

江丽俐.绍兴市近 49 a 降水和旱涝变化特征分析[J].暴雨灾害,2011,30(1):70-76

绍兴市近 49 a 降水和旱涝变化特征分析

江丽俐

(浙江省绍兴市气象局,绍兴 312000)

摘要:利用绍兴市 1961—2009 年逐日降水资料,使用一元线性回归、奇异谱分析和滑动 t 检验等方法,分析了绍兴市年、季、月降水和雨日的气候变化特征及旱涝发生规律。结果表明,近 49 a 绍兴市年降水量呈弱的线性增加趋势,其中夏、冬季降水量上升趋势显著,年降水量主要表现为准 4 a 高频振荡;在年降水量线性增加的同时,年雨日表现为弱的线性减少趋势,其中春、秋季雨日减少显著;年雨日减少主要体现在弱降水天数减少上,强降水天数则呈弱的增加趋势;年雨量和年雨日分别在 2003 年、2002 年前后发生突变。近 49 年绍兴市出现大范围季节性旱涝的频率约为 76%,且 1985 年之后其发生频次明显增加。

关键词:降水量;雨日;趋势分析;旱涝年

中图分类号:P468.0*24 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2011)01-0070-07

Climatic Variation of Precipitation and Drought- Flood Events During the Past 49 Years in ShaoXing

JIANG Lili

(Shangxing Meteorological Office of Zhejiang Province, Shangxing 312000)

Abstract: Based on daily precipitation data in Shaoxing, Zhejiang province from 1961 to 2009, the climatic variation characteristics of yearly, seasonally, monthly precipitation and rain day were analyzed and the occurrence regularity of drought-flood was also analyzed by using methods of linear regression, singular spectrum analysis, etc. The results are as follows. The yearly precipitation in Shaoxing during the past 49 years was weakly in linear increase trend and presented quasi-four-year high frequency oscillation, meanwhile the precipitation in summer and winter tended to increase obviously. At the same time, the number of yearly rain day was decreasing weakly in linear trend, meanwhile the number of rain day in spring and autumn decreased obviously. The decreasing of yearly rain day was mainly due to the decreasing number of weak precipitation day, while the number of severe precipitation day tended to increase weakly. Yearly precipitation and rain day presented an abrupt change around 2002 and 2003, respectively. The occurrence frequency of large-scale seasonal droughts-floods in Shaoxing during the past 49 years was about 76% and had an obvious increase after 1985.

Key words: Precipitation; Rain day; Tendency analysis; Drought-floods

1 引言

浙江省气象灾害大多与降水有直接或间接关系。顾骏强等^[1-2]研究指出,近 40~50 a,浙江省年降水量呈增加趋势,但同时雨日数没有同步增加;浙江省除 7、8 月份雨日增加外,其他月份雨日数均呈现减少趋势,雨日减少在 1978 年前后发生突变;浙江省每年出现大范围旱(或涝)的频率很高(约 80%),1985 年后浙江年、季降水量年代际变化特征较为明显,每年均发生大范围季节性旱涝。施能等^[3-4]的研究表明,近 50 a 浙江省

除东南部外,年降水量呈上升趋势,年降水量气候变化主要反映在夏季降水量明显增加上,夏季降水的强的正趋势可能与 20 世纪 80 年代后气候变暖大背景相联系。陈优平等^[5]对近 50 a 浙江嘉兴夏季降水特征进行了详细分析。那么,在浙江省年降水量呈增加趋势而同时雨日数没有同步增加背景下,地处浙江中北部的绍兴市降水和旱涝年气候变化具有哪些特征?与上述研究成果的异同是什么?各省气象工作者对当地降水气候变化特征的分析研究较多^[6-10],而目前关于绍兴市降水气候特征的研究还很少。

收稿日期:2010-12-28;修订日期:2011-02-15

作者简介:江丽俐,女,1984 年生,助理工程师,从事天气预报业务。E-mail: jianglili627@163.com

绍兴市 (29°13′—30°16′N、119°53′—121°13′E)地处浙江省中北部,北临杭州湾,南部多山区盆地,旱涝灾害频繁发生。随着区域社会经济迅速发展和城市化建设进程不断加快,绍兴市降水中长期趋势和旱涝频率变化备受关注。因此,本文选取两个代表站(绍兴、嵊州站)逐日降水资料,使用线性回归、小波功率谱分析、奇异谱分析、滑动 t 检验等方法,分析了 1961—2009 年近 49 a 绍兴市降水和雨日气候变化特征。

2 资料与方法

本文选取绍兴市北部绍兴气象站和南部嵊州气象站作为代表站,使用两站 1961—2009 年逐日降水资料,分别统计年、春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12 月至翌年 2 月)以及逐月降水量和雨日,统计中以两个代表站平均值作为绍兴市量值。然后,对年、季降水量和雨日进行线性趋势分析,并运用小波功率谱^[11]和奇异谱^[12]研究其多尺度演变特征,再用滑动 t 检验、Yamamoto 法^[12]进行突变检测。

