

基于社会-生态系统视角的水价值重构 与流域治理框架研究

刘高峰^{1,2}, 徐智礼¹, 李佳静¹

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 江苏省习近平新时代中国特色社会主义思想
研究中心河海大学基地, 江苏 南京 210098)

摘要:人们对水价值的片面认知和短视行为是造成流域水域面积萎缩、水质恶化、生物多样性减少、生态退化等一系列社会环境问题的重要原因之一。因此,秉持追根溯源、系统治理的原则,从社会-生态系统整体性视角重新全面认知水的多元价值,探索流域治理创新模式,对解决水生态环境问题、实现社会可持续发展至关重要。基于我国流域治理历史脉络的梳理,归纳不同历史阶段水价值认知状况及流域治水思路,在此基础上重新审视新时期基于社会-生态系统视角的流域多元水价值内涵,构建了包含价值维、过程维、技术维、组织维、制度维的流域“五维”治理框架,提出了治理的关键行动路径。研究发现:水价值是多元化的且不同价值之间存在内在关联,水价值的认知影响着流域治理的创新。当前,水的经济价值得到了广泛关注,但水在生态、环境、社会和文化等层面上的巨大价值却被忽略。与此同时,水生态价值的基础性、共享性和不可分割性决定了流域治理必须是多主体的合作协同,且现代化的数智技术为流域的价值测度和协同治理提供有利条件。为此,创新多元水价值显性测度方法、构建多元主体协同合作学习机制、打造全数据链路的协同治理决策平台是实现流域“五维”治理的关键路径。

关键词:多元水价值;流域;社会-生态系统;重构;治理框架

中图分类号:TV213.4;N945.1;X37 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-4970(2024)06-0080-11

当前,流域水资源情势发生显著变化,其水量水质状况的“晴雨表”则直接反映在河湖上。河湖是水资源、水环境和水生态的重要载体,也是生态系统的重要组成部分。习近平总书记强调,碧水保卫战要促进“人水和谐”,统筹水资源、水环境、水生态治理,深入推进长江、黄河等大江大河和重要湖泊保护治理^[1]。党的二十届三中全会进一步指出,要推动重要流域构建上下游贯通一体的生态环境治理体系^[2]。可

见,兼顾流域水资源开发利用和生态环境治理仍是当前迫切需要解决的国家需求。实际上,流域水生态环境问题究其根源在于人类活动倾向于关注以社会经济价值为导向的河湖水资源利用与分配,忽视了河湖留存水在流域生态、环境、社会和文化等多维层面无法用价格衡量的巨大价值,同时也忽视了这些不同价值之间内在的权衡及关联性。因此,重新认知水的多元价值,强化河湖生态环境保护和流域系统治理,

引用本文:刘高峰,徐智礼,李佳静. 基于社会-生态系统视角的水价值重构与流域治理框架研究[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2024, 26(6): 80-90.

基金项目:国家自然科学基金面上项目(72174054;42171081);国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(52361145889)

作者简介:刘高峰(1980—),女,副教授,博士,主要从事资源环境管理与风险管理研究。E-mail:gaofengliu@hhu.edu.cn

大力发展水利新质生产力,是实现生态文明建设和社会可持续发展的迫切需求。

社会-生态系统 (social-ecological system, SES) 理论框架是由诺奖得主奥斯特罗姆在 2007 年提出,主要用于分析公共资源治理问题。该框架综合运用生态学、社会学、经济学等不同学科知识分析社会系统与生态系统之间的复杂非线性、多层嵌套互馈耦合关系,被国际公认为是一种能诠释资源环境可持续发展的有力工具^[3]。流域是包含了水系、土地、植被、生物和人类活动等的复杂系统,水、土、植被等自然资源及其生态系统为人类社会提供了一系列服务,包括食物、水源、气候调节、洪水调蓄、休闲文化等,是人类社会生存和发展的基础;人类农业、工业、城市化等社会活动,又会影响流域水质、水量、生物多样性和生态系统服务功能。可见,流域亦是一个典型的自然环境与人类社会活动相互耦合、相互作用的社会-生态系统。因此,基于社会-生态系统视角,考虑生态系统整体性和流域系统性,重新认知流域多元水价值,揭示河湖保护治理的内在规律并统筹流域与区域的相互关系,构建多元水价值认知下的流域治理框架,对于维护流域生态环境平衡稳定,保障未来国家水网体系健康运营,实现社会与生态的可持续发展均具有十分重要的意义。

一、水价值认知与我国流域治理的历史演变

1. 早期以水经济价值为主导的流域水资源配置管理阶段

“价值”最早应用于经济学范畴,意指物品的使用价值和交换价值(商品价格)。在社会经济系统中,水不仅是生产生活资料,同时也是商品。早期,人们对于水的价值认知主要关注于水资源的经济价值,分别从地租论、劳动价值论、效用价值论等不同经济学视角对水资源价值、水资源费、水资源价格等定义和测算方法展开了研究^[4],形成了两种主要观点:一种观点认为水资源价值就是在特定时间和特定地点购买单位体积水的社会意愿和能够支付的最大值,通过支付意愿函数刻画水资源在灌溉用水、城市用水、清洁水等不同场景下的价值及其带

来的经济收益;另一种观点认为水资源价值是水在经济社会和环境体系循环过程中与评价主体建立起的特殊关系,体现为使用价值、产权价值、劳动价值和补偿价值,在市场经济中通过均衡价格来反映。流域管理主要是以“开源为主,提倡节水”“开源与节流并重”为特征的资源供需配置管理。随着水资源供需矛盾日益突出,计算机技术、地理信息系统快速发展,人们侧重从工程和技术等方面进行水资源优化配置,探讨大系统多目标水资源配置决策模型,相继出现了智能型、多目标、集成式的模拟优化模型技术及水资源配置专家系统等。随着气候变化和人类活动的影响加剧,水资源配置过程存在诸多不确定性和复杂性,人们意识到复杂性科学范式是探讨水资源配置的新思路,开始从复杂系统整体、动态和循环的角度研究水资源配置问题,并从单一的供水效益最大化发展到多目标下流域水资源配置帕累托最优、从单一工程控制水量的优化配置扩展到区域、流域等跨界水域水量优化配置^[5]。这一时期以水经济价值为主导的水资源配置支撑了经济的高速发展。

