

制度与技术双轮驱动的水利工程韧性提升研究

柴继轩

(焦作黄河河务局温县黄河河务局, 454850, 焦作)

摘要:水利工程作为保障水安全、应对极端气候与自然灾害的关键基础设施,其韧性水平直接关系区域生态安全与经济社会稳定。当前单一技术升级或制度完善已难以满足复杂环境下水利工程韧性提升的需求,制度与技术双轮驱动成为破解这一困境的重要路径。在水利工程韧性提升过程中,制度是韧性提升的规则保障,为技术应用提供方向引导、资源支撑与规范约束;技术是韧性提升的工具支撑,为制度落地提供数据支撑、效率保障与创新动力。两者相互支撑,动态协同。基于现有研究成果界定水利工程韧性的核心内涵,梳理水利工程韧性提升中制度与技术的发展现状,当前水利工程韧性提升中技术已从被动监测向智能预警演进,但存在碎片化问题;制度已从风险防范向系统治理拓展,但存在滞后性;两者协同不足,“两张皮”现象突出。同时,深入剖析制度与技术的互动机理,构建双轮驱动的实践框架,并结合现实挑战提出构建跨部门协同治理体系、自主创新+成本优化双管齐下、强化激励-约束双向机制等协同优化对策,以期水利工程韧性建设提供理论参考与实践指引。

关键词:水利工程;韧性提升;制度驱动;技术驱动;双轮协同;水安全;协同治理

Study on enhancing the resilience of water conservancy projects driven by institutions and technology//

CHAI Jixuan

Abstract: As key infrastructure for ensuring water security and coping with extreme climate events and natural disasters, the resilience level of water conservancy projects is directly related to regional ecological security and socio-economic stability. At present, either institutional improvement or technological upgrading alone can no longer meet the demand for resilience enhancement under complex conditions, thus, institutional and technological dual drives have become an important approach to address this challenge. In the process of improving the resilience of water conservancy projects, institutions provide the regulatory foundation for resilience enhancement by guiding direction, allocating resources, and setting norms for technological application, while technology serves as the instrumental support by offering data assurance, efficiency improvement, and innovation momentum for institutional implementation. The two mutually reinforce and dynamically interact. Based on existing research, this study defines the core connotation of resilience in water conservancy projects and reviews the current development of institutional and technological approaches. Technologically, resilience improvement has evolved from passive monitoring to intelligent early warning but remains fragmented; institutionally, the focus has expanded from risk prevention to systematic governance but still lags behind technological progress. Insufficient coordination between the two leads to a noticeable “disconnection”. Therefore, this paper further analyzes the interaction mechanism between institutions and technology, constructs a dual-driven practical framework, and proposes collaborative optimization strategies such as establishing a cross-departmental governance system, promoting both independent innovation and cost

收稿日期:2025-08-28

作者简介:柴继轩,工程师,主要从事水利工程及防洪抢险相关工作。

optimization, and strengthening dual mechanisms of incentives and constraints. These efforts aim to provide theoretical reference and practical guidance for enhancing the resilience of water conservancy projects.

Keywords: water conservancy project; resilience enhancement; institutional drive; technological drive; dual collaboration; water security; collaborative governance

中图分类号: TV698 文献标识码: B 文章编号: 1000-1123(2025)20-0066-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2025.20.010

一、引言

近年来受全球气候变化与城市化进程加速影响,极端洪涝、干旱等灾害频发,水利工程面临的风险环境日益复杂。据水利部公布的《2023中国水旱灾害防御公报》,2020—2023年我国每年因洪涝灾情造成的直接经济损失超200亿元。水利工程的抗风险—恢复—适应能力,即“韧性”,成为应对灾害的核心支撑。从韩雪琦《基于水生态安全格局的淮北市水生态韧性提升策略研究》的韧性提升实践,到曾钟慧《韧性视角下的城市水利基础设施的景观化研究》的韧性设计,可以看出水利工程韧性不仅依赖技术层面硬件升级,更需要制度层面软件保障。

