

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2023.04.014

“四水四定”水资源管控理论研究成果

王若禹¹, 赵志轩^{1,2}, 黄昌硕^{1,2}, 沙海飞¹, 耿雷华^{1,2}, 侯 锐¹

(1. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;

2. 长江保护与绿色发展研究院, 江苏 南京 210098)

摘要:为落实水资源刚性约束制度, 推动水资源精细化管理, 在分析“四水四定”概念内涵、总结水资源管理理念和管控经验的基础上, 提炼出“四水四定”水资源管控的基本理论和管理准则。系统梳理了“四水四定”的最新进展, 指出应从宏观系统评价体系构建、水资源优化配置模型重构、水资源管控制度细化等方面进一步深化“四水四定”水资源管控的相关研究。

关键词:“四水四定”; 水资源管控; 水资源优化配置; 刚性约束

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2023)04-0111-07

Research progress on water resources management theory of “basing four aspects on water resources” // WANG Ruoyu¹, ZHAO Zhixuan^{1,2}, HUANG Changshuo^{1,2}, SHA Haifei¹, GENG Leihua^{1,2}, HOU Rui¹ (1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Yangtze Institute for Conservation and Development, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to implement the rigid constraint system for water resources and promote refined management of water resources, based on the analysis of the concept and notion of “basing four aspects on water resources” and the summary of the experience of water resources management, the basic theory and management guidelines for water resources control of “basing four aspects on water resources” are proposed. The latest progress of “basing four aspects on water resources” is systematically sorted out, and it is pointed out that further research on the water resources control of “basing four aspects on water resources” should be deepened from the aspects of macro-system evaluation system construction, water resources optimization allocation model reconstruction, and refinement of water resources control system.

Key words: “basing four aspects on water resources”; water resources control; water resources optimization allocation; rigid constraint

水是基础的自然资源、战略性的经济资源和生态环境的控制性要素^[1]。水资源供需矛盾突出已成为多国面临的普遍性问题, 联合国教科文组织发布的《2022 年联合国世界水发展报告》指出, 全球 2/5 的人口缺少生活用水, 近 40 亿人在一年中至少有 1 月面临严重缺水, 21 亿人被迫饮用污染水。我国人均水资源量偏少、水资源时空分布不均, 随着近年来我国城镇化、工业化进程不断加快, 水资源供需矛盾已成为制约部分地区经济社会可持续发展的重要因素。

随着水资源短缺问题日益突出, 我国水资源管

理理论和技术也不断发展, 管理理念从早期的“以需定供”逐步过渡到“以供定需”^[2], 以总量控制为基本原则, 先后实施了最严格水资源管理制度^[3]、水资源消耗总量和强度双控制度^[4]、水资源刚性约束制度等一系列管理制度。其中, 水资源刚性约束制度的核心是“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”, 实质是以区域可用水量最大的刚性约束, 将有限的水资源优化配置给各类用水户, 破解水资源短缺制约瓶颈, 以有限的水资源支撑区域生态保护和经济社会高质量发展。因此, 有必要在系统总结“四水四定”已有相关研究成果的基础上, 界定

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC3204601); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(Y522003); 江苏省水利科技项目(2021047)

作者简介:王若禹(1999—), 男, 硕士研究生, 主要从事水资源可持续利用研究。E-mail: roywang1999@126.com

通信作者:赵志轩(1983—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事水资源节约、管理和保护研究。E-mail: zzhao@nhri.cn

“四水四定”的概念,揭示其科学内涵,系统梳理“四水四定”最新研究进展,结合水资源管理的形势和要求,提炼出未来“四水四定”理论和技术发展趋势,以期为我国水资源精细化管理理论技术体系发展提供科技支撑。

1 “四水四定”的提出

面对日益增长的用水需求以及我国水安全的严峻形势,习近平总书记在2014年3月14日中央财经领导小组第五次会议上提出“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”,明确要求把水资源、水生态、水环境承载力作为刚性约束。2021年10月22日,习近平总书记在济南市主持召开深入推动黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上强调要全方位贯彻“四水四定”原则,走好水安全有效保障、水资源高效利用、水生态明显改善的集约节约发展之路^[5]。可见,“四水四定”实际是以水资源承载能力为约束,以生态保护为前提,通过优化配置有限的水资源,实现经济社会高质量发展。

