

气候变化背景下浙江典型流域短期强降水演变趋势及防控策略

陈宇婷¹, 陈筱飞¹, 朱欣超²

(1. 浙江省水利发展规划研究中心, 310009, 杭州; 2. 浙江省水利信息宣传中心, 310009, 杭州)

摘要:为探究气候变化背景下浙江省中小流域短期强降水演变规律及防控路径, 选取椒江流域为研究对象, 聚焦短期强降水, 选取柏枝岙站和沙段站的逐日降水、流量等长系列数据以及最大1 d、3 d、5 d、7 d降雨及径流特征值, 采用线性倾向分析、Kendall检验、Pettitt突变检验等方法开展研究。结果显示: 两站短期强降水年际变化显著, 时间尺度越小, 变差系数和极值比越大; 柏枝岙站近20年和沙段站近10年强降水频次明显增加, 各特征序列总体呈不显著增加趋势; 柏枝岙站短期强降水在21世纪初发生突变, 突变后均值较之前增加20%以上, 而年降水总量无显著突变, 反映出年内降水分布更加不均。径流方面, 洪峰流量呈显著增加趋势, 平均流量增加趋势较降水放缓, 显示出防洪工程的正向作用。据此提出完善“增蓄、分洪、快排、强防”的防洪工程体系、建设数字孪生流域、强化洪水风险管控等策略, 为中小流域应对短期强降水提供参考。

关键词: 椒江流域; 短期强降水; 演变趋势; 洪涝风险; 防控策略

Trend and control strategies of short-term heavy rainfall in typical watersheds of Zhejiang Province under climate change//CHEN Yuting, CHEN Xiaofei, ZHU Xinchao

Abstract: To investigate the evolution patterns and prevention pathways of short-term heavy rainfall in small and medium-sized watersheds of Zhejiang Province under climate change, the Jiaojiang River basin was selected as the study area. Long-term series of daily precipitation and flow data from the Baizhi'ao and Shaduan stations were used, along with characteristic values of maximum 1-day, 3-day, 5-day, and 7-day rainfall and runoff. Linear trend analysis, the Kendall test, and the Pettitt mutation test were applied. Results indicate that short-term heavy rainfall exhibits significant interannual variability at both stations, with smaller time scales corresponding to higher coefficients of variation and extreme ratios. The frequency of heavy rainfall has notably increased at Baizhi'ao Station over the past 20 years and at Shaduan Station over the past 10 years, although the overall trends of most characteristic series are not statistically significant. A sudden change occurred in short-term heavy rainfall at Baizhi'ao Station in the early 21st century, with post-change mean values increasing by more than 20% compared with the prior period. However, no significant mutation was observed in annual total precipitation, reflecting greater intra-annual unevenness. Regarding runoff, peak discharge shows a significant upward trend, whereas mean discharge increases more slowly than precipitation, suggesting the positive effect of flood control projects. Based on these findings, it is recommended that Zhejiang Province improve its flood control system through measures of “increasing storage, diverting floods, accelerating drainage, and strengthening defense”, establish digital twin watersheds, and enhance flood risk management to support resilience in small and medium-sized watersheds facing short-term heavy rainfall.

收稿日期: 2025-03-31 修回日期: 2025-08-12

作者简介: 陈宇婷, 工程师, 主要研究方向为水资源调查与水利规划。

基金项目: 浙江省水利厅重点科技计划项目“典型流域水文情势演变及洪涝灾害风险防控策略研究”(RB2002)。

Keywords: Jiaojiang River basin; short-term heavy rainfall; evolution trend; flood risk; prevention and control strategies

中图分类号: TV12 文献标识码: B 文章编号: 1000-1123(2025)17-0048-09

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2025.17.009

一、研究背景

近年来,随着极端天气事件的频繁发生,其时空变化规律性研究已经得到社会各界的广泛关注。2024年3月,世界气象组织发布的《2023年全球气候状况报告》指出,2023年是有历史记录以来最热的一年,过去10年是有记录以来最热的10年,海平面上升、冰川退缩等均打破历史纪录,东亚、南亚、北美洲等全球多地强降水引发大洪水。根据中国气象局《中国气候变化蓝皮书(2023)》,1961—2022年我国极端高温事件、平均年降水量及极端日降水量事件发生频次均呈显著增加趋势,降水变化区域差异明显,20世纪90年代后期以来登陆我国的台风平均强度波动增强。

气候的异常变化较大幅度扰乱了地表水文循环过程,尤其对降水、气温等敏感性气候要素造成直接影响,进而导致超历史、超标准洪灾等极端水文事件的发生。2021年郑州“7·20”特大暴雨,最大日降雨量接近常年的年降雨量,最大小时降雨量突破我国大陆气象观测历史极值,郑州市遭受重大人员伤亡和财产损失。2022年珠江流域连续发生8次编号洪水,其中北江发生1915年以来最大洪水。2023年,受5号台风“杜苏芮”影响,北京门头沟清水镇雨量接近年降水量的2倍,海河流域发生60年来最大流域性特大洪水。

如何有效应对极端天气造成的洪涝灾害,已成为流域水安全保障的最大难题,目前对极端天气的规律性认知还处于探索阶段,尤其是针对浙江省中小流域的短期强降水研究还存在较大空白,亟须选择典型流域为研究对象,分析气候变化条件下短期强降水变化规律,为洪涝灾害风险防控提供参考。

二、典型流域和研究方法选取

1. 典型流域选取原则及基本概况

综合考虑流域自然地理、社会经济、气象条件、洪涝灾害和水文数据等因素,本项目选取椒江流域为典型,研究气候变化背景下水文情势演变及洪涝灾害风险防控。

自然地理方面,椒江流域位于浙江中部沿海地区,自源头到入海口涵盖山区、丘陵、平原等多种地形,“七山一水两分田”特点与全省情况相近,流域面积6672 km²。

社会经济方面,椒江流域91%面积在台州辖区内,涉及仙居县、临海市、天台县等9个县(市、区),2020年椒江流域台州行政区内常住人口385.6万人,地区生产总值2550亿元,人均GDP较全省偏低约20%。

