

# 1959~ 2008 年湖北省暴雨的气候变化特征

许莉莉, 蔡道明, 吴宜进\*

(华中师范大学城市与环境科学学院, 湖北 武汉 430079)

**摘要:** 利用湖北省 17 个气象站 1959~ 2008 年逐日降水资料, 采用克里格插值法、线性趋势、累计距平、滑动平均及 Mann-Kendall、复 Morlet 小波函数等方法分析湖北省暴雨的空间分布规律和时间演变特征。结果表明: 湖北省存在以鄂东南和鄂东北为两个暴雨高值高频中心、鄂西北为低值低频中心的多中心分布特征, 整体呈现出从东南向西北递减的地域分布, 且大暴雨高频区、特大暴雨多发区和暴雨极大值区均出现在鄂东地区。时间演变趋势上, 近 50 年来湖北省暴雨日数呈弱的增长趋势, 暴雨量经历了偏少-偏少-偏多-偏多-偏少的年代际变化过程, 异常暴雨年中暴雨日数偏多年较偏少年出现的频率高, 全省暴雨日数和暴雨量在 1978 年发生突变, 且存在 9 a 和 5 a 的周期振荡, 而各分区暴雨日数均表现出显著地 8~ 10 a 的年代际周期特征。

**关键词:** 湖北省; 暴雨日数; 暴雨量; 时空分布

中图分类号: P426.62 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2011)09-1143-06

随着全球气候变暖, 极端天气与气候事件(如高温、强降水、低温冰雪天气等)的频率与强度趋于频繁与增强, 使得针对他们的预报、分析和研究工作就成为了国内外气候研究者关注的焦点<sup>[1-3]</sup>。暴雨是我国重要的灾害性天气之一, 关于我国暴雨的气候特征分析已有很多研究成果。对湖北省地区暴雨的研究工作, 韩青山<sup>[4]</sup>(1992 年)分析了湖北省暴雨灾害及其经济损失连锁反映特征; 近些年来对湖北暴雨的研究大都主要集中在若干区域和个例分析上, 如宋清翠<sup>[5]</sup>(1998 年)、陈正洪<sup>[6]</sup>(1999 年)、尹恒<sup>[7]</sup>(2005 年)等分析了武汉、宜昌、十堰市的暴雨时空分布特征。本文利用湖北地区 17 个气象台站 1959~ 2008 年的降水资料, 分析了湖北省暴雨时空变化规律, 以期为当地暴雨的短期气候预测提供有价值的参考依据。

## 1 资料与方法

气象上规定的暴雨是指某站某一天(日界时间以北京 20 时为界) 24 h 累积降水量  $\geq 50$  mm 的降水, 大暴雨为 24 h 累积降水量  $\geq 100$  mm, 特大暴雨为 24 小时累积降水量  $\geq 200$  mm。季节划分以 3~ 5 月为春季, 6~ 8 月为夏季, 9~ 11 月为秋季, 12~ 次年 2 月为冬季。分析资料由中国气象科学数据共

享服务网提供, 数据通过初步质量控制。由于资料缺测等原因, 本研究选取了其中的 17 个气象站 1959~ 2008 年共 50 a 的逐日降水资料, 它们较均匀地分布于湖北省范围内, 基本上可以代表湖北省的特征。根据上述标准, 统计出各气象站年、季暴雨量、暴雨日数及大暴雨量、大暴雨日数和各站极值, 建立各气象站暴雨的时间序列。

本文采用线性倾向估计法和滑动平均分析湖北省暴雨的年际变化特征, 对湖北省暴雨的突变和周期变化分析采用了 Mann-Kendall、复 Morlet 小波分析方法等<sup>[8-10]</sup>, 并利用 ArcGIS 的克里格插值方法将暴雨量和暴雨日数进行空间插值分析其空间变化规律。根据 WMO 和国家规定, 把序列距平达到 2 倍标准差的事件称为异常偏多(少)事件, 距平为 1.3 倍标准差为严重偏多(少)事件, 本文把距平达到 1 倍标准差的事件称为偏多(少)事件<sup>[11]</sup>。

