

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2023.01.001

水资源保护利用“四水四定”:基本认知与关键技术体系

王浩¹,许新发²,成静清²,周祖昊¹,褚俊英¹,张静文²

(1. 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室,北京 100044;

2. 江西省水利科学院,江西 南昌 330029)

摘要:分析了我国水资源保护利用管理实践的发展历程,将其划分为被动管理、主动管理和智慧管理3个阶段;提出了水资源保护利用“四水四定”的基本概念、基本原则、基础理论、科学内涵以及实施的路径模式,在理论上形成了水资源保护利用“四水四定”的系统认知;基于“是什么”“什么水”“定什么”“怎么定”和“怎么管”5个相互联系的基本环节,提出了水资源保护利用“四水四定”的关键技术体系,为我国水资源保护利用“四水四定”的技术研发和管理创新指出了发展方向。

关键词:水资源保护;水资源利用;“四水四定”;理论认知;路径模式;技术体系

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2023)01-0001-07

“Basing four aspects on water resources” in water resources protection and utilization: basic cognition and key technology system// WANG Hao¹, XU Xinfu², CHENG Jingqing², ZHOU Zuhao¹, CHU Junying¹, ZHANG Jingwen²
(1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of River Basin Water Cycle, China Institute of Water Resources & Hydropower Research, Beijing 100044, China; 2. Jiangxi Academy of Water Science and Engineering, Nanchang 330029, China)

Abstract: The development process of water resources protection and utilization management practice in China is analyzed, which can be divided into three stages of passive management stage, active management stage and intelligent management stage. The basic concept, basic principle, basic theory, scientific meaning and implementation pattern of “basing four aspects on water resources” in water resources protection and utilization are put forward, and the systematic cognition of “basing four aspects on water resources” in water resources protection and utilization is formed in theory. Based on the five interrelated components of “what”, “what water”, “what to decide”, “how to decide” and “how to manage”, the key technology system of “basing four aspects on water resources” in water resources protection and utilization is put forward. The future development of technology and management innovation in “basing four aspects on water resources” in water resources protection and utilization in China is pointed out.

Key words: water resources protection; water resources utilization; “basing four aspects on water resources”; theory cognition; implementation pattern; technology system

我国的水资源保护利用管理从传统被动式、粗放式管理,逐步向主动式、精细化管理转变^[1]。2019年9月习近平总书记主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会,提出“要坚持以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”,为新时期水资源保护利用提出了新要求。近些年来,研究者在以水定城、以水定地、以水定人、以水定产(简称“四水四定”或“以水四定”)的理论、方法以及应用等方面开

展了探索。在理论层面,谷树忠^[2]在分析我国“以水四定”推进态势与主要症结基础上,提出了协同推进策略和政策工具;杨舒媛等^[3]认为“以水四定”的基本前提是明确水资源保护及可供水资源量的约束条件,目标为确定人口、建设用和经济发展规模及城市发展布局引导方向。研究总体上以思想转变和认识提升为主,尚未形成系统化的理论体系。在技术方法层面,当前研究主要以水资源保护利用总

基金项目:中国工程院院地合作项目(2022-03JXZT-03);江西省水利发展研究项目(JXSLFZ2022-01);江西省水利科技重大项目(202124ZDKT20,202022ZDKT03)

作者简介:王浩(1953—),男,中国工程院院士,教授级高级工程师,博士,主要从事水文水资源研究。E-mail:wanghao@iwhr.com

通信作者:褚俊英(1976—),女,正高级工程师,博士,主要从事节水、水资源规划与管理等研究。E-mail:jchu@iwhr.com

量控制指标或水资源配置结果为基础,采用指标法倒推社会经济发展规模,系统动力学、承载力评价、投入产出分析以及多目标优化等方法也得到应用^[4-6],但如何“量水”并进一步反馈到社会经济系统尚缺乏统一的方法。在研究对象层面,当前研究主要在北方缺水地区,南方丰水地区研究较少^[7-8]。总体上,水资源保护利用“四水四定”的理论、技术和管理模式亟须深入探索。本研究系统梳理了我国水资源保护利用管理发展的3个阶段,提出了水资源保护利用“四水四定”的基本概念、科学内涵、基本原则和路径模式,建立了“四水四定”的关键技术体系,旨在为我国流域和区域水资源保护利用“四水四定”管理创新提供科技支撑。