气象条件方面,椒江流域多年平均年降水量1647 mm,汛期降水约占全年的75%;降水年际变化较大,丰水年与枯水年降雨量相差1倍以上,最大比值为2.54,与全省的降水总量和年内年际分布情况总体相近;降水地域分布总体上自源头到入海口呈降低趋势。

洪涝灾害方面,流域中上游河流均为山区性河流,坡陡流急,洪水暴涨暴落;下游为感潮河段,受潮汐顶托易涝,洪涝灾害典型。永安溪与始丰溪的汇合区域历来是椒江流域最易成灾的区域之一,两溪洪水叠加、地势低洼,极易受淹。

水文数据方面,椒江流域分布有柏枝岙站等代表性强、资料序列较长的监测站点,便于分析水文情势演变规律。

2. 资料选取

有别于传统月、旬等长时间尺度的历史水文情势演变规律分析,本文针对气候变化背景下洪涝灾害等极端水文事件趋频趋广现象,聚焦短期强降水,大幅缩小时间尺度,重点关注降雨极值,提取每年的最大1 d、3 d、5 d、7 d降雨特征数据,进行演变趋势分析。

综合考虑站点位置、数据完整性、资料长度等因素,以椒江流域柏枝岙站1956年以来和沙段站1980年以来的逐日降水、逐日流量、洪峰流量等长系列历史监测数据为基础,进行短期强降水的变化特征分析。其中,柏枝岙站与沙段站分属不同子流域,位于永安溪与始丰溪汇合处附近,2个站点的控制面积约占椒江流域总面积的60%,是椒江流域最具代表性的两个水文站点。

三、椒江流域短期强降水变化特征

1. 年际规律分析

分析柏枝岙站1956—2019年、沙段站1980—2019年的最大1 d、3 d、5 d、7 d和年降水量长系列数据,分别找出各特征序列的最大、最小值和出现的年份,计算极值比和变差系数,分析两个代表站的降水序列年际变化特征(见表1、表2)。

柏枝岙站降水特征值的变差系数 C_V 分布在 0.18~0.50 之间, 降水极值比分布在 2.44~7.03 之间; 沙段站降水特征值的变差系数 C_V 分布在 0.18~0.54 之间, 降水极值比分布在 2.36~7.18 之间。可以看出, 柏枝岙站、沙段站的变差系数 C_V 、降水极值比均较大, 且随着时间尺度的拉长逐渐减小, 说明所有数据序列的年内变化均较大, 且时间尺度越小年内变化越剧烈, 映证了月、旬等大时间尺度的水文情势演变会均化演变特征, 研究气候变化背景下极端事件规律, 需要缩小时间尺度进行深入分析, 才能为流域洪涝灾害防御提供真实有效的参考。

2. 不同年代频率变化趋势分析

对柏枝岙站、沙段站最大 1 d、

3 d、5 d、7 d 降水量指标序列中, 高于多年平均值 10%、20%、30%、40% 的短期强降水在各个年代出现频次的

表 1 柏枝岙站降水量年际变化特征

特征数据序列	多年平均 (mm)	C_V	最大降水量		最小降水量		降水极值比
			年份	降水 (mm)	年份	降水 (mm)	
最大 1 d	131.75	0.50	2007	348	1980	49.5	7.03
最大 3 d	188.53	0.43	2004	440.1	1991	72.4	6.08
最大 5 d	213.76	0.39	2004	440.1	1979	74.4	5.92
最大 7 d	240.85	0.37	2004	440.1	1979	90	4.89
年降水总量	1598.48	0.18	2019	2292	1979	939	2.44

表 2 沙段站降水量年际变化特征

特征数据序列	多年平均 (mm)	C_V	最大降水量		最小降水量		降水极值比
			年份	降水 (mm)	年份	降水 (mm)	
最大 1 d	138.94	0.54	2019	344.5	1998	48	7.18
最大 3 d	196.36	0.44	2019	402	1991	72.9	5.51
最大 5 d	218.01	0.39	1992	430.3	1991	87.7	4.91
最大 7 d	248.15	0.38	1990	504.1	1986	103.4	4.88
年降水总量	1637.96	0.18	2019	2282.5	2003	966.3	2.36