结合湖北省相关地理特征将其分为 5 个区域: 鄂西北、鄂西南、鄂东南、鄂东北和江汉平原, 见图 1。

## 2 湖北省暴雨的空间分布

### 2.1 全省年均暴雨量、暴雨日数的空间分布

年均暴雨量综合反映了某地暴雨日雨量总和的

收稿日期: 2011-01-04; 修回日期: 2011-04-28

作者简介: 许莉莉(1986~), 女, 山西省临汾人, 硕士研究生, 主要从事资源与环境、水土保持方面的研究, E-mail: xulili0814@126.com

\* 通讯作者 E-mail: wuyijin@mail.ccnu.edu.cn

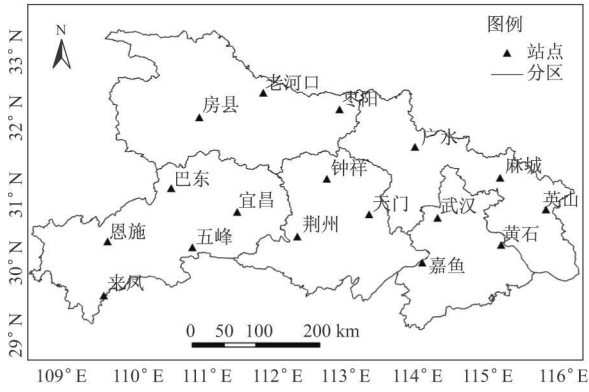


图 1 湖北气象站和分区地理分布

Fig. 1 Distribution of Meteorological Stations and Geographical District in the Hubei Province

大小及暴雨的多寡情况<sup>[12]</sup>, 湖北省暴雨的地域分布, 因季风气候及特殊地形的影响呈现出明显的多中心特征(图 2)。具体为: 全省年均暴雨量为 76.50 ~ 394.95 mm, 年均暴雨日数为 1.16 ~ 5.14 站次, 年均最小值为鄂西北的房县, 最大值为鄂东的英山; 江汉平原虽与鄂西南、鄂东南地处同一纬度, 但区域

内各站年均暴雨量和暴雨日数却明显偏少。即湖北省暴雨总的地域特征为: 鄂东为全省暴雨高值高频中心区, 鄂西南、江汉平原次之, 鄂西北为暴雨低值区。

### 2.2 全省年均大暴雨日数、累年最大日降水量的空间分布

研究期湖北省共出现大暴雨 491 站次, 其空间分布和暴雨集中区分布大致相同(图 3 左), 以平均 1 年就有一次大暴雨出现的麻城、英山和广水等鄂东北为第一高频区, 第二高频区为鄂东南的武汉、黄石和嘉鱼, 低频区出现在鄂西北, 最少为房县 50 a 共计 3 次大暴雨, 年均大暴雨的概率仅为 0.06。特大暴雨的高频中心为武汉的 6 站次, 其次为嘉鱼和黄石 3 站次, 即近 50 a 来湖北省特大暴雨多发区出现在鄂东南地区。

湖北省各站区日暴雨量的最大值处于房县 1975 年 8 月 8 日的 139.6 mm 与黄石 1998 年 7 月 22 日的 360.4 mm 之间, 武汉 317.4 mm (1959 年 6 月 9 日) 次之(图 3 右), 而大暴雨第一高频区的暴雨

