

# 1960–2009年湖南省暴雨极端事件的气候特征

张剑明<sup>1,2</sup>, 廖玉芳<sup>1</sup>, 段丽洁<sup>1</sup>, 曾向红<sup>1</sup>

(1. 湖南省气候中心, 长沙 410007; 2. 株洲市气象局, 株洲 412000)

**摘 要:**本文采用湖南省88个地面气象站点1960-2009年的逐日降水资料,运用一元线性回归、M-K突变分析及小波分析等方法分析了湖南省50年来区域暴雨极端事件的时空分布特征及变化趋势。研究表明:过去50年暴雨极端事件增多、强度增大。暴雨极端事件有波动上升的趋势,20世纪60年代和80年代偏少,70年代和90年代偏多;在80年代末到90年代初暴雨极端事件由小变大是一突变现象,且存在2年、5年、7年和21年左右的周期振荡。降水量明显高于平均值的月份集中在4-8月,而暴雨降水量和暴雨总次数明显高于平均值的月份集中在5-8月。降水量湘西地区可能更加少雨,湘北洞庭湖区和湘中部分地区有可能向多雨转变的趋势;湘东和湘南有可能向干旱转变。暴雨降水量、最大日降水量、暴雨次数、暴雨强度和降水集中度在湘中、湘西南和湘西北个别地区可能比原来更少,其余地区均可能增多。

**关 键 词:**湖南省;暴雨极端事件;空间分布;区域差异

## 1 引言

极端降水事件是中国主要气象灾害之一,中国夏季南方暴雨频发往往造成严重的洪涝灾害,危及人民的生命财产安全,并造成严重的国民经济损失。近年来国内外许多气象工作者对极端降水状况,尤其是在降水方面作了不少研究,提出了不少可行的数学方法,发现了不少事实及规律<sup>[1-8]</sup>。

丁一汇<sup>[9]</sup>给出了天气气候极端事件定义。翟盘茂等<sup>[10]</sup>、Zhai等<sup>[11]</sup>分析了中国降水极值的变化趋势指出,中国东部降水日数趋于减少,降水强度极值出现的范围趋于扩大。刘小宁<sup>[12]</sup>研究中国暴雨极值事件发现,20世纪80年代后期中国东部除华北外,平均趋势为降水日数增多,降水强度增大,尤其是华南、江南地区。江南区、华北、东北区暴雨异常年份增多,强度增大。大暴雨的频数存在10年左右周期。任国玉等<sup>[13]</sup>指出,中国长江中下游地区年和夏季降水量呈明显的增加趋势。鲍名等<sup>[14-15]</sup>研究了中国暴雨的年代际变化特征,并指出持续性暴雨主要发生在华南和江南地区。朱宵峰等<sup>[16]</sup>研究长江中下游汛期暴雨气候特征发现,暴雨降水量呈现增加趋势,且存在6~9a的周期振荡。暴雨降水强度都不同程度存在着3a的周期振荡。汛期暴雨降

水量的在80年代末-90年代初有一增多的过程。

湖南省属多雨省份之一,全省年平均降水量在1200~1700 mm之间,但时间分配不均,明显地集中于4-8月,因此研究湖南省极端降水的时空分布特征、突变以及周期变化和空间变化趋势,揭示该地区极端降水事件的一些规律,为极端降水事件诊断和预测提供依据,对湖南省的防灾减灾和经济建设具有重要意义。

## 2 资料与方法

降水资料来源于湖南省气候中心提供的湖南省97个测站1960-2009年的逐日降水资料。剔除资料长度不够的站点,剩余89站(图1)。考虑到南岳站海拔1268.5m,该站多年平均降水(2051.3 mm)与周围站点(衡山1400.5 mm)的降水相差悬殊,该站降水的偏差主要是由迎风坡爬坡造成的,故在本文中不考虑南岳站降水场和趋势场的绘制。

气象上规定,24小时降水量为50 mm或以上的强降水称为“暴雨”;暴雨降水量为所有暴雨日降水量的总和;暴雨强度为暴雨降水量与暴雨次数之比;降水集中度为统计时段内暴雨降水量与总降水量之比。

收稿日期:2011-03; 修订日期:2011-06.

基金项目:湖南省科技计划重大专项(2008FJ1006);中国气象局气候变化专项(200920);湖南省气象局重点科研项目(200801);中国气象局气候变化专项(CCSF-10-04)。

作者简介:张剑明,男,湖南长沙人,硕士研究生,主要从事天气与气候研究。E-mail: zhaolanxai@sina.com

本文采用线性回归<sup>[17]</sup>方法分析1960-2009年湖南省极端降水的长期变化趋势及其区域特征;运用Mann-Kendal(M-K)非参数检验<sup>[17-18]</sup>方法对湖南极端降水做突变分析;运用Morlet小波分析<sup>[19-21]</sup>方法分析湖南极端降水年际变化的周期性。

### 3 极端降水的时间变化特征

#### 3.1 极端降水的时间变化趋势

为了分析湖南省极端降水的变化趋势,利用线性回归方法计算出极端降水的倾向率,并通过线性回归方程表示极端降水序列的线性变化趋势。

在过去50年,湖南省降水量呈微弱上升趋势,降水量倾向率 $9.2\text{ mm}/10\text{a}$ (图2a)。7年滑动平均曲线表明,降水量变化总趋势是在波动中上升,20世纪60年代中期以前降水偏少,60年代中期到70年代中期略高于平均值,但干湿变化明显。70年代中期前后降水量由大变小,80年代降水最少,处于干旱时期,80年代末降水量开始由大变小,90年代以后降水明显增加,处于湿润时期,进入21世纪后降水量又呈减少的趋势。