分布情况进行统计 (见图 1、图 2)。

柏枝岙站最大 1 d 降水量的长序列历史资料中, 高

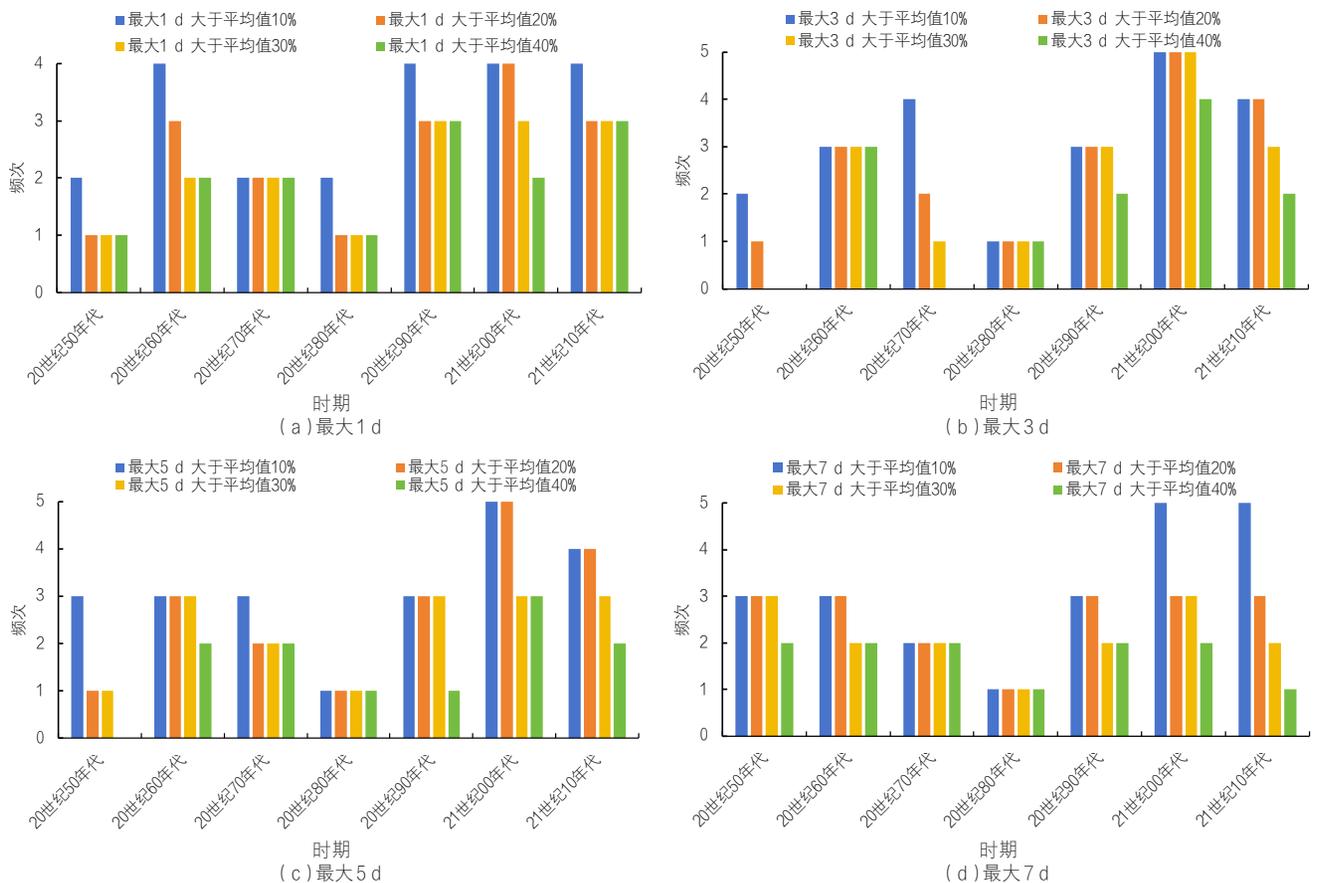


图 1 柏枝岙站各数据序列短期强降水出现频次分布

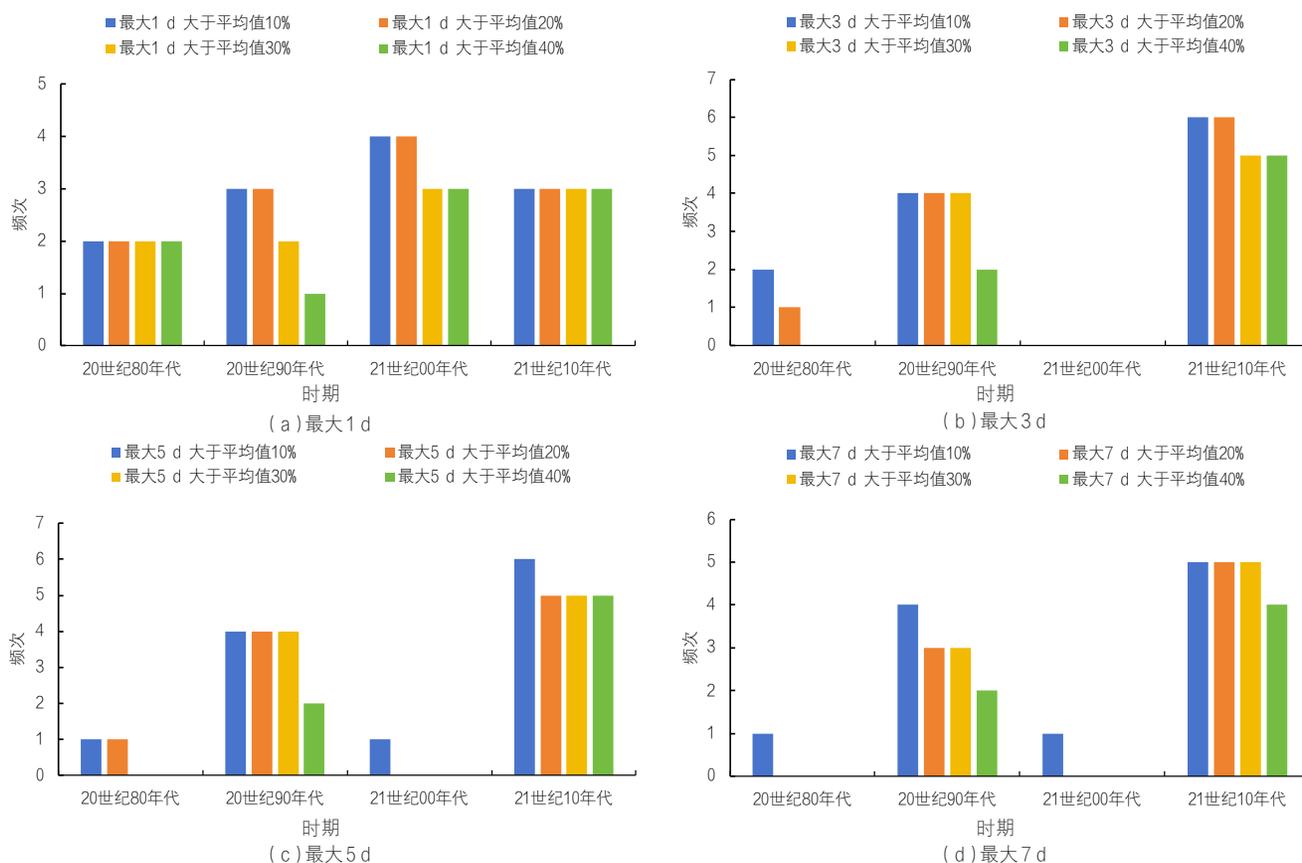


图2 沙段站各数据序列短期强降水出现频次分布

于多年平均值10%、20%、30%、40%的强降水,在20世纪90年代—21世纪10年代出现的频次明显多于20世纪50—80年代;最大3 d、5 d、7 d降水量的长序列历史资料中,高于多年平均值10%、20%、30%、40%的强降水,在21世纪初—10年代出现的频次显著增加。

