分布特征

以全球310条跨界河流流域为底图绘制全球跨界水合作空间分布图，并采用ArcGIS自然断点法基于1820—2017年各流域跨界水合作数量进行分类（图7），可以看出：（1）1820—1918年，科罗拉多河流域、尼罗河流域和莱茵河—默兹河流域为高合作强度流域。其中，科罗拉多河流域与尼罗河流域的跨界水条约主要与边界问题相关，莱茵河—默兹河流域的跨界水合作则主要与水量、基础设施等相关。这一时期，仅有少数流域签订跨界水条约，且大多数流域合作强度较低。（2）1919—1945年，签署跨界水条约最多的流域依次为圣劳伦斯河、多瑙河、尼罗河、莱茵河—默兹河流域和约旦河流域^⑤，其中圣劳伦斯河流域的跨界水合作强度较高，且主要为美加之间在水电开发、水量与洪水等领域开展的合作；莱茵河—默兹河流域的跨界水合作主要与基础设施建设相关；尼罗河流域的跨界水资源合作仍主要表现为域内国家与英国之间的合作，但涉及领域从边界问题拓展至水量、灌溉等问题。这

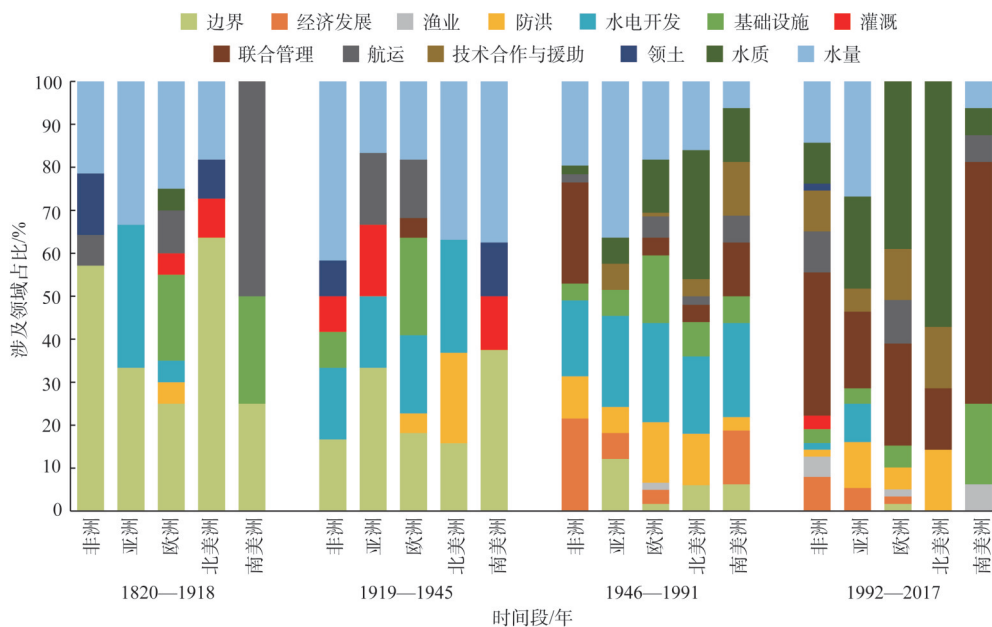


图6 1820—2017年五大洲跨界水合作领域占比

Fig. 6 Proportions of the five continents in international transboundary water agreements from 1820 to 2017