为研究绍兴市旱涝特征,利用下式计算降水指数:

$$R_i = \sum_{i=1}^2 \left(\frac{X_{it} - \bar{X}_t}{S_X} \right) \quad (t=1, 2, \dots, 49; i=1, 2)$$

其中, X_{it} 是第 i 站第 t 年降水资料, S_X 为样本均方差。 R_i 即为绍兴、嵊州 2 站标准化降水值之和。将序列 R_i 再作一次标准化处理,以 \bar{R} 和 S_R 分别表示 R_i 的均值和均方差,可得降水指数(RI_t),即:

$$RI_t = \frac{R_t - \bar{R}}{S_R} \quad (t=1, 2, \dots, 49) \quad (1)$$

根据降水指数划分旱、涝年,其划分标准见文献[1]。即: $RI_t > 2.0$, 为大涝; $RI_t < -2.0$, 为大旱; $1.0 \leq RI_t \leq 2.0$, 为涝; $-2.0 \leq RI_t \leq -1.0$, 为旱; $-1.0 < RI_t < 1.0$, 为正常。

3 绍兴市降水量演变特征

3.1 降水量趋势分析

根据文献[13]中的方法,计算气象要素时间序列与自然数数列之间的相关系数(或趋势系数)。图 1 给出 1961—2009 年绍兴市年降水量趋势变化。从中可见,除个别年份外,年降水量年际波动幅度整体不大,49 a 年平均降水量为 1 366 mm;最少年降水量为 880 mm,出现在 1967 年;最大年降水量为 1 736 mm,

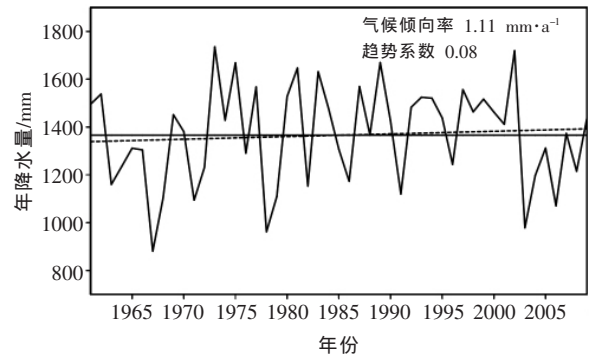


图 1 1961—2009 年绍兴市年降水量时间变化图(粗实线为平均降水量,虚线为线性趋势,单位: mm)

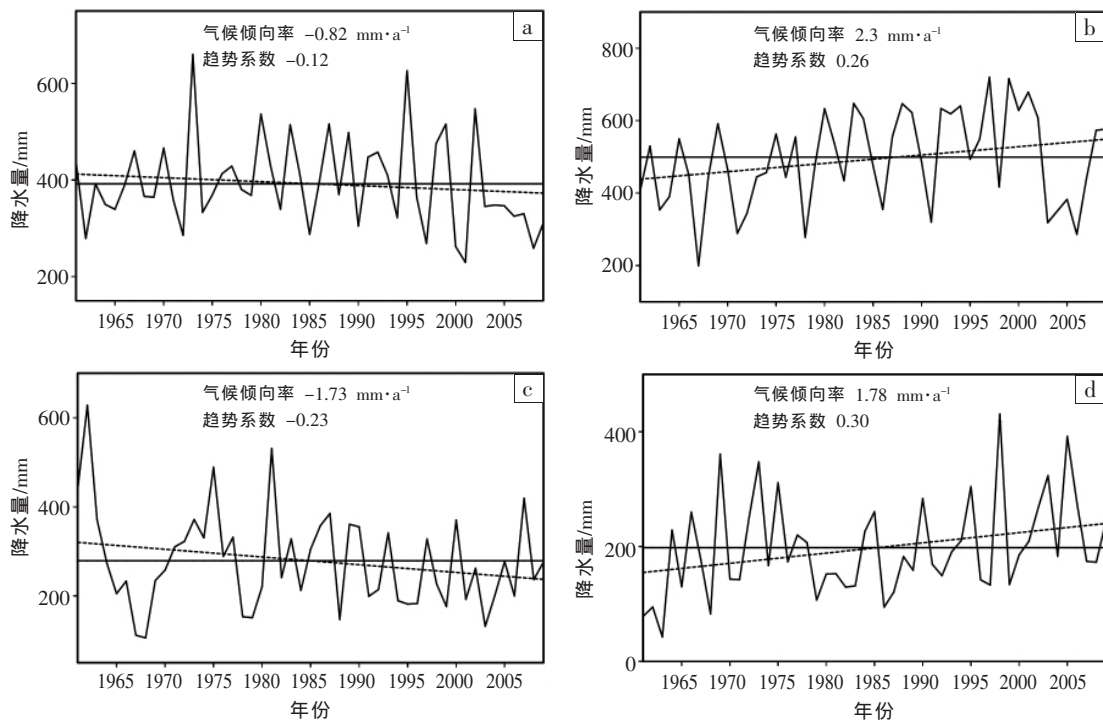


图 2 1961—2009 年绍兴市春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季降水量时间变化图(粗实线为平均降水量,虚线为线性趋势,单位: mm)

