

水灾害和谐防控与智慧模拟研究框架与展望

左其亭^{1,2,3}, 程 琰^{1,3}, 马军霞^{1,2}

(1. 郑州大学水利与交通学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省水循环模拟与水环境保护国际联合实验室, 河南 郑州 450001; 3. 郑州大学黄河生态保护与区域协调发展研究院, 河南 郑州 450001)

摘要:随着环境加剧变化与科技快速进步,我国水灾害防控事业面临着新的机遇与挑战。为深刻认识水灾害治理与防控,结合国家水灾害防御重大需求,对我国水灾害治理历程进行梳理与阶段划分,提出水灾害(包括干旱、洪涝、水环境污染)和谐防控与智慧模拟研究的必要性,从指导思想、理论基础、关键问题、研究内容、应用实践和发展战略研究六个方面提出水灾害和谐防控与智慧模拟研究框架,并从水灾害防控理论完善、水灾害和谐防控研究、智慧应用前景探索三个方面提出未来研究展望,以期水灾害防控工作和高质量发展提供业务支撑。

关键词:和谐防控;智慧模拟;研究框架;发展战略

中图分类号:TV213

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2024)02-0015-07

Research framework and prospect of harmonious prevention and control and intelligent simulation of water disasters//ZUO Qiting^{1,2,3}, CHENG Yan^{1,3}, MA Junxia^{1,2}(1. School of Water Conservancy and Transportation, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan International Joint Laboratory of Water Cycle Simulation and Environmental Protect, Zhengzhou 450001, China; 3. Yellow River Institute for Ecological Protection & Regional Coordinated Development, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: With the intensification of environmental changes and the rapid progress of science and technology, China's water disaster prevention and control cause is facing new opportunities and challenges. In order to deeply understand the management and prevention of water disasters, combined with the important needs of national water disaster prevention, the process of water disaster management in China was sorted out and divided into stages, and the necessity of harmonious prevention and control and intelligent simulation research of water disasters (including drought, flood and water environmental pollution) was put forward. Under this background, the research framework of harmonious prevention and control and intelligent simulation of water disasters was put forward from six aspects: guiding ideology, theoretical basis, key issues, research content, application practice and development strategy research, and the future research prospect was put forward from three aspects: theoretical perfection of water disaster prevention and control, research on harmonious prevention and control of water disasters and exploration of intelligent application prospect, with a view to providing business support for water disaster prevention and control and high-quality development.

Key words: harmonious prevention and control; intelligent simulation; research framework; development strategy

水灾害是指由于自然原因或人类活动引发的与水有关的灾害,危害性最大、持续时间最久的水灾害有干旱、洪涝、水环境污染^[1]。水灾害问题自古便是我国经济社会发展的重大难题与挑战,其防控事业也处于治国理政的重要位置。新中国成立以来,在党和政府的领导下,我国的水灾害防控事业取得了长足进展。但我国各地水情条件千差万别,水利发展不平衡、不充分问题突出,导致我国水灾害防控事业面临着巨大难题。2022年,我国洪涝灾害造成约3385.3万人次受灾,近70%的城市群遇特殊干

旱缺乏有效应对措施^[2],水灾害科学防控刻不容缓。目前对水灾害防控的研究已有较为丰富的成果,如针对工程措施^[3]、非工程措施^[4]等不同防控手段的研究;针对洪涝^[5]、干旱^[6]、水环境污染^[7]等不同水灾害的研究;针对长江流域^[8]、黄河流域^[9]、淮河流域^[10]等不同流域的水灾害防控研究。随着环境加剧变化与科技快速进步,我国水灾害防控事业面临着新的机遇与挑战,因此,融合人水和谐思想与智慧水利、科学防控水灾害是新阶段实现水利高质量发展的重大任务。

基金项目:国家自然科学基金项目(52279027);国家重点研发计划项目(2021YFC3200201)

作者简介:左其亭(1967—),男,教授,博士,主要从事水水文水资源研究。E-mail:zuoqt@zzu.edu.cn

基于上述背景,本研究在探索新时代中国特色水利发展方向的基础上,梳理我国水灾害治理历程,从水灾害防御重大需求、人与自然和谐共生、智慧水利发展趋势三个方面提出水灾害和谐防控与智慧模拟研究的必要性。基于此,提出水灾害和谐防控与智慧模拟研究框架,包括指导思想、理论基础、关键问题、研究内容、应用实践及发展战略研究,并提出未来研究展望。