2. 2005—2020 年以水经济价值为核心、水生态环境价值为约束的流域综合管理阶段

2005 年松花江重大水污染事件、2007 年太湖蓝藻污染事件的集中爆发,标志着我国流域水污染进入高发期,流域水问题也从传统资源型缺水转向了资源型缺水 and 水质型缺水并存的新困境。水的环境价值开始备受关注,水环境价值和复杂不确定性、环境变化与水资源互动影响关系、水环境价值计算等成为研究热点。这时的流域管理强调人水和谐共处^[6],抑制人类过多地向自然界索取,约束只顾眼前利益、损害环境与生态系统的种种不适当需求。一方面,从市场、复杂适应性、多主体协商、利益分配、制度经济学等视角出发,考虑水资源产权界定、组织安排和经济机理对水污染防治、水资源配置及其效率的影响,探讨水资源管理中涉及的利益和社会矛盾,并从制度层面研究水资源的综合管理^[5]。另一方面,我国先后制定了《中华人民共和国水法》《黄河水量调度条例》等法律法规及部门规章,标志着我国水资源管

理向水资源治理方向迈进。随着黄河断流淤积、长江生物多样性减少、鄱阳湖圩堤围垦等河湖水环境、水生态问题的凸显,以及“两山论”的提出,基于自然资源的生态价值理论迅速发展。生态价值理论认为,水资源不仅具有使用价值,还具有生态价值,学者们探讨了考虑河流生态保护的水库群联合调度^[7]、生态优先的多主体合作配置^[8]、流域生态调度、生态补偿的水环境治理^[9]等。最严格水资源管理制度、河长制、湖长制等一系列水综合管理制度的出台,流域管理从单纯追求经济效益最优发展到追求以沟通、协调为特征的经济、社会和生态综合效益最大化,从水量优化配置发展为水量水质联合配置、主体行为影响的适应性配置及生态约束的水资源配置^[5]。水质、生态流量、生物生境等作为约束条件被纳入配置决策,强调水资源、水环境、水生态的综合管理。然而,这一阶段水的价值仍然被低估^[10],一些片面认知和短视行为造成自然生态系统严重退化、服务供给能力下降,从而引发许多社会环境问题。

3. 2020 年至今以水经济价值与水生态环境价值并重的流域系统治理阶段

《中华人民共和国长江保护法》《中华人民共和国黄河保护法》等的相继出台,标志着流域治理实现了从政策引导到法律规范的转变。两部流域的专门法律对流域生态环境保护、资源节约集约利用、防洪救灾、水文化传承等提出了新的要求,兼顾发展和保护,意味着流域进入了水经济价值、水生态环境价值并重的系统治理阶段。这一阶段的流域治理已经跳出了传统配置管理阶段、综合管理阶段以经济价值为导向的水资源管理框架,而是从生态系统整体性和流域系统性出发,将生态系统与人类社会的福祉关联起来,不仅重视水的经济价值,更重视水生态系统服务所带来的无法用价格衡量的巨大价值。近年来,已有学者开展了土地、矿产、林业、大气、水等自然资源资产的价值核算方法研究^[11],抑或是基于联合国千年生态系统评估框架对河流、湖泊、湿地、森林、土地等生态系统服务价值进行了定量评估^[12]。有学者构建了生态生产函数来确定河湖生态系统服务价值,分析面积、水位、蒸发量等河湖生态系统关键特

征对生态系统最终服务的边际影响^[13];还有学者从全球气候变化语境下研究经济、生态、空间等多重维度的水安全治理^[14]。这些研究大大推进了流域多元水价值量化的进程,但生态与社会之间的耦合关系、水生态价值与经济价值之间的关联关系仍关注较少,兼顾发展和保护的流域系统治理还处于探索阶段,亟须转变思维,提升认知,创新治理体系,促进流域可持续发展。

二、社会-生态系统视角下水价值的认知与重构

1. 水价值的认知

随着系统科学、人地关系学、可持续发展理论的不断推进及多学科知识的交叉融合,人们对水价值的认识已从单一维度逐渐演变到系统综合维度^[10],对流域系统的认知也从自然生态系统向社会生态系统视角转变^[3]。社会-生态系统(SES)分析框架强调社会系统与生态系统之间的互馈耦合关系,被认为是增强系统韧性、应对未来不确定性和复杂性的有效途径^[15]。科学认知水价值需要从流域社会-生态系统视角去揭示水在社会、经济、生态不同领域流动、利用及价值实现的底层逻辑,这是提升水价值认知的重要基础,也是流域协同治理的重要保障。流域社会-生态系统包括社会系统和生态系统,然而这两类系统之间并不是简单的交叉叠加,而是社会、经济、生态多要素互动适应的共生系统(图1)。

根据图1可知,流域社会-生态系统可细分为资源系统、资源单元、治理系统、使用者四个核心部件,社会经济与政治背景、外部关联生态系统两个环境变量,以及核心部件与环境变量的交互与输出。其中,资源系统是指流域内所有可以提供生态服务和人类利用的自然资源总和,包括水、土地、生物、气候等各种自然要素及其之间的相互关系和作用,具有整体性;资源单元是指资源系统中可以被利用或消耗的部分,如河流、湖泊中的水量;治理系统涉及人类社会、治理结构、文化等因素,是社会和生态两个子系统多维耦合互动的有机体;使用者是指与资源系统有利益相关性的个人、社区、企业和政