出现在 1973 年;年降水量在 20 世纪 60 年代偏少,70 年代中期以前呈上升趋势,70 年代末短暂下降后,80 年代初到 2000 年先上升、后缓和振荡,为相对多雨阶段,虽有小的波动,但未出现明显上升或下降,2000 年以后降水明显偏少。总体上,绍兴市年降水量呈微弱增多趋势,气候倾向率为 $1.11 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$,趋势系数为 0.08,未通过信度为 0.05 的统计检验。

图 2(见上页)给出 1961—2009 年绍兴市春、夏、秋、冬四季降水量的时间变化结果。从图 2a 中可见,春季降水量 1973 年最多(660 mm),2001 年最少(229 mm);气候倾向率为 $-0.82 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$,表明近 49 a 绍兴市春季降水量无明显波动,仅呈微弱减少趋势。从图 2b 中可见,夏季降水量 1967 年最少(199 mm),1999 年最多(716 mm),其年际变幅较大;气候倾向率为 $2.3 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$,相关系数为 0.26,且通过信度为 0.05 的统计检验,表明绍

兴市夏季降水量呈明显增多趋势。从图 2c 中可见,秋季降水量在 1962 年达到最大(440 mm)后呈下降趋势,并在 1967 年降为最少(112 mm),之后出现微弱波动;气候倾向率为 $-1.7 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$,表明绍兴市秋季降水量总体呈弱的下降趋势。从图 2d 中可见,冬季降水量在 1963 年最少(43 mm),之后呈上升趋势,在 1998 年达到最大(431 mm);气候倾向率达 $1.78 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$,趋势系数为 0.30,且通过信度为 0.05 的统计检验,这表明绍兴市冬季降水量总体呈显著上升趋势。因此,绍兴市夏、冬季降水量呈显著的增多趋势;同时,春、秋季降水量呈微弱的减少趋势。

另外,通过对绍兴市 1—12 月各月降水量进行回归分析,可得其相应的气候倾向率和趋势系数(表 1)。从表 1 中看到,绍兴市 1、8 月的降水量呈显著增加趋势;5、9 月降水量呈显著减少趋势。

表 1 绍兴市 1961—2009 年 1—12 月降水量气候倾向率和趋势系数

回归要素	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
气候倾向率	1.07	0.01	0.58	-0.26	-1.15	0.22	0.30	1.79	-1.46	-0.89	0.62	0.29
趋势系数	0.38*	0.0	0.14	-0.07	-0.28*	0.03	0.06	0.37*	-0.26*	-0.22	0.18	0.09

注: * 表示通过信度 0.05 的显著检验;气候倾向率单位为 $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$

3.2 绍兴市年降水量突变检验与周期变化特征

为分析近 49 a 绍兴市年降水量是否发生突变以及避免单种突变检验法的片面性和不稳定性,同时使用

滑动 t 检验和 Yamamoto 对其进行突变检验(检验中两子序列长度均为 5 a 年)。图 3 给出 1961—2009 年绍兴市年降水量滑动 t 检验曲线和 Yamamoto 法信噪比曲线。

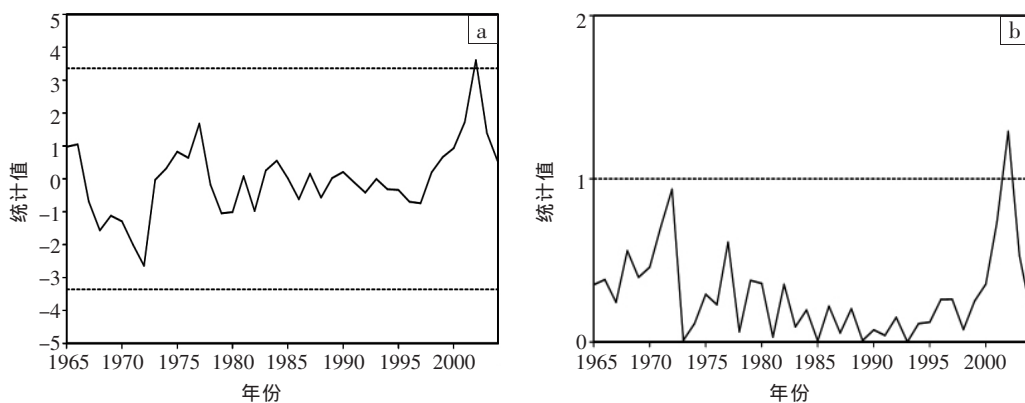


图 3 1961—2009 年绍兴市年降水量滑动 t 检验曲线(a)和 Yamamoto 法信噪比曲线(b)。短虚线为信度为 0.01 的临界值

从图 3 中可见,在 2003 年 t 统计量超出 0.01 的信度水平(图 3a),同时 2003 年的信噪比值超过 1.0(图 3b),两种检验方法结果基本一致,即均在 2003 年前后出现突变点。因此,可以认为,在 2003 年前后绍兴市年降水量出现突变,由增加趋势转为减少趋势。