传统水利工程韧性建设中存在重技术轻制度或制度与技术脱节现象。部分工程虽配备了先进的监测设备(如物联网传感器),却因缺乏统一的风险应对制度导致数据闲置;部分地区虽出台了韧性建设政策,却因技术支撑不足(如监测数据精度不够)而难以落地。钟桂良和许明星等的研究均证实单一要素的发力难以形成持续动能,唯有制度与技术形成协同合力才能实现系统韧性的高效提升。

现有关于水利工程韧性的研究主要集中于3个方向:一是韧性的内涵与评价,如韩雪的研究中提到基于水生态安全格局构建了韧性评价指标体系,曾钟慧从景观化视角探讨了水利基础设施的韧性提升路径;二是技术层面的韧性提升,如林晓云分析了安全监测技术在水利工程风险管理中的应用,强调技术对风险识别与应对的支撑作用;三是制度层面的风险防范,如余晋、黄汉山聚焦大中型水利枢纽的社会稳定风险提出了风险识别与防范的制度框架。

同时双轮驱动理论在多领域已形成成熟应用经验。在企业管理中,张小华提出双轮驱动下企业价值链成本管理创新,强调制度(管理机制)与技术(数字化工具)的协同;在智能建造领域,钟桂良以机制与技术双轮驱动构建闭环实践体系,证实两者的互动价值。但现有研究尚未将双轮驱动理论系统应用于水利工程

韧性提升,对制度与技术的互动机理、协同路径等关键问题仍缺乏深入探讨。

本文通过整合水利工程韧性、制度经济学与技术创新理论,构建制度—技术双轮驱动分析框架,可弥补当前水利工程韧性研究中“重单一要素、轻协同机制”的不足,丰富水利工程管理理论体系。同时本文提出的双轮驱动路径与对策,能为水利工程建设者、管理者提供可操作的实践方案,推动水利工程从“被动抗险”向“主动韧性”转型,为保障国家水安全提供支撑。

二、核心概念与理论基础

1. 水利工程韧性的内涵界定

基于现有研究对“韧性”的界定,结合水利工程的特性,本文将“水利工程韧性”定义为:水利工程系统在面临洪涝、干旱、地质灾害等外部扰动时,能够维持核心功能,快速恢复运行状态,通过结构优化与功能调整适应长期环境变化,并在扰动中实现系统升级的综合能力。其核心维度包括:①抵抗能力,工程本身的结构稳定性与对灾害的初始抵御能力,如堤坝的抗洪强度、渠道的输水稳定性等;②恢复能力,灾害发生后快速修复受损设施、恢复核心功能的能力,如溃坝后的应急堵复、供水系统的快速重启等;③适应能力,根据环境变化(如气候变暖导致的降雨模式改变)调整工程运行策略的能力,如水库调度规则的动态优化;④转型能力,在重大扰动后通过技术升级或结构重构实现系统功能跃升的能力,如传统堤坝向生态—防洪复合工程的转型。

2. 双轮驱动的理论逻辑

双轮驱动核心逻辑是两要素相互支撑、动态协同,形成超越单一要素的复合驱动力。在水利工程韧性提升过程中,制度与技术构成“双轮”,制度是韧性提升的规则保障,包括政策法规、标准体系、管理机制、协同机制等,为技术应用提供方向引导、资源支撑与规范约束;技术是韧性提升的工具支撑,包括监测感知技术、智能决策技术、工程修复技术等,为制度落地提供

数据支撑、效率保障与创新动力。

两者的互动关系体现为双向赋能：一方面，制度通过政策激励（如技术研发补贴）、标准规范（如韧性评价技术标准）、平台搭建（如跨区域技术协作机制）为技术创新与应用“松绑赋能”；另一方面，技术通过数据反馈（如监测数据暴露制度漏洞）、效率提升（如智能技术简化流程）、场景拓展（如新技术催生新管理需求）推动制度优化与完善。

