

蓄滞洪区系统治理与高质量发展路径探析

严登华^{1,2,3}, 杨永民^{1,2,3}, 吴泽斌², 张海涛², 杜晓鹤², 赵珂珂^{1,2,3},
李晨昊^{1,2,3}, 徐卫红², 张 淼², 王玉靖^{2,3}

(1. 中国水利水电科学研究院流域水循环与水安全全国重点实验室; 2. 水利部防洪抗旱减灾技术创新中心;
3. 中国水利水电科学研究院遥感技术应用研究所)

摘要:系统梳理了我国蓄滞洪区在流域防洪功能、区域发展、智慧管理与体制机制等方面存在的不足,提出以“底线约束—空间重构—内生发展—智慧赋能—机制创新”为核心的治理框架,从流域防洪安全底线约束、基于洪水风险的蓄滞洪区空间重构与分区治理、蓄滞洪区利益平衡与内生发展协同、数字孪生赋能与智慧治理和体制机制保障与治理能力现代化等方面探析了蓄滞洪区系统治理与高质量发展路径。在此基础上,提出研发涵盖蓄滞洪区动态监测、智能调度、韧性构建等8项关键技术,形成了完整的蓄滞洪区系统治理技术体系,旨在为实现蓄滞洪区从被动分洪应对向“主动调控、安全与发展并重”的战略转型提供理论依据与技术支撑。

关键词:蓄滞洪区;系统治理;空间优化;高质量发展

Pathways for systematic governance and high-quality development of flood detention areas//Yan Denghua^{1,2,3}, Yang Yongmin^{1,2,3}, Wu Zebin², Zhang Haitao², Du Xiaohu², Zhao Keke^{1,2,3}, Li Chenhao^{1,2,3}, Xu Weihong², Zhang Miao², Wang Yujin^{2,3} (1. State Key Laboratory of Water Cycle and Water Security, China Institute of Water Resources and Hydropower Research; 2. Innovation Center on Flood & Drought Disaster Prevention and Reduction of the Ministry of Water Resources; 3. Institute of Remote Sensing Technology and Application, China Institute of Water Resources and Hydropower Research)

Abstract: This article systematically examines the existing deficiencies in China's flood detention basins concerning their flood control functions, regional development, smart management, and institutional mechanisms. It proposes a governance framework centered on “bottom-line constraints, spatial restructuring, endogenous development, smart enablement, institutional innovation,” exploring pathways for the systematic governance and high-quality development of flood detention basins from perspectives such as baseline constraints for flood safety, risk-based spatial restructuring and zoning governance, balancing interests and fostering endogenous development synergies, digital twin-enabled smart governance, and institutional mechanism enhancement for governance modernization. Furthermore, it suggests the development of eight key technologies covering dynamic monitoring, intelligent operation, and resilience building of flood detention basins, forming a comprehensive technical system for their systematic governance. The research findings aim to provide a theoretical basis and technical support for enabling flood detention basins to transition from a passive flood diversion response to a strategic shift toward “active regulation, balancing safety and development.”

Key words: flood detention areas; systematic governance; spatial optimization; high-quality development

蓄滞洪区是用于临时存蓄超额洪水的低洼地区或湖泊,其核心功能是通过有计划分蓄洪水、削减洪峰,以保护重要城市、人口密集区和关键基础设施安全。作为“水库—堤防—蓄滞洪区”三位一体防洪体系的关键环节,蓄滞洪区承担着流域防洪“最后防线”的战略角色,在流域防洪中具有不可替代的关键作用^[1-3]。我国在长江、黄河、淮河等主要流域

共设有 98 处国家蓄滞洪区,设计蓄洪容积 1090 亿 m³,总面积 3.38 万 km²。自设立以来,已有 67 处蓄滞洪区实施分洪运用约 430 余次,累计蓄滞洪量超过 1400 亿 m³,为保障流域整体安全做出了不可替代的贡献^[4-5]。

在全球气候变化的影响下,极端水文气象事件的多发频发以及超记录和超历史认知的洪水增多,

基金项目:国家重点研发计划项目(2024YFC3012304,2024YFC3012300);中国水科院科技成果转化基金专项(JZ121003A0012025)

作者简介: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

通信作者:杨永民(1986—),男,正高级工程师,博士,主要从事遥感水文与水旱灾害防御研究。E-mail: yangym@iwhr.com

使蓄滞洪区启用概率和频次潜在增加^[6-10]。如在应对河南“7.20”暴雨洪涝和海河“23·7”流域性特大洪水事件中,通过启用蓄滞洪区及时有效地削减洪峰,极大减轻了下流河道行洪压力,在流域性洪水防御中发挥了显著的分洪滞洪作用^[4-5,11-12]。近20年,伴随着快速的城市化进程,蓄滞洪区建设用地显著增加,耕地则明显减少,这种转变对蓄滞洪区的运用和管理提出了新的挑战^[6-8]。但当前变化环境下,蓄滞洪区面临多重系统性困境,如工程建设不达标,蓄洪能力不足、工程标准偏低,难以有效承接上游超额洪水;安全体系不健全,人员转移等机制存在短板,影响蓄滞洪区安全、及时、有效的运用;区域发展受限,长期侧重蓄洪功能导致基础设施落后、经济动能不足^[9-10,13-14]。蓄滞洪区面临的系统性困境使其难以兼顾安全与发展,成为流域防洪体系的薄弱环节。