为了探讨 1961—2009 年绍兴市年降水量变化的周期特征,对其作小波功率谱和奇异谱分析。其中,奇异谱分析方法(SSA)用来分析年降水量周期振荡,特别适合于识别隐含在气候序列中的弱信号,是一种研究

周期振荡现象较新的统计方法,其具体计算方法见文献[14]。根据 SSA 原理,当序列中存在一个周期振荡时,SSA 得到一对接近相等的特征值,对应的时间经验正交函数(T-EOF)对正交,时间主成分(T-PC)也正交。图 4 给出近 49 a 绍兴市年降水量小波功率谱分析和奇异谱分析结果。

从图 4a 中绍兴市年降水量小波功率谱曲线变化上看到,该市年降水量在 1961—1987 年始终存在准 4 a 显著周期,另在 1973—1988 年还存在较明显的准 2 a

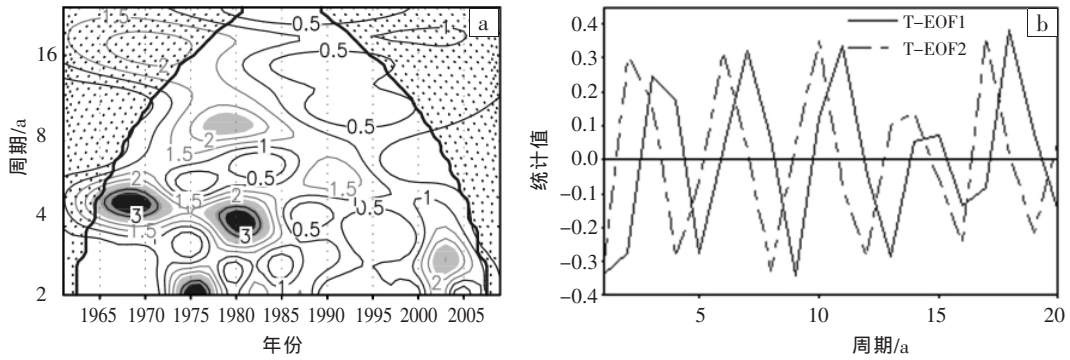


图 4 1961—2009 年绍兴市年降水量的小波功率谱(a)和奇异谱 T-EOF1、T-EOF2 变化图(b)

图 a 中,横坐标为年份,纵坐标为周期(单位: a),阴影区通过 0.05 的信度检验

高频振荡,但持续时间不长。奇异谱分析结果表明,前 6 个 T-EOF 解释总方差的 51.5%;第一对 T-EOF(T-EOF1 和 T-EOF2)占总方差的 20.3%(图 4b),在滞后长度 $j=1$ 时,T-PC1 和 T-PC2 之间存在较大相关系数(0.93),对应周期为 4 a;此外,T-EOF4 和 T-EOF5 的特征值接近,在滞后长度 $j=1$ 时,T-PC4 和 T-PC5 之间也存在较大的相关系数(0.94),表明这对 T-PC 也具有正交性,且存在 4 a 周期。由 SSA 分析结果可知,绍兴市年降水量变化存在准 4 a 显著周期,这与小波分析结果基本一致。

4 绍兴市雨日变化特征

4.1 雨日趋势分析

图 5 给出 1961—2009 年绍兴市年雨日变化趋势。从中可见,近 49 a 的年雨日年际波动较大,雨日最少的是 1967 年,仅 125 d,最多的是 1973 年,多达 198 d;

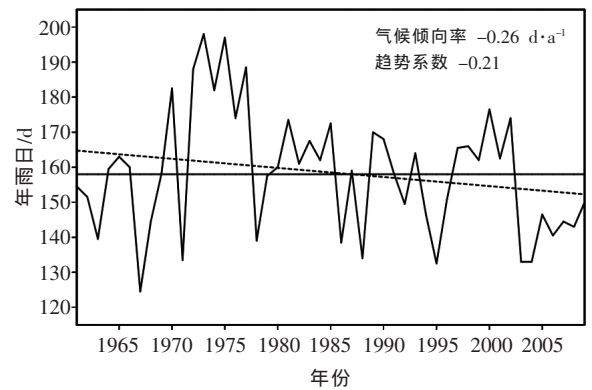


图 5 1961—2009 年绍兴市年雨日时间变化图(实线为平均雨日,虚线为线性趋势,单位: d)