⑤ 除圣劳伦斯河流域外，其他四个流域涉及条约数目相等。

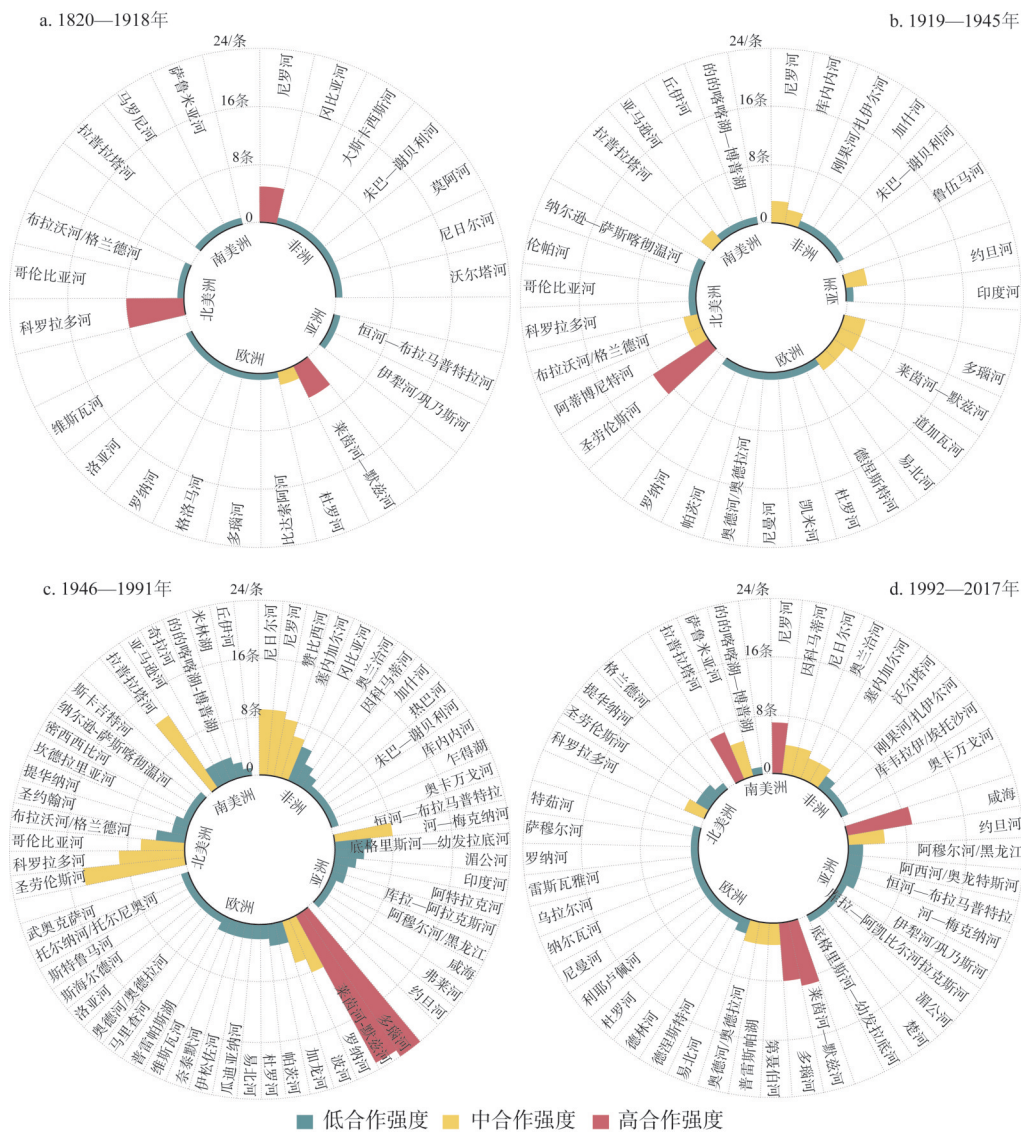


图7 1820—2017年各流域涉及条约数

Fig. 7 The number of agreements on international transboundary river basins from 1820 to 2017

一时期，高合作强度的流域仅有圣劳伦斯河流域，中合作强度的流域数目有所增加。(3) 1946—1991年，全球签署跨界水条约的流域明显增多，中合作强度的流域增加，高合作强度的流域仅分布在欧洲。多瑙河流域、莱茵河—默兹河流域和圣劳伦斯河流域是签署合作条约最多的流域；其中，多瑙河流域的合作主要与水电开发相关，莱茵河—默兹河流域的跨界水合作广泛涉及水质、基础设施、水电开发、水量等多个领域，圣劳伦斯河流域的合作主要为美加两国在水质与水电开发领域的合作。(4) 1992—2017年，高合作强度的流域数量明显增加，且在亚欧非及南美洲均有分布。其中，莱茵河—默兹河流域、咸海流域和多瑙河流域签署跨界水条约最多。莱茵河—默兹河流域的跨界水合作主要与水质保护有关，咸海流域主要与水质保护与水电开发相关，多瑙河流域跨界水合作的领域较为广泛。

