

# Analysis on the influence of climate change on design standards of water conservancy projects

Suxia Cheng Shiwei Zhang

Jiaozuo Yellow River Bureau, Wenxian Yellow River Bureau, Jiaozuo, Henan, 454000, China

## Abstract

Climate change is profoundly impacting the global hydrological cycle, raising higher demands on the design safety, operational stability, and adaptability of water conservancy projects. Traditional design standards, which are often based on historical hydrological data and static assumptions, struggle to address the challenges posed by frequent extreme climate events, new precipitation patterns, and the time-varying characteristics of regional water resources. This paper analyzes the impact of climate change on the design standards of water conservancy projects, systematically examines the trends in rainfall intensity, flood frequency, and hydrological extremes under the backdrop of climate change, discusses the shortcomings of current design norms in addressing new risks, and proposes a standard update path based on climate prediction information and risk assessment. The aim is to provide theoretical support and technical references for building a more scientific, dynamic, and adaptable design system for water conservancy projects.

## Keywords

climate change; water conservancy project; design standard; hydrological parameter; risk assessment

## 气候变化对水利工程设计标准的影响分析

成素霞 张世威

焦作黄河河务局温县黄河河务局, 中国·河南焦作 454000

## 摘要

气候变化正深刻影响全球水文循环过程, 对水利工程的设计安全性、运行稳定性和适应能力提出了更高要求。传统设计标准往往依据历史水文数据和静态假设, 难以应对极端气候事件频发、新的降水时空分布模式以及区域水资源时变特征带来的挑战。本文围绕气候变化对水利工程设计标准的影响展开分析, 系统梳理气候变化背景下降雨强度、洪水频率及水文极值变化趋势, 探讨现行设计规范在应对新风险方面存在的不足, 并提出基于气候预测信息和风险评估的标准更新路径, 旨在为构建更加科学、动态和适应性强的水利工程设计体系提供理论支持和技术参考。

## 关键词

气候变化; 水利工程; 设计标准; 水文参数; 风险评估

## 1 引言

随着全球气温持续上升, 气候系统的不稳定性日益加剧, 极端降雨、干旱和洪涝事件频率与强度显著上升, 传统水利工程设计方法面临严峻挑战。长期以来, 我国水利工程设计主要依赖静态水文统计资料, 在设计参数选取、频率分析及边界条件设定方面较少考虑未来气候变异趋势。这种静态模式在面对高强度、突发性的极端水文事件时, 暴露出工程标准冗余不足与适应性缺失的问题。当前亟需从技术路径、理论方法及制度机制等多个维度出发, 推进水利设计标准的适应性重构, 以有效应对不断变化的气候风险, 确保工程安全运行与水资源可持续利用。

【作者简介】成素霞(1980-), 女, 中国山西晋城人, 本科, 工程师, 从事水利水电工程施工运行与管理研究。

## 2 气候变化背景与趋势对水利工程安全性的挑战

### 2.1 全球气候变暖趋势与极端气候事件频发特点

全球变暖导致气候系统能量分布结构紊乱, 引发区域性水文气象异常增强。大气温度平均每十年上升约 $0.2^{\circ}\text{C}$ , 为蒸发增强、湿度变化和不稳定层结提供有利条件。极端降水、暴雨洪涝等灾害性天气频率上升, 影响期集中且破坏力加剧。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告指出, 自20世纪中叶以来, 极端强降雨事件在东亚地区增加约15%, 我国南方年暴雨日数提升了20%以上。极端天气对流域来水量、洪峰流速、水库调蓄能力造成持续冲击, 进而对水利工程运行安全提出系统性挑战。