沙段站最大1 d降水量的长序列历史资料中,高于多年平均值10%、20%、30%、40%的强降水,在21世纪初—10年代出现的频次明显多于20世纪80—90年代;最大3 d、5 d、7 d降水量的长序列历史资料中,短期强降水在21世纪10年代出现最为频繁。

3. 趋势分析

(1) 柏枝岙站趋势检验结果

柏枝岙站各特征数据序列趋势线的斜率均大于0,总体上呈现增加趋势(见图3)。

采用线性倾向分析方法对最大1 d、3 d、5 d、7 d降水量指标序列进行趋势分析,并采用Kendall法、Spearman法进行验证。柏枝岙站3种检验方法结果基本一致,说明检验结果可信度较高(见表3)。

柏枝岙站最大1 d、3 d、5 d、7 d降水序列采用3种方法计算出的统计量均小于临界值,各特征数据序列均未通过显著性水平检验,说明柏枝岙站各特征数据

序列均呈增加趋势,但增加趋势不显著。

(2) 沙段站趋势检验结果

沙段站各特征数据序列趋势线的斜率均大于0,总体上呈现增加趋势(见图4)。

沙段站3种检验方法的结果基本一致,说明趋势检验结果可信度较高(见表4)。

沙段站最大1 d、3 d、5 d、7 d降水序列采用3种方法计算出的统计量中,仅有线性倾向分析法最大1 d的统计量大于临界值,其余均小于临界值,综合3种方法计算结果,可以说明沙段站各特征数据序列均呈增加趋势,但增加趋势不显著。

4. 突变分析

由于沙段站数据序列较短,仅有40年,因此本次突变分析仅针对柏枝岙站。通过Pettitt法分析柏枝岙站最大1 d、3 d、5 d、7 d短期强降水突变年份,并采用累积距平法、滑动秩和检验法进行验证。3种方法检验结果基本一致,说明突变检验结果可信度较高(见表5)。

柏枝岙站最大1 d降水量序列虽未通过突变显著性检验,但2003年后的均值比2003年前增加了30%以上;最大3 d、5 d、7 d降水量长序列数据序列突变年份集中

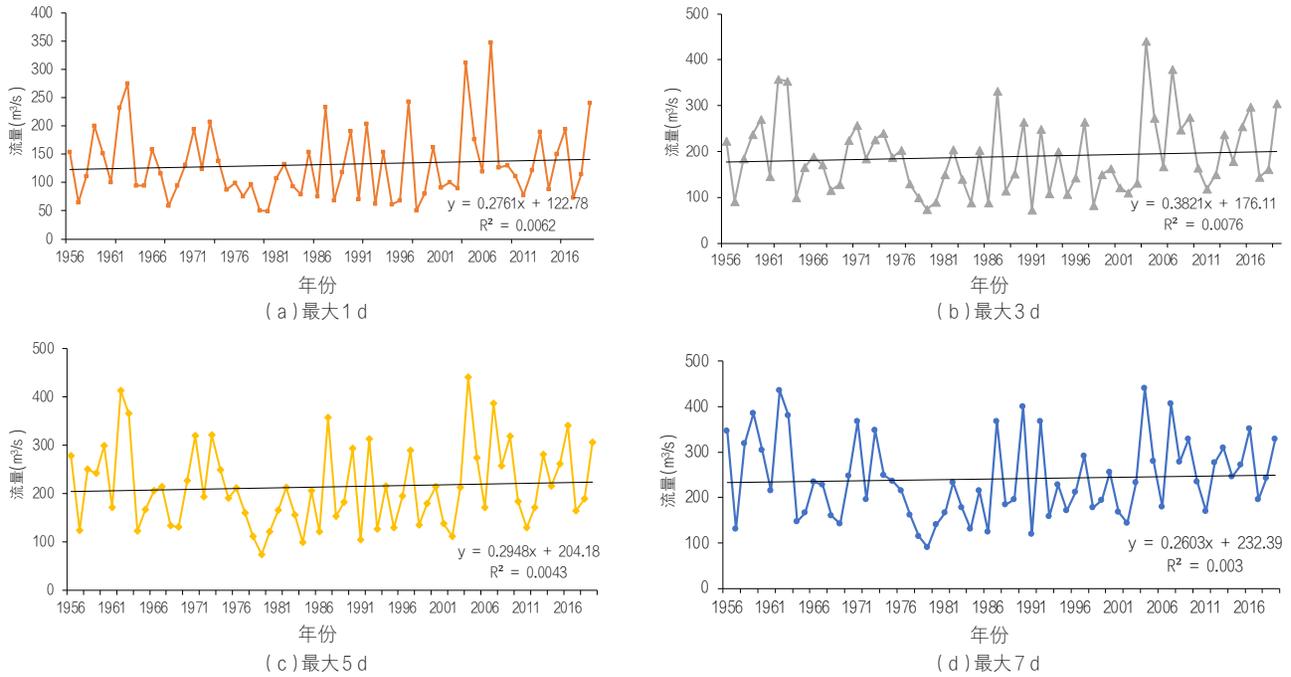


图3 柏枝岙站各特征数据序列趋势

表3 柏枝岙站趋势检验结果

特征数据序列	线性倾向分析法 $R=0.259$		Kendall秩次相关法 $U=1.96$		Spearman法 $T=1.64$	
	统计量 R	显著性水平	统计量 U	显著性水平	统计量 T	显著性水平
最大1d	0.079	不显著	0.21	不显著	0.25	不显著
最大3d	0.087	不显著	0.58	不显著	0.55	不显著
最大5d	0.066	不显著	0.50	不显著	0.56	不显著
最大7d	0.055	不显著	0.88	不显著	0.81	不显著

