

近 50 a 浙江省气候变化特征分析

施 能¹, 马 丽², 袁晓玉¹, 顾骏强³

(南京气象学院 1. 大气科学系; 2. 计算机科学与技术系, 南京 210044; 3. 浙江省应用气候研究所, 杭州 310017)

摘要: 用 1951~1999 年资料详细研究了浙江省 4 个观测站的年、季、月降水与气温的气候变化特征。提出了用蒙特卡洛(Monte Carlo)模拟方法对气象要素的长期变化进行统计检验。指出, 气候变化也可以出现在气象要素的变率上, 提出了用计算滑动均方差的方法来识别这种变率异常的方法。

关键词: 气候变化, 趋势变化, 滑动均方差

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2001)02-0207-07

当今, 全球及北半球范围的气候变化已经进行了较多的研究。但是对区域气候变化的研究还不多, 也不够全面。为了解气候变化的原因, 首先需要确定气象要素是否已经发生了气候变化。浙江省位于中低纬度的过渡地带, 受到各种天气系统的影响, 洪涝、干旱、台风、暴雨、大雪等自然灾害频繁发生。我们需要了解哪些变化是属于要素的自然变动, 那些变化反映了异常的气候变化。在全球变暖的大背景下, 浙江省气候发生了变化, 浙江省严重自然灾害发生的趋势及特点已经被列为浙江省重大项目进行专项研究。本文利用浙江省近 50 a 的年、季、月降水量及气温资料对浙江省的气候变化特征进行了详细的研究, 以期全面了解浙江省的气候变化特征。

1 资料与方法

1.1 资料

利用中国气象局整编的中国 160 站月降水量和气温资料, 计算出春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11 月)和冬季(12 月~次年 2 月)的季节资料及年总降水量和年平均气温。本文选取其中有较长资料序列的浙江省的杭州、宁波、衢州和温州站。它们分布在浙江的北、东、西、南部, 有 1951 年开始的完整月平均资料, 基本上可以代表浙江省的特征。

1.2 方法

气象要素的长期变化趋势通常用一元线性回归系数来表示。但是, 这个系数有单位, 在不同的气象要素之间及不同时间、地点的同一要素之间不能互相比。根据文献[1]介绍的方法, 分别计算了气象要素的时间序列与自然数数列之间相关系数(称为趋势系数), 用来表示和比较气象要素的长期变化的大小。可以证明, 这样计算的趋势系数, 就是标准化的一元线性回归

系数。它消去了气象要素的均方差对线性回归系数数值大小的影响,从而可以在不同地理位置的不同气象要素之间比较长期趋势变化的大小。但是气象要素的变化可能是它们的自然变动(均方差就是变动的一个量度)。我们认为,只有当计算的趋势系数达到或超过统计的显著性标准时,这种长期变化才可能认为是超过自然变率的一种气候异常变化。所以对计算的趋势系数还需要进行统计检验。我们使用了随机蒙特卡洛模拟试验的统计检验方法^[2,3]。

另一方面,长期气候变化也可以出现在气候变率上。其实,平均值的改变表明了气候基本态的变化,气象要素变率或均方差的改变则更紧密地与异常天气的频率及强度相联系。所以,还需要了解气象要素均方差的长期变化。计算气象要素的 29 a 滑动均方差的公式为

$$S_x(t) = \text{SQRT} \left(\frac{1}{k-14} [x(t+k) - \overline{x(t+k)}]^2 / 29 \right), \quad t = 15, 16, \dots, n-14.$$