### 2.2 水文循环系统响应机制的变化特征

气候变化促使全球水文循环过程由相对稳定状态转向动态变异状态, 表现为降雨时间、空间和强度分布发生重构,

蒸发蒸腾过程增强,土壤含水率和地下水位波动加剧。高温季节水汽输送路径延伸,使得强降水在时间上集中、在空间上不均,导致局部区域瞬时流量剧增、洪水形成突发性增强。山地、丘陵及平原区雨洪耦合效应增多,季节性径流重心变化,致使设计基准线失效风险提升。水资源时空调配结构趋于复杂,影响传统设计中采用的经验参数与工程运行模式的稳定性。

### 3 水利工程设计标准现状与适应性不足问题剖析

#### 3.1 现行设计标准依据的气象水文资料局限性

当前水利工程设计中常采用的气象水文资料多为 1956 至 2000 年间的历史监测数据,平均序列长度不超过 50 年。该数据未能反映近年来气候突变带来的极值变化趋势,特别是在降水强度、日最大降雨量及极端干旱频率等参数方面。以某地级市为例,其设计暴雨强度公式基于 20 世纪 70 年代资料推导,忽略了近 10 年内年最大 1 小时降雨量由 68 毫米增长至 89 毫米的事实,误差达 30%。资料局限性还表现在空间分布稀疏和站点记录中断,导致设计参数区域代表性偏低,对地形复杂地区的局部特征适配能力差。

#### 3.2 设计参数更新滞后与区域适配性偏差

全国多数设计规范仍采用静态统计模型进行频率分析,更新周期通常超过 10 年。许多地区仍在采用 2006 年发布的《暴雨强度公式参数手册》进行设计,未能纳入近年来极端天气显著增强趋势。例如,华东某省 2021 年年最大日降雨量达 230 毫米,而现行标准依据的是 1998 年参数,其对应设计值仅为 170 毫米,低估幅度超过 26%。区域适配性偏差显著,西南、华南部分丘陵区未能针对地形地貌差异建立本地化模型,导致实际使用中防洪等级与设计期望不符,造成风险管控缺位。

#### 3.3 排涝、防洪与蓄水系统的安全冗余问题

现有水利工程结构中普遍存在安全裕度不足的问题,设计重现期偏低,无法承受气候极值上升带来的冲击。以中部某城市为例,排涝系统设计重现期仅为 10 年,2023 年遭遇百年一遇强降雨时排涝能力严重不足,造成城区 50 余处积水超过 0.5 米。水库设计死水位与汛限水位之间的调蓄容积普遍偏小,多数地区安全库容仅为年径流总量的 8% 至 12%,远低于应对极端洪水时所需的 15% 以上调蓄标准。防洪堤高程与洪水位比值控制在 1.2 至 1.5 倍范围内,在极端暴雨频发情境下,已不足以保障堤防稳定性与人员安全。

## 4 气候变化驱动下水文设计参数调整路径

#### 4.1 重现期与设计降雨强度校正方法更新需求

设计重现期是水利工程抗风险能力评估的重要依据,在气候变异背景下需进行动态修正。传统静态频率分析基于假设气候平稳性,在当前非平稳气候条件下不再适用。应引入非平稳频率分析方法,如广义极值分布(GEV)与非参

数回归模型,结合气候情景模型输出进行校正,构建随时间动态调整的设计雨强曲线。同时需加强历史极值重建与未来极值推演,将近 30 年降雨资料中变化趋势参数纳入计算公式,建立“现状-预测”双轨校正机制,提升参数科学性与适用性。

#### 4.2 设计洪水流量与洪水位计算模型的适应性修订

现有设计洪水流量计算多采用简化经验模型,需在参数选取与边界条件设定方面引入气候变量,构建基于大气环流背景下的洪水推演机制。应采用集总式与分布式相结合的水文模型,嵌入逐时降雨与温度变化因子,动态模拟融雪洪水、暴雨径流和山洪暴发过程。洪水位计算则应引入动态演化边界条件,通过构建时间-空间二维水动力模型提升模拟精度,适应不同类型水库、渠道与滩涂区的风险响应机制,推动从静态极值向动态风险过渡的工程设计转型。

