

探索现阶段水文水资源环境管理与防洪减灾

徐生斌

新疆维吾尔自治区阿克苏水文勘测中心

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6621

[摘要] 随着全球气候变化与高强度人类活动交织影响,我国水安全风险日趋复合化,对水文水资源环境管理与防洪减灾的协同治理提出更高要求。本文系统探讨二者深度融合的理论框架及实践路径,核心在于:通过强化水资源环境管理,提升流域生态调蓄功能与系统韧性;将洪水风险管理理念融入水资源统一调度,推动洪水向资源的战略性转化;并阐释大数据、人工智能与数字孪生等技术在实现精细化管理与智能决策中的支撑作用。研究表明,推动二者协同是应对系统性水安全风险的必由之路,未来应完善法规体系、跨部门协调机制与科技支撑能力,实现从被动应对向流域系统治理的范式转型。

[关键词] 水文学; 水资源管理; 水环境; 防洪减灾; 协同治理

中图分类号: TV213 文献标识码: A

Exploring the Management of Hydrological Water Resources Environment and Flood Control Disaster Reduction at the Current Stage

Shengbin Xu

Xinjiang Uygur Autonomous Region Aksu Hydrological Survey Center

[Abstract] With the intertwined impacts of global climate change and intensive human activities, water security risks in China have become increasingly complex, placing higher demands on the collaborative governance of hydrological water resources environment management and flood control disaster reduction. This paper systematically explores the theoretical framework and practical pathways for the deep integration of these two areas. The core of this framework lies in enhancing the ecological storage capacity and systemic resilience of river basins through strengthened water resources environment management; integrating flood risk management concepts into unified water resources allocation to promote the strategic transformation of floods from hazards into resources; and elucidating the supporting role of technologies such as big data, artificial intelligence, and digital twin river basins in achieving refined management and scientific decision-making. Research indicates that promoting synergy between these domains is an essential pathway to addressing systemic water security risks. Future efforts should focus on improving regulatory systems, cross-departmental coordination mechanisms, and technological support capabilities to realize a paradigm shift from passive response to proactive basin-wide systemic governance.

[Key words] Hydrology; Water Resources Management; Water Environment; Flood Control Disaster Reduction; Collaborative Governance

引言

水文水资源环境管理与防洪减灾作为水安全保障体系的两大核心支柱,在传统管理模式中因目标导向与治理路径的分异而呈现显著割裂态势:前者侧重供水安全、用水效率与水生态健康维系,后者聚焦工程设防、应急抢险与风险规避。然而,在全球气候变化与区域人类活动强度持续加剧的复合影响下,上述分立管理模式面临系统性挑战。气候变暖引发极端水文事件频次与强度显著增加,动摇了基于历史水文序列稳定性的工程

设计与规划前提;快速城镇化进程深刻改变流域下垫面条件,导致产汇流机制异化,表现为洪峰流量增大、汇流时间缩短及城市内涝风险激增。同时,水资源本底脆弱性与水环境承载力有限性,使得单一依赖工程排蓄的防洪策略不仅难以持续,更可能因系统反馈引发生态退化风险。当前水问题已呈现出系统性、复合性与连锁性新特征,任何单目标治理均可能诱发多重衍生风险。在此背景下,推动水文水资源环境管理与防洪减灾的深度融合,已成为突破治理瓶颈的迫切需求。这要求以系统思维重构流

域治理范式,将防洪减灾有机嵌入水资源全要素管理框架,并通过水生态保护与修复增强流域固有韧性,从而构建适应复杂风险环境的现代化水治理体系。

1 变化环境下的水文情势与风险演变

现阶段水文水资源管理与防洪减灾工作所面临的根本性挑战,源于“变化环境”对自然水循环与社会水循环的双重扰动。这种变化主要体现在气候系统的变异性与人类社会活动的强度上,共同导致了水文极值事件的非平稳性特征日益凸显。

(1)从气候驱动因子看,全球变暖导致大气持水能力增强,水汽输送格局改变,从而使得降水在时空上的分布不均更为显著。具体表现为:年际与年内降水变率加大,干旱期延长,而强降水事件的强度、持续时间及影响范围则呈现增长趋势。这种“旱涝并存、急转”的现象,对水资源系统的调蓄能力与防洪工程的设计标准构成了直接冲击。传统基于独立同分布假设的频率分析方法已难以准确描述极端水文事件的发生概率,迫切需要引入非平稳时间序列分析、基于物理机制的分布式水文模型等新理论与新方法,以更精确地模拟和预测未来水文情势。

(2)从下垫面条件看,大规模的土地利用/覆被变化(LUCC),特别是城镇化进程,深刻地改变了流域的产汇流特性。不透水面积的急剧增加,导致地表下渗能力大幅衰减,地表径流系数显著提高,汇流速度加快。其直接后果是,城市及周边区域洪峰流量倍增,洪峰现峰时间提前,洪水总量增加,使得原有排水系统与河道行洪能力不堪重负。此外,农业活动、水土保持工程、水库群调度等人类干预行为,也在不同尺度上重塑着水文过程。这些变化要求水文水资源管理必须从静态的、基于历史数据的规划,转向动态的、适应性的管理,并充分考虑人类活动的水文效应。