S_x 也是一个时间序列,用于估计气象要素的气候变率随时间的变化。此外,高斯 9 点滤波方法被用于滤出气象要素的年代际变化。

2 趋势系数的蒙特卡洛显著性检验

如上所说,我们用无单位的统计量,即趋势系数表示要素长期变化的大小。一般说来,用样本资料计算的趋势系数总不会等于零,这并不能表示气象要素有了气候变化。也就是说,需要对趋势系数进行统计检验。趋势系数实际上就是相关系数,如果不考虑正态分布这一统计检验必须满足的条件,就可以用 Student' T 检验方法来检验趋势系数。检验趋势系数使用了 Livezey 等^[2]的蒙特卡洛模拟方法,共进行了 2 000 次随机独立试验,产生出长度为 49 a 的 2 000 个不同的正态(0, 1)的序列,将它们与自然数序列 1, 2, ..., 49 求相关系数,可以得到 2 000 个样本相关系数。然后将 2 000 个样本相关系数的绝对值从大到小排序。数值排第 2 的值就是 0.001 信度标准的趋势系数的临界值。因为随机序列与自然数序列 1, 2, ..., 49 的相关系数大于等于这个的临界值的概率仅为 $2/2\,000 = 0.001$ 。显然,2 000 个数值中排在第 20 的值就是 0.01 的的临界值;排在第 100 位的值就是 0.05 的的临界值。蒙特卡洛模拟方法的相关系数的显著性检验的优点在于它不需要知道统计量的概率分布。而参数的统计检验方法是需要推导出统计量的概率分布,这往往需要一些假定条件。表 1 给出趋势系数临界值标准及 Student' T 检验的标准。我们看到,二种方法的临界值非常接近,蒙特卡洛模拟检验标准稍严格一些(临界值高)。

表 1 趋势系数统计检验的显著性标准(序列长 49 a)

Table 1 Criteria for statistically verifying the significance of trend coefficients (49 years)

	蒙特卡洛模拟试验	Student' T 检验的标准
0.01	0.360	0.354
0.05	0.290	0.273
0.10	0.240	0.231

3 近 50 a 浙江降水的变化特征

3.1 年、季降水量

表 2 给出浙江省年、季降水量的趋势系数与回归系数。首先,我们注意到表 2 中回归系数大时所对应的趋势系数并不一定大。例如,夏季降水量,衢州的回归系数是 $4.662 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$, 宁

波则为 $4.181 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$; 衢州的夏季降水量正趋势似乎比宁波强。但是这样的理解并不正确, 因为衢州与宁波的夏季降水的均方差不相同(衢州比宁波大)。它们的趋势系数表明, 夏季降水量正趋势宁波比衢州大。

表 2 浙江年、季节降水的趋势系数与回归系数

Table 2 Trend coefficients and regression coefficients of yearly and seasonal rainfall over Zhejiang Province

	趋势系数				回归系数/ $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$			
	杭州	宁波	衢州	温州	杭州	宁波	衢州	温州
春	-0.102	0.070	-0.149	0.024	-0.710	0.450	-10.761	0.207
夏	0.308*	0.380*	0.305*	0.025	3.919	4.181	4.662	0.395
秋	-0.264*	-0.244*	-0.138	-0.084	-2.142	-2.186	-1.046	-1.077
冬	-0.012	0.031	-0.026	-0.036	-0.070	0.167	-0.173	-0.186
年	0.049	0.172	0.066	-0.026	0.874	2.529	1.535	-0.655

注: * 表示通过 0.10 以上信度的蒙特卡洛统计检验

从表 2 看出, 1) 从年降水量看, 杭州、宁波、衢州都是正趋势, 温州是弱的负趋势。表示近 50 a 来, 杭州、宁波、衢州的降水是增加了, 而温州的降水是减少。但是, 它们甚至都还没有达到 0.1 的信度标准。所以这种变化还只能认为是一种自然振动。2) 夏季降水量的趋势变化很明显。宁波正趋势超过 0.01 信度, 宁波、衢州正趋势超过 0.05 信度。而温州夏季的降水的正趋势不显著。3) 浙江秋季降水量是大范围的负趋势变化。杭州与宁波的负趋势接近 0.05 的信度。4) 冬季与春季季节降水的没有明显长期变化异常。

图 1 是杭州、宁波、衢州、温州站夏季降水量距平的时间变化曲线、高斯滤波曲线及直线回归。我们看到, 在整个 50 年代中到 60 年代末期, 浙江的夏季降水都不多。70 年代中后期开始浙江省除东南沿海的温州以外, 降水增加, 特别是宁波 90 年代以后夏季很少有干旱发生而经

