

# 气候变化背景下水利工程防洪能力适应性研究

史东祥 张建国

开封黄河河务局兰考黄河河务局 河南 开封 475300

**摘要:** 气候变化致使极端水文事件频繁出现,给水利工程防洪体系的安全运行带来了显著的威胁,水利工程作为防洪减灾的关键基础设施,其防洪能力的适应性调整乃是应对气候变化影响的核心举措,本文依据气候变化对水文情势的影响机理,清晰界定水利工程防洪能力适应性的核心要义,构建适应性评价体系剖析现有工程适应性的不足之处,探寻技术提升的途径与保障策略为优化防洪工程规划设计,提升区域防洪减灾能力给予理论与实践的参照。

**关键词:** 气候变化;水利工程;防洪能力;适应性;评价体系

## 引言

在全球气候变化这一背景之下,诸如极端降水暴雨洪涝等灾害事件其发生的频率与强度均在持续不断地攀升,进而给区域防洪安全造成了极为严峻的挑战,水利工程于调控径流削减洪峰,保障区域安全等方面发挥着无可替代的作用,然而传统水利工程设计多基于历史水文数据,难以适应气候变化引发的水文情势变异。当下水利工程防洪能力适应性匮乏的问题日渐突显,限制了防洪减灾效能的充分施展,开展气候变化背景下水利工程防洪能力适应性之研究,于完善防洪工程体系提升应对气候变化之能力保障社会经济可持续发展而言,具有重要之现实意义与理论价值。

## 1 气候变化对水利工程防洪环境的影响

### 1.1 气候变化时空演变特征

全球气候变化呈现出显著的时空异质性特征,从时间维度来瞧全球平均气温在近百年来持续上升,升温速率展现出加快趋势,极端气候事件的发生周期不断地缩短,从空间维度进行审视,不同区域的气候变化呈现出差异的表现,其中高纬度地区的升温幅度相对而言较大,而低纬度地区更多地体现为降水格局的改变。全球水文循环过程直接受气候变化时空演变影响,进而引发降水分布不均径流时空分配变异等问题,这种演变特征不但改变了防洪工程的运行环境,还对防洪能力的适应性提出了更高要求,深入分析水利工程防洪能力适应性研究的基础前提,是开展气候变化的时空演变规律。

### 1.2 水文情势变异规律

气候变化通过影响降水蒸发等水文要素,驱动水文情势发生显著变异,在降水方面极端降水事件频次增多降水强度加大,降水时空分布不均现象更为突出致使短历时暴雨引发的洪涝灾害风险升高,在径流方面,径流量的年际波动幅度变大,汛期径流峰值提高,非汛期径

流降低,径流过程的稳定性减弱<sup>[1]</sup>。此外冰川融化积雪消融等过程会受到气候变化的影响,进而进一步改变水文情势,水利工程的防洪设计标准直接受到水文情势变异的冲击,导致传统工程的防洪调度模式难以适应新形势迫切需要明确其变异规律来支撑适应性提升工作。

### 1.3 防洪工程运行边界重塑

气候变化通过显著改变水文情势,对防洪工程的运行边界产生显著重塑效应,传统防洪工程的运行边界乃是基于历史水文数据予以确定,涵盖了设计洪峰流量设计洪水位等关键参数,随着气候变化致使水文情势发生变异,原有运行边界的合理性逐渐降低工程面临的洪水风险阈值产生了改变,例如极端降水致使设计洪峰流量欠缺,从而使工程于极端洪水事件里易发生漫顶溃坝之类的风险。同时工程运行边界还会受到气候变化的进一步重塑,例如泥沙淤积速率的变化和工程材料老化的加速等这些都会影响工程的运行条件,明确运行边界的重塑特征,乃是优化工程运行模式提升防洪适应性的关键依据<sup>[2]</sup>。

## 2 水利工程防洪能力适应性的核心内涵与评价体系

### 2.1 适应性核心内涵

水利工程防洪能力适应性是指在气候变化引发的水文情势变异条件下,工程系统通过自身调整与优化维持或提升防洪功能保障防洪安全的能力,其核心内涵包括三个层面:一是抵御极端洪水事件冲击的缓冲能力,即减少灾害损失的工程能力,二是调整能力即工程依据水文情势的变化,灵活地调整运行模式并优化调度策略的能力。三是进化能力即工程凭借升级改造技术更新之类的途径,达成长期防洪功能提升的能力,明确适应性的核心内涵有助于厘清研究边界,为后续评价体系构建与提升路径探索奠定理论基础。

