

文章编号:1004-9045(2007)02-0149-05

近 55 年中国大陆地区降水突变的区域特征

向辽元¹, 陈 星², 黎翠红³, 郑京华³

(1.湖北省气象局, 武汉 430074; 2.南京大学大气科学系, 南京 210093; 3.钟祥市气象局, 钟祥 431900)

摘 要: 利用中国大陆 1951~2003 年 160 站较为完整的降水观测资料, 采用 Mann-Kendall 检验法和小波分析方法, 确定了中国大陆不同区域降水突变事件的大致时间, 研究揭示了近 55 年中国大陆降水突变事件变化的区域特征。得出如下结论: (1) 近 55 年来, 中国大陆年平均降水量正在逐步减少。华北地区、四川盆地和东北地区年降水量减少明显。年降水量增加的区域位于长江中下游及其以南地区, 另外, 西北部分地区和青藏高原南部略有增加。(2) 中南地区和青藏云地区年降水在 20 世纪 90 年代中后期出现突变, 华北地区降水突变出现在 20 世纪 70 年代中期, 东北地区突变出现在 20 世纪 60 年代中期, 华南地区降水在 20 世纪 70 年代初期出现突变。

关键词: 降水突变; 区域特征; Mann-Kendall 检验法; 小波分析

中图分类号: P467 文献标识码: A

1 引言

气候突变是普遍存在于气候系统中的一种重要现象, 其要点是某种系统或过程从一种稳定状态到另一种稳定状态的飞跃。19 世纪 60 年代中期, 法国数学家 Thom 创立了突变理论。1958 年, 叶笃正就指出了 6 月和 10 月大气环流的突变现象。符淙斌和王强^[1]从时间演变角度考虑某一气候变量的特性提出了气候突变的定义。气候从一个平均值到另一个平均值的急剧变化称为均值突变, 它表现为气候变化的不连续性, 能较好反映一个气候基本状况(特征平均值)的变化。

1994 年, 符淙斌^[2]较详细介绍了 20 世纪的三次主要气候突变(1900、1920 和 1960 年)。20 世纪初在降水场上主要特征是全球热带、非洲和南亚季风区降水量减少, 但中纬度地区和东亚季风区雨量增加。20 世纪 20 年代突变后中国东部干旱化趋势明显。20 世纪 60 年代的气候突变, 降水场主要特征是梅雨期缩短, 夏季风强度减弱。严中伟等^[3]从降水量、温度、海面温度、500hPa 高度、海平面气压场等多种要素场对 60 年代北半球夏季的气候突变进行了细致的分析。发现此次突变反映在各种要素变化上, 突变具有行星尺度的带状的正负距平相间的空间结构。20 世纪 60 年代的气候突变已被许多研究者所指出, 而且被公认为是目前观测资料所能较完整描述的唯一一次气候突变事件^[4-6]。这次气候突变在全球范围降水、气温、海表水温和北半球范围的海平面气压以及 500 hPa 高度等要

素演变上都有清楚的反映^[7], 虽然每种要素的突变时间并不完全一致, 但都在 1962~1967 年间发生。彭加毅等^[8]分析表明, 在 1979 年中国东部降水发生突变, 从中间旱、南北涝转变成中间涝、南北旱的分布, 旱涝分布型同时发生突变。陈隆勋等^[9]通过对中国 1951~1995 年气候分析, 指出降水减少最多的地区是华北, 降水减少的其他地区有东北、华东和青藏地区, 但东北地区自 1985 年以来已有明显增加。降水增加的地区有华南和西北地区, 江淮流域降水增加最多。其他地区变化不大。

本文采用 M-K 检验和小波分析方法从不同区域对中国大陆降水突变现象进行了分析, 揭示了降水突变现象的区域特性。

2 资料和研究方法

2.1 资料和区域分布方法

在分析研究中, 选用了中国气象局国家气候中心整编的全国 160 站的资料。所用的资料为 1951~2003 年的逐日降水资料。采用 1971~2000 年 30 a 逐月的资料确定气候参照值。八个区域^[9]分为: (1) 东北地区(NE)包括黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古自治区东北部; (2) 华北地区(N)包括河北、山东、山西和内蒙古中段; (3) 华东地区(E)包括江苏、江西、浙江、安徽和福建; (4) 西南地区(SW)包括四川和贵州; (5) 华南地区(S)包括广东、广西和海南; (6) 青藏云地区(QZY)包括青海、西藏、云南; (7) 西北地区(NW)包括新疆、宁夏、甘肃和陕西; (8) 中南地区(C)包含河南、湖南和湖北。

