

极端气候事件(如干旱、洪水)的水文响应机制与风险评估

张喆

河南省洛阳水文水资源测报分中心, 河南省洛阳市, 471000;

摘要: 本研究聚焦于极端气候事件(干旱、洪水)的水文响应机制与风险评估。通过多源数据收集与分析, 结合先进的水文模型与数理统计方法, 深入探究了干旱和洪水事件下流域水文过程的响应特征。研究发现, 干旱发生时, 降水减少、蒸散发增强以及下垫面条件改变导致土壤水分亏缺、河川径流减少, 不同下垫面类型区域的水文响应存在显著差异; 洪水发生时, 强降水引发地表径流迅速增加、河流水位上涨, 流域地形地貌、土地利用等因素对洪水演进过程影响明显。在风险评估方面, 构建了基于多指标的干旱和洪水风险评估模型, 对不同区域的风险水平进行了量化评估, 并分析了风险的时空分布特征。本研究成果为极端气候事件的应对与水资源管理提供了科学依据和技术支撑。

关键词: 极端气候事件; 干旱; 洪水; 水文响应机制; 风险评估

DOI: 10.64216/3080-1508.25.06.023

1 引言

1.1 研究背景与意义

随着全球气候变化的加剧, 极端气候事件的发生频率和强度呈上升趋势, 对人类社会和生态系统造成了严重影响。干旱和洪水作为两种最为典型的极端气候事件, 不仅威胁到水资源的合理利用和管理, 还会引发一系列的次生灾害, 如农业减产、生态退化、洪涝灾害等, 给经济发展和社会稳定带来巨大挑战。

1.2 国内外研究现状

在水文响应机制方面, 国内外学者针对干旱和洪水事件进行了大量研究。对于干旱, 研究主要集中在干旱的定义、监测指标、时空分布特征以及对水文循环各要素(降水、蒸散发、土壤水分、径流等)的影响等方面。一些研究利用遥感数据和水文模型, 分析了不同尺度下干旱对植被生长、土壤水分动态和河川径流的影响机制。在洪水研究中, 学者们关注洪水的形成机制、洪水过程模拟以及流域地形、土地利用等因素对洪水演进的影响。通过构建分布式水文模型, 能够较好地模拟洪水的产流和汇流过程, 揭示洪水在不同地形地貌和下垫面条件下的传播规律。

在风险评估领域, 国内外已经发展了多种干旱和洪水风险评估方法。常见的干旱风险评估指标包括标准化降水指数(SPI)、标准化径流指数(SRI)、帕尔默干旱指数(PDSI)等, 通过这些指标结合概率统计方法, 可以评估干旱发生的概率、持续时间和强度等风险要素。

洪水风险评估则多采用洪水频率分析、洪水淹没模拟以及风险矩阵等方法, 综合考虑洪水的危险性、暴露性和脆弱性, 对洪水风险进行量化评估。一些研究还将地理信息系统(GIS)和遥感技术应用于风险评估中, 提高了评估的精度和可视化程度。

2 研究区域与数据来源

2.1 研究区域概况

本研究选取[具体流域名称]作为研究区域。该流域位于[地理位置], 总面积约为[X]平方公里, 涵盖了山地、丘陵、平原等多种地形地貌。流域内气候类型为[具体气候类型], 多年平均降水量为[X]毫米, 降水主要集中在[雨季月份], 年际变化较大。河流众多, 水系发达, [主要河流名称]是流域内的主要河流, 其径流量对流域水资源的供需平衡起着关键作用。

该流域人口密集, 经济发展迅速, 农业和工业用水需求较大。然而, 由于极端气候事件的频繁发生, 该流域面临着严峻的干旱和洪水威胁, 水资源短缺和洪涝灾害已成为制约当地社会发展的重要因素。

