

“以水定产”驱动的黄河流域可持续水管理策略研究

程蕾¹, 陈吕军^{1,2*}, 田金平^{1,2}, 张双虎³, 宝明涛⁴, 任亚楠¹, 桑晶¹, 郝吉明¹

(1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 清华大学生态文明研究中心, 北京 100084; 3. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 4. 中国工程院战略咨询中心, 北京 100088)

摘要: 水资源短缺是长期以来制约黄河流域经济发展的关键因素, 实施“以水定产”是黄河流域可持续水管理的核心策略, 对推动流域内的经济社会与环境协同发展、实现黄河流域生态保护和高质量发展战略至关重要。本文剖析了“以水定产”的基本概念及其内涵的演变过程, 辨析了“以水定产”“水管理”两者的逻辑关系, 基于复合生态系统理论提出了“以水定产”促进可持续水管理的概念框架及实施路径; 从黄河流域水治理战略演变、流域水管理制度变迁两个层面梳理了黄河流域水管理体系的发展历程及现状; 进而分析了黄河流域实施“以水定产”在管理体制统筹协调、人水和谐效益优化、基础数据支撑能力等方面存在的主要挑战。研究提出了“以水定产”驱动的黄河流域可持续水管理策略建议: 完善流域水管理部门和行政单元协调机制, 协同推进“四水四定”; 激励多元主体参与流域治理, 创新流域治理网络体系构建; 推动流域内管理部门共建共享数据资源, 实现流域精细化、可持续水管理。

关键词: 黄河流域; 人水关系; 以水定产; 可持续水管理; 复合生态系统

中图分类号: X32 **文献标识码:** A

Sustainable Water Management in Yellow River Basin Based on Balancing Water Resources and Industrial Development

Cheng Lei¹, Chen Lyujun^{1,2*}, Tian Jinping^{1,2}, Zhang Shuanghu³, Bao Mingtao⁴, Ren Ya'nan¹, Sang Jing¹, Hao Jiming¹

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Center for Ecological Civilization, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 4. Center for Strategic Studies, Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China)

Abstract: Water scarcity has been a critical factor that restricts the Yellow River Basin's economic development for decades. Balancing water resources and industrial development is a core strategy for the sustainable water management in the Yellow River Basin; it is also crucial for promoting the synergistic development of society, economy, and environment and for realizing ecological protection and high-quality development of the basin. This study first analyzes the evolution of the “balancing water resources and industrial development” concept and distinguishes the relationship between the concept and water management. Based on the social-economic-natural complex ecosystem theory, we propose a conceptual framework and an implementation roadmap for promoting

收稿日期: 2022-10-30; 修回日期: 2022-12-12

通讯作者: *陈吕军, 清华大学环境学院教授, 研究方向为工业园区绿色发展、清洁生产技术与产业生态学; E-mail: chenlj@tsinghua.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“黄河流域生态保护与高质量发展战略研究(二期)”(2021-HYZD-03)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

sustainable water management in the basin. Moreover, we analyze the evolution and the status of the water management system in the Yellow River Basin by reviewing the basin's water governance strategies and management systems. Accordingly, three major challenges in balancing water resources and industrial development in the basin are identified, including planning and coordination of administrative mechanisms, efficiency optimization of human-water interaction, and improvement of data-driven policy-making. Furthermore, we propose several suggestions including strengthening intersectoral coordination in the basin, encouraging participation of multiple social entities to improve the basin governance network, and promoting administrative departments to co-build and share data resources to realize refined and sustainable water management of the basin.

Keywords: Yellow River Basin; human-water interaction; balancing water resources and industrial development; sustainable water management; complex ecosystem

一、前言

水资源短缺是长期制约黄河流域经济社会发展的关键因素之一。随着黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家战略,破解流域水资源短缺与社会经济发展之间的矛盾变得愈发迫切。推进黄河流域水资源节约和集约利用,将水资源作为最大的刚性约束,坚持以水定城、以水定地、以水定人、以水定产(简称“四水四定”),其中“以水定产”是“四水四定”中最受关注的原则。基于“以水定产”,构建黄河流域可持续水管理体系,是促进流域产业全面绿色转型、实现流域生态保护和高质量发展的重要基础^[1]。

“以水定产”的内涵演变过程与我国水管理的宏观战略变化历程密不可分。“十二五”至“十三五”期间,我国发展的整体战略导向是迈向绿色发展理念,其中环境保护的总体目标由资源节约和环境保护成效显著转变为生态环境质量总体改善;与总体目标对应的约束性指标,在用水总量控制的基础上增加了水环境质量控制定量指标。“十四五”时期,国家整体发展战略进入高质量发展阶段,环境管理总体目标上升为生态文明建设。现有研究对“以水定产”中“水”“产”的认知和理解逐步加深,较多围绕“以水定产”或“四水四定”实施过程中的现实问题、政策工具、实施路径等方面展开。然而,关于“以水定产”中“定”所对应的科学问题及理论基础、“以水定产”与“水管理”两者之间的逻辑关系等,探讨仍显不足;在实践层面,当前在黄河流域水管理体系中实施“以水定产”的具体路径、重点及难点也尚不明晰。

本文通过辨析“以水定产”的概念内涵及其与可持续水管理之间的逻辑关系,运用复合生态系统理论,提出“以水定产”的概念框架和实施技术路线,进一步研究黄河流域水治理策略的发展演变及

水管理制度的变迁历程,从管理体制机制等方面识别黄河流域“以水定产”实施存在的主要挑战,最后提出黄河流域可持续水管理策略建议,以期促进对“以水定产”的科学认知并为“以水定产”制度实施提供参考。