收稿日期: 2007-03-12; 定稿日期: 2007-05-30

作者简介: 向辽元, 男, 1974 年生, 工程师, 从事业务管理工作。Email: hubeixly@163.com

2.2 分析方法

2.2.1 降水变化趋势分析

由于资料站点分布不均匀,南北差异和东西差异较大,为客观分析全国降水平均状况,将站点资料按面积加权平均的方法计算出每年的全国平均值,用最小二乘法确定年平均降水量总变化趋势。

2.2.2 Mann- Kendall 突变检验法

Mann- Kendall 方法^[10,11](以下简称 M- K 方法)是一种非参数统计检验方法,此方法优点在于检测范围宽,人为干扰少,定量化程度高。M- K 方法是在气候序列平稳的前提下,定义一统计量:

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i, (2 \leq k \leq N) \quad (1)$$

m_i 表示第 i 个样本 x_i 大于 $x_j (1 \leq j < i)$ 的累计值。在原序列随机独立的假设下,对 d_k 标准化后为 $U(d_k)$,给定一显著性水平 α ,当 $|U(d_k)| > \alpha$ 时,则拒绝原假设,它表示此序列将存在一个强的增长或减少趋势。所有 $U(d_k) (1 \leq k \leq N)$ 将组成一条曲线 UF。把此方法引用到反序列中,得到另一条曲线 UB,如果曲线 UF 和 UB 的交叉点位于信度线之间,这个点便是突变的开始。

2.2.3 小波分析方法

小波分析方法用于检验信号突变可以较准确地检测出信号突变时间点^[12]。本文用于检验 M- K 方法得出的结论。小波分析信号突变点的一般方法是对信号进行多尺度分析,在信号出现突变时,其小波变换后的系数具有模量极大值,因而可以通过对模量极大值的检测来确定突变发生的时间。对于一维时间序列 $x(t)$, 其小波变换定义为:

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{ab}^*(t) dt = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2)$$

其中: $W(a,b)$ 是小波系数, a 是尺度参数, b 是位置平移参数, $\psi_{ab}(t)$ 是小波的函数, $\psi^*(t)$ 是小波函数 $\psi_{ab}(t)$ 的共轭函数。

上式中小波函数 $\psi_{ab}(t)$ 可以取不同的形式,本文采用 Morlet 小波进行变换。取标准 Morlet 小波为母小波,表达式为:

$$\psi(t) = e^{i2\pi t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (3)$$

其子小波为: $\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) = e^{i2\pi \left(\frac{t-b}{a}\right)} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-b}{a}\right)^2}$

用来反映时频特征的是小波变换系数 $W(a,b)$ 。小波系数模平方 $(|W(a,b)|^2)$ 的大小可以表示时间尺度信号的强弱。由于 Morlet 小波的实部也是一个对称的小波函数,小波系数 $W(a,b)$ 的实部可以表示不同特征时

间信号在不同时间的强弱和位相两方面消息。通过检查小波系数 $W(a,b)$ 的等位相角线的辐合状况可以确定信号的奇异点(突变点)及其发生时间。

3 中国大陆降水变化总体趋势

从中国大陆年平均降水量的时间变化(图 1)可看出,年平均降水量以 3.0 mm/10a 的速度减少,其中 1950 年代初期和中期为多雨时期,1960 年代中期和末期,1970 年代中期和末期以及 1980 年代中期和末期为少雨期,1990 年代变化不大。

