

DOI: 10.20103/j.stxb.202311172511

王新宇, 朱小康, 傅斌. 基于生态系统服务的水电开发利益相关者分析. 生态学报, 2024, 44(21): 9767-9782.

Wang X Y, Zhu X K, Fu B. Stakeholder analysis of hydropower development based on ecosystem services. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(21): 9767-9782.

基于生态系统服务的水电开发利益相关者分析

王新宇^{1,2}, 朱小康^{1,2}, 傅斌^{1,*}

1 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:水电开发对流域生态系统服务有重要影响。生态系统服务的供给区、水电企业和周边的农牧民构成了流域水电开发的利益主体。准确识别这些利益相关者在流域水电开发中扮演的角色对于建立和执行生态补偿机制至关重要。已有研究大多对利益相关者进行定性划分, 定量分析侧重在经济损益, 未考虑生态系统服务对利益相关者的影响。以西藏自治区拉萨河流域为研究区, 评估了与水电开发关系密切的产水服务、土壤保持服务和洪水解服务。通过社会网络分析方法, 探讨了在水电开发背景下, 生态系统服务的供给者和需求者内部的中心性与凝聚子群, 揭示了不同利益相关者之间的网络结构和联系强度。结果表明: (1) 墨竹工卡县、林周县和嘉黎县是生态系统服务的主要供给区, 位于生态系统服务供给社会网络的中心, 中心度分别为 1.75、1.48 和 1.30。(2) 直孔水电站和旁多水电站处于三项生态系统服务需求网络中心, 中心度、中心势最高, 分别为 0.37 和 0.35、0.41 和 0.38。(3) 甘曲村和宁布村位于农牧民对水电开发影响感知的社会网络中心, 中心度分别为 3.54 和 2.41。本研究通过将生态系统服务评价与社会网络分析方法结合, 清楚地描绘了拉萨河流域水电开发中不同利益相关者的相互关系, 为制定水电开发的生态补偿策略提供了科学依据。

关键词:生态系统服务供需关系; 梯级水电开发; 社会网络分析; 影响感知; 拉萨河流域

Stakeholder analysis of hydropower development based on ecosystem services

WANG Xinyu^{1,2}, ZHU Xiaokang^{1,2}, FU Bin^{1,*}

1 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Hydropower development has a significant impact on the ecosystem services of river basins. The providers of ecosystem services, hydropower companies and native people constitute the core stakeholders in the development of hydropower in river basins. Accurately identifying the roles these stakeholders play in the development of hydropower in river basins is crucial for establishing and implementing ecological compensation mechanisms. Existing research has mostly evaluated ecosystem services from the perspective of stakeholders, with a quantitative analysis focusing on economic gains and losses, lacking research on how ecosystem services impact stakeholders. This study takes the Lhasa River Basin in the Tibet Autonomous Region as the research area and selects water yield service, soil conservation service, and flood mitigation service closely related to hydropower development. First, the InVEST model is used to assess the supply & demand relationship of these three services. Then, the ecosystem service assessment results are input into the social network model for stakeholder analysis, quantifying the connection degree between interest groups, and further exploring the centrality and cohesive subgroups of ecosystem service providers and demanders within the context of hydropower development, revealing the network structure and connection strength between different stakeholders. The results show that: (1) Mozhuogongka County, Linzhou County, and Jiali County are the main providers of ecosystem services, located at the center of the social

基金项目:国家自然科学基金项目(32071664);第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0307);四川省长江黄河上游生态屏障建设研究智库开放课题(202310)

收稿日期:2023-11-17; **网络出版日期:**2024-08-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fubin@imde.ac.cn

network of ecosystem service supply, with centrality of 1.75, 1.48 and 1.30 respectively. (2) Zhongku Hydropower Station and Pangduo Hydropower Station are at the center of the demand networks for the three ecosystem services, with the highest centrality and centrality index of 0.37 and 0.41, 0.35 and 0.38 respectively, which are 5.6 and 5.3 times the average centrality of the other three power stations. (3) Gongcuo Village and Ningbu Village are at the center of the social network of farmers' and pastoralists' perception of the impact of hydropower development, with centralities of 3.54 and 2.41 respectively, and Gongcuo Village has the highest relative degree centrality and centrality index of 31.611 and 0.170. This study combines ecosystem service assessment and social network analysis to develop a quantitative analysis method based on ecosystem services, clearly depicting the interrelationships between different stakeholders in the hydropower development of the Lhasa River Basin, and revealing that the connection strength between stakeholders is jointly influenced by their own attributes and the supply/demand status of ecosystem services. This research can also provide scientific basis for formulating ecological compensation strategies for hydropower development and valuable theoretical support and practical guidance for promoting the sustainable use of river basin water resources.

Key Words: ecosystem service supply and demand; cascade hydropower development; social network analysis; effect perception; Lhasa River Basin

流域水资源的开发与利用在促进地区经济发展的同时,也对生态系统服务的供给与使用产生了深远的影响^[1-2]。特别是在青藏高原地区,水电开发规模在过去近 40 年中持续增长^[3-4],带来了显著的经济利益,但同时也引发了对生态补偿机制研究的需求。尽管水电调度和生态补偿的有效实施都依赖于对流域生态系统服务供需关系的深入理解,但目前关于水电开发对生态系统服务影响及生态补偿的研究仍然较为有限。现有研究多从利益相关者视角出发对生态系统服务进行评估^[5-6],缺乏生态系统服务影响利益相关者的研究。本研究以拉萨河流域为研究区,选择与水电开发关系紧密的产水服务、土壤保持服务和洪水缓解服务,利用 InVEST 模型评价了生态系统服务供需关系,并进一步采用社会网络分析的方法识别了与水电开发直接相关的利益群体,通过分析这些群体在社会网络中的中心性等关键指标,量化了它们之间的联系程度。本研究开发了一种基于生态系统服务的利益相关者量化分析方法,该方法不仅揭示了利益相关者之间的联系强度受到自身属性和生态系统服务供需状况的共同影响^[7-8],而且为水电开发项目中确定生态补偿的范围、制定补偿标准提供了科学依据。研究成果的实际应用价值体现在为流域的生态保护和管理决策提供了坚实的理论支撑和实证数据^[9-10],有助于平衡水电开发与生态保护的关系,促进区域可持续发展。

1 利益相关者相关研究进展

利益相关者最初是指在企业的获利过程中被影响的全部个人和群体的集合^[11]。利益相关者理论兴起于 20 世纪 60 年代,其主要观点是认为企业利益不仅与股东有关,还应包括与企业有利害关系的个人或团体^[12]。这一理论在企业管理和项目治理等领域得到了广泛应用^[13-14]。生态保护修复与企业管理有相似特点,其公共性和外部性通常影响到多个群体^[15]。20 世纪末以来,利益相关者理论逐步被应用到自然资源与生态环境领域^[16-17]。近年来,国内外研究者开始从利益相关者视角研究生态系统服务的供需关系^[18]。Raum^[19]将利益相关者分析纳入生态系统服务的研究框架,识别了英国森林生态系统服务的利益相关者;Hein 等^[20]发现空间尺度会影响不同利益相关者对生态系统服务的认知;丁远鑫等^[21]分析了利益相关者对生态系统服务的认知差异;冉圣宏等^[22]从利益相关者视角,评估了土地退化对生态系统服务的影响。总之,利益相关者理论的应用,推动了生态系统服务研究由侧重自然属性向自然\社会融合的方向发展,其标志是从生态系统服务空间制图向网络关系分析转变。利益相关者分析成为实现转变的重要工具之一。在流域生态系统服务供需过程中,不同角色的利益获取和受损程度不相同。例如,延河流域土地利用的变化分别对个人、集体、国家造成了生态系统服务功能的下降;在鄱阳湖区域,“退田还湖”等政策使得农户的利益受损,而政府作为生态环境公共产品的代表承担着生态补偿费用^[22-23]。流域生态系统服务的变化会影响各种利益主体,在生态补偿的框

