

近45年来浏阳河流域极端降水变化

于泽兴¹, 胡国华¹, 陈肖¹, 顾庆福², 邵全喜^{1,3}, 宋荷花⁴

(1. 长沙理工大学 水利工程学院, 长沙 410114; 2. 湖南省水文水资源勘测局, 长沙 410007; 3. 澳大利亚国家数据研究所, 佛意特 WA6014; 4. 长沙水文水资源勘测局, 长沙 410001)

摘要: 利用1969—2013年浏阳河流域12个雨量站的降水资料, 结合百分位方法定义极端降水阈值, 采用线性回归、滑动平均、Mann-Kendall检验、累积距平联合滑动 t 检验和Morlet小波分析等方法分析了极端降水指数的演变规律。结果表明: (1) 极端降水量、极端降水强度、极端降水比率表现为上升趋势, 10年上升率分别为7.3 mm, 9.5 mm/d, 0.3%, 极端降水日数表现为下降趋势, 下降率为-0.054 d/10 a。(2) 极端降水量、极端降水强度分别在1991年、1992年存在明显突变, 极端降水日数、极端降水比率突变不显著。(3) 极端降水指数均存在7~8 a, 10~11 a和25~27 a的主周期, 且丰枯交替变化明显。研究结果对于指导浏阳河流域的防洪减灾具有重要意义。

关键词: 极端降水; Mann-Kendall检验; Morlet小波分析; 累积距平联合滑动 t 检验; 浏阳河流域

中图分类号: TV122⁺.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)05-0139-05

Change in Extreme Precipitation in Liuyang River Basin During the Past 45 Years

YU Zexing¹, HU Guohua¹, CHEN Xiao¹, GU Qingfu², SHAO Quanxi^{1,3}, SONG Hehua⁴

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Hydrology & Water Resources Bureau of Hunan Province, Changsha 410007, China; 3. CSIRO Data, Floreat WA6014, Australia; 4. Hydrology & Water Resources Bureau of Changsha, Changsha 410014, China)

Abstract: Based on daily precipitation data from 12 weather stations in Liuyang River Basin during the period of 1969—2013 and the percentile-based threshold method, the extreme precipitation indices were analyzed by using linear regression, moving average, Mann-Kendall test, accumulative anomaly combined with moving t test and Morlet wavelet. The results indicated that: (1) extreme precipitation, precipitation intensity and precipitation ratio displayed increasing trends at the rates of 7.3 mm/decade, 9.5 mm/d and 0.3%, respectively, while the number of extreme precipitation days represented a decreasing trend at the rate of -0.054 d/decade; (2) abrupt changes in the extreme precipitation and precipitation intensity were detected in 1991 and 1992, respectively, while the number of extreme precipitation days and the ratio of extreme precipitation ratio to the total precipitation amounts were not statistically significant; (3) the extreme precipitation indices had the main oscillation cycles of 7~8 years, 10~11 years and 25~27 years, respectively, together with clear alternation between dry and wet years. The results are of great importance in flood control and disaster reduction in Liuyang River Basin.

Keywords: extreme precipitation; Mann-Kendall test; morlet wavelet analysis; accumulative anomaly combined moving t test; Liuyang River Basin

受全球变暖和水循环加剧的影响, 区域气候也在发生着变化, 极端降水事件的频率增加, 干旱、洪涝灾害等极值事件频发, 对区域的社会经济和生态环境造成了严重影响。分析极端降水事件的演变规律有利于科学理解洪旱灾害的时空分布, 为减少灾害损失以

及水资源管理提供科学依据^[1-4]。目前针对不同的地理区位和气候环境, 对中尺度流域极端降水事件的研究取得了许多成果, 如我国的淮河流域、东江流域、红河流域、黑河流域、泾河流域和湘江流域等区域极端降水事件的时空变化进行了相关研究^[5-10]。极端

降水事件在不同的时空尺度都有其各自的特点,大尺度区域的气候变化特点和趋势变化具有较高的相似性和一致性,而对于中、小区域尺度上的降水变化规律却存在着较大的差异和相反的变化特征,由于不同区域在地形、气候环境方面存在着差异,具体的区域仍急需开展相关的研究和评估工作。