1 研究背景

1.1 水灾害治理历程

水灾害治理是指通过各种工程-非工程措施应对水灾害以减少其带来的损失,维护人水关系健康稳定。我国当代水灾害治理历程大致分为三个阶段:①探索起步阶段(新中国成立至1978年),加强工程措施,兴修防洪、排涝、灌溉工程,重点治理大江大河;②初步发展阶段(1978年至21世纪初),建立工程措施与非工程措施相结合的抗灾体系,灾害防范应对能力不断提高,此时,我国水环境污染防治事业逐渐起步,但缺乏全局把握,处于“先污染后治理”和“见污治污”的阶段;③趋于成熟阶段(21世纪后),21世纪以来,先后提出防汛抗旱“两个转变”“两个坚持、三个转变”,并实施一系列水环境污染防治规划制度,实现了由控制洪水向洪水管理转变、由单一抗旱向全面抗旱转变、由应对单一灾种向综合减灾转变、由减少灾害损失向减轻灾害风险转变^[11],并初步遏制全国水环境污染加剧的趋势。自此,我国治水治污的水灾害防控事业开启了新的发展阶段,并趋于成熟。

我国水灾害治理历史悠久,但随着自然环境发生变化、新时代科技蓬勃发展,其面临众多新老问题。所谓老问题,主要包括我国自古以来由于地理气候原因导致的降水时空分布不均、水旱灾害频发等问题依然存在;所谓新问题,主要包括人们对经济规律、自然规律和生态规律认识有待深入,水资源短缺、水环境污染、水生态损害等新问题越发突出与紧迫。围绕人水和谐理念,将和谐防控与智慧水利纳入水灾害综合治理是破解水灾害治理瓶颈的关键举措。

1.2 水灾害和谐防控与智慧模拟的必要性

水灾害和谐防控与智慧模拟的必要性体现在以下几个方面:

a. 水灾害防御重大需求。我国目前水灾害防控现状依旧严峻,面临众多难题与矛盾,如防洪能力总体提高但洪水风险不断加剧的矛盾、水环境状况呈现局部好转趋势但整体形势依旧严峻的矛盾。需针对我国干旱、洪涝、水环境污染等水灾害防御重大

需求,提出水灾害和谐防控与智慧模拟研究框架。

b. 人与自然和谐共生理念。党的十八大正式提出人与自然和谐共生理念,强调人类应主动与自然界协调好关系以实现和谐共生的良性循环状态^[12]。水灾害是影响人与自然和谐共生的重要因素,其防控需立足于对人类社会发​​展规律的认识,准确把握人与自然和谐共生现代化的重大要求。

c. 智慧水利发展趋势。左其亨^[13]曾于2015年提出中国未来“水利4.0”战略构想,指出下一个水利发展阶段(“水利4.0”)为“智慧水利”阶段。随着新一代大数据和人工智能等技术快速发展,水利发展已经迈向“智慧水利”阶段,水灾害防控也应与时俱进地顺应这一发展趋势。

2 水灾害和谐防控与智慧模拟研究框架

水灾害和谐防控与智慧模拟研究框架包括指导思想、理论基础、关键问题、研究内容、应用实践和发展战略研究六个方面,如图1所示。

2.1 指导思想

水灾害和谐防控与智慧模拟研究遵循的指导思想主要包括:

a. 流域协同治理思想。这是水灾害和谐防控与智慧模拟研究的基础,流域是具有层次结构和整体功能的复杂动态系统,水灾害防控应从流域协同治理角度进行统筹考虑。

b. 水灾害系统治理思想。这是水灾害和谐防控与智慧模拟研究的关键,对于水灾害系统这样复杂的巨系统,必须采用系统科学方法进行研究,从时间上、空间上、灾害事件之间综合考虑。

c. 人水和谐治水思想。这是水灾害和谐防控与智慧模拟研究的宗旨,以人水和谐为主题开展水灾害防控工作对优化人水关系、实现人水和谐具有重要指导意义。

d. 水生态文明建设思想。这是水灾害和谐防控与智慧模拟研究的支撑,水生态文明建设是一种物质与精神并存的现代治水模式,水灾害和谐防控与智慧模拟必须融合水生态文明建设,以缓解人水矛盾、解决我国复杂水问题。