三、水利工程韧性提升中制度与技术的现状分析

1. 制度建设现状：从风险防范向系统治理拓展

制度层面，我国已逐步构建以“风险管理”为核心的水利工程韧性保障体系，其进展体现在三个方面。

①政策框架初步成型。围绕《国家水网建设规划纲要》等顶层文件，各地出台了水利工程韧性建设的专项政策，如部分省份将“韧性评价”纳入水利工程建设强制性标准。

②管理机制逐步细化。建立了政府主导、企业实施、公众参与的管理框架，如水利部发布的《水利信息资源共享管理办法（试行）》，整合了工程信息与风险数据；部分流域成立跨区域协同管理机构，尝试解决跨行政区域水利工程韧性协同问题。

③标准体系局部完善。制定了《水利水电工程危险源辨识与风险评价导则》《堤防工程设计规范》等标准，对工程韧性的关键指标（如防洪标准、应急响应时间）作出明确规定；但韧性评价标准仍不统一，部分标准聚焦结构韧性（如坝体强度），对功能韧性（如供水保障能力）关注不足。

然而制度建设仍然存在滞后性与执行难的问题。

①制度更新滞后于技术发展，如数字孪生技术应用已普及，但数据安全、跨部门数据共享的制度规范尚未完善；②跨主体协同不足，地方政府、工程管理单位、科研机构的权责划分模糊，导致制度执行碎片化；③激励机制缺失，对技术研发、制度创新的投入不足，企业与科研机构的参与积极性较低。

2. 技术应用现状：从被动监测向智能预警演进

当前，技术在水利工程韧性提升中的应用已覆盖风险识别—应急响应—修复优化全链条，其发展呈现三大特征。

①监测感知技术逐步智能化。林晓云在水利工程风险管理与安全监测技术分析中指出，水利工程已广泛应

用物联网传感器、无人机巡检等技术，实现对水位、坝体位移、渗流等指标的实时监测；部分大型水利枢纽（如三峡工程）已引入数字孪生技术，构建物理工程—数字镜像同步系统，可模拟不同灾害场景下的工程响应状态。

②风险预警技术局部突破。基于大数据与机器学习的预警模型已在部分流域应用，如长江流域利用水文数据与气象预测数据，构建了洪水预警模型，预警时效较传统方法提升30%以上；但技术应用存在区域失衡，中小型水利工程仍以人工监测为主，预警精度与时效性不足。

③修复技术快速高效。应急修复技术（如速凝混凝土、模块化挡水结构）在灾后修复中应用广泛，可缩短修复周期50%以上；但长期韧性修复技术（如生态友好型坝体加固技术）研发不足，部分技术依赖进口，自主创新能力较弱。总体而言，水利工程韧性提升技术应用仍存在碎片化问题：技术多分散于单一工程或单一环节，缺乏跨工程、跨区域技术整合；技术标准不统一（如不同监测设备的数据格式不兼容），导致“数据孤岛”，难以支撑全域韧性管理。

3. 制度与技术协同现状：“两张皮”现象突出

当前水利工程韧性提升中制度与技术协同仍处于初级阶段，存在明显的脱节问题。

①技术应用缺乏制度支撑。部分先进技术（如大数据风险预警模型）因缺乏配套制度（如数据共享机制、预警响应流程）难以落地。例如，某流域虽建成了智能监测系统，但因跨区域部门数据不共享，监测数据无法支撑全域预警，技术沦为“摆设”。

②制度落地缺乏技术支撑。部分制度（如常态化风险排查制度）因缺乏技术工具支撑难以执行。例如，中小型水库因缺乏自动化监测设备，风险排查依赖人工，效率低且漏检率高，导致制度“空转”。

③协同机制缺失。尚未建立制度与技术的协同决策机制，技术研发与制度制定多由不同部门主导（如技术由科技部门负责，制度由水利部门负责），缺乏跨部门沟通，导致技术标准与制度要求不衔接（如技术指标与制度规定的韧性阈值不匹配）。

四、水利工程韧性提升的双轮驱动机制

1. 制度对技术的支撑：为技术创新与应用“搭台赋能”