从实践层面来看,各省(自治区、直辖市)积极探索制定“四水四定”方案,如宁夏作为黄河流域生态保护和高质量发展先行区,制定了《宁夏“十四五”用水权管控指标方案》;江苏印发了《江苏省水利厅关于开展水资源刚性约束“四定”试点工作的通知》,确定9个试点地区(新区、工业园区),探索丰水地区“四水四定”实现路径;河南编制了《河南省四水同治规划(2021—2035年)》,明确提出强化“四水四定”,把水资源作为最大刚性约束,将水资源的承载能力作为国土空间规划的关键资源环境要素,统筹城乡建设、产业布局、经济社会发展。

总体而言,“四水四定”是水资源精细化管理新的发展方向,目前主要集中在实践层面,现阶段相关理论及技术研究仍有待深入。

2 “四水四定”概念和内涵

2.1 “四水四定”的概念

在“城、地、人、产”概念方面,已有学者开展了相关研究工作,如冯奎等^[6]提出以水定城涵盖了城市-区域两个空间维度,以推动区域内不同城市的协同发展;张丹等^[7]认为以水定产不仅要为调整产业结构指明方向,同时要以实现水利项目的投入产出与产业效益双赢为目标;李发鹏等^[8]以内蒙古西辽河流域为例,从水土匹配角度阐明了以水定地中用地规模的竞争关系及用水保障程度等。

同时,面对经济社会发展的复杂形势,“城、地、人、产”之间存在竞争和协调的双层关系,故客观认

识各要素间的区别联系也同等重要:①人类的开发利用行为直接决定了“城、地、产”的发展规模,而水资源储量的有限性决定了必须将经济社会发展限制在一定规模以内,故“人”是“四水四定”具体分析的首要因素;②“城”和“地”更多反映的是城市扩张和耕地规模间的竞争关系,尽管农业作为用水大户产出效益相对较低,但作为维系国家粮食安全、社会稳定的重要因素,必须保障其相应规模和最低要求^[9];③“产”包含但又不局限于产业结构,同时是“城、地、人”发展情况的量化体现,故对于区域民生产业、优势产业、低耗高效产业要进行充分保障,在“以水定产”的过程中,要以引导为目的,以限制为手段,从而体现水资源的刚性约束作用。

总体而言,现阶段仍需进一步挖掘“城、地、人、产”各子系统间、各子系统与水资源系统间的响应关系。“四水四定”的核心是将水资源作为最大刚性约束,统筹考虑水资源、生态环境和社会经济复合系统的协调发展情况,分配可供“城、地、人、产”利用的可用水量。“四水四定”中“城、地、人、产”的具体表征总结如下:

a. “以水定城”。从“城镇空间”布局出发,同时充分考虑“生态空间”布局,以保障区域水环境、水生态、水安全为目的,划定相关控制线进一步指导国土空间布局优化。

b. “以水定地”。从区域土地利用现状出发,在保障永久基本农田控制线的前提下,摸清耕地与有效灌溉面积的承载规模,以水资源作为最大刚性约束,对耕地规模和种植结构进行优化调整。

c. “以水定人”。从区域人口规模和城镇化率出发,统筹考虑城镇空间规模,确定城市可承载的人口规模。

d. “以水定产”。从区域产业结构出发,以水资源作为最大刚性约束,在保障区域优势产业发展的前提下,协调各类型产业统筹发展。

根据上文所述,本文将“四水四定”定义为:在维持区域水资源系统自然循环、保障河道内生态环境需水的前提下,以水资源作为最大刚性约束,对区域可用水量在“城、地、人、产”协调发展中进行优化分配,从而支撑区域生态保护和经济社会高质量发展。