浏阳河流域位于湖南省东北部,途径浏阳市、长沙县及长沙市区。该区域经济发达,2015 年浏阳市县域经济与县域基本竞争力排名跃升至全国百强 28 位。浏阳河流域上游的株树桥水库是长沙市的饮用水源地,影响着浏阳和长沙数百万人口和工农业生产。但受气候和地理因素的制约,旱涝频率高,已成为影响浏阳市农业生产的第一大气象灾害,是制约该地区农业经济持续发展的主要因素^[1]。本文使用线性回归、滑动平均、Mann-Kendall 检验、累积距平联合滑动 t 联合检验和 Morlet 小波分析等统计方法,研究近 45 a 来浏阳河流域极端降水事件的演变规律,以期当地政府应对极端气候和旱涝灾害提供科学依据。

1 流域概况

浏阳河是湘江的一级支流,发源于大围山北部的横山坳,有大溪河和小溪河两个源流,全长 235 km,流域面积 4 665 km²。浏阳河流域地势自东北向西南倾斜,以山地丘陵为主。流域属亚热带湿润季风气候,气候温和,降水充沛,光照充足,全年四季差异明显,年平均气温 17.6℃,年平均降水量 1 568 mm。浏

阳河流域水系及雨量站分布见图 1。

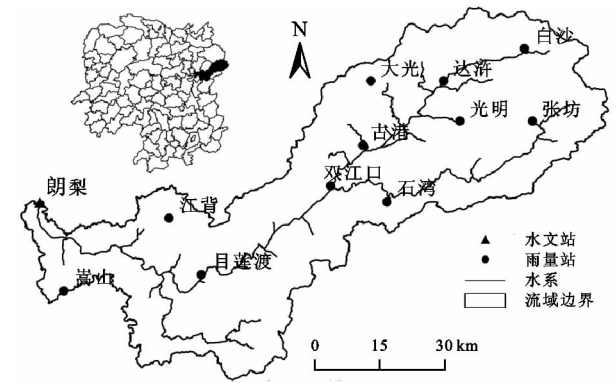


图 1 浏阳河流域水系与雨量站点图

2 资料来源与研究方法

2.1 资料来源

本研究采用的原始数据为浏阳河流域内 12 个雨量站 1969—2013 年实测逐日降水数据,数据来源于湖南省水文水资源勘测局。所有数据经过严格的质量控制和错误修正。为便于分析,依据世界气象组织的规定,采用国际通用的百分位计算法来确定极端降水事件的阈值^[12]。本文选取极端降水量、极端降水日数、极端降水强度和极端降水比率 4 个降水指数来反映浏阳河流域极端降水事件的基本特征(表 1)。浏阳河流域各雨量站的极端降水指数通过 RClimDex 软件计算得到。浏阳河全流域的极端降水指数则通过 12 个雨量站的算术平均值求得,并通过建立极端降水指数的时间序列来分析极端降水指数的年际变化特征。

表 1 采用的极端降水指标

降水指标	指标含义	单位
极端降水量	降水量大于降水序列 95% 分位数的总降水量	mm
极端降水日数	降水量大于降水序列 95% 分位数的总日数	d
极端降水强度	降水量大于降水序列 95% 分位数的日平均降水量	mm/d
极端降水比率	极端降水量占总降水量的比值	1

2.2 研究方法

2.2.1 趋势分析 采用线性回归法和 5 a 滑动平均法进行极端降水时间序列趋势分析,该方法能够有效消除序列波动的影响以及简单判断时间序列的增减趋势。

Mann-Kendall 非参数检验法^[13-14](以下简称 MK 检验)是由世界气象组织(WMO)推荐的一种非参数检验法,常用于检验降水、径流和温度等水文气象要素的趋势显著变化,其优点在于样本可以不满足一定的分布,同样不受异常值的干扰,且计算简便。该法适用于水文气象序列服从非正态分布并且已得到广泛应用。