2.2.3 国家尺度下全球跨界水合作网络结构特征

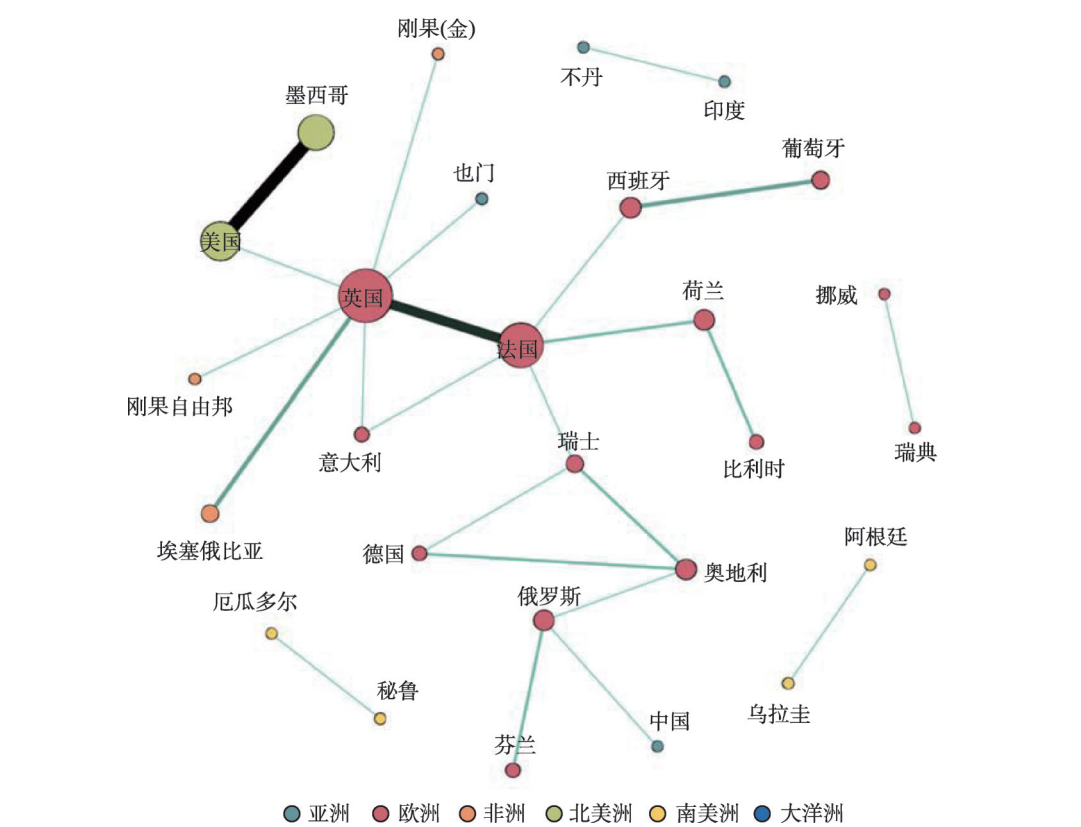
(1) 全球跨界水合作网络演变经历了“网络形成—网络扩张—网络分化”三个阶段

1820—1918年，全球跨界水合作网络尚不完整，仅包含27个节点，网络密度与平均度仅为0.068和1.778，平均聚类系数较低（表2）。从网络关系来看，美国与墨西哥的跨界水合作最为密切，其次是英法两国，葡萄牙与西班牙、英国与埃塞俄比亚的跨界水合作并列第三位（图8）。可以看出，早期的跨界水合作主要发生在地理位置临近的欧洲国家间，地理邻近性是这一时期跨界水合作的重要基础，而沿岸国经济社会发展的巨大需求是这一时期跨界水合作的重要动力。

表2 1820—2017年全球跨界水合作网络的特征量统计

Table 2 Statistics on the characteristics of international transboundary water networks from 1820 to 2017

指标	1820—1918年	1919—1945年	1946—1991年	1992—2017年
节点数/个	27	55	117	130
网络密度	0.068	0.552	0.362	0.326
平均度	1.778	29.820	42.373	42.000
平均加权度	3.481	33.380	54.420	55.510
平均聚类系数	0.281	0.924	0.887	0.860



注：图中节点大小以及连线的粗细与签订约数目正相关，但并不构成严格的比例关系，下同。

图8 1820—1918年全球跨界水合作网络

Fig. 8 The networks of international transboundary cooperation from 1820 to 1918

1919—1945年,全球跨界水合作网络规模仍较小,包含55个节点,但网络联系更为紧密,网络密度与加权重中心性分别为0.552与33.38,平均聚类系数最高,小规模密切联系是这一时期跨界水合作网络的重要特征。从网络关系来看,美国与加拿大之间的跨界水合作最为频繁,其次是英国与法国、英国与意大利。尽管美加之间的合作较多,但由于地理位置的原因,使之与其他国家的跨界水合作较少,因而仍处于网络的边缘。这一时期英国是跨界水合作网络中的重要节点,较为广泛地与欧洲多国建立了跨界水合作关系。网络中的大多数国家间合作强度较弱,以英、法、意、德等国家为核心的欧洲国家间形成了较强的跨界水合作关系(图9)。

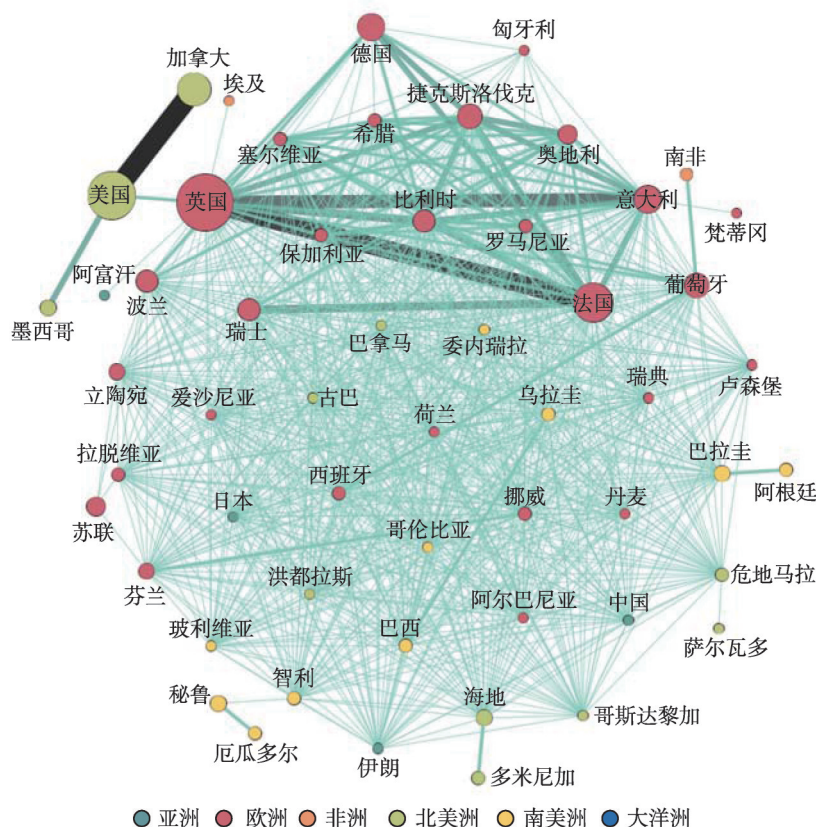


图9 1919—1945年全球跨界水合作网络

Fig. 9 The networks of international transboundary cooperation from 1919 to 1945

1946—1991年,全球跨界水合作网络规模明显增大,包含117个节点,网络密度与加权重中心性分别为0.362与42.373。从网络关系来看,美国与加拿大、墨西哥之间的跨界水合作最为频繁,法国与德国间的跨界水合作次之。这一时期,美国是全球跨界水合作网络中最为活跃的国家,但受地理因素的限制,其合作对象仍主要为加拿大和墨西哥两国;以法国、德国和瑞士等国家为核心的欧洲国家间形成了高密度低强度的跨界水合作网络;此外,马里、几内亚、埃及等尼罗河、尼日尔河流域的国家间也构成了相对较强的跨界水合作关系,这也体现了非洲国家间对跨界水合作的强烈需求(图10)。