1 水资源保护利用管理的发展历程

我国水资源条件是人均水资源少,时空分布不均,与生产力布局不相匹配,气候变化条件下水资源系统的脆弱性和不确定性增大。随着缺水、水污染、水生态破坏以及水灾害等问题日益突出和不断交织,水资源保护利用的管理模式不断演进和更新。我国水资源保护利用管理从传统的被动管理阶段,逐步发展到主动管理阶段,再发展到智慧管理阶段,水资源管理的主动化、精细化、智慧化程度不断提升^[9]。按照发展历程,我国水资源保护利用管理实践可分为3个阶段:

a. 被动管理阶段:供需平衡、达标控制、灾害应急(1949—2001年)。中华人民共和国成立以来我国水资源管理主要以行政计划为主,基本特点是供给管理、以需定供。随着我国由计划经济体制向中国特色社会主义市场经济体制过渡,开始实施需水管理,用水效率明显提升。1988年《中华人民共和国水法》颁布,我国水资源保护利用管理步入法治化轨道,水价、水权、水市场等市场化机制不断完善。在水污染防治方面,强调点源污染控制,以工业企业达标排放为控制手段,面源污染开始凸显,水环境质量迅速下降。在水灾害应对方面,实行以工程建设、应急抢险为主的被动防御政策,以最大限度地减轻灾害损失,确保人民群众的生命和财产安全。

b. 主动管理阶段:量强双控、红线管理、主动防御(2002—2018年)。随着缺水、水污染问题的日益突出,我国开始注重依靠科技进步与水资源管理提高用水效率,实现从供水管理向需水管理转变,从粗放用水向高效用水转变,从过度开发向主动保护转变。2002年10月修订后的《中华人民共和国水法》施行,明确提出国家对用水实行总量控制和定额管理相结合的制度,我国水资源保护利用管理越来越

严格。2012年1月,国务院发布《关于实行最严格水资源管理制度的意见》,建立了用水总量控制红线、用水效率控制红线、水功能区限制纳污红线“三条红线”和用水总量控制制度、用水效率控制制度、水功能区限制纳污制度及水资源管理责任和考核制度“四项制度”,水资源保护利用的管理日趋严格^[10]。2014年,习近平总书记提出了“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的新时期治水方针,2015年国务院发布了《关于印发水污染防治行动计划的通知》(“水十条”),出重拳解决复合型污染问题,水环境恶化趋势得到遏制,流域和区域水环境质量不断改善。在水灾害方面,综合运用工程措施和非工程措施进行主动防御,降低灾害风险。

c. 智慧管理阶段:量水而行、韧性提升、智慧水利(2019年至今)。随着人民群众对水安全的需求日益增长,我国的水资源保护利用管理进入精细化管理阶段。该阶段注重提升水资源可再生性,实现“以水而定、量水而行”,促进水环境质量实现根本好转,复苏河湖生态环境,推动海绵城市建设提升韧性,降低灾害风险。2019年9月,习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上指出,“把水资源作为最大的刚性约束,合理规划人口、城市和产业发展”。张晨光等^[11]从水资源承载力视角开展水量供需平衡管理研究,以青海省大通县为例分析了水资源承载状况。随着遥感、人工智能技术的快速发展,充分融合物联感知、量化模拟、自动控制、智能决策分析等技术,基于数字底板建设智慧水利平台已成为重要发展趋势^[12]。

2 水资源保护利用“四水四定”的基本理论

2.1 “四水四定”的基本概念

“四水四定”是指把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,合理规划人口、城市和产业发展,坚定走绿色、可持续的高质量发展之路。

a. 水是“四水四定”的主体。将水资源、水生态、水环境承载能力和水灾害防御作为刚性约束,强调的是刚性约束作用,目的是调整、约束人的行为,推动用水方式由粗放型转向节约集约型,促进经济社会发展布局与水资源条件相匹配。

b. 经济社会发展是“四水四定”的客体。辨析社会经济发展和低碳绿色发展下城市、土地、人口、产业等对水资源系统的反馈促进作用,以经济社会的发展反向促进水资源的高效节约集约利用。其中:①以水定城核心是建立水与城镇化发展之间的联系,将水作为城镇社会经济发展规划、国土空间规