2.2.2 突变分析 累积距平曲线联合滑动 t 联合检验^[15]的原理是先通过找出累积距平曲线的最大值和

最小值来初步确定为变点,然后初步识别的变点利用滑动 t 检验进行精确识别。

2.2.3 周期分析 小波变换具有时域和频域上同时局部化的特点,水文气象序列时域的变换具有局部性和多尺度性。小波分析给出了水文气象要素时间序列不同层次下的变化尺度,通过小波系数分析可以识别降雨时间序列的多时间尺度的周期性和突变性^[16]。因此,本文选用 Morlet 小波对浏阳河流域 45 a 的极端水文气象序列进行分析。

3 结果与分析

3.1 极端降水变化趋势

用线性回归和 5 a 滑动平均法分析得到的浏阳

河流域各极端降水指数的时间序列趋势变化见图 2。分析可知,极端降水量呈上升趋势,上升率为 7.3 mm/10 a。极端降水量的多年平均值为 468.41 mm,其中有 20 个年份的极端降水量高于平均值,25 个年份的极端降水量低于平均值,极端降水量最多的年份为 1998 年的 1 102.5 mm,极端降水量最少的年份为 2007 年的 119.5 mm。极端降水日数呈微弱下降趋势,下降率为-0.054 d/10 a,极端降水日数的多年平均值为 9 d,其中有 15 个年份的极端降水日数高于平均值,21 个年份的极端降水日数低于平均值,4 个年份极端降水日数等于平均值。极端降水日数最多的年份为 1998 年的 15 d,极端降水日数最少的年份