年雨日从 20 世纪 60 年代到 80 年代末,呈先增后减的变化趋势,之后变化趋缓,直到 2000 年后雨日明显减少。结合趋势分析结果看,总体上,绍兴市年雨日略呈减少趋势,气候倾向率为 $-0.26 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$,但未通过信度

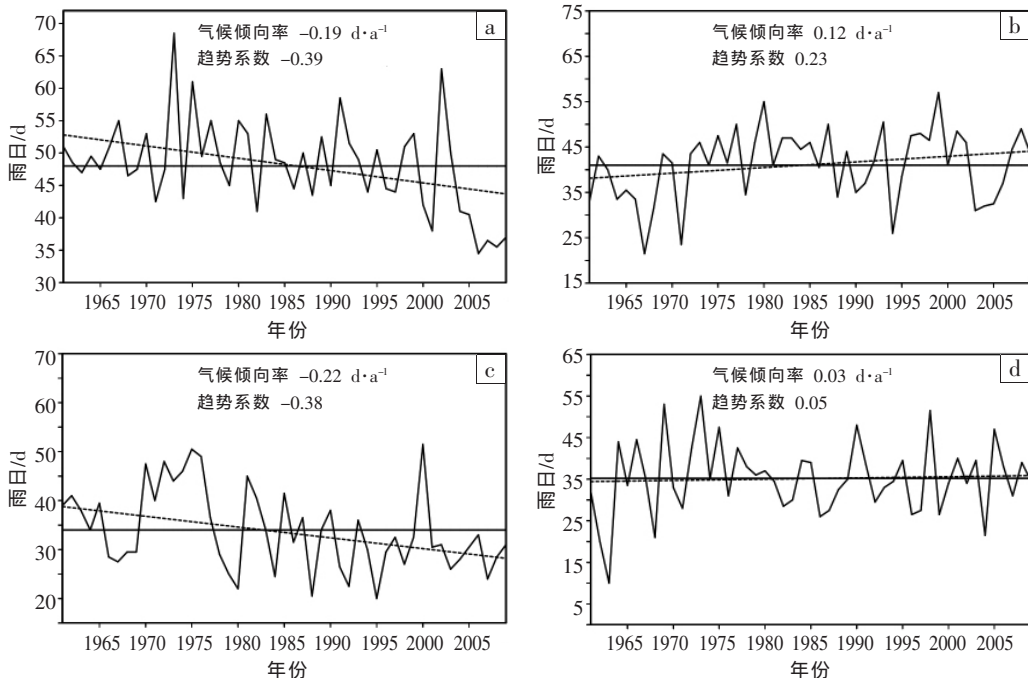


图 6 1961—2009 年绍兴市春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季雨日随时间变化图(粗实线为平均雨日,虚线为线性趋势,单位: d)

0.05 的统计检验。由此可知,近 49 a 绍兴市年降水量呈略增趋势的同时,雨日则呈略减趋势。这与顾骏强等^[2]研究得出的“浙江省年降水量呈增加趋势,但同时雨日数没有同步增加”的结论基本一致。

图 6(见上页)给出 1961—2009 年绍兴市春、夏、秋、冬四季雨日的时间变化。从图 6a 中可见,春季雨日 1973 年最多(68.5 d),2006 年最少(34 d);气候倾向率为 $-0.19 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$,趋势系数为 0.39,且通过信度 0.05 的统计检验,表明绍兴市春季雨日呈显著减少趋势。从图 6b 中可见,夏季雨日 1999 年最多(57 d),1967 年最少(21.5 d);气候倾向率为 $0.12 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$,表明绍兴市夏季

雨日略呈增加趋势。从图 6c 中可见,秋季雨日 2000 年最多(51.5 d),1996 年最少(20d);气候倾向率为 $-0.22 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$,趋势系数为 -0.38 ,且通过信度 0.05 的统计检验,表明绍兴市秋季雨日整体呈显著下降趋势。从图 6d 中可见,冬季雨日 1972 年最多(55 d),1962 年最少(10 d),年际振荡较大;气候倾向率为 $0.03 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$,表明绍兴市冬季雨日趋势变化不明显。

同样,通过对绍兴市 1—12 月各月雨日进行回归分析,可得到相应的气候倾向率和相关系数(表 2)。从表 2 中看到,绍兴市 4、5、10 月雨日呈现显著减少趋势;8 月雨日呈显著增加趋势。

表 2 绍兴市 1961—2009 年 1—12 月雨日气候倾向率和趋势系数

回归要素	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
气候倾向率	0.05	-0.01	-0.06	-0.06	-0.07	0.00	0.04	0.09	-0.05	-0.13	-0.04	-0.01
趋势系数	0.18	-0.04	-0.21	-0.27*	-0.30*	-0.01	0.13	0.32*	-0.19	-0.40*	-0.12	-0.03

注: * 表示通过信度 0.05 的显著检验;气候倾向率单位为 $\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