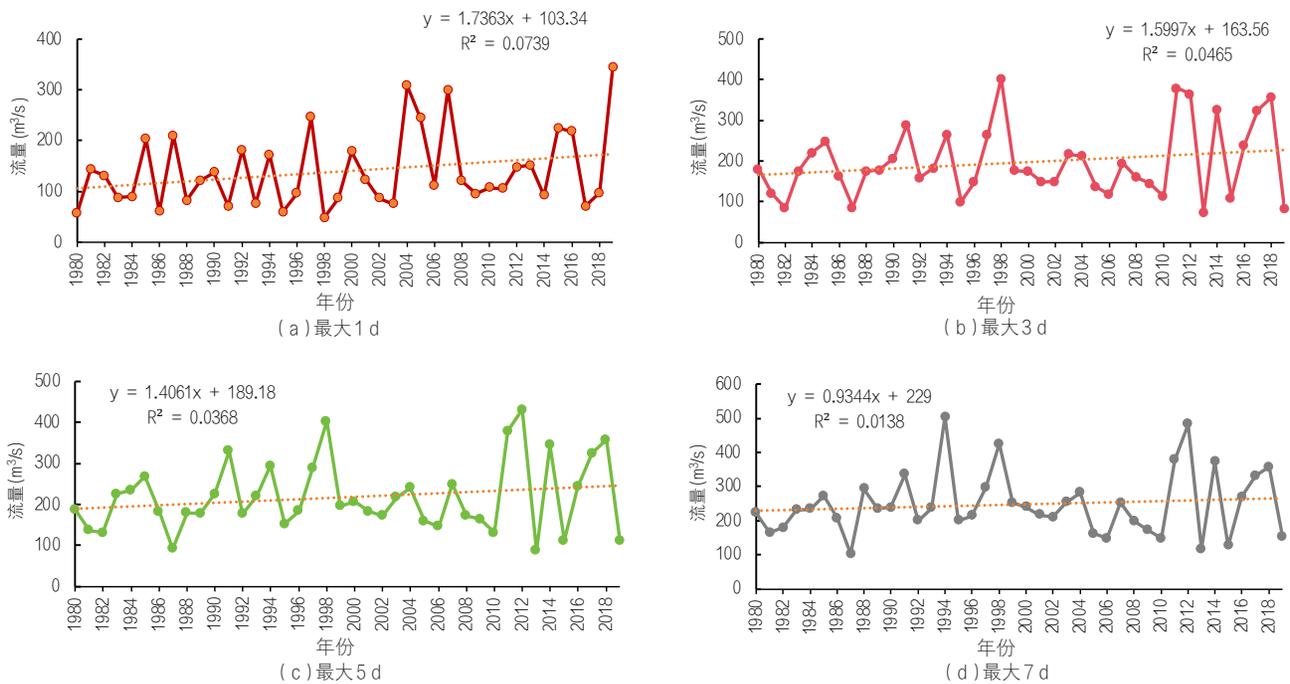


图4 沙段站各特征数据序列趋势

表4 沙段站趋势检验结果

特征数据序列	线性倾向分析法 $R=0.259$		Kendall法 $U=1.96$		Spearman法 $T=1.64$	
	统计量 R	显著性水平	统计量 U	显著性水平	统计量 T	显著性水平
最大1 d	0.272	显著	1.49	不显著	1.57	不显著
最大3 d	0.216	不显著	0.34	不显著	0.52	不显著
最大5 d	0.192	不显著	0.40	不显著	0.58	不显著
最大7 d	0.117	不显著	0.46	不显著	0.42	不显著

表5 柏枝岙站突变检验结果

检验方法	统计指标	最大1 d	最大3 d	最大5 d	最大7 d	年降水总量
Pettitt法 $R=0.5$	突变年份	2003年	2003年	2002年	2002年	1988年
	R	0.576	0.113	0.2814	0.164	0.679
	统计意义	不显著	显著	显著	显著	不显著
	突变前均值 (mm)	121.99	172.39	199.61	226.46	1538.70
	突变后均值 (mm)	161.04	236.94	252.89	280.65	1662.13
	突变后前均值比	1.320	1.374	1.267	1.239	1.080
累积距平法 $T=1.64$	突变年份	2004年	2004年	2004年	2004年	1989年
	T	1.28	1.9	1.54	1.62	1.56
	统计意义	不显著	显著	不显著	不显著	不显著
	突变前均值 (mm)	125.88	177.85	204.78	230.96	1545.22
	突变后均值 (mm)	150.93	223.4	243.1	273.17	1658.84
	突变后前均值比	1.199	1.256	1.187	1.183	1.074
滑动秩和法 $U=1.96$	突变年份	2004年	2004年	2004年	2004年	1987年
	U	1.43	2.11	1.98	2.29	1.65
	统计意义	不显著	显著	显著	显著	不显著
	突变前均值 (mm)	125.88	177.85	204.78	230.96	1544.38
	突变后均值 (mm)	150.93	223.4	243.1	273.17	1652.59
	突变后前均值比	1.199	1.256	1.187	1.183	1.070

在2002—2004年,且突变后比突变前增加了20%以上;年降水总量长系列数据序列未发生显著性突变,且前后均值比较小。可以看出时间尺度越小,突变后前均值比越大,说明气候变化对年降水总量产生影响较小,但对椒江流域短历时降水产生了显著影响,这将导致流域年内降水分布愈加不均匀,遭遇水旱灾害的风险进一步增加,防洪与供水的矛盾将更加突显,水库等工程调度的难度将进一步加大。

降水既是气候的重要因素,也是洪涝灾害最关键的致灾因子。气候变暖导致全球水循环发生变化,从而影响台风、降水等致灾因子的强度和时空分布,导致洪涝灾害风险研判面临更大不确定性。本研究选择降水为研究对象,试图通过降水变化规律的分析,找出气

