

水网工程高质量发展若干关键问题的思考

王梦晗¹, 严登华^{1,2}, 张鑫¹, 宋一凡¹, 秦天玲¹

(1. 中国水利水电科学研究院流域水循环与调控国家重点实验室, 北京 100038;
2. 中国水利水电科学研究院内蒙古阴山北麓草原生态水文国家野外科学观测研究站, 北京 100038)

摘要:我国治水实践中已形成“四横三纵”天然水系与人工调水耦合互联的主骨架和大动脉, 水网工程转入高质量发展阶段。在此背景和《国家水网建设规划纲要》框架下, 考虑现阶段水网工程发展状况及其基本构成, 提出了水网工程应立足于综合立体调控的建设定位, 深入剖析了其高质量发展进程中蕴含的多重特性, 并分析了现阶段水网工程规划设计和建设运行中存在的问题。针对“系统完备、安全可靠, 集约高效、绿色智能, 循环通畅、调控有序”的建设目标, 进一步提出水网工程高质量发展思路, 即尊重自然、师法自然, 多效融合、重在能力, 系统谋划、多级协同, 先建机制、后建工程, 前瞻部署、梯次推进, 永续利用, 自流当先。

关键词:水网工程; 高质量发展; 规划设计; 建设运行; 立体调控

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2025)01-0035-07

Thoughts on key issues for high-quality development of water network projects//WANG Menghan¹, YAN Denghua^{1,2}, ZHANG Xin¹, SONG Yifan¹, QIN Tianling¹ (1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. Inner Mongolia Yinshanbeilu Grassland Eco-hydrology National Observation and Research Station, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: In the practice of water management in China, natural water systems and artificial water transfer projects have been coupled and interconnected to form the main skeleton and arteries of the national water network, known as the “four horizontals and three verticals”, and water network construction has entered the stage of high-quality development. Under this background and the framework of the *Guideline on National Water Network Construction*, considering the current development status and basic composition of water network projects, this paper proposes that water network projects should be positioned on synthetical and multi-dimensional regulation of water resources, summarizes multiple characteristics in the high-quality development process and also analyzes the main issues in the planning, design, construction and operation of water network projects at the present stage. In light of the objective to construct a safe, efficient, green and orderly water network, some scientific ideas are presented for high-quality development of water network projects, including respecting and following nature, integrating multiple effects with a focus on capability, systematic planning and multi-level synergy, establishing mechanisms prior to project construction, forward-looking deployment and step-by-step advancement, and ensuring sustainable utilization with priority given to artesian flow.

Key words: water network project; high-quality development; planning and design; construction and operation; multidimensional regulation

夏汛冬枯、北缺南丰, 水资源时空分布极不均衡是我国的基本水情; 治水工作贯穿古今, 与中华民族的生存发展息息相关。我国治水实践在调控自然水文节律、连通自然水系和构建人工基础设施等诸多方面取得了举世瞩目的成就。其中, 南水北调东、中线一期工程已累计调水超 720 亿 m³, 直接受益超过

1.76 亿人, 为沿线 40 多座大中城市的 280 多个县(市、区)经济社会发展提供了有力的水资源支撑^[1]; 三峡工程累计拦洪运用 66 次, 拦蓄洪水超 2088 亿 m³, 枯水期向下游补水约 3400 亿 m³, 提供清洁电能超 16600 亿 kW·h, 通过货运量超 20 亿 t, 在水资源、发电、航运、生态等方面发挥了巨

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC3201705); 国家自然科学基金专项资金项目(52342905)
作者简介:王梦晗(1997—), 女, 工程师, 博士研究生, 主要从事水文水资源研究。E-mail: wangmh15@126.com
通信作者:严登华(1976—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事气候变化与水文水资源研究。E-mail: yandh@iwhr.com

大效益^[2]。然而,随着气候变化和人类活动影响的日益加剧,区域水资源禀赋条件与人口、耕地、能源、城市等经济社会发展布局不相匹配^[3-4],供水安全保障风险加剧等问题日渐突出,我国水环境治理任务艰巨,将面临更加严峻的水资源压力和水安全风险挑战^[5-6]。