### 2.2 适应性评价指标体系

水利工程防洪能力适应性评价指标体系的构建需遵循科学性系统性可操作性原则,指标体系需包含工程设施调度运行管理保障,等诸多维度,工程设施维度可选取工程完好率和设计标准适配度等指标,调度运行维度能够选取调度灵活性和洪峰削减效率等指标,管理保障维度能够选取政策适配性、应急响应能力之类的指标。各指标需明确分级标准与量化方法,以实现防洪能力适应性的综合评价,通过层次分析法、熵权法等方式确定指标权重,合理的评价指标体系是精准识别适应性短板的关键工具。

### 2.3 适应性评价方法

水利工程防洪能力适应性评价方法需结合工程实际与研究需求选取,常用的评价方法涵盖了定性评价法以及定量评价法,定性评价法主要借由专家咨询文献分析等手段,针对工程适应性展开初步的判别适用于数据匮乏或者工程类型特殊的情景,定量评价法则通过构建数学模型将实测数据与模拟数据相结合,对指标展开量化分析涵盖模糊综合评价法灰色关联分析法物元可拓法等。不同的评价方法,其各自具备优势与劣势,在实际的应用过程当中可以运用多种方法进行组合的方式,来提升评价结果的准确性以及可靠性从而为适应性的提升给予科学的依据<sup>[3]</sup>。

## 3 现有水利工程防洪能力的适应性短板解析

### 3.1 设计标准适应性局限

传统水利工程设计标准主要是基于历史水文观测数据来制定的,然而它却没有充分地考虑到气候变化所引发的水文情势长期变异趋势,因而存在着极为显著的适应性局限,一方面设计洪峰流量、设计洪水总量等关键参数的确定依据比较保守,多数采用固定重现期的设计思路,难以应对气候变化背景下极端洪水事件频繁发生,且强度大幅增加的冲击。当遭遇超出设计标准的极端洪水时,工程防洪功能易失效引发大范围的洪涝灾害,对周边居民生命财产安全和生态环境造成严重威胁,另一方面区域气候差异在传统设计标准中被考虑得不够充分,统一的设计规范难以适应不同区域的气候变化特点,例如南方多雨地区和北方干旱半干旱地区的降水变异规律有着本质上的区别。这种局限性致使水利工程在气候变化环境下防洪安全隐患增多,难以有效施展防洪减灾功效。

### 3.2 工程设施老化影响

部分水利工程建成运行时间较长,因自然侵蚀材料损耗长期荷载作用等因素的影响致使出现明显的设施老化现象,进一步加重了防洪能力的适应性不足,工程设施老化主要表现为堤坝渗漏,闸坝结构损坏输水建筑物

淤积等问题,堤坝渗漏会使工程抗渗能力降低,溃坝风险增加,闸坝结构损坏将影响其调控径流的功能,致使防洪调度的灵活性降低。输水建筑物的淤积会致使行洪能力降低,进而造成洪水水位上升使淹没风险加剧,同时气候变化引发的诸如强暴雨强台风等极端天气事件会致使工程设施的老化进程加快,材料劣化和结构损伤加速,令工程防洪功能持续衰减难以适应新形势下越发严峻的防洪需求,对区域防洪安全形成潜在威胁。

### 3.3 调度体系适配不足

现有水利工程防洪调度体系多采用固定的调度规则,显著存在协同适配不足问题,缺乏对气候变化引发的水文情势动态变化的响应机制,传统调度模式以经验调度为主依赖历史洪水过程制定静态调度方案,无法实时响应极端降水引发的径流突变和洪水过程畸变,与此同时跨流域以及跨区域水利工程之间的调度协同性欠佳,欠缺统一的调度指挥机制以及信息共享平台致使防洪资源难以高效整合运用,呈现出“各自为战”的态势。此外调度数据支撑体系存在缺陷,水文监测站点布局不合理,监测数据的实时性与准确性欠佳,难以满足动态调度的精准要求,也限制了调度体系对气候变化的适应能力,影响防洪效能的充分展现<sup>[4]</sup>。

## 4 水利工程防洪能力适应性提升的技术路径

### 4.1 设计标准优化

基于防洪工程设计标准优化的气候情景,是提升防洪能力适应性的核心技术路径之一,首先要把全球气候模式和区域气候模式的输出结果结合起来,再加上水文模型进行耦合然后开展未来不同气候情景下的水文情势预测,准确地弄清楚未来洪水事件的演变趋势和强度特征,其次依据预测结果对设计洪峰流量设计洪水位等关键设计参数予以修订与完善,将传统静态设计思路予以摒弃,运用动态设计标准去取代传统的静态设计标准,达成设计标准与气候情景的动态匹配。同时依据不同区域的气候变化特点和工程实际情形,构建差异化的设计标准体系增强设计标准的区域适配性,设计标准的优化须兼顾安全性和经济性,于保障防洪安全的前提之下合理把控工程建设和改造成本,达成防洪效益与经济效益的平衡。