制度通过引导—规范—保障三重路径支撑技术在韧性提升中的应用，形成技术可行、制度可控的良性循环。

(1) 政策引导:明确技术研发方向

制度通过顶层设计引导技术资源向韧性提升关键领域集聚。一方面,通过专项政策明确技术研发重点,如将数字孪生水利、智能风险预警等纳入国家重点研发计划,给予资金补贴(如研发投入的30%税收返还),激励企业与高校参与技术创新,制度为技术研发提供“方向锚点”;另一方面,通过需求侧政策拉动技术应用,如规定新建大型水利工程必须配备智能监测系统,水库韧性改造需采用数字化修复技术等,形成技术应用的强制性需求,倒逼技术落地。

(2) 标准规范:统一技术应用规则

制度通过制定标准体系规范技术应用,避免技术碎片化。①制定技术准入标准,明确韧性提升技术的核心指标(如监测设备的精度要求、预警模型的误差阈值),淘汰落后技术;②制定数据标准,统一监测数据的格式、传输协议、存储规范,打破“数据孤岛”,如通过《水利信息资源共享管理办法(试行)》要求跨区域、跨部门数据接口统一;③制定应用流程标准,规范技术在风险识别、应急响应等环节的应用步骤,如明确数据采集—分析—预警—响应全流程操作规范,确保技术应用有序高效。

(3) 机制保障:整合技术应用资源

制度通过构建协同机制整合技术资源,提升技术应用效能。①建立跨区域技术协作平台,如依托国家水网建设,搭建全国水利技术共享平台,整合各地监测数据、技术工具与专家资源,实现技术资源全域流动;②完善人才培养机制,推动高校与水利企业共建韧性技术人才培养基地,定向培养监测技术、智能决策等领域专业人才,解决技术应用人才瓶颈;③健全知识产权保护制度,通过专利快速授权、侵权严惩等措施保护技术创新成果,激发研发主体积极性。

2. 技术对制度的推动:为制度优化与落地提质增效

技术通过数据反馈—效率提升—场景拓展三重路径推动制度完善,形成制度适配—技术支撑的动态调整。

(1) 数据反馈:暴露制度漏洞并推动修订

技术产生的精准数据为制度优化提供实证依据。例如,智能监测技术可实时采集水利工程的运行数据(如坝体位移、渗流速度),通过大数据分析识别现有风险应对制度的响应阈值过高、跨部门协同流程滞后等问题,如某水库监测数据显示,现有制度规定的水位预警阈值低于实际安全阈值,导致预警频繁误报,基于此可

推动水库风险预警规范修订,调整阈值标准。

(2) 效率提升:倒逼制度流程优化

技术的高效性可压缩制度执行成本,倒逼管理流程简化。例如,传统水利工程风险排查需多部门人工现场核查,流程繁琐且耗时(平均15 d/次);引入无人机巡检与AI图像识别技术后,排查效率提升至1 d/次,原有的多部门层层审批流程已不适应技术效率要求,进而推动制度优化,如简化审批环节,建立技术自动排查—异常情况人工复核的新流程。此外,区块链技术的应用可实现工程建设、运维数据的全程可追溯,倒逼工程质量终身追责制度细化,明确各环节责任主体与追责标准。

(3) 场景拓展:催生新制度需求

技术创新带来的新场景需配套制度规范,推动制度体系拓展。例如:数字孪生技术的应用实现了水利工程的虚拟仿真,可模拟不同灾害场景下的工程响应,但也带来了数字资产归属、仿真数据安全等新问题,需推动水利数字孪生系统管理办法出台,明确数据产权、安全责任等;生态修复技术的发展(如生态袋护坡技术)要求制度从单一防洪向生态—防洪复合目标转型,推动水利工程生态韧性评价标准制定,将生态指标(如生物多样性维持能力)纳入韧性评价体系。

