

绍兴市近 48 年降水演变特征统计分析

庞盛荣, 罗国军

上虞市气象局, 浙江上虞 312300

摘要 选取绍兴国家气象观测站 1961 年 1 月至 2009 年 2 月逐月降水量作为降水分析基本资料, 利用一元线性回归、小波变换和 Mann-Kendall 检验等统计学方法对绍兴降水季节变化和年际变化的特征进行了综合分析, 分析了不同时间尺度下降水序列变化的周期和突变点, 并根据主周期对未来降水变化趋势进行了预估。结果发现, 绍兴市近 48 a 各个季节和年降水都存在多时间尺度特征, 大尺度的周期变化中嵌套有小尺度的周期变化。春季降水以 3~4 a 年周期为主, 并有准 3 a 周期向准 4 a 周期转变的趋势; 夏季降水主要存在准 4 a 和准 14 a 周期变化; 秋季降水主要存在准 2 a 和准 12 a 周期变化; 冬季降水主要存在准 4 a 和准 16 a 周期变化; 年降水主要存在准 2 a 和准 4 a 年际周期变化和准 13 a 年代际周期变化。绍兴春季和冬季降水突变不明显; 夏季和秋季突变明显, 突变点分别出现在 1973 年和 1963 年, 而年降水突变不明显, 不存在明显的突变期。夏季降水变化趋势和年降水趋势基本一致; 夏季降水和年降水在时域上分布有很大的相似性, 都具有准 4 a 周期变化, 并全时域存在; 夏季降水突变影响到全年降水的突变。根据绍兴夏季降水和年降水的主周期推测, 2009 年后的 5~6 a 绍兴年降水将相对偏多。

关键词 降水演变; 小波分析; Mann-Kendall 检验; 多时间尺度

中图分类号 P458.1*22

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)18-0060-06

Statistical Analysis of 48 Year's Rainfall in Shaoxing

PANG Shengrong, LUO Guojun

Shangyu Meteorology Bureau, Shangyu 312300, Zhejiang Province, China

Abstract This paper analyzes the historical rainfall data of Shaoxing National Meteorological Observatory, by using methods of linear regression, wavelet analysis and Mann-Kendall mutation testing, to reveal the seasonal variation and interannual change of 48 year's rainfall series in Shaoxing region., and to forecast the future rainfall. The results are as follows. Multiple time scale features can be seen in the whole seasonal and annual rainfall series. The 3~4 years period variations prevail in spring rainfall series, with a transition trend from 3 years period to 4 years period. 4 years and 14 years period variations are the main types in summer rainfall series. 2 years and 12 years period variations are mainly found in autumn rainfall series, and 4 years and 16 years period variations in winter rainfall sequence. 2 years, 4 years and 13 years period variations prevail in annual rainfall sequence. The sudden change of spring, winter and annual rainfall is not obvious.

The mutation points of summer and autumn rainfall occur, respectively, in 1973 and 1963. The same tendency is seen in summer and annual rainfall sequence. The summer rainfall mutation influences the annual rainfall mutation. The rainfall of Shaoxing region will become affluent in the future 5~6 years according to the main period of summer and annual rainfall series.

Keywords rainfall evolution; wavelet analysis; Mann-Kendall mutation testing; multiple time scales

0 引言

浙江省属亚热带季风气候区, 气象灾害是该省最严重的自然灾害之一, 浙江的自然灾害大多与降水有着直接的关系。顾骏强等^[1-2]对浙江汛期降水和单纯的夏季降水进行的相关分析结果表明, 浙江汛期降水量总体上有减少趋势并具有 3.6 a 准周期振荡; 而单纯的夏季降水量变化取决于梅雨和台风, 浙江夏季降水量场具有准 2.5、3.5~5、38 等周期振荡。同时指出, 浙江夏季旱涝与太平洋 SST 异常也有着很好的对应关系, 尤其赤道东太平洋海区的异常变化可作为浙江夏季旱涝预测的一个重要前兆因子。而绍兴市地处浙江省中北部, 北临杭州湾, 全年平均降雨量在 1 480 mm 左右。受梅雨和台风影响, 主汛期降水年际变化较大, 致使旱、涝灾害频繁发生。因此, 降雨的中长期趋势预测正确与否也越来越受到人们的关注和重视, 深入研究该地区几十年来的降水特征及变化规律, 为中长期气候预测提供依据, 具有重要而现实的意义。