划以及生态建设的核心因素,防止城镇“摊大饼”式无序扩张;②以水定地核心是建立水与土地利用的联系,尤其是将水作为发展灌溉农业的关键限制因子,在保障粮食安全条件下,调整和优化农业用地结构与布局;③以水定人核心是建立水与人口发展之间的联系,将水作为判别人口规模限制的主要因子,对严重缺水地区实行生态移民,引导人口布局优化;④以水定产核心是建立水与产业发展的联系,将水作为产业项目论证的主导因素,加快淘汰“三高”企业,走产业绿色、低碳的发展之路。

2.2 “四水四定”的基本原则

水资源保护利用“四水四定”实施过程中应坚持如下基本原则:

a. 节水优先,量水而行。实施高效节水、深度节水和极限节水,推动用水方式由粗放式向节约集约式的根本转变,解决经济社会发展与水资源短缺之间的矛盾。

b. 生态优先,绿色环保。坚持生态优良、生产低碳、生活宜居导向,坚决守住生态功能保障基线、环境质量安全底线、自然资源利用红线,协调经济社会发展与生态环境保护的关系。

c. 因地制宜,分类施策。充分考虑区域水资源禀赋特点以及水生态与环境特征,突出重点,分类施策,加快形成面向“四水四定”的高效空间格局、产业结构、生产方式和消费模式,打造特色鲜明的高质量发展体系。

d. 空间均衡,协同推进。注重流域水循环及其伴随过程的系统性和整体性,统筹实现上下游、干支流、左右岸的空间均衡,促进水资源、水环境、水生态和水灾害等多要素的协同共治。

2.3 “四水四定”的基础理论

水资源保护利用“四水四定”有3个基本理论,即流域“自然-社会”二元水循环理论、资源竞争理论和多目标优化控制理论。其中,流域“自然-社会”二元水循环理论是科学基础,资源竞争理论是内在动力,多目标优化控制理论是决策依据。

a. 流域“自然-社会”二元水循环理论。受到全球气候变化和强人类活动的影响,流域水循环由自然水循环主导,演变为“自然-社会”二元水循环,逐渐形成了“自然-社会”二元水循环学科范式、科学问题、研究内容和研究方法等^[13]。其中,“降水-坡面-河道-地下”是自然水循环的基本过程,“取水-供水-用耗水-排水-回用”为社会水循环的基本过程,社会经济发展和下垫面的改变对水循环各要素产生了深刻影响。当前,流域水循环的通量不断增大,路径不断延伸,且结构更为复杂。总体上,流域“自然-

社会”二元水循环理论是水资源保护利用“四水四定”的科学基础。

b. 资源竞争理论。由于水资源具有稀缺性、不完全流动性、时空分布差异性等特征,不同水源、不同用户、不同区域的社会水循环过程具有外部性和关联性,导致水资源利用存在竞争现象甚至引发矛盾,是水资源保护利用“以水四定”实施的内在动力。李曦等^[14]提出了丰水区和缺水地区竞争、上下游取水和排水竞争、相邻区域抽取地下水竞争、缺水年份或季节竞争、不同用途用水竞争、空中取水潜在竞争以及水灾害分担竞争等区域水资源竞争的形式和协调机制。Karimi 等^[15]考虑水循环和社会经济特征构建了长期动态水资源分配模型,分析给出了农业用水和工业用水在不同政策下的竞争关系;Celio 等^[16]分析了城市和农业用水的竞争特征,以及农业用水转向城市的根本原因;Bernauer 等^[17]分析了国际跨界流域水资源在不同国家的竞争关系;许尔琪等^[18]针对干旱区耕地大规模扩张带来的水问题,建立了生态退耕空间优化配置及权衡分析模型,分析了干旱区水资源约束下生态退耕方案;郝帅等^[19]认为水-能源-粮食系统作为动态开放的复杂系统存在复杂的协同竞争关系,采用水足迹方法研究了区域经济发展过程中能源、粮食对水资源的竞争关系,并对水资源竞争的时空状态进行了定量测度,以促进区域能源、粮食生产与水资源的协调发展;翟家齐等^[20]综合考虑驱动增长、刚性需水、用水效益以及缺水程度构建了用水竞争力指数评价模型,并以京津冀地区为例计算分析了其演变特点。

