

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2023.1246

水资源、水环境、水生态统筹治理研究进展

李加林^{1,2,3}, 田 鹏^{1*}, 刘永超^{1,2,3}, 马仁锋^{1,2,3}, 龚虹波⁴

(1.宁波大学 土木工程与地理环境学院, 浙江 宁波 315211; 2.宁波大学 东海研究院, 浙江 宁波 315211;

3.宁波大学 浙江省陆海国土空间利用与治理协同创新中心, 浙江 宁波 315211; 4.宁波大学 法学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 水资源、水环境和水生态统筹(三水统筹)治理作为习近平新时代中国特色社会主义思想在水治理领域的生动实践, 对推动流域水生态环境持续改善、促进美丽河湖保护与建设具有重要指导意义. 研究详细综述了以水资源、水环境和水生态为核心的水治理理论的发展基础、制度设计与绩效评估、关键路径与保障机制. 最后指出未来“三水统筹”治理研究需解决“谁来统筹”“统筹什么”“怎么统筹”“何时统筹”“何地统筹”等基本问题, 即“三水统筹”治理的理论框架须涵盖各项价值目标、制度设计、行为选择和条件环境等; 协同主体类型须多样化, 涉及政府、企业、公众和社会组织; 协同方式基于“整体性”和“共享性”特征; 完善水治理的学术脉络、政策实践及绩效评估.

关键词: 三水统筹; 二元水循环; 制度设计; 水安全

中图分类号: X321; X143

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2024) 04-0022-09

21 世纪世界正经历百年未有之大变局, 变局涵盖了经济、科技、资源、环境、人口、气候等诸多层面, 加剧了未来世界发展的不确定性^[1-2]. 水作为基础自然资源和战略性经济资源, 对保障国家和地区社会经济稳定和可持续发展至关重要^[3-5]. 十八大以来, 以习近平同志为核心的党中央明确发出新时代水资源治理的科学指南指示, 提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路. 国家层面积极调整水生态环境保护政策与框架, 从污染防治转向“水资源、水环境、水生态”统筹(以下简称“三水统筹”)治理的发展道路^[6-7].

“三水统筹”治理面向新时代, 立足于山水林田湖草沙一体化保护和系统治理, 对建设现代化水生态环境治理体系和保障水资源安全具有重要意义.

我国治水经历了水资源治理、水环境治理、兼顾水质和水量的“二水统筹”治理阶段^[7-8]. “三水统筹”治理面临着水资源时空分布不均, 区域配置与社会经济发展需求差异性突出以及水质污染、水

空间挤占、水通道阻隔等问题^[9-11]. 在此背景下, 加强“三水统筹”治理的理论研究, 消除治水的制度壁垒, 提出协同治理策略及制度保障, 是新时代大国治水的重要课题^[12-13]. 因此, 本文详细梳理了“三水统筹”治理的理论发展脉络, 分析其制度设计理念 and 绩效评估框架, 探究“三水统筹”治理的关键路径与保障机制, 最后展望“三水统筹”治理研究的重点发展方向. 研究服务于新时代“人水和谐共生”的社会经济建设, 为加快推进水资源管理、水环境保护和水生态修复提供理论指导.

1 “三水统筹”治理的理论基础研究

水作为有效促进人类社会经济发展和生态环境保护的重要资源之一, 具备有效性、可控性和可再生性, 是人类经济社会发展不可或缺的重要战略资源^[14-16]. 水在自然和人类社会中不断地进行着循环运动, 体现着资源、环境、生态、经济和社会属性^[8,17](图 1). 目前涉及水的理论与实证研究均

收稿日期: 2023-12-30.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal1g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家社科基金重大项目(23&ZD105).