二、“以水定产”的内涵及分析框架

(一)“以水定产”概念的提出及基本内涵

通过检索中国知网的知识元数据库和梳理我国近年来与水管理相关的政策文件,研究发现,“以水定产”最早出现在水利部2002年发布的《开展节水型社会建设试点工作指导意见》中^[2],其将“以水定产”界定为:调整产业结构,使其与当地水资源、水环境状况相协调。2014年,住房和城乡建设部、发展和改革委员会联合发布的《关于进一步加强城市节水工作的通知》^[3],首次在国家政策文件中提到“四水四定”原则,并提出水安全、水生态和水环境相协调。2015年,国务院发布的《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)提出,合理确定发展布局、结构和规模,充分考虑水资源、水环境承载能力,并再次强调“四水四定”原则^[4]。此后,“以水定产”陆续被写入《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》(2015年)、《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》(2021年)、《黄河流域生态环境保护规划》(2022年)等重要规划文件,成为国家层面推动水资源可持续利用的重要政策导向。

学术界也对“以水定产”的内涵进行了一系列探讨。针对我国北方缺水地区的水资源可持续利用问题,作为该地区的水资源管理制度之一,“以水定产”被界定为按行业并参照国内先进水平核定工业企业用水总量,工业企业必须在此定额水量条件下安排不少于国内平均耗水水平下的生产量^[5];针

对城市水安全问题，“以水定产”被界定为以水来确定城市产业的发展方向和规模，常用单位国内生产总值产出的用水量作为衡量指标^[6]。随着我国水管理相关政策体系的不断完善，学术研究中“以水定产”内涵的解释逐步丰富。“水”的范畴从早期的水资源、水量属性逐渐延伸到水资源、水环境、水生态及水灾害等多重属性^[7,8]；“产”的内涵延伸到产业规模、产业结构、产业空间布局等多个维度；“定”则体现为水对产业发展的刚性约束作用和转型升级的推动促进作用^[9,10]。在现有研究基础上，本文将“以水定产”的内涵界定为：在“四水四定”的原则下，以特定区域水资源、水环境及水生态承载力为刚性约束条件，综合考虑区域内的土地、能源等其他自然资源禀赋以及社会经济发展水平，以生态环境保护和社会经济发展协同为最终目标，优化调整区域内的经济产业结构、规模及空间布局。

通过梳理“以水定产”概念提出的背景和应用场景，可以发现，“以水定产”既是我国水管理制度完善过程中出现的新要求，也是我国当前水管理的重要指导理念和编制各类涉水规划的重要原则，更是推动水资源精细化管理、实现可持续水管理目标的落地举措和方法论。

（二）“以水定产”与“水管理”的关系辨析

“以水定产”的提出及其内涵的演变过程与国家宏观水管理战略变化密切相关。厘清“以水定产”与“水管理”两者底层的逻辑关系，是在现有水管理体制下科学有效实施“以水定产”的基础。然而，现有研究中“水管理”概念的使用纷繁复杂，且经常与水资源管理、水治理等概念混用且不加区分。在实践层面，水管理的概念可从不同维度进行界定，如根据水的属性划分，水管理可主要分为水资源管理和水环境治理；根据管理对象划分，水管理可主要分为水资源的调度管理以及对取水、供水、用水、排水等部门的管理。

随着社会发展不同阶段人水关系的变化，我国水管理逐渐进入安全需求、经济需求和质量需求三者相协调统一的发展阶段^[11]。综合“以水定产”的最新概念内涵及我国水管理体系现状，结合现代管理学领域的基础理论，即“管理的基本形式是对人的管理”^[12]，本文总结提出了“以水定产”

与“水管理”的逻辑关系（见图1），以期理顺水管理的主体、客体、手段及目标之间的关系。

水管理的主体是政府主管部门，主要包括国家发展和改革委员会、水利部、生态环境部、国家林业和草原局等相关国家和地方政府部门，统筹负责我国水管理相关制度的实施及监督管理。水管理的主要手段包括水资源总量与强度控制，水环境质量改善，水生态保护等领域的政策、法律及市场调节等，其中“以水定产”是推动最严格水资源管理制度落地实施的重要手段之一。水管理的客体是各个取用水单位，包括取水、供水、用水和末端水处理等部门，其宏观存在形式是社会经济系统中的产业系统。水管理的最终目标是通过水资源、水环境、水生态“三水”统筹管理，优化调整产业结构、规模和布局，最终实现经济社会效益和生态环境效益的协同，达到经济、环境与社会多目标协同的可持续发展^[13]。

（三）“以水定产”促进可持续水管理框架

“以水定产”作为推动可持续水管理的重要手段之一，在当前国家政策体系中占据重要地位，厘清现阶段“以水定产”中“定”的关键技术及具体实践途径，意义重大。“以水定产”推动下的可持续水管理以经济效益、社会效益和生态环境效益的协同增长为根本目标，涉及政府、企业和公众等多利益相关方，是涵盖社会、经济与自然生态等多系统的复杂问题。为此，基于可持续水管理问题的本质属性，结合“以水定产”与“水管理”的逻辑关系，本文选取社会-经济-自然复合生态系统理论^[14]，对水管理的关键要素、子系统以及各子系统间的相互影响和制约进行刻画，提出了实施“以水定产”的概念框架与技术路线（见图2）。图2从多目标决策过程视角剖析“以水定产”的实施路径，并充分体现社会-经济-自然复合生态系统理论强调的复合系统结构、功能及过程的生态整合^[15]。

1. “以水定产”概念框架

“以水定产”概念框架集成了社会-经济-自然复合系统，3个子系统之间交互作用、相辅相成。具体来看，经济系统主要包含由第一产业、第二产业和第三产业组成的产业系统；社会系统由文化、体制和政策等组成；自然系统突出了水、能、土三大关键要素。3个子系统的交互作用概括为时、空、