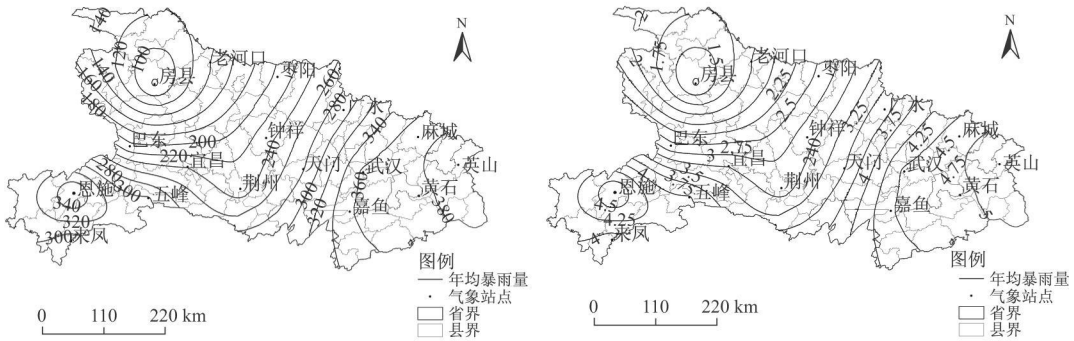


图 2 湖北省 1959~ 2008 年年均暴雨量(左)、暴雨日数(右)的地域分布

Fig. 2 Geographical Distribution of Average Annual Rainstorm Volume (left), Storm Frequency (right) of Hubei Province in 1959~ 2008

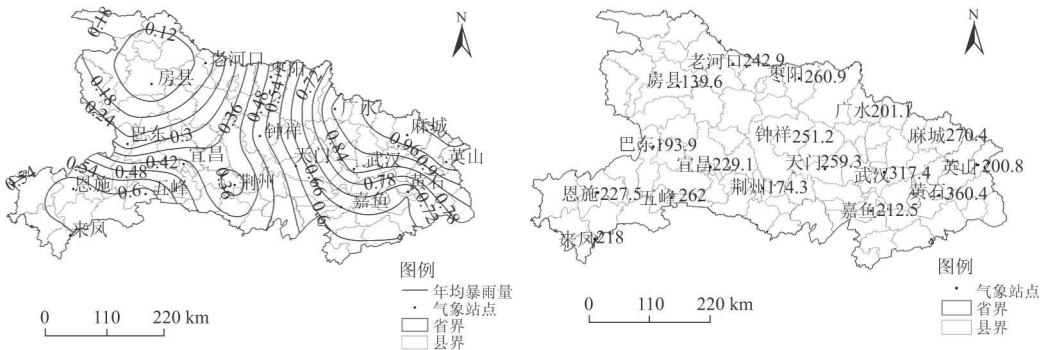


图 3 1959~ 2008 年湖北省年均大暴雨日数、各站区暴雨极值的地理分布

Fig. 3 Geographical Distribution of Average Annual Heavy Rain Frequency and Extreme Storm of District of Hubei Province in 1959~ 2008

极值并不很突出。即近 50 a 来, 湖北省大暴雨高频区和特大暴雨多发区、暴雨极大值区并不完全一致, 但总体都分布在鄂东地区, 而大暴雨表现最弱的几乎均在鄂西北的房县。

### 2.3 分季暴雨量、暴雨日数的空间差异

从表 1 可知鄂东南为湖北省暴雨的第一高值高

频中心, 其年均暴雨量和暴雨日数均达到全省的 26% 以上; 第二高值高频区为鄂东北, 其年均暴雨量和暴雨日数均达到全省的 25% 左右; 其次为鄂西南的 20% 以上和江汉平原的 18% 左右, 暴雨的低值低频中心为鄂西北, 暴雨量和暴雨日数仅占全省的 10% 左右。

表 1 1959~ 2008 年湖北省各分区年均、各季的暴雨量和暴雨日数占全省的百分比(%)

Tab. 1 Percentage of the Province of Average, Each Quarter of the Rainstorm and Storm Frequency of District of Hubei Province in 1959~ 2008(%)