第一作者: 李加林, 博士/教授, 主要研究方向: 水资源可持续管理. E-mail: nbnj2001@163.com

*通信作者: 田鹏, 博士, 主要研究方向: 水生态环境评估. E-mail: tpyang@163.com

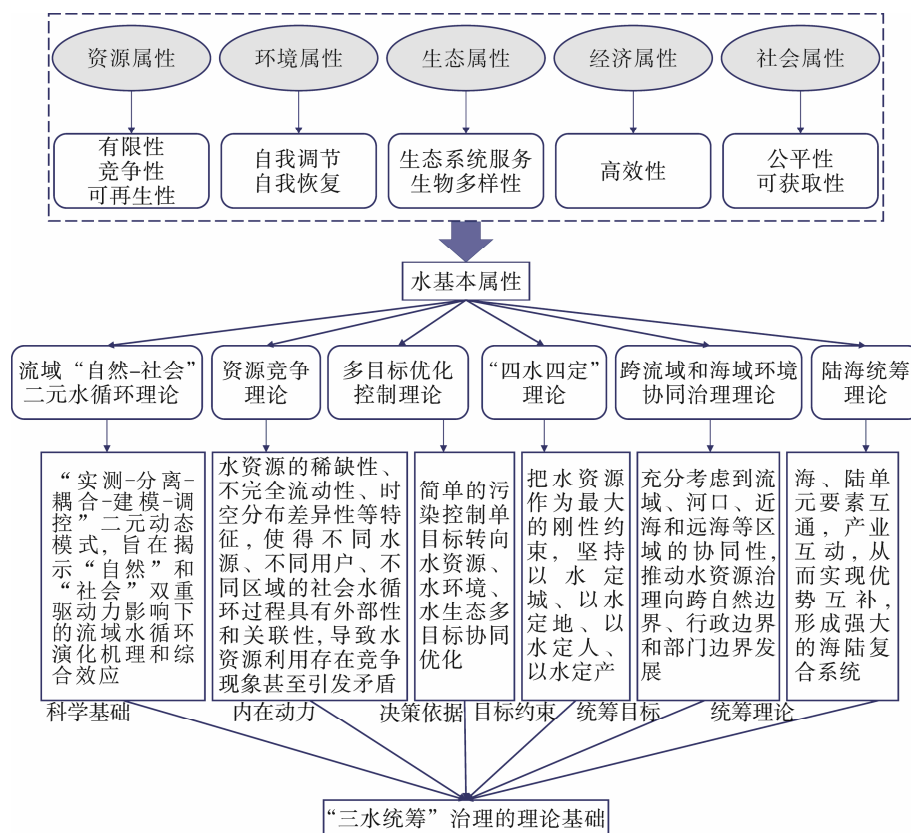


图1 “三水统筹”治理的理论基础内容

直接或间接联系着水的特有属性，其中资源竞争理论强调了水资源稀缺、不完全流动、时空分异引发的竞争和外部性，是“三水统筹”治理实施的内在驱动机制^[18-19]。流域“自然-社会”二元水循环理论将水资源五大属性串联在一起，突出了水在“自然-社会”二元框架结构下的循环过程和调控手段，奠定了“三水统筹”治理的科学依据^[8,17-18]。多目标优化控制理论充分考虑到水资源保护与治理已从简单的污染控制单目标转向水资源、水环境、水生态多目标协同优化^[20]，综合探究“水量-水质-水生态”为核心的水资源耦合系统，为“三水统筹”治理提供决策依据^[21]。“四水四定”（以水定城、以水定地、以水定人、以水定产）理论聚焦于水资源的主体地位和经济社会发展的客体地位，明确了水量、水质、水生态和水灾害的“四大约束”和城（城镇建设）-人（人口）-地（耕地）-产（产业）的“四位融合”体系，约束着“三水统筹”治理的各项实施目标^[19]。跨流域和海域环境协同治理理论充分考虑到流域、河口、近海和远海等区域的协

同性，推动水资源治理向跨自然边界、行政边界和部门边界发展，扩展了“三水统筹”治理的决策目标^[22-23]。陆海统筹理论为协同陆海水资源系统提供了新视角，有利于统一筹划水资源开发利用、水环境治理优化、水生态保护修复等，丰富着“三水统筹”治理的统筹理念^[24-25]。

此外，基于可持续发展理论的内涵，以水资源和水生态为主的水足迹理论快速发展，可有效定量评估区域水的可持续和承载力水平^[13,16]。该理论方法可核算区域水资源真实占用量，从而表征区域水资源、水环境和水生态的安全状况和经济效益。而水环境理论围绕着水环境经济学、水环境生态学、水环境优化治理和安全、水环境行业标准等展开，且不断向多学科融合、多要素集成、新兴技术运用、灾害机理研究等扩展^[26]。水治理理论快速发展，相关概念、原则、内涵、路径和体系等符合时代的发展需求，不断面向跨区域的自然-社会-生态的多元结构融合特征为“三水统筹”治理奠定了科学的理论基础^[13]。

近年来,水治理已从被动管理阶段转向主动管理阶段,逐渐迈向智慧管理阶段^[7,16,27]。“三水统筹”治理的理论遵循和沿袭着水相关理论的发展脉络,并适应着新时代水资源生态环境保护框架思路。水环境、水资源、水生态作为紧密联系的有机整体,三者缺一不可,任何“一水”离不开其他“两水”的助力和联系^[10,28]。但目前“三水统筹”治理的理论体系未完全建立,尤其是水生态理论较为薄弱,亟待构建系统全面且跨边界的“三水”理论架构,以指导“三水统筹”治理的多场景实践研究。

2 “三水统筹”治理的制度设计与绩效评估研究

2.1 制度设计研究

我国“三水统筹”治理面临的主要难题是水资源短缺、水环境污染、水生态不平衡和不协调问题。不同区域三者的权衡与协同关系差异较大^[10,29],使得水资源治理政策区域性突出。水资源存在的

“疑难杂症”与全国、地区性的水资源制度缺位紧密相关,推动“三水统筹”治理亟需健全水制度与体系^[30-33]。

我国水制度可分为广义和狭义水制度(图 2),涵盖着水资源、水环境和水生态各方面的法律与政策。广义水制度涉及“三水”的法律、政策和组织层面,包括水资源管理、防洪灌溉等制度设计^[23,34]。而狭义水制度覆盖着“三水”问题具体的法律与政策设计,如针对水资源的总量控制、水权交易,针对水环境的水污染权总量控制,针对水生态的水生态补偿等制度^[23]。我国水资源制度包括法律和经济制度,其中法律制度涵盖着河流、洪水、水污染、城市供水等水资源主题,如《中华人民共和国水法》《中华人民共和国防洪法》《中华人民共和国河道管理条例》《水库大坝安全管理条例》《水污染防治法》等;经济制度则包括水资源财税制度、产权制度与价格制度^[23,35]。各类水资源制度奠定了