c. 多目标优化控制理论。随着经济社会发展、生态保护与水资源关系日益密切,水资源保护利用从单一目标开始转向水资源综合利用,需要协调与经济、社会与生态之间的复杂关系^[21]。多目标优化控制理论是“四水四定”的决策依据,需要在两个或多个相互冲突的目标之间进行权衡,并对其进行反馈控制。受到环境复杂性、信息不对称性、认知局限性等多方面影响,现实中的决策难以遵循最大化或最优化的理性原则,而是遵循满意度最大的原则,即收获超过满意度底线时,人们就会做出选择和决策。

2.4 “四水四定”的科学内涵

水资源保护利用“四水四定”系统是由“水-经济社会”组成的复杂大系统,各组成要素和子系统间存在相互联系和制约关系,“四水四定”的科学内涵可以概括为“4-4-1”:实现主体的“四大约束”(“汤”)、客体的“四位融合”(“馍”),通过“均衡协同”实现主客体的协同制衡,破解“汤”和“馍”之间的矛盾。

a. “四大约束”。“四水四定”的主体是水。水是事关国计民生的基础性自然资源和战略性经济资源,是生态环境的控制性要素,也是经济社会发展的基础性、先导性、控制性要素。水具有 4 个基本属性:一是资源属性,水是生命之源、生产之要,既是基础性的自然资源,也是战略性的经济资源;二是环境属性,水是自然环境的重要组成部分和控制性要素;三是生态属性,水是生态之基,是生态系统和生物多样性的控制要素;四是灾害属性,极端条件下水是洪涝与干旱等灾害的控制性要素。对应于水的上述基本属性,形成水的“四大约束”机制,主要包括:

①水量约束。水量目标得以满足,维持水资源的可再生性,实现水资源对社会经济发展的可持续支撑。②水质约束。水质目标得以满足,充分利用水环境容量,满足水功能区水质目标要求,不损害水体的服务功能。③水生态约束。水生态目标得以满足,生态流量得到保障,水生态系统良性循环。④水灾害约束。优化经济社会合理布局,提升防灾减灾能力,降低灾害带来的影响和损失,旱涝灾害防御目标得以满足。

b. “四位融合”。“四水四定”的客体是“城-地-人-产”系统。“城-地-人-产”系统是复杂大系统,不同要素之间相互作用,并通过水的要素进行深度融合,基于计算单元的“城-地-人-产”系统及其与水的耦合关系如图 1 所示。城镇、农村和产业水系统是社会水循环的重要组成部分,是“城-人-地-产”的载体。由于该系统极为复杂,为促进城镇、农业、产业用水的合理控制与科学规划,可从承载力的角度进行适度简化,如“地”表征为耕地,“产”表征为产业,“人”表征为人口,“城”表征为城镇建设等^[22]。

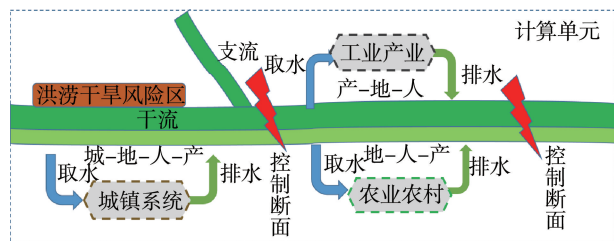


图 1 基于计算单元的“城-地-人-产”与水耦合关系示意图

Fig. 1 Schematic diagram of coupling relationships between “city-land-human-production” and water based on calculation unit

c. “均衡协同”。“均衡协同”体现了主体和客体之间的联系,应实现多目标的均衡协同,具体包括:①社会公平。实现区域经济社会发展缺水率最小、人均 GDP 差异最小,使有限的水量支撑更大产出效益,满足经济社会高质量发展要求和群众对美

好生活的向往。②节约高效。在水资源保护利用“取、用、耗、排”各环节,生产、生活、生态各领域,农业、工业、服务等各行业,都应把节约放在首位,通过行政、技术、经济等综合手段实现用水全过程管理,推进水资源节约集约利用,提高水资源利用效率。③绿色低碳。经济社会水资源利用的外部性最小,最大程度实现人类取用耗排过程对水环境、水生态系统的扰动最小化。④韧性安全。降低干旱和洪涝灾害的威胁和损失,一旦受灾迅速恢复到常态。