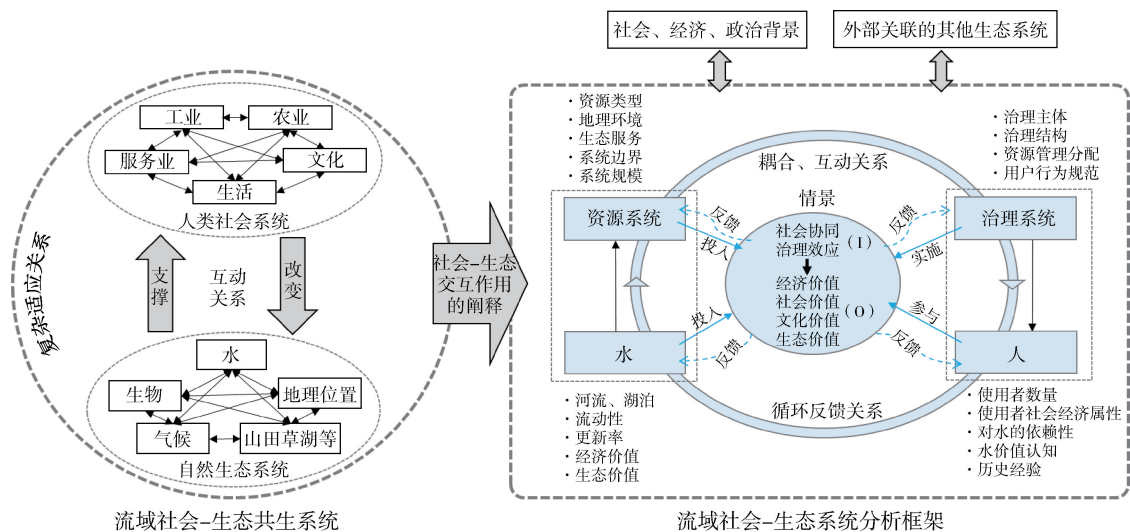


图1 流域社会-生态系统

府机构等。微观层面,资源系统、资源单元、治理系统、使用者四个核心部件各自影响因素之间的交互会影响着资源治理最终演化的结果;宏观层面,这些微观层面影响社会-生态系统演化结果的变量又是嵌套于社会、经济、政治背景的,并与外部关联的生态系统构成了更为复杂的网络,在使用资源并维持系统的过程中,社会系统与生态系统产生复杂的互动活动及结果。

第一,生态系统为社会系统提供基础性的支撑,产生了水的社会价值、经济价值、文化价值、生态价值等多元价值。水生态系统服务包含了经济价值和生态价值在内的人类从生态系统获得的所有惠益^[16]。一方面,生态系统中的河湖向附近居民、产业等社会经济主体提供必要的生态产品、资源和服务以实现河湖水资源的社会、经济价值,这类价值已经被人类广泛认知和开发;另一方面,河湖本身能够保持其生态系统在自然结构和功能方面的健康状态,可视作为河湖水生态系统服务价值的实现过程^[16]。

第二,社会系统对生态系统的作用复杂且深远,直接影响着多元水价值的实现:一方面,这种作用是破坏性的,导致了水生态系统功能的降低,如社会系统过量消耗生态系统提供的水、能、木材等资源,会导致资源枯竭和环境退化;城市化扩张、基础设施建设、生产生活的废物废气废水排放等社会活动,会破坏自然栖息地、污染水环境、影响水生生物多样性和生态平衡、加速气候变暖。另一方面,社会系统通过农

业、工业、建筑和消费活动,消耗生态系统提供的水资源,实现了水的使用价值,并通过环保技术创新、环境政策和法规制定、公众教育与宣传,保护和恢复生态系统,甚至基于自然的解决方案提升生态系统韧性。

第三,社会系统与生态系统之间的共生关系决定了不同水价值之间是互为影响的。如,清洁的水源对于维持生态系统平衡至关重要,而健康的生态系统又能为当地经济带来直接和间接的利益,如旅游业、渔业和农业;反之,如果水资源被过度开发或污染,不仅会破坏生态平衡,还会损害依赖这些资源的经济活动。从短期来看,社会、经济、生态、文化等多元水价值之间可能会因水资源的有限性而产生竞争和制约关系,但从长远来看,两者是相辅相成的,长期被低估的隐性水生态系统服务及其提供的生态价值是流域社会、经济、文化等其他价值实现的先决条件和基础,亦会影响这些价值的最大化实现。

2. 水价值的重构

在“两山论”的引领下,如何重构水价值?如何测度并评估水价值?这些都是流域治理面临的首要问题和关键性难题。水价值重构及其测度将为流域系统治理提供重要基础——水价值信息,成为合作参与者利益分配和政府调控的重要依据。从社会-生态系统理论视角来看,可将流域水源中抽取出去用于农业、工业、生活等的消耗性用水称为“外径流用水”,而将保持