2.2 “四水四定”的科学内涵

“四水四定”是平衡新时期水资源开发利用与经济社会发展和生态环境保护的有效管控模式,是保障国家水安全、维持区域可持续发展的重要手段。在明确“四水四定”相关概念的基础上,有必要从3个环节进一步挖掘“四水四定”的科学内涵:

a. “四水四定”中的“水”。“四水四定”中的“水”指可用水量,即一定时期内可供区域“城、地、人、产”利用的满足一定水质目标要求的水量,其与传统的“可供水量”^[10]、“水资源可利用量”^[11]概念不同,是指在可预见期内,以行政区域为计算单元,以维持河湖健康为前提,统筹水资源条件、工程供水能力及总量管控指标,不同来水条件和不同水平年可利用的水量。从水源上可划分为地表水、地下水、外调水和非常规水^[12],其中地表水可用水量由过境水和本地地表水构成,过境水由水量分配指标和工程供水能力的较小值决定,本地地表水可用水量即地表水可利用量;地下水可用水量由地下水可开采量和地下水管控指标的较小值确定;非常规水通常以再生水为主,需结合不同区域实际情况进行具体分析。

b. “四水四定”中的“需”。水资源刚性约束制度的推进和建立对于用水需求的管控提出了更为严格的要求,而“四水四定”中“需”的内涵则蕴藏在“城、地、人、产”中。为体现水资源的刚性约束作用,需要在分析经济社会发展对水资源的需求中界定刚性需求及弹性需求(刚性需求指满足生理和安全需求下的基本生活需求,弹性需求指满足美好生活需要产生的相应用水需求)^[13-14],从而采用相应方法确定现状年或规划水平年配置单元的刚性需水量和弹性需水量。

c. “四水四定”中的“定”。定的目标是界定经济社会发展空间和用水效率范围。在把握水与经济社会发展协调关系的前提下,以区域可用水量为约束,以目标导向和约束倒逼方式提出水资源优化利用方案,确定经济社会行业部门的取水控制要求和合理规模。“定”的实质是水资源优化配置的问题,根据水资源刚性约束背景下不同层次的用水需求进行配置,其中刚性需水层基于公平性原则,将缺水量分摊到各用水户并进行配置,弹性需水层根据用水户用水的边际效益大小进行配置,优先配置给效益高的用户。

3 “四水四定”水资源管控制度的发展进程和原则

3.1 “四水四定”水资源管控制度与相关制度的联系和区别

a. 我国水资源管理理念的发展历程。自1988年颁布《中华人民共和国水法》后,我国确立了取水许可与水资源有偿使用等一系列管控制度,采取了总量控制、定额管理等一系列措施。2012年实施的《关于实行最严格水资源管理制度的意见》确立了

三条红线、四项制度,体现了我国水资源管理从注重量的管控,到量、质和效率并重的管控思路^[15]。党的十九届五中全会提出实施国家节水行动,建立水资源刚性约束制度,进一步明确了水资源在保障经济社会发展中的引导和约束作用,以及在最严格水资源管理、取水许可与水资源有偿使用等相关制度体系中发挥的统领性作用^[16]。

b. “四水四定”水资源管控制度与相关制度的联系与区别。“四水四定”水资源管控制度是现阶段深化最严格水资源管理制度的核心,是建立水资源刚性约束制度体系的关键关节。在管控指标方面,最严格水资源管理制度注重总量、效率和水质目标的管控,“四水四定”水资源管控制度在强调上述目标的同时,还注重水资源经济效益、生态效益和社会效益的实现,侧重为区域经济社会发展方式和产业结构调整提供依据。在管控对象方面,最严格水资源管理制度考核对象是县级以上行政区域,尽管考核指标也是按照用水行业类型进行划分,但不分行业用水量进行考核,而“四水四定”水资源管控制度则进一步将用水指标分配至行政区域内的“城、地、人、产”4类要素,管控目标更为精细化。“四水四定”水资源管控制度与相关制度的联系与区别情况见图1。