2015年1月,习近平总书记在云南视察时指出,要着力推进路网、航空网、能源保障网、水网、互联网等基础设施网络建设。水网概念被首次正式提出。2021年3月,国家“十四五”规划纲要明确提出实施国家水网重大工程,进一步将国家水网骨干工程纳入重大工程专栏。2021年5月14日,习近平总书记主持召开推进南水北调后续工程高质量发展座谈会时强调,要加快构建国家水网主骨架和大动脉。2023年5月25日,中共中央、国务院印发了《国家水网建设规划纲要》(以下简称《纲要》),作为当前和今后一个时期国家水网建设的重要指导性文件,为水网工程规划建设提供了顶层设计,进一步明确了“系统完备、安全可靠,集约高效、绿色智能,循环通畅、调控有序”的建设目标。

水网工程作为国家基础设施建设的重要组成部分,是对我国过去治水成就的延续和发展,也是未来较长时期内我国统筹解决水灾害、水资源、水生态、水环境问题的重大战略部署^[7-8]。当前我国经济已转向高质量发展阶段,推动经济体系优化升级,构建新发展格局,迫切需要实施国家水网工程,在更高水平上保障国家水安全。《纲要》中提出:“到2025年,建设一批国家水网骨干工程,国家水安全保障能力明显增强;到2035年,基本形成国家水网总体格局,国家水网主骨架和大动脉逐步建成,省市县水网基本完善,构建与基本实现社会主义现代化相适应的国家水安全保障体系”。但与构建现代化高质量水网工程体系要求相比,我国现有水利工程体系仍存在系统性不强、标准不够高、智能化水平有待提升等问题^[9],国家水网高质量发展格局尚未完全形成。

当前针对国家水网以及水利工程高质量发展已开展了一些研究。例如:夏军等^[4]分析了变化环境下国家水网建设布局和初步成效,探讨了水网工程建设中亟须解决的科学和管理问题并给出了对策建议;钮新强^[9]提出了国家水网的内涵和体系,指出了规划建设中存在的问题与面临的挑战;张金良^[10]提出了构建黄河流域水网的思路和举措;郭旭宁等^[11]阐述了“荆楚安澜”现代水网的建设思路、目标定位和实施路径;赵勇等^[12]解答了国家水网规划建设面临的一系列科学问题,并提出了后续工程规划

建设的一系列构想;张建云等^[13]讨论了国家水网建设的必要性、依据和科技需求;金凤君等^[14]解析了国家水网建设的需求与目标,提出了推进中国式现代化国家水网建设的战略途径。关于国家水网建设思路、规划设想等探讨已较为广泛,但从基础概念衍生的水网工程特性解析与推进思路等的研究并不多见。基于此,本文在《纲要》框架下,结合我国当前水利工程建设和治水实践,对水网工程特性进行解析;分析当前阶段水网工程存在的若干关键问题,并在此基础上提出推进水网工程高质量发展的基本思路,以期为实现新时期水网工程跨越式发展提供参考。

1 水网工程的基本构成和特性解析

《纲要》中指出:“国家水网是以自然河湖为基础、引调排水工程为通道、调蓄工程为结点、智慧调蓄为手段,集水资源优化配置、流域防洪减灾、水生态系统保护等功能于一体的综合体系”。由此可见,水网工程在建设定位中并不是简单的水系连通工程,而是以提升水安全保障能力为目标,集多维度特征、“自然-人工”二元特性以及多层级、多功能和区域能量调节特性于一体的综合立体调控工程。

1.1 多维度特性

从表象看,水网工程主要是以控制性水资源调蓄工程(即水网之“结”)为点,天然河湖、引调水、输排水及水系连通工程的通道、渠道等(即水网之“纲”“目”)为线,“点-线”在一维层面相互联结而成的网状结构;由于天然河湖集水区及调水工程水源区与受水区的关联影响,在一维层面存在更加广泛的辐射区域,更应属于面状结构。但实质上,水网工程受大气、地表、土壤和地下等多过程影响,且不同要素、过程之间存在着完整、连续、相互耦合的水力联系^[15]。就一个流域而言,表象在河里,根子在岸上,坡面与河道相互影响、相互制约。作为“点-线”的延伸,地表尤其是坡面单元上的植被与土壤条件,在流域降水再分配以及旱涝灾害孕育演化过程中发挥着关键作用;而土壤和地下空间就像海绵孔隙一样,为水资源的储存、消纳和调蓄提供了更具强韧性的天然场所。因此,水网工程不应仅仅是“点-线”间简单联通的网状/面状结构,而应从水循环多要素、多过程的角度出发,合理利用“点-线-面-体”相结合的三维立体架构来构建高质量水网。