e. 水利高质量发展思想。这是水灾害和谐防控与智慧模拟研究的导向,水灾害防控应注重全面提升水利发展质量,更好地支撑我国社会主义现代化建设。

f. 科技创新思想。这是水灾害和谐防控与智慧模拟的核心,坚持完善科技创新体系,为促进智慧模拟研究、智慧水利发展、水利现代化建设提供新的发展空间。

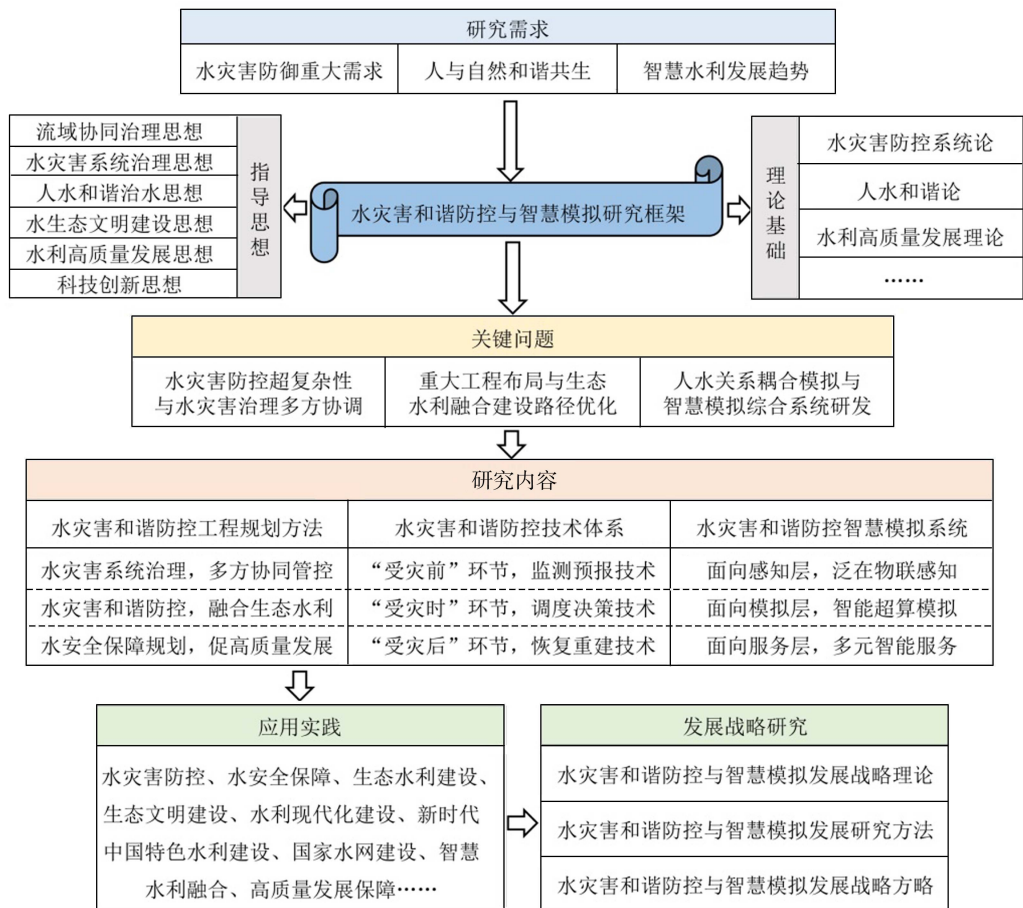


图1 水灾害和谐防控与智慧模拟研究框架

2.2 理论基础

水灾害和谐防控与智慧模拟研究框架涉及众多理论,主要包括:

a. 水灾害防控系统论。万物互联,水灾害往往不是孤立存在,分门别类、孤立研究具体的水灾害事件,不利于系统、深入认识水灾害,更不利于从全局防控水灾害。需运用系统理论,从整体与全局出发,基于系统与环境之间、系统与要素之间以及要素与要素之间的对立统一关系,以解决水灾害系统防控问题。

b. 人水和谐论。实现人水和谐是促进社会经济与自然可持续发展的重要因素,也是自古以来人类追求的一种理想状态^[14]。水灾害和谐防控与智慧模拟研究的最终目标是为了实现人水关系和谐的良好发展,因此,在构建研究框架、开展工作时基于人水和谐论,科学进行水灾害风险管理与水灾害防控研究,全面提高水灾害防御能力,实现人水和谐。

c. 水利高质量发展理论。水利高质量发展是我国高质量发展的各项要求在水利行业上的具体体现,包括高标准保障水安全、高效支撑经济发展、高度满足人民幸福、高度维护生态健康、高要求弘扬水

文化^[15]。水灾害防控作为衡量水利高质量发展的重要标尺,扎实推进水灾害防控工作、筑牢防御水旱灾害防线是新阶段水利高质量发展的重要任务之一,因此,水灾害和谐防控与智慧模拟的研究也应基于这一理论展开^[16]。