在水域中用于渔业、休闲审美、生态的有益用水称为“内径流用水”(图2)。

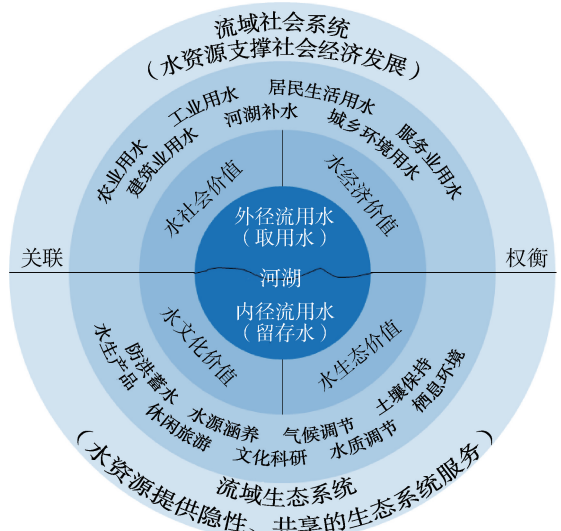


图2 基于社会-生态系统视角的水价值重构

“外径流用水”主要为人类社会经济系统提供水、食物、原材料等供给服务,如农业用水、工业用水、生活用水、服务业用水、城乡环境用水、鱼类食品等,产生社会、经济价值,其属性表现为显性、竞争性和可被分配的,这一部分的水分配极大影响着流域各城市的社会经济发展。“内径流用水”则为流域内的区域提供更广泛的服务,如调节服务(气候、水旱灾害、病虫害调节等),文化服务(旅游、景观、水文化等)以及支持服务(水循环、生物量、土壤保持等),产生了文化和生态价值,在这些价值中包含了部分具有隐性、不可分割、非竞争、非排他和外部性特征且惠及所有区域的公共价值。由此,水

价值应该包括由“外径流用水”产生的社会价值、经济价值和由“内径流用水”带来的文化价值、生态价值组成。

然而,在现实中,每个流域内城市都想分配到更多的“外径流用水”来支撑自身城市社会经济快速发展,而不愿付出较大治理成本去保护共享的生态系统服务,但又希望其他城市多做流域生态环境治理的努力,自己则一起分享治理的收益。当涉及的城市越多、协调成本越高,就越容易陷入集体行动的困境,造成“公地悲剧”。因此,流域水资源的配置与保护必须考虑水价值的多元化及其不同水价值之间的权衡关系。隐性的水生态系统服务价值是不可分割的,必须共建共享,然而各行政区域的独特发展路径与水价值认知的显著差异无疑成了流域协同治理进程中的显著障碍。如果能够充分认识多元水价值,将水的不同价值及其之间的权衡纳入系统和决策过程,对于实现可持续和公平的水资源管理至关重要,这有可能为解决流域河湖“公地悲剧”“集体行动困境”等问题提供一个可行方案。实际上,早在1975年,美国著名的莫诺湖就存在过洛杉矶城市取用水与莫诺湖生态环境保护之间的严重冲突问题,最终美国法院及行政机关在城市取水许可决策中考虑了湖泊的人类和环境用途。

多元水价值的构成需要从支撑、供给、调节、文化共4个服务维度综合理解,通过量化不同类型的水生态系统服务价值来实现多元水价值的货币化核算^[17]。表1显示,水社会、经济

表1 多元水价值测算的关键特征指标及方法

水量	价值	关键指标	评估公式	测算方法
流域河湖水留存量 (内径流用水)	文化、生态价值	水源涵养	水源涵养价值=水资源供给量×单位平均水价	市场价值法
		土壤保持	土壤保持价值=土壤保持量	土壤流失方程
		水质调节	水质调节价值=水面蒸发消耗能量×净化价值	影子工程法
		防洪蓄水	防洪蓄水价值=调蓄洪水量×单位库容成本	影子工程法
		生境质量	生境质量价值=生物多样性×单位治理成本	影子工程法
		航运服务	航运服务价值=水路客、货运周转量×市场价格	市场价值法
	可分价值	水生产品	水生产品价值=水生产品产量×市场价格	市场价值法
区域取用水量 (外径流用水)	社会、经济价值	休闲娱乐	休闲娱乐价值=自然景观游客总人数×市场价格	市场价值法
		第一产业	第一产业价值=第一产业水效用系数×第一产业所耗湖泊外径流用水量	剩余价值法
		第二产业	第二产业价值=第二产业水效用系数×第二产业所耗湖泊外径流用水量	效益分摊系数法
		第三产业	第三产业价值=第三产业水效用系数×第三产业所耗湖泊外径流用水量	效益分摊系数法

价值主要体现在从流域中取水用于各行业所带来的经济产出和社会服务,运用效益分摊系数法和剩余价值法计算三大产业及主要行业的取水社会及经济总价值。水文化、水生态价值运用生态系统生产总值(GEP)核算体系进行测算。水文化、生态价值包括可分价值和不可分价值:可分价值是指流域留存水带来的航运服务、水生产品、旅游休闲娱乐方面的收益,选取水路客货运周转量、水生产品产量及价格、自然景观游客总人数等指标计算;不可分价值体现在水源涵养、土壤保持、水质调节、防洪蓄水、生境质量方面,可选取水源含氧量、土壤保持量、水面蒸发消耗能量、调蓄洪水量、生物多样性等指标计算。基于柯布-道格拉斯生产函数、生态系统服务生产函数,可建立水社会、经济价值与水文化、生态价值以及水量之间的相关关系,为不同价值权衡和水量分配的策略制定提供科学依据。

三、社会-生态系统视角下流域“五维”治理框架

流域社会系统和生态系统的多层嵌套、复合系统的复杂性以及气候环境的不确定性,决定了流域治理不再是一个单一领域的问题,而是一个跨学科、跨部门乃至跨区域的复杂系统工程。因此,构建一个全面、综合且智能的流域治理框架,并促进多要素的高效协作,是当务之急。

1. 治理框架的构建

作为一个复杂而多元的社会生态系统,流域治理工作必须采取多维视角与综合策略。本研究构建的流域“五维”治理框架(图3),根植于对多元化水价值的深刻认知与系统化生态系统服务流的精细分析,以数智技术的创新应用与协同组织的强化建设为关键抓手,紧密跟随并不断优化流域顶层治理制度。这一框架能全方位考量自然、社会、经济、技术及制度等多类要素,以实现对流域系统的全面、高效与可持续治理。