1.2 “自然-人工”二元特性

随着人类活动影响的不断深入,取水、引水、调水、用水、耗水、排水等社会水循环过程的通量日渐加强^[16],流域水循环过程逐渐由单一受自然水循环

主导的降水-蒸发-径流过程演变为受自然和社会共同影响、共同作用的“自然-人工”二元驱动过程^[17-18]。在全球气候变化的背景下,水循环的自然节律发生深度变化,“极值化”和非一致性变异增强,由此带来了更加严峻的水安全风险^[19]。为提升水安全保障能力而建设的水网工程,作为天然河湖水系和水利基础设施有机结合而成的综合调控工程,必然具有“自然-人工”二元特性。因此,需从“自然-人工”二元特性出发,遵循自然和社会规律对水循环进行调控,在充分发挥水利工程调节功能去“极值化”的同时,还应力求避免人工调节过度而导致的“过度坦化”问题,警惕水循环自然属性削弱而引发次生灾害和生态环境风险。

1.3 多层级特性

根据管理权限和分级管理要求,水网工程可分为国家骨干网、省级水网、市级水网、县级水网。国家骨干网主要解决国家水资源宏观调配和流域防洪减灾问题,省、市、县级水网依托国家骨干网及上一级水网,形成城乡一体、互联互通的水网体系,主要解决本行政区水利服务保障问题。每级水网都由多种工程设施组成,而同一工程设施在不同层级的水网中可能担任着不同的角色,如上一级水网之“目”可能是下一级水网之“纲”。水网工程在规划布局时需充分考虑多层级水网的协同、流域和区域的衔接以及不同层级的流域和区域之间的嵌套。除了工程设施组成的物理网,水网工程的载体还包括监测数据、业务应用等组成的信息网,以及管理机构、制度法规等组成的管理网。这3张网协同融合,才能在水资源统筹调配中做出有效、精准的决策。因此,水网工程具有多层级载体、多层级管理和多层级设施相互协同的特性,统筹实现地表-地下、流域-城市、流域-跨流域、区域-跨区域、常态-应急的全过程管控。

1.4 多功能特性

我国人多水少,水资源时空分布不均,供需失调、结构失衡,自然社会争水、缺水与浪费并存。随着以升温为背景的气候变化和以竞争性用水、用地为特征的人类活动影响日益加剧^[20-21],极端旱涝事件多发频发,水环境与水生态问题凸显,各大流域均存在多种水问题交织叠加,需要围绕水资源配置、供水安全保障、洪涝灾害防御、生态保护治理、水利经济开发、人居环境改善等多目标的需求,系统实施水网工程建设。水网工程在多功能的基础上,也进一步体现了其生态、环境、资源、社会、经济和文化等多重属性^[22]。

1.5 区域能量调节特性

从区域能量平衡的角度看,水网工程通过水库、堤坝等设施 and 自然湖泊、洼地,能够收集和储存降水,使之在需要时释放,从而在时间维度上调节地区的能量输入;同时,水网工程通过河渠、水闸等,调节水的流动路径和水量分布,将水资源从能量富余的地区输送到能量亏损的地区,从而起到调节空间能量平衡的作用。水网工程自身储蓄的水体通过蒸发作用,调节温度、增加湿度,往往会影响区域小气候;水体通过水网工程从高处流向低处时,势能转变成动能和热能,也会导致水温升高。因此,在规划和建设水网工程时,需要综合考虑能量调节效应,以优化其气候和生态效益。

2 现阶段水网工程存在的关键问题

我国已建成世界上规模最大、范围最广、受益人口最多的水利基础设施体系^[14],包括江河防洪、城乡供水、农田灌溉等工程,为水网工程建设提供了良好的基础。但结合上述水网工程特性解析,现阶段水网工程在规划设计、建设与运行管理中也有着诸多问题。