2.3 关键问题

a. 水灾害防控超复杂性与水灾害治理多方协调。由于多种水灾害问题交织、关联、链接,水灾害综合防控涉及资源、环境、经济、社会等,其预防、治理、防控过程具有要素众多、层次复杂、关系错综复杂以及目标功能多样的特征,需要多学科、多领域、多部门协同治理。因此,拓宽新视野,纳入更全面、更系统、更综合、真正体现水灾害系统治理的理念,而不是传统狭义的单要素、离散式、低层次的治理,是亟待解决的关键问题。

b. 重大工程布局与生态水利融合建设路径优化。重大水利工程规模巨大、涉及环境复杂、具有重大作用,是超复杂的人造系统,其带来的积极影响毋庸置疑是重大且持久的,但同时也必须看到其对生态系统造成的不同程度的干扰。目前,水利工程长期生态学效应问题、协调运行生态水利工程与原有水利工程、基于生态目标设计新建水利工程已成为

研究热点。因此,随着已建成重大工程的数量和规模不断增加,实现重大工程布局与生态水利融合建设、实现工程-城市-生态的良性互馈,是亟待深入研究和解决的课题。

c. 人水关系耦合模拟与智慧模拟综合系统研发。日益复杂的人水关系加大了水灾害防控工作难度,耦合模拟多层次人水关系交互机理、交互过程、交互结果,并形成人水和谐调控模型,是厘清人水关系、科学防控水灾害的重要前提。同时,信息通信技术、网络空间虚拟技术和水科学等成果的不断壮大,为水利事业的智慧化转型奠定了基础。因此,集成研发人水关系耦合模拟与智慧模拟综合系统,是解决感知差距大、监测不够、应用不足、服务欠缺等问题,突破我国智慧水利建设新发展的关键一步。

2.4 研究内容

2.4.1 水灾害和谐防控工程规划方法

基于左其亭 2008 年给定的人水和谐定义^[17]、2009 年提出的人水和谐论^[18]与和谐调控^[19]、2014 年提出的人水和谐平衡理论^[20]、2021 年提出的人水关系学^[21-22],研究面向人水和谐的水灾害防控工程规划方法,解决水灾害防控超复杂性与水灾害治理多方协调问题。具体包括以下三个方面:

a. 水灾害系统治理,多方协同管控。水灾害防控涉及灾害链、多过程、多地区、多部门,需要采取综合的防范措施、协调各方力量,实现全流域、全区域的联动治理。

b. 水灾害和谐防控,融合生态水利。在每个防控环节充分融合生态水利的理念,针对水灾害体系中存在的和谐问题,综合运用多种防控措施、协调多方联防联控以提高和谐程度,并促进水利生态化可持续发展。

c. 水安全保障规划,促高质量发展。实现新阶段的水利高质量发展,需结合国家水安全保障规划,以实现切实提升水灾害防控能力、全面提升水安全保障能力目标,进而为高质量发展路径提供全面、有力的水安全保障规划。

2.4.2 水灾害和谐防控技术体系

基于水灾害和谐防控工程规划方法,综合水生态文明建设、高质量发展、河湖水系连通、生态安全、水安全保障、碳中和等目标需求,研发面向人水和谐的防控技术体系,解决重大工程布局与生态水利融合建设路径优化问题。主要包括以下三个方面:

a. “受灾前”环节,监测预报技术。及时监测预报水灾害并合理辨识其特征,亟须研发监测辨识技术,如高精度城镇洪涝灾害风险预报识别技术、短中长期干旱灾害风险预报识别技术、污染入河负荷的

精细化解析技术等。

b. “受灾时”环节,调度决策技术。结合受灾特点、区域特征、周边环境等情况制定应急救灾减灾决策,亟须研发救灾减灾的智能决策技术,如防汛防旱调度数字孪生仿真预演技术、水库群精准调度技术、水污染事故应急处置技术等。

c. “受灾后”环节,恢复重建技术。借助各种技术开展灾后恢复重建,亟须研发救灾减灾的恢复重建技术,如水灾害风险评估及灾后修正预测技术、水利工程除险加固及安全隐患排查技术、灾区专项财政补偿测算技术等^[23]。