2.5 “四水四定”的路径模式

通常,区域水资源开发利用和社会经济发展过程都有明显的阶段性特征,在不同的时空尺度,水对区域经济社会约束力的大小和特征存在差异^[23]。按照水对区域经济社会系统约束强度的大小,“四水四定”的路径模式主要有以下 4 种及其不同组合:

a. 资源强约束区,量效双控。对于北方缺水地区以及南方丰水地区的干旱缺水时期,经济社会水资源保护利用主要受到水资源供给的约束,有限的水资源难以同时满足生产、生活和生态用水需求,应根据特定的社会经济发展状况和用水水平,走内涵式发展道路,实行业用水总量和用水效率双控,强化总量控制和定额管理,提高水资源节约集约利用水平。

b. 生态强约束区,耗水管控。对于河流断流、生态系统敏感地区(如西北内陆区),经济社会水资源利用需要和生态用水进行协调,尽量减少经济社会用水对生态用水的挤占,重点是耗水控制,提升河湖水体生态系统的健康水平。

c. 环境强约束区,污染管控。对于南方水污染严重地区(如珠江流域、太湖流域),应加强水污染的源头减排、过程控制和末端治理,重点是退排水量及主要污染物入河量的控制,降低河湖水体的污染风险。

d. 灾害强约束区,布局管控。对于洪涝灾害严重的地区(如长江流域中下游的洞庭湖区、鄱阳湖区,淮河流域中下游平原低洼区),应加强极端条件风险管控,重点是“城-地-人-产”空间布局的管制。

3 面向 5 个基本环节的“四水四定”关键技术体系

根据水不同属性与经济社会系统的耦合作用关系,水资源保护利用“四水四定”的实施主要包括 5 个基本环节,即“是什么”“什么水”“定什么”“怎么定”和“怎么管”。其中,“是什么”重点是识别“四水四定”研究区域的特征,即水各要素与经济社会的作用关系及其存在的突出问题;“什么水”是水资

源保护利用“四水四定”的主体,重点识别水资源、水环境、水生态、水灾害等各基本属性的约束强度,如水资源可利用量、生态系统保护需水要求、水功能区水质要求、旱涝灾害大小等;“定什么”是水资源保护利用“四水四定”的客体,重点识别“城-地-人-产”的总量与结构特征,如发展趋势、需水规模与结构、污染负荷强度与分布等;“怎么定”重点是给出水资源保护利用“四水四定”的量化方法;“怎么管”主要是从管理的视角,提出水资源保护利用“四水四定”长效管理的制度、体制和机制。

面向5个基本环节,水资源保护利用“四水四定”的关键技术体系如图2所示。

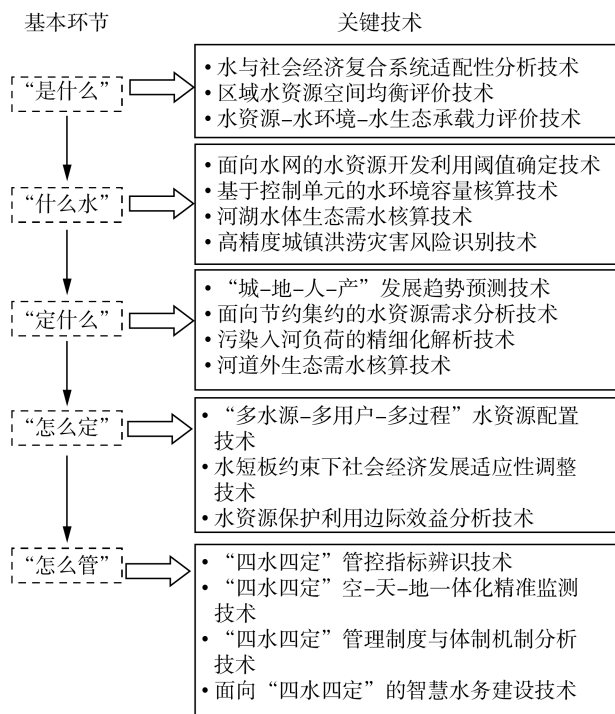


图2 面向5个基本环节的“四水四定”关键技术

Fig.2 Key technologies of “basin four aspects on water resources” considering five components