候变化对椒江流域洪涝灾害风险的影响。综合相关专家研究成果和本研究初步结论,在21世纪前后椒江流域短期强降水出现频次增加、长系列发生显著突变,与太平洋海表温度模态年代际相位发生变化基本同步,且同期因全球变暖引起热带扩张进而导致台风在中纬度地区更为活跃,也从侧面验证了降水规律的合理性。

四、椒江流域径流演变规律分析

考虑到径流受气候变化和人类活动的共同影响,且更为关注永安溪和始丰溪汇合后临海段的洪涝灾害,因此选取柏枝岙站、沙段站1980年以来同一历史时期的最大1 d、3 d、5 d、7 d平均流量和洪峰流量进行分析(见图5、图6)。

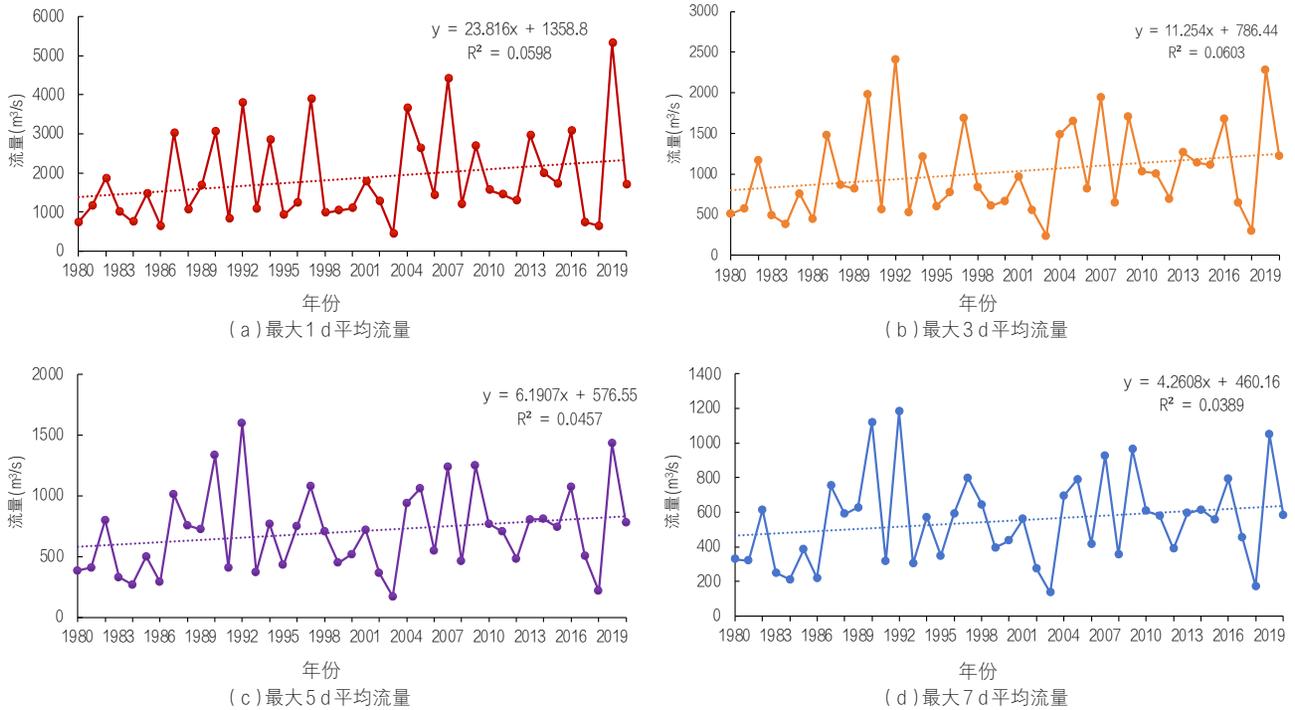


图5 柏枝岙站平均流量各特征数据趋势

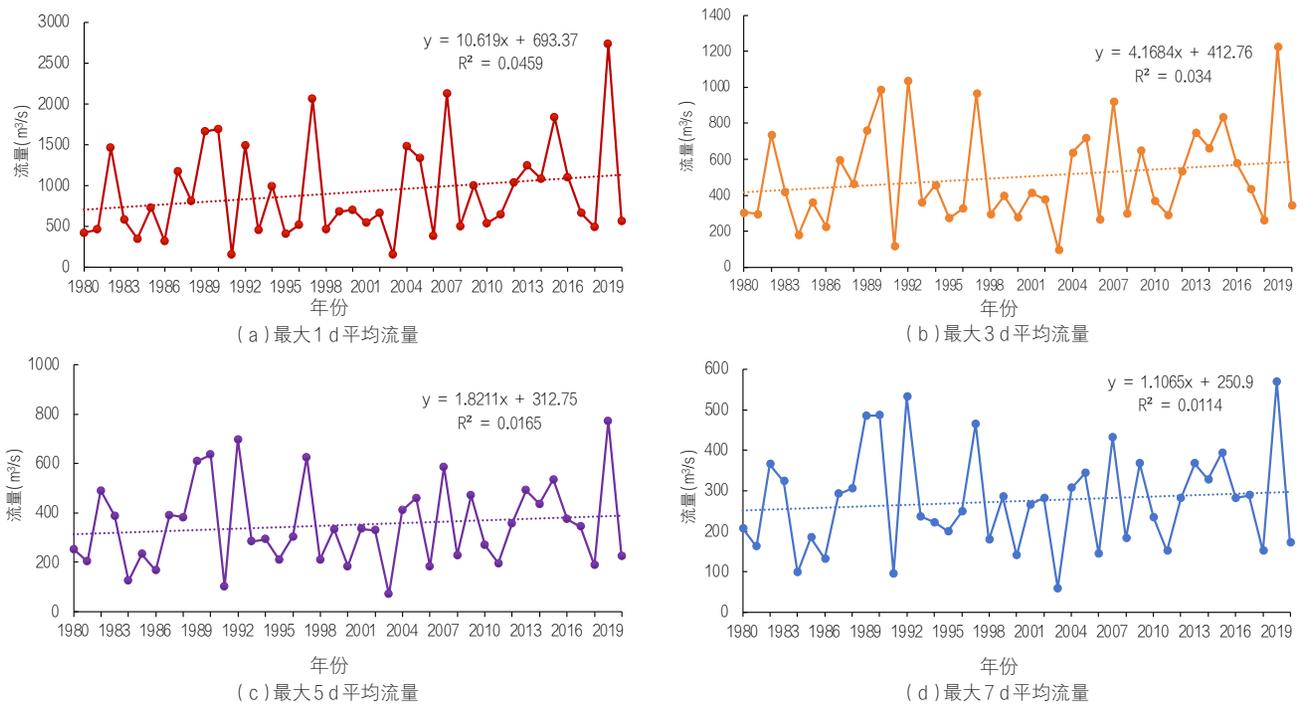


图6 沙段站平均流量各特征数据趋势

最大1 d、3 d、5 d、7 d平均流量序列均未通过显著性水平检验,说明平均流量各特征数据序列增加趋势不显著,相较于同期降水序列,径流序列的增加趋势总体一致、略有放缓(见图7)。

柏枝岙站、沙段站洪峰流量呈增加趋势,均通过显著性水平为 $\alpha = 0.05$ 的假设检验,说明两个代表站的

洪峰流量序列呈显著性增加趋势。

综合柏枝岙站、沙段站平均流量、洪峰流量分析结果,二者均呈增加趋势,但是增加幅度依次为洪峰流量,最大1 d、3 d、5 d、7 d平均流量,时间尺度越大增加趋势越弱,说明气候变化对短历时的流量过程影响更显著。相较于同期的降水变化规律,可以发现柏枝岙站最

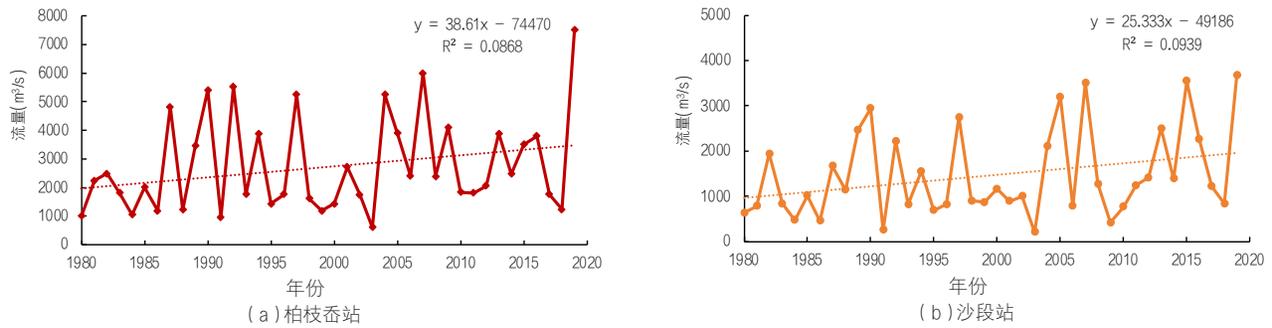


图7 柏枝岙站、沙段站洪峰流量趋势

大3 d、5 d、7 d平均流量序列的增加趋势比降雨序列增加趋势有所平缓,沙段站各流量序列较降雨序列增加趋势有所平缓,说明自20世纪80年代以来,虽然城镇扩张导致永安溪、始丰溪流域行蓄洪空间减少,但是随着防洪工程不断建设和优化调度水平不断提高,在洪量拦蓄方面人类活动正向作用比负向作用更加显著,所以对降水的增加趋势有一定减缓作用。但两代表站洪峰流量呈显著性增加趋势,也反映出永安溪、始丰溪流域,甚至整个椒江流域(考虑到两个流域洪水叠加的影响)都可能面临更大的洪涝灾害风险。