架下,利益主体通常被分为保护者和破坏者、补偿者和受偿者^[12]。综上所述,生态系统服务的利益相关者研究对于生态补偿政策制定至关重要。

利益相关者与生态系统服务的整合研究需要定量化方法。现有研究多采用调查问卷获得利益相关者的态度与看法,通过空间制图和模型分析对利益关系进行可视化。典型的案例有 Yang 等^[24]绘制了基于兴趣和影响程度的东江流域水资源管理利益相关者地图。Chen 等^[7]选择三亚珊瑚礁自然保护区为研究区,采用分层抽样和问卷调查研究个人和团体两种利益相关者的利益关系结构。这些研究主要侧重对利益相关者的识别,未评价利益相关者间的联系强度。社会网络分析方法是將研究对象抽象为节点,对象关系抽象为网络连接,由此构建可视化的社会关系网络,进而采用网络分析方法从多个角度定量分析和描述其中的复杂关系^[25]。例如,Prell 等^[26]通过社会网络分析的方法确定哪些个人和团体在网络中扮演核心或边缘的角色。近年来,利益相关者分析与社会网络分析结合开始应用于自然资源管理与分配^[27-28]。社会网络分析方法也被应用于流域管理模型的建立^[29]、土地和水资源的管理^[30]、濒危物种的保护^[28]等领域。

利益相关者理论已应用于环境管理的多个领域^[31]。较多研究从利益相关者的识别出发对生态系统服务进行评价,忽视了生态系统服务对利益相关者内部的关系的影响,定量化研究方法缺乏。通常基于调查访谈的方法只能对利益相关者进行定性识别。虽然社会网络分析方法的使用解决了定量评价问题,但它在考虑生态系统方面仍显不足。以拉萨河流域作为研究区,并将水电开发作为研究主题,原因在于水电开发为探索研究区域内生态系统服务供需关系提供了一个清晰的研究对象和范围。研究的主要目标是开发一种新的利益相关者定量分析方法,该方法能够整合自然和社会属性,定量分析水电开发过程中利益相关者的角色定位和联系程度。这种方法基于生态系统服务供给和需求评估,核心技术是应用社会网络分析方法来揭示不同利益群体之间的关系网络。该研究不仅有助于推动生态系统服务评估方法的发展,还可为水电开发的生态补偿方案设计提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 研究区概况

拉萨河流域位于中国西藏自治区中部,主要属于拉萨市和那曲市,极少部分属于山南市和林芝市。拉萨河是雅鲁藏布江一级支流,发源于念青唐古拉山中段南麓。拉萨河流域年均气温约 5.5℃,多年平均降水量约 500 mm^[32]。拉萨河流域内水系发达,水资源丰富。径流来源主要为降水和积雪融水,其中降水占径流总量的 46%。拉萨河流域是西藏自治区和青藏高原人口和耕地较为密集的区域,也是西藏的政治、经济、文化中心拉萨市的所在地。2022 年,拉萨河流域三个地级市国内生产总值合计约 1188.77 亿元,约占全自治区的 55.7%。2018 年拉萨河流域平均城镇化率约为 26.8%。户籍人口共计 76.8 万人,农村人口约为 44.9 万人。拉萨河流域的农村户籍人口主要从事农业、畜牧业和养殖业等生产性活动。

拉萨河流域是青藏高原的相对发达地区。由于电力需求较大,水电开发历史较早。1956 年夺底水电站建成投用后,相继建设了纳金、献多、平措等水电站。自 2002 年起,拉萨河实行梯级水电开发,提出了在干流建设旁多、卡多等梯级电站的规划。截至 2021 年,拉萨河流域现存水电站共计 17 个,共有 5 个水电站正常运行,其余 12 个农村小水电已报废或者停运。目前运行的水电站均位于拉萨河干流,从上游到下游依次是:旁多水电站、直孔水电站、平措水电站、献多水电站和纳金水电站(图 1),总装机容量达 275.4 MW。

2.2 研究方法

生态系统提供了供给、调节等多种服务,其中产水、土壤保持与洪水缓解与水电开发密切相关,本文选择三种服务进行评价。采用 InVEST 模型评估生态系统服务供需关系;将生态系统服务评估结果输入到社会网络模型中进行利益相关者分析;使用中心度评价各利益相关者在网络中的位置,使用凝聚子群评价各利益相关者间的组群情况。

2.2.1 流域生态系统服务供需评价

(1) 生态系统服务供给

(2) 水电站的生态系统服务需求

定义水电站月设计用水量为水电开发对产水服务的需求 (D_{1i})。计算过程如下:

$$D_{1i} = \left(\frac{N}{H \times K} \times \frac{W}{P} \times 3600 \right) / 12 \quad (6)$$

式中, W 为水电站多年平均发电量 ($\text{kW} \cdot \text{h}$); P 为水电站总装机容量 (kW); N 为水电站出力 (kW); H 为水电站额定水头 (m); K 为出力系数, 取值范围为 8.0—8.5, 与机组效率有关, 计算过程中 K 取值为 8.2。

水电开发对土壤保持服务的主要需求是避免水库的淤损。水库年均淤损率与多个因素密切相关, 包括水库运行参数、来水来沙情形、水库形态、库沙比和人工干预情况等。本研究采用模拟水库运行时间与年均淤损率的定量拟合关系^[35, 36], 确定水电站库区避免淤损的库容。

水库运行时间与年均淤损率的拟合结果为:

$$R_{ij} = 2.6399 \times T_i^{-0.591} \quad (7)$$

$$R_{ij} = \frac{\Delta V_{ij}}{V_i} \quad (8)$$

根据实地调查, 纳金水库正常运行 50 年后剩余库容为 0, 依此对拟合结果进行修正, 使得水库运行时间与年均淤损率的定量关系符合拉萨河流域的实际情况^[37], 修正结果如下:

$$R_{ij} = 2.6399 \times T_i^{-0.095} \quad (9)$$

采用避免淤积的库容作为水电开发对生态系统土壤保持服务的需求 (D_{2i}), 计算过程如下式:

$$D_{2i} = V_{A_i} - R_{ij} \times V_i \cdot 0.01 \quad (10)$$

$$V_{A_i} = \frac{m_i}{\rho} \quad (11)$$

式中, D_{2i} 为流域内第 i 座水电站对生态系统土壤保持服务的需求 (m^3); R_{ij} 为流域内第 i 座水电站库区第 j 年的年均淤损率; T_i 为流域内第 i 座水电站的运行时间; ΔV_{ij} 为第 i 座水电站库区第 j 年实际的淤损库容; V_i 为流域内第 i 座水电站的总库容 (校核洪水位相应库容); V_{A_i} 为流域潜在的土壤侵蚀质量体积, 即裸地的土壤侵蚀量; m_i 为流域潜在的土壤侵蚀质量; ρ 为水库淤积泥沙的密度, 取 2 t/m^3 ^[38]。本研究计算水电站的土壤保持需求以水电站库区避免淤积的库容作为评价指标, 单位为 m^3 。土壤保持供给量计算方法通常以 t 为单位。供需实际存在质量与体积的换算关系。后续本研究分别针对供需双方进行社会网络分析, 单位不一致不影响社会网络分析的过程和结果。

采用水电站集水区范围单次暴雨形成的潜在洪水总量与水电站调洪库容的差值作为水电开发对洪水缓解服务的需求 (D_{3i})。计算过程如下式:

$$D_{3i} = Q_{m3i} - SC_i \quad (12)$$

式中, D_{3i} 为流域内第 i 座水电站对洪水缓解服务的需求 (m^3); Q_{m3i} 为第 i 座水电站集水区的单次暴雨日对应的潜在洪水量; SC_i 为流域内第 i 座水电站的调洪库容。

2.2.2 水电开发利益相关者的社会网络分析方法

社会网络分析方法能够从不同角度对利益相关者进行定量分析^[25]。本研究使用中心度和凝聚子群两种方法分析水电开发的利益相关者。采用 UCINET 软件执行运算。UCINET 是处理社会网络数据和其他相似性数据的综合性分析程序。