2.4.3 水灾害和谐防控智慧模拟系统

集成开发基于水灾害和谐防控技术体系的人水关系耦合模拟与智慧模拟系统,可重点破解人水关系耦合模拟与智慧模拟综合系统研发的难题。具体包括以下三个方面:

a. 面向感知层,泛在物联感知。这一层如同各种“感觉器官”,用于感知人水系统中各种信息。需通过无线感知、多模态感知实现水文、气象、农业、海洋、市政等部门与天上、空中、地面、地下等全要素监测信息的传输、存储、分析、融合、共享与加密。

b. 面向模拟层,智能超算模拟。这一层如同“神经系统”,用于信息传输及模拟计算。需通过云边端协同计算解决海量水利数据的处理需求、人工智能技术研发人水关系耦合模拟模型,实现人水关系和谐调控综合模拟模型研发。

c. 面向服务层,多元智能服务。这一层如同水灾害防控智慧模拟系统与用户之间的“桥梁”,用于人水关系改善的各个方面。需依托智慧水利平台,实现水文信息监测与分析、水灾害预测预报与模拟、科学调度决策与防控等服务功能一体化^[24-25]。

2.5 应用实践

水灾害和谐防控与智慧模拟,是面向人水和谐的水灾害防控智慧体系,而非局限于狭义的水灾害防控。因此,其具有广阔的应用实践,主要包括:①水灾害防控方面,可应用于多维嵌套治理系统构建、水旱灾害防御及预警预报、防洪抗旱减灾指挥、防洪排涝工程规划与建设、水利工程安全与防护等;②生态水利建设方面,可应用于河流湖泊修复、生态水利工程建设、生态文明与水生态文明建设、生态安全保障等;③高质量发展保障方面,可应用于水利高质量发展路径优化、人水关系耦合模拟与和谐调控、重大工程优化布局、水安全保障、国家水网布局建设等;④智慧水利融合方面,可应用于遥感监测与智慧服务、“物理-虚拟-调度”水联网构建、数字孪生水利、水利现代化建设、新时代中国特色水利建设等^[13]。

2.6 发展战略研究

a. 水灾害和谐防控与智慧模拟发展战略理论,即指导、规划、实施水灾害和谐防控与智慧模拟发展战略的理论框架。从防洪排涝抗旱、水生态环境保护、经济社会发展三个方面和谐发展角度,基于水灾害系统论、人水关系学、人水和谐论、水利高质量发展理论,结合水文水资源学、环境学、生态学、动力学等多学科理论,以提升人水系统韧性、解决水灾害和谐防控为重点任务,融合生态水利与智慧水利建设,研究自主创新的水灾害和谐防控与智慧模拟发展战略理论。

b. 水灾害和谐防控与智慧模拟发展研究方法,即水灾害和谐防控与智慧模拟发展过程中涉及的具体规划方法与技术手段。针对水灾害和谐辨识结果,基于水灾害和谐防控与智慧模拟发展战略理论,结合水灾害韧性评估、和谐评估、环境综合调控、系统协同治理、路径优选等方法,以水灾害防控为导向,融合水生态文明建设、资源环境保护、保障体系建设、高质量发展,总结提出集分析、量化、评估、防控、反馈、再防控于一体的水灾害和谐防控与智慧模拟及人水和谐发展研究方法。

c. 水灾害和谐防控与智慧模拟发展战略方略,即为实现水灾害和谐防控与智慧模拟发展战略目标而采取的各种策略与方案。综合不同目标需求,基于水灾害和谐防控与智慧模拟发展研究方法,结合国家规划纲要与“水利4.0”战略,以建设新时代中国特色水利为主线,构建理论体系、方法体系、技术体系、工程体系、制度体系、服务体系等支撑体系^[21],统筹考虑未来资源配置、国土空间开发格局、产业结构等重要战略模块,研究前瞻性、持续性、战略性、综合性的水灾害和谐防控与智慧模拟发展战略方略^[26]。

3 研究展望

3.1 完善水灾害防控理论,进一步开展复杂人水关系机理与模拟研究

完善理论体系是基础,关于水灾害理论的已有研究成果丰富,但水灾害系统作为一个有机整体,其防控需不断融合多学科、多领域的理论知识,以开展复杂人水关系机理与模拟研究。主要可从以下几个方面入手:①水灾害防控研究方面,考虑不同水灾害发生机理与模拟开展研究,注重多学科、多方法的组合应用;②人水关系机理研究方面,基于水灾害防控机理与模拟成果开展复杂人水关系机理研究,如气候变化下洪水内涝灾害发生机理,极端条件下干旱灾害的发生规律,高密度人类活动影响下水污染机理等;③人水关系模拟研究方面,基于人水关系机理

开展模拟研究,如水灾害影响下水资源-社会-经济-生态环境系统的耦合模拟研究、水灾害影响下水-能源-粮食耦合管理模拟研究、基于水的利害冲突中人与人之间的关系模拟研究等。

