

气候变化下的未来洪水风险评估与应对策略

吕朔风 411303198910035560

摘要

全球气候变化引发的气温升高、降水格局改变已经显著改变了全球水文循环，极端降水事件的频率与强度持续上升，未来洪水风险呈现出扩大化、复杂化特征。本文梳理了气候变化背景下洪水风险的形成机制，总结了当前主流洪水风险评估方法的应用特征，分析了未来不同排放情景下洪水风险的演变趋势，并从工程建设、空间管控、应急管理、国际合作四个维度提出系统性应对策略。研究认为，未来我国需要将气候变化纳入洪水风险管理体系，构建多主体协同的应对框架，才能降低极端洪水事件带来的生命财产损失，保障流域水安全与社会经济可持续发展。

关键词：气候变化；洪水风险评估；应对策略；水安全

一、引言

自工业革命以来，人类活动引发的温室气体排放导致全球平均气温较工业化前水平升高约 1.1°C ，气候变化已经成为全球水资源管理与防灾减灾领域面临的核心挑战。IPCC 第六次评估报告指出，未来全球极端降水事件将随着气温升高持续增强，中高纬度地区以及亚洲季风区的洪水发生概率将显著提升。我国是全球气候变化的敏感区和影响显著区，近半个世纪以来极端强降水事件发生频率增加了 2.3% ，长江中下游、珠江流域以及华北海河流域的洪水风险持续上升。在气候变化与城镇化快速推进的叠加影响下，传统基于历史水文数据的洪水风险评估体系已经难以适配未来风险演变的新特征，开展气候变化下的未来洪水风险评估，优化现有应对策略，对保障我国水安全具有重要现实意义。

二、气候变化下洪水风险的形成机制

气候变化对洪水风险的影响主要通过三个路径传导：第一，气温升高加快冰川融化与海水热膨胀，海平面持续上升抬升了河口地区洪水的基准水位，延长了洪水的退水时间，同时加大了风暴潮与河口洪水遭遇的概率，放大了沿海地区的洪水风险。第二，大气温度升高提升了大气持水能力，根据克劳修斯-克拉佩龙方程，气温每升高 1°C ，大气持水量大约增加 7% ，在合适的环流条件下，极端

降水的强度与持续时间会显著提升，进而直接提升山洪、城市内涝以及流域性大洪水的发生概率。第三，气候变化改变了区域降水的季节分配，我国北方部分地区夏季降水占比持续提升，南方梅雨期极端降水强度增加，打破了原有流域水利工程设计所依据的水文平衡，导致原有防洪设施的设计标准无法满足未来防洪需求。

除自然物理机制的改变外，社会经济系统的暴露度与脆弱性也进一步放大了气候变化下的洪水风险。我国城镇化进程持续推进，大量人口与资产向沿江、沿海地区集聚，城市不透水面积占比不断提升，相同降水条件下产汇流速度加快，进一步加大了城市内涝风险。

三、气候变化下未来洪水风险评估方法

当前气候变化背景下的洪水风险评估主要基于“气候模式-水文模拟-风险评估”的框架展开，主流评估方法可以分为三类：第一类是基于全球气候模式(GCM)的情景模拟法，该方法通过降尺度处理将全球气候模式输出的降水、气温数据输入水文模型，模拟不同排放情景下未来流域洪水的水文特征，结合地形、土地利用以及资产分布数据评估洪水风险的空间分布，该方法是当前大尺度洪水风险评估的主流方法，但其结果受到气候模式的结构不确定性、排放情景的不确定性影响较大，需要通过多模式集合降低评估误差。第二类是极值统计法，该方法基于历史极端降水数据，结合气候变化趋势对极值分布参数进行修正，推算不同重现期洪水的设计流量，该方法计算简便，适合中小流域的风险评估，但难以反映气候变化导致的极值分布非稳态特征，在长时间尺度评估中误差较大。第三类是机器学习评估方法，该方法通过机器学习模型拟合洪水风险与气候因子、下垫面因子的非线性关系，结合未来气候情景输出开展风险预测，该方法对数据质量要求较高，但能够较好捕捉复杂的交互影响，近年来在中小尺度洪水风险评估中应用逐渐增多。