湖南暴雨降水变化趋势和降水量变化趋势相似(图2b),表现为增加趋势,暴雨降水倾向率为 $14.1\text{ mm}/10\text{a}$ (达到0.1的信度水平)。

湖南省最大日降水量逐年变化曲线(图2c)表明,最大日降水呈明显增加趋势,倾向率达 $12.0\text{ mm}/10\text{a}$ (达到0.05的信度水平)。7年滑动平均曲线可以看出,20世纪60年代中期以前和90年代以后最大日降水量偏大,其余时段偏小。

湖南省暴雨日数逐年变化曲线(图2d)显示,暴雨日数呈增加趋势,日数倾向率达 $0.14\text{ 次}/10\text{a}$ 。7年滑动平均曲线表明,20世纪60年代中期到70年代初期和90年代初到21世纪初暴雨次数偏多,其余时段偏小。

湖南省暴雨强度呈增加趋势(图2e),强度倾向率达 $1.4\text{ mm}/10\text{a}$ (达到0.01的信度水平)。7年滑动平均曲线表明,20世纪90年代中期以前暴雨强度偏小,之后偏大。

湖南省降水集中率呈明显增加趋势(图2f),倾向率达 $0.008\%/10\text{a}$ (达到0.05的信度水平)。7年滑动平均曲线可以看出,20世纪90年代中期以前降水集中率偏小,之后偏大。

对湖南省极端降水的逐年变化曲线分析说明过去50年极端降水事件增多、强度增大。

#### 3.2 极端降水的突变分析

对湖南省极端降水进行曼肯德尔突变分析,绘制出M-K曲线图(图3),UF曲线表明20世纪80年代中期到90年代初极端降水有增大的趋势。根据UF和UB曲线交点的位置,确定极端降水80年代中期到90年代初的增大是一突变现象,具体开始年份分别为1986年(降水量)、1992年(暴雨降水量)、1993年(最大日降水)、1990年(暴雨日数)、1993年(暴雨强度)和1989年(降水集中率)。