2.1 水资源统筹调配能力不足

水网工程高质量发展是点线组网、由面扩体全方位的进程,尚需充分考虑水循环多要素、多过程影响。然而,当前水网工程的建设评价指标往往集中在地表过程,忽略了土壤水、地下水等的立体调蓄作用。此外,为精确把握水源区的可调水量以及受水区的缺水类型和缺水量等多目标需求,解析天然河湖水系现状及未来变化趋势、区域水资源承载能力等问题,尚需不断加强在节水优先、“四水四定”原则下的水资源平衡分析方法以及多维度、多层级嵌套区域水资源配置理论的优化完善^[13]。如南水北调东线工程涉及长江、淮河、黄河、海河等多水源优化配置和联合调度,受水区当地地表水、地下水 and 外调水统筹利用,生产、生活、生态用水的不同需求以及地下水超采区综合治理、非常规水资源利用、水价改革等多方面要求,是一个复杂的大系统,需要加强理论创新和实践探索。

2.2 水网工程互联互通和协同融合不彻底

水网工程在调水区和受水区不同流域、不同区域间对水资源重新配置,这种互联互通能够提升水资源的利用效率,保障供水安全。如果各自为政,缺乏全局视角,信息和数据共享不及时、不全面,工程综合效益将难以充分发挥。但是水网协同往往涉及不同流域、不同区域、不同部门、不同机构,由此引发的利益调整使得调度过程十分复杂,行政壁垒和行

业阻隔难以打破,协调难度很大^[23]。如引江济淮工程从长江调水到淮北平原,解决了皖北、豫东严重缺水问题,并形成了沟通江淮的运河。由于涉及面广,前期论证协调了 40 多年,安徽和河南省以及水利、交通部门方达成共识。2023 年建成以来,供水、航运效益日益显现。

2.3 工程管理体制机制不健全

水权交易和水价改革机制尚处于探索阶段,需要进一步加强工程管理体制机制建设,包括规范明晰用水权,创新完善市场化交易制度^[24];持续推进多层级、多主体、多方位协同的区域水价政策,促进水资源节约和水网工程良性运行;健全节水激励制度,不断完善多元化跨流域、跨区域的生态补偿机制;进一步细化立项审批、投资融资、土地利用、环境保护等配套政策,尽可能避免如山东黄河沿岸部分地区因水价问题多用黄河水、少用远距离长江调水等现象。

2.4 数字化、智慧化程度偏低

数字孪生水网是国家水网建设的重要内容,也是推动新阶段水利高质量发展的重要标志之一。物联网、大数据、人工智能、区块链等新一代信息技术在水利建设中尚未充分运用,“空天地水工”一体化的感知网尚未建成,数据底板的全面性、及时性、精准性还需提升,大模型与数理统计模型、机理模型的协同机制还在探索,需要加强水网数字化建设,深化水网工程和新型基础设施建设的融合,以全面提升水网工程感知能力、数字化水平和业务管理智能化水平^[25]。

3 推进水网工程高质量发展的基本思路

国家水网投资规模大、建设标准高,本文结合水网工程的特性以及当前水网工程建设运行中存在的不足,提出推进水网工程高质量发展的基本思路。

3.1 尊重自然、师法自然

水网工程建设会对天然水系统产生一定的扰动,并在一定程度上削弱其自然属性^[26]。人类在改造自然的过程中要了解自然、尊重自然、师法自然。水网规划、建设和运行的过程中,需充分融合其“自然-人工”二元特性,合理借助地形、地貌、地质、地势,并遵循水循环的大气、地表、土壤、地下多过程演变规律,有效发挥自然力的调蓄作用,因时因地因势构建“点-线-面-体”相结合的立体调蓄工程,实现“循环通畅”的建设目标。如在不具备地表调蓄或兴建引调水工程条件的地方,通过布设导引沟渠,结合土壤水库或者地下水库,做到“涝蓄早用,夏储冬用”。

绿色化是水网工程规划设计、建设运行的核心目标与要求之一。建设绿色生态水网的关键是增强水循环的自然属性,遵循河湖演变规律和生态完整性法则,在不改变自然本底属性的前提下,让每一滴水发挥最大的社会经济价值和生态环境价值。坚持绿色低碳发展理念,提升资源利用效率,既讲人定胜天,也要讲人水和谐,最终实现社会、经济、生态效益相统一。