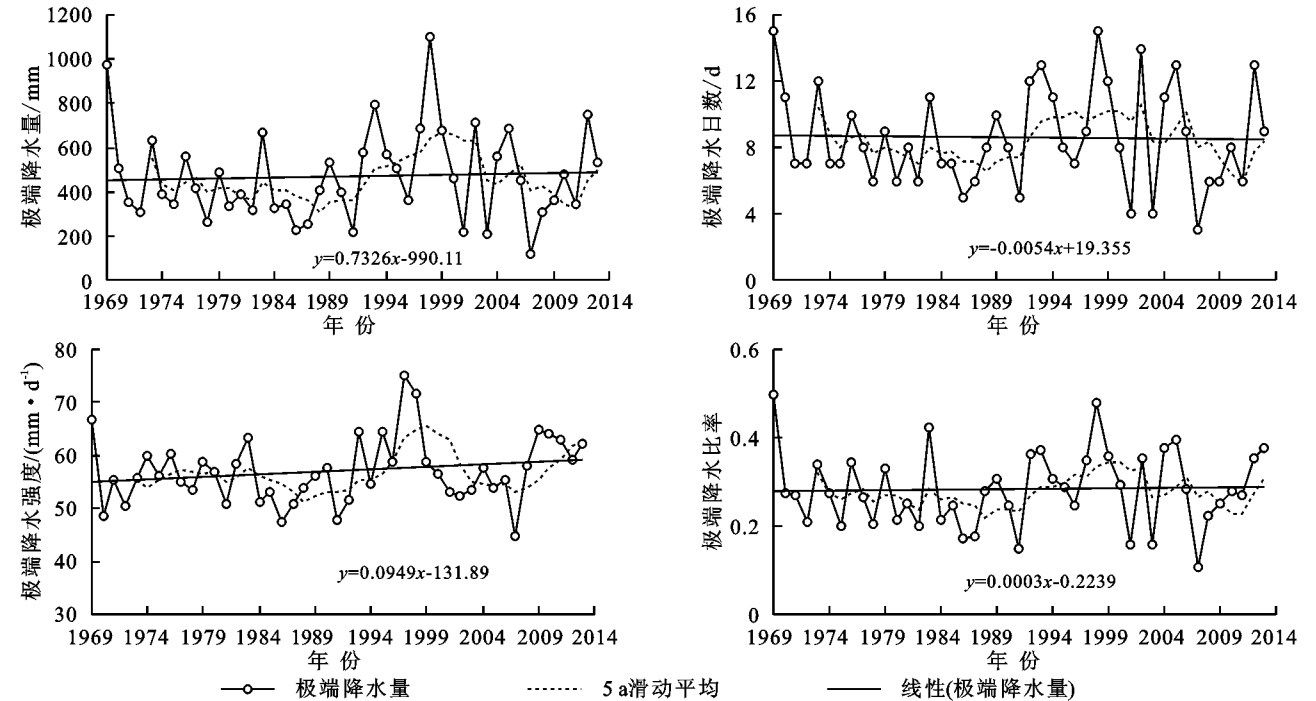


图 2 极端降水指数的线性趋势

计算浏阳河流域 12 个雨量站点的逐年极端降水指数的算术平均值,并建立各极端降水指数的时间序列。通过 MK 检验获得浏阳河流域各极端降水指数的统计量,在 95% 的置信区间下,极端降水指数中极端降水量、极端降水强度和极端降水比率均呈上升趋势,极端降水日数呈下降趋势,变化趋势均不显著(表 2),这与线性回归趋势分析的结果一致。

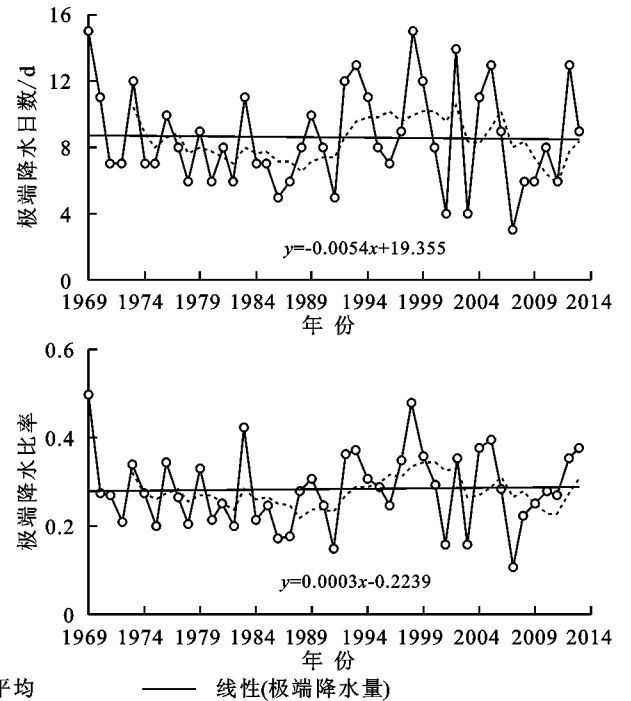
表 2 极端降水指数 MK 统计量 Z 值

降水指数	统计量 Z	临界值	变化趋势	是否显著
极端降水量	0.44	± 1.96	增加	否
极端降水日数	-0.059	± 1.96	减少	否
极端降水强度	1.438	± 1.96	增加	否
极端降水比率	0.64	± 1.96	增加	否

3.2 极端降水突变分析

从图 3 可以看出,极端降水量累积距平曲线的最

高点年份为 1970 年,最低点年份为 1991 年,由于 1970 年前后资料长度的限制,无法判定其是否为变异点,因此初步选取 1991 年为极端降水量的变异点。同理选取极端降水日数、极端降水强度和极端降水比率的初步变点分别为 1991 年、1992 年和 1991 年。



对累积距平曲线法初步确定的变异点,运用滑动 t 检验法进行精确识别。分别在变异点前取 10 a 和后取 10 a,计算出变异点对应的 t 值;通过表 3 可知,极端降水量和极端降水强度分别在 1991 年、1992 年超过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平,均发生显著性均值突变。极端降水日数和极端降水比率在初始变点 1991 年均无显著性均值突变发生。