(1) 价值维

流域治理的首要目标是确保水的可持续利用,这涉及水质、水量和水生态等不同层面的保

护,为达成这一目标,必须深刻理解并重视水的多方面价值。在流域治理的“五维”框架中,水的价值维度涵盖了其社会、经济、文化和生态价值,准确识别和衡量这些多元价值,是进行流域综合治理的基础,也为其他维度提供了重要支撑。

(2) 过程维

水的流动特性决定了必须构建流域上下游贯通一体的治理体系,系统性地分析影响其流动全过程的各类因素,剖析生态系统服务流从产生(水源区供给)、传输(汇流区流动)到最终利用(使用区需求)的全链条过程,对准确衡量水的综合价值尤为重要。

(3) 结构维

水的多元价值的交融性、水使用者利益诉求的异质性增加了流域治理的复杂性与动态性:在主体结构上,需构建多元主体协同参与的治理体系;在组织结构上,需形成“纵向到底、横向到边”的多层立体网络;在权力结构上,需加快政府职能转型,从过去的全能型政府“兜底”治理向服务型政府“牵引”治理转变,建立政府牵引、多主体协同治理的机制。

(4) 技术维

技术赋能作为流域治理的关键引擎,正深刻重塑治理范式,强化政府效能,并促进政府与社会力量的协同共进。推进数字孪生流域建设,通过卫星遥感、物联网技术监测社会、生态多维数据,创建社会、生态大数据关联挖掘方法,开展流域综合水价值评估,研发协同决策的推演技术,实现流域治理的数智化。

(5) 制度维

制度体系是实现流域良治善治的关键,包括制度环境、政策工具、评估与实施。宏观层面,中央政府及流域机构通过构建宏观政策框架及特定政策领域基础性制度营造制度环境;中观层面,基于社会奖励类、公平相容类、监督制裁类等政策工具,设计一系列促进协同治理行动的政策方案;微观层面,建立治理政策实施的流程以及不同政策实施下水资源利用、水价值实现的评估反馈机制。

与传统流域水资源治理相比,流域“五维”治理框架在认知、目标、对象、内容等方面都有

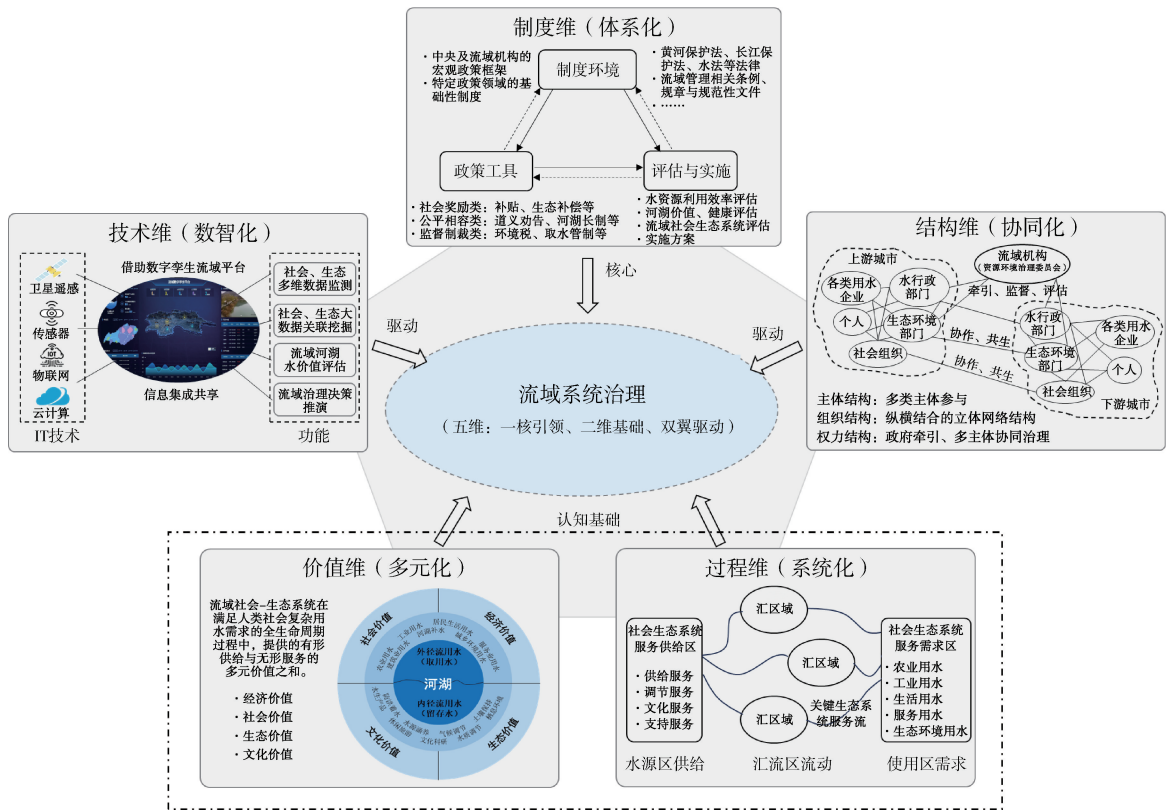


图3 流域“五维”治理框架

较大拓展(表2)。该治理框架强调以多元水价值及生态系统服务流动全过程分析为导向的流域人-水-生态耦合系统的治理,基于这一认知,治理内容也从水资源-社会系统的水量、水质、水生态动态变化扩展到水资源-生态-社会耦合系统的水量-水质-水生态-人类社会的关联影响及协同,以支撑高质量发展和流域韧性提升,并实现社会-生态系统可持续发展。

2. 治理框架的内在逻辑

流域“五维”治理框架的5个关键维度展现了流域治理的核心领域,制度的顶层设计作为指导,水价值的认知和时空转移过程分析构成基石,而数智技术和协同组织则充当动力源,从而形成了流域治理的“一个核心、两大基石、双翼驱动”模式。