收稿日期: 2008-12-25

作者简介: 庞盛荣, 工程师, 研究方向为公共气象服务, 电子信箱: psr121@126.com

1 基本资料选取和方法

1.1 资料和计算

本文选取绍兴国家气象观测站 1961 年 1 月至 2009 年 2 月逐月降水量作为降水分析的基本资料,首先分别对春(3-5 月)、夏(6-8 月)、秋(9-11 月)、冬(12-次年 2 月)和年降水(1-12 月)序列进行距平运算,并使用了一元线性回归和 3 次项拟合等方法进行初步分析;然后对各季节和年降水资料进行小波变换研究其变化规律和周期;最后用 Mann-Kendall 法进行突变检验。

1.2 主要分析方法

本文使用小波变换作为主要分析方法,小波变换作为工具和方法上的突破,已在信号分析、图像处理及大气和海洋科学等诸多领域得到了广泛应用,取得了许多成果^[3-6]。气候资料是多尺度的,从较大尺度上讲有冷期和暖期之分,在冷或暖期中还有较小尺度的冷暖期,甚至还包含有更小尺度的冷暖期,降水变化亦是如此。因此,用传统的统计判别方法很难判别其演化过程。而小波变换具有能够在时域和频域同时保持良好的局部化特征,能够揭示突变点位置和具有多分辨特性等优点,就好像是一个数学放大镜,调节放大倍数就可以清楚地看出气候时间序列在各时间尺度上的变化趋势。所以,用小波变换研究大气科学中的问题具有很大的优越性和巨大的潜力。

本文小波变换选用 Morlet 小波,其母函数形式为

$$\psi(x)=\pi^{1/4}e^{ix}e^{-x^2/2}$$

子小波形式为

$$\psi_{a,b}(x)=\frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$$

其中, a 为尺度参数, b 为平移参数^[3]。

为减小边界效应的影响,小波变换前将各序列分别向两端作了周期性延拓,得到 3 倍于原长度的资料序列,以此作为小波变换的资料;小波变换后,再将延拓的部分舍弃,保留原始时段内的小波系数进行分析。小波尺度范围选取为样本长度的 1/3,即 1~16。

将时间域上的关于 a 的所有小波系数的平方积分,即为小波方差。小波方差随尺度 a 变化过程称小波方差图。它反映了波动的能量随尺度的分布,故可以确定一个时间序列中存在的主要时间尺度,即为主周期。

利用气象统计分析中常用的一元线性回归分析对各几个季节及全年降水序列的距平值进行回归分析,得出降水序列的变化趋势。通过求各降水序列与自然数序列的相关系数,并对所求得的相关系数进行显著性检验,从而可以判断气候序列长期变化趋势的显著水平。所用到的检验方法为概率统计中的 t 检验。此外为了分析降水序列在各个时段的变化情况,对其距平值进行三次项拟合。

Mann-Kendall 法^[3]是一种非参数统计检验方法,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,

更适用于类型变量和顺序变量。本文利用 Mann-Kendall 法对各降水序列进行统计检验以期得到各降水序列的突变属性。

2 绍兴降水序列的特征分析

2.1 降水序列的趋势分析

图 1 是绍兴 1961-2007 逐年各季降水和年降水的距平序列,以及 3 次项拟合、线性趋势线,其中直方图是距平序列,实线是 3 次项拟合曲线,短划线是线性趋势线(以下同)。由图 1(a)可以看出,近 48 a 绍兴春季降水大致呈现出一个“偏少-偏多-偏少”的走势,具体是 1970 年前降水相对偏少,1971-1995 年降水相对偏多,1996 年后降水相对偏少。线性趋势略呈下降趋势,降水倾向趋势值为 $-0.128\ 1\ \text{mm/a}$,表明春季降水总体上呈减少趋势,但是没有通过 90%置信度检验(见表 1),说明其减少趋势不显著,基本维持于常年值附近。

夏季降水同样呈现“偏少-偏多-偏少”走势(图 1(b))。具体表现为 1979 年前降水明显偏少,1980-2001 年降水明显偏多,2002 年后降水明显偏少。这与樊高峰等^[7]指出的进入 21 世纪以来浙江夏季降水减少明显的结论一致。而 2008 年由于浙江出现典型的梅雨期降水为该年夏季降水较常年偏多起到了重要作用。线性趋势呈上升趋势,降水倾向趋势值为 $2.557\ 3\ \text{mm/a}$,表明夏季降水呈明显增多趋势,并通过 90%置信度检验,说明其增多趋势显著。