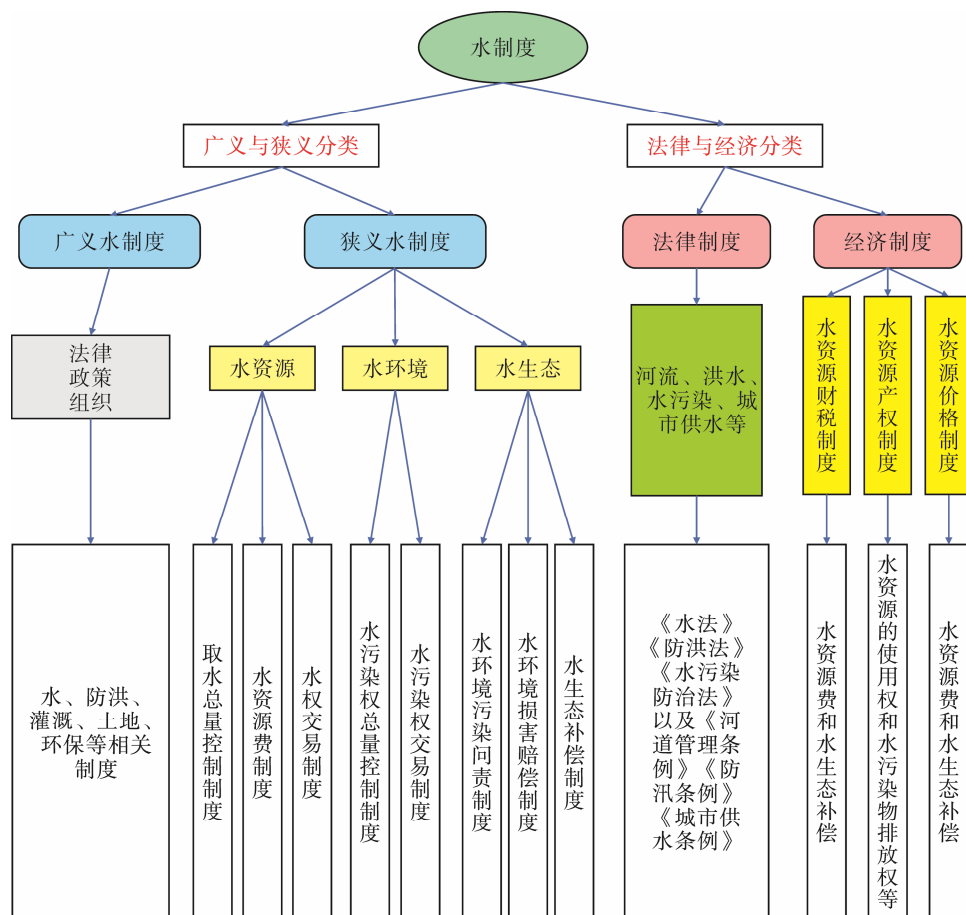


图 2 我国水制度的基本分类(根据文献[34]整理)

水资源现代化治理的逻辑框架和制度设计基础。水资源制度不断变迁, 逐渐向以政府为主体、社会作为中间组织、公众广泛参与的多主体共同治理的水资源治理模式转变^[35-36], 初步探索了跨自然边界、跨行政边界和跨部门边界的水域协同治理的制度设计^[37-38]。

水域系统跨流域、河口、近海和远海等区域, 且各区域水资源治理存在边界模糊问题, 这加剧了跨自然边界协同治理的难度^[39-42]。跨自然边界的协同治理机制积极应用于流域生态补偿, 如新安江和东江案例^[43-44]。随着海域、流域-海域相结合的跨界生态补偿机制逐渐兴起, 人们开展了系列流域-河口-近海跨自然边界的污染防治制度设计^[45-46]。水域系统的协同治理跨越了行政边界, 易引起不同利益相关者之间的纠纷, 尤其是涉及跨区域水污染问题^[44,47]。所以跨行政边界的制度设计旨在打破流域-河口-海域的行政区壁垒, 这需要建立跨行政区的区域海洋管理委员会^[37-38]、政府横向协调机制^[48]和区域联动机制^[49]等措施。具体实践上, 基于“自下而上”由地方探索所形成的河(湖)

长制^[50]和基于“自上而下”由中央试点推广的湾(滩)长制^[51]都是跨行政边界协同治理的典型实践案例。最后, 水域系统的协同治理存在着跨部门边界难题, 即治理主体不明确, 多头管理增加了协同治理的难度, 集中体现为“九龙治水”和“九龙治海”的乱象^[52]。诸多学者提出加强部门高层之间的横向交流、建立各级别海洋委员会^[53]和跨区域的环境保护工作联席会议制度^[54]、成立各级部门共同参与的综合治理协调小组^[55]等措施。综上, “三水统筹”治理具有跨边界制度设计的理论基础, 但协同治理制度设计不够深入, 尤其是以“三水”为核心的跨自然边界、跨行政边界和跨部门边界的制度设计较为缺乏。

2.2 绩效评估研究

在全球气候极端变化影响下, 水资源的安全、效率、承载力和可持续性面临诸多不确定性和挑战^[56-58]。而水资源绩效评估直接联系着水资源开发利用与治理保护的效率, 可作为对地区水资源管理、水环境承载水平和水生态效应的有效反馈^[59]。