国内外经验表明,蓄滞洪区不仅对流域防洪至关重要,还能发挥综合性功能,提升水安全并促进区域高质量发展。国际上已逐步形成具有韧性的蓄滞洪区综合运用策略。美国在密西西比河下游建设蓄滞洪区,实行联邦、州和地方三级协同管控,并通过结合洪水保险与联邦救灾援助等方式降低洪涝风险^[15-16]。欧洲莱茵河流域推行“还地于河”,恢复洪泛区以增强蓄洪能力,并同步发展生态旅游与生物保护^[17]。日本则通过科学规划蓄滞洪区,使其兼具防洪、排涝、净水、生态和旅游等多重功能^[18]。国际趋势显示,蓄滞洪区正从单一防洪向集防洪排涝、雨洪管理、水质净化、生态提升于一体的综合功能区演进^[19-20]。在变化环境下,我国蓄滞洪区仍面临防洪安全保障与区域发展受限的双重压力,存在功能单一、系统韧性不足等突出问题。尽管国内外在蓄滞洪区治理方面积累了丰富经验,但现有研究多聚焦于单一功能的提升,缺乏系统性治理框架的构建,难以适应变化环境下蓄滞洪区综合治理的需求。面临变化环境下的挑战,亟须超越传统工程思维,推动蓄滞洪区从单一功能向综合功能提升的整体模式转型、向“主动调控与安全发展协同”的战略性空间转型。

如何科学应对变化环境下蓄滞洪区所呈现的复杂态势与关键矛盾,系统推进蓄滞洪区综合治理与高质量发展,已成为当前亟待破解的重要课题。伴随全球气候变化导致的极端水文事件频发、强度增强,以及我国经济社会快速发展和国土空间格局的持续优化,蓄滞洪区单一的功能定位与传统治理思路,已难以充分适应统筹发展与安全的现实需求。推动蓄滞洪区由传统功能定位向“主动调控、安全

与发展协同”的战略空间转型,成为适应变化环境下流域治理与区域协调发展的必然路径。为此,本文在系统分析当前蓄滞洪区防洪形势和发展困境的基础上,以提升变化环境下洪水防御能力与推动区域高质量发展为主线,探析我国蓄滞洪区系统治理与高质量发展路径,旨在为蓄滞洪区防洪安全保障与区域高质量发展的统一提供理论支撑和实践路径,以推动我国蓄滞洪区治理体系和治理能力现代化。

1 蓄滞洪区面临的多重挑战解析

1.1 变化环境下流域防洪的新形势和新挑战

在变化环境下,流域防洪对蓄滞洪区提出了更高的要求,蓄滞洪区功能的充分发挥正面临严峻考验。一方面,基于历史水文序列的流域传统工程设计标准,难以应对极端降水事件频发、洪水峰量显著增加的动态风险,标准内洪水的防御可靠性下降,流域防洪对蓄滞洪区的及时启用提出新的要求^[7-10];另一方面,蓄滞洪区与水库、河道行洪空间之间缺乏系统性的联合调度机制,难以实现流域洪水的协同最优调控^[20-21]。与此同时,蓄滞洪区仍普遍存在“分不进、蓄不住、排不出”的工程瓶颈,安全建设滞后与非防洪建设项目增多,进一步削弱了蓄滞洪区分蓄洪功能。

1.2 蓄滞洪区建设存在系统性短板

从流域防洪功能实现的角度,蓄滞洪区在“分得进、蓄得住、排得出、人安全”等关键环节尚存在明显短板^[13-14,22-24]。在“分得进”方面,进退洪设施设计标准偏低、控制能力不足,难以在最佳时机有效承接超额洪水。在“蓄得住”环节,围堤不封闭、不达标,实际调蓄能力低于设计预期,影响洪水消纳效果。“排得出”方面,退水设施不畅、外排能力不足,导致蓄滞洪水难以及时消落。尤为突出的是安全保障环节,安全区和转移道路等设施建设滞后,加之区内非防洪建设项目持续增多,人口资产密度提升,极大增加了分洪运用时人员安全转移的难度和社会风险。

1.3 区域发展矛盾,综合功能薄弱

在快速城镇化背景下,蓄滞洪区内国土空间的功能性冲突日益尖锐。一方面,城镇扩张土地开发不断侵占和挤压蓄洪空间;另一方面,为保障蓄洪能力而实施的严格用途管制,也在一定程度上制约了蓄滞洪区的经济社会发展^[25]。长期以来,蓄滞洪区被简单定位为功能单一的“被动牺牲区”,缺乏积极有效的产业政策引导和综合功能培育,生态、经济与社会功能协同不足,难以实现与周边区域协调发展^[26-27]。同时,蓄滞洪区自身的生态资源、土地空间和区位优势未能充分挖掘,生态产品价值实现路

径缺失,产业发展薄弱,所拥有的水域景观、湿地资源与农业本底等独特潜力未被激活。

1.4 监测预警薄弱,决策支持不足

在智慧管理层面,当前蓄滞洪区尚未建立与极端洪水风险相匹配的“感知—预见—决策—调度”一体化体系,制约了区内风险识别与管控的精准性^[28-32]。监测感知体系覆盖不全、精度不足,难以实现对区内人口、资产和关键设施的风险精准评估,导致蓄滞洪区发展布局缺乏科学依据。洪水风险动态模拟与国土空间规划衔接不足,阻碍了安全与发展协同并重的蓄滞洪区区域规划制定。缺乏集成监测预警、模拟分析和调度决策的蓄滞洪区智慧平台,不仅影响分洪调度的精准性,也限制了蓄滞洪区生态资源价值与土地空间潜力的有效挖掘。

1.5 协同机制缺失,补偿保障不足

当前,蓄滞洪区的管理机制尚难以完全适应系统性治理的要求。在治理结构上,涉及水利、自然资源、农业农村、应急管理等多个部门的涉水事务管理,缺乏统一的跨部门、跨区域协调机制,影响了蓄滞洪区规划的统筹与政策协同。尤其在应对突发洪水时,现有体制在快速响应与协同调度方面仍需优化,以确保分洪决策的及时性与有效性^[13,33-34]。在补偿保障机制方面,现行以中央财政为主进行事后补偿的模式,常态化和制度化的发展权补偿机制尚未充分建立,体现“谁受益、谁补偿”原则的流域横向生态补偿机制也未能系统形成,难以对蓄滞洪区因承担防洪功能而承受的发展制约进行全面、公平的经济调节。

综上所述,当前蓄滞洪区治理面临工程防洪能力不足、安全保障体系薄弱、区域发展矛盾突出、智慧管理支撑欠缺、体制机制协同不足等五方面的系统性挑战,亟待通过综合治理加以破解。