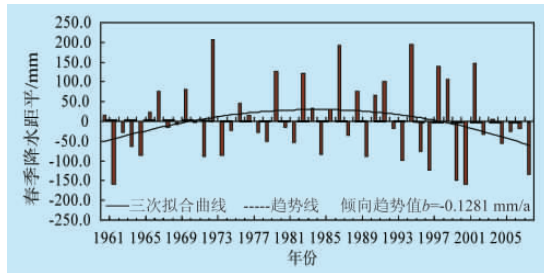
秋季降水呈现“偏多-偏少”走势(图 1(c))。具体表现为 1989 年前降水相对偏多,1990 年后降水相对偏少。线性趋势略呈明显下降趋势,降水倾向趋势值为 $-2.533\ 7\ \text{mm/a}$,表明秋季降水呈明显减少趋势,并通过了 90%置信度检验,说明其减少趋势显著。这与袁晓玉等^[8]对浙江省秋季降水趋势和旱涝年特征研究结果一致。

对于冬季降水(图 1(d)),表现为和秋季相反的走势,呈现“偏少-偏多”走势。具体是 1996 年前降水相对偏少,1997 年后降水明显偏多。线性趋势略呈上升趋势,降水倾向趋势值为 $1.719\ 8\ \text{mm/a}$,表明冬季降水呈增多趋势,并通过了 90%置信度检验,说明其增多趋势显著。

年降水则几乎与夏季相同(图 1(e)),呈现“偏少-偏多-偏少”走势。由此可以初步推断,绍兴市年降水趋势变化基本是由夏季降水决定的。只是降水变化幅度比夏季略小,具体是 1979 年前降水相对偏少,1980-2001 年降水相对偏多,2002 年后降水相对偏少,这与姜伟平等^[9]的研究结果一致。线性回归也呈上升趋势,降水倾向趋势值为 $1.332\ 7\ \text{mm/a}$,表明年降水呈增多趋势,但是没有通过 90%置信度检验,说明其增多趋势并不显著。

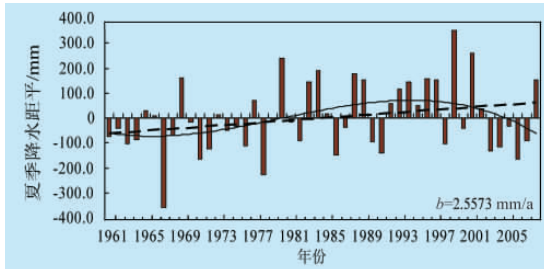
2.2 降水序列的小波分析

为了分析不同时间尺度下降水序列的变化特征,用 Morlet 小波变换方法对绍兴近 48 a 各降水序列做多尺度周期分析,图 2 是绍兴近 48 a 春季降水序列小波分析图,并结合小波方差图进行综合分析(图 3)。



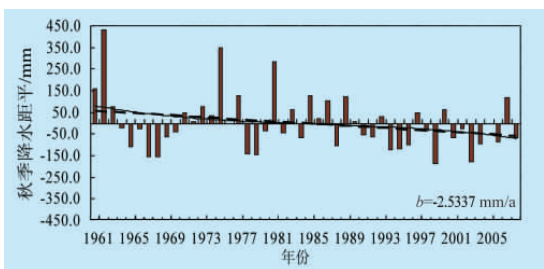
(a) 春季降水

(a) Spring rainfall



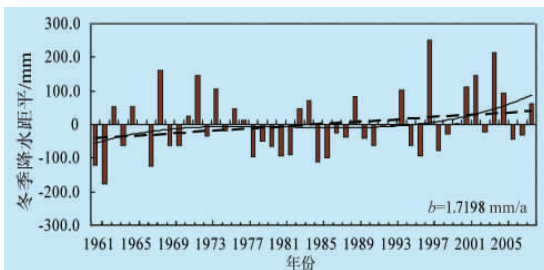
(b) 夏季降水

(b) Summer rainfall



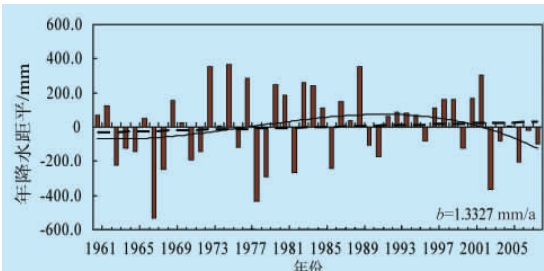
(c) 秋季降水

(c) Autumn rainfall



(d) 冬季降水

(d) Winter rainfall



(e) 年降水

(e) Annual rainfall

图1 各降水序列时间变化

Fig. 1 Variation of rainfall series

表1 各降水序列倾向趋势值及其与自然数序列的相关系数

Table 1 Tendency value of all rainfall series and correlation coefficient of all rainfall series and natural number series