图 7 给出近 49 a 绍兴市年暴雨日、大雨日、中雨日和小雨日时间变化曲线。从中可见,近 49 a,绍兴市暴雨日平均为 2.8 d,暴雨日最少出现在 1976 年(全年无暴雨日),最多出现在 1989 年(5.5 d);暴雨日呈弱的增加趋势,气候倾向率 $0.014 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 。大雨日平均为 11.2 d,最少出现在 1978 年和 2003 年(6 d),最多出现在 1983

年(18 d);大雨日线性变化趋势不明显。中雨日平均为 30.0 d,最少出现在 1971 年和 1949 年(21.5 d),最多出现在 2002 年(46 d);中雨日呈现显著的增加趋势,气候倾向率为 $0.052 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 。小雨日平均为 115.3 d,最少出现在 1995 年(82.5 d),最多出现在 1972 年(146.5 d);小雨日呈现显著的减少趋势,气候倾向率为 $-0.32 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

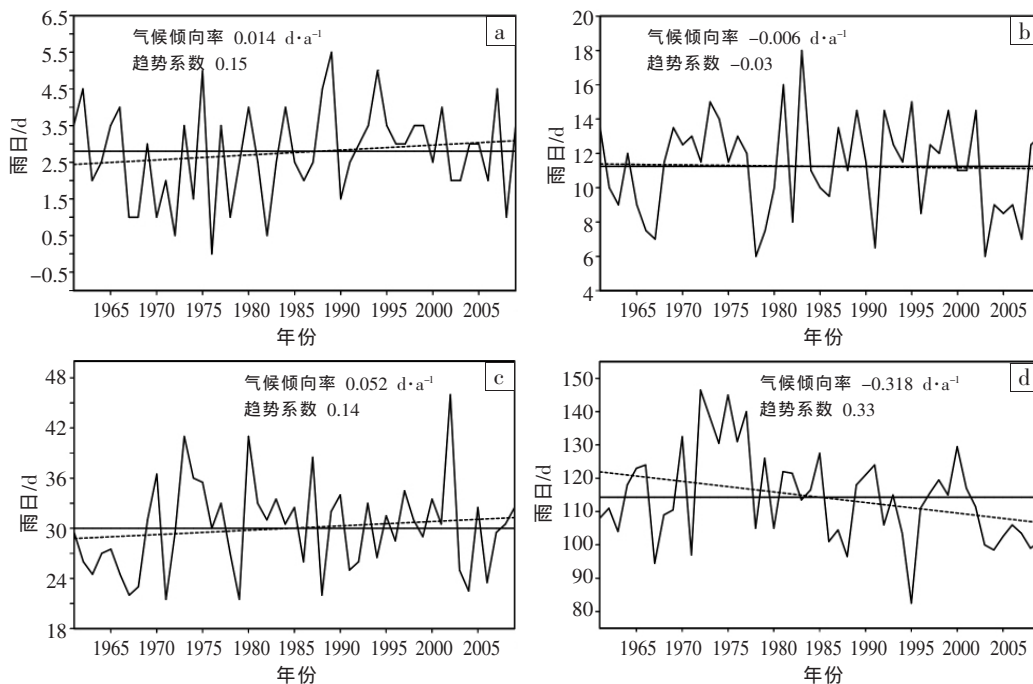


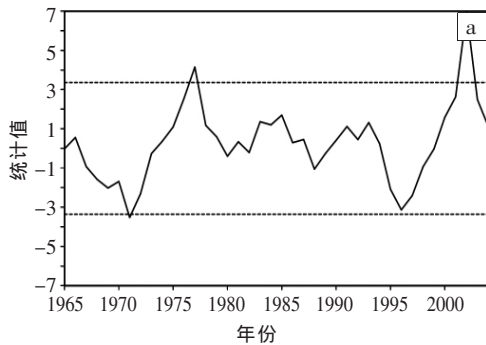
图 7 1961—2009 年绍兴市暴雨日(a)、大雨日(b)、中雨日(c)、小雨日(d)随时间变化图(粗实线为平均雨日,虚线为线性趋势,单位: d)