3.2 多效融合、重在能力

传统的水利工程建设和治水实践强调状态改变,即通过兴建水利工程人为改变水循环过程的天然状态,所依托的方式多为末端治理模式^[15]。如防汛主要通过水库、河道及堤防、蓄滞洪区在洪水汇流演进的末端进行调控,而未能充分发挥流域和坡面对暴雨产流过程的综合调蓄能力;当前对于抗旱,往往在出现旱情之后才采取应急找水、供水等应对措施,而从旱灾形成演化的过程来看,在干旱末期的治理措施属于时间上的末端治理。事实上,任何水利工程都处于相对静态,而其调蓄的对象却动态演化且具有不确定性。

受气候变化和人类活动的影响,水循环过程“失稳”和“极值化”风险日趋加剧^[27]。以往基于一致性或稳态假设,强调状态改变和末端治理的治水模式在应对变化环境下水安全问题时正日显不足。针对这一问题,在水网工程高质量发展过程中,应通过推演常态和非常态下的多种场景,确定工程建设的合理规模;同时,还需充分遵循水循环多过程的演变规律,规范水土资源开发活动,实现大气、地表、土壤、地下多过程和水量、水质、水流、泥沙、水生态多目标联合调控,构建气象水文耦合、水文水动力耦合、预报调度耦合、短中长期耦合的流域防洪监测预报“四预”体系,最大限度实现“去极值化”^[28],即通过流域综合调节功能的整体提升来应对多重不确定风险。

3.3 系统谋划、多级协同

水网工程与人体结构具有相似性,地质地貌、土壤植被、河流水系、调控网络分别对应于人体的骨骼、肌肤、血管、神经系统。只有多要素、多层级、多功能之间相互协同才能维持水网工程的健康运行和综合效益最大化。

从水循环的整体性来看,不同要素和过程之间存在互馈作用和功能协同。若忽略流域水循环过程的系统性和整体性,仅从单一要素、个别功能角度出发规划建设水网工程,则有可能削弱流域水循环的自然属性,导致水利工程和天然水循环之间的过程分离和功能不协调,并引发一系列社会、生态次生问

题。因此,水网工程的构建应从网络的结构、功能以及二者之间的互馈关系出发,进行系统谋划,做到体系完整、功能协调、各在其位、各司其职,实现“系统完备、安全可靠”的建设目标。

此外,作为多级协同的网络系统,水网工程的智慧化调控能力仍有待加强。在建设现代化水网体系、构建新发展格局中,需加快推进现有和新建工程的智慧化改造和智能化建设,推动数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生工程建设,以提高多级协同智慧化调控水平,实现南水北调东、中、西三线协同,骨干水网工程与区域水网工程双向有机衔接,为发展新质生产力注入新动力。除了自身要素、过程之间的协同,水网工程的规划和建设还需统筹考虑水资源与其他能源、资源的协同布局和功能整合^[29],实现“集约高效、绿色智能”的建设目标。如通过加强水资源与风、光等绿色能源间的协同开发,实现“水-能”互利共赢、提质增效,进而降低运行成本,提升水网工程综合效益;将水网工程建设与一些退化土地的生态复垦和高附加值建设相结合,通过水土资源联合配置实现资源整合、优化互补,探索出一条因地制宜的一体化发展道路。

3.4 先建机制、后建工程

水利工程通常具有涉及范围广、征地移民多、投资规模大的特点,良性体制机制建设是工程综合效益最大化的根本保障。国家水网工程功在当代、利在千秋、重在管理,其投资规模大、建设标准高,更需要在运营管理和体制机制方面的创新。新的工程在投资、建设之初,就应按照“确有需要、生态安全、可以持续”的原则,统筹考虑各方需求,理顺已建-在建-规划工程之间、跨区域-多层次之间的关系,先把管理运行体制和保障机制建立起来,做到建管并重,做好投资开发-工程建设-运营管理一体化顶层设计。力求避免在体制机制尚未理顺的条件下先建工程,最终因重建设、轻管理和体制机制障碍而导致投资效益未能充分发挥。

水网工程建设投融资管理既要充分发挥政府的主导作用,进一步加大政府投资力度,发挥公共财政资金的引导撬动作用,也要不断争取开发性金融支持,加强银行贷款和专项债券对水利基础设施建设的支持力度,同时推进不动产投资信托基金等新型融资工具的应用^[30],形成财政资金、金融信贷、社会资本共同发力的投融资格局。

水网工程不仅要建好,还要管好、用好,这就需要持续加强高水平的投资管理能力、工程总体策划统筹能力、精益化工程设计能力、规范化建设过程管控能力、专业化运维能力以及信息化和数字化能力