3.2 面向人水和谐调控,进一步研究水灾害防控方法、模型与技术

实施科学防控是重要手段,将人水和谐理念融入水灾害防控,提出面向人水和谐的防控手段,从水资源系统与人文系统稳定良性发展的整体角度重新审视水灾害问题,推动实现水灾害和谐防控向智慧防控的转变。主要可从以下几方面入手:①水灾害防控方法方面,完善人水和谐调控的一般性方法,包括工程措施与非工程措施结合等方法;②水灾害防控模型方面,构建符合水灾害防控目标和适应智慧化的改进模型;③水灾害防控技术方面,研发集各项水灾害和谐防控要求于一体的自动监测、智能决策、智慧控制等关键技术。

3.3 坚持科技创新,进一步探索水灾害和谐防控与智慧模拟的应用前景

科技创新是核心,面对快速变化的发展环境及治理能力瓶颈时期,科技越来越重要,以科技创新驱动探索水灾害和谐防控与智慧模拟的应用实践,是破解当前水利发展中突出矛盾和问题的关键。主要可从以下几个方面入手:①以水利改革发展重大科技需求为基础,同时立足于新时代中国特色水利事业建设需求,进一步开展基础理论方法研究、技术装备研发、应用服务探索,提高模拟模型普适性、仪器设施精细化、计算设备国产化;②以理论与实践结合为导向,加快推进科技成果与水利生产实践的精准对接,实现科技成果高效转化,解决水灾害和谐防控及水利益冲突中的人际关系问题;③以智慧水利建设发展趋势为重点,建设全面泛在物联感知、动态监测体系、高速精准超算系统、智慧模拟决策体系的水利信息网络,助推水利事业数字化、共享化、智慧化发展,进一步探索水灾害智慧模拟的应用前景。

4 结 语

本文基于已有成果,在梳理我国水灾害治理历程的基础上,立足于水灾害防御重大需求及水灾害和谐防控与智慧模拟研究的必要性,构建了水灾害和谐防控与智慧模拟研究框架,包括指导思想、理论基础、关键问题、研究内容、应用实践和发展战略研究,并从水灾害防控理论完善、水灾害和谐防控研究、智慧应用前景探索三个方面描绘研究展望。

水灾害防控涉及因素众多,目标需求重大,文章提出的水灾害和谐防控与智慧模拟研究框架可在一定程度上为水灾害防控提供参考,但在实际中仍需

广泛吸取新理念、新知识、新技术。因此,需要更多水利科技工作者集思广益、群策群力,为推动水灾害防控工作完善、实现水安全全面保障、促进水利高质量发展贡献智慧。

参考文献:

[1] 谢永刚. 水灾害经济学[M]. 北京: 经济科学出版社, 2003.

[2] 李原园, 赵钟楠, 刘震. 新时代全面提升国家水安全保障能力的战略思路和重要举措[J]. 中国水利, 2023 (4): 1-5. (LI Yuanyuan, ZHAO Zhongnan, LIU Zhen. Strategic thinking and key measures for comprehensive enhancement of national water security capability in the new era[J]. China Water Resources, 2023 (4): 1-5. (in Chinese))

[3] 芮孝芳, 蒋成煜, 陈清锦. 论城市排水防涝工程水文问题[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35 (1): 42-48. (RUI Xiaofang, JIANG Chengyu, CHEN Qingjin. Hydrological problems for engineering of drainage and water log prevention in urban areas[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015, 35 (1): 42-48. (in Chinese))

[4] 程晓陶. 加强水旱灾害管理的战略需求与治水方略的探讨[J]. 水利学报, 2008, 39 (10): 1197-1203. (CHENG Xiaotao. Strategic demand for enhancing flood and drought management and investigation on policies of water governance[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39 (10): 1197-1203. (in Chinese))

[5] 张大伟, 向立云, 李娜, 等. 防洪减灾理论及技术研究进展[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32 (1): 7-15. (ZHANG Dawei, XIANG Liyun, LI Na, et al. Research progress in theory and technology of flood prevention and disaster reduction[J]. China Flood & Drought Management, 2022, 32 (1): 7-15. (in Chinese))

[6] 许继军, 袁喆. 2022 年长江流域干旱特征分析与新时期抗旱减灾应对模式探讨[J]. 长江科学院院报, 2023, 40 (4): 1-8. (XU Jijun, YUAN Zhe. Drought characteristics of Changjiang River Basin in 2022 and drought mitigation response pattern under new circumstances[J]. Journal of Changjiang River Scientific Research Institute, 2023, 40 (4): 1-8. (in Chinese))