(3)风险的演变则表现为从单一洪水风险向复合型水安全风险的过渡。洪水风险不再仅仅是河道漫溢或堤防溃决,而是与城市内涝、山洪地质灾害、供水安全危机、水环境污染事件等紧密交织。例如,一场流域性洪水在造成直接经济损失的同时,可能冲刷携带大量面源污染物,导致下游水体水质急剧恶化,引发次生环境灾害;而在干旱期,水资源短缺又会制约生态用水,降低水环境容量,加剧水生态系统的脆弱性。因此,防洪减灾的目标已从单纯保障生命财产安全,扩展到维护经济安全、粮食安全、生态安全与社会稳定的多维目标体系。

2 水文水资源环境管理与防洪减灾的协同框架构建

要应对上述系统性风险,必须打破管理壁垒,构建一个以流域为单元、以风险控制为核心、以资源可持续利用为目标的协同管理框架。该框架的核心思想是实现从“控制洪水”向“管理洪水”再向“与洪水共存并善用其利”的范式转变。

2.1 以提升流域韧性为共同目标

“韧性”是指系统在遭受扰动后,能够吸收、恢复并适应变化,保持其主要功能与结构的能力。将提升流域水系统韧性作为水文水资源环境管理与防洪减灾的共同目标,是实现二者协同的基石。这要求在管理策略上实现三个转变:

一是从灰色基础设施主导到灰绿基础设施融合。灰色基础

设施(如堤防、水库、排涝泵站)在应对标准内洪水时具有高效、可靠的优势,但其刚性特征在面对超标准事件时可能存在失效风险。绿色基础设施(或称基于自然的解决方案,NbS),如流域上游的森林保育、湿地恢复,中游的生态缓冲带建设,以及城市的海绵化改造,通过增强下渗、滞蓄、蒸发等自然水文过程,能够有效削减洪峰、延长汇流时间、补充地下水,并同时提供生物栖息地、净化水质等多种生态系统服务。灰绿结合的混合系统,能够以更经济、更可持续的方式提升流域应对不确定性的能力。

二是从末端治理到源头控制与全过程管理。传统防洪侧重于灾害发生后的应急响应与工程抢险,属于末端治理。协同框架则强调在流域规划、城市规划、土地利用规划等源头环节,就充分考虑洪涝风险,通过划定洪泛区、蓄滞洪区并实施严格的空间管控,从源头上规避风险。同时,将管理贯穿于“监测-预警-调度-应急-恢复”的全过程,形成一个闭环的管理链条。

三是从单一工程调度到流域系统联合调度。单个水库的调度可能以自身防洪安全或兴利效益最大化为目标。而协同框架要求建立流域尺度的水库群、闸坝、蓄滞洪区等工程的联合调度体系。在汛期,统筹考虑上下游、干支流、左右岸的防洪形势,进行风险均衡调度;在汛末,则要科学研判后到来水,在保障防洪安全的前提下,适时蓄水,为后续的供水、灌溉、生态用水储备资源,实现防洪与兴利的动态统一。

2.2 洪水资源化的战略路径

将洪水视为一种宝贵的液态水资源,而非纯粹的灾害,是协同管理的核心战略思想。洪水资源化是指在保障防洪安全的前提下,通过工程与非工程措施,将汛期难以安全下泄的富余洪水水量进行拦蓄、储存、利用或回补地下水,使之转化为可利用的水资源。其实施路径主要包括:

(1)汛限水位动态控制。基于高精度、中短期的水文气象预报,对水库的汛限水位进行动态管理。在预见期内有强降雨时,预泄腾库以迎汛;在预见期内无大范围强降雨时,允许水库在汛限水位以上超蓄部分水量,以增加兴利库容。这需要对预报不确定性带来的风险进行精细评估与决策。

(2)蓄滞洪区雨洪资源利用。对具备条件的蓄滞洪区进行功能优化改造,使其在非分洪年份能够安全地蓄存雨洪资源,用于农业灌溉、湿地补水或地下水回灌。这需要对蓄滞洪区的土地管理、补偿机制进行系统性设计。

(3)区域性洪水引流回灌。在确保河道防洪安全的前提下,选择适当时机,通过引水工程将河道富余洪水引至指定的地下水超采区、干涸湖泊洼淀或人工湿地,进行地下水补给和生态修复。

3 现代科技赋能下的精准化与智慧化管理

实现水文水资源环境管理与防洪减灾的深度协同,离不开现代信息技术的强大支撑。以物联网、大数据、云计算、人工智能和数字孪生为代表的新一代信息技术,正在推动水管理模式向“智慧化”方向革命性演进。

3.1 天空地一体化的立体监测体系

构建覆盖全流域、全过程、全要素的天空地一体化监测网络,是实现精准管理的数据基础。该体系整合了卫星遥感(用于大范围监测降水、土壤湿度、水体面积、植被动态等)、航空遥感、地面自动水文站、雨量站、水质监测站、视频监控以及社会感知(如社交媒体、手机信令)等多种数据源。通过物联网技术,实现监测数据的实时、自动采集与传输,彻底改变了传统依赖人工、时效性差的数据获取方式,为全面、快速掌握流域水情、雨情、工情、灾情提供了可能。