五、短期强降水趋多趋强的防控策略

针对气候变化带来的降雨年内分布不均、极值增大且频率趋高的情势以及现状防洪体系仍存在薄弱环节的现实,需加快完善防洪基础设施布局,推进数字孪生流域建设,强化洪水风险管理,构筑立体化防洪体系,系统增强安全韧性。

1. 完善防洪保安工程体系

强化底线思维、极限思维,按照“增蓄、分洪、快排、强防”思路构建流域防洪排涝体系,锻造防洪减灾硬实力。增蓄:摸排流域适宜建库的坝址资源,谋划新建水库;采取大坝加高扩容、泄洪设施改造等措施,提升已建水库防洪能力;针对库区征地水位低等历史遗留问题,采取库中库、挖石成库、洪水保险等措施,保障水库设计功能正常发挥。分洪:以应对历史最大洪水、保障临海城区等重点区域防洪安全为目标,研究布设蓄滞洪区和分洪通道,避免始丰溪和永安溪洪水集中汇流对临海等中下游地区造成冲击。快排:清理违规占用水域,打通河道堵点,畅通洪水出路;建设排涝泵站,增强城镇和平原涝水外排能力,并研究其对干流水位的影响,复核评估流域尤其是中下游地区防洪能力。强防:封闭加固沿线堤防及薄弱点;针对临海古城

墙段文物保护与防洪能力提升两难问题,采取移动式、装配式挡板等应急措施。在此基础上加强工程健康监测,基于大数据和人工智能,研究建立水利工程安全监测平台,常态化开展工程健康状况评估诊断,及时预警干预,提高工程本质安全。

2. 加快建设数字孪生流域

按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求,一是加强感知系统建设,用好“工程+”建设机制,强化卫星遥感及无人机、无人船等新型监测技术应用,完善流域水文、水资源、水利工程等全要素监测站网布局,加快构建“天空地水工”一体化监测感知体系,汇集流域基础、水雨工情监测、业务管理、工程等数据信息,为数字孪生流域提供全面的“算据”支撑;二是加强模型和平台研发应用,结合椒江流域降雨、洪水、台风暴潮、山洪灾害等过程,建立水文、水力学、调度、风险研判等专业模型,精准模拟流域产汇流过程和洪涝风险,为数字孪生流域建设提供智能实用“算法”服务,提高流域洪水防御预报、预警、预演、预案“四预”功能。