采用 Morlet 小波对近 45 a 来浏阳河流域极端降水指数进行周期分析,得到极端降水指数距平序列

3.3 极端降水周期分析

采用 Morlet 小波对近 45 a 来浏阳河流域极端降水指数进行周期分析,得到极端降水指数距平序列

小波变换系数的实部二维等值线图,见图 4。实部图中的实线表示小波变换系数为正值,表示极端降水指

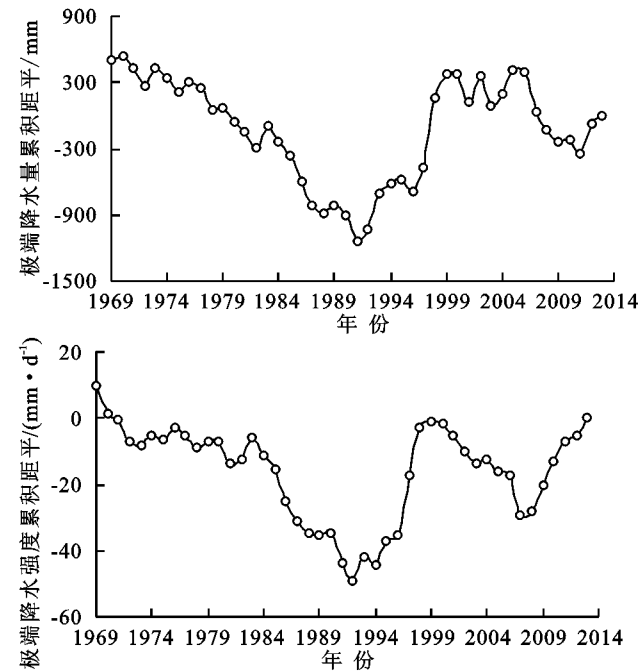


图 3 极端降水指数累积距平曲线

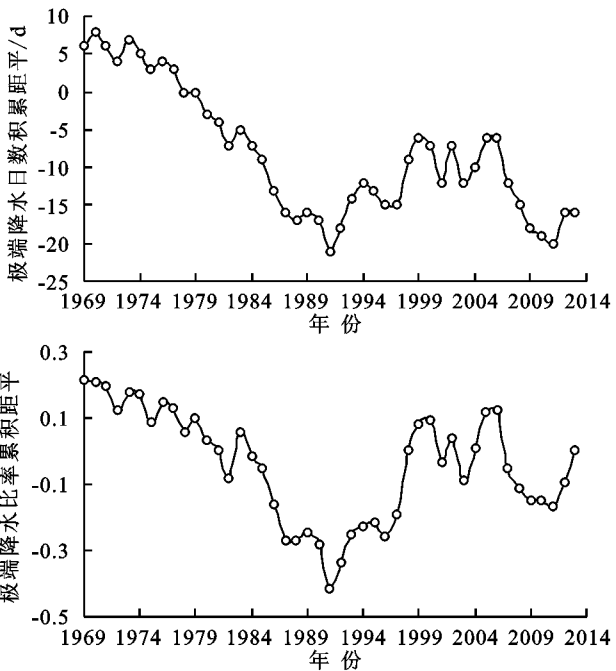
表 3 极端降水指数滑动 t 检验

降水指数	初始变点	统计量 t 值	临界 $t_{\alpha/2}(\alpha=0.05)$	是否显著
极端降水量	1991	-2.417	2.1	显著
极端降水日数	1991	-2.029	2.1	不显著
极端降水强度	1992	-2.518	2.1	显著
极端降水比率	1991	-2.051	2.1	不显著

极端降水量存在 8 a、11 a 和 25 a 的主周期,以 25 a 左右周期的相位变化最为显著,存在 2 个偏多期和 3 个偏少期,经历了“偏少—偏多—偏少—偏多—偏少”的 5 个交替变化。1978—1985 年和 1997—2002 年处于正相位,极端降水为偏多期,其余时段处于负相位,极端降水为偏少期,且负相位的等值线未完全闭合,可以推断 2013 年以后的一段时间极端降水仍然可能处于偏少期。以 8 a 为中心尺度的相位变化主要发生在 1998—2013 年,交替变化十分剧烈。以 11 a 为中心尺度的相位变化主要发生在 1969—1985 年。以上 3 个主周期波动控制着浏阳河流域极端降水量在整个时间域内的变化。极端降水日数存在 8 a、11 a 和 27 a 的主周期,以 8 a 左右周期的相位变化最为显著。在 1990 年之前表现为 11 a 左右的周期变化,在 1990—2000 年表现为 8 a 左右的周期振荡。以 27 a 左右为中心尺度的相位变化存在 2 个偏多期和 1 个偏少期。

极端降水强度存在 10 a、18 a 和 27 a 的主周期,以 27 a 左右周期的相位变化最为显著,经历了“偏少—偏多—偏少—偏多—偏少”的 5 个交替变化。以 18 a 左右