(1)水的多元价值及其时空转移过程是流域治理的“两大基石”

在流域社会-生态系统的全生命周期支撑下,人类社会复杂多样的用水需求得以满足,水的价值在这一过程中展现出多元且紧密交织的特性。水体不仅直接服务于农业灌溉、工业用

水等经济活动的有形供给价值,更承载着调节气候、维护生物多样性及生态平衡等无形服务价值。这些价值之间相互依存、互为因果,共同构建了一个复杂而动态的多元水价值体系。在流域治理实践中,正确认知并科学协调这些多元水价值,尤其是重视并强化生态价值的保护与提升,是推动流域系统治理的基石与前提条件。

在多元水价值体系中,生态价值不仅为其其他价值的实现提供了基础条件,还深刻影响着整个流域的可持续发展。生态价值的实现集中体现在生态系统服务复杂动态过程中,自然与社会因素的交织作用促成了其从供应区域至使用区域的时空转移机制,这一过程深刻体现了生态系统服务流的形成与演化。具体而言,水生态系统作为宝贵资源,其各部分协同作用,共同孕育了涵盖供给服务、调节服务、文化服务及支持服务等多样化的服务类型。水,作为服务流的核心媒介,遵循重力与地形等自然规律的引导,自高向低汇聚流动,最终汇聚于河道,形成连贯的水体系统,并沿河流的自然流向,自上

表 2 流域“五维”治理与传统治理的区别

要素	传统流域水资源治理	流域“五维”治理
认知视角	以水社会经济价值为导向的区域社会经济系统视角	以多元水价值及生态系统服务流动全过程治理为导向的流域人-水-生态耦合系统视角
治理目标	社会经济效益最大化、支撑区域快速发展、实现社会经济可持续发展	社会福利最大化、支撑流域高质量发展和韧性提升、实现社会-生态系统可持续发展
治理模式	政府主导、市场调节、利益协调	政府、市场两手发力,价值共创
治理对象	水资源、社会系统	水资源、生态系统、社会系统
治理内容	协调政府组织管理职能,实现水量分配、水质保护、水害防治	聚焦系统内部的相互作用和整体平衡,实现流域水、社会、生态系统协同共生
关注重点	水量、水质、水生态	水量-水质-水生态-人类社会的关联
运用手段	工程技术、最严格水资源管理制度等	数字孪生技术、大数据技术、工程技术、生态系统监测技术、适应性治理制度等

游至下游传递。在此流动过程中,生态系统服务经过各区域,最终满足农业用水、工业用水、服务用水等各类需求,为社会系统消耗享有。深入理解生态系统服务流的供给与需求过程,可以辅助认知及量化多元水价值,平衡不同用途、不同用户、不同时空的需求,共同为流域水资源治理数智赋能、组织协同、制度优化提供坚实的理论基础。水的多元价值及其时空转移过程为流域治理提供了必要的信息和框架性支持,同时也决定了流域治理的目标和方向。

(2) 数智技术和协同组织是流域治理的“双翼驱动”

2024 年水利网信工作的核心任务是致力于推进数字孪生流域、水网及工程的全面构建与融合。当前,物联网、卫星遥感、云计算等技术已深度融入流域治理的每一个环节,从数据监测的精准性到信息收集的高效性,再到数据处理与分析预测的科学性,实现了质的飞跃。数字孪生技术以其全要素、全过程的数字化复刻能力,让流域的复杂动态在虚拟世界中得以精准再现、模拟与前瞻。依托数字孪生流域平台,基于对多元水价值及生态系统服务流的深刻理解,集成服务流监测、水价值评估、治理决策模拟等功能模块,不仅可以强化流域管理的科学性与预见性,更能激发流域社会生态系统管理模式创新活力,有力推动政府引导、社会参与、多元共治、利益共享的流域治理新生态的形成。

基于社会-生态视角的流域治理必须将流域视为一个紧密相连、不可分割的有机整体与基本治理单元,全面统筹流域的上下游、左右岸

及干支流,实施系统性的治理策略,以实现水的可持续利用与保护。作为复杂子系统,流域各上下游城市内部利益相关者之间的相互作用错综复杂,而城市之间的差异(包括地理位置、资源条件、经济发展水平等)催生了多样化的利益诉求,这些诉求交织在一起,极大增加了流域治理系统的复杂性与动态性。在这一纵横交错背景下,各类主体通过紧密的交互作用,构建起一个多元立体组织网络结构,其中纵向的上下游联动机制确保了水流从源头到末端的顺畅治理,而横向的跨部门、跨地区协作则促进了信息共享、资源共享与责任共担。通过不可分的共享生态价值,量化表征流域上下游参与主体的共同利益,那么参与者会更具合作或利他精神,非合作的竞争关系将有可能转为合作关系,而强有力的激励(自主协调、政府治理等)是促进这种转化的有效途径。在此权力结构中,政府发挥着至关重要的牵引作用,通过制定政策、规划方向,为流域治理提供坚实的支撑与保障。作为核心协调者,流域机构运用法律规制的力量,辅以有效的监督与激励机制,调和上下游各方利益,以确保流域内社会、经济与生态系统的和谐共生与协同演进。智能化的技术和协同化的组织不仅能提高治理效率和决策质量,还可促进各方的合作和协调,从而更好地应对流域治理中的复杂性和不确定性。