降水序列	春季	夏季	秋季	冬季	全年
倾向趋势值	-0.128	2.557	-2.534	1.720	1.333
相关系数	-0.019	0.256*	-0.276*	0.260*	0.088

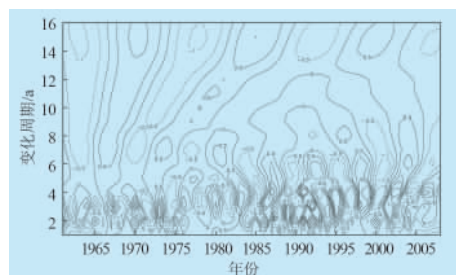
注:*表示通过90%置信度检验。

Note: * means through 90% reliability testing.

图2中数据值为小波变换系数,等值线为正的用实线表示,代表降水偏多,等值线为负的用虚线表示,代表降水偏少;上半部分等值线稀疏,对应于较长尺度的周期振荡,下半部分相对密集,对应于较短尺度的周期振荡。由春季小波方差图(图3(a))可以看出,图中主要存在着3~4 a为中心的高点,对应于整个春季小波分析图(图2(a))区间,尺度3~4 a附近有强数值中心,表明存在明显的3~4 a年际周期振荡,其中1961~1987年存在明显的准3 a短周期变化,1987~2008年则存在明显的4 a短周期变化。通过小波方差图可以看到,10 a以上年代际周期震荡不明显。因此,绍兴近48 a春季降水以3~4 a年际周期为主,并由准3 a向准4 a转变的趋势,以准4 a周期推断,绍兴2009年春季降水仍将相对偏少(根据绍兴站2009年3~5月降水资料分析,春季降水量为294.7 mm比常年的平均403.4 mm偏少,检验结果与预测相符),2010年和2011年春季的降水将相对偏多。

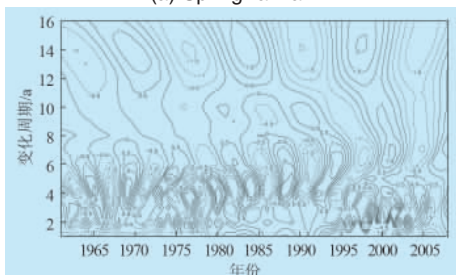
从绍兴近48 a夏季降水序列小波方差图(图3(b))可以看出,存在主要以4 a为中心的高点(由于1 a处于单边高点,无法判断是不是最高点,可以略去),在14 a附近存在相对高点。对应于整个夏季小波分析图(图2(b))区间,尺度4 a附近有强数值中心,表明准4 a的年际周期振荡表现最明显,几乎贯穿整个时域;但是从1995年来,受更短的2 a高频振荡影响,准4 a的年际周期振荡明显减弱。10 a以上年代际周期震荡在14 a表现也较明显,表明绍兴夏季降水存在准14 a的年代际周期变化,并且全时域存在。在准14 a尺度上,近48 a来绍兴市的夏季降水变化表现为3个偏多期和4个偏少期,2002年开始降水相对偏少,到2008年等值线基本闭合,说明2009年后绍兴的夏季降水将进入偏多期。

图3(c)是绍兴近48 a秋季降水序列小波方差图,可以看出,图中主要存在2 a和12 a高点,对应于整个秋季小波分析图(图2(c))区间,尺度2 a在1971~1993年间有强数值中心,表明准2 a的年际周期振荡在1971~1993年表现最明显,在1970年前和1994年后表现则较弱。因此,绍兴秋季降水存在准2 a的年际周期振荡,但这种高频振荡不是贯穿了整个时域,而只是在局部时段发挥了作用。10 a以上年代际周期震荡在12 a表现非常明显,并全时域存在,在准12 a尺度上近48 a来绍兴市的秋季降水变化表现为4个偏多期和4