“三水统筹”治理的绩效评估(图3)涉及水资源、

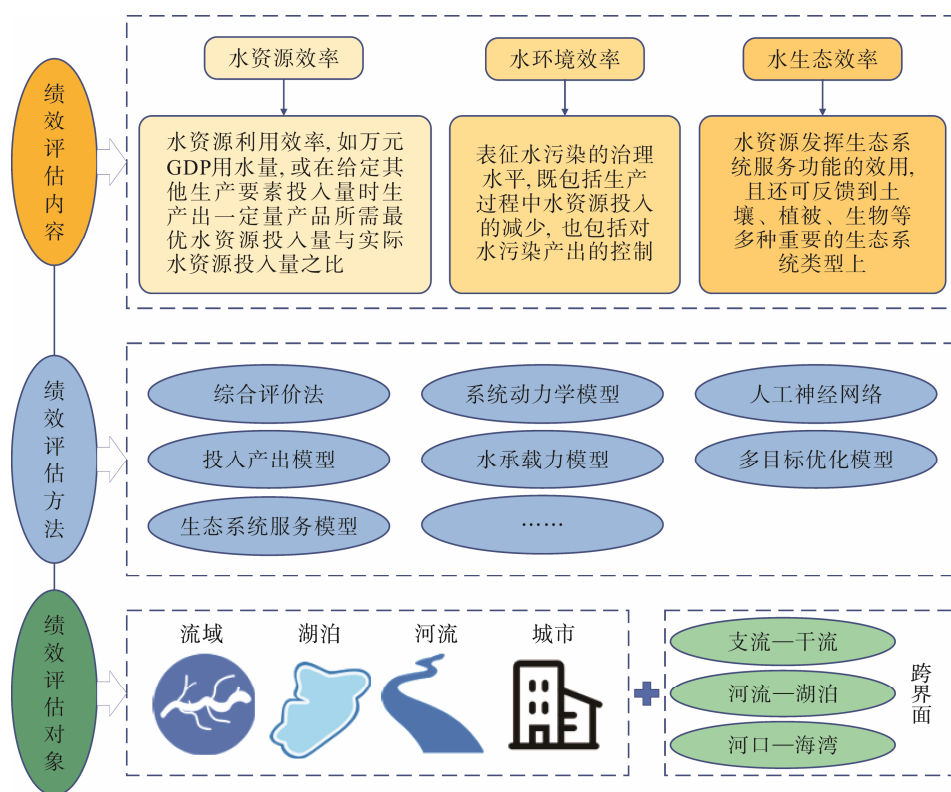


图3 “三水统筹”治理绩效评估主要内容

水环境和水生态效率,其中水资源效率表征着区域水资源开发利用效率和水资源可实现的价值^[60];水环境效率可反映水环境污染后的治理水平,包括水资源在生产投入和污染产出阶段的评估^[61];水生态效率体现着水资源发挥生态系统服务功能的效用,可反馈到土壤、植被、生物等重要的生态系统类型上,如水源涵养、生物多样性维护等^[62-64].水资源与水环境效率评价成果较为丰富,而水生态效率评价起步较晚,其评价指标体系需要进一步完善与丰富.

水资源绩效评估研究集中于流域、湖泊、城市等单元及社会经济具体行业(工业、农业等)^[21,36,65-66].而水资源具有循环性和流动性,单一的评价单元难以实现区域水资源的可持续管理,尤其是大江大河涵盖支流与干流、支流与湖泊、河口与海湾等复杂的水文系统^[22-45].所以“三水统筹”治理的评价场景亟需跨越河流的支流-干流、河流-湖泊、河口-海湾等不同界面,为水资源治理提供典型场景的理论与实践案例.

水资源绩效评价方法包括综合评价法、系统动力学模型、人工神经网络、投入产出模型、承载力模型、多目标优化模型、生态系统服务模型等^[67-71].水资源绩效评估体系以社会经济指标为主,如万元 GDP 耗水量,工业、农业、城镇污染强度指数等^[70,72],而水资源的自然生态系统指标略有不足,如水质条件、水生物多样性等^[73-74].“三水统筹”治理绩效评估需要综合考虑三个主体,虽然在水资源、水环境效率研究方面积累丰富,但水资源治理需要综合考量跨流域场景内生态、景观、生态系统服务等多项水生态效率的核心内容.由此,以“三水统筹”治理为核心的绩效评估逐渐兴起,但跨区域的评价场景、体系和测度方法仍有待丰富.

3 “三水统筹”治理的关键路径与保障机制研究

水资源时空分布不均、人均水资源量低、水短缺、水污染等是我国水资源面临的基本挑战.在水资源治理实践过程中,我国经历了从粗放型水污染防治(20世纪90年代)、主要污染物总量减排(21世纪初)到打赢打好碧水保卫战(十八大以来)的阶段^[7,27],为“三水统筹”治理积累了丰富的理论与实践经验.水资源治理关键路径为节水优先和空

间均衡,力图解决水资源空间分布与社会生产力不均衡不匹配的难题,如大型水利工程建设^[57-58].水环境治理的核心在于加强水环境的系统治理,从污染源到水系统的“自然-社会”二元循环过程均需要科学防治^[8,65].水生态治理关键在于对水生态环境的保护与修复,包括“水里”和“岸上”保护、人工修复与自然恢复等^[7].