3. 双轮协同的闭环逻辑

制度与技术的双轮驱动并非单向作用,而是形成协同—反馈—优化的闭环。制度支撑技术应用产生实践效果,技术应用过程中通过数据反馈暴露制度短板,推动制度优化;优化后的制度进一步引导技术创新方向,催生更适配的技术工具,如此循环,实现两者的动态适配。如:初始协同方面,在制度层面出台水利智能监测技术推广政策(提供补贴),技术层面研发物联网监测设备;实践反馈方面,设备应用中发现跨区域数据不互通(技术应用问题),根源是数据共享制度缺失(制度短板);制度优化方面,修订政策,新增跨区域数据共享条款,要求统一数据标准;技术适配方面,基于新制度,技术层面研发数据融合平台,实现数据互通;效能跃升方面,在制度与技术协同作用下,监测数据覆盖全域,预警精度提升50%,韧性水平显著提升。

五、双轮驱动的实践路径与案例借鉴

1. 实践路径:构建“三位一体”协同体系

基于双轮驱动机制,水利工程韧性提升需构建目标—主体—平台“三位一体”的协同体系,推动制度与技术深度融合。

(1) 锚定韧性目标:统一双轮方向

以提升“抵抗—恢复—适应—转型”能力为核心目标,将制度与技术的发力点聚焦于四大领域。①抵抗能力:制度上制定水利工程结构韧性设计规范,明确坝体、堤防等的韧性指标;技术上研发高强度、抗灾材料(如纤维混凝土),应用结构健康监测技术。②恢复能力:建立灾后快速响应机制,明确各主体权责与响应时限;开发模块化修复设备、应急堵复技术,构建应急物资智能调配系统。③适应能力:制定水利工程动态调度规则,允许根据气候数据调整运行策略;应用气候预测模型、水文大数据分析技术,支撑调度决策。④转型能力:设立韧性转型专项资金,支持传统工程升级;研发生态—防洪复合工程技术(如透水坝体技术),推动工程功能拓展。

(2) 整合多元主体:形成协同合力

推动政府、企业、科研机构、公众等多主体参与,明确各主体在双轮驱动中的角色。政府负责制度顶层设计(如政策制定、标准修订)、资源统筹(如资金分配、跨区域协调),搭建制度与技术的协同平台;企业主导技术研发与应用(如监测设备生产、智能系统开发),反馈技术应用中的制度需求(如数据共享诉求);科研机构提供技术支撑(如模型研发、技术验证)与制度咨询(如政策效果评估),推动技术突破—制度创新的理论研究;公众参与制度监督(如反馈政策执行问题)、技术应用体验(如应急预案系统的公众测试),提升制度与技术的社会适配性。通过政府引导+市场运作+科研支撑+公众参与的模式,避免单一主体主导导致的“技术偏向”或“制度偏向”。

(3) 搭建支撑平台:夯实协同基础

构建三大平台保障双轮协同落地。①技术共享平台:整合全国水利工程的监测数据、技术工具、专家资源,实现技术资源全域调度,如依托国家水利数据中心建立技术资源库,企业与科研机构可免费获取基础数据与技术模板;②制度对接平台:定期召开制度—技术协同研讨会,组织政府部门、企业、科研机构沟通技术进展与制度需求,如每季度召开会议,修订技术标准与制度条款的衔接清单;③评价反馈平台:建立双轮驱动效能评价体系,设置技术应用率、制度执行率、协同适配度等指标,通过智能系统实时监测效能,及时发现协同短板并调整策略。

2. 案例借鉴:跨领域双轮驱动的经验迁移

现有文献中虽无水利工程双轮驱动直接案例,但

其他领域的经验可供借鉴。

(1) 区域经济领域:数字技术与供应链的双轮协同

许明星等在《数字技术和供应链双轮驱动区域经济协调发展研究——以福建省为例》中研究了数字技术和供应链双轮驱动区域经济协调发展,其核心经验是技术赋能供应链效率提升,供应链需求倒逼技术创新,制度搭建协同平台。迁移至水利工程,可将“数字技术”对应“水利韧性技术”,“供应链”对应“水利工程管理体系”,通过制度搭建技术—管理协同平台(如跨区域技术协作机制),技术提升管理效率(如智能监测优化风险管理),管理需求(如跨区域风险协同)倒逼技术创新(如数据融合技术)。