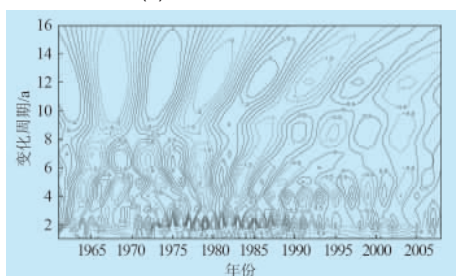
(a) 春季

(a) Spring rainfall



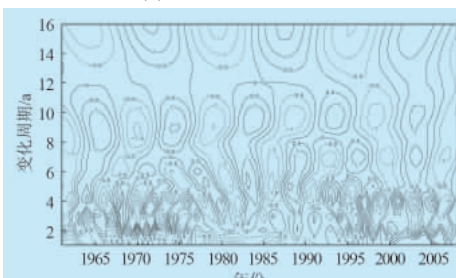
(b) 夏季

(b) Summer rainfall



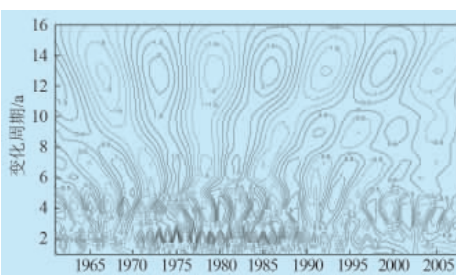
(c) 秋季

(c) Autumn rainfall



(d) 冬季

(d) Winter rainfall

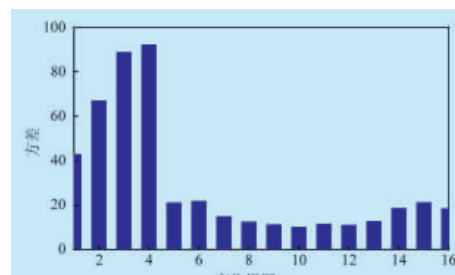


(e) 全年

(e) Annual rainfall

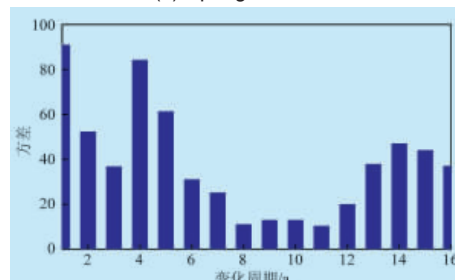
图 2 降水序列小波分析图

Fig. 2 Wavelet figures of all rainfall series



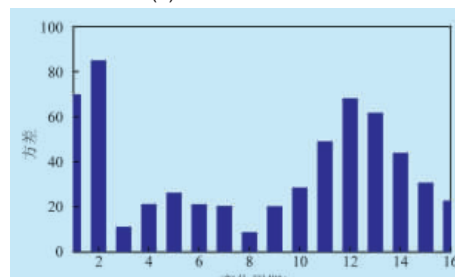
(a) 春季

(a) Spring rainfall



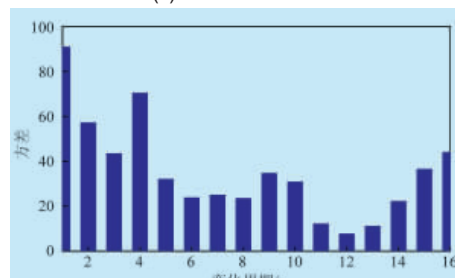
(b) 夏季

(b) Summer rainfall



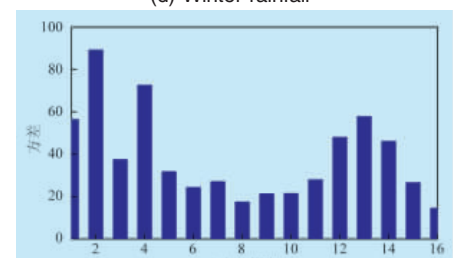
(c) 秋季

(c) Autumn rainfall



(d) 冬季

(d) Winter rainfall



(e) 全年

(e) Annual rainfall

图 3 降水序列小波方差图

Fig. 3 Wavelet variance diagrams of all rainfall series

个偏少期,2001 年后的降水相对偏少,到 2006 年等值线已经闭合,说明在 2009 年后的 4 a 内绍兴的秋季降水相对偏多。

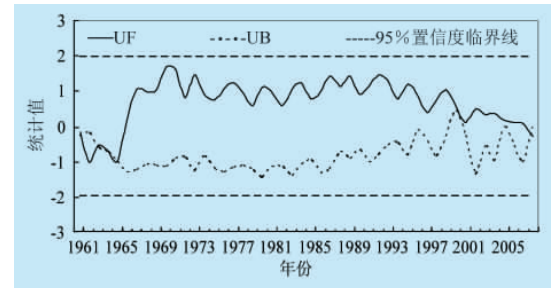
从绍兴近 48 a 冬季降水序列小波方差图(图 3(d))可以看出,存在主要以 4 a 和 16 a 为中心的高点(由于 1 a 处于单边高点,无法判断是不是最高点,可以略去),对应整个冬季小波分析图(图 2(d))区间,尺度 4 a 附近有强数值中心,表明准 4 a 的年际周期振荡表现最明显,并贯穿了整个时域。在准 4 a 尺度上,2008 年冬季降水正处在偏多期,说明 2009 年冬季降水仍将相对偏多。10 a 以上年代际周期震荡在 16 a 表现也较明显,表明绍兴冬季降水存在准 16 a 的年代际周期变化,并且全时域存在。在准 16 a 尺度上,近 48 a 来绍兴市的夏季降水变化表现为 3 个偏多期和 3 个偏少期,1999 年后的降水相对偏多,到 2007 年等值线已经闭合,2009 年后的 6 a 内绍兴冬季降水相对偏少。