### 4.2 工程设施升级改造

工程设施升级改造是提升防洪能力适应性的重要物质基础,针对工程设施现存的突出问题如老化和功能衰减等,应首先进行全面的工程检测和安全性评估以科学确定工程病害的等级,并明确升级改造的重点区域和关键部位,对于堤坝工程可运用防渗加固培厚加高护坡整

治等成熟技术手段,增强其抗渗能力和抗洪能力;闸坝工程方面能够实施核心设备的更新工作,对主体结构予以加固处理同时进行自动化控制系统的改造,以此提升其调控的精度以及运行的稳定性,对于行洪建筑物与输水要定期实施清淤疏浚工作,加大行洪断面增强行洪能力,同时新型复合材料智能监测技术等新技术的应用可相结合,以提高工程设施的耐久性与抗灾能力延长工程使用寿命。

#### 4.3 动态调度体系构建

构建防洪调度体系是提升防洪能力适应性的关键技术手段,首先必须对水文监测与预警系统加以完善对监测站点的布局予以优化,借助遥感物联网大数据等先进技术达成对降水径流水位等关键水文要素的实时且全方位的监测,以及精准预测,从而为动态调度给予坚实的数据支撑,其次将不确定性分析方法融入基于实时水文数据与气候情景预测的动态调度模型中,实现调度方案的实时优化与动态调整以提升调度决策的科学性。同时全力推动跨区域跨流域水利工程的协同调度,构建统一的调度指挥机制以及信息共享平台,冲破行政区域壁垒达成防洪资源的统筹配置与高效运用。

### 5 水利工程防洪能力适应性提升的保障策略

#### 5.1 政策标准完善

政策法规与标准体系的适应性完善,乃是提升水利工程防洪能力适应性的制度保障,需紧密结合气候变化对防洪工作提出的新要求和新挑战,对现有的水利工程建设运行管理相关政策法规进行修订和完善,在气候变化的大背景之下,对于水利工程防洪能力适应性提升的责任主体工作目标实施路径以及考核评价办法进行明确,进而形成一个完整的闭环管理机制。

#### 5.2 协同治理机制构建

跨区域协同治理机制的构建以及优化,属于提升防洪能力适应性的关键保障举措,气候变化引发的洪水灾害往往具有显著特征呈现跨区域跨流域蔓延的态势,单一区域或单一部门的防洪工作难以形成合力,无法有效应对全域性洪水风险,需构建跨行政区域跨流域的协同治理机制,清晰界定各区域各部门于防洪工作里的职责分工,构筑常态化的沟通协调,以及信息共享平台。借助构建协同调度平台联合监测预警体系应急联动响应机

制等手段,达成防洪资源的整体调配防洪举措的协同施行以及应急处置的高效联动,同时引导企业、社会组织和公众积极投身防洪建设与管理,鼓励社会力量参与防洪治理形成政府主导、部门协同、社会参与的多元治理格局,提升应对气候变化引发洪水风险的综合能力。

#### 5.3 技术研发与人才保障

技术研发与人才培养的支撑保障,乃是推动水利工程防洪能力适应性持续提升的核心动力,需大力加强财政投入重点扶持气候变化影响评估、高精度水文形势预测、工程升级改造新型技术、动态调度智能模型等关键技术的研发工作,积极推动科研机构与企业展开深度产学研合作,加快技术成果转化与应用进程,突破核心技术瓶颈推广一批先进且适用的技术与装备。同时强化专业队伍的构建拟定具有针对性的人才培育规划,培育出一批不但具备气候变化科学水利工程技术运行管理,还具备智能监测等多领域知识的复合型人才,通过采用专题专业培训学术交流研讨一线实践锻炼等多种形式,全方位提高人才队伍的专业素养与业务能力,为适应性提升工作给予稳固的技术和人才保障。

### 6 结论

本文深入全面地对气候变化给水利工程防洪环境带来的影响予以了系统的探讨,清晰明确地阐释了防洪能力适应性所蕴含的核心要义,精心构建了适应性评价体系的基本架构,针对现有水利工程于设计标准设施状况调度体系等方面所存在的适应性短板展开深入剖析,进而提出了诸如设计标准优化工程设施升级改造动态调度体系构建等技术提升路径,还有政策标准完善协同治理机制构建技术研发与人才保障等配套保障策略。

#### 参考文献

- [1]罗川炼.水利工程防洪堤施工中生态护坡技术的应用[J].工程建设与设计,2025,(14):105-107.
- [2]王奇锋.水利工程中堤防护岸工程施工技术探讨[J].农业开发与装备,2024,(05):112-114.
- [3]唐焱.某水库工程大坝防洪能力复核分析[J].陕西水利,2023,(09):63-64+67.
- [4]王修春.大坝安全评价之防洪能力复核浅析[J].湖南水利水电,2022,(03):53-54+90.