等的统筹协调工作。在跨流域区域水网工程建设中,涉及多主体利益协调时需坚持全国“一盘棋”,强调国家利益、国家战略、国家水权。此外,开展工程规划布局时,应统筹考虑工程建设运行成本和受水区水价承受能力,合理确定工程规模、总体布局 and 实施方案,做到“由近及远、梯次引调、智慧管控”。同时,应在受水区建立更规范、更严格的节水制度,将深度节水作为受水区的根本出路。

3.5 前瞻部署、梯次推进

以往在开展水利工程规划设计时,所采用的保证率、重现期、设防标准等参数往往基于一致性假设,并以历史数据作为计算依据^[31]。然而,随着气候变化和高强度人类活动带来的“失稳”和“极值化”风险加剧,这种一致性假设的适用条件正面临新的挑战。

从近期的情况来看,基于历史规律规划建设的水利基础设施愈发难以有效应对近年来频发的超历史极值水旱灾害。未来日趋加剧的非一致性风险对水网工程规划设计提出了更高的标准和要求。这就需要在水网工程的规划和建设过程中,采取前瞻部署、梯次推进的策略,秉持前瞻性和灵活性,为未来的需求和变化预留空间。尤其是对于那些关键性、工程难度较高的“纲”“目”“结”工程,必须留有基础、留有余地、留有弹性,不仅考虑长期发展的关键节点,预留相应的工程能力,还要做好战略部署,提前规划与未来周边水网工程的衔接,从而更好地应对不确定性风险,避免不必要的重建。前瞻部署的前提是合理开展工程设计,这有赖于规划者在系统研判水资源供需态势的基础之上,科学推演未来可能的变化场景,由传统的基于一致性假设条件下的历史规律分析向变化环境下的场景推演预测模式转变。

3.6 永续利用、自流当先

天然水循环主要在太阳能、重力等自然力的作用下自主运行,整体表现为汇聚过程。古往今来,能够传世的水利工程典范大多凭借对地形地势的巧妙运用,通过自流实现永续利用。这也充分诠释了尊重自然、顺应自然、师法自然以及人与自然和谐共生的治水理念。随着文明的发展和科技的进步,人类能够藉由一些工程手段在一定程度上改造自然。然而,这些改造如不能顺应自然规律,则必然要付出高昂的运维成本,并最终难以为继。因此,在未来水网工程的规划和建设中,应因地制宜加强水源和线路的优化,在具备条件的前提下,力求通过“高水高用、优水优用、多源互补、多支扩面”,实现“调控有序”的建设目标,降低运维成本;在难以实现自流的

情况下,应通过泵站、扬水站等方式将低处的水提至高处利用,可考虑使用本地清洁能源提升水的势能,降低能源成本,提升水网整体效能。水网工程在建设中需要聚智古今,尊重自然规律,科学谨慎论证,更多地利用自然力实现永续利用。

4 结 语

我国水问题的复杂性决定了治水的艰巨性、复杂性和长期性。构建国家水网是当前乃至今后一段时期内我国应对多重水安全风险挑战和系统治理水问题的重要战略举措。对于新情势、新要求下的水网工程规划建设,需基于综合立体调控的建设定位,从其本身蕴含的多重特性出发,尊重顺应自然规律,充分发挥自然力的作用,将能力提升作为应对各类风险与挑战的关键,并结合智慧化手段和良性体制机制保障,不断提升系统性、综合性、协同性和强韧性,实现水网工程的多功能协调和综合调控能力显著增强,为我国社会经济高质量发展提供坚实的水安全保障。

参考文献:

[1] 程晓冰. 推动长江经济带高质量发展 为更好支撑和服务中国式现代化提供坚实水安全保障[J]. 水利发展研究, 2024, 24 (2) : 27-32. (CHENG Xiaobing. Promoting high-quality development of the Yangtze River Economic Belt to provide a solid water security guarantee for better supporting and serving Chinese modernization[J]. Water Resources Development Research, 2024, 24 (2) : 27-32. (in Chinese))

[2] 胡兴娥,曹瑞. 三峡工程蓄水运用 20 年综合效益发挥与展望[J]. 长江科学院院报, 2024, 41 (6) : 1-9. (HU Xing'e, CAO Rui. Review and prospect of comprehensive benefits of Three Gorges Project in 20 years of operation [J]. Journal of Changjiang River Scientific Research Institute, 2024, 41 (6) : 1-9. (in Chinese))