3.2 “四水四定”水资源管控制度应遵循的原则

“四水四定”的提出为推动水资源精细化管理提供了新方向、新思路,为切实推行“四水四定”水资源管控制度,需明确提出其应遵循的基本原则。

a. 约束性。水资源刚性约束制度明确了水资源在保障经济社会发展中的支配性地位,最严格水资源管理制度则指明了“四水四定”水资源管控制度的推进方向。因此,有必要在“四水四定”水资源管控制度中体现水资源的刚性约束作用,从管控方案上体现“四水四定”对经济社会发展规模的调整 and 限制作用,从而不断细化当前水资源管理制度的覆盖范围和约束对象。

b. 可持续性。“四水四定”是为了解决水资源与经济社会发展之间失衡的矛盾而提出的,即解决的是可持续发展的问题。“城、地、人、产”作为“四水四定”研究的客体,既相互关联,又存在竞争关系。这就强调要在保障经济社会刚性用水需求的基础上,对不符合区域水资源实际情况及落后产业结构的用水环节进行限制,从而在统筹考虑公平、效率等方面实现水资源和经济社会发展之间的平衡。

c. 可操作性。由于我国各地区在水资源条件、自然地理条件及社会经济结构等方面存在较强的差异性,故“四水四定”方案的制定应当符合区域的现

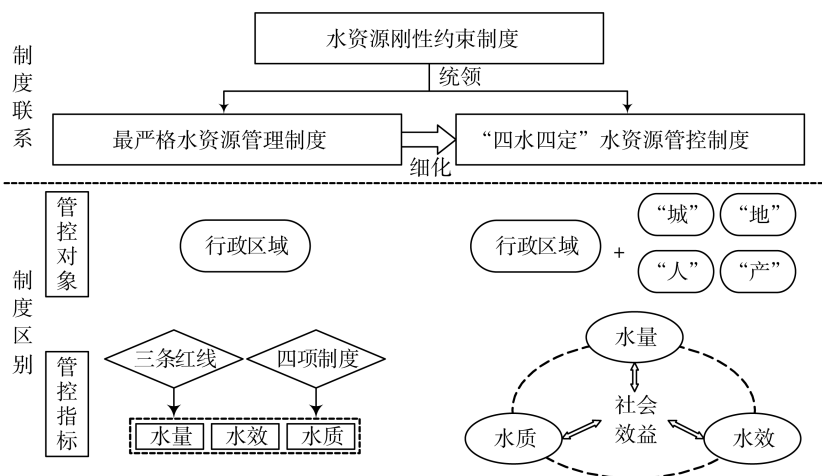


图1 “四水四定”水资源管控制度与相关制度的联系与区别

Fig.1 Relationship and difference between “basing four aspects on water resources” water resources control system and relevant systems

状条件。在缺水地区应注重对用水结构的优化调整,而在丰水地区则更应注重用水效率的提升,从而保障区域“四水四定”方案的可操作性。

d. 核心性。“四水四定”管控作为支撑区域水资源精细化的重要构成部分,要牢牢把握核心环节,即评价指标体系的构建和管控方案的制定要系统全面,层次明确,同时要反映用水环节的量化特征,考虑管理层面的实现方法,从落实考核和横向对比等方面保障“四水四定”管控的准确性。

4 “四水四定”研究现状与展望

4.1 研究现状

4.1.1 面向区域“四水四定”的现状评价研究

杨舒媛等^[17]在预测北京市可供水量的基础上,采用趋势外延、情景设置等方法,首次开展了区域“四水四定”状况评价并给出了对策建议。宋志等^[18]构建了涵盖水资源可承载的城镇建设用地区域、耕地面积、人口数量和工业增加值的指标体系,通过设置粗放浪费情景和节约用水情景,对全国“城、地、人、产”承载状态进行了评价。杨朝晖等^[19]引入水资源人口承载力概念,将万元 GDP 用水量、取水控制总量等指标对“以水定人”子系统进行表征,预测了宁夏各地区在高质量发展背景下 2025 年和 2030 年的合理人口规模。廖娜等^[20]通过驱动力分析进而构建耕地扩张模型,对玛纳斯流域绿洲耕地规模变化情况进行了评价,从“以水定地”角度给出了土地利用结构优化的建议。