	年均		春季		夏季		秋季		冬季	
	暴雨量	暴雨日数	暴雨量	暴雨日数	暴雨量	暴雨日数	暴雨量	暴雨日数	暴雨量	暴雨日数
鄂西北	10.13	10.49	7.11	6.89	11.19	11.76	9.46	10.46	0	0
鄂西南	20.19	20.85	15.25	16.44	20.41	21.09	28.18	27.97	5.54	5.66
鄂东南	26.36	26.16	32.98	33.25	24.94	24.36	22.47	22.41	34.77	37.74
鄂东北	25.49	24.49	25.34	24.64	25.89	24.76	22.94	22.41	38.97	37.74
江汉平原	17.84	18.00	19.31	18.78	17.57	18.03	16.95	16.74	20.71	18.87

从各季来看, 春季以鄂东南最多, 分别占全省暴雨量和暴雨日数的 32.98% 和 33.25%, 鄂东北次之; 夏季以鄂东北和鄂东南最多, 暴雨量和暴雨日数各占全省的 25% 左右, 鄂西南和江汉平原次之; 秋季以鄂西南最多, 占全省暴雨量的 28.18% 和暴雨日数的 27.97%, 鄂东南和鄂东北次之; 出现暴雨最少的冬季, 暴雨主要集中在鄂东南和鄂东北地区。

表 2 湖北省各季及全年暴雨量的年代距平(mm)

Tab. 2 Hubei Province Rainstorm Quarter and Full-year era of Anomaly (mm)

	1960~ 1969	1970~ 1979	1980~ 1989	1990~ 1999	2000~ 2008
春季	- 247.26	199.85	- 57.83	72.97	32.92
夏季	82.70	- 832.91	500.79	586.55	- 217.05
秋季	- 76.98	33.76	288.38	- 148.38	- 111.51
全年	- 233.91	- 600.21	714.20	494.00	- 287.86

## 3 湖北省暴雨的时间演变趋势

### 3.1 暴雨量的年代际变化趋势

据表 2 可知 1959~ 2008 年湖北省暴雨量经历了偏少-偏少-偏多-偏多-偏少的年代际变化过程, 其中 20 世纪 80 年代、90 年代为峰值期, 70 年代为最少的 10 年, 21 世纪初的暴雨量略少于 20 世纪 60 年代。季节分布上, 20 世纪 60 年代暴雨量的年代际变化主要受春季的影响, 而其余年代受夏季的影响较大, 即对湖北省暴雨量的年代际变化特征贡献率最大的季节为夏季。

### 3.2 暴雨日数的年际变化趋势

由暴雨日数的累计距平曲线(图 4 左)可以直观得出, 近 50 a 来湖北省暴雨经历了一次显著的波动变化, 但总体上呈增长趋势。分析各分区暴雨日数距平的 5 a 滑动平均曲线(图 4 右), 可知各分区暴雨日数呈较显著的阶段性变化, 其中江汉平原在 1976~ 1981 年出现了一次较明显的增长过程, 各分区除鄂西北外均在 1978 年左右出现了下降和增长趋势的转变, 进入 21 世纪以来湖北省 5 个分区的暴雨日数除鄂东南地区外均处在增长阶段。再结合其线性趋势(表 3)可知, 湖北省全省及各分区的年暴雨日数均呈不显著的增长趋势, 大暴雨日数除鄂东南和鄂东北外均呈弱的增长趋势。

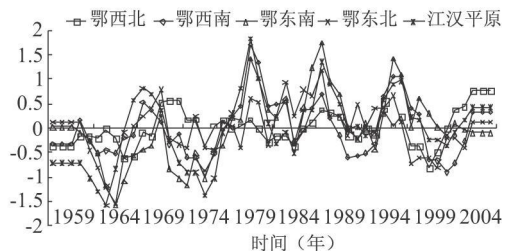
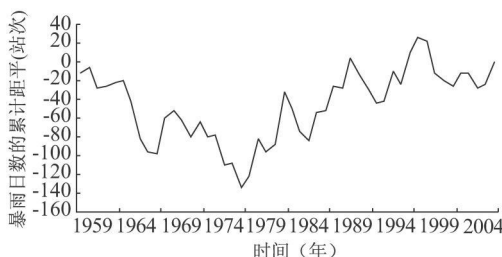