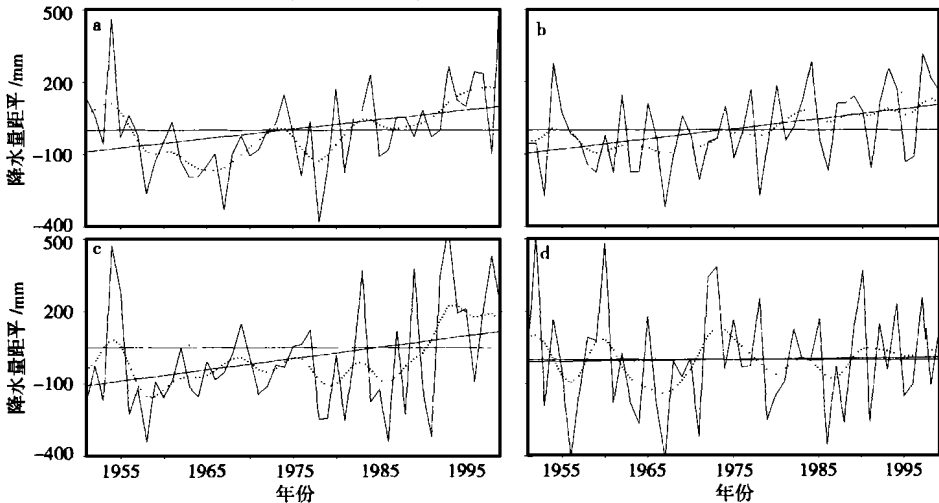


图 1 浙江省杭州(a)、宁波(b)、衢州(c)和温州站(d)夏季降水距平的时间变化及高斯滤波曲线
图中的直实线是直线回归

Fig. 1 Time series of summer rainfall anomaly and linear trend(line) for Hangzhou(a), Ningbo(b), Quzhou(c) and Wenzhou(d), with Gauss low-pass filtered variation(dotted curve)

常出现夏涝。70年代中后期开始浙江省夏季降水的增加与1977年北半球发生的环流突变与气温变暖的时间是一致的。如果这是一种因果关系的话,今后在北半球增暖的背景下,浙江夏季的洪涝将频繁发生。

3.2 月降水量

季节降水量的特征并不能完全代表季节中的月降水量的特征。表3的左半部给出浙江省月降水量的趋势系数。我们看到没有明显长期异常变化的浙江春季的季降水量,在春季的月降水量中表现出较明显的长期趋势变化:3月份浙江的降水量有明显正趋势(特别是宁波),而5月份浙江降水量有明显的负趋势。另外,夏季降水正趋势明显的宁波在7月份降水量有更强的正趋势。

表3 浙江月降水量与月气温的趋势系数

Table 3 Trend coefficients of monthly rainfall and mean temperature over Zhejiang Province

	月降水趋势系数				月气温趋势系数			
	杭州	宁波	衢州	温州	杭州	宁波	衢州	温州
1	0.180	0.188	0.186	0.117	0.288*	0.386*	0.098	0.239
2	-0.153	-0.138	-0.195	-0.021	0.304*	0.304*	0.166	0.187
3	0.278*	0.414*	0.253	0.268*	0.145	0.157	0.045	0.164
4	-0.082	0.016	0.074	-0.068	0.288*	0.288*	0.090	0.170
5	-0.312*	-0.267*	-0.396*	-0.121	0.301*	0.462*	0.281*	0.334*
6	0.185	0.072	0.180	0.082	-0.024	0.194	-0.018	0.173
7	0.233	0.397*	0.294*	0.064	-0.157	-0.071	-0.231	0.080
8	0.178	0.217	0.108	-0.063	-0.102	0.100	-0.226	0.190
9	-0.291*	-0.276*	-0.149	-0.111	0.100	0.037	-0.180	0.037
10	-0.026	-0.028	-0.077	-0.019	0.470*	0.491*	0.012	0.312*
11	-0.026	0.000	-0.028	0.050	0.220	0.232	0.027	0.097
12	-0.083	-0.019	-0.017	-0.146	0.250	0.137	-0.011	0.055