目前相关评价方法涵盖了改进的水资源承载力评价方法、情景设置评价及耕地扩张模型重构等,不同评价方法评价侧重点具有较大的差异性。但目前

“四水四定”宏观系统中主要驱动因素识别、各子系统间的协调度分析及指标间的相关性分析等方面研究仍较为薄弱。面向“四水四定”的评价研究应当在选取驱动因素的基础上,科学识别主要因素,选取独立性较好的指标开展综合评价,为区域摸清“四水四定”现状提供切实保障。

4.1.2 “四水四定”落实方法及推进策略研究

姜尚文等^[21]认为强化水资源刚性约束为推动“四水四定”的核心环节,在此基础上构建了城市取用水量控制评价指标体系,同时提出应将再生水纳入区域水资源统一配置;谷树忠^[22]将已有相关政策推进态势融入“四水四定”中,在识别其现状发展主要症结后提出以现有政策工具为抓手强化落实“四水四定”;此外,部分专家学者分别围绕“四水四定”子系统探讨了推进策略^[23-24]。

上述研究虽不断丰富“四水四定”的应用理论,但研究方法和落实手段尚不明确,同时与相关制度的关联也未经系统梳理。故应从宏观角度加强“四水四定”方向的研究,从理论方法层面不断完善“四水四定”的理论内涵,丰富“四水四定”的研究方法;从管理层面在充分利用现有管理制度的基础上,以“四水四定”为契机推动水资源精细化管理。

4.2 研究展望

当前我国“四水四定”研究在系统评价、制度管理等方面虽取得了较大进展,但由于水资源精细化管理的复杂特性,“四水四定”研究在宏观系统评价、水资源优化配置、管控制度细化等方面仍存在较大探索空间,为此,本文给出“四水四定”水资源管控研究路线如图 2 所示。

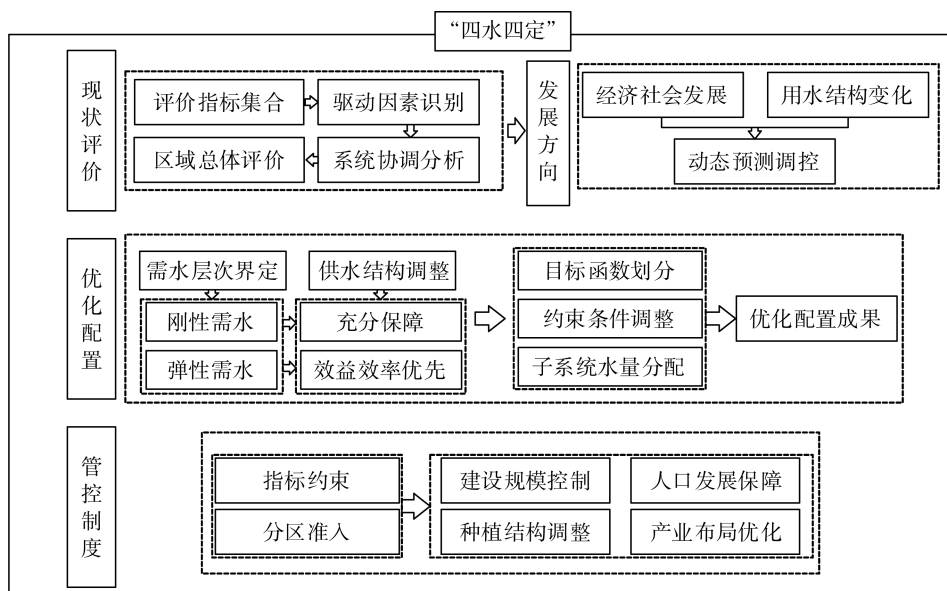


图2 “四水四定”水资源管控研究路线

Fig.2 Research road of “basing four aspects on water resources” water resources control

a. “四水四定”宏观系统评价体系的构建。“四水四定”宏观系统评价应重视水资源系统与社会经济系统、生态环境系统之间的协调平衡,在“城、地、人、产”各子系统评价的基础上构建“四水四定”宏观系统评价体系,并遵从构建指标集合、驱动因素识别、系统协调分析至最终利用主客观结合的多种方法对区域“四水四定”开展宏观评价的总体思路,以改善区域水资源承载状况为总体方向,探明区域“城、地、人、产”各子系统的可承载规模。进一步延伸为通过设置不同发展模式情景和考虑水资源形势变化,对区域未来“四水四定”状况开展动态预测调控,为区域水资源优化配置提供依据。