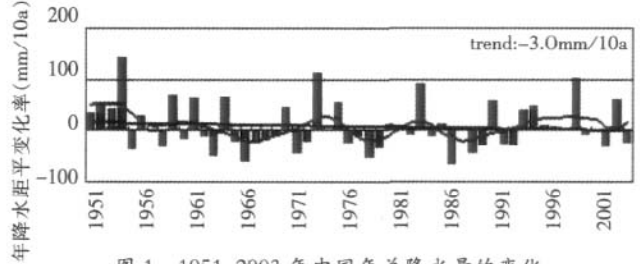


图 1 1951~2003 年中国年总降水量的变化

中国年总降水量的变化趋势空间分布(图 2)反映出近 55 年来华北地区年降水量趋于减少,趋势为 20~50 mm/10a,尤其是在山东、山西和陕西省。四川盆地年降水量也显著减少,趋势为 20~55 mm/10a,东北地区减少的趋势为 10~40 mm/10a。年降水量增加的区域位于长江中下游及其以南地区,增加趋势为 10~80 mm/10a,西北部分地区增加趋势为 5~10 mm/10a,青藏高原南部略有增加。

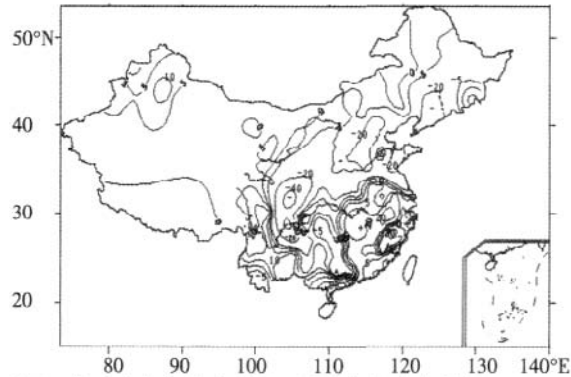


图 2 中国大陆年降水量变化趋势空间分布(单位:mm/10a)

利用 M- K 方法对中国大陆年平均降水量距平序列分析,如图 3。由图可看出正、反两序列曲线在 1993 年左右出现交叉,在 20 世纪 50 年代初也存在交叉现象。对中国大陆年平均降水量距平序列进行一维连续小波变换多尺度分析(图 4),发现在 1964 年和 1990 年前后出现奇异点。可以看出,中国大陆年平均降水量距平序列在 20 世纪 90 年代初发生了突变。

4 降水突变的区域特征

从各区域年降水序列 M- K 突变检验分析(图 5)

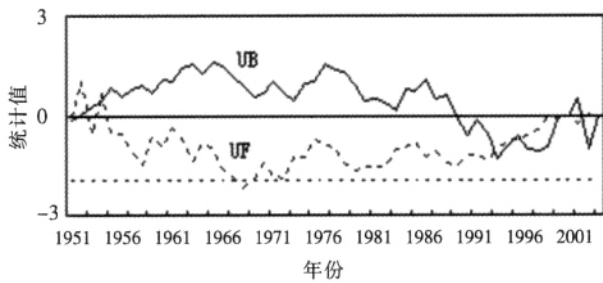


图3 全国降水量距平 M-K 检验分析图

可以看出, 在 0.01 的显著性水平下, 八个区域均存在交叉点。C 区域的正、反序列曲线在 1997 年左右出现交叉, E 区域在 1991 年左右出现交叉, N 区域交叉点出现在 1977 年, NE 区域交叉点出现在 1965 年和 1995 年, NW 区域在 53 年间出现多次交叉, 较明显的两次出现在 1979 年和 1991 年, QZY 区域交叉点出现在 1997 年, S 区域在 1971 年到 1991 年多次出现交