(3) 制度的顶层设计是流域治理持续性的核心

顶层制度引领流域社会-生态系统的多维治理,制度维展现了各级各类行政主体参与流域治理的形式与内容。具体而言,中央政府及

流域机构通过构建宏观政策框架及特定政策领域基础性制度营造制度环境。已出台的《中华人民共和国长江保护法》《中华人民共和国黄河保护法》强化了流域内跨地区、跨部门的协同管理机制,提供了坚实的法治支撑,确保治理行动的权威性与有效性,成效显著。在此基础上,地方政府积极响应,精准施策,设计出一系列具体政策与实施模式,具体包括社会奖励、公平相容、监督制裁等:社会奖励是对集体协同治理行动的一种正向激励,包括物质补贴、生态补偿、精神荣誉等;河湖长制、道义劝告等公平相容措施平衡了各利益相关者的权益,确保协同治理过程中的公平性与包容性;在监督制裁层面,地方政府使用环境税、取水管制等措施遏制破坏环境、滥用资源的行为,保障治理目标的顺利实现。同时,制度的持续优化与完善离不开科学的评估与反馈机制,在多元水价值理论及生态系统服务流全过程分析的科学指导下,依托协同组织与智能数字平台的强大支持,全面测度流域水的社会、经济、生态、文化价值,同时评估水的利用效率及政策实施效果等,为制度优化提供数据支撑与实证依据。制度体系为流域治理提供明确的指导方针和行动原则,保障治理活动的有效性、一致性和持续性,提升流域治理能力和水平,推动新阶段水利高质量发展。

3. 治理框架的行动路径

(1)借助前沿空间信息技术,创新多元水价值显性测度方法,提升公众认知水平

在“开发利用”与“生态保护”之间寻求最佳平衡,关键在于全面认知水的多元价值。生态系统服务流能够清晰洞察流域内生态系统服务的供需空间分布及其动态流转过程,可以作为连接流域资源系统和利益相关者并作用于治理系统的纽带。针对流域生态系统服务供给缺口与供需失衡等核心挑战,借助前沿空间信息技术与信息科学(如数字孪生技术、大数据分析、物联网体系等),可赋能水资源、水生态监测的精准化与信息收集的高效化,建立深度数据挖掘模型,探究服务簇在流动过程中的相互作用与变化规律,提升其服务效能^[18]。在生态系统服务流动态演变的复杂图景中,人类活动

的流动性因其高度动态与不确定性成为分析难点,在未来大数据赋能下,有望更精准地刻画生态系统服务的流动规律,科学评估其多元价值,为构建人与自然和谐共生的生态文明社会提供坚实的科学依据与技术支撑。

生态系统服务流还能成为评估政策实施效果的重要标尺,可将其纳入政策评估体系和政策工具箱,刻画政策实施对生态系统服务流的正负影响,为政策的动态调整与优化提供数据支持。通过创新可视化技术展示生态系统服务流的运作机理与生态效益,能够显著提升公众的认知水平,促进决策者与公众之间的有效沟通,增强政策推行的社会支持度。

(2)探索流域协同治理模式,构建协同合作学习机制,发挥多元主体的能动作用

我国流域治理当前路径侧重于垂直行政管理与明确权责划分,一定程度上限制了流域治理效能^[19],难以满足高效、可持续的发展需求。在组织架构层面,亟须重塑流域管理组织架构,设置具备统筹功能的主体协调机构,完善河长制、湖长制^[20],引入技术河长、技术湖长并赋予其独立行政权,促进信息技术与治水实践的深度融合,提升流域治理的信息处理精准度与行政执法效率。

面对流域治理的多元挑战,构建高效的协同合作学习机制是激发并维系多元主体能动性的核心策略。协同合作学习机制嵌入了社会学习维度,超越了单一主体的独立决策范畴,强调主观规范对社会心理驱动力的关键作用。利用社会关系网络的渗透力与引导力,强化多元水价值的认知教育与传播,树立正面典范,促使公众将参与治理的主观认知转化为实际行动,构建从学习到行动、再反馈至学习的闭环学习机制,深化对流域复杂性的认知和广泛共识,并灵活调整行动策略,从而持续优化流域系统的治理效能。同时,构建包容性流域治理参与机制,基于民主参与原则,确保政府、企业、非政府组织、社区及公众全程参与治理。明确角色责任,建立透明信息共享平台,减少信息不对称;引入多方协商对话,促进观点融合与创新解决方案,通过这两大机制的协同作用,推动流域治理的转型升级。

(3)构建多维感知观测体系,推进全链路数据标准化,打造流域协同治理决策平台

借助当前各大流域机构建立数字孪生系统的契机,运用物联网、数字孪生、大数据分析等前沿技术,实现数据互联互通,构建横跨水陆空、融合天地人信息的多维感知体系,确保对流域内水文变化、水质状况、生态环境及污染源分布等核心要素的全方位、精细化监测。基于数字孪生可视化技术,针对典型流域开展精细化场景建模,动态反映水生态环境现状。同时,提升流域设施自动化与信息化能力,完善各部门、各区域、各组织数据标准化水平,拓展数据共享服务,形成面向流域各类业务需求的实时“数据湖”,实现国家与地方各级流域管理机构之间的信息共享与高效互动。

持续强化研发创新,运用人工智能、大数据分析等算法,完善流域协同治理决策应用模块,提升流域治理决策推演能力,打造集社会与生态大数据关联挖掘、流域河湖水价值评估、水资源供需预测、水量动态调配等功能于一体的智能决策平台,实现流域协同治理从“数治”到“数智”的转变。此外,定期发布权威评估报告,如《河湖水价值评估报告》《流域可持续发展评估报告》等,为流域协调管理、精准施策、责任追溯及标准统一提供坚实支撑。

四、结 语

流域治理关乎自然生态系统与社会经济系统的可持续发展,其历史演进就是“水价值认知—治理—再认知—再治理……”不断迭代前进的过程。随着人们对水社会、水经济、水工程、水文化、水生态等多维层面认知的不断深入,有必要从系统工程和全局角度寻求新的流域治理之道。遵循生态系统整体性和流域系统性的内在自然规律,笔者从社会-生态系统视角分析了水在社会、经济、生态、文化等多重维度的价值,通过内、外径流用水的内在联系重构了多元水价值及价值之间的内在关联性,构建了一个以多元水价值认知为基础的“多维”治理框架,以有效应对流域治理中的复杂性和不确定性。当然,本研究仅仅提出了一个新的认知和定性框架,后续还需进一步验证框架的适用

性及其应用拓展等。未来可通过对我国长江、黄河、鄱阳湖、太湖、南四湖等大江大河大湖的典型案例分析,进一步提升“多维”框架的解释力和延展性。同时,随着国家水网工程体系和数字孪生流域建设的推进,还可采集流域社会生态系统全要素大数据,构建基于“多维”框架的流域治理大模型,促进智慧流域建设和未来国家水网健康运营。

参考文献:

[1] 习近平. 以美丽中国建设全面推进人与自然和谐共生的现代化[J]. 求是, 2024(1): 4-9.