相对于绍兴年降水变化序列而言,从近 48 a 年降水序列小波方差图(图 3(e))可以看出,存在主要以 2 a、4 a 和 13 a 为中心的高点。对应整个年降水小波分析图(图 2(e))区间,尺度 2 a、4 a 附近有强数值中心,表明准 2 a、4 a 的年际周期振荡表现最明显,准 2 a 的高频振荡主要出现在 1992 年以前,1993 年后几乎不再明显,而准 4 a 的年际周期振荡几乎全时域存在。在准 4 a 尺度上,2008 年年降水正处在偏少期,说明 2009 年年降水仍将相对偏少。10 a 以上年代际周期震荡在 13 a 表现也较明显,表明绍兴夏季降水存在准 13 a 的年代际周期变化,并且全时域存在。在准 13 a 尺度上近 48 a 来绍兴市的年降水变化表现为 4 个偏多期和 4 个偏少期。具体表现为 1963 年前的年降水相对偏多;1963–1968 年的年降水相对偏少;1969–1976 年的年降水相对偏多;1977–1982 年的年降水相对偏少;1983–1989 年的年降水相对偏多;1990–1995 年的年降水相对偏少;1996–2002 年的年降水相对偏多;2003–2008 年的年降水相对偏少,说明在 2009 年后的 5~6 a 绍兴的年降水将相对偏多。对各季降水和年降水变化的小波分析发现,夏季降水的周期振荡对年降水的影响最大,都存在准 4 a 的年际周期,并全时域存在,在准 4 a 年际振荡中具有较好的同步性。在 10 a 以上年代际周期震荡上,夏季降水变化(14 a)周期略长于年降水(13 a)变化周期,但在降水变化趋势上仍保持较好的一致性。

2.3 降水序列突变分析

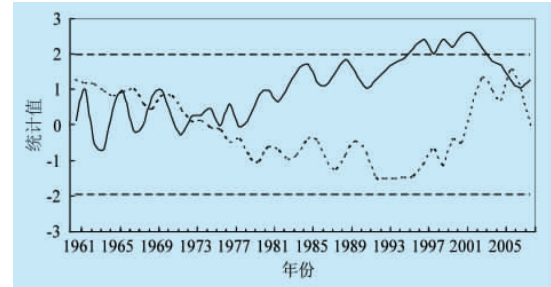
由于绍兴近 48 a 降水变化具有阶段性特征,因此进一步分析其突变特征十分必要。本文采用 Mann-Kendall 突变检验方法对降水序列进行突变分析,以寻求绍兴降水变化的突变点。

图 4 给出了降水序列的 Mann-Kendall 突变检验。可以看出,绍兴近 48 a 的春季降水序列突变点主要出现在 1965 年(图 4(a)),正向序列(UF)曲线呈上升走势,表明 1965 年后降水有增多趋势,但 UF 曲线始终没通过 1.96 置信度临界值,春季降水增多趋势不显著,突变不明显,这与前文的线性趋势分析结果的显著性检验一致。夏季降水序列在 1961–1973 年