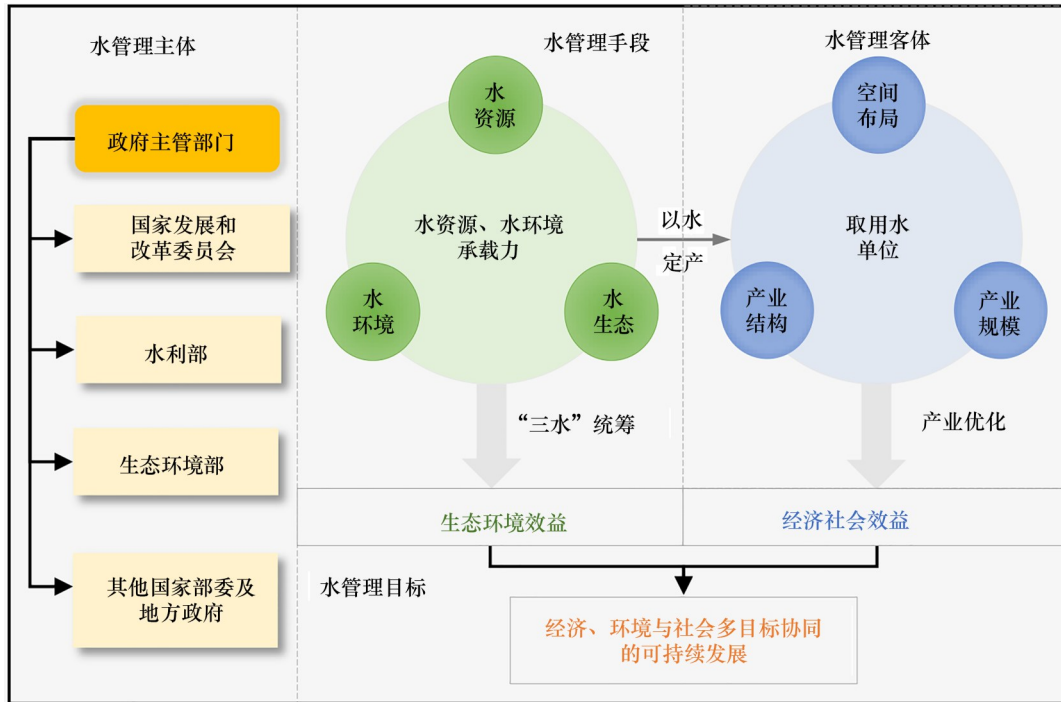


图1 “以水定产”与“水管理”的关系

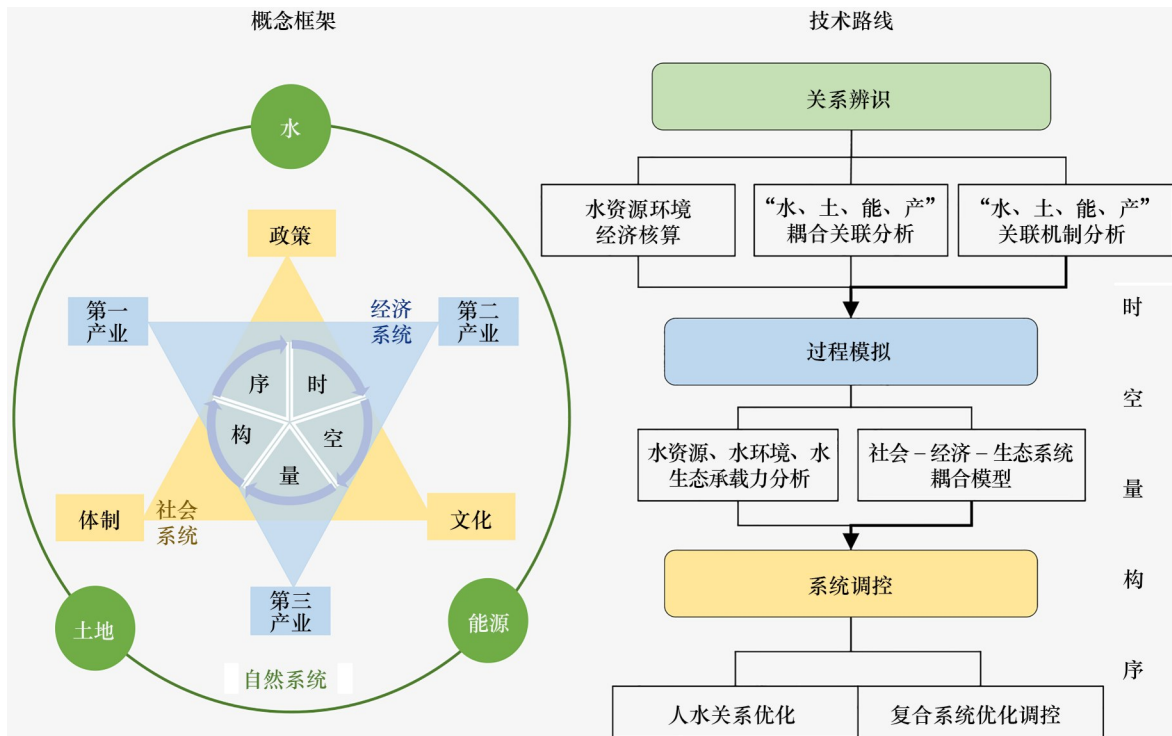


图2 实施“以水定产”的概念框架与技术路线

量、构、序5个方面，其中，时、空是基础维度。“时”代表的是系统存在时间尺度的演化性；“空”是各系统在空间尺度上的地域差异性或多尺度性，

包含产业的空间格局优化与生态环境空间管控之间能否匹配的问题；“量”的具体表征包括资源环境承载力、水足迹、能源足迹、产业规模及人口规

模、城镇规模等；“构”的维度包含产业结构、人口结构、资源能源结构及社会管理结构等^[6]；“序”原指生态关系中的竞争序、共生序、自生序、再生序和进化序^[7]，而该概念框架中的“序”既包含经济发展系统与环境管理工作在纵向时间尺度上的先后次序性，也包含横向空间尺度上的高低与先后的匹配协同。

社会-经济-自然复合系统中最为关键的是自然系统和经济系统，其中密切关联的自然要素除水之外，还有能源和土地，同时能源和土地的开发利用又与水资源有着密切的直接与间接联系。自然系统与经济系统间的互动反馈关系主要表现为：经济系统依赖自然系统中的水、能源、土地资源，自然系统中资源的有限性成为经济系统发展的刚性约束；同时经济系统的生产消费过程又向自然系统排放废弃物和污染物，保证生态环境质量成为经济发展的重要约束。在社会-经济-自然复合系统中，社会系统的核心是人，人类演化发展逐渐积累形成的社会文化是决定人与自然关系的基础；国家管理体制及政策也是社会系统的重要控制因素。