图 4 1959~ 2008 年湖北省暴雨日数的累积距平和各分区暴雨日数距平的 5 a 滑动平均曲线

Fig. 4 Cumulative Number of Days of Storm Frequency Departure Curve in Hubei Province,

District 5 Storm Frequency Anomaly Curve of 5-year Moving Average During 1959~ 2008

表 3 湖北省近 50 年暴雨日数、大暴雨日数距平的线性系数

Tab. 3 Frequency of Rainstorm, Heavy Rainfall Anomalies of the Linear Coefficient in Hubei Province During 1959~ 2008

回归系数 $b$	全省	鄂西北	鄂西南	鄂东南	鄂东北	江汉平原
暴雨日	0.218 8	0.007 0	0.010 8	0.016 7	0.007 7	0.023 5
大暴雨日	0.045 7	0.002 8	0.002 8	- 0.000 8	- 0.000 5	0.012 5

3.3 异常暴雨年

根据湖北省近 50 a 来的暴雨日数距平与标准差的比值, 得出湖北省异常偏多暴雨年有 1983 年 (117 d), 严重偏多年有 1969 年(98 d)、1980 年(101 d)、1987 年(90 d)、1991 年(93 d)、1996 年(92 d)、1998 年(96 d), 偏多年有 1989 年(87 d)、2008 年(86 d); 异常偏少年有 1966 年(20 d), 严重偏少有 1976 年(29 d)、2001 年(27 d), 偏少年有 1961 年(40 d)、1978 年(35 d)、1985 年(38 d)。即全省近

50 a 共出现 9 个偏多年和 6 个偏少年, 可见暴雨偏多年较偏少年出现的频率高。

3.4 暴雨的突变检验

本文利用 M-K 对近 50 a 来湖北省暴雨进行突变分析, 以验证暴雨量和暴雨日数的突变一致相关性, 并用累积距平来检验。

分析湖北省暴雨日数和暴雨量的 M-K 曲线(图 5), 得知年暴雨量、年暴雨日数在 1961、1966、1978 年为波谷, 1964、1970 年为波峰, 即 1978 年前湖北省暴雨为下降趋势, 之后呈现出一致且稳定的上升趋势。突变分析进一步表明 1977~ 1980 年, 湖北省年暴雨量、年暴雨日数发生了突变, 但均未达到统计意义上的显著标准。由累积距平曲线(图 4)可看出, 1978 年以前湖北省暴雨日数呈波动下降趋势, 之后暴雨日数呈上升趋势, 可见检测出突变点为 1978 年。综合二者的分析, 可得出 1978 年为湖北省暴雨的突变年份。

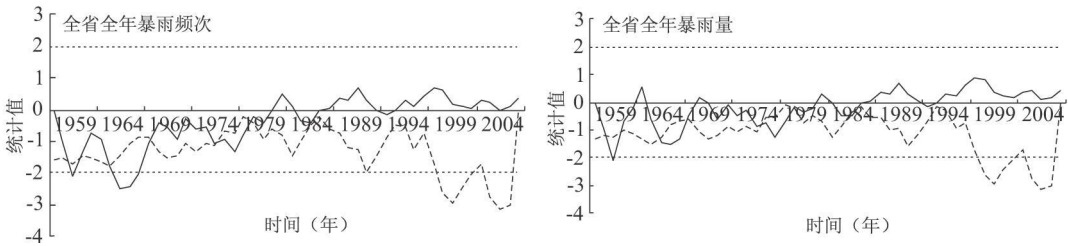


图 5 湖北省各时期暴雨量、暴雨日数的 M-K 变化曲线(粗线为 UF 曲线、细线为 UB 曲线, 虚线为  $\pm 1.96$  的置信线)

Fig. 5 Rainstorm, Storm Frequency in MK Curve of Period of Hubei Province (thick lines for the UF curve, thin line for the UB curve, dashed lines are  $\pm 1.96$  in the confidence line)