中心度是度量整个网络中心化程度的重要指标。其含义是: 在单个社会网络中, 如果单个主体与很多其他主体之间都存在直接联系, 那么该主体就居于中心地位^[39-41]。本研究使用点度中心度和中心势量化个体和网络的中心度。点度中心度用网络中与该点有直接联系的点数确定^[41]。点度中心度分为绝对点度中心度和相对点度中心度。绝对点度中心度是将某一点的中心度等同于该点的度数, 即与该点有直接联系的点的个数, 而相对点度中心度是点的绝对中心度与网络中点的最大可能的度数之比^[42]。中心势是分析网络整

体结构的一个指标,描述的是社会网络中中间中心度最高的节点与其它节点的中间中心度的差距^[40,41,43]。

绝对点度中心度和相对点度中心度的计算公式如下:

$$C_{AD_i} = \sum_{j=1}^n X_{ij} \tag{13}$$

$$C_{RD_i} = \frac{C_{AD_i}}{(n - 1)} \tag{14}$$

式中, C_{AD_i} 为第 i 个节点的绝对点度中心度; n 表示网络中的节点总数; 对于 1-mode 网络, X_{ij} 表示第 i 个节点和第 j 个节点之间是否有连边, 对于由 2-mode 网络转化来的 1-mode 网络, X_{ij} 由矩阵标准化得出; C_{RD_i} 为第 i 个节点的相对点度中心度; $n-1$ 表示网络中最大可能的绝对点度中心度。

中心势计算公式如下:

$$C_{AD} = \frac{\sum_i (C_{AD_{max}} - C_{AD_i})}{(n - 1) \times (n - 2)} \tag{15}$$

$$C_{RD} = \frac{\sum_i (C_{RD_{max}} - C_{RD_i})}{n - 2} \tag{16}$$

式中, C_{AD} 为网络的绝对中心势; $C_{AD_{max}}$ 是网络中最大的绝对中心度; C_{RD} 为网络的相对中心势; $C_{RD_{max}}$ 是网络中最大的相对中心度。

凝聚子群是满足一定定量条件的一个行动者子集合^[42], 在该集合中的行动者之间具有相对较强、直接、紧密、经常的或者积极的关系, 凝聚子群分析的主要目的是识别和分析利益相关者群体内部的子结构状态^[40]。

本研究基于拉萨河流域水电开发生态系统服务的供需情况作为社会网络分析的输入数据, 综合其他相关变量, 分别建立区县、水电站、农牧民的社会网络矩阵, 进行中心度分析、凝聚子群分析和网络可视化。

(1) 区县社会网络矩阵

基于各区县生态系统服务的供给建立水电站间的社会网络矩阵(表 1)。通过表中变量来建立社会网络分析所用的 2-mode 矩阵。在 UCINET 中将赋值的 2-mode 矩阵标准化后转化为 1-mode 矩阵使用 UCINET 进行社会网络分析。

表 1 各区县社会网络矩阵变量字段
Table 1 Variable fields of counties social network matrix

项目 Items	内容 Content	字段代码 Field code
区县(A) County	达孜县	A1
	城关区	A2
	当雄县	A3
	堆龙德庆区	A4
	林周县	A5
	墨竹工卡县	A6
	曲水县	A7
	比如县	A8
	嘉黎县	A9
	色尼区	A10
	桑日县	A11
生态系统服务供给(B) Ecosystem services supply	生态系统产水服务供给/m ³	B1
	生态系统土壤保持服务供给/m ³	B2
	生态系统洪水缓解服务供给/m ³	B3
社会经济(C) Economy	户籍人口/人	C1
	GDP/万元	C2
水电开发(D) Hydropower development	是否为水电企业 1 注册地	D1
	是否为水电企业 2 注册地	D2
	是否有水电站	D3

(2) 水电站社会网络矩阵

基于水电站对生态系统服务的需求,综合水库效益、发电参数以及所属水电企业的利益关系,并加入了“水电站与献多水电站的直线距离”这一变量体现水电站的空间位置差异,共 13 个变量(表 2),建立出社会网络矩阵。献多水电站位于流域的最下游。使用“水电站与献多水电站的直线距离”这一指标既反映了水电站

在流域中的相对位置,也反映了几个水电站在空间中的绝对位置。通过表中变量来建立社会网络分析所用的 2-mode 矩阵,并标准化后转化为 1-mode 矩阵使用 UCINET 进行社会网络分析。

表 2 水电站社会网络矩阵变量字段

Table 2 Variable fields of hydropower stations social network matrix

项目 Items	内容 Content	字段代码 Field code
水电站(H) Hydropower station	纳金水电站	H1
	献多水电站	H2
	平措水电站	H3
	直孔水电站	H4
	旁多水电站	H5
生态系统服务需求(E) Ecosystem services demand	生态系统产水服务需求/m ³	E1
	生态系统土壤保持服务需求/m ³	E2
	生态系统洪水缓解服务需求/m ³	E3
水库效益(F) Reservoir benefits	发电	F1
	防洪	F2
	灌溉	F3
	供水	F4
水电站参数(G) Hydropower station working parameters	总装机容量/kW	G1
	有效库容/m ³	G2
	多年平均发电量/kW·h	G3
水电企业(I) Hydropower enterprise information	国网西藏电力有限公司	I1
	西藏旁多水利发电有限责任公司	I2
位置(J) Location	与献多水电站的直线距离/km	J1

(3) 农牧民社会网络矩阵。农牧民对流域水电开发正负两方面的影响都有不同程度的感知,细化为以下影响项(表 3),针对农牧民的文化程度与认知进行了口语化处理。在 UCINET 中通过问卷数据建立 2-mode 矩阵并在标准化后转化为 1-mode 矩阵用作中心度的分析以及网络可视化。

表 3 农牧民网络分析问卷(节选)

Table 3 Network analysis questionnaire for farmers and herdsmen (excerpt)

影响类型 Impact type	项目 Items		
正面影响 Positive impact	停电次数少了	电价降低了	灌溉使得农业增产
	洪水减少了	更好捕鱼	建设期打工的机会
	灌溉用水更充足	征地补偿	其它
	移民安置		
负面影响 Negative impact	下游干涸导致用水不便	因泄洪出现溺水事故	淹没了土地
	没有不好的影响	修建水库导致交通不便	

2.3 数据来源

研究所需数据主要来源于实地调查与文献资料。2021 年 5 月调查了拉萨河流域水电开发的相关情况。收集了水电站的相关资料;同时对拉萨河流域上中下游 20 个行政村/社区开展农牧民问卷调查,共计回收 409 份问卷。问卷分为 4 个部分,分别是基本信息、水电开发情况、生态补偿和水电开发生态补偿。问卷主要

用来评估拉萨河流域农牧民与水电开发的关系。

3 结果

3.1 生态系统服务供给与需求

(1) 产水服务

由于地处流域下游,曲水县没有为水电开发提供生态系统产水服务。其他 10 个区县提供对产水服务贡献不同(图 2)。嘉黎县和墨竹工卡县提供的产水服务比例最大,分别为 $2.9 \times 10^9 \text{ m}^3$ 、 $1.8 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。城关区最少,为 $4.1 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。直孔水电站和旁多水电站的需求最大,分别为 $1.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(2) 土壤保持服务

土壤保持服务的区县差异较大。墨竹工卡县和嘉黎县为流域提供了最多的土壤保持服务,分别为 $1.21 \times 10^8 \text{ t}$ 、 $1.03 \times 10^8 \text{ t}$ 。除了曲水县外,堆龙德庆区的土壤保持服务最低,为 $9.31 \times 10^5 \text{ t}$ 。旁多水电站和直孔水电站对土壤保持服务的需求同样最高,分别为 $7.40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $10.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(3) 洪水缓解服务

洪水缓解服务的区县差异也较大。嘉黎县和当雄县是提供洪水缓解服务最大的两个县,分别为 $1.49 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $1.41 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。达孜县、城关区、曲水县、比如县和桑日县提供的洪水缓解服务都较低。旁多水电站和直孔水电站对洪水缓解服务的需求也较高。旁多水电站对单次暴雨潜在洪水量的最大需求为 $1.40 \times 10^8 \text{ m}^3$,为调洪库容的 1.5 倍;直孔水电站对单次暴雨潜在洪水量的最大需求为 $1.97 \times 10^8 \text{ m}^3$,为调洪库容的 2.2 倍。