2. “以水定产”的技术路线

“以水定产”研究的科学问题及关键技术路线，如图2所示。技术路线包括关系辨识、过程模拟、系统调控3个阶段，由此形成了一个闭环的螺旋迭代过程，持续升级完善。在关系辨识至系统模拟调控过程中，应始终把握“时、空、量、构、序”的系统思维框架。

实施“以水定产”的关键问题是明晰水要素同产业、土地、能源等其他要素之间复杂的互馈关系。从多要素协同的系统视角，深入解析水管理问题涉及的复合生态系统中多要素、多主体之间复杂的相互作用关系及其背后的耦合作用机制，可为“以水定产”研究的过程模拟耦合模型构建及人水系统优化调控提供理论基础。现有研究中的关联分析维度逐步从单一要素研究拓展到多要素关联研究；在多元素系统分析框架、协同效应分析及贸易关联的环境影响评估等方面取得了一定进展^[18,19]。然而，已有研究中针对特定区域和流域的人-水系统中关键要素及重要互馈关联的定量表征尚不多见。针对“以水定产”特定的研究问题，亟待开展的实证研究包括不同空间尺度的水资源环境经济核算、水-土-能-产等多要素耦合关联分析及关联

机制分析。

在梳理复合生态系统中多要素关联格局的基础上，实现“以水定产”，还需要科学核定特定区域内不同社会经济产业的水资源、水生态、水环境的约束强度。其中，资源环境承载力通常用来衡量区域经济社会发展速度与规模受到的资源与环境的定量约束。相关资源承载力的研究从单因素承载力评价逐渐深入到强调区域生态系统的整合性、持续性和协调性的综合评价^[20,21]。基于区域水资源环境承载力的产业发展研究可为区域的产业结构调整和产业转移等提供理论支持与政策参考^[22]。此外，区域资源环境承载力研究经常与社会-经济-自然复合系统耦合模型研究密不可分。复杂系统耦合模型构建的难点在于准确清晰地刻画各子系统之间的双向反馈关联、定量约束作用及不同情景下多系统耦合变化过程的动态模拟与决策支持，从而提高复合系统的耦合模型对社会经济系统的定量表征，通过对复合系统之间的动态演化过程进行真实模拟，有效支持可持续水管理的优化决策^[23]。

“以水定产”中“定”的最终实施，是在水与其他自然要素共同约束之下，优化调整社会经济系统中的产业结构、规模及空间布局以实现社会发展、经济增长与生态环境保护多目标的均衡协同。在具体实施中，需要遵守水资源、水环境、水生态承载底线的刚性约束，在复合系统的耦合模型中综合考量多要素、多过程的相互约束关联，同时要处理好社会经济系统中不同利益相关方之间的冲突与合作的社会关系，最终实现复合系统中人水关系的优化。针对复合系统多目标优化调控问题采用到的研究方法有系统动力学、多目标优化、驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)模型等^[8]。目前，针对特定区域或流域层面实现“以水定产”或“四水四定”定量优化模型的案例研究仍有待深入探索。

三、黄河流域水管理体系的发展演化

厘清“以水定产”的科学内涵及关键技术问题，是保证其得以落地实施的前提，健全和完善的水管理体制与机制更是“以水定产”真正落地生效的根本保障。在“以水定产”及“水管理”的内涵辨析基础上，基于“以水定产”的概念框架与技术路线，本文进一步聚焦黄河流域水管理问题。为深

入剖析当前黄河流域有效实施“以水定产”的关键难点，需要系统梳理流域水治理战略演变及流域水管理制度变迁历程，总结当前黄河流域的水管理体制框架，进而识别出“以水定产”驱动的流域可持续水管理策略。

（一）黄河流域水治理的战略演变

黄河作为中华民族的母亲河和中华文明的发源地，其水治理历史是我国水治理历史沿革的缩影。黄河流域水治理面临的突出问题是整体上的水少沙多、水沙关系极不协调^[24]，其中黄河上中游黄土高原水土流失和水资源短缺形势严峻，下游因泥沙淤积形成地上悬河，曾引发河口决堤，水灾频发^[25]。为持续应对黄河流域复杂多变的水患问题，黄河流域的治理水平随着社会生产技术的进步和文明的发展不断提升。

黄河流域的水治理战略从最初的水患防治到水资源开发利用经历了漫长的演变历程，这种整体上被动防洪的治理格局持续到中华人民共和国成立之后，并开始逐渐发生转变^[26]。中华人民共和国成立后，我国工业化进程加快、生产力水平提升，防洪安全和粮食安全的民生需求更加凸显。一方面，不同规模的水库陆续规划建成，黄河水治理战略从过去被动式的水安全防治，转变成主动筹划的水安全控制及水资源调度管理。另一方面，社会经济的快速增长造成流域内水资源的供需矛盾更加突出，同时大量的工业、农业及生活污染物排放引起水体污染、缺水严重、水生态破坏问题叠加交织，流域水治理的复杂程度加剧。

治黄70余年来，黄河流域的水安全、水污染等问题得到了初步缓解。随着我国社会主要矛盾的变化，黄河流域人与水的矛盾由过去的水安全、水资源供应不足转向更高质量的水生态服务功能、水资源分布与经济发展格局错位的新阶段^[27, 28]。

近10年来，国家针对黄河流域治理作出了一系列战略部署，明确将黄河流域生态保护和高质量发展作为国家战略，推动黄河流域水治理进入系统综合治理的新时代。《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》明确提出了让黄河成为造福人民的幸福河的指导思想，黄河流域水治理的战略上升为建设幸福河^[29]，最终实现社会经济发展与生态环境保护高度统筹的人水和谐目标^[30]。

（二）黄河流域水管理制度变迁

中华人民共和国成立后，我国水管理体制随着水管理战略的变迁而多次调整。整体战略变迁趋势是逐步加强水环境、水资源及水生态的统筹管理，水管理体制由分割管理逐步走向统一管理。在国家水管理体制变迁的大背景下，黄河水管理的流域管理与行政区域管理结合的制度建设逐渐完善。