1992—2017年,全球跨界水合作网络规模进一步扩大,网络节点数增至130个,网络密度与平均度分别为0.326与42。从网络关系来看,法国与荷兰、德国、卢森堡之间

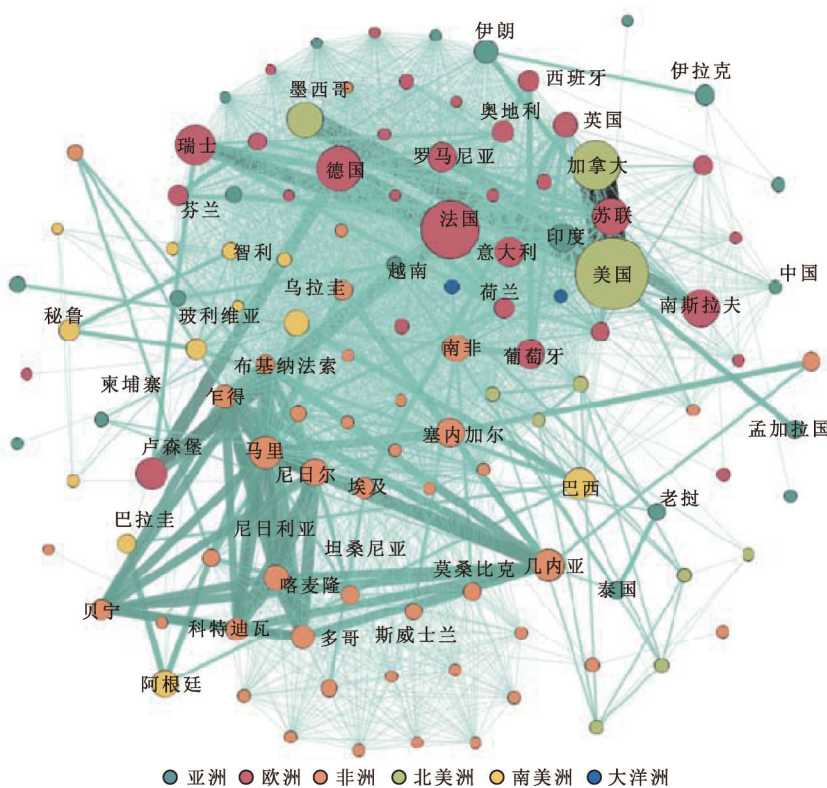


图 10 1946—1991 年全球跨界水合作网络

Fig. 10 The networks of international transboundary cooperation from 1946 to 1991

的合作频次以及德国与卢森堡之间的合作频次并列第一位，哈萨克斯坦与吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦之间，以及荷兰与德国、卢森堡之间的合作频次并列第二位，中亚五国之间以及中国与中亚国家间的跨界水合作明显增强。这一时期，哈萨克斯坦与德国是全球跨界水合作网络中最为活跃的国家，全球跨界水合作网络呈现出以欧洲国家与中亚国家为主的和以南非、马里等非洲国家为主的两个高强度高密度网络结构。由于苏联的解体，中亚五国在全球跨界水合作网络中异军突起，可以看出，尽管亚洲国家在全球跨界水合作网络中愈发活跃，但其合作对象较少且较为单一。地理邻近性与共享跨界河流仍是全球跨界水合作的主导因素，但区域性、全球性的跨界水资源合作正成为当前全球跨界水合作的重要趋势（图 11）。

总体来看，1820—2017 年全球跨界水合作网络经历了“网络形成—网络扩张—网络分化”三个阶段。早期，全球跨界水合作网络尚不完整，多数节点仅两两相连，未与其他节点相连接；1919—1945 年，伴随着全球性条约的签署，全球跨界水合作网络表现出高密度、低强度的结构特征；1946—1991 年，全球跨界水合作网络规模迅速扩大，结构更为紧密；1992—2017 年，全球跨界水合作的区域性特征愈加突出，亚欧国家与非洲国家形成了两个明显的跨界水合作集群。