综上分析表明,1961—2009 年近 49 a 绍兴市降水量级在中雨以上的雨日基本上没有减少,且暴雨日和中雨日均表现出增加趋势,而小雨日则为显著减少

趋势,这说明绍兴市年雨日减少主要反映在小雨日(即弱降水天数)的减少上,强降水天数则呈弱的增加趋势。

4.2 绍兴市年雨日突变检验与周期变化特征

同样,同时使用滑动 t 检验和 Yamamoto 两种方法对绍兴市 1961—2009 年年雨日进行突变检验(检验中



两子序列长度均为 5 a 年)。图 8 给出的是近 49 a 绍兴市年雨日滑动 t 检验曲线和 Yamamoto 法信噪比曲线。

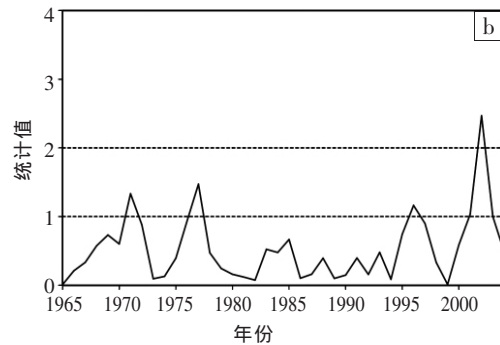


图 8 1961—2009 年绍兴市年雨日滑动 t 检验曲线(a)和 Yamamoto 法信噪比曲线(b)。短虚线为信度为 0.01 的临界值

从图 8 中可见,在 1972、1977、2002 年, t 统计量均超出 0.01 的信度水平(图 8a),特别是 2002 年, $t=6.92$,且达到 0.001 的信度水平,说明在 2002 年绍兴市雨日出现明显突变。另外,Yamamoto 法检验曲线也表现出类似特征(图 8b),在 1972、1977、1997 年,其信噪比均超过 1.0,2002 年信噪比甚至超过 2.0,说明在 2002 年前后绍兴市雨日发生强突变。因此,两种检验方法所获得的结果基本一致,即在 2002 年前后绍兴市年雨日发生突变,雨日由之前的增多趋势转为之后的减少趋势。

的统计检验。

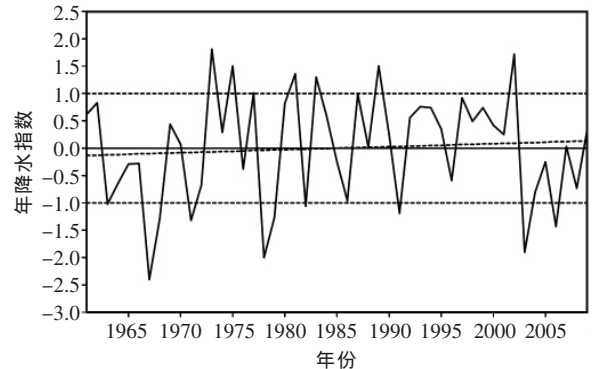


图 9 1961—2009 年绍兴市年降水指数时间变化图
粗实线为平均降水指数,虚线为线性趋势

同理,对 1961—2009 年绍兴市年雨日变化作小波功率谱和奇异谱分析。由近 49 a 绍兴市年雨日小波功率谱分析结果可知(图略),该市雨日存在 2~3 a 显著周期和 4~5 a、8~10 a 的周期,且均通过信度为 0.05 的红噪声检验。另由近 49 a 绍兴市年雨日奇异谱分析结果可知(图略),前 6 个 T-EOF 解释总方差的 54.3%;T-EOF2、T-EOF3 占总方差的 24.3%,特征值接近相等,在滞后长度 $j=2$ 时,T-PC2 和 T-PC3 之间存在最大相关系数 0.87,对应存在 $2 \times 4=8$ a 主要周期;T-EOF4 和 T-EOF5 占总方差的 17.1%,特征值接近相等,在滞后长度 $j=1$ 时,T-PC4 和 T-PC5 之间存在最大相关系数 0.88,对应存在 $1 \times 4=4$ a 主要周期。可见,小波功率谱和 SSA 分析结果基本一致,均表明绍兴市年雨日存在 4~5 a 主周期和 8~9 a 次周期,还存在 2~3 a 弱周期。

根据降水指数划分的旱、涝年标准,统计 1961—2009 年绍兴市出现的旱、涝异常年情况。结果表明,大旱年仅出现 1 年(1967 年),发生频率 2.04%;涝年共出现 7 个,分别为 1973、1975、1977、1981、1983、1989、2002 年,发生频率 14.29%;旱年计 10 个,分别为 1963、1968、1971、1978、1979、1982、1986、1991、2003、2006 年,发生频率 20.41%;无大涝年。其他为正常年,占统计年份的 63.27%。表 3 给出近 49 a 根据降水指数计算并按年代统计的绍兴市四季和全年旱涝频次。

5 绍兴市旱涝气候变化特征

对 1961—2009 年绍兴市年降水指数变化作趋势分析,其结果见图 9。分析图 9 表明,总体上,绍兴市年降水指数趋势变化特征与年降水量趋势变化特征基本一致,即呈微弱的增大趋势,也未通过信度为 0.05

表 3 1961—2009 年各年代绍兴市四季与全年旱涝频次统计表(单位: a)

年代	冬季		春季		夏季		秋季		全年	
	涝	旱	涝	旱	涝	旱	涝	旱	涝	旱
1961—1970	1	4	0	1	0	2	2	2	0	3
1971—1980	2	1	2	1	1	3	1	2	3	3
1981—1990	1	1	3	1	3	1	2	1	3	2
1991—2000	2	0	2	2	5	1	0	0	0	1
2001—2009	2	0	1	2	1	3	1	1	1	2