黄河水利委员会是我国最早成立的流域管理机构之一，于1950年由中央政府决定成立，作为水利部领导直属的事业单位，统一领导和管理黄河的治理与开发^[31]。1988年，《中华人民共和国水法》（以下简称《水法》）指出，对水资源保护和开发利用具有管理权的机关有水利部、国家环保总局、农业部、国家林业局、国家计划发展委员会、国家电力公司、建设部、交通部和卫生部等部门。该时期黄河的水管理体系呈现出“九龙治水”局面。在当时的管理体制中，水利部是流域水管理的主导部门。

在1998年的国务院机构改革中，水利部被明确为主管水行政的国务院组成部门，负责水资源统一管理和流域管理。2002年新修订的《水法》首次规定，国家对水资源实行流域管理与行政区域管理相结合的管理体制，水资源管理开始从分割管理转向统一管理^[32]。相比水利部主导的水资源管理，流域的水环境管理起步更晚，主管水污染防治的原环境保护部在黄河流域水管理相关的职能范围有限。

在2018年的国务院机构改革中，原环境保护部发展为生态环境部，分散在各部门间的水环境管理职能集中整合到生态环境部，包括原水利部的编制水功能区划、流域水环境保护职责以及原农业部、住房和城乡建设部等其他涉水管理部门的相关职责。

历经多次机构改革，我国“九龙治水”的管理体制问题虽得到很大程度改善，但是“水环境”与“水资源”两项管理职能仍是分散在水利部与生态环境部两个部门。专家学者呼吁多年的水量与水质统筹管理的目标仍未真正实现。

进入“十四五”时期，黄河保护立法工作进一步推动了黄河流域的统筹协调管理机制正式确立。流域管理与行政区域管理相结合的管理体制及统筹协调机制被正式写入《黄河保护法》（2022年），该法律是黄河流域管理的第一部法律文件。《黄河保护法》同时对水利部所属的黄河流域管理机构、生态环境部所属的黄河流域生态环境监督管理机构以

及各级河湖长的主要职责都进行了详细规定。流域统筹协调机制在《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》(2021年)中被进一步明确为:由中央推动成立黄河流域生态保护和高质量发展领导小组(领导小组办公室设在国家发展和改革委员会)。综合《黄河保护法》及《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》等黄河流域管理最新顶层设计方案,对新改革形成的黄河流域管理体制框架进行总结,如图3所示。

黄河流域综合治理的工作机制为中央统筹、省负总责、市县落实的工作机制。在中央统筹层面,由领导小组负责全面指导黄河流域治理战略的实施,协调解决跨区域重大问题,推动流域内保护治理工作统一规划、统一管理、统一调度。在行政管理层面,由国家发展和改革委员会、水利部、生态环境部及自然资源部等主要相关部门根据各自职责分工,联合各省级人民政府负责流域管理综合决策。在流域管理层面,主要由分布在省、市、县各级层面的水行政主管部门设立的流域管理机构开展工作。其中,水利部直属的黄河水利委员会主要负责流域防洪和水资源管理等方面的监测、调度、监督及沟通协调等工作;生态环境部的派出机构黄河流域生态环境监督管理局主要负责流域生态环境监管和行政执法相关工作;市县层面设立的各级河湖

长负责河湖管理保护相关工作,各级林长负责森林草原资源保护发展相关工作。

新确立的黄河流域管理和行政区域管理结合的管理体制针对跨区域和跨部门协调管理机制建设取得了重大突破,有利于促进黄河流域统筹综合管理目标的落地实施。

四、黄河流域实施“以水定产”面临的主要挑战

“以水定产”作为水管理制度体系中重要的管理手段之一,是推动我国水管理体系实现水资源、水环境、水生态多水统筹管理,从粗放式管理向精细化管理转变的实践抓手。在当前的黄河流域水管理实践中,“以水定产”原则的落地具体体现在流域和区域取用水总量控制、排污许可制度等方面。对于如何实现水资源、水环境、水生态统筹下的产业发展优化和调整,尚处于研究阶段,落地实践中仍然存在管理体制不顺、实施抓手缺乏、统计基础工作不扎实等诸多难点。为了推动“以水定产”在黄河流域落地实施,依据“以水定产”促进可持续水管理的实施框架,发现当前黄河流域水管理体系下实施“以水定产”仍面临以下主要挑战。