b. “四水四定”水资源优化配置模型的重构。自20世纪80年代以来,我国专家学者从水源类型、配置目标、模型方法等多方面持续深化对水资源配置的研究^[25-28],当前面向水量水质的联合配置已成为该领域的重点研究方向,适用于多目标问题的遗传算法^[29-31]逐渐成为水资源优化配置领域的重要模型工具。现阶段水资源优化配置研究方法多注重模型的创新性,对于基础数据(供需水量)的精准核算则为薄弱环节。因此,面向“四水四定”的水资源优化配置模型有必要从供需两侧出发,在需求端围绕水资源刚性约束界定刚性需水及弹性需水层次的需水要求和划分准则,提出不同层次需水量的预测方法;供给端对刚性需水按公平性原则进行分配,供给端在满足用水刚性和河湖基本生态需水的前提下,对弹性需水按效率效益优先进行协调分配,保证多主体利益的均衡,实现水资源利用从低效益向高效益的转变^[32];进而从目标函数优先级划分、约束条件合理

制定及子系统间水量分配等方面实现对水资源优化配置模型的重构,为管理者决策提供技术支撑。

c. “四水四定”水资源管控制度的细化。自“八七”分水方案实施以来,我国先后颁布了多项政策制度以提升水资源保障能力。一系列政策从确定区域可利用水量出发,进一步设定用水规模上限,再到如今推动水资源刚性约束制度的建立,不断推动水资源状况与经济社会发展规模相适应。

随着新时期生态保护、城镇建设及农业发展等多方面制度的建立,“四水四定”水资源管控制度应牢牢把握与相关制度及规划(国土空间规划、生态红线、耕地红线等)的衔接性,结合新时期“城、地、人、产”4个方面的发展需求,推动各区域从约束对象、约束内容、约束制度、约束措施等方面构建水资源刚性约束制度体系下的“四水四定”水资源管控方案。通过制定约束管控指标^[33]、划定管控分区的边界,采取“指标约束+分区准入”的管理方式,从供给端和需求端出发,对水资源质量管理、经济社会发展、产业布局方向及规模提出约束性的管控措施。

5 结 语

本文对“四水四定”的提出及发展过程进行了总结,初步剖析了“四水四定”概念及内涵;在总结水资源管理发展进程的基础上,提出建立“四水四定”水资源管控制度的基本设想,并给出了其理论应当遵循的原则,进而在总结现有研究不足的基础上,重新梳理研究路线,指出“四水四定”水资源管控应以现状评价、优化配置及管控制度为核心环节开展研究工作。总体而言,面向“四水四定”的相关

研究目前仍处于探索阶段,随着水资源精细化管理进程的加快,有必要不断丰富“四水四定”水资源管控的基础理论和技术方法,从而促进经济社会的可持续发展。

参考文献:

- [1] 张利平,夏军,胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(2):116-120. (ZHANG Liping, XIA Jun, HU Zhifang. Situation and problem analysis of water resource security in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(2):116-120. (in Chinese))
- [2] 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. (Project Group of “Strategic Research on Sustainable Development of Water Resource in China in 21st Century”, Chinese Academy of Engineering. Strategic research on sustainable development of water resource in China[J]. Engineering Science, 2000, 2(8):1-17. (in Chinese))
- [3] 王浩,王建华,胡鹏. 实行最严格水资源管理制度关键技术支撑探析[J]. 中国水利,2011(6):28-29. (WANG Hao, WANG Jianhua, HU Peng. Exploration and analysis of key technological support for the strictest managerial system of water resources[J]. China Water Resources, 2011(6):28-29. (in Chinese))
- [4] 陈雷. 全面实施水资源消耗总量和强度双控行动 着力保障经济社会持续健康发展[J]. 中国水利,2016(23):21-24. (CHEN Lei. Analysis on key technologies supporting the implementation of the strictest water resources management system [J]. China Water Resources, 2016(23):21-24. (in Chinese))
- [5] 全方位贯彻“四水四定”原则[N]. 中国水利报,2021-11-02(01).
- [6] 冯奎,李庆. 以水定城的系统视角与实施路径[J]. 区域经济评论,2019(3):118-123. (FENG Kui, LI Qing. Systematic perspective and implementation path of water-fixing city[J]. Regional Economic Review, 2019(3):118-123. (in Chinese))
- [7] 张丹,王境,王艺璇,等. “以水定产”的经验、问题及建议[J]. 水利经济,2021,39(2):82-85. (ZHANG Dan, WANG Jing, WANG Yixuan, et al. Experience, problems and suggestions for practicing “production determination by water”[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2021, 39(2):82-85. (in Chinese))
- [8] 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 semi-arid 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))