2 蓄滞洪区系统治理与高质量发展路径探析

为破解蓄滞洪区面临的多重困境,推动蓄滞洪区由传统功能定位向“主动调控与安全发展协同”的战略空间转型,亟须探索构建蓄滞洪区的系统性治理框架。本文基于“底线约束—空间重构—内生发展—智慧赋能—机制创新”的治理逻辑,从流域防洪安全底线约束、基于洪水风险的蓄滞洪区空间重构与分区治理、蓄滞洪区利益平衡与内生发展协同、数字孪生赋能与智慧治理和体制机制保障与治理能力现代化等方面提出蓄滞洪区系统治理与高质量发展路径(图1),并厘清其内在逻辑关系。上述五大治理路径(防洪安全底线约束、空间重构分区治理、利益均衡内生发展、数字孪生智慧治理、创新管理机制构建)构成了一个有机整体,分别着力解决工程安全、空间布局、利益协调、决策能力、制度保障等核心问题,并与后文所述的关键科学问题及技术体系形成紧密的支撑与呼应关系。

2.1 筑牢蓄滞洪区作为流域防洪安全的刚性底线

筑牢蓄滞洪区作为流域防洪安全的刚性底线,是系统治理的基础和优先路径,其核心在于明确蓄滞洪区在流域防洪体系中的战略定位,将设计水位、蓄洪容积等关键参数纳入流域防洪规划的强制性内容,构建具有法律约束力的蓄滞洪区空间与功能管

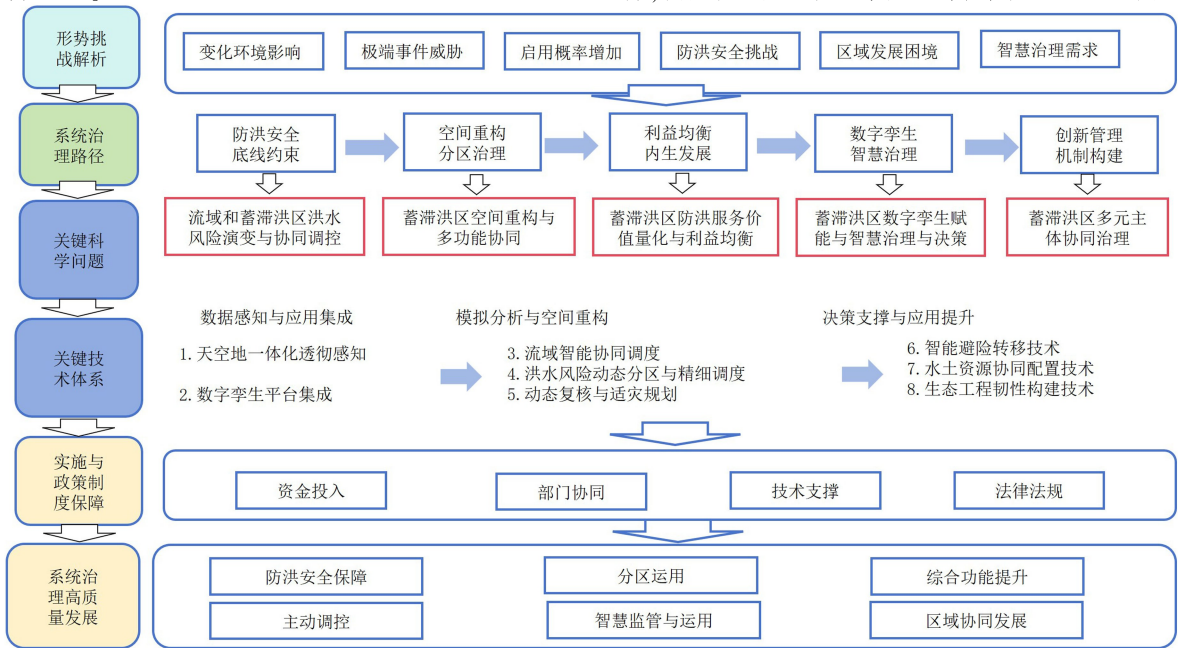


图1 蓄滞洪区系统治理与高质量发展路径框架

Fig.1 Framework for systematic governance and high-quality development pathways in flood detention areas

控红线。推动蓄滞洪区水利工程达标建设,聚焦进退洪设施、围堤等关键工程,推动标准化建设与系统性除险加固,识别并补齐工程短板,确保工程基础牢固可靠。推动蓄滞洪区从静态蓄洪容积核查向“进—蓄—滞—排”全过程动态效能评估,确保“分得进、蓄得住、排得出”的全链条可靠性。这一路径的实施将为蓄滞洪区实现从被动应对到主动调控的根本性战略转型提供坚实保障。

2.2 基于洪水风险的蓄滞洪区空间重构与分区治理

基于洪水风险的蓄滞洪区空间重构与分区治理,以“风险识别—空间重构—布局优化—功能提升”为框架,推动蓄滞洪区由均质空间向功能分区系统转型。该路径的实施可遵循“数据底板构建—风险动态模拟—空间功能分区—治理策略适配”的方法流程。首先,集成多源遥感、水文监测、地形与社会经济数据,构建蓄滞洪区高精度数字底板。其次,通过流域-蓄滞洪区耦合水动力模型,模拟不同洪水情景下的淹没范围、水深、流速与历时,生成动态风险图谱,优化隔堤、进退洪设施、安全台及转移道路等工程布局。在此基础上,依据风险等级和土地适应性,将蓄滞洪区划分为核心调蓄区、弹性适应区、集约发展区。最后,结合蓄滞洪区在流域水环境、湿地生态系统保护、洪水调蓄与资源化利用方面的核心价值,立足区域本底禀赋推进综合功能提升,推动治理目标从单一防洪目标向统筹水安全、生态保护与区域发展的战略转型,实现蓄滞洪区从被动防洪向主动调控、多元融合的根本性转变。