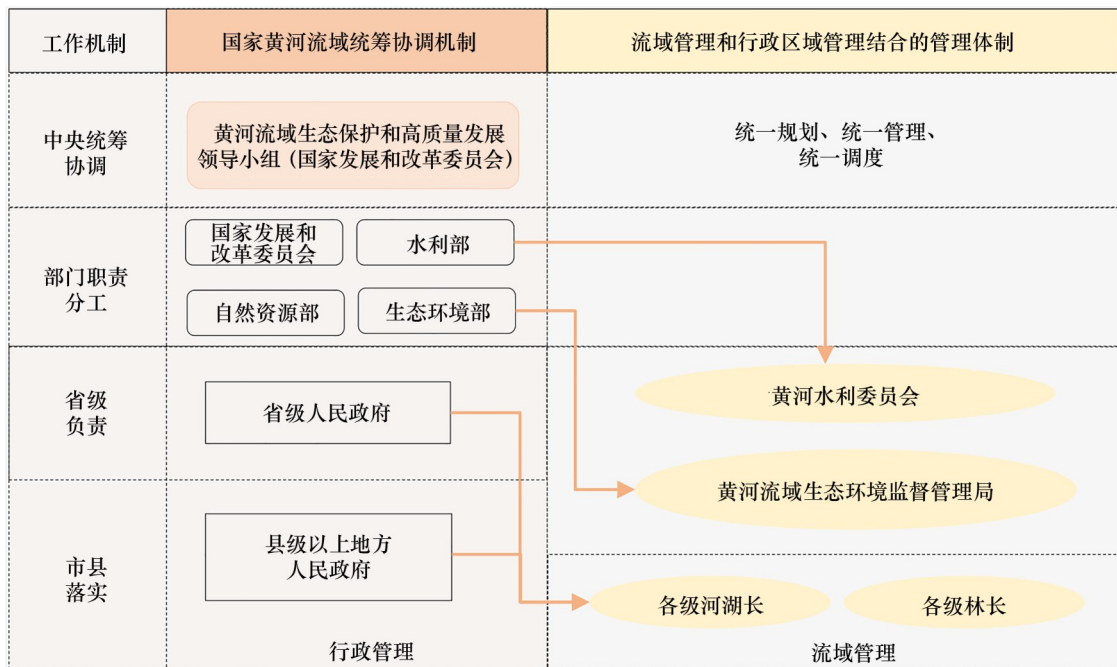


图3 黄河流域管理体制框架

（一）部门间管理体制统筹协调仍待优化

“以水定产”的落地实施不能单纯就水论水，其实施过程是涵盖自然-社会-经济复杂系统的多维度、多要素、多目标的权衡问题。多维问题的解决涉及不同主管部门之间的合力协作，例如，在“三水”统筹管理过程中，由水利主管部门管理水资源，生态环境主管部门统筹管理水环境和水生态。跨部门之间的协同合作不仅需要更高层级的管理机构担任协调角色，更需要成熟的机制作为保障。虽然我国已经明确由中央统筹推动建立黄河流域生态保护和高质量发展的协调机制，但是当前该协同机制的具体运作方式仍待进一步完善；黄河水利委员会作为流域统筹协调保障机制的流域管理机构，是水利部下属单位，对平级甚至更高级别的主管部门之间的统筹协调功能，在实践中难以充分发挥^[33]。

（二）人水和谐系统性社会效益仍待强化

水管理的最终目标是实现经济效益、环境效益与社会效益的协同与可持续发展，流域水管理过程是涉及政府、企业、社会公众等多利益相关方共同协作的联合行动^[34, 35]。然而，黄河流域目前的治理体系仍然是由政府主导的自上而下的行政管理模式。作为生态资源消费者的企业和社会公众，参与度较低，独立于政府内部监督体系之外的公民和社会监督尚未实现^[36]，能够反映社会公众切实诉求的自下而上的有效反馈机制尚未形成。

（三）精细化基础数据支撑能力亟待提升

黄河流域水管理的精细化管理，需要扎实的基础数据统计、水资源水环境承载力分析及环境经济核算等作为支撑。目前，黄河流域的水管理基础数据主要由水量数据和水质数据组成，且这两类数据的共享工作目前仍未打通融合，在“时、空、量、构、序”维度的统一与协调方面存在错位与出入，难以适用于水资源、水环境、水生态“三水”统筹管理。此外，整合分析经济与环境两系统内在互动关联的关键是建立流域水资源环境经济综合核算混合账户，然而由于当前我国用水调查统计与国民经济核算两套体系尚难以结合，数据资料基础薄弱的问题依然突出^[37]，流域层面的水资源环境经济核算研究成果也较为有限。黄河流域的经济-环境系统

的取用水及排水等数据精度难以支撑流域空间尺度内细分行业用水定额的精细化管理。

五、“以水定产”驱动的黄河流域可持续水管理的发展建议

以“以水定产”作为重要抓手，完善黄河流域精细化水管理策略体系，是解决当前黄河流域水资源短缺主要矛盾、实现黄河流域生态保护和可持续发展重大战略目标的重要途径。针对当前黄河流域水管理体系中实施“以水定产”的主要困难，提出以下几点关键的对策建议。

（一）完善流域协调机制，切实推进“四水四定”

细化黄河流域中央统筹机构及流域管理机构的职能，充分发挥相关机构的协调统筹能力，协同推进“四水四定”。建议建立定期的流域内省级河湖长联席会议机制；在流域重要规划中明确加强流域内涉水行政部门及流域管理机构之间的信息沟通和协商；逐步攻克黄河流域管理和行政区域管理之间在规划、管理及调度各方面存在的障碍。推动有关部门协同开展黄河流域水资源环境经济核算、水资源与水环境承载力综合评估、社会-经济-环境耦合模型研究工作，在专项规划及地方政策中细化以水定城、以水定地、以水定人、以水定产落实的具体举措。

（二）激励多元主体参与，创新治理网络体系

采取正式制度和非正式制度结合的管理方式，充分利用数字化网络化的新兴交流方式，将工业企业、社会组织、科研单位及沿岸居民纳入流域水管理协商体系。由流域管理机构协调组织定期的多样化交流会议，就“四水四定”利益相关方之间的冲突矛盾事宜进行充分协商，创新自上而下与自下而上相结合的合作治理网络体系；搭建流域综合管理的网络协商平台，打通政府管理部门与非政府组织以及高校科研机构之间的信息沟通障碍；在涉水事务的综合决策中充分考量社会中利益相关方的群体诉求，将水资源、水环境、水生态及水安全多维度的水事务融为一体；以建设“幸福河”为最终目标，以“四水四定”为抓手，推动建成黄河流域环境、经济、社会效益协同的可持续水管理体系。

(三) 共建共享数据资源, 推动可持续水管理

建议建立智慧黄河信息共享平台, 促进流域协调机制与河湖长制相结合, 协调生态环境、水利、自然资源等相关部门的管理平台基础数据并实现数据互联互通; 建立流域生态环境、水文气象、水土资源、自然灾害等基础数据信息共享机制, 实现流域空间内水量水质统一数字化管理。加强生态环境数据与区域内经济产业数据的整合对接, 提升流域水管理的用水统计管理、水质监测预警、系统综合预测及智能辅助决策能力。在建立基础数据共享平台的基础上, 增强不同区域水行政主管部门数据公开的规范统一性, 加强水利、环保部门的公开水量水质数据口径的统一, 提升公开数据的统计精度, 通过政策规范支持对科研机构流域水管理相关研究的定向数据支撑, 全面推动黄河流域可持续水管理。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: October 30, 2022; **Revised date:** December 12, 2022