(2) 智能建造领域:机制与技术的闭环实践

钟桂良强调以需求为起点,机制(制度)与技术相互反馈、动态调整。迁移至水利工程,需以“韧性提升需求”为起点,如针对“极端洪水应对需求”,从制度上制定洪水应急响应机制,技术上研发洪水模拟模型;通过实践检验两者适配性(如模型预测精度是否满足机制要求),再动态优化机制与技术,形成闭环。

六、双轮驱动面临的挑战与对策

1. 主要挑战

(1) 协同壁垒:制度与技术存在部门分割

当前水利工程技术管理多由科技部门、企业主导,制度管理多由水利部门、相关政府单位主导,缺乏常态化沟通机制,导致技术研发不知制度要求,制度制定不懂技术进展。例如:科技部门研发的监测技术指标与水利部门制定的韧性标准不匹配,技术无法通过验收;水利部门出台的跨区域协同制度因未征求企业意见,缺乏技术落地的可行性(如要求企业共享数据但未提供安全技术支撑)。

(2) 技术约束:创新能力与应用成本存在双重瓶颈

技术层面存在两大约束:①核心技术自主创新不足,如数字孪生水利的核心算法、高精度传感器等依赖进口,技术应用受限于国外供应商;②技术应用成本高,智能监测系统、数字孪生平台等初期投入大(单座中型水库改造需超千万元费用),地方政府与企业难以承担,导致技术推广“重大型工程、轻中小型工程”,区域韧性水平失衡。

(3) 制度短板:激励与约束存在双向缺失

制度层面存在激励不足、约束不力问题:激励上,对技术研发的补贴覆盖范围窄(仅覆盖重点工程),对

制度创新的奖励机制缺失(如地方政府推动政策优化无额外激励),主体参与积极性低;约束上,对技术标准执行的监督不足(如部分工程未按规定配备监测设备却无处罚措施),对制度落地的考核宽松(如跨部门协同成效未纳入政绩考核),导致制度与技术落地难。

2. 优化对策

(1) 打破协同壁垒:构建跨部门的协同治理体系

①建立常驻协调机构:由水利部牵头,联合科技、发展改革、财政等部门成立水利工程韧性双轮驱动领导小组,定期召开协调会议,同步技术进展与制度需求,解决跨部门问题(如技术标准与制度衔接);②推行技术-制度联络员制度:在各部门设立联络员,负责传递技术信息与制度动态,如水利部门联络员向科技部门反馈韧性标准的技术需求,科技部门联络员向水利部门说明技术研发的时间节点;③开展跨领域培训:组织政府部门人员参加技术培训(如数字孪生技术原理)、企业人员参加制度培训(如政策解读),提升双方的技术-制度认知能力,减少沟通障碍。

(2) 突破技术约束:自主创新+成本优化双管齐下

①加大核心技术研发投入:设立水利韧性技术专项基金,重点支持数字孪生算法、智能传感器等核心技术研发,鼓励高校与企业共建实验室(如水利智能监测联合实验室),推动技术国产化;②推广梯度技术应用模式:根据工程规模与重要性分类推广技术,大型工程应用高端技术(如数字孪生系统),中小型工程应用低成本适配技术(如简易物联网监测设备),降低整体应用成本;③探索技术共享模式:由政府牵头组建水利技术共享联盟,企业可将闲置技术设备(如无人机巡检设备)共享给中小工程使用,政府给予设备所有者补贴,提高技术资源利用率。

(3) 完善制度体系:强化激励-约束双向机制

①优化激励政策:扩大技术研发补贴范围,对中小工程技术改造给予50%的资金补贴;设立双轮驱动创新奖,对推动制度创新或技术突破的主体(如地方政府、企业)给予表彰与资金奖励;②强化约束考核:将技术应用率、制度执行率纳入地方政府政绩考核体系,对未达标的地区进行约谈;建立技术标准“飞行检查”制度,随机抽查工程技术应用情况,对违规者处以罚款并公开通报;③推动制度数字化落地:利用区块链技术建立制度执行追溯系统,记录政策执行的全流程(如补贴发放、标准执行),实现制度落地可追溯、问题可追责,提升制度执行刚性。