[7] 胡震云, 陈晨, 王慧敏, 等. 水污染治理的微分博弈及策略研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24 (5): 93-101. (HU Zhenyun, CHEN Chen, WANG Huimin, et al. Study on the differential game and strategy of water pollution control[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24 (5): 93-101. (in Chinese))

[8] 姚继平, 郝芳华, 王国强, 等. 人工智能技术对长江流域水污染治理的思考[J]. 环境科学研究, 2020, 33 (5): 1268-1275. (YAO Jiping, HAO Fanghua, WANG Guoqiang, et al. Artificial intelligence technology for water

pollution control in the Yangtze River Basin[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33 (5): 1268-1275. (in Chinese))

[9] 宋华力. 黄河防洪工程体系建设与布局展望[J]. 中国水利, 2022 (4): 16-18. (SONG Huali. Construction of the Yellow River flood control engineering system and layout prospects[J]. China Water Resources, 2022 (4): 16-18. (in Chinese))

[10] 周君亮. 淮河下游水安全及其对策[J]. 水利水电科技进展, 2011, 31 (4): 13-19. (ZHOU Junliang. Water safety and countermeasures for lower reaches of Huaihe River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31 (4): 13-19. (in Chinese))

[11] 田以堂. 我国水旱灾害防御工作成就辉煌[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 29 (10): 1-5. (TIAN Yitang. Great achievements in the prevention of flood and drought disasters in China[J]. China Flood & Drought Management, 2019, 29 (10): 1-5. (in Chinese))

[12] 左其亭, 张志卓, 马军霞, 等. 人与自然和谐共生的水利现代化建设探析[J]. 中国水利, 2021 (10): 4-6. (ZUO Qiting, ZHANG Zhizhuo, MA Junxia, et al. Thought on modernization of water conservancy in harmonious coexistence between man and nature[J]. China Water Resources, 2021 (10): 4-6. (in Chinese))

[13] 左其亭. 中国水利发展阶段及未来“水利 4.0”战略构想[J]. 水电能源科学, 2015, 33 (4): 1-5. (ZUO Qiting. Development stage of Chinese water conservancy and strategic concept of future “Water Conservancy 4.0”[J]. Water Resources and Power, 2015, 33 (4): 1-5. (in Chinese))

[14] 左其亭. 人水和谐论及其应用研究总结与展望[J]. 水利学报, 2019, 50 (1): 135-144. (ZUO Qiting. Summary and prospect of human-water harmony theory and its application research[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2019, 50 (1): 135-144. (in Chinese))

[15] 左其亭, 钟涛, 张志卓, 等. 水利高质量发展的判别准则及评价体系[J]. 水资源与水工程学报, 2022, 33 (5): 109-117. (ZUO Qiting, ZHONG Tao, ZHANG Zhizhuo, et al. Discriminant criteria and evaluation system of high-quality development of water conservancy[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2022, 33 (5): 109-117. (in Chinese))

[16] 李国英. 深入贯彻落实党的二十大精神 扎实推动新阶段水利高质量发展: 在 2023 年全国水利工作会议上的讲话[J]. 中国水利, 2023 (2): 1-10. (LI Guoying. Implementing the agenda of the 20th CPC National Congress and boosting high-quality water development in the new stage: the speech at 2023 National Working Conference on Water Resources[J]. China Water Resources, 2023 (2): 1-10. (in Chinese))

[17] 左其亭, 张云, 林平. 人水和谐评价指标及量化方法研究[J]. 水利学报, 2008, 39 (4): 440-447. (ZUO Qiting,

ZHANG Yun, LIN Ping. Index system and quantification method for human-water harmony[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(4): 440-447. (in Chinese))

- [18] 左其享. 人水和谐论:从理念到理论体系[J]. 水利水电技术, 2009, 40(8): 25-30. (ZUO Qiting. Human-water harmony theory: from idea to theory system[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, 40(8): 25-30. (in Chinese))
- [19] 左其享. 和谐论的数学描述方法及应用[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(4): 129-133. (ZUO Qiting. Mathematical description method and its application of harmony theory[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(4): 129-133. (in Chinese))
- [20] 左其享, 赵衡, 马军霞. 水资源与经济社会和谐平衡研究[J]. 水利学报, 2014, 45(7): 785-792. (ZUO Qiting, ZHAO Heng, MA Junxia. Study on harmony equilibrium between water resources and economic society development[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(7): 785-792. (in Chinese))
- [21] 左其享. 人水关系学的基本原理及理论体系架构[J]. 水资源保护, 2022, 38(1): 1-6. (ZUO Qiting. Basic principles and theoretical system of human-water relationship discipline[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(1): 1-6. (in Chinese))