2.3 蓄滞洪区利益平衡与内生发展协同机制

构建蓄滞洪区利益平衡与内生发展协同机制,旨在构建科学的利益调节体系并培育内生发展能力,推动蓄滞洪区从“被动补偿”向“主动发展”战略转型。首先,基于流域洪水演进模型与损失评估模型构建防洪效益评估体系,考虑机会成本、减灾效益与生态价值,研究量化蓄滞洪区为下游地区减少的洪灾损失,为建立公平合理的补偿机制提供科学依据。在此基础上,构建“政府主导—流域协同—市场参与”的多维补偿框架,通过优化财政补偿、建立流域横向生态补偿制度、推行政策性洪水保险,形成多层次的利益调节体系。其次,依据蓄滞洪区洪水风险分区布局,培育与风险相适应的特色产业体系。在生态敏感区发展湿地经济、生态旅游等绿色产业,在安全区域培育特色加工、清洁能源等环境友好型产业,探索湖泊型蓄滞洪区洪水资源化利用路径。通过补偿机制与产业培育的协同推进,为蓄滞洪区可持续发展提供持久动力。

2.4 数字孪生赋能蓄滞洪区智慧治理

构建数字孪生赋能的蓄滞洪区智慧治理体系,旨在构建覆盖监测感知、模拟预测与综合管理的全流程的数字支撑平台,其实现主要包括3个层次:一是构建天空地一体化监测数据底板,集成水文、气象、工程、视频及物联网感知数据;二是开发机理与数据驱动融合的模拟引擎,重点耦合水文水动力模型、工程调度规则与社会经济影响评估模块;三是搭建“监测—模拟—决策—控制”一体化业务平台,支持洪水演进预演、调度方案比选、人员转移模拟等场景应用。该体系的核心在于构建“感知—模拟—决策—控制”的闭环决策范式;通过实时感知驱动模型动态仿真,基于仿真结果优化调度与管控策略,并将策略反馈至物理系统执行,从而实现对蓄滞洪区“预报、预警、预演、预案”的全过程智慧化管理。最后还可拓展智慧管理应用场景,建立涵盖防洪调度、工程建设、空间管控的多业务管理系统,实现对非防洪建设项目的洪水影响评估、工程设施的全生命周期管理,以及区域发展规划的洪灾风险评估,形成集防洪安全保障与区域综合管理于一体的智慧治理新范式。

2.5 体制机制保障与治理能力现代化

探寻体制机制保障与治理能力现代化路径,致力于构建与现代治理需求相适应的制度保障体系,为蓄滞洪区综合治理提供坚实保障。首先,建立“国家—流域—省—市—县”五级协同治理架构,明确各级权责,健全跨部门、跨区域协调机制,破解条块分割困境;其次,完善法律法规体系,推动制定蓄滞洪区专门管理条例,清晰界定各方责任;同时,创新多元化投融资机制,统筹整合财政资金、生态补偿、社会资本等资源,构建可持续的资金保障体系。此外,建立科学的考核评估机制,将蓄滞洪区管理成效纳入地方政府绩效考核体系,形成激励相容的治理导向。最后,推动管理重心下移,构建社区参与式管理机制,形成“政府主导、社会协同、公众参与”的共建共治共享格局。通过系统性的制度创新,全面提升蓄滞洪区治理体系和治理能力现代化水平,为各项治理措施的落地实施提供制度保障。

3 关键科学问题与核心技术挑战

3.1 关键科学问题

3.1.1 变化环境下流域和蓄滞洪区洪水风险动态演变与协同调控

变化环境下流域与蓄滞洪区洪水风险的动态演变与协同调控,是当前治理中亟待解决的首要科学问题,也是支撑筑牢蓄滞洪区作为流域防洪安全刚

性底线这一路径的关键基础。在全球气候变化与高强度人类活动双重影响下,流域洪水风险格局发生深刻重构,突出表现为极端降水事件频发、洪水过程变异加剧、风险不确定性显著增强等新特征。破解这一难题,需超越传统单向风险评估框架,建立考虑极端事件不确定性的流域—蓄滞洪区系统耦合分析方法,重点揭示洪水风险在“流域产汇流—河道输移—蓄滞洪区调蓄”全链条中的动态传导机制与互馈规律。该研究的突破,将为统筹流域整体防洪安全与蓄滞洪区功能提升提供科学依据,推动蓄滞洪区从被动防御向主动调控的治理范式转变,显著增强流域防洪体系在应对极端气候事件时的系统韧性与适应能力。

3.1.2 基于洪水风险分区的空间重构与多功能协同

基于洪水风险分区的空间重构与多功能协同,是支撑空间重构与分区治理路径的核心科学问题。该问题聚焦于如何通过精准的空间治理实现蓄滞洪区防洪安全与区域发展的有机统一。当前,传统均质化空间管理模式与蓄滞洪区内部风险的异质性分布不相适应,导致防洪保障与经济社会发展之间的矛盾日益突出。解决这一问题的关键在于突破传统空间规划局限,创新多维度动态风险识别与精准分区方法,建立基于风险等级的空间功能配置模型,研发分区隔堤与进退洪设施的优化布局方案,构建“防洪—生态—经济”多元功能协同的空间重构模式。这一科学问题的突破,将为蓄滞洪区的空间重构提供理论支撑,推动实现从均质管理向精准治理的转变,有效破解安全与发展的矛盾,为形成防洪安全和经济发展协同并重的综合治理格局奠定科学基础。

3.1.3 蓄滞洪区综合功能定位与跨区域利益均衡机制

蓄滞洪区综合功能定位与跨区域利益均衡机制,是支撑利益平衡与内生发展协同机制路径的核心科学问题。该问题聚焦于如何破解蓄滞洪区因功能定位单一与价值补偿失衡所导致的利益错配困境。当前,由于蓄滞洪区为流域防洪所提供的服务价值缺乏科学量化方法,其发展权益难以得到充分保障,导致内生动力不足。解决这一问题的关键在于构建基于洪水演进模拟与生态系统服务价值评估的防洪效益量化体系;设计政府主导、流域协同与市场调节相结合的多维补偿机制;探索与风险特征相适应的特色产业发展路径;推动补偿政策与产业培育机制有机衔接。这方面研究的突破将为实现从输血式补偿向造血式发展转型提供理论支撑,构建“保护者受益、受益者补偿”的良性治理格局,为蓄