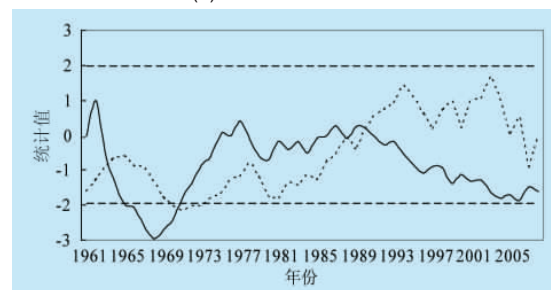
(a) 春季

(a) Spring rainfall



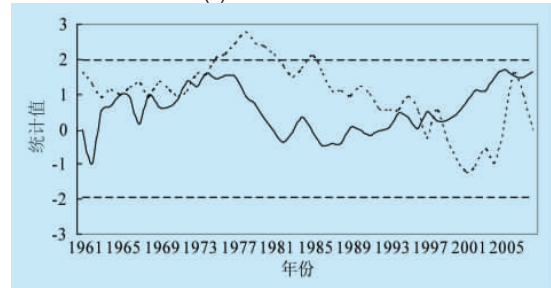
(b) 夏季

(b) Summer rainfall



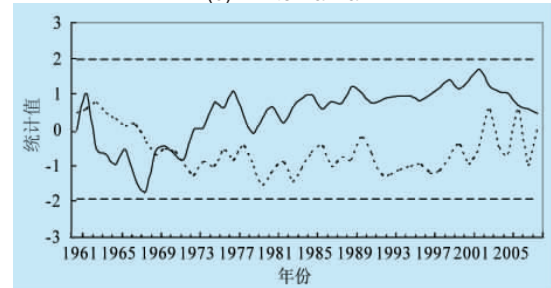
(c) 秋季

(c) Autumn rainfall



(d) 冬季

(d) Winter rainfall



(e) 全年

(e) Annual rainfall

图 4 降水序列 Mann-Kendall 突变检验

Fig. 4 Mann-Kendall mutation testing of all rainfall series

间出现多次交叉,最明显的突变点出现在 1973 年(图4(b)),UF 曲线呈上升走势,表明 1973 年后降水有增多趋势,并且在 1995–2004 年间 UF 曲线大于 1.96 置信度临界值,夏季降水增多趋势显著,突变明显。秋季降水序列突变点主要出现在 1963 年(图 4(c)),UF 曲线呈下降走势,表明 1963 年后降水有减少趋势,并且在 1965–1971 年间 UF 曲线小于 -1.96 置信度临界值,虽然在 1975–1977 年、1987 年和 1989–1990 年的 UF 值大于 0,降水有上升的趋势,但此上升趋势并没有形成突变,因此秋季降水减少趋势显著,突变明显。冬季降水序列虽然有多次交叉(图 4(d)),但没有非常明显的突变点,主要突变点在 1963 年、1974 年和 1994 年,UF 曲线呈缓慢振荡上升走势,1963 年后降水增多,1974 年后降水减少,1994 年后降水又增多,但 UF 曲线始终没通过 ± 1.96 置信度临界值,突变不明显。年降水序列主要有 1962 和 1973 年两个突变点,1962 年后 UF 曲线呈下降走势,年降水减少,1973 年后 UF 曲线呈上升走势,降水增多,但 UF 曲线在下降和上升趋势中均未通过 ± 1.96 置信度临界值,进一步说明了绍兴市年降水量的变化趋势并不明显。通过突变检验分析还发现,绍兴夏季降水序列明显的突变点即为全年降水序列的突变点,说明绍兴年降水的多寡取决于夏季降水的丰枯。

3 结论

通过对绍兴市 1961–2007 年期间各个季节和年降水的分布和变化特征的分析,得到如下主要结论。

1) 绍兴近 48 a 春季降水减少趋势不显著,降水倾向趋势值为 $-0.128\ 1\ \text{mm/a}$;夏季降水明显增多,增多趋势显著,倾向率为 $2.557\ 3\ \text{mm/a}$;秋季降水明显减少,减少趋势显著,倾向率为 $-2.533\ 7\ \text{mm/a}$;冬季降水增多,且增多趋势显著,倾向率为 $1.719\ 8\ \text{mm/a}$;年降水增多,但增多趋势不显著,倾向率为 $1.332\ 7\ \text{mm/a}$ 。其中夏季、秋季和冬季降水变化趋势与整个浙江省降水场空间分布^[10]变化趋势一致。