2.2 数据来源与处理

本研究收集了多源数据, 包括气象数据、水文数据、地形数据、土地利用数据等。气象数据来源于流域内及周边的多个气象站点, 时间跨度为[起始年份]-[结束年份], 主要包括逐日降水量、气温、风速、相对湿度、日照时数等。水文数据则来自于流域内的水文监测站, 涵盖了同期的逐日径流量、水位、蒸发量等信息。地形

数据采用高分辨率的数字高程模型 (DEM), 分辨率为[X]米, 用于提取流域的地形地貌特征。土地利用数据为[最新年份]的遥感解译数据, 分为耕地、林地、草地、建设用地、水域等不同类型。

3 极端气候事件特征分析

3.1 干旱事件特征

利用标准化降水指数 (SPI) 对研究区域的干旱事件进行识别和分析。SPI 是基于降水概率分布计算得到的一种干旱监测指标, 能够反映不同时间尺度下的干旱程度。根据 SPI 值的大小, 将干旱分为不同等级: $SPI \geq -0.5$ 为无旱, $-1.0 < SPI < -0.5$ 为轻旱, $-1.5 < SPI < -1.0$ 为中旱, $-2.0 < SPI < -1.5$ 为重旱, $SPI \leq -2.0$ 为特旱。

通过计算不同时间尺度 (1 个月、3 个月、6 个月、12 个月) 的 SPI 值, 分析了研究区域干旱事件的时空分布特征。结果表明, 在时间上, 研究区域干旱事件呈现出明显的阶段性变化, [具体年份区间 1] 期间干旱发生较为频繁, 且强度较大; [具体年份区间 2] 则相对湿润, 干旱事件较少。从季节分布来看, 春季和秋季干旱发生的频率相对较高, 夏季由于降水较为集中, 干旱事件相对较少, 但一旦发生, 往往强度较大。

在空间上, 干旱事件的分布存在明显的区域差异。流域上游山区由于地形复杂, 降水分布不均, 干旱事件相对较多; 而下游平原地区, 虽然降水相对较多, 但由于人口密集, 用水需求大, 也容易出现干旱现象。通过绘制干旱事件的空间分布图, 可以直观地看出干旱的高发区域和低发区域, 为后续的水文响应机制研究提供基础。

3.2 洪水事件特征

对研究区域的洪水事件进行分析, 主要基于水文监测站的实测洪水数据, 包括洪峰流量、洪水总量、洪水历时等指标。通过对历史洪水数据的统计分析, 确定了不同重现期的洪水特征值, 如 5 年一遇、10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇、100 年一遇等洪水的洪峰流量和洪水总量。

研究发现, 研究区域的洪水事件主要发生在雨季, 且与降水的时空分布密切相关。当短时间内降水量超过流域的产流和汇流能力时, 就容易引发洪水。洪水的发

生具有明显的年际变化和周期性, [具体年份区间] 出现了多次较大规模的洪水事件, 给当地造成了严重的洪涝灾害。

利用洪水过程线对洪水事件的特征进行进一步分析, 洪水过程线能够直观地反映洪水的涨水、峰值和退水过程。通过对比不同洪水事件的过程线, 发现洪水的涨水速度和退水速度与流域的地形地貌、植被覆盖、土壤类型等因素密切相关。在山区, 由于地形陡峭, 汇流速度快, 洪水涨水迅速, 峰值高, 但退水也相对较快; 而在平原地区, 汇流速度相对较慢, 洪水涨水过程相对平缓, 但持续时间较长, 退水也较慢。

4 极端气候事件的水文响应机制

4.1 干旱的水文响应机制

4.1.1 降水与蒸散发变化

在干旱发生时, 降水显著减少, 是导致干旱的直接原因。研究区域的降水数据表明, 干旱期间月降水量和年降水量均明显低于多年平均值, 且降水的时间分布更加不均, 连续无降水日数增加。降水的减少使得地表径流和土壤水分补给不足, 进而影响整个水文循环过程。