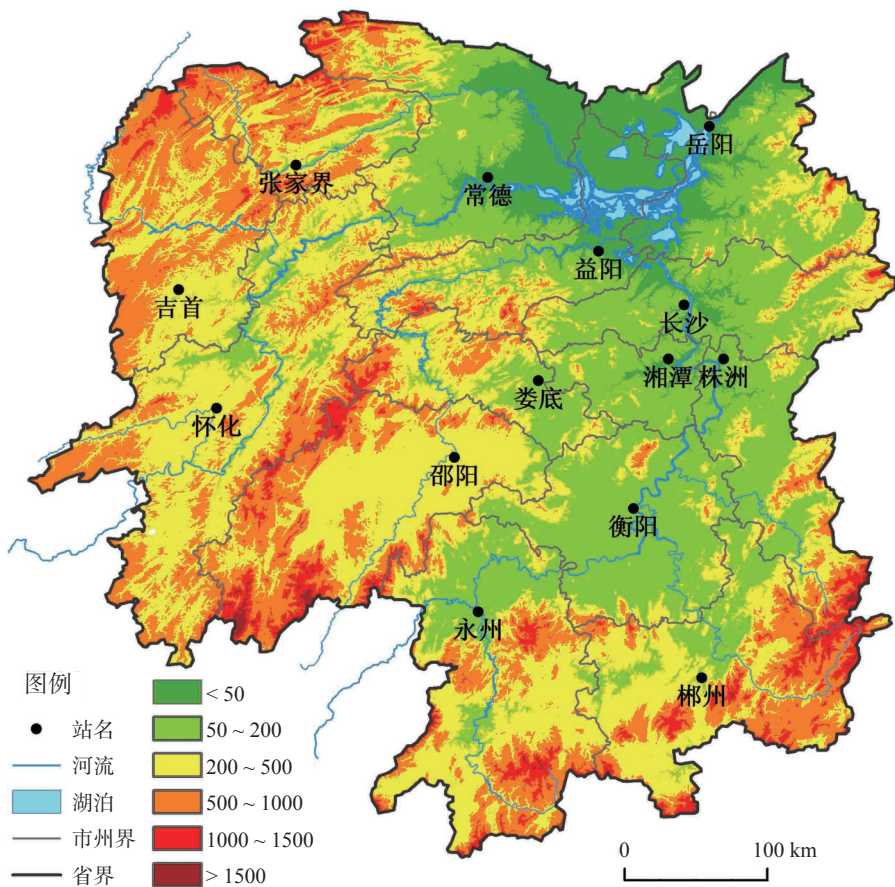


图1 湖南省气象站点的空间分布

Fig.1 The spatial distribution of meteorological stations in Hunan Province

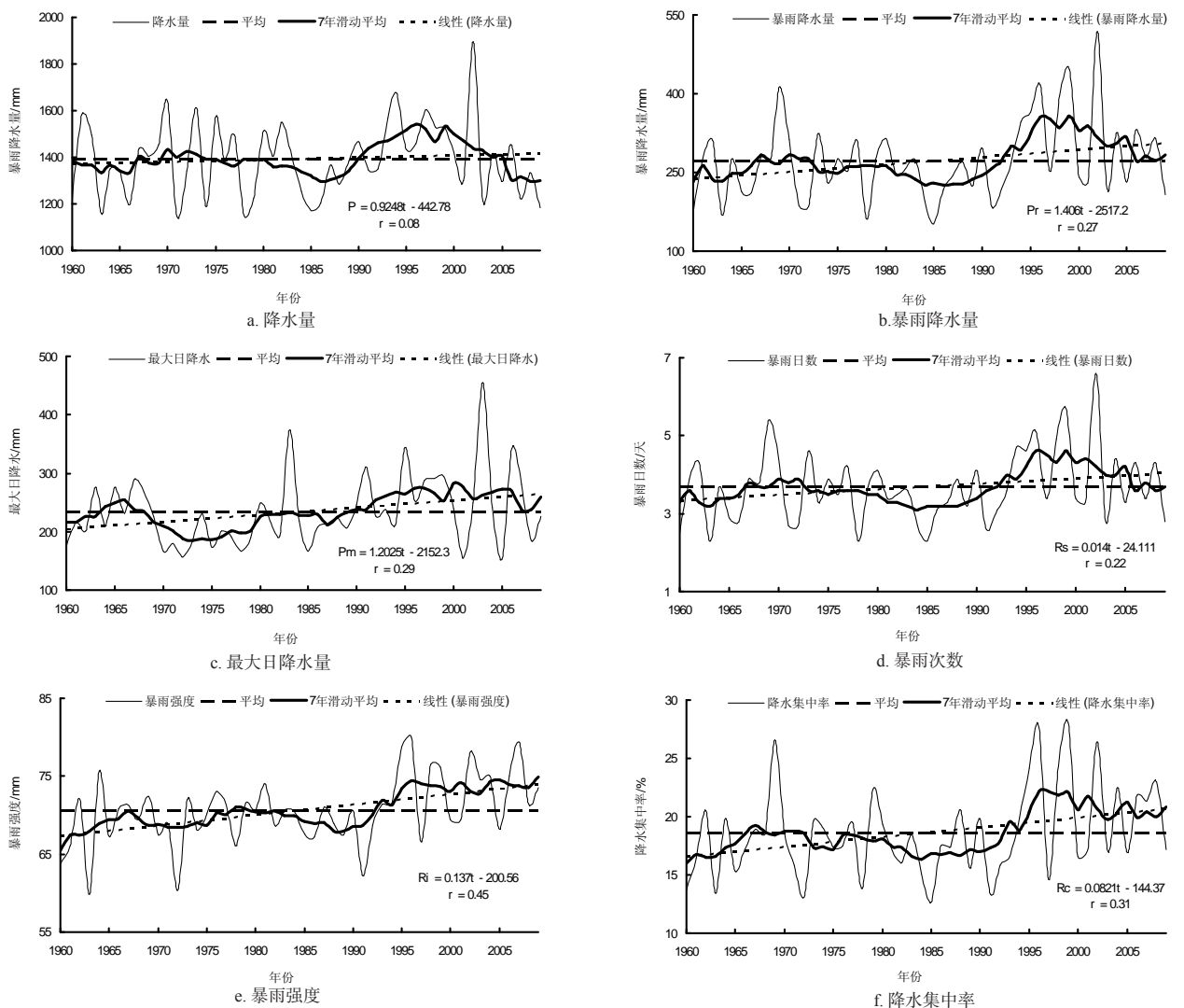


图2 1960-2009年湖南省极端降水的时间变化趋势  
Fig.2 Variations of extreme rainstorm events in Hunan Province during 1960-2009

3.3 极端降水的周期分析

对湖南省极端降水小波分析做 Morlet 小波变换得到的小波系数实部等值线图(图4)。图中横坐标值为年代,纵坐标值为周期,实线表示处于降水偏多期,虚线表示处于降水偏少期。

湖南省降水量(图4a)存在4个特征时间尺度,分别是2年、5年、9年和21年左右的准周期。2年时间尺度上,在50年中始终存在,且周期振荡稳定;5年时间尺度上,在20世纪90年代中期以前比较明显,之后较弱;9年时间尺度上,干湿期之间转换频繁;21年左右的时间尺度的周期振荡贯穿整个研究时段且表现稳定。1960-2009年近50年大致经历了4次干湿交替,60年代中期以前为降水偏少期,60年代中期到80年代初为降水偏多期,80年代初到90年代初为降水偏少期,90年代初到21世纪

初为降水偏多期,之后为降水偏少期。

湖南省暴雨降水量(图4b)周期性变化可分为2个时段,20世纪80年代中期以前暴雨降水量存在4个特征时间尺度,分别为2年、5年和10年和22年4个准周期;80年代中期以后暴雨降水量存在3个特征时间尺度,分别为2年、5年和20年3个准周期。湖南省最大日降水量(图4c)周期性变化存在3个特征时间尺度,分别为3年、7年和12年左右的准周期。湖南省暴雨日数(图4d)和降水集中率(图4f)的周期性变化与湖南省降水量的周期性变化相似,存在4个特征时间尺度,分别是2年、5年、9年和21年左右的准周期。湖南省暴雨强度(图4e)周期性变化可分为2个时段,90年代中期以前暴雨强度存在3个特征时间尺度,分别为3年、11年和24年3个准周期;90年代中期以后暴雨强度存在4个特征时间