七、结论与展望

水利工程韧性提升需突破单一技术或制度驱动局限,依赖制度与技术双轮协同。制度与技术构成韧性提升“双核心”,制度通过政策引导、标准规范、机制保障支撑技术应用,技术通过数据反馈、效率提升、场景拓展推动制度优化,两者形成“协同—反馈—优化”闭环驱动机制。

当前水利工程韧性提升中技术已从被动监测向智能预警演进,但存在碎片化问题;制度已从风险防范向系统治理拓展,但存在滞后性;两者协同不足,“两张皮”现象突出;推动双轮驱动需构建目标-主体-平台“三位一体”协同体系,通过打破协同壁垒、突破技术约束、完善制度体系实现制度与技术的深度融合。

未来随着数字化、智能化技术发展,水利工程韧性提升的双轮驱动将呈现三大趋势。①数字化协同深化:数字孪生、大数据等技术将推动制度与技术的实时协同,如通过数字孪生平台模拟不同制度与技术组合的韧性效果,实现动态适配;②多主体参与扩大:公众将通过数字参与平台更深入参与双轮驱动(如投票选择技术应用方案、反馈制度体验),推动韧性建设更贴合社会需求;③跨领域融合加速:水利工程韧性提升双轮驱动将与“智慧城市”“海绵城市”等建设融合,如水利工程韧性技术与城市排水系统技术共享,制度体系纳入城市协同治理框架,实现全域韧性提升。此外需进一步研究双轮驱动效能的量化评价方法、不同类型水利工程(如水库、堤防)的双轮驱动差异化路径等,为实践提供更精准的理论支撑。

参考文献:

- [1] 韩雪琦. 基于水生态安全格局的淮北市水生态韧性提升策略研究[D]. 北京:中国矿业大学, 2023.
- [2] 曾钟慧. 韧性视角下的城市水利基础设施景观化研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2022.
- [3] 钟桂良. 需求驱动的智能建造创新:机制与技术双轮驱动的闭环实践[J]. 施工企业管理, 2025(7):42-43.
- [4] 许明星, 简庆, 苏回水. 数字技术和供应链双轮驱动区域经济协调发展研究——以福建省为例[J]. 福建江夏学院学报, 2025, 15(2):42-54.
- [5] 林晓云. 水利工程风险管理与安全监测技术分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(24):208-210.
- [6] 余晋, 黄汉山. 大中型水利枢纽工程社会稳定风险识