（2）全球跨界水合作网络节点特征的演变与世界政治经济格局的变化密切相关

伴随着世界政治经济格局的演变，各个国家在全球跨界水合作网络中的节点特征也发生着明显变化，表 3 列出了四个时期内节点特征排名前十的国家，可以看出：① 第一次世

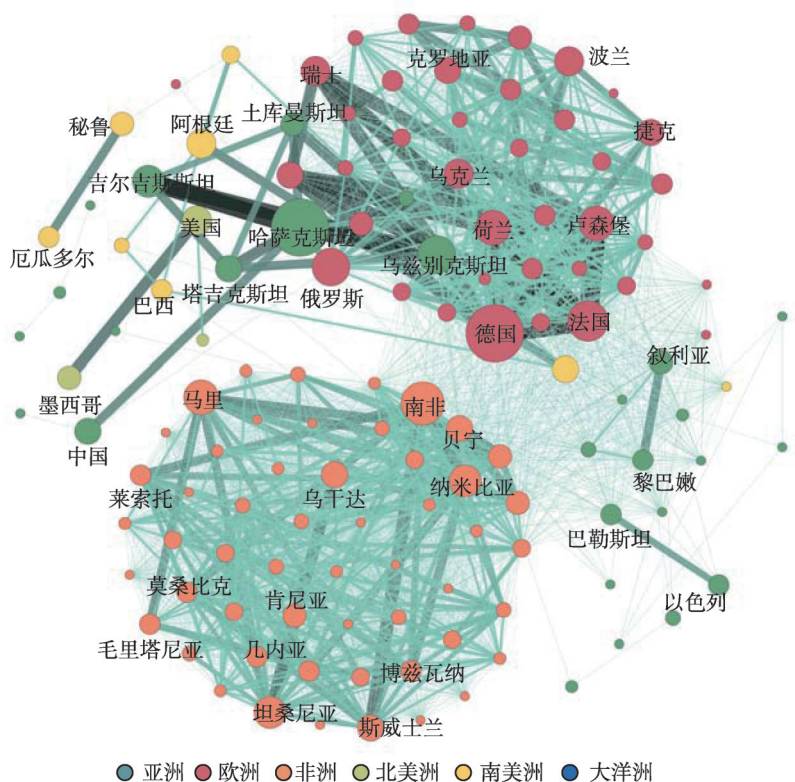


图 11 1992—2017 年全球跨界水合作网络

Fig. 11 The networks of international transboundary cooperation from 1992 to 2017

界大战以前，英国与法国参与条约数、相对度中心性与加权重度中心性均分列前两位，相较于其他国家，英法两国较早在跨界水资源领域开展合作，其中，英国凭借其广泛的殖民地，围绕水量、边界等问题与尼罗河流域国家进行合作，法国则与周边国家围绕莱茵河、罗纳河等开展了跨界水合作。美国与墨西哥两国参与条约数目位列第三、四位，但相对度中心性排名偏低，即两国之间的跨界水合作较为频繁，但与其他国家的合作较少。

② 1919—1945 年，英国签订条约的数目、相对度中心性以及加权重度中心性仍最高。相对度中心性与加权重度中心性较高的国家主要为欧洲国家，拥有数量较多且可利用性较高的跨界河流是欧洲国家间跨界水合作的重要基础，对水电、航运的需求与较高的经济社会发展水平是欧洲国家间跨界水合作的动力与保障。③ 二战结束后，美国成为全球跨界水合作最为活跃的国家，签订条约数为 43 条，但受地理因素的限制，其在跨界水合作网络中的影响力有限，苏联、南斯拉夫等国在全球跨界水合作中也更为活跃。这一时期，欧洲与北美洲国家在跨界水合作中仍保持着较高的活跃度；同时，伴随着非洲国家的独立，非洲部分国家（尤其是位于尼罗河、尼日尔河流域的国家）在全球跨界水合作中的表现也愈加突出，不仅签订的条约数目明显增多，相对度中心性与加权重度中心性也较高。可以看出，相对度中心性排名前十的均为非洲国家，即非洲部分国家间建立了较为广泛的跨界水合作关系。④ 冷战结束后，德国、法国等欧洲国家仍保持着在跨界水合作领域较高的活跃度；伴随着苏联解体，中亚国家在全球跨界水合作网络中的地位凸显，但相对度中心性较低，

表3 1820—2017年全球跨界水合作网络节点特征统计

Table 3 Statistics on the characteristics of nodes about international transboundary water networks from 1820 to 2017

时间段/年	参与条约数目		相对度中心性		加权度中心性	
	国家	数值/条	国家	数值	国家	数值
1820—1918	英国	15	英国	0.269	英国	15
	法国	12	法国	0.192	法国	12
	美国	10	奥地利	0.115	美国	10
	墨西哥	9	瑞士	0.115	墨西哥	9
	奥地利	4	俄罗斯	0.115	奥地利	5
	俄罗斯	4	西班牙	0.077	俄罗斯	4
	西班牙	4	美国	0.077	西班牙	4
	荷兰	4	德国	0.077	荷兰	4
	瑞士	3	荷兰	0.077	瑞士	4
	葡萄牙(埃塞俄比亚)	3	意大利	0.077	葡萄牙(埃塞俄比亚、德国)	3
1919—1945	英国	17	英国	0.815	英国	69
	美国	14	意大利	0.778	法国	64
	法国	11	奥地利	0.759	意大利	59
	加拿大	9	捷克斯洛伐克	0.759	捷克斯洛伐克	58
	意大利	7	波兰	0.759	比利时	57
	德国	7	立陶宛	0.759	奥地利	52
	捷克斯洛伐克	6	法国	0.759	保加利亚	50
	葡萄牙	6	比利时	0.759	希腊	50
	比利时	5	保加利亚	0.759	罗马尼亚	50
	瑞士(波兰)	5	希腊	0.759	塞尔维亚	50
1946—1991	美国	43	塞内加尔	0.698	马里	160
	法国	33	马里	0.698	尼日尔	149
	喀麦隆	27	尼日尔	0.698	法国	133
	德国	24	乌干达	0.690	美国	123
	瑞士	21	埃及	0.681	乍得	121
	苏联	19	阿尔及利亚	0.681	布吉纳法索	118
	南斯拉夫	19	加纳	0.681	塞内加尔	111
	墨西哥	18	肯尼亚	0.681	加拿大	107
	马里	16	摩洛哥	0.681	德国	105
	巴西(几内亚、卢森堡)	15	突尼斯	0.681	苏联	103
1992—2017	德国	18	摩洛哥	0.612	德国	143
	哈萨克斯坦	18	南非	0.605	南非	123
	南非	13	贝宁	0.605	纳米比亚	119
	法国	12	尼日尔	0.605	贝宁	113
	乌兹别克斯坦	11	纳米比亚	0.605	法国	113
	俄罗斯	11	利比亚	0.605	布吉纳法索	112
	荷兰	10	布吉纳法索	0.605	荷兰	110
	卢森堡	10	科特迪瓦	0.605	卢森堡	110
	马里	10	尼日利亚	0.605	科特迪瓦	106
	纳米比亚(坦桑尼亚、吉尔吉斯斯坦)	9	几内亚比绍(突尼斯)	0.605	尼日尔	104