Corresponding author: Chen Lyujun is a professor from the School of Environment of Tsinghua University. His major research fields include green development of industrial parks, cleaner production technology and industrial ecology. E-mail: chenlj@tsinghua.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on Ecological Protection and High-quality Development Strategy of the Yellow River Basin (Phase II)” (2021-HYZD-03)

参考文献

- [1] 陈岩, 赵琰鑫, 赵越, 等. 黄河流域“四水四定”推动高质量发展的实现路径 [J]. 环境保护, 2022, 50(14): 32–35.
Chen Y, Zhao Y X, Zhao Y, et al. The realization path of water conservation to promote high-quality development in the Yellow River Basin [J]. Environmental Protection, 2022, 50(14): 32–35.
- [2] 水利部. 水利部印发关于开展节水型社会建设试点工作指导意见的通知 [EB/OL]. (2002-12-24)[2022-07-19]. http://zfs.mwr.gov.cn/zxw/201401/t20140123_665457.html.
Ministry of Water Resources of the People’s Republic of China. Circular of the Ministry of Water Resources of the People’s Republic of China on *Issuing guiding opinions on the pilot work of building a water saving society* [EB/OL]. (2005-12-30)[2022-07-19]. http://zfs.mwr.gov.cn/zxw/201401/t20140123_665457.html.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家发展和改革委员会. 住房和城乡建设部 国家发展和改革委员会关于进一步加强城市节水工作的通知 [EB/OL]. (2014-08-18)[2022-10-29]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/tzgg/201408/20140818_218727.html.
Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People’s Republic of China, National Development and Reform Commission. Circular of the Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People’s Republic of China and the National Development and Reform Commission on *Further strengthening urban water saving* [EB/OL]. (2014-08-18)[2022-10-29]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/tzgg/201408/20140818_218727.html.
- [4] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发水污染防治行动计划的通知 [EB/OL]. (2015-04-02)[2022-10-29]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-04/16/content_9613.htm.
The State Council of the People’s Republic of China. Circular of the State Council of the People’s Republic of China on *Issuing action plan for water pollution prevention and control* [EB/OL]. (2015-04-02) [2022-10-29]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-04/16/content_9613.htm.
- [5] 张洪波, 陈建耀, 王亚. 实现我国 21 世纪水资源可持续利用的制度革新及其可行性探讨: 水与社会经济发展的相互影响及作用 [C]. 西安: 全国第三届水问题研究学术研讨会, 2005.
Zhang H B, Chen J Y, Wang Y. Institutional innovation and feasibility study on sustainable utilization of water resources in China in the 21st century: Interaction and effect of water and social economic development [C]. Xi’an: The Third National Water Research Symposium, 2005.
- [6] 吴季松. 水! 最受关注的 66 个水问题 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015.
Wu J S. Water! The 66 most concerned water issues [M]. Beijing: Beihang University Press, 2015.
- [7] 中华人民共和国生态环境部. 关于印发《黄河流域生态环境保护规划》的通知 [EB/OL]. (2022-06-28)[2022-07-15]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/zcghtjdd/ghxx/202206/t20220628_987021.shtml.
Ministry of Ecology and Environment of the People’s Republic of China. Notice on *The ecological environment protection plan of the Yellow River Basin* issued by the Ministry of Ecology and Environment of the People’s Republic of China [EB/OL]. (2022-06-28) [2022-07-15]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/zcghtjdd/ghxx/202206/t20220628_987021.shtml.
- [8] 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/OL]. 水资源保护: 1–10[2022-12-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.TV.20220907.1724.002.html>.
Wang H, Xu X F, Chen J Q, et al. Water resources protection and utilization “basing four aspects on water resources”: Basic cognition and key technology system [J/OL]. Water Resources Protection: 1–10[2022-12-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.TV.20220907.1724.002.html>.
- [9] 张瑞美, 王亚杰, 杨钢. 西北地区落实“以水定产”的问题与对策 [J]. 水利发展研究, 2021, 21(5): 33–37.
Zhang R M, Wang Y J, Yang G. Problems and countermeasures of implementing “production determination by water” in Northwest China [J]. Water Resources Development Research, 2021, 21(5): 33–37.
- [10] 谷树忠. 落实“以水四定”的症结识别与政策工具 [J]. 中国水利, 2021 (6): 52–54, 57.
Gu S Z. Identification of sticking points and policy tools for implementing during defining scopes of city, land, population and production with water [J]. China Water Resources, 2021 (6): 52–