#### 4.3 区域尺度气候预测成果在参数推演中的应用方式

区域气候模式(RCMs)是实现未来气候情景驱动参数调整的有效工具。应结合 CMIP6 气候情景模型输出数据,通过降尺度处理技术获得高分辨率降雨、温度与湿度预测结果,进而嵌入水文模型实现参数更新。在设计中引入 RCP4.5 与 RCP8.5 等不同温升情境下的水文响应路径,构建不确定性范围内的设计参数组合集群,提升抗风险能力的鲁棒性。数据融合应整合多源卫星遥感资料、再分析产品与地面站点观测结果,建立区域特征响应的参数库,为参数修订提供动态支持平台,图 1 为结合气候变化的水利工程设计流程。

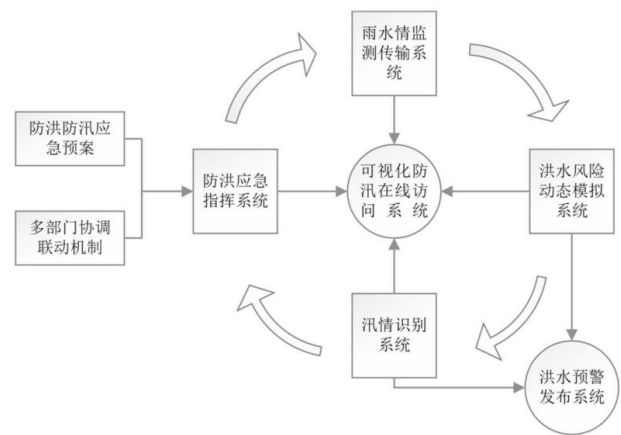


图 1 结合气候变化的水利工程设计流程

## 5 水利工程结构与调控系统的适应性设计思路

#### 5.1 增强结构安全裕度与极端事件应对能力

水利工程结构在设计阶段应充分考虑气候不确定性带来的极值波动,提升结构本体的抗风险能力。大坝、堤防、水闸等关键节点需依据更新后的设计重现期重新评估其荷载响应极限,通过加高堤顶、加厚防浪墙、增设溢洪道等方式提高安全余量。结构材料应优选高强度、耐疲劳、耐腐蚀

的复合型新材料,增强结构在洪水冲击、高温老化和水位骤变下的稳定性。关键部位可引入冗余设计理念,如设置双层护坡、备用启闭设备与自动泄洪通道,确保在极端事件发生时具备冗余响应能力,降低系统级灾害触发概率,提升全生命周期安全系数。

## 5.2 多目标调度优化提升调蓄与生态调控能力

气候变化背景下水资源供需格局更加复杂,需推动水利调控系统由单一功能向多目标耦合转变。调度模型应综合考虑防洪、供水、发电、生态与水质等多个目标,构建以实时数据驱动的优化调控系统,动态调整水库运行方式。可通过引入多目标遗传算法、粒子群算法等智能优化工具,在保障下游防洪安全的同时优化库容利用率与生态流量保障水平。调蓄系统结构应加强上下游水库联调能力,通过建立分布式联动机制,提升系统整体蓄泄能力与调控弹性。对重要湿地与河湖系统设定生态调度模块,强化生态基流控制与水位季节性调节功能,实现防灾减灾与生态保护协同推进。

## 5.3 应急响应机制与调控系统柔性化设计策略

面对极端气候驱动下的不确定性风险,调控系统应具备快速响应与临时重构能力,实现功能转移与路径再规划的柔性化目标。关键调控设施应配置自动感知系统,集成水位、流速、降雨及地质等实时信息,具备突发状况下的联动预警功能。调度中心应嵌入模拟演算平台,建立情景库与应急响应预案,通过模块化调控单元构建快速启用机制。调蓄结构应具备灵活调整能力,如设定变结构溢洪系统、可拆卸围堰、移动式抽排设备等,实现调控模式的临时重构。应急响应机制应覆盖“事前评估、事中联动、事后复盘”三大环节,配合制度化演练机制,构建全天候、高韧性的应急调控体系。