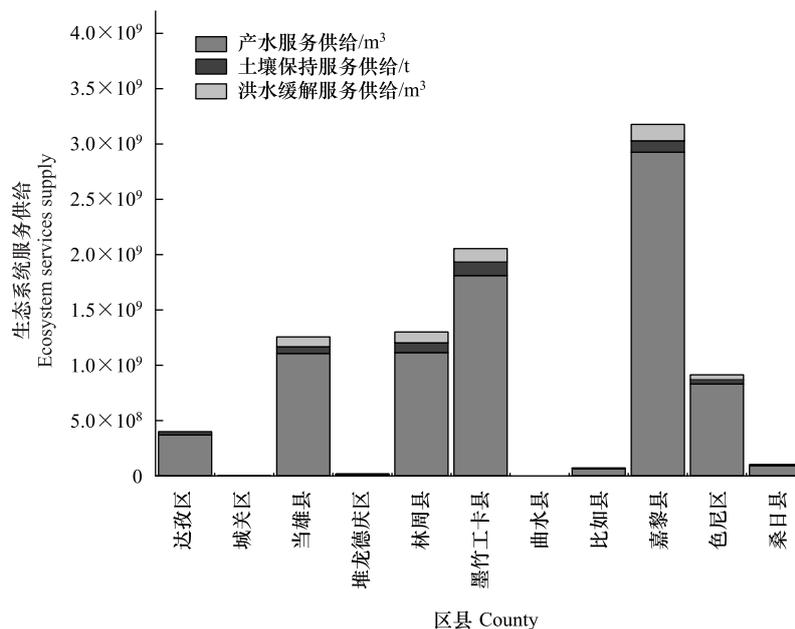


图 2 拉萨河流域各区县关键生态系统服务供给

Fig.2 Supply of key ecosystem services in counties of Lhasa River Basin

3.2 利益相关者分析

3.2.1 生态系统服务供给区县

拉萨河流域涉及 3 个地市和 11 个区县,分别为达孜县、城关区、当雄县、堆龙德庆区、林周县、墨竹工卡县、曲水县(属拉萨市);比如县、嘉黎县、色尼区(属那曲市);桑日县(属山南市)。中心度网络分析发现(表 4 和图 3),墨竹工卡县、林周县和嘉黎县有更高的点度中心度,其值分别为 1.750、1.475 和 1.297。墨竹工卡县、林周县和嘉黎县作为一组利益相关者,其在水电开发中的角色和地位相似。三县合计提供了 70.06% 的生态

系统服务。

相对点度中心度和中心势的分析结果同样揭示了墨竹工卡县、林周县和嘉黎县处在生态系统服务供给的中心位置。墨竹工卡县的相对点度中心度和中心势都是最高的,分别为 44.078、0.189。根据图 3 可以发现墨竹工卡县与嘉黎县之间的联系强度最大,其值为 0.397;其次是墨竹工卡县与林周县,其值为 0.393。

表 4 拉萨河流域不同区县的中心度

Table 4 Centrality of counties in Lhasa River Basin

区县 County	点度中心度 Degree centrality	相对点度中心度 Relative degree centrality	中心势 Centralization	区县 County	点度中心度 Degree centrality	相对点度中心度 Relative degree centrality	中心势 Centralization
墨竹工卡县(A6)	1.750	44.078	0.189	色尼区(A10)	0.866	21.819	0.094
林周县(A5)	1.475	37.151	0.159	堆龙德庆区(A4)	0.383	9.646	0.041
嘉黎县(A9)	1.297	32.664	0.140	比如县(A8)	0.294	7.400	0.032
当雄县(A3)	0.975	24.548	0.105	桑日县(A11)	0.233	5.857	0.025
达孜县(A1)	0.886	22.330	0.096	曲水县(A7)	0.222	5.601	0.024
城关区(A2)	0.868	21.853	0.094				

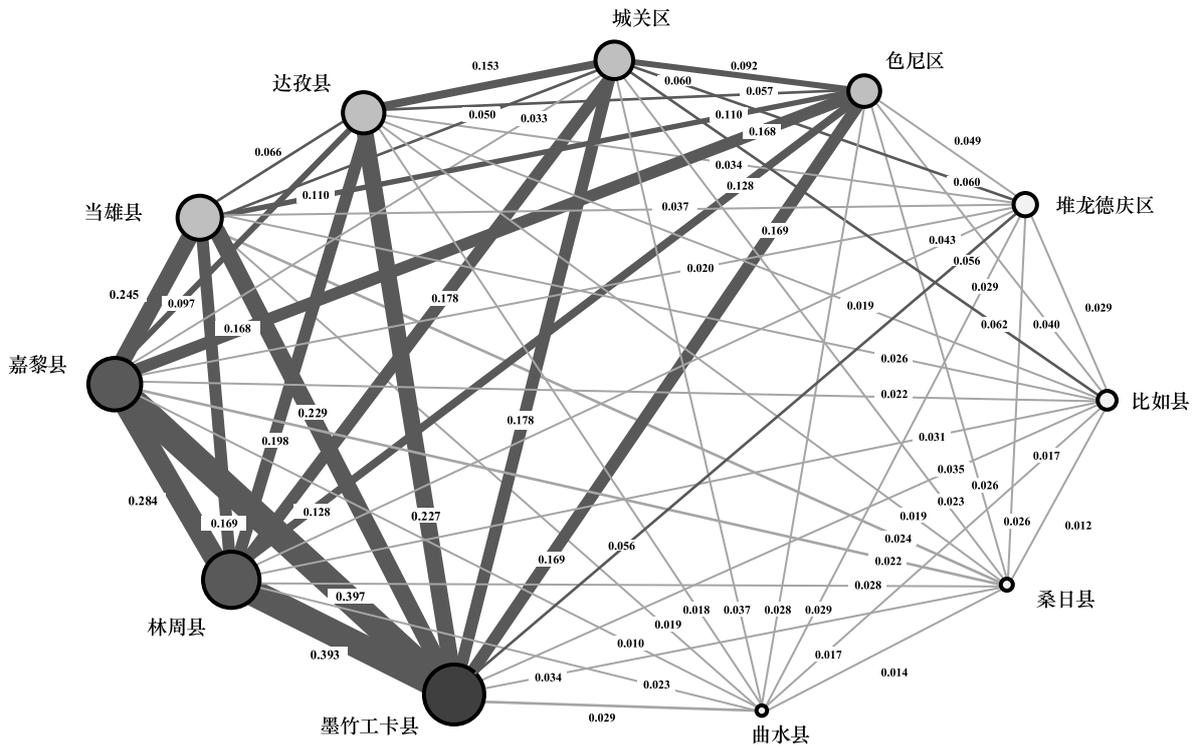


图 3 生态系统服务供给区县网络分析

Fig.3 Counties network analysis of ecosystem services supply

连线上数字代表两者的联系强度

生态系统服务的供给的凝聚子群(图 4)分析反映了区县间相对直接或紧密的关系。可以发现,当 11 个区县分为 4 个凝聚子群时,每个凝聚子群包含的成员分别为:达孜县和桑日县;当雄县、林周县、墨竹工卡县、嘉黎县和色尼区;城关区;曲水县、堆龙德庆区和比如县。虽然每个凝聚子群的角色和地位不同,但可以确定当雄县、林周县、墨竹工卡县、嘉黎县和色尼区组成的 1 个凝聚子群是生态系统服务的核心利益相关者。

3.2.2 梯级水电站

中心度网络分析发现(表 5 和图 5),直孔水电站和旁多水电站有更高的点度中心度,其值分别为 0.368 和 0.345。直孔水电站和旁多水电站作为拉萨河流域装机容量最大的两个水电站,分析结果与梯级水电开发中的实际情况吻合。两个水电站都承担了发电、防洪、灌溉和供水等功能,需要流域上游生态系统为其提供较多的生态系统服务。