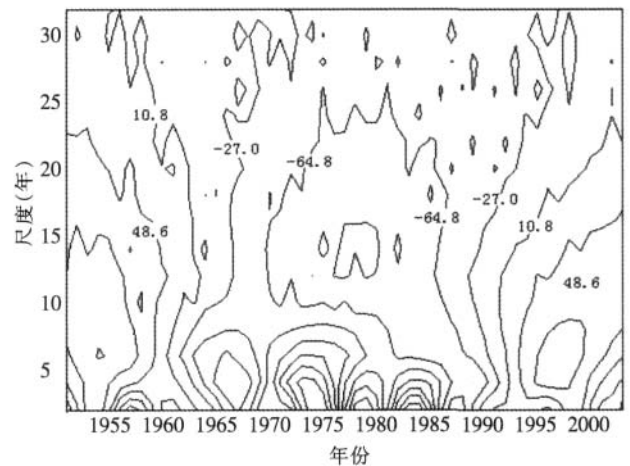


图4 全国降水距平小波分析图

叉, SW 区域在 1981 年出现交叉, 但交叉不明显。根据 M-K 突变检验分析方法, 可初步确定出现交叉点的时间是该区域年降水序列发生突变的时间。

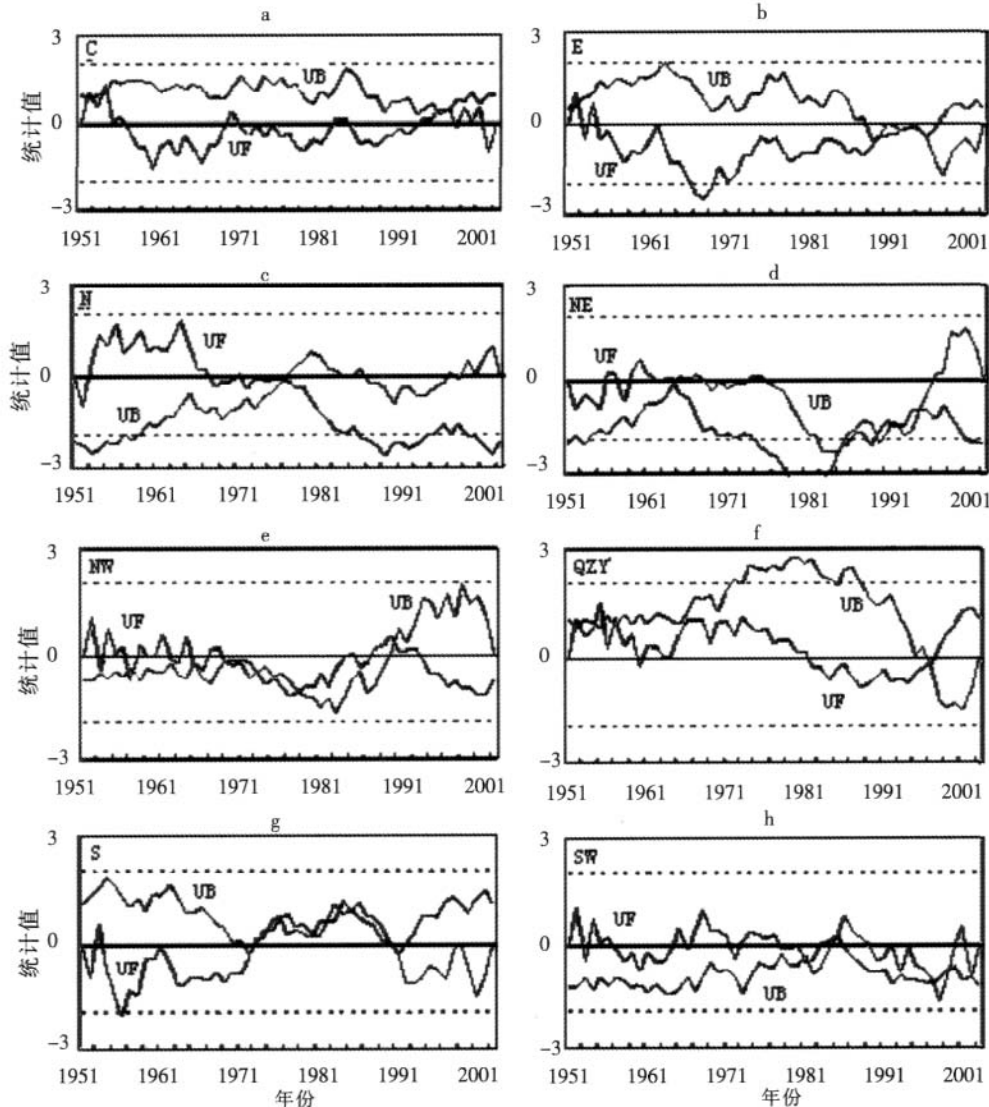


图5 八个区域年降水距平 M-K 突变检验分析图(a-h)