分析表 3 可知: 1) 近 49 年,绍兴市出现大范围

季节性旱(涝)的频率很高,约为 76%;有 12 年未出现全市范围的季节性旱(涝),其中有 9 年出现在 1985 年以前,3 年出现在 1985—2009 年,说明全市发生季节性旱涝的频率明显增大。2) 绍兴市年、季旱涝频次年代际变化较大,20 世纪 60 年代冬、春、夏季干旱频繁发生,70 年代旱涝发生频率相当,80 年代春、夏、秋季涝多旱少,90 年代夏季旱涝多发,2000 年以后夏季多旱、冬季雨水多。3) 绍兴市旱、涝发生的气候频率呈现明显变化,特别是夏季在 60、70 年代出现全市范围的干旱较多,但 80 年代到 2000 年夏季干旱频次明显降低,夏季洪涝不断发生,进入 21 世纪后夏季干旱发生次数又明显增加。

6 结论

利用绍兴市 1961—2009 年逐日降水资料,使用一元线性回归、奇异谱分析和滑动 t 检验等方法,分析绍兴市年、季、月降水和雨日气候变化特征及早涝发生规律,得到以下结论:

(1) 近 49 a 绍兴市年降水量呈弱的增加趋势,其气候倾向率为 $1.1 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$,变化趋势不明显。春季降水量年际变化较大,但其变化趋势也不明显;夏、冬季降水量呈显著增加趋势;秋季降水量总体呈弱的下降趋势。同时,绍兴市年降水量在 2003 年前后发生突变,由增加趋势转为减少趋势;绍兴市年降水量还存在准 4 a 主周期。

(2) 近 49 a 绍兴市年雨日呈弱的减少趋势,其气候倾向率为 $-0.26 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。年雨日从 20 世纪 60 年代到 80 年代末呈先增后减趋势,之后变化趋缓,2000 年之后明显减少。春、秋季雨日显著减少,夏季雨日呈增多趋势,冬季雨日变化趋势不明显。同时,绍兴市年雨日在 2002 年前后发生明显突变,由增加趋势转为减少趋势,与年降水量突变发生基本同步;绍兴市年雨日存在 4~5 a 主周期和 8~9 a 次周期,还存在 2~3 年弱周期。此外,绍兴市年雨日减少主要体现在弱降水天

数减少上,而强降水天数却呈弱的增加趋势。

(3) 根据降水指数划分的旱、涝年标准,近 49 绍兴市大旱年仅在 1967 年出现,发生频率为 2.04%;无大涝年;正常年份占统计年份的 63.27%。近 49 年,绍兴市出现大范围季节性旱(涝)的频率很高,且 1985 年后全市发生季节性旱涝的频率明显增大。年、季旱涝频次年代际变化明显。上世纪 60 年代冬、春、夏季干旱发生频繁;70 年代旱涝发生频次相当;80 年代春、夏、秋季涝多旱少;90 年代夏季旱涝多发;2000 年后夏季多旱、冬季多雨水。

参考文献:

- [1] 顾骏强,施能,王永波.近 50 年浙江省旱、涝气候变化及特征[J].热带气象学报,2001,17(4):429-435.
- [2] 顾骏强,施能,薛根元.近 40 年浙江省降水量、雨日的气候变化[J].应用气象学报,2002,13(3):322-329.
- [3] 施能,马丽,袁晓玉.近 50 年浙江省气候变化特征分析[J].南京气象学院学报,2001,24(2):207-213.
- [4] 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.
- [5] 陈优平,余志豪.嘉兴夏季降水与副高的年际年代际变化关系分析[J].气象科技,2007,35(3):359-362.
- [6] 孟菲,康建成,王甜甜,等.上海市近百年来夏季降水时空分布特征及影响因素[J].气象与环境科学,2007,30(3):14-19.
- [7] 白松竹,李春芳,王磊.近 45 年 5—9 月阿勒泰地区强降水气候变化趋势与突变特征[J].暴雨灾害,2009,28(1):84-87.
- [8] 张德汴,张明周,李柯星,等.近 50 a 开封市气候变化特征分析[J].气象与环境科学,2009(S1):82-86.
- [9] 凌良新,袁振,陈往溪,等.潮州市近 51 a 降水量和暴雨日数的时间变化特征分析[J].暴雨灾害,2009,28(3):283-287.
- [10] 张涛,段春锋,方芳,等.近 50 年孝感市降水变化特征分析.暴雨灾害,2010,30(1):81-84.
- [11] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,2002.
- [12] 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.
- [13] 施能.北半球冬季大气环流遥相关型的长期变化及其与我国气候变化的关系[J].气象学报,1996,54(6):675-683.
- [14] 尤凤春,史印山,周煜.奇异交叉谱分析方法在夏季降水预报中的应用[J].气象科技,2004,32(5):329-331.