滞洪区可持续发展注入持久动力。

3.1.4 数字孪生赋能的蓄滞洪区智慧治理理论与决策范式

蓄滞洪区数字孪生赋能的智慧治理是支撑数字孪生赋能智慧治理体系建设路径的核心科学问题。该问题聚焦于破解物理世界与虚拟空间深度融合的复杂性难题,推动治理模式从经验驱动向数字驱动的系统性转变。传统依赖经验的决策模式难以适应变化环境下极端洪水事件的不确定性与动态性,而新兴数字技术应用又缺乏系统性的理论指导与方法论支撑。解决这一问题的关键在于构建蓄滞洪区数字孪生系统理论架构与标准体系,提出多源异构数据融合与知识发现新方法,发展水文—水动力—社会经济全过程高精度耦合模型,建立监测—模拟—决策—控制闭环决策理论,创新协同的智慧治理范式。这一科学问题的突破,将为蓄滞洪区治理数字化转型提供理论支撑。通过构建数据驱动的新型决策范式,可显著提升流域防洪协同调度、人员精准转移与工程智能运维的效能,为蓄滞洪区智慧治理体系奠定科学基础。

3.1.5 蓄滞洪区多元主体协同治理

蓄滞洪区多元主体协同治理,是支撑体制机制保障与治理能力现代化路径的核心科学问题。该问题聚焦于传统治理方式与蓄滞洪区跨域性、多功能性之间的制度错配,旨在破解由此引发的协同困境与效能制约。解决这一问题的关键在于从制度复杂性理论出发,建立跨层级治理架构优化方法,形成兼顾效率与公平的权责配置模型;设计激励相容的多元主体协同机制,破解责任规避与集体行动困境;构建基于生态产品价值实现的多元化补偿标准体系,打破单一财政补偿的局限性;开发治理效能的多维评估框架,建立可量化、可追溯的绩效评价方法。该研究的理论突破将为蓄滞洪区治理体系现代化提供制度创新支撑,通过厘清国家—流域—地方多级主体权责关系,构建政府—市场—社会多元协同的共治格局,为协同治理架构、多元化投融资机制和共建共治共享格局奠定理论基础,最终推动形成具有韧性、适应性与包容性的现代治理体系。

3.2 关键技术体系

为支撑蓄滞洪区从“被动防御”向“主动调控与安全发展协同”的战略转型,本文构建了由 8 项关键技术组成的技术体系。该体系遵循“数据感知—模拟分析—决策应用”的递进逻辑,天空地一体化感知技术与数字孪生平台集成技术构成底层数据与模型基础,提供全域实时感知与统一计算环境;流域智能协同调度技术、洪水风险动态分区与精细调度

技术及动态复核与适灾规划技术构成核心模拟分析层,共同解决流域协同、风险评估与规划标准等关键问题;智能避险转移技术与水土资源协同配置技术面向调度与发展决策,分别提供应急避险与长效发展的技术支撑;生态工程韧性构建技术则贯穿于工程设计与空间管控全过程,推动防洪安全、生态保护与区域发展的深度融合。各项技术相互衔接,共同支撑蓄滞洪区系统性治理目标的实现。

3.2.1 天空地一体化透彻感知技术

该技术旨在构建卫星遥感、无人机航测与地面传感网络协同的立体监测体系,实现对堤防形变、水位、流速等关键参数的实时感知,为蓄滞洪区水文模拟、工程安全监测与风险动态评估提供全域覆盖、连续观测、高精度的数据基底。在卫星遥感方面,我国已建成以高分系列卫星为核心的对地观测体系,具备多光谱、高时空分辨率的遥感监测能力。可融合国内外多源卫星资源(如 Sentinel 系列、Landsat 系列等),构建多尺度、多时相的遥感监测网络,提升洪水过程的动态捕捉能力。在应对海河“23·7”流域性特大洪水期间,通过集成高分卫星和无人机航拍数据,实现了对蓄滞洪区淹没范围、水位变化的动态感知,为分洪决策、人员转移和灾情评估提供了关键数据支撑。

3.2.2 流域智能协同调度技术

本技术旨在通过构建水库-河道-蓄滞洪区一体化耦合模型,模拟不同洪水情景下的水文水力过程,对分洪时机与分洪量进行自适应计算,从而生成流域尺度下的最优调度方案,推动防洪调度从经验判断向模型驱动的范式转变。该技术已在长江中下游防洪联合调度系统中得到应用,通过耦合三峡水库、干支流水库群、重点蓄滞洪区与河道的水动力模型,初步实现了对流域洪水过程的动态模拟与多方案预演。

3.2.3 洪水风险动态分区与精细调度技术

该方法旨在融合实时降雨预报、LiDAR 高精度地形与社会经济数据,构建洪水风险动态评估模型,突破静态风险图局限,实现风险分区时空动态可视化。在精细调度方面,集成水动力学模型与多源监测数据,建立闸泵联合调度规则库,支持蓄滞洪区启用时机、分洪流量、淹没范围的精准调控。

3.2.4 动态复核与适灾规划技术

面对气候变化背景下极端降水频发的挑战,亟须建立考虑气候变化和人类活动影响的动态复核方法体系,突破传统静态设计的局限。重点研发基于非平稳序列的设计洪水复核技术、调蓄能力动态评估方法和工程布局适应性优化模型,开展设计标准

复核、调蓄能力评估、工程布局优化等研究,确保蓄滞洪区在变化环境下持续满足流域防洪要求。

3.2.5 智能避险转移技术

该技术通过集成实时洪水演进模型、人口分布热力图与交通路网数据,构建动态疏散路径优化算法。其核心是解决大规模人群转移过程中的路径冲突与瓶颈识别问题,旨在建立高效的应急响应机制,为保障极端洪水情况下的人员避险转移提供关键技术手段。