水资源直接联系着区域的经济的发展,“水-能源-食物-土地-气候-经济”耦合分析框架推动着水资源治理多学科融合分析,在一般均衡分析框架下可有效探究各行为主体在水资源治理中扮演的角色^[75].水域治理虽以政府为主导,但企业、非政府组织、公众等不同利益主体既是受益人,也可以是利益的破坏者.故水域治理的路径设计和保障机制需要兼顾各方利益相关者,推动单一参与主体到多元主体共治^[19,52].而现有研究缺乏从“三水统筹”治理视角,来动态分析政府、企业、公众与社会组织等行为主体在水资源治理过程中存在的长期或短期行为.

此外,水资源治理涉及“流域-河口(海湾)-近海-远海”等不同场景的融合^[47],水域协同治理需要涵盖支流-干流、河流-湖泊、河口-海湾等不同界面的监测信息.在地理信息系统与遥感技术的支撑下,多场景水域系统信息监测成为可能,即开展监测主体协同、监测点位互补、监测标准一致、监测频率统一、监测平台共享等工作,从而为“三水统筹”治理创造“数据获取-应用评价-产品发布”的信息化流程^[76].

多年水资源治理和管理实践表明,建立全面系统的水资源管理制度与体系对实现“三水统筹”治理具有重要的保障作用.《中华人民共和国水污染防治法》《中华人民共和国水法》等不断落实水资源保护、水环境治理、水生态修复等主体责任和法规标准,对推动“三水统筹”治理至关重要^[23,33].故政策协同是“三水统筹”治理路径与机制的重要保障,体现在水资源治理的政策法规制定与执行上^[51,77],即明确政策法规编制的原则与程序,逐渐完善以水为核心的政策法规体系,并从央地关系出发,采用政治激励、晋升激励以及财政激励等手段解决政策执行效力较低的问题^[78].综上,“三水统筹”治理理念和实践工作起步晚但发展快,已有研

究关注到“谁来协同”“如何协同”和“怎样保障”等基本问题,但还未形成明确的治理制度和实施策略,即多元主体以何种方式参与跨场景的“三水统筹”治理、如何建立科学可行的协同监测系统及协同治理制度体系等有待深入研究。

4 研究总结与展望

4.1 研究总结

水资源在理论制度、绩效评估、路径优化等方面研究成果丰硕,为开展“三水统筹”治理积累了丰富的理论与实践经验。首先,陆海统筹理论、流域“自然-社会”二元水循环理论和协同治理理论等奠定了“三水统筹”治理的理论基础。其次,已有研究初步探索了水域系统协同治理存在的跨自然边界、跨行政边界和跨部门边界问题,并对其制度设计、绩效评估、关键路径和保障机制等进行了理论与实证研究,为“三水统筹”治理涉及的跨场景(支流-干流、河流-湖泊、河口-海湾)、多主体(政府、企业、公众与社会组织)及路径机制和制度设计打下坚实基础。但现有研究仍缺乏科学且明确的“三水统筹”治理的理论体系、制度设计、绩效评估、关键路径和保障机制,具体表现为:偏于强调水资源与水环境协同,忽视了水生态修复对水资源管理和水环境保护的促进作用;流域-海域协同治理处于初步探索的理论层面,而水域系统内支流-干流、河流-湖泊、河口-海湾等不同单元跨域统筹的理论与实践有待深入挖掘;重视水资源政策制度试点,轻视“三水统筹”治理的绩效评估,且新时代下“三水统筹”协同治理评价框架亟待丰富与补充。

4.2 研究展望

“三水统筹”治理未来研究需要在现实困境分析中揭示“三水统筹”治理制度壁垒的形成原因,进而提出基于“三水统筹”不同治理场景的制度设计,力求在“谁来统筹”“统筹什么”“怎么统筹”“何时统筹”“何地统筹”等基本问题上给出相应的制度安排,服务于新时代“人水和谐共生”的社会经济建设。

(1)“三水统筹”治理的理论框架研究,回答“何为三水统筹及为何统筹”。不同于西方语境下的协同治理,“三水统筹”治理应该是治理体系中上下、

左右、内外多元主体协同的治理活动。研究需要基于国家治理现代化场景的制度、人、技术等基本要素,构建“三水统筹”治理的理论框架。该框架包括“三水统筹”治理的价值目标、制度设计、行为选择和条件环境等四部分。“三水统筹”治理的价值目标是治理活动的出发点与起点,协同一致的目标是治理主体产生协同合作意愿、生成协同合作的动力来源,促进协同治理的制度设计是决定协同治理实现的根本,多元主体的协同行为是协同治理能力转化和生成的微观途径,协同治理还要依靠区域特定的外部条件和环境予以实现。

(2)“三水统筹”治理的协同主体研究,回答“谁来统筹”。“三水统筹”治理的协同主体类型多样,涉及政府、企业、公众和社会组织,各类主体有着不同的经济属性和社会属性。“三水统筹”治理的逻辑起点是杜绝“搭便车行为”,“三水统筹”治理的协同主体研究首先要进行多元共治的主体特征分析,即从公共管理视角研究“三水统筹”治理的多元主体关系,包括政府体系内部的各种层级关系,政府与公众及社会组织的关系,社会组织与公众、企业与公众之间的关系,以及各种关系相互交织构成的立体化治理结构。其次,针对当前“三水统筹”协同治理中存在的问题,即多元主体无法实现各主体间信息、资源与目标等要素的有效整合,各治理主体难以形成协同的整体来化解复杂多变的治理难题,提出和明确多元主体协同共治。