相对点度中心度和中心势的分析结果同样揭示了直孔水电站和旁多水电站处在基于生态系统服务需求网络的中心位置。直孔水电站的相对点度中心度和中心势都是最高的,分别为 30.195、0.405。根据图 5 可以发现直孔水电站与旁多水电站之间的联系强度最大,其值为 0.304;最小是旁多水电站与献多水电站,其值为 0.008。

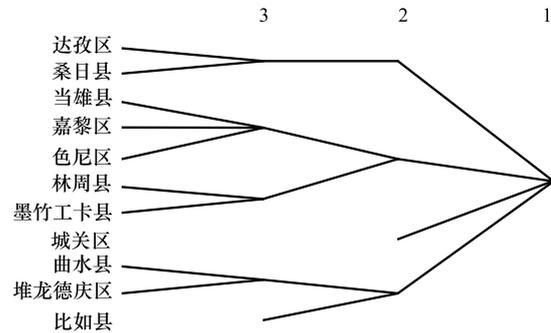


图 4 区县凝聚子群分析

Fig.4 Cohesive subgroup analysis of counties

表 5 拉萨河流域不同水电站的中心度

Table 5 Centrality of hydropower stations in Lhasa River Basin

水电站 Hydropower station	点度中心度 Degree centrality	相对点度中心度 Relative degree centrality	中心势 Centralization	水电站 Hydropower station	点度中心度 Degree centrality	相对点度中心度 Relative degree centrality	中心势 Centralization
献多水电站(H2)	0.055	4.486	0.060	旁多水电站(H5)	0.345	28.322	0.380
纳金水电站(H1)	0.063	5.185	0.069	直孔水电站(H4)	0.368	30.195	0.405
平措水电站(H3)	0.078	6.425	0.086				

3.2.3 水电开发影响区的农牧民

中心度网络分析发现(表 6 和图 6),甘曲村和宁布村有更高的点度中心度,其值分别为 3.541 和 2.411。甘曲村属林周县甘旦曲果镇,该村较多村民是从旁多水库所在地搬迁至该村,因此该村受水电开发的影响较大。中心度网络分析的结果与水电开发实际情况吻合。宁布村以及宗雪村、帮达村等都不同程度的受到了旁多水库和直孔水库的影响,其点度中心度值都较高。在综合考虑水电开发对农牧民影响的社会网络中,靠近直孔水电站和旁多水电站的行政村处于网络中心。而远离水库的农村则对水电开发的影响感知不强,如流域上游的秋赤库村,点度中心度较低,值为 0.192,相对点度中心度和中心势分析结果同样揭示了甘曲村和宁布村处在基于农牧民对水电开发的影响感知的社会网络的中心位置,甘曲村的相对点度中心度和中心势都是最高的,分别为 31.611、0.170。

根据图 6 可以发现,甘曲村分别与“灌溉使得农业增产”、“灌溉用水更充足”之间的联系强度最大,其值分别为 0.792、0.667。甘曲村与“修建水库导致交通不便”之间的联系强度较大,其值为 0.650。流域下游的桑珠林村与“下游干涸导致用水不便”之间的联系强度也较大,其值为 0.583。结果表明,水电开发对距离水库较近的农牧民影响较大,且主要为正面影响,体现在农业灌溉方面。

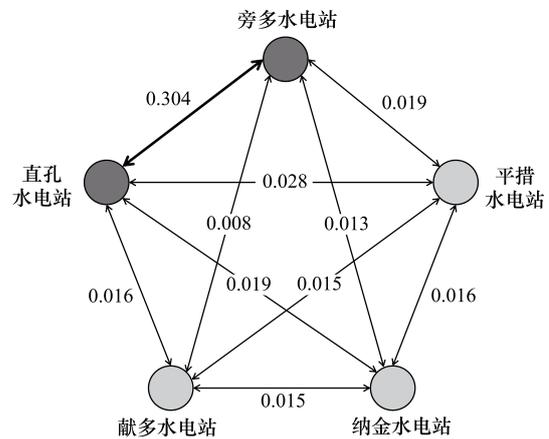


图 5 水电站网络分析可视化

Fig.5 Hydropower stations network analysis of ecosystem services demand

连线上数字为联系强度,由 2-mode 矩阵标准化为 1-mode 矩阵得出,取值范围为[0,1]

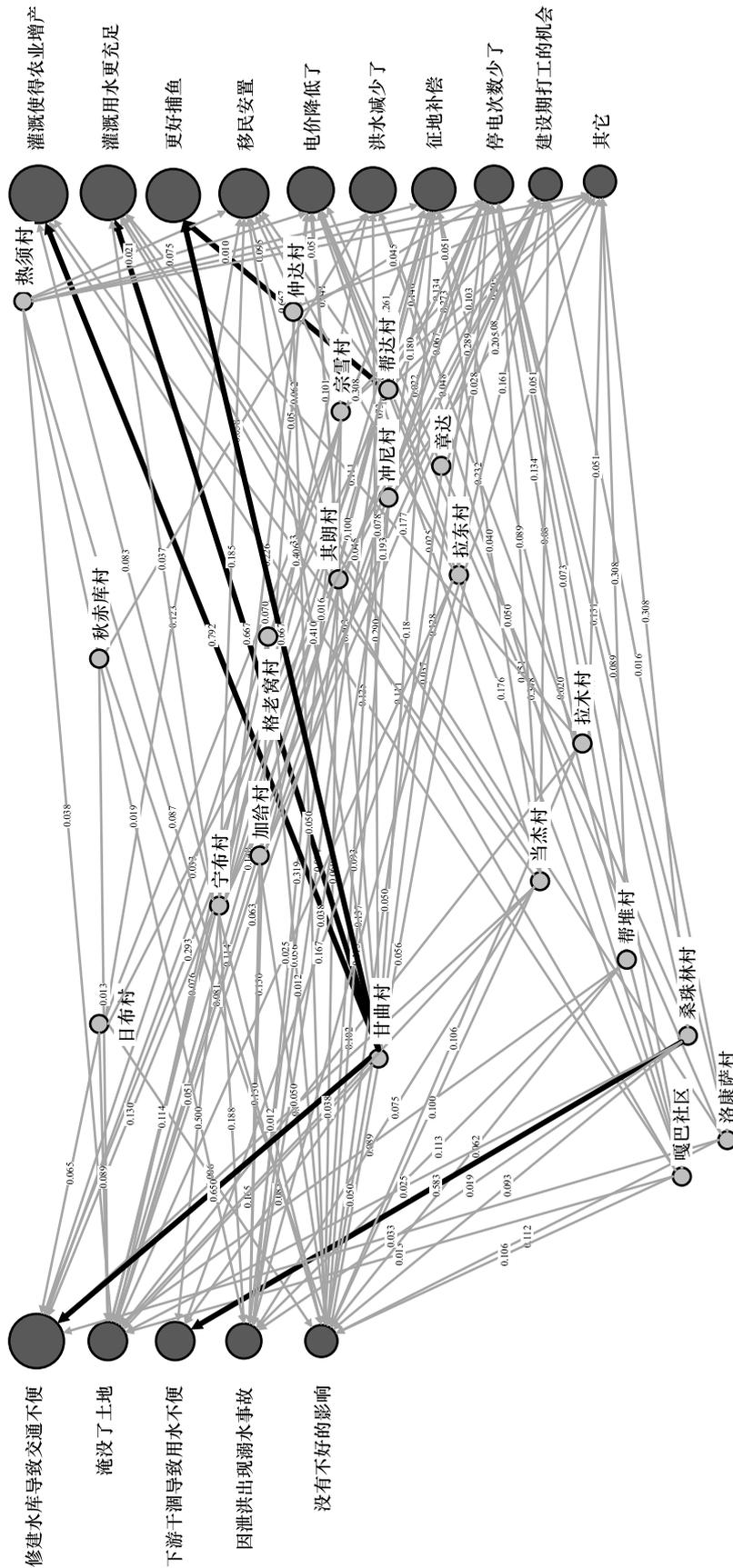


图6 农牧民影响感知网络分析可视化
Fig. 6 Visualization of impact perception network analysis for farmers