通过分析各区域年降水量距平序列曲线图 (图略), 发现 C 区域、E 区域和 S 区域降水呈增加的趋

势; QZY 区域在 1985 年后降水量开始逐步增加; NE 区域在 1951~1973 年属于相对多雨期, 1974~1988 年

属于相对少雨期, 1989~1998 年属于相对多雨期, 1998 年后又进入相对少雨期; N 区域、NW 区域和 SW 区域在 53 年间降水呈现逐步减少的趋势。可见, 降水量距平序列曲线图不能明显反映序列的跳跃点(突变点)。

进一步通过小波分析方法来对八个区域年降水距

平序列分析(图 6), 可以发现 C 区域在 1995 年左右出现奇异点, N 区域在 1975 年左右出现奇异点, NE 区域在 1965 年左右出现奇异点, QZY 区域在 1998 年左右出现奇异点, S 区域在 1970 年左右出现奇异点, 基本与用 M-K 方法得出的结论一致。

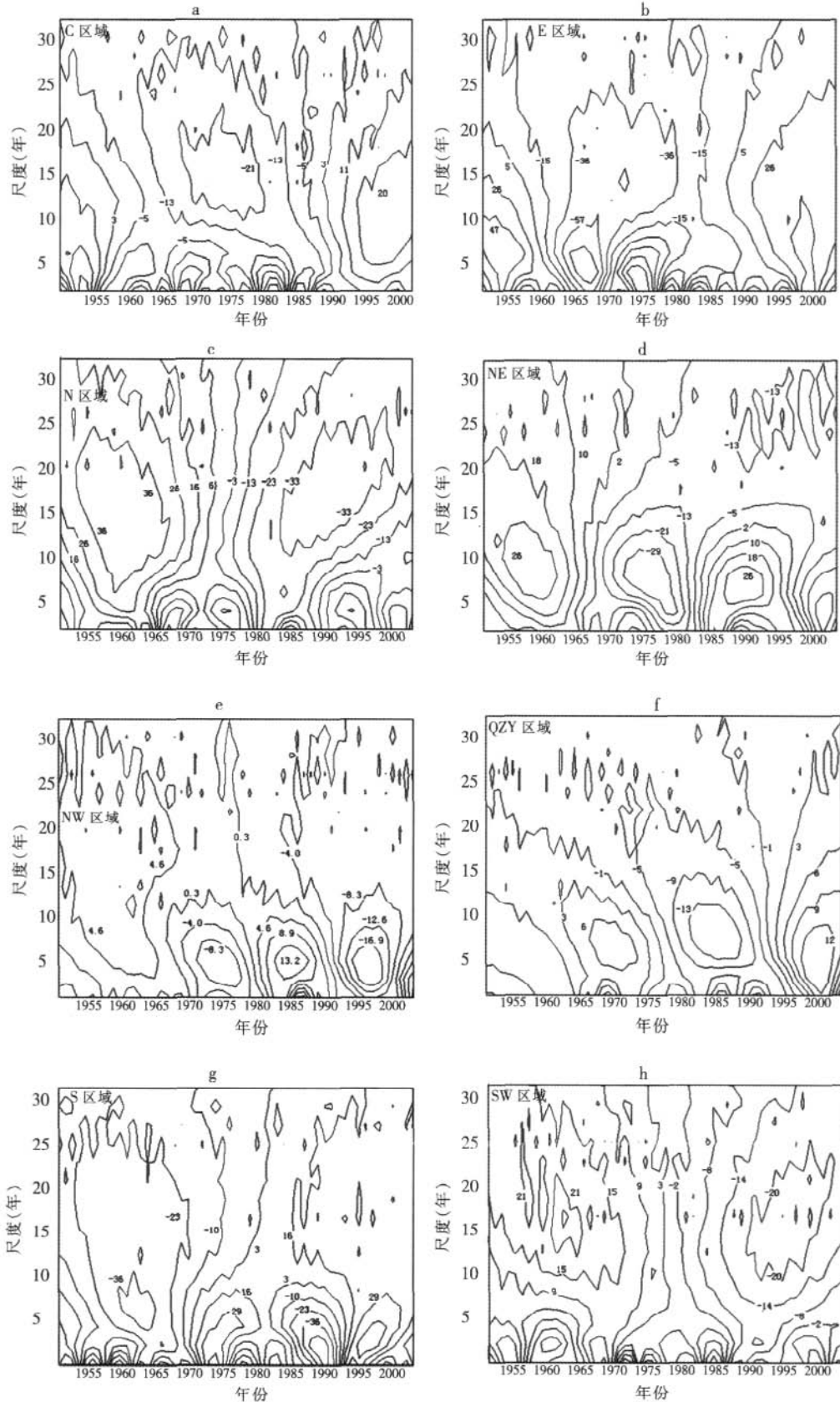


图 6 八个区域年降水距平小波分析图(a-h)