- 54, 57.
- [11] 王亚华. 中国水治理体系的战略思考 [J]. 水利发展研究, 2020, 20(10): 10–14.
Wang Y H. Strategic thinking on China's water governance system [J]. Water Resources Development Research, 2020, 20(10): 10–14.
- [12] 戴薇, 张阳, 何似龙. 水管理概念界定 [J]. 水利经济, 2008, 26(2): 11–13.
Dai W, Zhang Y, He S L. Definition of water management concept [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2008, 26(2): 11–13.
- [13] Loucks D P. Sustainable water resources management [J]. Water International, 2000, 25(1): 3–10.
- [14] 马世俊, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统 [J]. 生态学报, 1984 (1): 1–9.
Ma S J, Wang R S. The social-economic-natural complex ecosystem [J]. Acta Ecological Sinica, 1984 (1): 1–9.
- [15] 王如松, 欧阳志云. 社会-经济-自然复合生态系统与可持续发展 [J]. 中国科学院院刊, 2012, 27(3): 337–345.
Wang R S, Ouyang Z Y. Social-economic-natural complex ecosystem and sustainability [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2012, 27(3): 337–345.
- [16] 王如松. 生态整合与文明发展 [J]. 生态学报, 2013, 33(1): 1–11.
Wang R S. Integrating ecological civilization into social-economic development [J]. Acta Ecological Sinica, 2013, 33(1): 1–11.
- [17] 王如松. 资源、环境与产业转型的复合生态管理 [J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(2): 125–132.
Wang R S. Integrative eco-management for resource, environment and industrial transformation [J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2003, 23(2): 125–132.
- [18] Wang X, Jiang P, Yang L, et al. Extended water-energy nexus contribution to environmentally-related sustainable development goals [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021, 150: 111485.
- [19] Albrecht T R, Crootoof A, Scott C A. The water-energy-food nexus: A systematic review of methods for nexus assessment [J]. Environmental Research Letters, 2018, 13(4): 43002.
- [20] 王秦, 邱红. 区域资源环境承载力的内涵、特征与演进机制研究 [J]. 当代经济管理, 2020, 42(5): 51–58.
Wang Q, Qiu H. Study on the connotation characteristics and evolution mechanism of regional of resources and environment carrying capacity [J]. Contemporary Economic Management, 2020, 42(5): 51–58.
- [21] 赵东升, 郭彩霞, 郑度, 等. 生态承载力研究进展 [J]. 生态学报, 2019, 39(2): 399–410.
Zhao D S, Guo C Y, Zheng D, et al. Review of ecological carrying capacity [J]. Acta Ecological Sinica, 2019, 39(2): 399–410.
- [22] 钟维琼, 代涛, 高湘韵. 产业发展与资源环境承载力研究综述 [J]. 资源与产业, 2016, 18(6): 74–80.
Zhong W Q, Dai T, Gao X Y. Research overview of industrial development and resource environment carrying capacity [J]. Resources & Industries, 2016, 18(6): 74–80.
- [23] 傅伯杰, 王帅, 沈彦俊, 等. 黄河流域人地系统耦合机理与优化调控 [J]. 中国科学基金, 2021, 35(4): 504–509.
Fu B J, Wang S, Shen Y J, et al. Mechanisms of human-natural system coupling and optimization of the Yellow River Basin [J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2021, 35(4): 504–509.
- [24] 胡春宏, 张双虎, 张晓明. 新形势下黄河水沙调控策略研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 122–130.
Hu C H, Zhang S H, Zhang X M. Research on water and sediment regulation of the Yellow River under new situation [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(1): 122–130.
- [25] “黄河流域生态保护和高质量发展战略研究”综合组. 黄河流域生态保护和高质量发展协同战略体系研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 93–103.
The Comprehensive Research Group for *Research on Ecological Protection and High-Quality Development Strategy of the Yellow River Basin*. Coordinated strategy of ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(1): 93–103.
- [26] 王亚华, 毛恩慧, 徐茂森. 论黄河治理战略的历史变迁 [J]. 环境保护, 2020, 48(Z1): 28–32.
Wang Y H, Mao E H, Xu M S. On the historical changes of Yellow River governance strategy [J]. Environmental Protection, 2020, 48(Z1): 28–32.
- [27] 廖建凯, 杜群. 黄河流域协同治理: 现实要求、实现路径与立法保障 [J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(10): 39–46.
Liao J K, Du Q. Collaborative governance of the Yellow River Basin: Realistic requirements, realization approaches and legislative emphases [J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(10): 39–46.
- [28] 左其亭, 张志卓, 马军霞. 黄河流域水资源利用水平与经济社会发展的关系 [J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(10): 29–38.
Zuo Q T, Zhang Z Z, Ma J X. Relationship between water resource utilization level and socio-economic development in the Yellow River Basin [J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(10): 29–38.
- [29] 左其亭, 郝明辉, 马军霞, 等. 幸福河的概念、内涵及判断准则 [J]. 人民黄河, 2020, 42(1): 1–5.
Zuo Q T, Hao M H, Ma J X, et al. Happy river: The concept, connotation and judgement criteria [J]. Yellow River, 2020, 42(1): 1–5.
- [30] 左其亭, 胡德胜, 窦明, 等. 基于人水和谐理念的最严格水资源管理制度研究框架及核心体系 [J]. 资源科学, 2014, 36(5): 906–912.
Zuo Q T, Hu D S, Dou M, et al. Framework and core system of the most stringent water resource management system based on the concept of human-water harmony [J]. Resources Science, 2014, 36(5): 906–912.
- [31] 水利部黄河水利委员会. 综述 [EB/OL]. (2011-08-14)[2022-07-28]. http://www.yrcc.gov.cn/hhyl/hhgk/zs/201108/t20110814_103443.html.
Yellow River Conservancy Commission of Ministry of Water Resources. Overview [EB/OL]. (2011-08-14)[2022-07-28]. http://www.yrcc.gov.cn/hhyl/hhgk/zs/201108/t20110814_103443.html.
- [32] 王亚华. 中国水管理改革进展评估报告: 国情报告(第十卷 2007年(上)) [C]. 北京: 清华大学国情研究中心, 2012.
Wang Y H. Assessment report on the progress of China's water management reform: National situation report (Volume X, 2007 (I)) [C]. Beijing: Institute for Contemporary China Studies of

- Tsinghua University, 2012.
- [33] 王浩, 钮新强, 杨志峰, 等. 黄河流域水系统治理战略研究 [J]. 中国水利, 2021 (5): 1-4.
Wang H, Niu X Q, Yang Z F, et al. Study on the strategy of water system governance in the Yellow River Basin [J]. China Water Resources, 2021 (5): 1-4.
- [34] Cheng L, Shi L, Xie Y, et al. Restructuring China's water environment management system: A social network perspective [J]. Sustainability, 2020, 12(20): 8422.
- [35] Ostrom E. Collective actions and the evolution of social norms [J]. Journal of Natural Resources Policy Research, 2014, 6(4): 235-252.
- [36] 王亚华, 唐啸. 中国环境治理的经验: 集体行动理论视角的审视 [J]. 复旦公共行政评论, 2019 (2): 187-202.
Wang Y H, Tang X. China's experience in environmental governance: A collective action theory perspective [J]. Fudan Public Administration Review, 2019 (2): 187-202.
- [37] 甘泓, 高敏雪. 创建我国水资源环境经济核算体系的基础和思路 [J]. 中国水利, 2008 (17): 1-5.
Gan H, Gao M X. Basis and thoughts on creating the System of Environmental-Economic Accounting for Water(SEEAW) of China [J]. China Water Resources, 2008 (17): 1-5.