- 别与防范[J]. 广西水利水电, 2025(4):149-152.
- [7] 曹冬英, 王少泉. 数字政府建设中技术创新与制度创新的双轮驱动[J]. 东南学术, 2024(4):154-161.
- [8] 张静, 韩悦, 万静. 技术创新与人才培养: 高校赋能人工智能技术发展与应用的双轮驱动[J]. 北京化工大学学报(社会科学版), 2025(2):109-116.
- [9] 杨哲. 水利工程施工过程中的信息化风险预警机制研究[J]. 信息系统工程, 2025(8):85-87.
- [10] 廖建强, 但凯, 罗文品, 等. 水利工程施工安全生产末端管控实践与提升[J]. 四川水利, 2025, 46(4):146-148+190.
- [11] 杨林. 水利工程标准化管理实践与建议[J]. 治淮, 2025(8):38-39+58.
- [12] 李金花. 水利水电工程施工阶段中存在的问题及策略研究[J]. 科技与创新, 2025(15):226-228+232.
- [13] 王瑛, 李永芳. 数字孪生水利工程关键技术及应用探讨[J]. 中国高新科技, 2025(15):100-101+104.
- [14] 耿振云. 数字孪生水利发展历程、关键技术与设计要点[J]. 水利水电工程设计, 2025, 44(3):1-9.
- [15] 张树华, 张夏添. 从工具到共生: 生成式人工智能技术驱动下知识生产与“新文科”建构[J]. 郑州大学学报(哲学社会科学版), 2025, 58(4):21-28+169.
- [16] 景来红, 李宏恩. 超标准洪水下中小型水库大坝安全保障与韧性提升对策研究[J]. 中国水利, 2025(15):46-51.
- [17] 王银堂, 胡庆芳, 苏鑫, 等. 变化环境下流域防洪韧性提升对策[J]. 中国水利, 2022(22):21-24.
- [18] 程晓陶, 刘昌军, 李昌志, 等. 变化环境下洪涝风险演变特征与城市韧性提升策略[J]. 水利学报, 2022, 53(7):757-768+778.
- [19] 盛金保, 李宏恩, 王芳. 智能大坝建设与韧性提升发展路径研究[J]. 中国水利, 2024(24):68-77.
- [20] 李珊, 张彦军, 杨婷茹. 数字新基建提升区域韧性理论机制与实证检验[J]. 统计与决策, 2025, 41(14):111-116.
- [21] 王敏娜. 虚拟现实技术驱动的智能游戏人机交互系统创新设计[J]. 软件, 2025, 46(7):43-45.
- [22] 张德海, 张信冬, 赵小波. 基于混合评价法的乡村产业韧性测度与提升研究[J]. 西部经济管理论坛, 2025, 36(4):1-11+24.
- [23] 高巍, 宋海涛. 产业智能化对流通产业链韧性的提升效应——理论机制与经验证据[J]. 商业经济研究, 2025(14):30-33.

责任编辑 刘磊宁

(上接第57页)河湖建设要坚持全域统筹,做到“有总有分”;坚持顶层设计,做到“有远有近”;坚持精品打造,做到“有大有小”;坚持文化传承,做到“有古有今”;坚持机制先行,做到“有硬有软”;坚持两手发力,做到“央地共力”,旨在确保全面推进幸福河湖建设成效可观可触可感,高质量实现人与河湖和谐共生。

参考文献:

- [1] 徐伟, 朱锐, 邓雄. 幸福河湖建设现状分析与思考[J]. 中国水利, 2023(22):38-41.
- [2] 马兆龙, 徐伟. 建设“幸福河”的哲学思考[J]. 水利发展研究, 2021, 21(5):42-45.
- [3] 靳卫齐, 杨萌, 王利军. 美丽河湖与幸福河湖关系探究[J]. 环境与发展, 2025, 37(1):92-95+108.
- [4] 张利茹, 吴严君, 董万钧, 等. 幸福河湖内涵梳理及建设成效评估指标体系解析[J]. 水利信息化, 2023(6):56-61.
- [5] 云兆得, 杨元月, 胡庆芳, 等. 高质量推进幸福河湖建设的认识与建议[J]. 中国水利, 2024(8):55-62.
- [6] 李国英. 河流伦理[J]. 人民黄河, 2009, 31(11):3-5+132.
- [7] 李国英. 建构河流伦理的中国实践[J]. 中国水利, 2024(21):3.
- [8] 彭静, 彭文启, 李海红, 等. 河流伦理的学理探究与认识思考[J]. 中国水利, 2024(24):10-15.
- [9] 陈健, 孙锋, 雍会, 等. 幸福河湖建设现状与推进对策探讨[J]. 水利发展研究, 2025, 25(7):36-40.
- [10] 李蕾, 郑健. 幸福河湖建设伦理挑战与决策思考[J]. 黑龙江水利科技, 2024, 52(9):123-127.
- [11] 陈茂山. 贯彻落实国家“江河战略”的思考[J]. 中国水利, 2024(5):1-5.
- [12] 胡玮. 幸福河湖建设中的河长制湖长制作用[J]. 中国水利, 2020(8):9-11.
- [13] 王玉, 张博. 多元主体河湖保护治理投入机制研究[J]. 人民黄河, 2025, 47(S1):162-163.

责任编辑 李卢祎