a. “是什么”环节。合理辨识流域或区域的水与经济社会发展的特征,是水资源保护利用“四水四定”实施的前提。针对该环节,亟须研发水与经济社会复合系统适配性分析技术、区域水资源空间均衡评价技术及水资源-水环境-水生态承载力评价技术等关键技术,识别该区域实施水资源保护利用“四水四定”亟须解决的突出问题。

b. “什么水”环节。科学核定水资源、水生态、水环境以及水灾害的约束强度和约束对象,是水资源保护利用“四水四定”实施的基础。针对该环节,亟须突破面向水网的水资源开发利用阈值确定技术、基于控制单元的水环境容量核算技术、河湖水体生态需水核算技术^[24-25]及高精度城镇洪涝灾害风

险识别技术等关键技术,对水资源保护利用“四水四定”实施中水的约束特性进行量化识别。

c. “定什么”环节。系统评估经济社会系统“城-地-人-产”的总量、结构、布局及其相互作用关系,是水资源保护利用“四水四定”实施的重点。针对该环节,亟须发展“城-地-人-产”发展趋势预测技术、面向节约集约的水资源需求分析技术、污染入河负荷的精细化解析技术及河道外生态需水核算技术等关键技术。

d. “怎么定”环节。根据不同时空条件下水对经济社会系统“城-地-人-产”约束状况,进行社会经济系统“城-地-人-产”适应性调整,是水资源保护利用“四水四定”实施的关键。针对该环节,亟须研发“多水源-多用户-多过程”水资源配置技术、水短板约束下社会经济发展适应性调整技术及水资源保护利用边际效益分析技术等关键技术。

e. “怎么管”环节。根据区域“四水四定”的计算结果,建立“四水四定”的管控体系,是水资源保护利用“四水四定”实施的抓手。针对该环节,重点研发“四水四定”管控指标辨识技术、“四水四定”空-天-地一体化精准监测技术、“四水四定”管理制度与体制机制分析技术及面向“四水四定”的智慧水务建设技术等关键技术。

4 结 语

研究分析了我国水资源保护利用管理实践发展的3个阶段,从被动管理阶段逐步发展到主动管理阶段,再发展到智慧管理阶段,水资源管理日趋严格化,其精细化、主动化、智慧化程度不断提升。系统提出了水资源保护利用“四水四定”理论体系,包括基本概念、基本原则、基础理论、科学内涵和路径模式,形成了水资源保护利用“四水四定”的基本认知。面向区域水资源保护利用“四水四定”实施的5个基本环节,即“是什么”“什么水”“定什么”“怎么定”和“怎么管”,给出了水资源保护利用“四水四定”的关键技术体系,为我国水资源保护利用“四水四定”的技术研发和管理创新指出了发展方向。

从未来的发展趋势看,随着科学技术的不断进步,水资源保护利用“四水四定”重点将从北方缺水地区向南北方差异化管理转变,从水资源单要素控制向“水资源-水环境-水生态-水灾害”统筹转变,从粗放式管理向精细化管理转变,从经验化管理向智能化管理转变,以便从根本上促进人水和谐和经济社会的高质量发展。

参考文献:

- [1] 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. (WANG Hao, WANG Jianhua, HU Peng. New connotation of water resources protection:“quantity-quality-domain-connectivity-biology” coordinated protection and restoration[J]. Water Resources Protection,2021,37(2):1-9. (in Chinese))
- [2] 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. (GU Shuzhong. 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. (in Chinese))
- [3] 杨舒媛,魏保义,王军,等.“以水四定”方法初探及在北京的应用[J].北京规划建设,2016(3):100-103. (YANG Shuyuan, WEI Baoyi, WANG Jun, et al. Preliminary study on the method of “basing four aspects on water resource” and its application in Beijing[J]. Beijing Planning Review, 2016(3):100-103. (in Chinese))
- [4] 胡启玲,董增川,杨雁飞,等.基于联系数的水资源承载力状态评价模型[J].河海大学学报(自然科学版),2019,47(5):425-432. (HU Qiling, DONG Zengchuan, YANG Yanfei, et al. State evaluation model of water resources carrying capacity based on connection number [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019,47(5):425-432. (in Chinese))
- [5] 高玉琴,吴迪,刘海瑞,等.城市化影响下区域水资源承载力评价[J].水利水电科技进展,2022,42(3):1-8. (GAO Yuqin, et al. Evaluation of regional water resources carrying capacity under urbanization [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2022,42(3):1-8. (in Chinese))
- [6] 金菊良,刘东平,周戎星,等.基于投影寻踪权重优化的水资源承载力评价模型[J].水资源保护,2021,37(3):1-6. (JIN Juliang, LIU Dongping, ZHOU Rongxing, et al. Evaluation model of water resources carrying capacity based on projection pursuit weight optimization [J]. Water Resources Protection,2021,37(3):1-6. (in Chinese))
- [7] 李发鹏,穆文彬,肖恒.北方干旱半干旱地区以水定地问题探析[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2021,42(2):104-108. (LI Fapeng, MU Wenbin, XIAO Heng. Analysis on the problem of optimal allocation of water and land resources in arid and semiarid areas of north China [J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition),2021,42(2):104-108. (in Chinese))
- [8] 姜尚文,陈英健,洪甘林,等.“以水四定”及其在兰州城市发展中的水资源保障对策思考[J].甘肃水利水电技术,2021,57(10):6-8. (JIANG Shangwen, CHEN Yingjian, HONG Ganlin, et al. “Basing four aspects on water resource” and its countermeasures in the development of Lanzhou City[J]. Gansu Water Resources and Hydropower Technology, 2021, 57(10):6-8. (in Chinese))
- [9] 严登华,王浩,周梦,等.全球治水模式思辨与发展展望[J].水资源保护,2020,36(3):1-7. (YAN Denghua, WANG Hao, ZHOU Meng, et al. Scientific ideas and development prospects of global water management modes [J]. Water Resources Protection,2020,36(3):1-7. (in Chinese))
- [10] 褚俊英,桑学锋,严子奇,等.水资源开发利用总量控制的理论、模式与路径探索[J].节水灌溉,2016(6):85-89. (CHU Junying, SANG Xuefeng, YAN Ziqi, et al. A research on theory, pattern and path of total amount control of water resources utilization[J]. Water Saving Irrigation, 2016(6):85-89. (in Chinese))
- [11] 张晨光,文章,龚健,等.可持续发展视角下基于水量供需平衡的水资源承载力分析:以青海省大通县为例[J].安全与环境工程,2022,29(2):237-247. (ZHANG Chenguang, WEN Zhang, GONG Jian, et al. Carrying capacity of water resources based on water supply and demand balance from the perspective of sustainability: a case study of Datong County, Qinghai Province [J]. Safety and Environmental Engineering, 2022, 29(2):237-247. (in Chinese))
- [12] 王旭滢.长江大保护智慧水务标准体系框架设计探究[J].水利信息化,2022(1):26-30. (WANG Xuying. Study on framework design of smart water affairs standard system for Yangtze River protection[J]. Water Resources Informatization,2022(1):26-30. (in Chinese))
- [13] 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. (WANG Hao, JIA Yangwen. Theory and study methodology of dualistic water cycle in river basins under changing conditions [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2016,47(10):1219-1226. (in Chinese))
- [14] 李曦,杨卫国.水资源区域竞争与协调[J].科技进步与对策,2005,22(2):22-24. (LI Xi, YANG Weigu. Regional competition and coordination on water resources [J]. Science & Technology Progress and Policy,2005,22(2):22-24. (in Chinese))
- [15] KARIMI A, ARDAKANI R. Development of a dynamic long-term water allocation model for agriculture and industry water demands [J]. Water Resources Management,2010,24(9):1717-1746.
- [16] CELIO M, GIORDANO M. Agriculture-urban water transfers: a case study of Hyderabad, South-India [J].