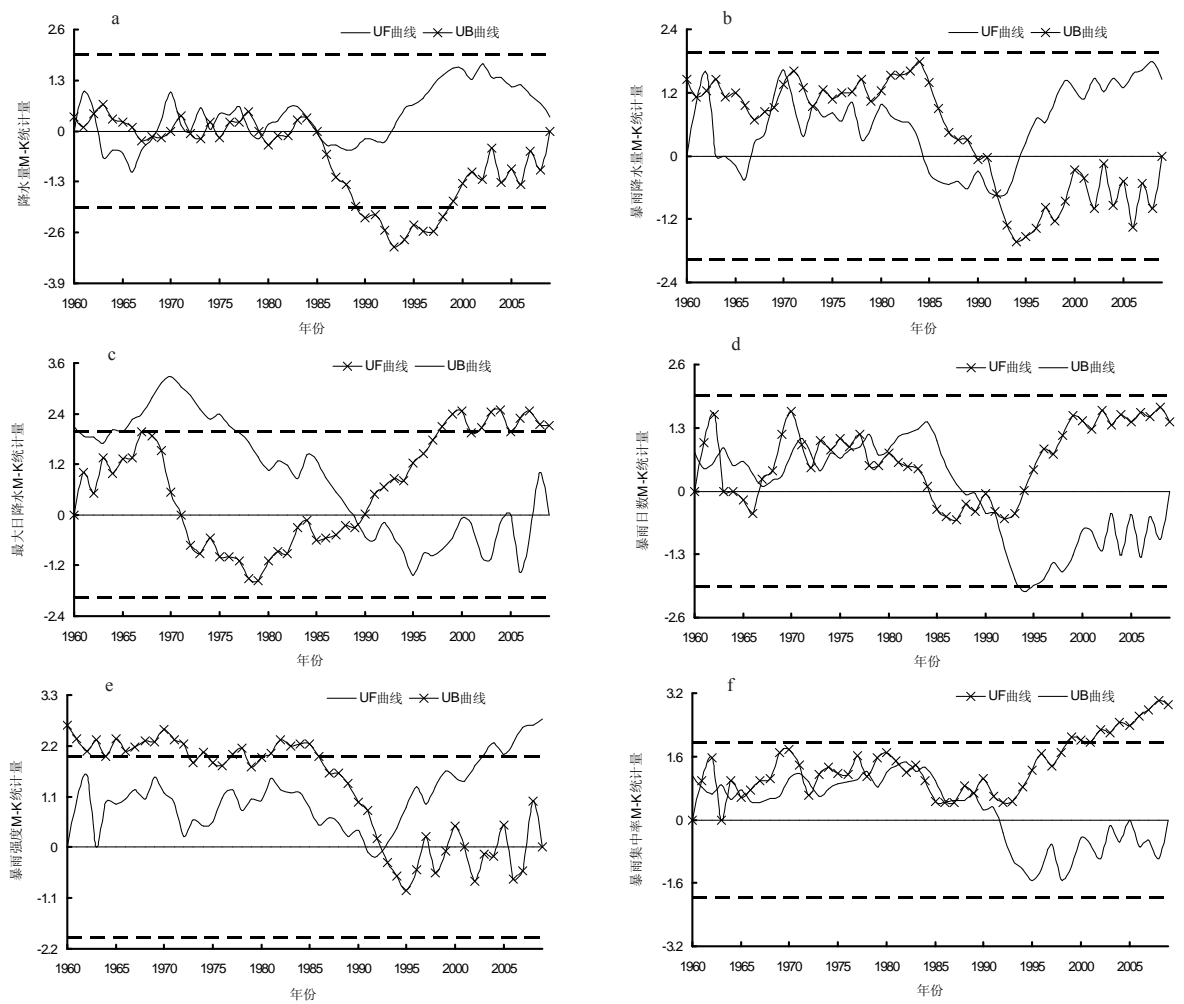


图 3 1960-2009 年湖南省极端降水的 M-K 突变分析

Fig.3 The Mann-Kendall abrupt test of extreme rainstorm events in Hunan Province during 1960-2009

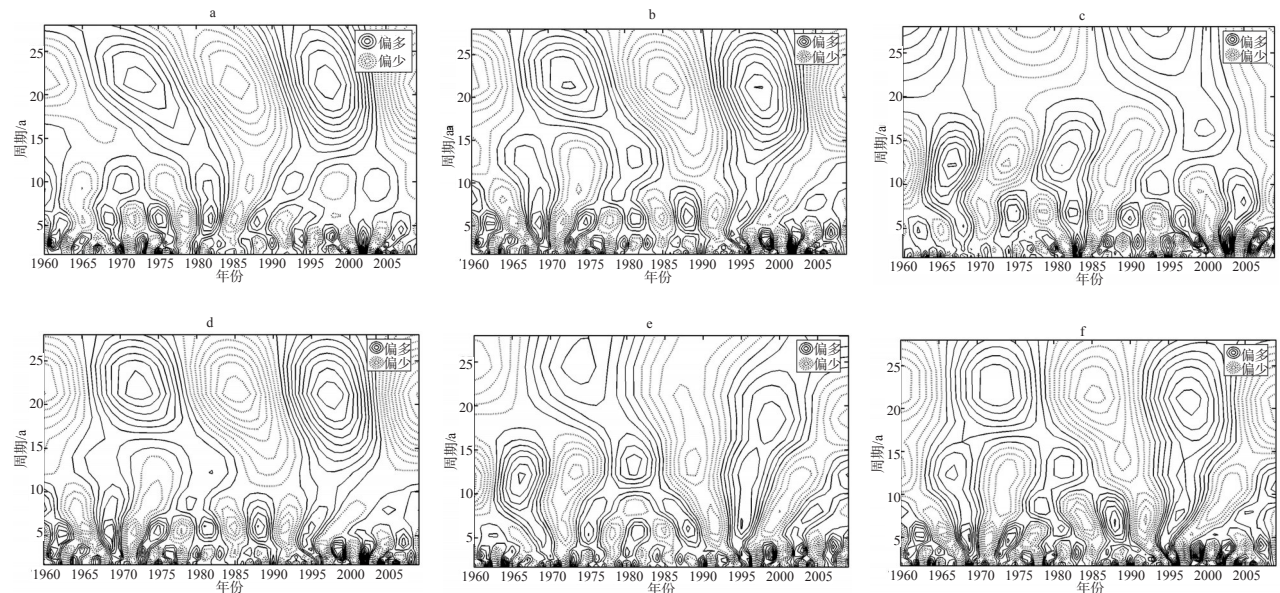


图 4 1960-2009 湖南省极端降水的 Morlet 小波系数实部等值线图

Fig.4 The contours of the real part of Morlet wavelet coefficients of extreme rainstorm events in Hunan Province during 1960-2009