3.2 基于大数据与人工智能的预测预报预警

海量监测数据的涌入,为基于数据驱动的水文模拟与预测带来了新机遇。机器学习、深度学习等人工智能算法,能够从复杂、高维的水文气象数据中挖掘出非线性关系和隐藏模式,显著提升中短期定量降水预报、洪水预报、以及干旱预测的精度与预见期。例如,利用长短时记忆网络(LSTM)等模型进行河道流量预报,其表现有时优于传统的基于物理机制的水文模型。在预警方面,通过构建多指标、多阈值的智能研判模型,可以实现风险早期识别与预警信息的精准靶向发布,为风险防控争取宝贵的“窗口期”。

3.3 数字孪生流域与智能决策支持

数字孪生流域是物理流域在虚拟信息空间中的全息数字化映射,是智慧水利建设的核心与高级形态。它通过集成地理信息系统(GIS)、遥感、BIM、水文水动力模型、水环境模型、工程调度模型等,构建一个与物理流域同步仿真、虚实交互、迭代优化的数字系统。在协同管理中,数字孪生流域能够发挥以下关键作用:

(1) 情景模拟与推演。在虚拟空间中,可以低成本、无风险地模拟不同降雨情景、不同调度方案、不同工程布局下的洪水演进过程、水资源配置效果及环境影响,进行“*What-if*”分析。

(2) 优化调度与决策。将优化算法(如遗传算法、粒子群算法)与流域模型耦合,自动搜索在多重约束(防洪、供水、生态、发电等)下的最优工程调度方案,为决策者提供科学依据。

(3) 应急指挥与可视化。在发生洪涝灾害时,数字孪生平台可以实时接入监测数据,动态展示灾情发展态势,模拟应急预案效果,并辅助进行抢险物资调配与人员转移路径规划,实现指挥决策的可视化与智能化。

4 体制、机制与政策保障体系

再先进的技术理念,若无相应的体制、机制与政策作为保障,也难以落地生根。推动水文水资源环境管理与防洪减灾的协同,本质上是一场深刻的治理变革:

(1) 健全流域综合管理机制。流域是天然的水文单元和管理单元。应进一步强化流域管理机构的统筹协调职能,赋予其在跨

省(区)水资源分配、防洪调度、水污染防治、生态补偿等方面的实质性权威。建立由水利、生态环境、自然资源、住建、农业、交通等多部门参与的流域协调委员会,定期会商,共同制定流域综合规划,协同解决重大水问题,打破“九龙治水”的困局。

(2) 创新经济政策与市场机制。充分发挥经济杠杆的调节作用。深化水价改革,建立充分反映水资源稀缺性和环境成本的水价形成机制。建立健全流域内上下游、左右岸的横向生态补偿机制,让保护水源、承担防洪任务的地区获得合理补偿。探索建立洪水保险制度,利用保险市场来分散和转移洪涝风险,改变目前过度依赖政府救济的局面,增强社会与个体的风险承受能力。对于洪水资源化等项目,可以考虑设立专项基金或提供绿色信贷支持,激励社会资本参与。

5 结束语

面对气候变化与人类活动带来的深刻影响,传统上相对独立的水文水资源环境管理与防洪减灾领域,正走向必须紧密协同的新阶段。本文系统论证了协同管理的必要性、内在逻辑与实践路径。协同的物理基础是认清变化环境下水文循环的非平稳性规律,其核心目标是构建富有韧性的流域水系统。通过灰绿基础设施融合、全过程管理及流域工程联合调度,可系统性提升洪旱灾害应对能力。洪水资源化作为关键抓手,要求以精细化、动态化方式挖掘洪水利用潜力,化害为利,缓解水资源短缺。现代信息技术,尤其是数字孪生流域,为实现跨部门精准感知、智能预报与优化决策提供了核心支撑。协同管理的落地最终依赖于体制创新,需强化流域统一管理,完善法规标准,创新经济手段,构建多元共治格局。

展望未来,应持续深化协同治理路径。重点研究方向包括:发展高精度非平稳水文频率分析方法;量化灰绿基础设施协同效应;突破数字孪生流域的模型耦合、数据同化等关键技术;探索跨部门、跨区域利益协调与补偿机制。通过理论、技术与制度的多维创新,方能构建保障国家水安全的坚固屏障。

[参考文献]

[1] 张建云,王银堂,贺瑞敏.气候变化背景下水文水资源系统脆弱性分析及应对策略[J].水利学报,2019,50(1):1-10.

[2] 王浩.变化环境下流域水循环系统响应与调控研究进展[J].水科学进展,2020,31(5):647-660.

[3] 夏军.面向生态文明的流域水系统治理与调控[J].中国科学:技术科学,2021,51(4):423-436.

作者简介:

徐生斌(1990--),男,汉族,甘肃武威人,大学本科,工程师,研究方向为水文勘测。