数处于偏大期;虚线表示为负值,表示极端降水指数处于偏小期。



为中心尺度的相位变化存在 4 个偏多期和 3 个偏少期。以 10 a 左右为中心尺度的相位变化基本贯穿于整个时间序列,且交替变化十分剧烈。极端降水比率存在 8 a、11 a 和 27 a 的主周期,以 27 a 左右周期的相位变化最为显著。在 1969—1995 年表现为 11 a 左右的周期变化,在 1995 年之后表现为 8 a 左右的周期变化。总之,极端降水指数的主周期和相位变化大体一致,都体现为小尺度的相位变化嵌套在大尺度的相位变化中。

4 结论与讨论

(1) 通过线性回归和 5 a 滑动平均法分析得到的浏阳河流域极端降水量、极端降水强度和极端降水比率呈上升趋势,极端降水日数呈下降趋势,极端降水对浏阳河流域降水量的影响越来越大。在 95% 的置信区间下,采用 MK 检验得到结果与线性回归的结果一致,且变化趋势在不同时期都不显著。

(2) 通过累积距平联合滑动 t 联合检验发现浏阳河流域极端降水量和极端降水强度分别在 1991 年、1992 年发生显著性均值突变。极端降水日数和极端降水比率的初始变点在 1991 年,均未发生显著性均值突变。

(3) 通过 Morlet 小波进行周期分析可以发现,各极端降水指数均存在 7~8 a、10~11 a 和 25~27 a 左右的主周期,且丰枯交替变化明显。各极端降水指数的相位时间变化尺度大体一致,均表现为小尺度嵌套于大尺度相位变化中。