- [9] 赵良仕,刘思佳,孙才志. 黄河流域水-能源-粮食安全系统的耦合协调发展研究[J]. 水资源保护,2021,37(1):69-78. (ZHAO Liangshi, LIU Sijia, SUN Caizhi. Study on coupling and coordinated development of water-energy-food security system in the Yellow River Basin [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1):69-78. (in Chinese))
- [10] 钟平安,孔艳,张梦然. 基于规则的可供水量分配方法研究[C]//中国原水论坛专辑. 南京:《河海大学学报(自然科学版)》编辑部,2010:312-315.
- [11] 王建生,钟华平,耿雷华,等. 水资源可利用量计算[J]. 水科学进展,2006,17(4):549-553. (WANG Jiansheng, ZHONG Huaping, GENG Leihua, et al. Available water resources in China[J]. Advances in Water Science, 2006, 17(4):549-553. (in Chinese))
- [12] 陈卫东,李一平,孙玮,等. 常州市可用水量核算及优化配置[J]. 水电能源科学,2022,40(3):50-54. (CHEN Weidong, LI Yiping, SUN Wei, et al. Calculation and optimization allocation of available water in Changzhou City[J]. Water Resources and Power, 2022, 40(3):50-54. (in Chinese))
- [13] 侯保灯,高而坤,吴永祥,等. 水资源需求层次理论和初步实践[J]. 水科学进展,2014,25(6):897-906. (HOU Baodeng, GAO Erkun, WU Yongxiang, et al. Water resources demand hierarchy theory and preliminary practice[J]. Advances in Water Science, 2014, 25(6):897-906. (in Chinese))
- [14] 武见,明广辉,周翔南,等. 黄河流域需水分层预测[J]. 水资源保护,2020,36(5):31-37. (WU Jian, MING Guanghui, ZHOU Xiangnan, et al. Forecasting of water demand hierarchy in the Yellow River Basin[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(5):31-37. (in Chinese))
- [15] ZUO Qiting, JIN Runfang, MA Junxia, et al. China pursues a strict water resources management system [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 72(6):2219-2222.
- [16] 郭孟卓. 对建立水资源刚性约束制度的思考[J]. 中国水利,2021(14):12-14. (GUO Mengzhuo. Considerations on establishment of water resources rigid restraint system [J]. China Water Resources, 2021(14):12-14. (in Chinese))
- [17] 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 “four determinations with water” and its application in Beijing [J]. Beijing Planning Review, 2016(3):100-103. (in Chinese))
- [18] 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))
- [19] 杨朝晖,王彦兵,杨贵羽,等. 高质量发展下区域“以水定人”研究:以宁夏回族自治区为例[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52 (增刊2): 164-167. (YANG Zhaohui, WANG Yanbing, YANG Guiyu, et al. Study on “basing population on water resource” under high-quality development: a case study of Ningxia Autonomous Region [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2021, 52 (Sup2): 164-167. (in Chinese))
- [20] 廖娜,王月健,徐海量,等. 新疆玛纳斯河流域绿洲耕地扩张差异与驱动力研究[J]. 中国生态农业学报, 2021, 29 (6): 1008-1017. (LIAO Na, WANG Yuejian, XU Hailiang, et al. Differences in and driving forces of cultivated land expansion in the Manas River Basin oasis, Xinjiang [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29 (6): 1008-1017. (in Chinese))
- [21] 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. Thinking on the countermeasures of water resources guarantee in Lanzhou urban development [J]. Gansu Water Resources and Hydropower Technology, 2021, 57 (10): 6-8. (in Chinese))
- [22] 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))