- Paddy and Water Environment, 2007, 5(4): 229-237.
- [17] BERNAUER T, BÖHMELT T. International conflict and cooperation over freshwater resources [J]. Nature Sustainability, 2020, 3(5): 350-356.
- [18] 许尔琪, 李婧昕. 干旱区水资源约束下的生态退耕空间优化及权衡分析: 以奇台县为例 [J]. 地理研究, 2021, 40(3): 627-642. (XU Erqi, LI Jingxin. Spatial optimization of ecological cropland conversion and trade-off analysis under water resources restriction in the arid region: taking Qitai County as a case study [J]. Geographical Research, 2021, 40(3): 627-642. (in Chinese))
- [19] 郝帅, 孙才志, 宋强敏. 中国能源-粮食生产对水资源竞争的关系: 基于水足迹的视角 [J]. 地理研究, 2021, 40(6): 1565-1581. (HAO Shuai, SUN Caizhi, SONG Qiangmin. Study on the competitive relationship between energy and food production for water resources in China: from a perspective of water footprint [J]. Geographical Research, 2021, 40(6): 1565-1581. (in Chinese))
- [20] 翟家齐, 赵勇, 赵纪芳, 等. 用水竞争力指数评价方法及其应用研究 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2021, 19(1): 122-129. (ZHAI Jiaqi, ZHAO Yong, ZHAO Jifang, et al. The evaluation method of water competitiveness index and its application [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2021, 19(1): 122-129. (in Chinese))
- [21] 张玲玲, 高亮. 多目标约束下区域水资源优化配置研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(4): 16-19. (ZHANG Lingling, GAO Liang. Study on optimal allocation of regional water resources under constraint of multi-objective [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2014, 25(4): 16-19. (in Chinese))
- [22] 宋志, 乐琪浪, 陈绪钰, 等. 水资源承载力评价方法初探以及在“以水四定”中的运用 [J]. 沉积与特提斯地质, 2021, 41(1): 106-111. (SONG Zhi, LE Qilang, CHEN Xuyu, et al. A preliminary study on evaluating method of water resources' carrying capacities of China and its application [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2021, 41(1): 106-111. (in Chinese))
- [23] 鲍超, 方创琳. 水资源约束力的内涵、研究意义及战略框架 [J]. 自然资源学报, 2006, 21(5): 844-852. (BAO Chao, FANG Chuanglin. On concept, significance and strategic framework for water resources constraint force [J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(5): 844-852. (in Chinese))
- [24] 褚俊英, 严登华, 周祖昊, 等. 基于综合功能辨识的城市河湖生态流量计算模型及应用 [J]. 水利学报, 2018, 49(11): 1357-1368. (CHU Junying, YAN Denghua, ZHOU Zuhao, et al. Ecological flow calculation in urban rivers and lakes base on synthesized ecosystem service function identification: model and application [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(11): 1357-1368. (in Chinese))
- [25] 易雨君, 徐嘉欣, 宋劫, 等. 黄河河口区生态需水量及流量过程核算 [J]. 水资源保护, 2022, 38(1): 133-140. (YI Yujun, XU Jiabin, SONG Jie, et al. Ecological water demand and discharge process calculation in the Yellow River Estuary [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(1): 133-140. (in Chinese))
- (收稿日期: 2022-07-12 编辑: 熊水斌)

《水资源保护》征订启事

《水资源保护》(ISSN 1004-6933, CN 32-1356/TV)是教育部主管、河海大学和中国水利学会环境水利专业委员会共同主办的科技期刊,针对我国水资源短缺、水污染严重、水环境恶化等突出问题,探讨水资源保护工作中的基础研究、宏观管理及水环境治理、水生态修复等问题,主要栏目有“特约专家论坛”“水资源”“水环境”“水生态”等。

《水资源保护》1985年创刊,经过30多年的努力,《水资源保护》办刊成绩斐然,目前是美国《工程索引》(EI)收录期刊、中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊、中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE中国权威学术期刊、中国精品科技期刊、中国高校百佳科技期刊、华东地区优秀期刊,同时被荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)、美国《化学文摘》(CA)、波兰《哥白尼索引》(IC)等数据库收录。

《水资源保护》长期以来一直都是水利界和环保界备受关注的重点期刊,是国内较有影响的水利期刊之一,主要读者对象是全国从事与水资源保护工作有关的科技人员、管理人员以及大专院校师生。

《水资源保护》现为双月刊,30元/册,全年共计180元,每逢单月20日出版。邮发代号:28-298。

地址:210098 南京市西康路1号 电话:(025)83786642

电子邮箱:bh1985@vip.163.com;bh@hhu.edu.cn