5 结论

(1) 近55年来,华北地区年降水量趋于减少,趋势为20~50 mm/10a,四川盆地年降水量也显著减少,趋势为20~55 mm/10a,东北地区减少的趋势为10~40 mm/10a。年降水量增加的区域位于长江中下游及其以南地区,增加趋势为10~80 mm/10a,西北部分地区增加趋势为5~10 mm/10a,青藏高原南部略有增加。

(2) 近55年来中国大陆地区年平均降水量趋于减少,趋势为3 mm/10a,年平均降水量在20世纪90年代初出现突变。

(3) 中南区域和青藏云区域年降水在20世纪90年代中后期出现突变,华北区域降水突变出现在1975~1977年,东北区域突变出现在1965年,华南区域降水在20世纪70年代初期出现突变。华东、西北、西南区域没有出现明显突变现象,或突变不明显。

参考文献:

- [1] 符凉斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992,16(4):482-493.
- [2] 符凉斌.气候突发现象的研究[J].大气科学,1994,18(3):373-384.
- [3] 严中伟,季劲钧,叶笃正.六十年代北半球夏季气候跃变.降水和温度变化[J].中国科学,B辑,1990(1):97-1037.
- [4] 李崇银,李桂龙.北大西洋涛动和北太平洋涛动的演变与20世纪60年代的气候突变[J].科学通报,1999,44(16):1765-1769.
- [5] 王绍武,赵宗慈.北半球对流层下部温度变化的研究[J].气象学报,1984,42:238-2455.
- [6] Ye Duzheng, Yan Zhongwei. Climate Jumps in the History, Climate Variability [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1993: 3-148.
- [7] 严中伟.六十年代夏季气候跃变过程的初步分析[J].大气科学,1992,16:111-118.
- [8] 彭加毅,孙照渤,朱伟军.70年代末大气环流及中国旱涝分布的突变[J].南京气象学院学报,1999,22(3):300-304.
- [9] 陈隆勋,朱文琴,王文,等.中国近45年来气候变化的研究[J].气象学报,1998,56(3):257-271.
- [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,1999:69-72.
- [11] 黄嘉佑.气候状态变化趋势与突变分析[J].气象,1995,21(7):54-57.
- [12] 胡昌华,张军波,夏军,等.基于MATLAB的系统分析与设计——小波分析[M].西安:西安电子科技大学出版社,1999:210-217.

The Regional Features of Abrupt Precipitation Change in China in Recent 55 Years

XIANG Liao-yuan¹, CHEN Xing², LI Cui-hong³, ZHENG Jing-hua³

(1. Hubei Province Meteorological Bureau, Wuhan, 430074;

2. Department of Atmospheric Science, Nanjing University, Nanjing 210093; 3. Zhongxiang Meteorological Office, Zhongxiang 431900)

Abstract: Based on the data of monthly precipitation from 160 stations in 1951-2003, the time of abrupt precipitation changes in different region of china could be determined by the use of Mann-Kendall jump test and wavelet, and the regional features of abrupt climatic changes in recent 55 years were found as follows. (1) The annual precipitation was gradually reducing in the Chinese mainland. the annual precipitation was significantly reduced in North China, Northeast China and Schuan Basin, increased in the middle and lower reaches of the Yangtze River and its southern area, and slightly increase in the south of Qinghai-Tibet Plateau as well as the Northwest of China. (2) The abrupt precipitation changes were observed in Midland and Qinghai-Tibet Plateau region in the late 1990s, North China in medium 1970s, Northeast China in middle 1960s, and South China in early 1970s.

Key words: Abrupt Precipitation change; Regional feature; Mann-Kendall jump test; Wavelet