- [23] 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 Ruimei, WANG Yajie, YANG gang. Problems and countermeasures of implementing “water based production” in Northwest China [J]. Water Resources Development Research, 2021, 21 (5): 33-37. (in Chinese))
- [24] 刘笑月. 以水定城引导新型城镇化建设[J]. 水利科技与经济, 2014, 20 (10): 67-68. (LIU Xiaoyue. Guiding the construction of new urbanization with water [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2014, 20 (10): 67-68. (in Chinese))
- [25] 王浩,王建华,秦大庸. 流域水资源合理配置的研究进展与发展方向[J]. 水科学进展, 2004, 15 (1): 123-128. (WANG Hao, WANG Jianhua, QIN Dayong. Research advances and direction on the theory and practice of reasonable water resources allocation [J]. Advances in Water Science, 2004, 15 (1): 123-128. (in Chinese))
- [26] 王浩,游进军. 水资源合理配置研究历程与进展[J]. 水利学报, 2008, 39 (10): 1168-1175. (WANG Hao, YOU Jinjun. Advancements and development course of research on water resources deployment [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39 (10): 1168-1175. (in Chinese))
- [27] 王浩,游进军. 中国水资源配置 30 年[J]. 水利学报, 2016, 47 (3): 265-271. (WANG Hao, YOU Jinjun. Progress of water resources allocation during the past 30 years in China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47 (3): 265-271. (in Chinese))
- [28] 姜秋香,何晓龙,王子龙,等. 基于区间多阶段随机规划的水资源优化配置模型及应用[J]. 水利水电科技进展, 2022, 42 (6): 1-7. (JIANG Qiuxiang, HE Xiaolong, WANG Zilong, et al. A model for optimal allocation of water resources based on interval multistage stochastic programming and its application [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2022, 42 (6): 1-7. (in Chinese))
- [29] 李建美,田军仓. NSGA-III 算法在水资源多目标优化配置中的应用[J]. 水电能源科学, 2021, 39 (2): 22-26. (LI Jianmei, TIAN Juncang. Application of NSGA-III algorithm in multi-objective optimization allocation of water resources [J]. Water Resources and Power, 2021, 39 (2): 22-26. (in Chinese))
- [30] 杜佰林,张建丰,高泽海,等. 基于模拟退火粒子群算法的水资源优化配置[J]. 排灌机械工程学报, 2021, 39 (3): 292-299. (DU Bailin, ZHANG Jianfeng, GAO Zehai, et al. Optimal allocation of water resources based on simulated annealing particle swarm optimization algorithm [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2021, 39 (3): 292-299. (in Chinese))
- [31] 张凯,沈洁. 基于萤火虫算法和熵权法的水资源优化配置[J]. 水资源保护, 2016, 32 (3): 50-53. (ZHANG Kai, SHEN Jie. Optimal allocation of water resources based on firefly algorithm and entropy method [J]. Water Resources Protection, 2016, 32 (3): 50-53. (in Chinese))
- [32] 王煜,彭少明,周翔南,等. 基于增量动态均衡配置的黄河分水方案优化方法研究[J]. 水资源保护, 2022, 38 (4): 48-55. (WANG Yu, PENG Shaoming, ZHOU Xiangnan, et al. Water allocation scheme optimization in the Yellow River based on incremental dynamic equilibrium configuration [J]. Water Resources Protection, 2022, 38 (4): 48-55. (in Chinese))
- [33] 吕良华,姜蓓蕾,耿雷华,等. 基于用水总量控制的雄安新区用水强度指标体系[J]. 水资源保护, 2022, 38 (5): 105-110. (LYU Lianghua, JIANG Beilei, GENG Leihua, et al. Water intensity index system of Xiong'an new area based on total water consumption control [J]. Water Resources Protection, 2022, 38 (5): 105-110. (in Chinese))

(收稿日期:2022-08-31 编辑:熊水斌)