# 6 推动气候适应型水利工程设计标准体系建设

## 6.1 建立动态更新的气候与水文数据支撑体系

适应气候变化背景下的水利工程设计,必须构建覆盖广泛、精度高、更新及时的数据支撑平台。应基于遥感观测、自动气象站、雷达系统和水文感测设备构建实时数据采集网络,并统一数据格式标准,推动全国范围内的数据共享联通。融合国家气候中心、流域管理机构与地方气象部门的预报与实测资料,形成月、季、年尺度的多时段序列,为水文参数趋势建模提供高时空分辨率支撑。建立集数据采集、清洗、存储、分析和可视化于一体的动态管理系统,将气象与水文数据联动更新,配套开发预警分析接口,为工程设计提供具备前瞻性的参考基准,弥补静态资料滞后问题。

## 6.2 构建基于风险评估的设计标准调整机制

应通过将气候风险纳入工程设计的核心依据,形成以概率、损失预期、脆弱性为核心的多维度风险评估体系。在现有设计参数中引入非平稳性气候驱动因子,通过构建洪

水、干旱、径流突变等极端事件的风险暴露图谱,评估工程设施的承载能力与安全冗余。推动设计重现期与防护标准从单一极值指标向基于风险等级的区域差异化分级,实行“风险导向”的参数选取机制。强化风险评估结果与工程生命周期管理的结合,将风险等级与投资决策、建设标准及运行预案联动挂钩,实现从静态规范向动态调节的设计机制过渡,提升工程系统整体的应变能力和灾害韧性。

## 6.3 完善气候适应性导向的设计规范与政策制度体系

水利设计规范需由静态标准向具有适应性的技术制度体系升级,在政策层面确立气候适应导向原则,推动国家层面的顶层设计与区域标准协同落地。设计文件中应明确气候影响因子、数据校准路径及风险控制边界,嵌入气候预估情景作为强制性设计依据。推动各类标准的迭代更新机制,设立定期修订窗口并建立科学评估模型对其适用性进行动态审核。制度层面需配套出台关于设计参数选用、责任划分、信息披露与应急调整的操作细则,保障标准执行的规范化与约束力。完善政策激励与监管机制,引导地方政府和设计单位将气候适应性融入基础设施建设全流程,实现工程安全与生态环境双重协同。

# 7 结语

气候变化已成为影响水利工程设计标准科学性和有效性的核心变量,传统静态设计理念与方法在极端水文情境频发背景下面临严峻挑战。通过动态修订设计参数、引入非平稳性分析方法、强化风险导向机制以及构建柔性化调控系统,水利工程的适应能力和安全裕度将得到显著提升。推动数据体系、模型机制与制度规范协同发展,是构建面向未来的不确定环境中水利基础设施韧性保障体系的关键路径。建立与气候变化长期趋势相匹配的技术标准体系,不仅是防灾减灾能力提升的技术基础,也是实现水资源高效配置与生态文明建设的重要支撑。

## 参考文献

- [1] 马玉东,巨宏臻.气候变化对水利工程质量的影响[A].2024首届水旱灾害防御与应急抢险技术论坛论文集[C].河海大学、北京水利学会、北京应急管理学会、天津市水利学会、天津市应急产业联盟、河北省应急产业联盟:2024:302-309.
- [2] 杨建成.气候变化对水利工程质量影响的研究[J].产品可靠性报告,2024,(03):146-147.
- [3] 秦鹏程,刘敏,夏智宏,刘绿柳.气候变化对我国水资源和重大水利工程影响研究进展[J].气象科技进展,2022,12(06):7-15.
- [4] 张建云,向衍.气候变化对水利工程安全影响分析[J].中国科学:技术科学,2018,48(10):1031-1039.
- [5] 夏军,张永勇,吴时强,夏瑞,周杰.气候变化对河湖水环境生态影响及其对策[M].中国水利水电出版社:201311.