(收稿日期:2023-07-24 编辑:俞云利)

(上接第6页)

- [13] 李志祥,冯建刚,钱尚拓,等.排水泵站整流底坎参数优化[J].农业工程学报,2021,37(3):56-63. (LI Zhixiang, FENG Jiangang, QIAN Shangtuo, et al. Optimization of rectification bottom sill parameters in drainage pumping stations[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(3): 56-63. (in Chinese))
- [14] 冯建刚,孟湘云,钱尚拓.分侧式闸站枢纽下游底坎整流特性[J].水利水电科技进展,2019,39(6):62-67. (FENG Jiangang, MENG Xiangyun, QIAN Shangtuo. Sill rectification characteristics downstream a unilaterally arranged pump-gateway [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2019, 39(6): 62-67. (in Chinese))
- [15] 夏臣智,成立,赵国锋,等.泵站前池单排方柱整流措施数值模拟[J].水利水电科技进展,2017,37(4):53-58. (XIA Chenzhi, CHENG Li, ZHAO Guofeng, et al. Numerical simulation of flow pattern in forebay of pump station with single row of square columns[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2017, 37(4): 53-58. (in Chinese))
- [16] 刘志泉,成立,卜舸,等.泵站正向进水前池“V”形导流墩整流数值模拟[J].中国农村水利水电,2022(3):183-188. (LIU Zhiquan, CHENG Li, BU Ge, et al.

- [22] 左其亭. 人水关系学[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2023.
- [23] 左其亭, 纪义虎, 马军霞, 等. 人与自然和谐共生的水利现代化建设体系及实施路线图[J]. 人民黄河, 2021, 43(6): 1-5. (ZUO Qiting, JI Yihu, MA Junxia, et al. Water conservancy modernization construction system and implementation roadmap of human-nature harmony theory [J]. Yellow River, 2021, 43(6): 1-5. (in Chinese))
- [24] 夏军, 占车生, 曾思栋, 等. 长江模拟器的理论方法与实践探索[J]. 水利学报, 2022, 53(5): 505-514. (XIA Jun, ZHAN Chesheng, ZENG Sidong, et al. Theoretical method and practical exploration of Yangtze River Simulator construction [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2022, 53(5): 505-514. (in Chinese))
- [25] 左其亭, 秦西, 马军霞. 黄河模拟器建设框架设计及发展布局[J]. 人民黄河, 2023, 45(9): 18-23. (ZUO Qiting, QIN Xi, MA Junxia. Framework design and development layout of Yellow River Simulator construction [J]. Yellow River, 2023, 45(9): 18-23. (in Chinese))
- [26] 左其亭. 新时代中国特色水利发展方略初论[J]. 中国水利, 2019(12): 3-6. (ZUO Qiting. Initial studies on water development strategy with Chinese characteristics in the new era[J]. China Water Resources, 2019(12): 3-6. (in Chinese))

(收稿日期:2023-07-24 编辑:俞云利)

Numerical simulation of V-shaped diversion pier for improving the flow pattern in forward inlet forebay of the pumping station[J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(3):183-188. (in Chinese)

- [17] 张校文,刘超,荣迎春,等.多机组泵站正向进水流列式隔板整流模拟及试验验证[J].排灌机械工程学报,2022,40(4):378-384. (ZHANG Xiaowen, LIU Chao, RONG Yingchun, et al. Numerical simulation and experimental verification of forward feed array diaphragm rectifier for multi-unit pumping station [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2022, 40(4):378-384. (in Chinese))
- [18] 杨旭,奚斌,鲁儒,等.镂空式整流底坎对侧向进水泵站前池流态的影响[J].水电能源科学,2020,38(7):161-164. (YANG Xu, XI Bin, LU Ru, et al. Influence of hollow rectifying sill on flow pattern in forebay of side-inlet pumping station [J]. Water Resources and Power, 2020, 38(7):161-164. (in Chinese))
- [19] 李坦,靳世平,黄素逸,等.流场速度分布均匀性评价指标比较与应用研究[J].热力发电,2013,42(11):60-63. (LI Tan, JIN Shiping, HUANG Suyi, et al. Evaluation indices of flow velocity distribution uniformity: comparison and application [J]. Thermal Power Generation, 2013, 42(11):60-63. (in Chinese))

(收稿日期:2023-10-17 编辑:俞云利)