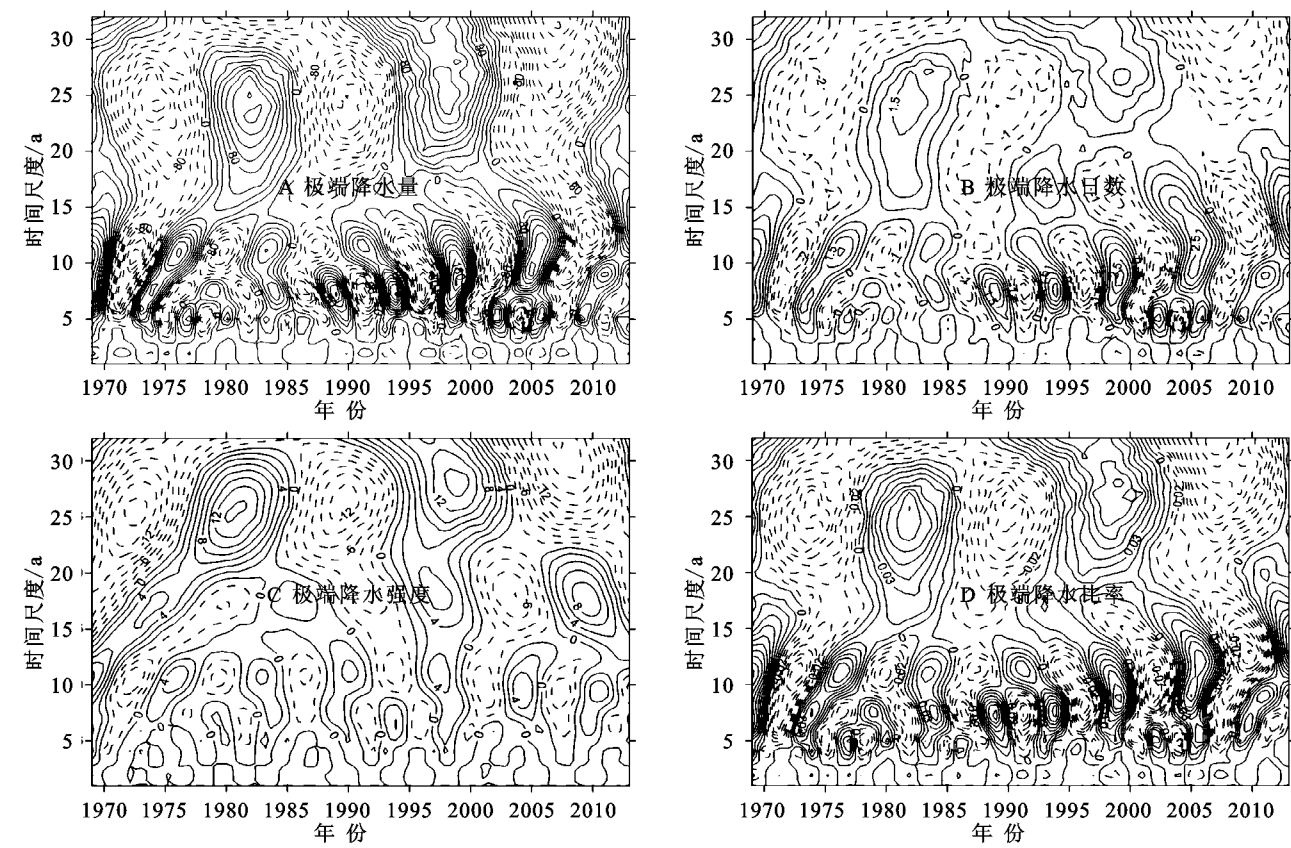


图 4 极端降水指数的小波变换系数二维等值线

(4) 引起极端降水变化的原因是复杂的,可能与人类活动、大气环流、太阳黑子及地形等因素有关,各极端降水指数在空间上是如何变化的,具体的影响机理是什么,有待进一步研究,以期为浏阳市的旱涝管理和防洪决策调度提供决策依据。

参考文献:

[1] 任正果,张明军,王圣杰,等. 1961—2011 年中国南方地区极端降水事件变化[J]. 地理学报,2014,69(5):640-649.

[2] 张强,李剑锋,陈晓宏,等. 基于 Copula 函数的新疆极端降水概率时空变化特征[J]. 地理学报,2011,66(1):3-12.

[3] 汪宝龙,张明军,魏军林,等. 1960—2009 年青海省极端降水事件的变化特征[J]. 水土保持通报,2012,32(4):92-95.

[4] Wang S, Lei X H, Zhang F. Analysis on variation characteristics of precipitation time series in Weihe River Basin during the past 55 years[J]. Advanced Materials Research, 2013, 684:246-252.

[5] 余敦先,夏军,张永勇,等. 近 50 年来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征[J]. 地理学报,2011,66(9):1200-1210.

[6] 董满宇,王炳钦,廖剑宇,等. 近 50 年东江流域极端降水事件变化特征[J]. 资源科学,2013,35(3):521-529.

[7] 李运刚,何大明,胡金明,等. 红河流域 1960—2007 年极端降水事件的时空变化特征[J]. 自然资源学报,2012,27(11):1908-1917.

[8] 李占玲,王武,李占杰. 基于 GPD 分布的黑河流域极端降水

频率特征分析[J]. 地理研究,2014,33(11):2169-2179.

[9] 李志,刘文兆,郑粉莉. 1965—2005 年泾河流域极端降水事件的变化趋势分析[J]. 资源科学,2010,32(8):1527-1532.

[10] 肖艳,黎祖贤,章新平,等. 近 48 年来湘江流域极端降水事件特征分析[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(11):1356-1362.

[11] 李春梅,宾素芝,凡安清,等. 浏阳市干旱原因及对策[J]. 现代农业科技,2013,(8):230-232.

[12] 安华,延军平,张涛涛,等. 增暖背景下华北平原极端降水事件时空变化特征[J]. 水土保持通报,2013,33(3):144-148.

[13] Feng X, Zhang G, Yin X. Hydrological responses to climate change in Nenjiang river basin, northeastern China[J]. Water Resources Management, 2011, 25(2):677-689.

[14] Chen H, Guo S, Xu C, et al. Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin[J]. Journal of Hydrology, 2007,344(3):171-184.

[15] Shao Q, Li Z, Xu Z. Trend detection in hydrological time series by segment regression with application to Shiyang River Basin [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2010,24(2):221-233.

[16] 霍正文,陈文,凡炳文. 近 54 年定西市降水趋势及突变分析[J]. 水文,2012,32(3):88-92.