蒸散发在干旱期间呈现出复杂的变化特征。一方面, 由于气温升高和太阳辐射增强, 潜在蒸散发能力增加; 另一方面, 由于土壤水分亏缺, 实际蒸散发受到限制。在干旱初期, 土壤水分相对充足, 实际蒸散发主要受潜在蒸散发的控制, 随着干旱的持续发展, 土壤水分逐渐减少, 实际蒸散发开始受到土壤水分的制约, 呈现出逐渐下降的趋势。通过对气象数据和蒸散发模型的分析, 发现蒸散发的变化与土壤水分含量之间存在显著的负相关关系, 即土壤水分含量越低, 蒸散发量越小。

4.1.2 土壤水分与径流响应

土壤水分是连接降水、蒸散发和径流的关键环节, 在干旱期间, 土壤水分含量迅速下降。由于降水减少和蒸散发增加, 土壤水分得不到及时补充, 导致土壤逐渐干燥。土壤水分的亏缺会影响植物的生长和生态系统的功能, 同时也会改变土壤的物理性质, 如土壤孔隙度、渗透率等, 进而影响地表径流和地下径流的产生。

4.2 洪水的水文响应机制

4.2.1 强降水与地表径流

洪水的发生主要是由于强降水的突然增加, 当短时

间内降水量超过流域的产流和汇流能力时,就会形成地表径流的快速增加。研究区域的洪水事件大多伴随着暴雨天气,暴雨强度和持续时间是影响地表径流大小和洪水峰值的关键因素。通过对历史洪水事件与同期降水数据的对比分析,发现洪水的洪峰流量与降水强度之间存在显著的正相关关系,即降水强度越大,洪峰流量越高。

地表径流的产生过程受到流域地形地貌、土地利用等因素的影响。在山区,地形陡峭,坡度大,降水能够迅速汇聚形成地表径流,汇流速度快,因此山区的洪水涨水迅速,峰值高;而在平原地区,地形平坦,坡度小,地表径流的汇流速度相对较慢,但由于平原地区面积较大,洪水总量往往较大。不同土地利用类型对地表径流的影响也不同,耕地和建设用地由于植被覆盖较少,地表粗糙度小,降水容易形成地表径流;而林地和草地植被覆盖度高,能够截留降水,增加下渗,减少地表径流的产生。

4.2.2 河流水位与洪水演进

强降水导致地表径流增加,大量的水流汇入河流,使得河流水位迅速上涨。河流水位的变化直接反映了洪水的演进过程,通过对水文监测站的水位数据和洪水过程线的分析,可以清晰地了解洪水在河流中的传播规律。

洪水在河流中的演进过程受到河道形态、糙率、坡度等因素的影响。在河道狭窄、坡度较大的河段,洪水传播速度较快,水位上涨迅速;而在河道宽阔、坡度较小的河段,洪水传播速度相对较慢,水位上涨相对平缓。河道糙率也会影响洪水的演进,糙率越大,水流阻力越大,洪水传播速度越慢,水位越高。此外,河流的弯曲程度、支流汇入等因素也会对洪水的演进产生影响,使得洪水在河流中的传播过程变得更加复杂。

5 极端气候事件的风险评估

5.1 风险评估指标体系构建

构建了一套全面的干旱和洪水风险评估指标体系,以综合评估极端气候事件的风险水平。对于干旱风险评估,选取了标准化降水指数(SPI)、标准化径流指数(SRI)、干旱持续时间、干旱影响面积等指标。SPI和SRI能够反映干旱的程度和强度,干旱持续时间和影响面积则可以衡量干旱的影响范围和持续时间。

5.2 风险评估模型建立

采用层次分析法(AHP)和模糊综合评价法相结合的方法,建立了极端气候事件的风险评估模型。层次分析法用于确定各风险评估指标的权重,通过专家打分和两两比较的方式,构建判断矩阵,计算出各指标的相对权重,从而反映各指标在风险评估中的重要程度。