2) 绍兴近 48 a 各个季节和年降水都存在多时间尺度特征,大尺度周期变化嵌套小尺度周期变化。春季降水以 3~4 a 年际周期为主,并由准 3 a 向准 4 a 转变的趋势;夏季降水主要存在准 4 a、准 14 a 周期变化;秋季降水主要存在准 2、准 12 a 周期变化;冬季降水主要存在准 4 a、准 16 a 周期变化;年降水主要存在准 2 a、准 4 a 年际周期变化和准 13 a 年代际周期变化。根据江敏等^[11]的研究,厄尔尼诺现象主要存在 2~4 a 周期振荡,故绍兴各降水序列对应的 2~4 a 周期振荡规律可能是由厄尔尼诺周期振荡所触发。

3) 绍兴春季和冬季降水突变不明显;夏季和秋季突变明显,突变点分别出现在 1973 年和 1963 年。而年降水突变不明显,不存在明显的突变期。

4) 根据各个季节的主要变化周期,预测出未来几年绍兴降水的变化趋势:2010 年和 2011 年春季降水将相对偏多;2009 年后绍兴夏季降水将进入偏多期;2009 年后的 4 a 内绍兴秋季降水相对偏多;2009 年后的 6 a 内绍兴冬季降水相对

偏少。

5) 绍兴夏季降水在全年降水中所占的比重较大,在 1/3 以上,通过研究发现:夏季降水变化趋势与年降水的趋势基本一致;夏季降水和年降水在时域上分布有很大的相似性,都具有准 4 a 周期变化,并全时域存在;夏季降水突变影响到全年降水的突变。根据绍兴夏季降水和年降水的主周期推测,2009 年后的 5~6 a 绍兴年降水将相对偏多。

参考文献 (References)

- [1] 顾骏强, 徐集云. 浙江夏季降水变化及与北太平洋海温关系 [J]. 科技通报, 2001, 17(2): 17–23.
Gu Junqiang, Xu Jiyun. *Bulletin of Science and Technology*, 2001, 17(2): 17–23.
- [2] 顾骏强, 陆大鑫. 浙江省汛期降水量场的几个主要模型 [J]. 科技通报, 1993, 9(1): 21–30.
Gu Junqiang, Lu Daxin. *Bulletin of Science and Technology*, 1993, 9(1): 21–30.
- [3] 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.
Wei Fengying. *Statistical diagnosis and forecast in modern climate*[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999.
- [4] 谢庄, 曹鸿兴, 李慧, 等. 近百余年北京气候变化的小波特征 [J]. 气象学报, 2000, 58(3): 362–369.
Xie Zhuang, Cao Hongxing, Li Hui, et al.. *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, 58(3): 362–369.
- [5] 邓自旺, 林振山, 周晓兰. 西安市近 50 年来气候变化多时间尺度分析 [J]. 高原气象, 1997, 16(1): 81–93.
Deng Ziwan, Lin Zhenshan, Zhou Xiaolan. *Plateau Meteorology*, 1997, 16(1): 81–93.
- [6] 覃军, 张陆军, 胡江林. 武汉近百年来气温变化的多时间尺度分析[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2000, 34(3): 369–372.
Tan Jun, Zhang Lujun, Hu Jianglin. *Journal of Central China Normal University: Natural Science Edition*, 2000, 34(3): 369–372.
- [7] 樊高峰, 苗长明, 毛燕军, 等. 浙江干旱特征及其与区域气候变化关系 [J]. 气象科技, 2008, 36(2): 180–184.
Fan Gaofeng, Miao Changming, Mao Yanjun, et al. *Meteorological Science and Technology*, 2008, 36(2): 180–184.
- [8] 袁晓玉, 顾骏强. 浙江省秋季降水趋势及旱涝年特征 [J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(2): 677–684.
Yuan Xiaoyu, Gu Junqiang. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2002, 25(2): 677–684.
- [9] 娄伟平, 陈先清, 杨祥珠, 等. 绍兴市气候变化特征对农业生产的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 750–755.
Lou Weiping, Chen Xianqing, Yang Xiangzhu, et al. *Journal of Agriculture and Environmental Science*, 2007, 26(Suppl): 750–755.
- [10] 腾卫平, 胡波, 俞善贤, 等. 浙江降水量场时空分布变化的特征[J]. 科技通报, 2007, 23(5): 629–634.
Teng Weiping, Hu Bo, Yu Shanxian, et al. *Bulletin of Science and Technology*, 2007, 23(5): 629–634.
- [11] 江敏, 钟敏, 闫昊明. 1950–2003 年日长近 120 天准周期振荡和厄尔尼诺现象[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2003, 28(6): 703–705.
Jiang Min, Zhong Min, Yan Haoming. *Journal of Wuhan University: Information Science Edition*, 2003, 28(6): 703–705.

(责任编辑 朱宇)