(3)“三水统筹”治理的协同方式研究,回答“怎么统筹”。“三水统筹”治理是一项系统工程,不能停留在过去的以质量改善为核心的污染治理阶段,而是要更加强调对水域整体的系统保护,维持水域生态系统的完整性。因此,“三水统筹”治理协同方式必须基于“整体性”和“共享性”特征,分析各方在协同治理中的利益诉求、共同目标,构建各方的参与机制,推动伙伴关系建设,使得治理目标任务与多元主体的价值目标高度匹配,产生高的协同意愿,构建利益分享机制,进而形成多元共治网络。

(4)“三水统筹”治理的学术脉络、政策实践及成效研究,主要回答“统筹成效”。水治理经历了水资源治理、水环境治理、水资源和水环境“二水统筹”治理及水资源、水环境和水生态的“三水

统筹”治理阶段. 通过对水治理的研究缘起、水治理的研究维度、水治理政策绩效及影响因素的分析,厘清“三水统筹”治理的学术演化脉络,再通过我国水治理政策主题、府际关系、政策扩散、政策工具等四个维度探讨我国水治理政策实践,进行不同阶段的水治理政策变迁特征和逻辑关系分析,探究不同阶段不同治水政策主题下的政策成效.

参考文献:

- [1] 陈发虎, 傅伯杰, 夏军, 等. 近70年来中国自然地理与生存环境基础研究的重要进展与展望[J]. 中国科学(地球科学), 2019, 49(11):1659-1696.
- [2] 冯维江, 张宇燕. 世界百年未有之大变局[J]. 经济研究, 2022, 57(6):4-12.
- [3] TAO S L, ZHANG H, FENG Y H, et al. Changes in China's water resources in the early 21st century[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2020, 18(4): 188-193.
- [4] 叶守泽, 夏军. 水文科学研究的世纪回眸与展望[J]. 水科学进展, 2002, 13(1):93-104.
- [5] 中国工程院“21世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告[J]. 中国工程科学, 2000, 2(8):1-17.
- [6] 廖雅, 侯晓姝, 任晓红. “三水”统筹视角下京津冀地区城市水生态环境保护策略分析[J]. 环境科学, 2022, 43(4):1853-1862.
- [7] 徐敏, 秦顺兴, 马乐宽, 等. 水生态环境保护回顾与展望: 从污染防治到三水统筹[J]. 中国环境管理, 2021, 13(5):69-78.
- [8] 王浩, 牛存稳, 赵勇. 流域“自然-社会”二元水循环与水资源研究[J]. 地理学报, 2023, 78(7):1599-1607.
- [9] 李加林, 田鹏, 史小丽, 等. 水资源管理研究进展[J]. 浙江大学学报(理学版), 2019, 46(2):248-260.
- [10] 王浩, 王建华. 中国水资源与可持续发展[J]. 中国科学院院刊, 2012, 27(3):352-358.
- [11] 张利平, 夏军, 胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2):116-120.
- [12] 王浩, 游进军. 中国水资源配置30年[J]. 水利学报, 2016, 47(3):265-271.
- [13] 夏军, 石卫. 变化环境下中国水安全问题研究与展望[J]. 水利学报, 2016, 47(3):292-301.
- [14] HERING J G, INGOLD K M. Water resources management: what should be integrated?[J]. *Science*, 2012, 336(6086):1234-1235.
- [15] LUO P P, SUN Y T, WANG S T, et al. Historical assessment and future sustainability challenges of Egyptian water resources management[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 263:121154.
- [16] 夏军, 苏人琼, 何希吾, 等. 中国水资源问题与对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2008, 23(2):116-120.
- [17] 王浩, 王建华, 秦大庸, 等. 基于二元水循环模式的水资源评价理论方法[J]. 水利学报, 2006, 37(12):1496-1502.
- [18] 王浩, 贾仰文. 变化中的流域“自然-社会”二元水循环理论与研究方法[J]. 水利学报, 2016, 47(10):1219-1226.
- [19] 王浩, 许新发, 成静清, 等. 水资源保护利用“四水四定”: 基本认知与关键技术体系[J]. 水资源保护, 2023, 39(1):1-7.
- [20] NAGHDI S, BOZORG-HADDAD O, KHORSANDI M, et al. Multi-objective optimization for allocation of surface water and groundwater resources[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 776:146026.
- [21] 左其亭, 夏军. 陆面水量~水质~生态耦合系统模型研究[J]. 水利学报, 2002, 33(2):61-65.
- [22] 沈满洪, 谢慧明. 跨界流域生态补偿的“新安江模式”及可持续制度安排[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(9):156-163.
- [23] 谢慧明, 沈满洪. 中国水制度的总体框架、结构演变与规制强度[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2016, 46(4):91-104.
- [24] 李加林, 田鹏, 李昌达, 等. 基于陆海统筹的陆海经济关系及国土空间利用: 现状、问题及发展方向[J]. 自然资源学报, 2022, 37(4):924-941.
- [25] 朱宇, 李加林, 汪海峰, 等. 海岸带综合管理和陆海统筹的概念内涵研究进展[J]. 海洋开发与管理, 2020, 37(9):13-21.
- [26] 卜全民. 水环境理论的研究现状与趋势[J]. 人民黄河, 2008, 30(12):14-15.
- [27] 徐敏, 张涛, 王东, 等. 中国水污染防治40年回顾与展望[J]. 中国环境管理, 2019, 11(3):65-71.
- [28] 全永波, 尹李梅, 王天鸽. 海洋环境治理中的利益逻辑与解决机制[J]. 浙江海洋学院学报(人文科学版), 2017, 34(1):1-6.
- [29] POPOVICI R, ERWIN A, MA Z, et al. Outsourcing governance in Peru's integrated water resources management [J]. *Land Use Policy*, 2021, 101:105105.
- [30] DENG C X, ZHANG G J, LI Z W, et al. Interprovincial food trade and water resources conservation in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 737:139651.
- [31] JIA Z M, CAI Y P, CHEN Y, et al. Regionalization of water environmental carrying capacity for supporting the sustainable water resources management and development