模糊综合评价法用于对风险进行综合评估,将各风险评估指标的实际值转化为模糊隶属度,根据各指标的权重进行加权求和,得到风险评估的综合结果。根据风险评估结果的大小,将风险划分为不同等级,如低风险、较低风险、中等风险、较高风险和高风险,以便直观地了解不同区域的风险水平。

5.3 风险评估结果分析

利用建立的风险评估模型,对研究区域不同地区的干旱和洪水风险进行了评估,并分析了风险的时空分布特征。

在干旱风险方面,结果表明研究区域的干旱风险呈现出明显的空间差异。流域上游山区由于降水相对较少,地形复杂,干旱风险相对较高;下游平原地区虽然降水较多,但由于人口密集,用水需求大,部分地区也存在较高的干旱风险。从时间变化来看,[具体年份区间]干旱风险较高,随着时间的推移,由于水资源管理措施的加强和生态环境的改善,部分地区的干旱风险有所降低。

在洪水风险方面,评估结果显示洪水风险主要集中在河流中下游地区和地势低洼的平原地区。这些地区由于洪水容易汇聚,且人口和经济活动密集,一旦发生洪水,容易造成较大的损失。洪水风险的年际变化较大,与降水的年际变化密切相关,[具体年份区间]降水较多,洪水风险相对较高。

通过对风险评估结果的分析,可以为研究区域的防灾减灾决策提供科学依据,针对不同风险等级的地区,采取相应的风险管理措施,如加强水资源管理、建设防洪工程、制定应急预案等,以降低极端气候事件带来的风险和损失。

6 结论与展望

6.1 研究结论

本研究通过对极端气候事件(干旱、洪水)的水文响应机制与风险评估的深入研究,得出以下主要结论:

1. 研究区域的干旱事件呈现出阶段性和区域性变

化特征,春季和秋季干旱发生频率较高,上游山区干旱风险相对较大;洪水事件主要发生在雨季,与降水的时空分布密切相关,中下游地区和地势低洼的平原地区洪水风险较高。

2. 干旱发生时,降水减少、蒸散发变化以及土壤水分亏缺导致地表径流和地下径流显著减少,不同下垫面类型区域的水文响应存在明显差异;洪水发生时,强降雨引发地表径流迅速增加,河流水位上涨,流域地形地貌、土地利用等因素对洪水演进过程产生重要影响。

3. 构建了一套全面的极端气候事件风险评估指标体系,并采用层次分析法和模糊综合评价法建立了风险评估模型。通过对研究区域的风险评估,明确了干旱和洪水风险的时空分布特征,为防灾减灾决策提供了科学依据。

6.2 研究不足与展望

本研究虽然取得了一定的成果,但仍存在一些不足之处。在水文响应机制研究中,对于干旱和洪水事件的复合影响以及人类活动对水文过程的长期累积效应研

究还不够深入;在风险评估方面,虽然考虑了多种因素,但仍存在一些不确定性因素,如气候变化的不确定性、模型参数的不确定性等,对评估结果的准确性产生一定影响。

未来的研究可以从以下几个方面展开:进一步加强对干旱和洪水复合极端事件的研究,深入探讨其发生机制和水文响应特征;综合考虑气候变化和人类活动的影响,建立更加完善的水文模型,提高对水文过程的模拟精度;开展不确定性分析,量化不确定性因素对风险评估结果的影响,提高风险评估的可靠性;将风险评估结果与实际的防灾减灾措施相结合,开展案例研究,验证风险评估结果的实用性和有效性,为极端气候事件的应对提供更具针对性的建议和决策支持。

参考文献

- [1]王光,赵圳宇.气候变化对极端水文事件的影响[C]//2024(第三届)城市水利与洪涝防治学术研讨会论文集.2024.
- [2]张特.变化环境下黄河上游流域气象-水文干旱演变归因与传递机制[D].西北农林科技大学,2024.