从评估结果来看，在典型浓度路径 RCP4.5 情景下，预计到 2050 年我国受洪水威胁的人口将比 1990 年增加约 15%，GDP 暴露度增加超过 50%；在 RCP8.5 高排放情景下，受洪水威胁的人口与 GDP 暴露度将分别增加 25%和 80%以上，长江中下游平原、珠江三角洲以及四川盆地等地区将成为未来洪水风险上升最为显著的区域。

四、气候变化下洪水风险应对策略

1. 优化防洪工程体系建设，提升工程适应性

针对气候变化引发的洪水特征改变，需要对现有防洪工程体系进行提标改造，将气候变化预估结果纳入水利工程设计标准，对长江、黄河等大江大河的堤防、水库进行安全加固，提升控制性水利工程的防洪调度能力。同时，要大力推进海绵城市建设，增加城市透水面积，完善城市蓄排设施，提升城市应对极端内涝的能力；在流域层面推进生态防洪工程建设，恢复湿地、湖泊等蓄滞洪空间，充分发挥自然生态系统的洪水调蓄功能，构建工程措施与生态措施结合的综合防洪体系。

2. 完善空间管控体系，降低洪水暴露度

将洪水风险区划纳入国土空间规划，严格管控洪泛区、蓄滞洪区的开发活动，禁止在高风险区域布局永久性城镇与重要基础设施，引导人口与产业逐步向低风险区域转移，从源头上降低洪水风险的暴露度。建立洪水风险保险制度，通过市场化手段引导高风险区域的开发行为，提升社会主体的风险防范意识，构建风险分担机制，降低洪水事件发生后的社会经济损失。

3. 健全应急管理体系，提升灾害响应能力

升级洪水监测预警系统，融合气象监测、水文监测与遥感数据，提升极端洪水事件的预报精度与预见期，建立多部门协同的预警信息发布机制，确保预警信息能够覆盖所有受威胁区域。完善洪水应急预案体系，定期开展应急演练，储备充足的应急救援物资，提升基层应急救援能力，构建快速响应的应急处置体系，最大程度降低洪水带来的人员伤亡。

4. 加强国际与区域合作，共同应对全球气候变化

气候变化是全球性挑战，跨国流域的洪水风险应对需要相关国家共同参与，我国要积极参与全球气候治理，推动落实碳达峰碳中和目标，降低全球温室气体排放，从根源上减缓气候变化的速度。同时，加强与周边国家在跨境流域洪水监测、预警、应急调度方面的合作，共享水文气象数据，协同开展风险评估与应对，提升区域洪水风险应对能力。

五、结论

气候变化已经并将持续改变全球洪水风险格局，我国面临的未来洪水压力不

断加大，传统洪水风险管理体系已经难以适配新的风险特征。开展气候变化下的未来洪水风险评估，需要整合多源数据与多类方法，降低评估结果的不确定性，明确不同区域的风险演变趋势。在此基础上，通过工程提标、空间管控、应急优化与国际合作的系统性策略，构建适应气候变化的洪水风险管理体系，能够有效降低未来洪水风险，保障我国社会经济的可持续发展。

参考文献

- [1] 史培军, 孔锋, 方修琦, 等. 气候变化对中国洪水灾害的影响及适应对策[J]. 地理学报, 2016, 71(10): 1699-1713.
- [2] 张建云, 王银堂, 贺瑞敏, 等. 中国气候变化对水资源影响研究进展[J]. 水科学进展, 2015, 26(4): 593-604.
- [3] 刘昌明, 刘小莽, 郑红星. 气候变化对我国水安全的影响及适应对策[J]. 中国工程科学, 2015, 17(1): 41-48.