表 6 不同行政村/社区的中心度

Table 6 Centrality of villages/communities

行政村/社区 Villages/ communities	点度中心度 Degree centrality	相对点度 中心度 Relative degree centrality	中心势 Centralization	行政村/社区 Villages/ communities	点度中心度 Degree centrality	相对点度 中心度 Relative degree centrality	中心势 Centralization
甘曲村	3.541	31.611	0.170	其朗村	0.823	7.343	0.040
宁布村	2.411	21.520	0.116	帮堆村	0.734	6.555	0.035
宗雪村	1.566	13.975	0.075	加给村	0.733	6.542	0.035
帮达村	1.498	13.373	0.072	洛康萨村	0.538	4.802	0.026
当杰村	1.351	12.055	0.065	热须村	0.501	4.472	0.024
拉东村	1.302	11.620	0.063	日布村	0.460	4.107	0.022
桑珠林村	1.170	10.440	0.056	格老窝村	0.446	3.981	0.021
冲尼村	1.119	9.992	0.054	仲达村	0.252	2.248	0.012
嘎巴社区	1.111	9.918	0.053	秋赤库村	0.192	1.715	0.009
拉木村	0.873	7.790	0.042	章达	0.165	1.469	0.008

20 个行政村/社区的凝聚子群分析如图 7。可以发现三级凝聚子群将 20 个行政村分为 8 个凝聚子群;二级凝聚子群将 20 个行政村可分为 4 个凝聚子群。当 20 个行政村分为 4 个凝聚子群时,每个凝聚子群包含的成员为:日布村、宁布村、甘曲村等 8 个村和秋赤库村、拉木村、仲达村等 12 个村。每个凝聚子群的角色和地位不同,但可以确定日布村、宁布村、甘曲村等 8 个村组成的凝聚子群必然是受拉萨河流域水电开发影响最大的一组核心利益相关者。

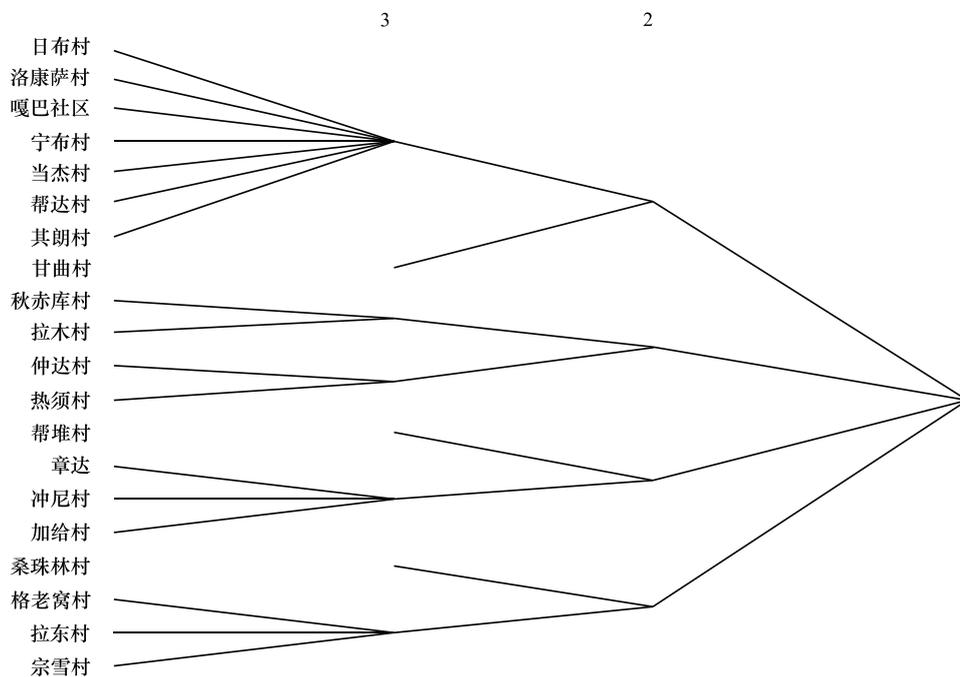


图 7 凝聚子群分析

Fig.7 Cohesive subgroup analysis of villages/communities

4 讨论

水电开发的利益主体在社会网络中具有不同地位,这主要由生态系统服务供需关系决定。在流域水电开发中,水电站是重要的利益相关者。由于多数流域采用梯级开发,不同电站的重要性存在差别。本研究表明,

在拉萨河干流的五个梯级中,直孔水电站和旁多水电站处于网络中心,其中心度分别是 0.368 和 0.345,是其余三个电站平均中心度的 5.6 倍和 5.3 倍。这种差异与两个电站具有最高的生态系统服务需求有关。例如,直孔水电站和旁多水电站对水源涵养需求分别为 $1.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1.33 \times 10^8 \text{ m}^3$,是纳金电站的 2.4 倍。直孔水电站和旁多水电站的土壤保持服务与洪水缓解服务也为最高。对应生态系统服务的需求主体,11 个区县是生态系统服务供给方。图 3 和表 4 表明,墨竹工卡县、林周县和嘉黎县是供给网络的中心,其生态系统服务的供给量最高。嘉黎县水源涵养、土壤保持和洪水缓解服务的供给分别达到 $2.93 \times 10^9 \text{ m}^3$ 、 $1.03 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $1.49 \times 10^8 \text{ m}^3$,是 11 个县平均值的 3.86、2.55 和 3.01 倍。嘉黎县提供的水源涵养、土壤保持和洪水缓解服务是城关区的 7151、10857 和 4390 倍。供需双方的空间关系也会影响供给网络^[44]。例如,当雄县和色尼区也具有较高的生态系统服务供给水平。当雄县三种服务分别为 11 县区平均值的 1.46、1.47 和 1.81 倍,色尼区的产水服务供给量为 $0.83 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。但其中心度不高,仅为 0.975 和 0.866。表明这两个县的重要程度不及嘉黎县等三个县。原因在于色尼区和当雄县的生态系统服务并不全部能被电站利用。色尼区 85.02% 的面积处于拉萨河流域之外。当雄县 26.78% 的面积属于堆龙曲流域,其径流与泥沙都在梯级电站的下游汇入拉萨河,因此这部分的生态系统服务无法被水电站利用。表 6 显示,甘曲村与宁布村处于村庄网络的中心,中心度分别为 3.541 和 2.411,分别是网络平均中心度的 3.4 倍和 2.3 倍。甘曲村农户对农业增产、用水充足、更好捕鱼的感知更强,说明此村庄因利用生态系统服务而直接受益。宁布村村民多为旁多水电站库区的安置移民,对停电次数减少、电价降低的感知更强。尽管农户不能直接感知生态系统服务的变化,但确实受到了生态变化的影响,体现了生态系统服务供需关系的间接作用。凝聚子群的分析结果揭示了不同利益主体间的联系程度^[42]。需求网络的研究对象较少,未进行凝聚子群分析。供给网络可以分为 6 个子群。根据图 2 和图 4,当雄县、嘉黎县和色尼区同属一个子群,之间的联系强度更高,同属生态系统服务的高供给区。嘉黎县生态系统服务供给最多,色尼区与当雄县的三种服务的供给量相差不大,例如产水服务分别是 $1.10 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $0.83 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。林周县和墨竹工卡县的联系更紧密。这不仅与生态系统服务供给水平有关,也受流域位置的影响。例如,两个县空间相邻,且均位于拉萨河中游河段,分别是旁多水电站与直孔水电站的所在地。生态系统服务供给水平接近,产水服务分别是 1.81×10^9 和 $1.12 \times 10^9 \text{ m}^3$;土壤保持服务分别是 $1.21 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $0.88 \times 10^8 \text{ t}$;洪水保持服务分别是 $0.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.89 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。相比而言,农户社会网络较为复杂,20 个村庄共分为 8 个凝聚子群。其中,最大的一个子群由日布村、宁布村等 7 个村组成。这些村庄分散在流域的中游和下游,空间上没有明显的聚集特征,但在社会关系上具有紧密的联系。原因是这些农牧民对水电开发的影响具有相似的感知。他们对水电开发的正向感知大于负向感知,正向感知以用水充足、电价降低为主;负向感知以交通不便为主。