3.2.6 生态工程韧性构建技术

此技术推动蓄滞洪区工程从传统灰色基础设施向绿色生态基础设施转型;其研究重点在于开发生态护坡、人工湿地等绿色工程的定量化设计标准,并量化这些生态设施在极端水力条件下的结构稳定性与生态服务功能,追求防洪安全与生态效益的协同提升。

3.2.7 水土资源协同配置技术

该技术通过构建“风险—禀赋—政策”三重耦合模型,旨在攻克在洪水风险制约下蓄滞洪区水土资源优化配置的难题。该技术以动态洪水风险识别为基础,统筹区域本底资源条件,形成与风险等级相适配的土地差异化利用和水资源精细化调配方案,以推动蓄滞洪区由“被动防洪”向“安全—生态—资源”协同发展的主动调控模式转型。

3.2.8 数字孪生平台集成技术

作为技术体系的核心集成平台,该技术致力于实现水文、水动力、工程调度等多源异构模型的标准接入、组件化封装与协同化调用。通过构建“监测—模拟—决策”一体化闭环系统,形成支撑蓄滞洪区智慧化管理和科学决策的综合数字环境。

4 实施挑战与政策制度保障

4.1 实施挑战

将“底线约束—空间重构—内生发展—智慧赋能—机制创新”这一系统治理框架从理论推向实践,面临着一系列严峻的现实挑战。首要的挑战在于资金投入巨大而融资渠道单一,无论是工程设施的达标建设、常态化的生态补偿,还是智慧管理平台的搭建与运维,均需长期、稳定的巨额资金投入。目前仍过度依赖中央财政,地方财政配套能力有限,社会资本与绿色金融等市场化资金引入不足,使得治理体系的可持续性面临挑战。其次,跨区域、跨部门的协同难度极高。蓄滞洪区治理本质上是流域性事务,涉及上下游、左右岸多个行政区域,以及水利、自然资源、生态环境、农业农村、应急管理等多个职能部门。各方利益诉求不一,管理目标存在分歧,而缺

乏一个权威、统一的跨域协调机构与有效的协同机制,导致治理体系呈现碎片化特征,制约了整体治理效能的提升。第三,前沿技术的落地应用与专业人才支撑存在明显短板。数字孪生、风险精准量化、智能调度等关键技术从研发到业务化应用存在断层。基层管理单位普遍缺乏掌握并能够熟练运用这些新技术的专业人才,使得智慧治理体系的建设和运营维护面临现实困难,技术优势难以转化为管理效能。最后,法律法规的支撑力度不足是根本性的制度障碍。当前《蓄滞洪区运用补偿办法》的制度设计侧重于事后补偿,缺乏对国土空间规划、产业发展引导、跨部门协同等前置环节的刚性约束,无法为蓄滞洪区的系统性、全过程治理提供有力的法律保障。

4.2 政策制度保障

为系统性地克服上述挑战,必须构建一套具体、可操作的政策与制度保障体系,建议从以下4个方面重点推进:第一,健全法律法规体系,推动《蓄滞洪区管理条例》的专门立法,其根本目标在于将蓄滞洪区的管理从当前以政策引导为主的模式,全面提升至法治强制的层面。在此基础上,依法确立基于洪水风险分区的国土空间用途管制制度,对核心调蓄区内的非防洪建设项目实施最严格的限制。同时,法律应明确规定流域横向生态补偿的法定责任、补偿主体、核算方法与支付流程,使“谁受益、谁补偿”的原则具有可操作的法律依据。此外,立法还需为政策性洪水保险的推行铺平道路,探索“强制保险”与“自愿保险”相结合的模式,构建多层次的风险分担机制。第二,创新投融资机制。此举旨在破解单一依靠财政投入的资金瓶颈,实现融资渠道的多元化和资金保障的可持续性。整合中央财政专项投入与省级配套资金和流域下游直接受益地区补偿资金,同时积极吸引社会资本和金融资金注入。在资金使用上,积极开展工程设施的达标建设与长效维护、常态化生态补偿与发展权补偿和支持适应性绿色产业的培育与发展。第三,强化组织协调,构建不同层级间的协同治理架构,其核心目标是打破现有的跨部门、跨层级的协同困境,建立统一、权威、高效的决策与执行体系。第四,完善考核激励机制,将蓄滞洪区治理效能全面纳入地方政府绩效考核体系。这一举措的核心目标是彻底扭转地方政府重经济发展、轻防洪安全的倾向,激发地方政府保护蓄滞洪区功能的内生动力。

5 结 语

蓄滞洪区作为“水库—堤防—蓄滞洪区”三位一体综合防御体系中的关键一环,扮演着流域最后

防线的战略角色,其功能的有效发挥直接关系到特大城市、重要基础设施和能源基地的安危。近年来,在快速城市化与全球气候变化的交织影响下,蓄滞洪区正面临国土空间格局持续演变与极端洪水事件频发加剧的双重挑战,其传统功能定位与治理模式已难以适应统筹发展与安全的现实需求。本研究提出以“底线约束—空间重构—内生发展—智慧赋能—机制创新”为核心的治理框架,从流域防洪安全底线约束、基于洪水风险的蓄滞洪区空间重构与分区治理、蓄滞洪区利益平衡与内生发展协同、数字孪生赋能与智慧治理和体制机制保障与治理能力现代化等方面探析了蓄滞洪区系统治理与高质量发展路径。在此基础上提出研发涵盖蓄滞洪区动态监测、智能调度、韧性构建等8项关键技术,形成了完整的蓄滞洪区系统治理技术体系。研究成果旨在实现蓄滞洪区从被动分洪应对向“主动调控、安全与发展并重”的战略转型提供了理论依据与技术支撑。

参考文献:

[1] 侯传河,沈福新.我国蓄滞洪区规划与建设的思路[J].中国水利,2010(20):40-44. (Hou Chuanhe, Shen Fuxin. Strategic approaches to the planning and construction of flood detention areas in China[J]. China Water Resources,2010(20):40-44. (in Chinese))

[2] 宋豫秦,张晓蕾.中国蓄滞洪区洪水管理与可持续发展途径[J].水科学进展,2014,25(6):888-896. (Song Yuqin,Zhang Xiaolei. Flood management and sustainable development pathways for flood storage areas in China [J]. Advances in Water Science,2014,25(6):888-896. (in Chinese))

[3] Murphy D, Weatherill J, Henriques R, et al. A holistic study on the effects of a rural flood detention basin: flood peaks, water quality and grass growth [J]. Journal of Environmental Management,2025,373,123858.