3. 强化洪涝灾害风险管控

针对气候变化影响和防洪安全保障需求,一是加强洪水风险图社会化应用:建立健全洪水风险图动态调整机制,结合城镇开发建设动态,适时调整洪涝风险区范围和风险等级,相关成果纳入国土空间总体规划,严格管控洪涝控制线;建立洪水风险图发布制度,制定洪水风险图社会化应用的配套指导意见,约束风险范围内的开发建设活动,推动洪涝风险管理从被动适应向主动规避转变。二是强化应急避险管理:在临海城区、大田平原等区域安排防洪高地,平急两用,作为防汛抢险物资集散、群众避险等应急场所;完善避灾场所,全面检视、及时修订完善应急预案,落实临灾预警“叫应”措施,加强实战演练,确保超标准洪水面前

不乱阵脚、不打乱仗。

六、结论与展望

1. 结论

短期强降水近年来更加频繁。柏枝岙站、沙段站最大1 d、3 d、5 d、7 d降水量长系列数据序列年际变化较大,且柏枝岙站短期强降水在近20年出现的频次明显增加,沙段站短期强降水在近10年出现的频次明显增加,说明气候变化背景下,椒江流域短期强降水变得更加频繁。

短期强降水的降水量总体呈增加趋势。柏枝岙站、沙段站最大1 d、3 d、5 d、7 d长系列数据序列总体上呈现增加趋势,但增加趋势不显著。

气候变化对短历时降水产生了显著影响。柏枝岙站最大1 d、3 d、5 d、7 d降水量长系列数据序列突变点发生在21世纪初,突变后比突变前均值增加了20%以上,而年降水量没有发生显著突变,说明在21世纪前后气候变化对椒江流域年降水总量影响较小,但对短历时降水影响显著,反映出年内降水分布愈加不均匀,遭遇水旱灾害风险进一步增加。

各日均流量、洪峰流量序列呈增加趋势。在1980年后约40年间柏枝岙站、沙段站最大3 d、5 d、7 d平均流量呈不显著增加趋势,时间尺度越大增加趋势越弱,说明气候变化对短期流量过程影响更剧烈;流量序列增幅较同期降水有所减缓,说明防洪工程建设、优化调度水平等人类活动正向作用比负向作用更显著,对降水增加趋势起到了缓冲作用,也验证了近年防洪减灾体系的建设成效;洪峰流量呈显著性增加趋势,考虑到永安溪、始丰河流域叠加影响,未来流域防洪任务依然任重道远。

亟须系统提升安全韧性和抗风险能力。针对气候变化影响和防洪安全保障要求,需立足流域系统治理,树牢底线思维,统筹推进工程与非工程措施,全面提升流域防洪保安能力,有效防范化解重大风险,增强人民群众安全感。

2. 展望

一是椒江流域地形复杂,小流域众多,用两个代表站点的短期强降水演变趋势代表椒江流域,存在一定局限性,未来可尝试选择更多水文站点,进一步体现椒江流域水文情势演变规律的空间差异;二是研究方法多是时间序列的数理统计,未来可引入具有物理机制的模型,深入分析短期强降水变化规律的机理成因,

并通过模型的模拟计算,定量研究短期强降水变化规律对流域洪涝灾害风险的影响程度。

参考文献:

- [1] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书(2023)[M]. 北京:科学出版社,2023.
- [2] 周妍,魏晓雯. 科学应对气候变化 全面增强水系统韧性——访中国工程院院士、水利部应对气候变化研究中心主任张建云[EB/OL]. (2022-08-25) [2025-08-12]. <https://www.waterconserving.cn/talks/detail/5454>.
- [3] 李国英. 深入贯彻落实党的二十大精神 扎实推动新阶段水利高质量发展——在2023年全国水利工作会议上的讲话[J]. 水利发展研究, 2023, 23(1):1-11.
- [4] 李国英. 为以中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业提供有力的水安全保障——在2024年全国水利工作会议上的讲话[J]. 中国水利, 2024(2):1-9.
- [5] 李文鑫,金君良,舒章康,等. 气候变化对嘉陵江流域水资源和极端水文事件的影响[J]. 水利水运工程学报, 2024(2):20-33.
- [6] 舒章康,李文鑫,张建云,等. 中国极端降水和高温历史变化及未来趋势[J]. 中国工程科学, 2022, 24(5):116-125.
- [7] 严昌盛,王鹏,靳莉君,等. 1961—2020年黄河流域降水时空变化特征研究[J]. 水文, 2024, 44(5):84-91.
- [8] 郝婷婷,钟平安,魏蓬. 淮河流域近50年天然径流演变规律分析[J]. 水电能源科学, 2011, 29(9):4-7+27.
- [9] 刘颖,吴昊,蒙天易,等. 偏岩河流域年径流序列一致性分析[J]. 黑龙江水利科技, 2024, 52(3):73-75.
- [10] 余锡平,单楷越. 华北平原极端暴雨洪水事件共性机制探讨及对策建议[J]. 中国水利, 2023(18):24-28.
- [11] 余锡平,张安一方,单楷越. 气候变化背景下珠江口地区台风风暴潮和流域洪水遭遇事件的风险探究[J]. 中国水利, 2024(14):27-32.
- [12] 单楷越,余锡平,宋丰飞. 全球变暖导致超强台风季节提前[J]. 科学通报, 2023, 68(36):4885-4886.
- [13] 国家水网建设规划纲要[J]. 中国水利, 2023(11):1-7.
- [14] 李国英. 加快建设数字孪生流域 提升国家水安全保障能力[J]. 中国水利, 2022(20):1.
- [15] 李国英. 在水旱灾害防御工作视频会议上的讲话[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(3):4-5.

责任编辑 李博远