比较三类不同利益主体的社会网络分析结果,可以发现其中的一致性和差异性。这证明采用多视角分析水电开发的利益相关者极为必要^[18]。社会网络分析的一致性表现在对中心主体的识别。无论是供给主体还是需求主体,都是流域中游为中心。例如,位于中游的旁多水电站和直孔水电站是需求网络的中心。处于供给网络中心的三个县有两个都位于流域中游。在农户网络中,位于中心的村庄主要分布在中游。例如,宁布村位于旁多水电站的库区附近,距大坝直线距离为 1.3 km。甘曲村位于林周县,是旁多水电站的库区移民安置区。三个网络结果的一致性也证明了社会网络分析结果的合理性。同时,网络分析的结果也显示了三种不同视角分析结果的差异。农牧民的社会网络分析结果显示,除直孔和旁多水电站周边的村庄中心度最高之外,纳金电站、平措电站附近的村庄如当杰村、桑珠林村、嘎巴社区等也有较高的中心度。这说明水电站的规模差异对水电开发影响感知差异不成等比例关系。例如,旁多水电站的库容和装机容量比平措水电站高 30 倍之多,但旁多水电站附近的宁布村的中心度仅比平措水电站附近的当杰村高约 2 倍。另外,对水电开发影响感知较大的不仅有库区附近的村庄,也有离库区较远接受移民的村庄(如甘曲村)。这表明单一视角的利益相关者存在局限性。Martin 等^[45]提出,生态系统服务感知评估需包括各层次的利益相关者的影响感知。Rodríguez—Morales 等发现土地所有者和游客对森林生态系统服务的看法不同^[46],也证实了多视角分析的重要性。

基于生态系统服务评估的利益相关者分析为制定生态补偿方案提供了直接依据。水电开发改变了流域中各类主体的原有利益关系,需通过生态补偿机制予以调节^[47]。但相关研究表明,水电开发的生态补偿通常以移民安置、生态修复等方式为主,生态系统服务考虑较少^[48]。但事实上,水电开发对生态系统服务的直接利用容易建立市场化的补偿机制。造成这种反差的重要原因是对各种利益主体间的关系缺乏清楚认识。本文将生态系统服务定量评估与利益相关者分析有机结合。为解决补偿关系不明的问题提供了新思路。首先,我们根据对生态系统服务的供需关系,将水电开发的相关利益群体分为了水电站、政府和农牧民三类。其次,识别了需求方主要的受益者和提供方主要的受损者。直孔和旁多水电站处于社会网络的中心位置,应作为补偿的主体。墨竹工卡县、林周县和嘉黎县位于供给网络中心,是生态系统服务最重要的供给者,应首先得到补偿。农牧民与水电开发的关系相对复杂。由于甘曲村和桑珠林村对水电开发的负向感知较强,可以获得更高比例的生态补偿。这属于生态损害的赔偿范围。同时,农牧民对流域生态的保护使其成为生态系统服务的最终供给者,需要得到补偿。但这需要未来更精细的评估。

研究集成了生态系统服务评估和社会网络分析方法,为定量揭示利益关系提供了方法。利益相关者分析已广泛应用于生态保护的多个场景,如海洋资源生态补偿、生态旅游利益分配、湿地生态补偿等^[12, 47, 49],但多数研究对利益相关者的分析为简单的定性描述^[7, 50]。社会网络分析方法则大多应用于社会经济学领域^[51-52]。少数基于社会网络的利益相关者分析实现了量化,体现的是利益相关者的主观感受,例如, Kathleen 等^[30]基于感知调查描述了苏格兰三个流域的利益相关者网络,缺乏与生态评估的对接,具有局限性。我们把生态系统供需评估结果输入社会网络分析模型,实现了水电开发利益相关者的量化分析。解决了利益相关者分析难以定量刻画的问题^[53]。关于中心性与凝聚子群的划分都依赖生态系统服务的评估结果。例如,直孔水电站和旁多水电站的中心地位与其高的服务需求有关。墨竹工卡县、林周县和嘉黎县的中心地位与供给水平高有关。

方法也存在一定的局限性。由于拉萨河干流水电站数量少,需求分析对象较少,方法的优点不明显。但对于高密度水电开发流域进行分析效果会更好。相较于传统的利益相关者分析^[5-6],本方法对生态系统服务供需进行了评估。第三,利益关系网络存在多个层次。各层次内部有多个主体^[11]。例如,水电开发过程中建设单位、运营单位、维护单位主体存在差别,其股东也存在网络关系^[54]。本方法只对层次内部进行了分析,对层次间的关系未做分析。

5 结论

利益相关者分析是流域生态评估与管理的重要内容,是确定生态补偿标准的重要步骤,但定量研究非常薄弱。本研究综合生态系统服务评估模型与社会网络分析方法,实现了生态系统服务利益相关者的量化分析。我们发现拉萨河流域梯级开发的水电站中,直孔水电站和旁多水电站是最重要的生态系统服务利用者。墨竹工卡县、林周县和嘉黎县是水电开发中最关键的生态系统服务来源地。基于拉萨河流域上中下游 20 个行政村/社区农牧民的调查问卷数据进行的社会网络分析发现,流域中的农牧民对水电开发正负两方面的影响都有不同程度的感知,以正向感知为主,受旁多水电站影响的甘曲村和宁布村是村庄中核心的利益相关者,这一结果也证实了水电站和区县的社会网络分析结果。此方法结合了社会属性与生态属性,为流域生态补偿提供了科学合理的依据。基于生态系统服务的社会网络分析,旁多水电站和直孔水电站应成为生态补偿的支付者,而嘉黎县应成为生态补偿的受偿者。

参考文献 (References):

- [1] 阮本清, 许凤冉, 张春玲. 流域生态补偿研究进展与实践. 水利学报, 2008, 39(10): 1220-1225.
- [2] 俞海, 任勇. 流域生态补偿机制的关键问题分析——以南水北调中线水源涵养区为例. 资源科学, 2007, 29(2): 28-33.
- [3] Qin C Y, Fu B, Zhu X K, Dunyu D J, Bianba C R, Baima R Z. Spatial and temporal patterns of hydropower development on the qinghai-tibet plateau. Sustainability, 2023, 15(8): 6688.