注：括号内表示与括号前的国家指标数值相等的国家。

即其仅与少数国家开展较为密切的跨界水合作;相对度中心性排名前十的国家仍均为非洲国家,体现了这一时期非洲国家在跨界水合作中合作对象的广泛性。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文采用全球跨界水条约数据,基于网络视角,从全球尺度、区域尺度与国家尺度三个层面对全球跨界水合作的时空结构进行深入分析,主要结论如下:

(1) 1820—2017年全球跨界水合作数量持续增多,合作覆盖范围明显扩大,合作领域更加深入多样;多边合作是当前全球跨界水合作的发展趋势,跨界地下水是全球跨界水合作新的关注点;跨界水合作重点领域从边界与水量向联合管理与水质转变;规范各方行为是全球跨界水合作的主要目的,制定跨界水合作所依据的程序与建立跨界水资源管理合作的新原则、新规范是当前全球跨界水合作的发展趋势。

(2) 同一时期五大洲跨界水合作发展进程存在差异,欧洲是全球跨界水合作最为活跃的区域,二战结束至今,亚洲国家的跨界水合作增长明显。五大洲跨界水合作领域各有侧重,其中,欧洲与北美洲以水质为主,非洲与南美洲以联合管理为主,亚洲在水质、水量和联合管理三个领域的合作比例相当。从五大洲跨界水条约的覆盖率来看,全球跨界水合作重心经历了在非洲、北美洲、欧洲与亚洲间的依次转移。

(3) 跨界水条约覆盖的流域逐渐增加,中高合作强度的流域数目明显增多,当前合作强度较高的流域在四大洲均有分布。莱茵河—默兹河流域四个时期内的跨界水合作始终较为频繁,其合作的重点领域伴随着流域经济社会的发展较为完整的经历了从水量到基础设施,再到水质、基础设施、水电开发等多领域合作的过程。尽管全球跨界水合作网络涵盖的流域日益增多,但其流域覆盖率仍较低,跨界水合作仍有较大提升空间。

(4) 1820—2017年全球跨界水合作网络大致经历了“网络形成—网络扩张—网络分化”三个阶段,当前全球跨界水合作网络呈现出以欧洲国家与中亚国家为主和以南非、马里等非洲国家为主的两个高联系强度高密度结构,区域性与全球性并存是当前跨界水合作网络的重要特征。北美洲国家间的跨界水合作强度较高,但受地理因素限制,其合作对象较为单一;伴随着非洲国家的独立,其在全球跨界水合作网络中的地位愈发突出,部分国家间形成了高强度高密度的合作关系网络;冷战结束后,以中亚国家为主的亚洲国家在全球跨界水合作网络中也更为活跃,全球跨界水合作网络节点特征的演变与世界政治经济格局的变化密切相关。

3.2 讨论

深入分析全球跨界水合作时空结构演变,对中国跨界水合作的发展具有重要意义。中国作为世界上拥有跨界河流(流域)最多的国家之一,拥有18条跨界河流(流域)^⑥,这些跨界河流(流域)将中国与其他二十多个国家或地区串联在一起,构成了中国周边复杂的地缘关系体。近年来,中国周边水政治的敏感性与复杂性日益凸显,尽管中国对跨界水资源合作的重视程度明显提高,参与、推动的跨界水合作机制的数量有所增加,但仍存在较多不足。从全球跨界水合作网络来看,中国在网络中的地位并不突出,其相对度中心性与加权重度中心性均较低,合作领域也较为单一。纵观全球跨界水合作时空演变过程,在当前全球跨界水合作快速发展,中国周边水政治敏感性与复杂性加

^⑥ 数据整理于俄勒冈州立大学更新的310条全球跨界河流(流域)。

剧的背景下,中国应从以下几点出发:(1)积极参与、主导全球跨界水合作,应始终以可持续发展理念为核心,以流域综合管理为目标,在合作中关注不同问题领域的互动与影响,进而在充分发挥流域经济价值的同时,实现流域生态系统的保护与域内民生福祉的改善。(2)根据不同流域的自然、社会特征有针对性的通过多种途径(如合作开发、技术援助等)来实现在跨界水资源领域的合作,重视对跨界地下水资源的勘探与研究,加强跨界地下水合作。(3)在总结全球跨界水合作历程与经验,探索全球跨界水合作路径的基础上,建立具有中国特色的跨界水资源合作理论,积极推动亚洲国家乃至全球的跨界水合作进程,提升中国在全球跨界水资源合作领域的地位,充分发挥中国负责任发展中大国的作用。