- in China[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 134:282-293.
- [32] 马仁锋. 长江三角洲区域一体化政策供给及反思[J]. *学术论坛*, 2019, 42(5):114-123.
- [33] 谢慧明, 裘文韬, 吴应龙. 环境政策评估: 一个宏观经济分析框架的综述[J]. *中国环境管理*, 2023, 15(1):84-92.
- [34] 谢慧明, 吴应龙, 沈满洪. 水制度量化研究进展: 对象、方法与框架[J]. *城市与环境研究*, 2019, 6(3):83-97.
- [35] 张莉莉. 我国水资源管理的法律规制: 制度变迁与完善[J]. *水利发展研究*, 2014, 14(7):32-35.
- [36] 马仁锋, 季顺伟, 马静武, 等. 海域“双评价”的实践与应用: 以温州为例[J]. *经济地理*, 2022, 42(1):21-27.
- [37] 龚虹波. 海洋环境治理研究综述[J]. *浙江社会科学*, 2018(1):102-111.
- [38] 林初肖, 龚虹波. 海洋环境治理的整体协作机制研究: 以象山港为例[J]. *行政科学论坛*, 2021, 8(9):46-50.
- [39] GLOEGE L, MCKINLEY G A, MOONEY R J, et al. Lake hydrodynamics intensify the potential impact of watershed pollutants on coastal ecosystem services[J]. *Environmental Research Letters*, 2020, 15(6):064028.
- [40] SHI H H, YU D L, YIN L T, et al. Source-sink process of microplastics in watershed-estuary-offshore system[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 338:130612.
- [41] 戴志军, 李春初, 陈锦辉. 华南海岸带陆海相互作用研究[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(5):10-16.
- [42] 李加林, 陈慧霖, 龚虹波, 等. 东海海洋生态环境治理绩效及其影响因子探测分析[J]. *安全与环境学报*, 2022, 22(3):1660-1670.
- [43] 刘晓凤, 张文雅, 程小兰, 等. 跨区域水治理中的尺度重构: 以东江为例[J]. *世界地理研究*, 2021, 30(2):297-307.
- [44] 沈满洪. 水权交易与政府创新: 以东阳义乌水权交易案为例[J]. *管理世界*, 2005(6):45-56.
- [45] 李杨帆, 张雪婷, 吴辉煌, 等. 基于陆海统筹的流域-海湾水环境测管协同模式研究[J]. *环境保护*, 2022, 50(1/2):75-79.
- [46] 凌欣, 韩雪. 流域-河口-渤海近岸海域污染防治机制研究[J]. *海洋环境科学*, 2021, 40(6):970-974.
- [47] 李少斌, 余丹, 孔俊, 等. 海岸带陆海气氮磷污染协同治理: 监测、模拟与决策[J]. *环境工程*, 2022, 40(6):12-21.
- [48] 王琪, 丛冬雨. 中国海洋环境区域管理的政府横向协调机制研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(4):62-67.
- [49] 周健民. 建立陆海统筹的生态保护和污染防治区域联动机制[J]. *前进论坛*, 2015(10):39.
- [50] 朱德米. 中国水环境治理机制创新探索: 河湖长制研究[J]. *南京社会科学*, 2020(1):79-86.
- [51] 杨翼, 陶以军, 赵锐, 等. 新时代背景下湾长制制度设计与探索实践[J]. *环境保护*, 2020, 48(7):18-22.
- [52] 颜海娜, 刘泽森. 从“九龙治水”到“一龙治水”? : 水环境跨部门协同治理的审视与反思[J]. *吉首大学学报(社会科学版)*, 2022, 43(1):43-56.
- [53] 何志鹏, 耿斯文. 全球海洋环境治理: “对世义务”的困境与“海洋命运共同体”的功能展现[J]. *大连海事大学学报(社会科学版)*, 2022, 21(1):1-10.
- [54] 张舒平. 山东半岛蓝色经济区海洋环境整体性监管的问题与对策[J]. *中国行政管理*, 2016(11):155-157.
- [55] 孙家文, 方海超, 于永海, 等. 基于海洋生态文明建设的我国近岸海域综合治理[J]. *海洋开发与管理*, 2019, 36(8):29-32.
- [56] 王玉洁, 秦大河. 气候变化及人类活动对西北干旱区水资源影响研究综述[J]. *气候变化研究进展*, 2017, 13(5):483-493.
- [57] 夏军, 翟金良, 占车生. 我国水资源研究与发展的若干思考[J]. *地球科学进展*, 2011, 26(9):905-915.
- [58] 夏军, 刘春葵, 任国玉. 气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战[J]. *地球科学进展*, 2011, 26(1):1-12.
- [59] 田培, 王瑾钰, 花威, 等. 长江中游城市群水资源承载力时空格局及耦合协调性[J]. *湖泊科学*, 2021, 33(6):1871-1884.
- [60] 丁绪辉, 贺菊花, 王柳元. 考虑非合意产出的省际水资源利用效率及驱动因素研究: 基于SE-SBM与Tobit模型的考察[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(1):157-164.
- [61] ZHOU Z X, WU H Q, SONG P F. Measuring the resource and environmental efficiency of industrial water consumption in China: a non-radial directional distance function[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 240:118169.
- [62] BEHBOUDIAN M, KERACHIAN R, POURMOGHIM P. Evaluating the long-term resilience of water resources systems: application of a generalized grade-based combination approach[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 786:147447.
- [63] LIU Y Y, SUN C Z, XU S G. Eco-efficiency assessment of water systems in China[J]. *Water Resources Management*, 2013, 27(14):4927-4939.
- [64] ZHAO Y, WANG Y Y, WANG Y. Comprehensive evaluation and influencing factors of urban agglomeration water resources carrying capacity[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 288:125097.
- [65] 王浩, 王建华, 胡鹏. 水资源保护的新内涵: “量-质-域-流-生”协同保护和修复[J]. *水资源保护*, 2021, 37(2):1-9.
- [66] 赵良仕, 孙才志, 郑德凤. 中国省际水资源利用效率与空间溢出效应测度[J]. *地理学报*, 2014, 69(1):121-133.