尺度,分别为2年、5年、7年和18年4个准周期。

3.4 极端降水的年内变化

图5a给出了湖南省1960-2009年50年平均逐月降水量和暴雨降水量的年内变化。湖南省降水明显高于平均值(116.2 mm)的月份集中在4-8月,其中4月为175.5 mm,5月为202.4 mm,6月为206.1 mm,7月为144.3 mm和8月为134.5 mm;而暴雨降水量明显高于平均值(22.6 mm)的月份集中在5-8月,其中5月为46.3 mm,6月为73.6 mm,7月为50.4 mm和8月为39.4 mm。

湖南省1960-2009年50年多年逐月暴雨总次数的年内变化(图5b),表明暴雨总次数明显高于平均值(1364.9次)的月份集中在4-8月,其中4月为1631次,5月为2899次,6月为4252次,7月为2803次和8月为2300次。

以上各图表明湖南省降水量明显高于平均值的月份集中在4-8月,可以确定该时段是湖南省的汛期,而暴雨降水量和暴雨总次数明显高于平均值的月份集中在5-8月,即为暴雨集中期。

4 极端降水的空间分布及变化趋势

4.1 极端降水的空间分布特征

湖南省降水量的空间分布(图6a)可看出,湖南省降水量大致是山区丘陵大于平原区,西南东三面山地降水多,中部丘陵和北部洞庭湖平原降水少,湖南省降水量有4个高值区和3个低值区。多雨区位于雪峰山北段,极值中心为安化(1703.0 mm);南岭山地极值中心为蓝山(1562.4 mm);湘东北,极值中心为浏阳(1551.5 mm);湘东南,极值中心为桂东(1707.0 mm);少雨区位于洞庭湖区,极值中心为安乡(1235.7 mm);衡邵盆地,极值中心为祁东(1246.5 mm);沅水、资水上游山间盆地,极值中心为新晃

(1160.9 mm)。

图6b为湖南省年暴雨降水量的空间分布图,图中表明湖南省暴雨降水量有湘西北和湘东北2个高值区,极值中心分别为安化(431.0 mm)和临湘(411.9 mm);低值区位于湘西南,极值中心区为城步(160.9 mm)和武冈(180.3 mm);次低值区位于湘北洞庭湖区、湘中和湘南。

湖南省最大日降水量(图6c)的空间分布图表明,湖南省最大日降水量有3个高值区和3个低值区。高值区位于湘西北,极值中心为张家界(455.5 mm)和桑植(373.8 mm);湘东北,极值中心为临湘(289.3 mm);湘东南,极值中心为永兴(341.7 mm)。低值区位于湘西南,极值中心为武冈(116.5 mm);湘北,极值中心区为桃江(142.0 mm);湘中,极值中心区为醴陵(134.3 mm)。

湖南省暴雨次数的空间分布图(图6d)表明,湖南省暴雨次数的空间分布与湖南省降水量的空间分布类似,高值区位于位于雪峰山北段、南岭山地、湘东北和湘东南,低值区位于洞庭湖区、衡邵盆地和沅水、资水上游山间盆地。

湖南省暴雨强度的空间分布图(图6e)表明,湖南省暴雨强度的空间分布与湖南省最大日降水量的空间分布类似,也存在3个高值区和3个低值区。

图6f为湖南省降水集中率空间分布图,图中表明降水集中率的分布呈湘西北、湘东北向南逐渐递减的特点。降水集中率大于0.25的站点有临湘(0.251)和沅陵(0.251),小于0.13的站点有新宁(0.126)、武冈(0.125)和城步(0.123)。

4.2 极端降水变化趋势的空间分布

为了分析极端降水变化趋势的区域差异,对湖南省各站点极端降水的线性倾向进行估计。

在过去50年湖南省的西北部和西南部年降水量(图7a)呈下降趋势,其它地区年降水呈增加的趋

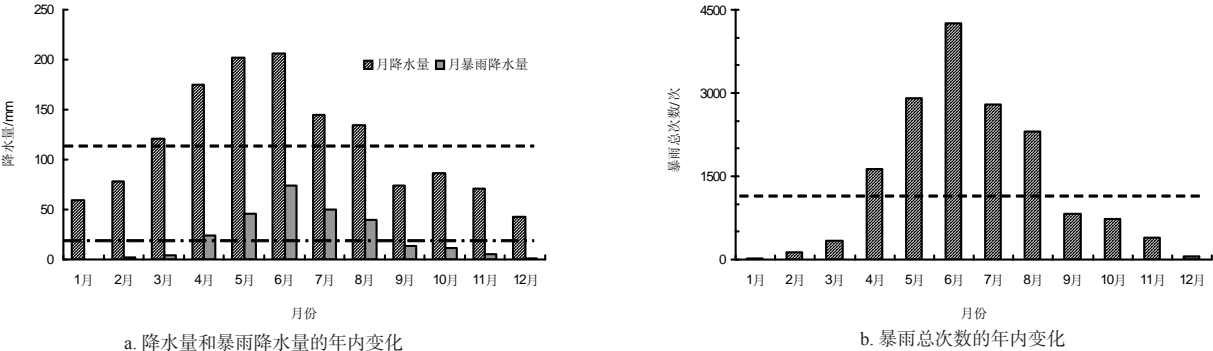


Fig.5 Interannual variations of precipitation and rainstorm precipitation (a) and rainstorm numbers (b) in Hunan during 1960-2009