[3] 吴凤平,黄蕊. 再生水投入与长江和黄河流域经济发展的互馈效应研究[J]. 水利经济, 2024, 42 (5) : 1-8. (WU Fengping, HUANG Rui. Study on mutual feedback effect between reclaimed water input and economic development in the Yangtze and Yellow River basins [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2024, 42 (5) : 1-8. (in Chinese))

[4] 夏军,陈进,余敦先,等. 变化环境下中国现代水网建设的机遇与挑战[J]. 地理学报, 2023, 78 (7) : 1608-1617. (XIA Jun, CHEN Jin, SHE Dunxian, et al. Opportunities and challenges of national water network construction under changing environment [J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78 (7) : 1608-1617. (in Chinese))

[5] UNESCO, UN-Water, World Water Assessment Programme. The United Nations world water development report 2024: water for prosperity and peace [R]. Paris: UNESCO, 2024: 1-8.

[6] 新夫,于会森,生然. 可持续发展背景下企业水安全评价指标体系构建与应用[J]. 水利经济, 2024, 42 (6) : 84-90. (XIN Fu, YU Huimiao, SHENG Ran. Construction and application of corporate water security evaluation index system in context of sustainable development [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2024, 42 (6) : 84-90. (in Chinese))

[7] 中共水利部党组. 加快构建国家水网 为强国建设民族复兴提供有力的水安全保障[J]. 中国水利, 2023 (13) : 1-4. (The CPC Committee of Ministry of Water Resources. Accelerating the construction of national water network to provide strong water security guarantee for building a great country and rejuvenating the nation [J]. China Water Resources, 2023 (13) : 1-4. (in Chinese))

[8] 牛玉国,张金鹏. 构建黄河大水网促进黄河流域生态保护和高质量发展[J]. 水利经济, 2023, 41 (2) : 1-4. (NIU Yuguo, ZHANG Jinpeng. Research on building the Yellow River's large water network and promoting the ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2023, 41 (2) : 1-4. (in Chinese))

[9] 钮新强. 国家水网规划建设体系及关键问题探讨[J]. 长江技术经济, 2023, 7 (5) : 24-30. (NIU Xinqiang. Insights on planning and construction of the national water network [J]. Technology and Economy of Changjiang, 2023, 7 (5) : 24-30. (in Chinese))

[10] 张金良. 构建黄河流域水网的思考[J]. 水资源保护, 2022, 38 (4) : 1-5. (ZHANG Jinliang. Thoughts on construction of water network in the Yellow River Basin [J]. Water Resources Protection, 2022, 38 (4) : 1-5. (in Chinese))

[11] 郭旭宁,李云玲,唱彤,等. “荆楚安澜”现代水网建设思路与实施路径[J]. 水资源保护, 2023, 39 (3) : 1-7. (GUO Xuning, LI Yunling, CHANG Tong, et al. Construction thought and implementation pathway of “Jingchu'anlan” modern water network [J]. Water Resources Protection, 2023, 39 (3) : 1-7. (in Chinese))

[12] 赵勇,何凡,何国华,等. 关于国家水网规划建设的十点认识与思考[J]. 水利发展研究, 2023, 23 (8) : 37-48. (ZHAO Yong, HE Fan, HE Guohua, et al. Ten insights and reflections on the planning and construction of the national water network [J]. Water Resources Development Research, 2023, 23 (8) : 37-48. (in Chinese))

[13] 张建云,金君良. 国家水网建设几个方面问题的讨论[J]. 水利发展研究, 2023, 23 (11) : 1-7. (ZHANG Jianyun, JIN Junliang. Discussion on several issues concerning the construction of national water network [J].