3.5 暴雨量及暴雨日数的周期性分析

由以上分析可知, 湖北省暴雨存在着多时间尺度上的演变特征。为了进一步探讨, 本文利用复

Morlet 小波分析了湖北省年暴雨日数及暴雨量的小波变换系数实部时频分布(图 6)、各分区暴雨量的小波方差变化曲线(图 7)。

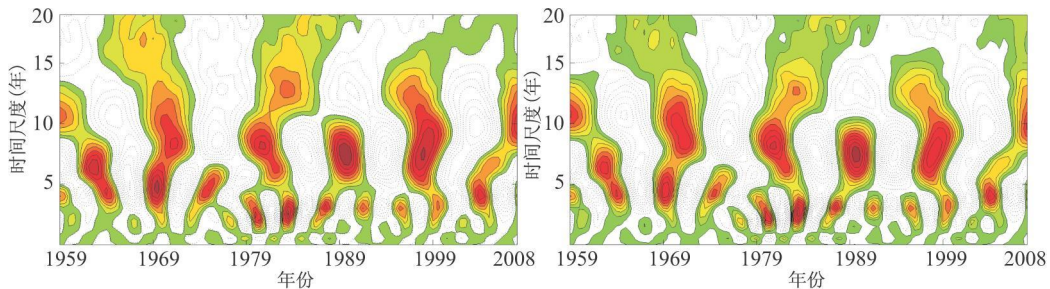


图 6 湖北省暴雨量(左)、暴雨日数(右)的小波变换系数实部时频分布

Fig. 6 Rainstorm (left), Storm Frequency (right) the Real Part of Wavelet Coefficients Time-frequency Distribution in Hubei Province

分析图 6 可知, 湖北省暴雨量及暴雨日数均存在多重时间周期尺度上的嵌套复杂结构现象, 明显地存有 9 a、5 a 左右的周期振荡信号。在 9 a 左右

的年代际时间变化尺度上, 经历了 1969~ 1973、1979~ 1983、1988~ 1991、1997~ 2000 年等时间阶段的暴雨偏多期, 而且 2006~ 2008 年的振荡周期等

值线远未闭合,说明至今该周期上湖北省暴雨正处于偏多期。在 5 a 左右的短时间尺度上,经历了 1963~ 1965、1968~ 1970、1974~ 1976、2003~ 2005 年等的暴雨偏多期。结合湖北省暴雨量及暴雨日数的小波方差变化曲线(图 7)可以看出,二者均存在 2 个峰值,一致性的对应着 9 a 和 5 a 的时间尺度。具

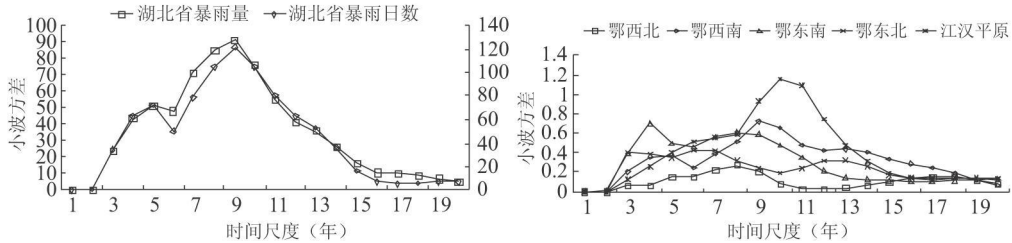


图 7 湖北省暴雨量及暴雨日数及各分区暴雨日数的小波方差变化曲线

Fig. 7 Hubei Province Storm Frequency and Rainstorm and District 5 Storm Frequency Curves of Wavelet Variance