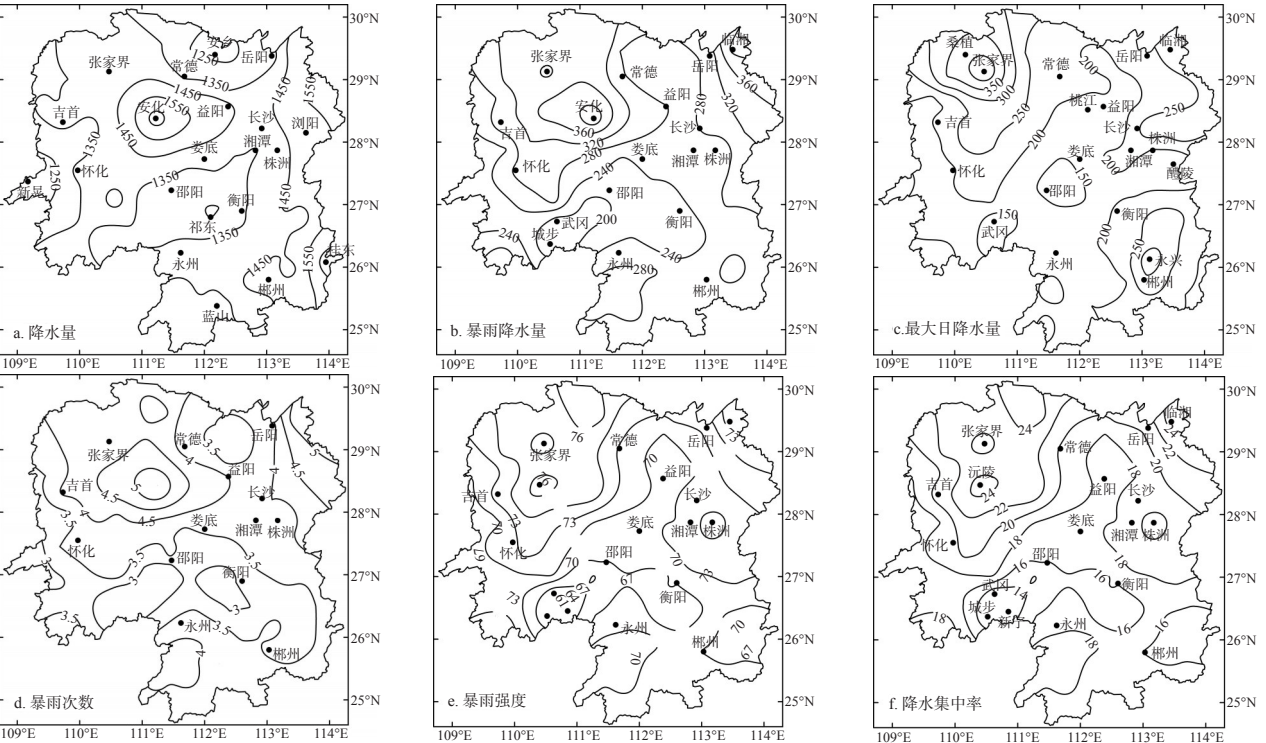


图6 湖南省极端降水的空间分布特征

Fig.6 Spatial distribution of extreme rainstorm events in Hunan Province

势。在88个统计站中,有65个站点 $b > 0$ ,主要分布在洞庭湖平原、湘中丘陵、澧水和资江流域,其中降水增加的极值区分别位于湘东北和湘东南,最大值分别为资兴(64.0 mm/10a)、临湘(36.1 mm/10a)和华容(38.5 mm/10a);有23个站点 $b < 0$ ,主要分布在南岭和沅江上游,最小值分别为古丈(-27.0 mm/10a)、江华(-23.2 mm/10a)和武冈(-23.0 mm/10a)。17个站点达到0.1的信度,6个站点达到0.05的信度(表1)。

湖南省大部分地区暴雨降水量(图7b)呈增加趋势,中心位于湘东南、湘东北和湘西,共有73个站点 $b > 0$ ,其中炎陵暴雨降水量增加最大达43.6 mm/10a。有17个站点达到0.1的信度,11个站点达到0.05的信度。湖南省最大日降水量(图7c)在湖南省的北部、中部和西南部呈下降趋势,其它地区年最大日降水量呈增加的趋势。有69个站点 $b > 0$ ,日最大降水量增加的极值区分别位于湘东南和湘西,最大值分别为永兴(11.6 mm/10a)和黔阳(10.0 mm/10a);有19个站点 $b < 0$ ,主要分布在湘中和湘西南,最小值分别为龙山(-4.4 mm/10a)和株洲(-4.0 mm/10a)。18个站点达到0.1的信度,16个站点达到0.05的信度。湖南省年暴雨日数(图7d)在湖南省的西北部、中部和西南部呈下降趋势,其它地区年暴雨日数呈增加的趋势。有70个站点 $b >$

0,有17个站点 $b < 0$ ,其中15个站点达到0.1的信度,5个站点达到0.05的信度。湖南省暴雨强度(图7e)在湖南省的西北、东北和湘中东部呈下降趋势,其他地区年暴雨强度呈增加的趋势。有60个站点 $b > 0$ ,暴雨强度增加的极值区分别位于湘东南和湘西南,最大值分别为麻阳(6.4 mm/10a)和江永(4.6 mm/10a);有19个站点 $b < 0$ ,最小值分别为保靖(-3.5 mm/10a)和株洲(-2.6 mm/10a)。21个站点达到0.1的信度,16个站点达到0.05的信度。湖南省降水集中率(图7f)的空间变化趋势与暴雨降水量的空间变化趋势类似,大部分地区降水集中率呈增加趋势,中心位于湘东南、湘东北和湘西,共有73个站点 $b > 0$ ,最大值为辰溪( $24.6 \times 10^{-3}$ /10a)和岳阳( $23.3 \times 10^{-3}$ /10a)。有23个站点达到0.1的信度,15个站点达到0.05的信度。