- [4] 李丹, 贺昌政, 刘玉峰. 西部水电资源开发对县域产业结构的影响. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(5): 149-156.
- [5] 陈绍晴, 池韵雯, 陈彬. 城市资源可持续管理的联合网络分析: 综述与展望. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(11): 20-33.
- [6] 周丹. 自然保护区利益相关者的社会网络分析——以河南伏牛山国家级自然保护区老君山辖区为例. *自然保护地*, 2022, 2(3): 82-91.
- [7] Chen H Y, He L S, Li P, Zeng X H, You C J. Relationship of stakeholders in protected areas and tourism ecological compensation: a case study of Sanya coral reef national nature reserve in China. *Journal of Resources and Ecology*, 2018, 9(2): 164-173.
- [8] Zhou Z X, Sun X R, Zhang X T, Wang Y. Inter-regional ecological compensation in the Yellow River Basin based on the value of ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 2022, 322: 116073.
- [9] 王兴杰, 张骞之, 刘晓雯, 温武军. 生态补偿的概念、标准及政府的作用——基于人类活动对生态系统作用类型分析. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(5): 41-50.
- [10] Liu M C, Yang L, Min Q W. Establishment of an eco-compensation fund based on eco-services consumption. *Journal of Environmental Management*, 2018, 211: 306-312.
- [11] 贾生华, 陈宏辉. 利益相关者的界定方法述评. *外国经济与管理*, 2002, 24(5): 13-18.
- [12] 马国勇, 陈红. 基于利益相关者理论的生态补偿机制研究. *生态经济*, 2014, 30(4): 33-36, 49.
- [13] Derakhshan R, Turner R, Mancini M. Project governance and stakeholders: a literature review. *International Journal of Project Management*, 2019, 37(1): 98-116.
- [14] Bridoux F, Stoelhorst J W. Stakeholder theory, strategy, and organization: past, present, and future. *Strategic Organization*, 2022, 20(4): 797-809.
- [15] Reed M S. Stakeholder participation for environmental management: a literature review. *Biological Conservation*, 2008, 141(10): 2417-2431.
- [16] Reed M S, Graves A, Dandy N, Posthumus H, Hubacek K, Morris J, Prell C, Quinn C H, Stringer L C. Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90: 1933-1949.
- [17] Belal A, Hussein F. Awareness raising workshop on the implementation of the united nations convention to combat desertification. *Natural Resources Forum*, 2007, 31: 198-211.
- [18] 张宇硕, 刘博宇, 毕旭, 王彬, 睦任静. 基于利益相关者感知视角的生态系统服务研究进展. *自然资源学报*, 2023, 38(5): 1300-1317.
- [19] Raum S. A framework for integrating systematic stakeholder analysis in ecosystem services research; Stakeholder mapping for forest ecosystem services in the UK. *Ecosystem Services*, 2018, 29: 170-184.
- [20] Hein L, van Koppen K, de Groot R S, van Ierland E C. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 2006, 57(2): 209-228.
- [21] 丁远鑫, 刘春兰, 裴厦, 张继平, 刘晓娜. 不同利益相关者对生态涵养区生态系统服务的认知分析. *水土保持研究*, 2023, 30(5): 453-461.
- [22] 冉圣宏, 谈明洪, 吕昌河. 基于利益相关者的 LUCC 生态风险研究——以延河流域为例. *地理科学进展*, 2010, 29(4): 439-444.
- [23] 李芬, 甄霖, 黄河清, 韩鹏, 刘雪林, 姜鲁光, 魏云洁. 土地利用功能变化与利益相关者受偿意愿及经济补偿研究——以鄱阳湖生态脆弱区为例. *资源科学*, 2009, 31(4): 580-589.
- [24] Yang L E, Chan F K S, Scheffran J. Climate change, water management and stakeholder analysis in the Dongjiang River Basin in South China. *International Journal of Water Resources Development*, 2018, 34(2): 166-191.
- [25] 魏瑞斌. 社会网络分析在关键词网络分析中的实证研究. *情报杂志*, 2009, 28(9): 46-49.
- [26] Prell C, Hubacek K, Reed M. Stakeholder analysis and social network analysis in natural resource management. *Society & Natural Resources*, 2009, 22(6): 501-518.
- [27] Ahmadi A, Kerachian R, Rahimi R, Emami Skardi M J. Comparing and combining Social Network Analysis and Stakeholder Analysis for natural resource governance. *Environmental Development*, 2019, 32: 100451.
- [28] Yamaki K. Applying social network analysis to stakeholder analysis in Japan's natural resource governance: two endangered species conservation activity cases. *Journal of Forest Research*, 2017, 22(2): 83-90.
- [29] Horning D, Bauer B O, Cohen S J. Missing bridges: social network (dis)connectivity in water governance. *Utilities Policy*, 2016, 43: 59-70.
- [30] Stosch K C, Quilliam R S, Bunnefeld N, Oliver D M. Rapid characterisation of stakeholder networks in three catchments reveals contrasting land-water management issues. *Land*, 2022, 11(12): 19.
- [31] Grimble R, Chan M K. Stakeholder analysis for natural resource management in developing countries. *Natural Resources Forum*, 1995, 19(2): 113-124.
- [32] 张核真, 卓玛, 向飞, 卓嘎, 格桑. 1981—2013 年气候因子变化对西藏拉萨河径流的影响. *冰川冻土*, 2015, 37(5): 1304-1311.
- [33] Zhang L, Dawes W R, Walker G R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, 2001, 37(3): 701-708.

- [34] 方广玲, 香宝, 赵卫, 谢强, 刁兆岩, 迟文峰. 基于 GIS 和 RUSLE 的拉萨河流域土壤侵蚀研究. 水土保持学报, 2015, 29(3): 6-12.
- [35] 邓安军, 陈建国, 胡海华, 张国帅. 我国水库淤损情势分析. 水利学报, 2022, 53(3): 325-332.
- [36] 陈建国, 邓安军, 胡海华. 水库年平均淤损率影响因素分析. 泥沙研究, 2019, 44(4): 1-5.
- [37] 伍超, 黄国富, 张挺, 谭时祥, 张晋秋, 卢红. 纳金电站泥沙病害研究. 水动力学研究与进展: A 辑, 2000, 15(4): 505-510.
- [38] 王育杰, 牛占. 水库淤积物密实变化对冲淤计算与库容影响的研究. 泥沙研究, 2020, 45(3): 46-52.
- [39] 李敬, 陈澍, 万广华, 付陈梅. 中国区域经济增长的空间关联及其解释——基于网络分析方法. 经济研究, 2014, 49(11): 4-16.
- [40] 徐媛媛, 朱庆华. 社会网络分析法在引文分析中的实证研究. 情报理论与实践, 2008, 31(2): 184-188.
- [41] 王洪伟, 高松, 陆颀. 基于 LDA 和 SNA 的在线新闻热点识别研究. 情报学报, 2016, 35(10): 1022-1037.
- [42] 李亮, 朱庆华. 社会网络分析方法在合著分析中的实证研究. 情报科学, 2008, 26(4): 549-555.
- [43] 朱庆华, 李亮. 社会网络分析法及其在情报学中的应用. 情报理论与实践, 2008, 31(2): 179-183, 174.
- [44] 罗泓然, 周启刚, 李辉, 伍龙江, 毛永发, 夏玉松, 陈芳焱. 基于社会网络分析法的土地利用碳收支空间关联关系演变: 以重庆主城都市区为例. 环境科学, 1-17 [2024-03-22]. <https://doi.org/10.13227/j.hjkk.202308150>.
- [45] Martín-López B, Iniesta-Arandia I, García-Llorente M, Palomo I, Casado-Arzuaga I, Amo D G, Gómez-Baggethun E, Oteros-Rozas E, Palacios-Agundez I, Willaerts B, González J A, Santos-Martín F, Onaindia M, López-Santiago C, Montes C. Uncovering ecosystem service bundles through social preferences. PLoS One, 2012, 7(6): e38970.
- [46] Rodríguez-Morales B, Rocas-Díaz J V, Kelemen E, Pataki G, Díaz-Varela E. Perception of ecosystem services and disservices on a peri-urban communal forest: are landowners' and visitors' perspectives dissimilar? Ecosystem Services, 2020, 43: 101089.
- [47] 宋瑞. 我国生态旅游利益相关者分析. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(1): 39-44.
- [48] 朱小康, 傅斌. 中国水电开发的生态补偿机制研究进展. 中国国土资源经济, 2021, 34(9): 47-54.
- [49] 韩秋影, 黄小平, 施平. 生态补偿在海洋生态资源管理中的应用. 生态学杂志, 2007, 26(1): 126-130.
- [50] 龙开胜, 王雨蓉, 赵亚莉, 陈利根. 长三角地区生态补偿利益相关者及其行为响应. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(8): 43-49.
- [51] 胡金焱, 张博. 社会网络、民间融资与家庭创业——基于中国城乡差异的实证分析. 金融研究, 2014(10): 148-163.
- [52] 陈银飞. 2000—2009 年世界贸易格局的社会网络分析. 国际贸易问题, 2011(11): 31-42.
- [53] Berg C, Rogers S, Mineau M. Building scenarios for ecosystem services tools: developing a methodology for efficient engagement with expert stakeholders. Futures, 2016, 81: 68-80.
- [54] 王佳宁, 唐文哲, 李宇轩, 沈咏梅. 大型水电开发企业业主能力研究. 水力发电学报, 2013, 32(6): 283-286, 307.