- [67] THAN N H, DINH LY C, VAN TAT P. The performance of classification and forecasting Dong Nai River water quality for sustainable water resources management using neural network techniques[J]. *Journal of Hydrology*, 2021, 596:126099.
- [68] TIAN P, LI J L, CAO L D, et al. Impacts of reclamation derived land use changes on ecosystem services in a typical gulf of Eastern China: a case study of Hangzhou Bay[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 132:108259.
- [69] WANG G, XIAO C L, QI Z W, et al. Development tendency analysis for the water resource carrying capacity based on system dynamics model and the improved fuzzy comprehensive evaluation method in the Changchun city, China[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 122:107232.
- [70] 钱文婧, 贺灿飞. 中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(2):54-60.
- [71] 夏军, 朱一中. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(3):262-269.
- [72] 马仁锋, 朱保羽, 马静武, 等. 海域功能分类体系协调性判别方法[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(4):850-861.
- [73] HAO F H, CHEN S Y, OUYANG W, et al. Temporal rainfall patterns with water partitioning impacts on maize yield in a freeze-thaw zone[J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 486:412-419.
- [74] HAO F H, ZHANG X, OUYANG W, et al. Vegetation NDVI linked to temperature and precipitation in the upper catchments of Yellow River[J]. *Environmental Modeling & Assessment*, 2012, 17(4):389-398.
- [75] 王克强, 李国军, 刘红梅. 中国农业水资源政策一般均衡模拟分析[J]. *管理世界*, 2011(9):81-92.
- [76] 肖遥. 区域生态环境水污染的监测与协同控制技术研究[J]. *环境科学与管理*, 2021, 46(11):128-132.
- [77] 王刚, 毛杨. 海洋环境治理的注意力变迁: 基于政策内容与社会网络的分析[J]. *中国海洋大学学报(社会科学版)*, 2019(1):29-37.
- [78] 任丙强. 地方政府环境政策执行的激励机制研究: 基于中央与地方关系的视角[J]. *中国行政管理*, 2018(6):129-135.

Research progress on the overall management of water resources, water environment and water ecology

LI Jialin^{1,2,3}, TIAN Peng¹, LIU Yongchao^{1,2,3}, MA Renfeng^{1,2,3}, GONG Hongbo⁴

(1.School of Civil & Environmental Engineering and Geography Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Donghai Academy, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 3.Zhejiang Collaborative Innovation Center for

Land and Marine Spatial Utilization and Governance Research, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

4.School of Law, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: As a vivid practice of Xi Jinping Thought on Socialism with Chinese Characteristics for a New Era in the field of water governance, the overall governance of water resources, water environment and water ecology (three-water coordination) are important for promoting the continuous improvement of the water ecological environment in the basin and promoting the protection and construction of beautiful rivers and lakes. This study provides a detailed review of researches on the theoretical development foundation, system design and performance evaluation, critical paths and guarantee mechanisms focusing on water resources, water environment and water ecology. Finally, it concludes that the future “three-water coordination” governance should solve some of the basic issues such as “who will coordinate”, “what to coordinate”, “how to coordinate”, “when to coordinate”, and “where to coordinate”. That is, the theoretical framework of “three-water coordination” governance must cover various value objectives, system design, behavioral choices, and conditional environments; the types of collaborative entities must be diversified, involving governments, enterprises, the public, and social organizations; the collaborative approach should be based on “holistic” and “shared” characteristics; and the academic context, policy practice and performance evaluation of water governance should be improved.

Key words: three-water coordination; dual water cycle; system design; water security

(责任编辑 韩 超)