## 4 总结与讨论

(1) 空间分布上,湖北省降水主要受东亚季风的影响,导致暴雨表现出从东南向西北递减的趋势。鄂东区域距海较近空气中水汽较多,加之特殊地形对暖湿气流的抬升作用,使鄂东南和鄂东北成为全省暴雨的高值高频区域,其中英山处于大别山与幕阜山之间的喇叭口地带,其地形的抬升作用使英山成为全省的暴雨中心。鄂西北因纬度较高、距海较远,受北方干冷空气的影响时间长,空气中水汽含量较少,使之成为全省暴雨的低值低频区域<sup>[13]</sup>;其中房县处于大巴山的背风坡,阻挡了来自孟加拉湾、南海的西南湿润气流和西太平洋的东风气流,成为全省的暴雨低值低频中心。江汉平原与鄂东南、鄂西南虽同处一个纬度,但鄂东南和鄂西南的山脉均呈东北-西南走向,与夏季风几乎垂直<sup>[13]</sup>,地形对暖湿气流的强迫作用使二者的暴雨强于江汉平原。

(2) 从季节分布看,湖北省暴雨从春季的鄂东地区移动到夏季的鄂东地区、江汉平原和鄂西南,秋季推移到鄂西南,冬季返回至鄂东北和鄂东南。春季湖北省暴雨受 850 hPa 四川盆地或云贵高原的低涡环流和地面气旋的影响,鄂东区域处于气旋波的北部冷暖空气汇合的低压槽内而成为暴雨中心;夏季 700 或 850 hPa 的低涡环流沿江淮流域的准静止梅雨锋扰动东移,致使鄂东地区、江汉平原和鄂西南出现暴雨天气<sup>[14]</sup>;秋季鄂西南处在副高西北边缘西南暖湿气流之中,形成多暴雨中心;冬季暴雨与高空低槽、中低层低涡和切变线等天气系统及鄂东特殊的喇叭口辐合地形有关<sup>[15]</sup>。

体到各分区(图 7),可知鄂西北存在 8、17 和 5 a,鄂西南有 9、5 和 13 a 左右的周期,鄂东南存在 4 a 和 8 a 的短周期,鄂东北有 7 a 左右的短周期和 13 a 左右的年代际周期,江汉平原地区存在 10 a 左右的年代际周期。

(3) 湖北省大暴雨高频区、特大暴雨多发区和暴雨极大值区均出现在鄂东地区,大暴雨表现最弱的地区为鄂西北,其中特大暴雨的形成同西太平洋副高季节性移动和西风带系统的活动有关<sup>[16]</sup>;暴雨极值同地形的关系密切,一般多出现在山脉的迎风坡、平原与山脉的过渡地区或河谷地带<sup>[17]</sup>。

(4) 1959~ 2008 年湖北省暴雨量经历了偏少-偏少-偏多-偏多-偏少的年代际变化过程,其中 20 世纪 70 年代为最少的 10 年,80 年代、90 年代为峰值期,进入 21 世纪以来的 9 a 暴雨量略少于 20 世纪 60 年代,对暴雨量的年代际变化特征贡献率最大的季节为夏季,这与武汉<sup>[6]</sup>、十堰<sup>[7]</sup>的暴雨年代际变化结论相一致。湖北省全省及各分区的年暴雨日数均呈不显著的增长趋势,大暴雨日数除鄂东南和鄂东北外均呈弱的增长趋势,且进入 21 世纪以来,湖北省 5 个分区的暴雨日数除鄂东南地区外均处在增长阶段。湖北省暴雨偏多年较偏少年出现的频率高,其中 1983 年为异常偏多暴雨年,1966 年为异常偏少年。湖北省暴雨存在 9 a 的年代际变化和 5 a 短周期变化特征,各分区暴雨日数均表现出显著地 8~ 10 a 的年代际变化特征。湖北省暴雨在 1978 年经历了由偏少到偏多的突变,与陈正洪等<sup>[6]</sup>的武汉暴雨日的 1979 年突变基本接近。

## 参考文献:

- [1] GROISMAN P Y, KNIGHT R W, KARL T R. Heavy precipitation and high streamflow in the contiguous united states: Trends in the twentieth century[J]. Bulletin of the American