- Water Resources Development Research, 2023, 23 (11): 1-7. (in Chinese))
- [14] 金凤君,叶志聪,陈卓,等. 面向中国式现代化的国家水网建设方向与战略途径[J]. 经济地理, 2024, 44(1): 148-156. (JIN Fengjun, YE Zhicong, CHEN Zhuo, et al. National water network construction for serving the Chinese path to modernization: development direction and strategic approach [J]. Economic Geography, 2024, 44 (1): 148-156. (in Chinese))
- [15] 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))
- [16] SRINIVASAN V, LAMBIN E F, GORELICK S M, et al. The nature and causes of the global water crisis: syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies[J]. Water Resources Research, 2012, 48(10): W10516.
- [17] 王浩,严登华,贾仰文,等. 现代水文水资源学科体系及研究前沿和热点问题[J]. 水科学进展, 2010, 21(4): 479-489. (WANG Hao, YAN Denghua, JIA Yangwen, et al. Subject system of modern hydrology and water resources and research frontiers and hot issues [J]. Advances in Water Science, 2010, 21(4): 479-489. (in Chinese))
- [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. (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))
- [19] ROBINSON A, LEHMANN J, BARRIOPEDRO D, et al. Increasing heat and rainfall extremes now far outside the historical climate [J]. npj Climate and Atmospheric Science, 2021, 4(1): 45.
- [20] IBRAHIM S. Impact of greenhouse gases and climate change [J]. International Journal of Engineering and Management Sciences, 2016, 2(12): 250-274.
- [21] HUANG Shengzhi, LIU Dengfeng, HUANG Qiang, et al. Contributions of climate variability and human activities to the variation of runoff in the Wei River Basin, China[J]. Hydrological Sciences Journal, 2016, 61(6): 1026-1039.
- [22] SIVAPALAN M, SAVENIJE H H G, BLÖSCHL G. Socio-hydrology: a new science of people and water [J]. Hydrological Processes, 2012, 26(8): 1270-1276.
- [23] 高媛媛,陆旭. 南水北调立法对国家水网引调水工程建设的启示研究[J]. 水利发展研究, 2024, 24(4): 73-77. (GAO Yuanyuan, LU Xu. Study on the implications of South-to-North Water Diversion legislation for the construction of water diversion projects in the national water network [J]. Water Resources Development Research, 2024, 24(4): 73-77. (in Chinese))
- [24] 左其亭,秦西,马军霞. 对水利新质生产力的理解及发展思考[J]. 中国水利, 2024(6): 21-25. (ZUO Qiting, QIN Xi, MA Junxia. Understanding of new quality productive forces of water conservancy and thoughts on its development [J]. China Water Resources, 2024(6): 21-25. (in Chinese))
- [25] 赵勇,何凡,何国华,等. 国家水网基础认知与建构准则[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(6): 1049-1054. (ZHAO Yong, HE Fan, HE Guohua, et al. Basic cognition and construction criteria of national water network [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(6): 1049-1054. (in Chinese))
- [26] FENG Maoyuan, LIU Pan, GUO Shenglian, et al. Identifying changing patterns of reservoir operating rules under various inflow alteration scenarios [J]. Advances in Water Resources, 2017, 104: 23-36.
- [27] 董磊华,熊立华,于坤霞,等. 气候变化与人类活动对水文影响的研究进展[J]. 水科学进展, 2012, 23(2): 278-285. (DONG Leihua, XIONG Lihua, YU Kunxia, et al. Research advances in effects of climate change and human activities on hydrology [J]. Advances in Water Science, 2012, 23(2): 278-285. (in Chinese))
- [28] 严登华,王浩,张建云,等. 生态海绵智慧流域建设: 从状态改变到能力提升[J]. 水科学进展, 2017, 28(2): 302-310. (YAN Denghua, WANG Hao, ZHANG Jianyun, et al. Construction of an ecological sponge-smart river basins: from changing status to improving capability [J]. Advances in Water Science, 2017, 28(2): 302-310. (in Chinese))
- [29] TAN Shiqi, YAO Liming. Managing and optimizing urban water supply system for sustainable development: perspectives from water-energy-carbon nexus [J]. Sustainable Production and Consumption, 2023, 37: 39-52.
- [30] 田贵良,万雪纯,吴正,等. 国家水网工程建设投融资金融政策工具供给研究[J]. 中国水利, 2024(2): 23-28. (TIAN Guiliang, WAN Xuechun, WU Zheng, et al. Research on the supply of financial policy tools for investment and financing of national water network project construction [J]. China Water Resources, 2024(2): 23-28. (in Chinese))
- [31] BRADLEY A A. Regional frequency analysis methods for evaluating changes in hydrologic extremes [J]. Water Resources Research, 1998, 34(4): 741-750.

(收稿日期: 2024-08-04 编辑: 施业)