不无遗憾地是,尽管水条约作为正式的国际合作机制是跨界水合作的重要体现,但在当前跨界水合作形式灵活多样的背景下,跨界水条约签署的复杂性、耗时性等特征使其在刻画跨界水合作的过程中可能具有一定的局限性。例如尽管中国与湄公河流域国家签订的正式水条约较少,但自20世纪90年代以来,中国与湄公河流域国家围绕水资源开发、流域建设、区域经济发展等建立了多种区域合作机制,并在水文数据共享、灾害预防等领域实现了长效合作^⑦。因而在未来的研究中还需对多样化的跨界水合作机制进行综合考虑,以期更为全面深入的对全球跨界水合作进行研究。

参考文献(References):

- [1] CONNOR R. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2015.
- [2] 杨艳昭,封志明,孙通,等.“一带一路”沿线国家水资源禀赋及开发利用分析.自然资源学报,2019,34(6): 1146-1156. [YANG Y Z, FENG Z M, SUN T, et al. Water resources endowment and exploitation and utilization of countries along the Belt and Road. Journal of Natural Resources, 2019, 34(6): 1146-1156.]
- [3] 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.
- [4] 王志芳. 中国建设“一带一路”面临的气候安全风险. 国际政治研究, 2015, 36(4): 56-72, 6. [WANG Z F. China's climate risk of building the Belt and Road. The Journal of International Studies, 2015, 36(4): 56-72, 6.]
- [5] ELIASSON J. The rising pressure of global water shortages. Nature. 2015, 525(7517): 6.
- [6] 彭珂珊. 21世纪中国水资源危机. 水利水电科技进展, 2000, (5): 13-16, 68-69. [PENG K S. China water resource crisis in the 21st century. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2000, (5): 13-16, 68-69.]
- [7] WESTER P, MISHRA A, MUKHERJI A, et al. The Hindu Kush Himalaya Assessment: Mountains, Climate Change, Sustainability and People. Cham: Springer, 2019.
- [8] 水利部国际经济技术合作交流中心. 跨界水合作与发展. 北京: 社会科学文献出版社, 2018. [International Economic & Technical Cooperation and Exchange Center, Ministry of Water Resources, P.R. China. Transboundary Water Cooperation and Development. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2018.]
- [9] 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.
- [10] 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. [HE D M, LIU C M, FENG Y, et al. Progress and perspective of international river researches in China. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(9): 1284-1294.]
- [11] 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. [LI X L, HUA R. Security order construction in the water security complex of international basin: Based on the water-event analysis of Lancang-Mekong River. Journal of Social Sciences, 2019, (3): 17-35.]
- [12] WOLF A T. Conflict and cooperation along international waterways. Water Policy, 1998, 1(2): 251-265.
- [13] VAN DER ZAAG P, CARMO VAZ Á. Sharing the Incomati waters: Cooperation and competition in the balance. Water

^⑦ MRC and China renew pact on water data provision and other cooperation initiatives. <http://www.mrcmekong.org/news-and-events/news/mrc-and-china-renew-pact-on-water-data-provision-and-other-cooperation-initiatives/>.