- Meteorological Society, 2001, 82(2): 219~ 246.
- [2] ALEXANDER L V, ZHANG X, PETERSON T C, et al. Global observed in daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. *Geophys Res Lett*, 2006, 111; doi: 10. 1029/2005JD006290.
- [3] BOO K-O, KWON W-T, BAEK H-J. Change of extreme of temperature and precipitation over Korea using regional projection of future climate change[J]. *Geophys Res Lett*, 2006, 33, L01701, doi: 10. 1029/2005GL023378.
- [4] 韩青山. 湖北省暴雨灾害及防御对策初探[J]. *灾害学*, 1992, 7(3): 25~ 28.
- [5] 宋清翠, 马文彦. 武汉市暴雨气候特征分析[J]. *华中师范大学学报: 自然科学版*, 1998, 32(1): 104~ 108.
- [6] 陈正洪, 杨宏青, 涂诗玉. 武汉、宜昌近 100 多年暴雨与大暴雨日时间变化特征[J]. *湖北气象*, 1999(3): 11~ 14.
- [7] 尹恒. 20 世纪后 30 年十堰市暴雨时空分布特征[J]. *湖北气象*, 2005(2): 18~ 20.
- [8] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. *大气科学*, 1992, 16(4): 482~ 491.
- [9] 马开玉, 丁裕国, 屠其璞, 等. 气候统计原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 46~ 236.
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 77~ 82.
- [11] 罗东, 古霖, 谢龙生. 梅州地区 36 年的年暴雨日数时空分布规律分析[J]. *广东水利水电*, 2009(5): 39~ 43.
- [12] 黄明策. 广西暴雨时空分布特征[J]. *广西气象*, 2006, 27(03): 9~ 16.
- [13] 邓先瑞, 黄建武, 朱吉英. 湖北省降水量分布特征与蒸发力的初步研究[J]. *华中师范大学学报*, 1987, 21(2): 283~ 290.
- [14] 王崇洲, 马文彦, 李银娥. 湖北省降水季节分布特征分析[J]. *湖北气象*, 2003(1): 11~ 14.
- [15] 李银娥, 彭春华. 应用 MM5 模式对一次冬季降水过程的预报[J]. *湖北气象*, 2001(2): 7~ 9.
- [16] 赵孟坚. 湖北省暴雨特性分析[J]. *水文*, 1987(4): 53~ 56.
- [17] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 344.

## CLIMATE CHANGE CHARACTERISTICS OF RAINSTORM IN HUBEI PROVINCE DURING 1959~ 2008

XU Lili, CAI Daoming, WU Yijin

(College of Urban and Environmental Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** Based on 1959~ 2008 daily precipitation data over 17 stations of Hubei Province, applying the Kriging interpolation method, linear trend, the cumulative anomaly, moving average and the Mann-Kendall, complex Morlet wavelet analysis method the characteristics of the temporal and spatial distribution of torrential rains in Hubei Province were analyzed. The results indicate: Hubei Province's storm show a multi-center distribution, there are two storm high-frequency center, which one is in the southeast and the other is in northeast Hubei; one low-frequency center in the northwest Hubei; on the overall it shows a decline from the southeast to the northwest of the geographical distribution; high-frequency heavy rainfall areas, storm-prone areas and maximum rainfall areas appeared in eastern Hubei. On time evolution of trends, Hubei storm days showed weak growth trend in the past 50 years, and experienced below normal-below normal-above normal-above normal-below normal during the interdecadal variation of rainfall amount; the frequency of partial years of heavy rain days is higher than the partial juvenile in abnormal rainstorm; torrential rain days and heavy rainfall across the province the amount of mutation occurred in 1978, and there is 9 years and 5 years of periodic oscillations, and district torrential rain days have shown significant decadal cycle of 8~ 10 years features.

**Key words:** Hubei Province; storm frequency; rainstorm; spatial and temporal distribution