[2] 中共中央关于进一步全面深化改革 推进中国式现代化的决定[M]. 北京: 人民出版社, 2024.

[3] SONG S, WANG S, WU X, et al. Identifying regime transitions for water governance in the Yellow River Basin, China [J]. Water Resources Research, 2023, 12: 19447973.

[4] 姜文来. 水资源价值论[M]. 北京: 海洋出版社, 1998.

[5] 王慧敏. 水资源协商管理与决策[M]. 北京: 科学出版社, 2018.

[6] 左其亭. 人水和谐论及其应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020.

[7] 王浩, 王旭, 雷晓辉, 等. 梯级水库群联合调度关键技术发展历程与展望[J]. 水利学报, 2019, 50(1): 25-37.

[8] 余璐, 牛文娟, 王丹丹, 等. 基于奖惩机制的流域生态优先水资源多主体合作配置模型[J]. 水利经济, 2023, 41(1): 40-46.

[9] 马军旗, 乐章. 黄河流域生态补偿的水环境治理效应——基于双重差分方法的检验[J]. 资源科学, 2021, 43(11): 2277-2288.

[10] 成琨, 王子欣, 孙楠. 国内外水资源价值与价格研究综述[J]. 水利经济, 2024, 42(4): 7-13.

[11] 张彩平, 姜紫薇, 韩宝龙, 等. 自然资本价值核算研究综述[J]. 生态学报, 2021, 41(23): 9174-9185.

[12] 周月娇, 董增川, 李琼, 等. 基于 InVEST 和 CA-Markov 模型的瓯江流域“水资源-社会-生态”协调发展评价[J]. 水利经济, 2023, 41(3): 29-33.

[13] 刘倩倩, 徐昔保. 湖泊生态服务生产函数构建研究——以博斯腾湖为例[J]. 湖泊科学, 2023, 35(1): 279-288.

[14] 陈浮, 朱新华. 全球气候变化语境下水安全的维

度与治理[J/OL]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 1-11 [2024-12-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1521.C.20241126.1537.004.html>.

[15] 宋爽,王帅,傅伯杰,等. 社会-生态系统适应性治理研究进展与展望[J]. 地理学报, 2019, 74(11):2401-2410.

[16] 石敏俊,陈岭楠,王金南. 生态产品第四产业的概念辨析与核算框架[J]. 自然资源学报, 2023, 38(7):1784-1796.

[17] LIU G, LI F, QIU L, et al. Composite water value: a way forward to balance the development and protection of transboundary lakes [J]. Journal of Environmental Management, 2024, 365:121618.

[18] 夏沛,彭建,徐子涵,等. 生态系统服务流概念内涵与量化方法[J]. 地理学报, 2024, 79(3): 584-599.

[19] 夏志强,唐纪航. 边界的治理与治理的边界——跨省流域科层治理反思[J]. 社会科学研究, 2024(2):45-54.

[20] 杨毓康,栗伊萱. 地方环境治理创新如何进入国家政策议程——“二阶耦合”框架下对河长制的案例分析[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2024, 26(2):134-146.

Research on the Reconstruction of Water Values and the Framework of Watershed Governance from Social-Ecological System Perspective /LIU Gaofeng^{1,2}, XU Zhili¹, LI Jiajing¹ (1. School of Business, Hohai University, Nanjing 211100, China; 2. Base of Hohai University, Research Center of Xi Jinping Thought on Socialism with Chinese Characteristics for a New Era, Nanjing 210098, China)

Abstract: People’s limited understanding of water values and short-sighted actions are the important reasons for social environmental problems, such as the shrinking of watershed areas, deterioration of water quality, reduction of biodiversity, and ecological degradation. Therefore, following the principle of tracing the source and systematic treatment, re-evaluating the multiple water values from a holistic perspective of the social-ecological system, and exploring innovative models of watershed governance are crucial for solving water ecological problems and achieving sustainable development. Based on the analysis of the historical trajectory of watershed management in China, the paper summarizes the cognition of water values and watershed water management approaches in different historical stages, and then reconstructs the multiple water values connotations of watersheds from the perspective of social-ecological systems. A “five-dimensional” governance framework including the dimensions of value, process, technology, organization, and institution has been established, and key action paths for governance have been proposed. The study found that water values are diversified and there is an inherent connection between different values, and the recognition of water values affects the innovation of watershed management, but in the past people tend to only focus on the economic value of water and ignore its huge value in ecology, environment, society, and culture. Meanwhile, the fundamental, shared, and indivisible nature of water ecological value determines that watershed management must be a collaborative governance model involving multiple stakeholders, and modern digital technologies can provide powerful conditions for values measurement and collaborative governance. Therefore, innovating the explicit measurement methods of multiple water values, building mechanisms for collaborative learning among multiple stakeholders, and creating a collaborative governance decision-making platform that encompasses the entire data chain of the watershed, are key paths for achieving “five-dimensional” governance.

Key words: multiple water values; watershed; social-ecological system; reconstruction; governance framework