[4] 乔建华.防御海河“23·7”流域性特大洪水经验启示[J].中国水利,2023,33(18):1-4. (Qiao Jianhua. Experience and enlightenment of preventing “July 23” flood in the Haihe River Basin [J]. China Water Resources,2023,33(18):1-4. (in Chinese))

[5] 姚文广.抗御海河“23·7”流域性特大洪水的实践启示和检视思考[J].中国水利,2023,33(18):1-4. (Yao Wenguang. Practice and reflection of flood defense of “July 23” catastrophic flood in the Haihe River Basin [J]. China Water Resources, 2023, 33 (18): 1-4. (in Chinese))

[6] 张建云,舒章康,王鸿杰,等.郑州“7·20”暴雨洪涝几个水文问题的讨论[J].地理学报,2023,78(7):1618-

1626. (Zhang Jianyun, Shu Zhangkang, Wang Hongjie, et al. Discussion on hydrological issues of the “7 · 20” rainstorm and flood in Zhengzhou [J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(7): 1618-1626. (in Chinese))
- [7] 丁志雄, 李娜, 俞茜, 等. 国家蓄滞洪区土地利用变化及国内外典型案例分折[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(6): 8. (Ding Zhixiong, Li Na, Yu Qian, et al. Land use variations of national flood storage and detention areas and typical case analysis in domestic and abroad [J]. China Flood & Drought Management, 2020, 30(6): 36-43. (in Chinese))
- [8] Berghuijs W, Aalbers E, Larsen J, et al. Recent changes in extreme floods across multiple continents [J]. Environmental Research Letters, 2017, 12(11). DOI: 10.1088/1748-9326/aa8847.
- [9] 黄艳, 李昌文, 李安强, 等. 变化环境下流域超标准洪水综合应对研究[J]. 人民长江, 2021, 52(4): 12-21. (Huang Yan, Li Changwen, Li Anqiang, et al. Research on over-standard basin flood and key technologies of comprehensive response under changing environment [J]. Yangtze River, 2021, 52(4): 12-21. (in Chinese))
- [10] 张潇, 李玉荣, 牛文静. 长江水工程现状条件下防御 1954 年洪水联合调度策略[J]. 人民长江, 2020, 51(12): 141-148. (Zhang Xiao, Li Yurong, Niu Wenjing. Strategy of water projects joint operation program on upper-middle reaches of Changjiang River for controlling 1954 flood under current conditions [J]. Yangtze River, 2020, 51(12): 141-148. (in Chinese))
- [11] 赵悦, 高建文, 杨志刚, 等. 2021 年漳卫河系洪水调度实践与思考[J]. 中国水利, 2022(8): 8-117. (Zhao Yue, Gao Jianwen, Yang Zhigang, et al. Practice and considerations of flood regulation for the Zhangwei River system in 2021 [J]. China Water Resources, 2022(8): 8-117. (in Chinese))
- [12] 杜晓鹤, 何秉顺, 徐卫红, 等. 海河“23 · 7”流域性特大洪水蓄滞洪区运用复盘及系统治理绿色发展的思考[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(9): 31-38. (Du Xiaohu, He Bingshun, Xu Weihong, et al. Retrospective operation in the “23 · 7” extreme flood storage and detention area of the Haihe River Basin and reflection on systematic governance and green development [J]. China Flood & Drought Management, 2023, 33(9): 31-38. (in Chinese))
- [13] 王艳艳, 李娜, 俞茜, 等. 我国蓄滞洪区建设管理问题及措施研究[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(4): 1-7. (Wang Yanyan, Li Na, Yu Qian, et al. Research on the issues and measures of construction and management of flood storage and detention areas in China [J]. China Flood & Drought Management, 2022, 32(4): 1-7. (in Chinese))
- [14] 王乐, 要威, 蒋磊, 刘佳明, 等. 变化环境下流域蓄滞洪区布局优化研究[J]. 人民长江, 2025, 56(3): 30-38. (Wang Le, Yao Wei, Jiang Lei, et al. Research on layout optimization of flood storage and detention areas in river basins under changing environments [J]. Yangtze River, 2025, 56(3): 30-38. (in Chinese))
- [15] 赫磊, 范亭君, 冉静, 等. 美国蓄滞洪区规划与管控的经验及对我国的启示[J]. 国际城市规划, 2026, 41(2): 129-137. (He Lei, Fan Tingjun, Ran Jing, et al. Planning and control experience of flood storage and detention area in the United States and the implications for China [J]. Urban Planning International, 2026, 41(2): 129-137. (in Chinese))
- [16] 孙婧, 杨研, 关思思, 等, 任领志. 典型国家洪水保险制度实施情况与经验启示[J]. 水利发展研究, 2024, 24(8): 14-20. (Sun Jing, Yang Yan, Guan Sisi, et al. Implementation and experience of typical national flood insurance system [J]. Water Resources Development Research, 2024, 24(8): 14-20. (in Chinese))
- [17] Dottori F, Mentaschi L, Bianchi A, et al. Cost-effective adaptation strategies to rising river flood risk in Europe [J]. Nature Climate Change, 2023, 13(2): 196-202. DOI: 10.1038/s41558-022-01540-0.
- [18] Nakamura F. Green infrastructure and climate change adaptation: function, implementation and governance [M]. Singapore: Springer; 2022: 189-208.
- [19] 王艳艳, 刘树坤, 向立云. 蓄滞洪区综合利用多目标情景分析模型研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(2): 209-217. (Wang Yanyan, Liu Shukun, Xiang Liyun. Study on the multi-object and scenario analysis model for the integrative utilization of flood detention basin [J]. 2009, 24(2): 209-217. (in Chinese))
- [20] 曾明, 张晓皓, 纪国良, 等. 水库及蓄滞洪区洪水预报调度一体化技术研究[J]. 人民长江, 2024, 55(10): 48-54. (Zeng Ming, Zhang Xiaohao, Ji Guoliang, et al. Research on integrated technology of flood forecasting and dispatching in rivers, reservoirs and flood diversion and storage areas [J]. Yangtze River, 2024, 55(10): 48-54. (in Chinese))
- [21] 邹佳宇, 温天福, 顾平, 等. 超标准洪水下鄱阳湖单退圩和蓄滞洪区联合分洪运用研究[J]. 水利水电科技进展, 2025, 45(2): 54-62. (Zou Jiayu, Wen Tianfu, Gu Ping, et al. Study on joint operation of semi-restoration polder and detention and retention area for flood diversion in Poyang Lake under extreme flood conditions [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2025, 45(2): 54-62. (in Chinese))
- [22] 乔海娟, 杨伊妮, 刘勇, 等. 蓄滞洪区韧性发展水平评估与实证研究: 以大浸吸蓄滞洪区为例[J]. 人民长江, 2025, 56(4): 65-73. (Qiao Haijuan, Yang Yini, Liu Yong, et al. Evaluation and empirical study on resilience development level of flood storage and detention areas: case of Dajinfan flood storage and detention area [J].