由以上分析可以看出,湖南省极端降水的空间分布反映了地理位置和地形对其的影响,同时对比空间变化趋势发现,降水量在湘西地区可能更加少雨,湘北洞庭湖区和湘中部分地区有可能向多雨转变的趋势;湘东和湘南有可能向干旱转变。暴雨降水量、最大日降水量、暴雨次数、暴雨强度和降水集中率在湘中、湘西南和湘西北个别地区可能比原来更少,其余地区均可能增多。



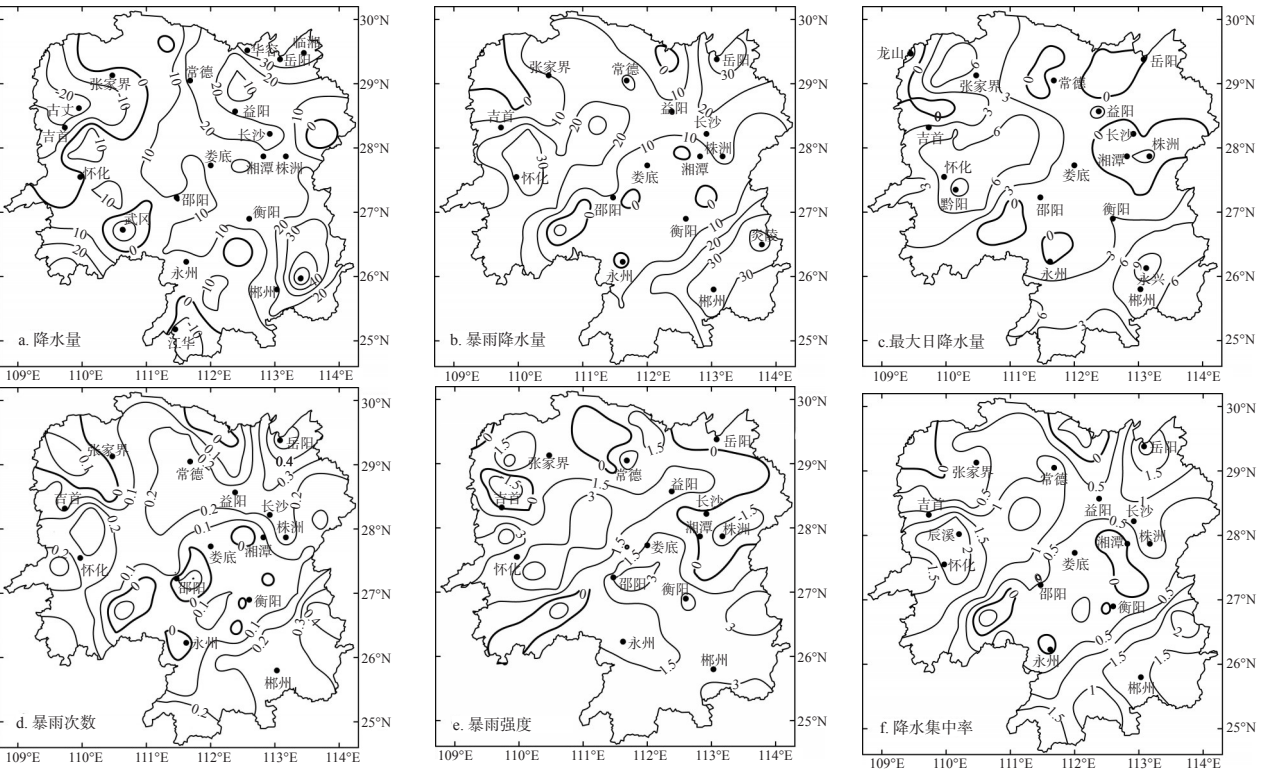


图7 湖南省极端降水变化趋势的空间分布

Fig.7 Spatial variation trends of extreme rainstorm events of Hunan Province

表 1 湖南省极端降水的倾向率及信度水平

Tab.1 Bias of extreme rainstorm events in Hunan Province

	b	站点数			b <sub>max</sub> 及站点名	b <sub>min</sub> 及站点名	站点数	
		b=0	b>0	b<0			r ≥0.23	r ≥0.27
降水量	9.2	0	65	23	64.0(资兴)	-27.0(古丈)	17	6
暴雨降水量	14.1	0	73	15	43.6(炎陵)	-17.5(武冈)	17	11
最大日降水	12.0	0	69	19	11.6(永兴)	-4.4(龙山)	18	16
暴雨日数	0.14	1	70	17	0.6(岳阳)	-0.24(永顺)	15	5
暴雨强度	1.37	1	62	25	6.4(麻阳)	-3.5(保靖)	21	16
降水集中度	0.08	0	73	15	0.25(辰溪)	-0.13(武冈)	23	15

|r|≥0.23和|r|≥0.27分别达到信度 0.1 和 0.05 的水平

5 结论

本文采用湖南省 88 个地面气象站点 1960-2009 年的逐日降水资料,运用一元线性回归、M-K 突变分析及小波分析等方法分析了湖南省 50 年来区域极端降水的时空分布特征及变化趋势。研究表明:

(1) 湖南省过去 50 年极端降水事件增多、强度增大。极端降水变化总趋势是在波动中上升,20 世纪 60 年代和 80 年代偏少,70 年代和 90 年代偏多;在 80 年代末到 90 年代初极端降水由小变大是一突变现象,并且存在 2 年、5 年、7 年和 21 年左右的周期振荡。

(2) 对湖南省降水量和暴雨总次数的年内变化分析发现,降水量明显高于平均值的月份集中在 4~

8 月,而暴雨降水量和暴雨总次数明显高于平均值的月份集中在 5-8 月。

(3) 湖南省年降水量和暴雨次数的大值区位于雪峰山北段、南岭山地、湘东北和湘东南,低值区位于洞庭湖区、衡邵盆地和沅水、资水上游山间盆地;暴雨降水量有湘西北和湘东北 2 个高值区,低值区位于湘西南;最大日降水量和暴雨强度高值区位于湘西北、湘东北和湘东南;低值区位于湘西南、湘北和湘中。降水集中度呈湘西北、湘东北向南逐渐递减的特点。

(4) 湖南省年降水量湘西地区可能更加少雨,湘北洞庭湖区和湘中部分地区有可能向多雨转变的趋势;湘东和湘南有可能向干旱转变。暴雨降水量、最大日降水量、暴雨次数、暴雨强度和降水贡献

率在湘中、湘西南和湘西北个别地区可能比原来更少,其余地区均可能增多。

## 参考文献

- [1] 张文, 寿绍文, 杨金虎. 长江中下游地区汛期极端降水量的异常特征分析. 气象, 2007, 33(3): 61-67.
- [1] 杨萍. 近四十年中国极端温度和极端降水事件的群发性研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2006.
- [3] 许艳峰. 我国南部夏季持续性暴雨的时空变化及其对应的环流特征[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.
- [4] 张永领. 我国东部夏季降水极值的时空特征及其遥相关研究[D]. 南京: 南京气象学院, 2003.
- [5] 黄琪波. 江南地区夏季持续性暴雨过程的前期信号分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [6] 戴泽军, 宇如聪, 陈昊明. 湖南夏季降水日变化特征. 高原气象, 2009, 28(6): 1463-1470.
- [7] 罗伯良, 张超, 林浩. 近40年湖南省极端强降水气候变化趋势与突变特征. 气象, 2008, 34(1): 80-85.
- [8] 张剑明, 黎祖贤, 章新平, 等. 湖南省区域干旱模糊价. 地理科学进展, 2009, 28(4): 629-635.
- [9] 丁一汇. 天气气候极端事件的变化及其全球变暖的关系. 气象, 2002, 28(3): 3-7.
- [10] 翟磊茂, 任福民, 张强. 中国降水极值变化趋势检测. 气象学报, 1999, 57(2): 208-216.
- [11] Zhai P M, Sun A J, Ren F M, et al. Changes of climate extremes in China. Climatic Change, 1999, 42(1): 203-218.
- [12] 刘小宁. 我国暴雨极端事件的气候变化特征. 灾害学, 1999, 14(1): 54-59.
- [13] 任国玉, 吴虹. 我国降水变化趋势的空间特征. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322-330.
- [14] 鲍名, 黄荣辉. 近40年我国暴雨的年代际变化特征. 大气科学, 2006, 30(6): 1057-1067.
- [15] 鲍名. 近50年我国持续性暴雨的统计分析及其大尺度环流背景. 大气科学, 2007, 31(5): 779-792.
- [16] 朱宵峰, 钱永甫, 宁亮, 等. 长江下游地区汛期暴雨气候特征分析, 2008, 24(2): 136-146.
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999.
- [18] 符滨斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法. 大气科学, 1992, 6(4): 482-493.
- [19] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1): 61-78.
- [20] 林振山. 子波气候诊断技术的研究. 北京: 气象出版社, 1999.
- [21] 杨梅学, 姚檀栋. 小波气候突变的检测: 应用范围与应注意的问题. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(4): 73-76.

## Climatic Characteristics of Extreme Rainstorm Events in Hunan Province during 1960–2009

ZHANG Jianming<sup>1,2</sup>, LIAO Yufang<sup>1</sup>, DUAN Lijie<sup>1</sup>, ZENG Xianghong<sup>1</sup>

(1. Hunan Climate Center, Changsha 410007, China; 2. Meteorological Bureau of Zhuzhou, Zhuzhou 412000, Hunan, China)

**Abstract:** Using 1960-2009 daily precipitation data of 89 stations, the spatio-temporal distribution of extreme rainstorm events in Hunan Province in recent 50 years is analysed by linear regression, abrupt change analysis and wavelet analysis. The results showed that the intensity and frequency of rainstorm events increased in the last 60 years. Extreme rainstorm events showed a wave-increase: low in the 1960s and 1980s whereas high in the 1970s and 1990s. A abrupt change (from dry to wet) can be observed from the late 1980s to early 1990s. In addition, the extreme rainstorms also occurred in cycles of 2-year, 5-year, 7-year, and 21-years. Generally, the numbers of rainstorms and the associated precipitation of May to August are significantly higher than the average. Precipitation of the western Hunan shows a decreasing trend, while that of the northern and central Hunan is increasing. The eastern and southern Hunan may become much drier. Extreme rainstorm shows a increasing trend, while that of the southwestern, northwestern and central Hunan shows a decreasing trend.

**Key words:** Hunan Province; extreme rainstorm events; spatio-temporal characteristics; regional difference

本文引用格式:

张剑明, 廖玉芳, 段丽洁, 等. 1960-2009年湖南省暴雨极端事件的气候特征. 地理科学进展, 2011, 30(11): 1395-1402.