- Policy, 2003, 5(4): 349-368.
- [14] DINAR S. Scarcity and cooperation along international rivers. *Global Environmental Politics*, 2009, 9(1): 109-135.
- [15] ZAWAHRI N A. International rivers and national security: The Euphrates, Ganges-Brahmaputra, Indus, Tigris, and Yarmouk Rivers. *Natural Resources Forum*, 2008, 32(4): 280-289.
- [16] 刘艳丽, 赵志轩, 孙周亮, 等. 基于水利共享的跨境流域水资源多目标分配研究: 以澜沧江—湄公河为例. *地理科学*, 2019, 39(3): 387-393. [LIU Y L, ZHAO Z X, SUN Z L, et al. Multi-objective water resources allocation in transboundary rivers based on the concept of water benefit-sharing: A case in the Lancang-Mekong River. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(3): 387-393.]
- [17] HENSEL P, BROCHMANN M. Peaceful management of international river claims. *International Negotiation*, 2009, 14(2): 393-418.
- [18] LEMARQUAND D G. International development of the Senegal River. *Water International*, 1990, 15(4): 223-230.
- [19] DINAR S. Water, security, conflict, and cooperation. *Sais Review*, 2002, 22(2): 229-253.
- [20] KIBAROGLU A, SCHEUMANN W. Euphrates-Tigris Rivers system: Political rapprochement and transboundary water cooperation. In: KRAMER A, KIBAROGLU A, SCHEUMANN W. *Turkey's Water Policy*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2011: 277-299.
- [21] 田向荣, 王国义, 樊彦芳. 咸海流域跨界水合作历史、形势及思考. *边界与海洋研究*, 2017, 2(6): 90-104. [TIAN X R, WANG G Y, FAN Y F. Aral Sea Basin transboundary water cooperation: History, present situation and reflections. *Journal of Boundary and Ocean Studies*, 2017, 2(6): 90-104.]
- [22] BISWAS A K. Cooperation or conflict in transboundary water management: Case study of South Asia. *Hydrological Sciences Journal*, 2011, 56(4): 662-670.
- [23] FENG Y, WANG W, SUMAN D, et al. Water cooperation priorities in the Lancang-Mekong River Basin based on cooperative events since the Mekong River Commission establishment. *Chinese Geographical Science*, 2019, 29(1): 58-69.
- [24] 何大明, 刘昌明, 杨志峰. 中国国际河流可持续发展研究. *地理学报*, 1999, 54(s1): 1-10. [HE D M, LIU C M, YANG Z F. Study for the sustainability of international rivers in China. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(s1): 1-10.]
- [25] 任俊霖, 彭梓倩, 孙博文, 等. 澜湄水资源合作机制. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 250-260. [REN J L, PENG Z Q, SUN B W, et al. Research on the water resources cooperation of Lancang-Mekong Cooperation. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(2): 250-260.]
- [26] 李昕蕾. 冲突抑或合作: 跨国河流治理的路径和机制. *外交评论: 外交学院学报*, 2016, 33(1): 126-152. [LI X L. Conflict or cooperation: The path and mechanism of water management in transnational rivers. *Foreign Affairs Review*, 2016, 33(1): 126-152.]
- [27] GIORDANO M, DRIESCHOVA A, DUNCAN J A, et al. A review of the evolution and state of transboundary freshwater treaties. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 2014, 14(3): 245-264.
- [28] LAUTZE J, GIORDANO M. Transboundary water law in Africa: Development, nature, and geography. *Natural Resources Journal*, 2005, 45(4): 1053-1087.
- [29] 胡文俊, 简迎辉, 杨建基, 等. 国际河流管理合作模式的分类及演进规律探讨. *自然资源学报*, 2013, 28(12): 2034-2043. [HU W J, JIAN Y H, YANG J J, et al. Exploring the classification and evolving principles of the cooperation models in international river management. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(12): 2034-2043.]
- [30] KLIOT N, SHMUELI D, SHAMIR U. Development of institutional frameworks for the management of transboundary water resources. *International Journal of Global Environmental Issues*, 2001, 1(3-4): 306-328.
- [31] CONCA K, WU F, MEI C. Global regime formation or complex institution building? The principled content of international river agreements. *International Studies Quarterly*, 2006, 50(2): 263-285.
- [32] 李志斐. 美国的全球水外交战略探析. *国际政治研究*, 2018, 39(3): 63-88, 4-5. [LI Z F. The U.S. strategy of global water diplomacy. *The Journal of International Studies*, 2018, 39(3): 63-88, 4-5.]
- [33] 张励. 水外交: 中国与湄公河国家跨界水合作及战略布局. *国际关系研究*, 2014, (4): 25-36, 152-153. [ZHANG L. Water diplomacy: Transboundary water cooperation and strategic arrangements between China and the Mekong Countries. *Journal of International Relations*, 2014, (4): 25-36, 152-153.]
- [34] 刘军. 整体网分析讲义(第二版): UCINET 软件实用指南. 上海: 格致出版社, 2014. [LIU J. *Lectures on Whole Network Approach: A Practical Guide to UCINET(2nd)*. Shanghai: Truth & Wisdom Press, 2014.]
- [35] FRIEDMANN W. *The Changing Structure of International Law*. New York: Columbia University Press, 1964.
- [36] 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. [ZHOU Q W, YANG S T, CAI M Y, et al. Security analysis of international river based on event data of the Yarlung zangbo-Brahmaputra River. *World Regional Studies*, 2013, 22(4): 127-133.]

The spatio-temporal structure of international transboundary water cooperation: Based on the changes of issue area and scale differentiation

ZHAI Chen-yang^{1,2,3}, DU De-bin^{1,2,3}, HOU Chun-guang^{1,2,3},
GUI Qin-chang^{1,2}, DUAN De-zhong^{1,2}

(1. Institute for Global Innovation and Development, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. School of Urban and Regional Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

3. National Institutes of Educational Policy Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Since the international water crisis intensified, transboundary water cooperation has become the key to resolving the water crisis and achieving peaceful and sustainable development among countries. This study built international transboundary water cooperation networks based on transboundary water agreements, and used social network analysis and other methods to examine the spatial and temporal structure of transboundary water cooperation from the global, intercontinental and national scales. The conclusions are as follows: (1) The number of international transboundary water cooperation projects increased from 1820 to 2017, and the scope of cooperation expanded significantly. The cooperation issue area changed from border issues and water quantity to joint management and water quality. The purpose of the agreements changed from regulatory to generative, procedural and regulatory. Multilateral cooperation and transboundary groundwater cooperation are the current development trends in international transboundary water cooperation. (2) During the same period, there were differences in the development process and focus areas of transboundary water cooperation among the five continents. Europe and North America were dominated by water quality, Africa and South America were dominated by joint management, and Asia had similar cooperation proportions in three areas: water quality, water quantity and joint management. Although the global transboundary water cooperation network covers more and more basins and countries, its coverage rate is still low. (3) The international transboundary water cooperation networks from 1820 to 2017 experienced three stages, namely, network formation, network expansion, and network differentiation. North American countries have a high degree of transboundary water cooperation, but due to geographical constraints, their cooperation targets are relatively single. After World War II, African countries have gradually dominated in the network. Since 1992, Asian countries have been increasingly active in the transboundary water cooperation network. The demand for transboundary water cooperation in Asian countries is growing. China, as a large responsible developing country, should strengthen transboundary water cooperation with neighboring countries, and actively promote transboundary water cooperation in Asia.

Keywords: transboundary water cooperation; international freshwater agreements; changes of issue area; scale differentiation; network analysis