Yangtze River,2025,56(4):65-73. (in Chinese))

[23] 李时,秦毅,刘强,等. 基于洪灾风险管理的蓄滞洪区道路规划[J]. 南水北调与水利科技(中英文),2020,18(3):81-90. (Li Shi,Qin Yi,Liu Qiang,et al. Research on road planning for flood detention areas based on flood risk management [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18 (3): 81-90. (in Chinese))

[24] 关成达,李娜,俞茜,等. 基于组合赋权法的蓄滞洪区建设与管理评估[J]. 水利水电技术(中英文),2023,54(4):97-107. (Guan Chengda, Li Na, Yu Qian, et al. Assessment of construction and management of flood storage and detention areas based on the combination weighting method [J]. Water Resources and Hydropower Engineering ,2023,54(4):97-107. (in Chinese))

[25] 杨昆. 蓄滞洪区公平发展问题探讨[J]. 中国水利,2007(17):47-49. (Yang Kun. Discussions on fairly development of flood retention areas [J]. China Water Resources,2007(17):47-49. (in Chinese))

[26] 王翔,李兴学,郭健玮,等. 妥善处理蓄滞洪区建设与经济发展的关系:蓄滞洪区经济社会发展状况及扶持政策调研报告[J]. 中国水利,2015(1):55-57. (Wang Xiang,Li Xingxue,Guo Jianwei,et al. Properly handling the relationship between flood storage area construction and economic development: research report on socio-economic development status and support policies [J]. China Water,2015(1):55-57. (in Chinese))

[27] 刘达,黄本胜,刘中峰,等. 大型蓄滞洪区移民安置与绿色发展模式研究[J]. 水利发展研究,2023,23(4):58-61. (Liu Da,Huang Bensheng,Liu Zhongfeng,et al. Study on resettlement and green development model in large-scale flood detention basin [J]. Water Resources Development Research, 2023, 23 (4): 58-61. (in Chinese))

[28] 蔡阳. 以数字孪生流域建设为核心构建具有“四预”功能智慧水利体系[J]. 中国水利,2022(20):2-6. (Cai Yang. Establishing a smart water system with “forecast, early-warning rehearsal and plan” functions by focusing on the construction of digital twin basin [J]. China Water Resources,2022(20):2-6. (in Chinese))

[29] 蔡阳. 数字孪生水利建设进展与发展思考[J]. 水利信息化,2025(1):1-7. (Cai Yang. Progress and development considerations of digital twin water conservancy construction [J]. Water Resources Informatization,2025(1):1-7. (in Chinese))

[30] 李致家,张心愿,白云鹏,等. 海河“23·7”流域性特大洪水复盘模拟[J]. 河海大学学报(自然科学版),2024,52(5):13-19. (Li Zhijia, Zhang Xinyuan, Bai Yunpeng, et al. Post-event simulation of the “July 23” catastrophic flood in the Haihe River Basin [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2024, 52 (5): 13-19. (in Chinese))

[31] 宋天旭,梅超,刘家宏,等. 基于数值模拟的淮河干流蒙洼蓄洪区运用过程与效果分析[J]. 水资源保护,2026,42(4):232-241. (Song Tianxu, Mei Chao, Liu Jiahong, et al. Analysis of operation process and effect of Mengwa flood storage area in main stream of the Huaihe River based on numerical simulation [J]. Water Resources Protection,2026,42(4):232-241. (in Chinese))

[32] 吴滨滨,马奉泉,胡珊珊,等. 海河“23·7”流域性特大洪水东淀蓄滞洪区洪水演进复盘分析[J]. 水资源保护,2025,41(5):96-105. (Wu Binbin, Ma Fengquan, Hu Shanshan, et al. Post-event analysis of flood routing in Dongdian Flood Detention Area during the “July 23” catastrophic flood in the Haihe River Basin [J]. Water Resources Protection, 2025, 41 (5): 96-105. (in Chinese))

[33] 姜楠,刘定湘,郎励贤. 对促进蓄滞洪区土地流转的思考[J]. 水利发展研究,2014,14(9):24-28. (Jiang Nan, Liu Dingxiang, Lang Maixian. Reflections on promoting land transfer in flood storage and detention areas [J]. Water Resources Development Research, 2014, 14 (9): 24-28. (in Chinese))

[34] 褚明华,穆杰,宋文龙,等. 海河“23·7”流域性特大洪水防御蓄滞洪区运用关键技术[J]. 中国水利,2023(18):19-23. (Chu Minghua, Mu Jie, Song Wenlong, et al. Key technologies in flood storage area for defense of “July 23” catastrophic floods in the Haihe River Basin [J]. China Water,2023(18):19-23. (in Chinese))

(收稿日期:2025-12-19 编辑:彭桃英)