注: * 表示通过0.10以上信度的蒙特卡洛统计检验

图2是宁波3月与衢州5月降水距平的时间变化曲线及高斯滤波曲线及直线回归。我们

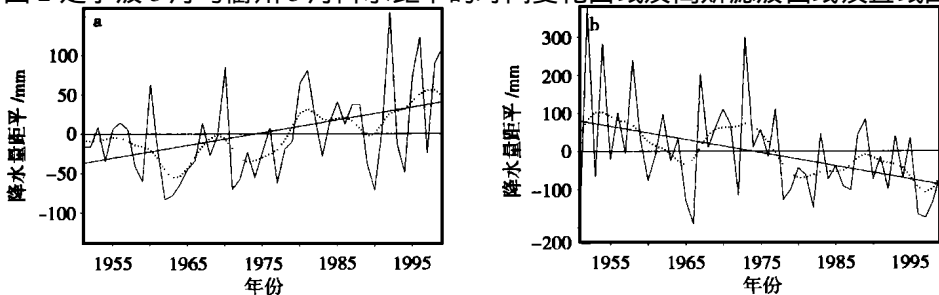


图2 浙江省宁波3月(a)和衢州5月(b)降水距平的时间变化及高斯滤波曲线

图中的实线是直线回归

Fig.2 Time series of rainfall anomaly and linear trend(line) for Ningbo in March(a), Quzhou(b) in May, with Gauss low pass filtered variation(dotted curve)

看出。90年代以来,宁波3月份降水异常多,同时衢州5月份则异常干旱。突变是在70年代中后期发生的。

4 近50 a浙江气温的长期变化特征

70年代末80年代初开始的气候变暖问题已越来越受到人们的关注。一般认为,我国气温变暖主要发生在华北、西北与东北。我国南方气温的长期变化的特征研究不够。本文对浙江的年、季、月气温变化作详细的研究。

表4给出浙江省年、季平均气温的趋势系数与回归系数。从表看出,1)从年平均气温看,杭州、宁波、温州、衢州都是正趋势。杭州、宁波的趋势系数超过0.01的信度,衢州是不显著正趋势。这表示浙江省的北部增温明显。2)除了浙江西南部(衢州站为代表)以外,变暖发生在浙江的大部分地区的冬季、春季与秋季。3)近50 a浙江省夏季气温没有明显变化,甚至有些地区是不显著的降温(衢州、杭州)。对月平均气温的情况(表3),某些月份某有些站的正趋势是非常明显的。例如,宁波、杭州10月份的变暖。图3是宁波年的与10月份的平均气温的时间变化曲线、高斯滤波曲线及直线回归。由图看到宁波年平均气温从80年代初开始增加,到90年代气温上升得很快,50 a来平均每10 a上升0.191 $^{\circ}\text{C}$;而10月份的气温,平均每10 a增加0.313 $^{\circ}\text{C}$ 。

表4 浙江年、季平均气温的趋势系数与回归系数

Table 4 Trend coefficients and regression coefficients of yearly and seasonal mean temperature over Zhejiang Province

	趋势系数				回归系数/ $\cdot (10\text{a})^{-1}$			
	杭州	宁波	衢州	温州	杭州	宁波	衢州	温州
春	0.373*	0.399*	0.208	0.320*	0.196	0.245	0.108	0.159
夏	-0.135	0.094	-0.217	0.193	-0.075	0.047	-0.113	0.072
秋	0.390*	0.363*	-0.049	0.234	0.212	0.191	-0.036	-0.103
冬	0.403*	0.371*	0.153	0.244*	0.281	0.281	0.105	0.163
年	0.459*	0.492*	0.041	0.445*	0.156	0.191	0.014	0.122

注: * 表示通过0.10以上信度的蒙特卡洛统计检验

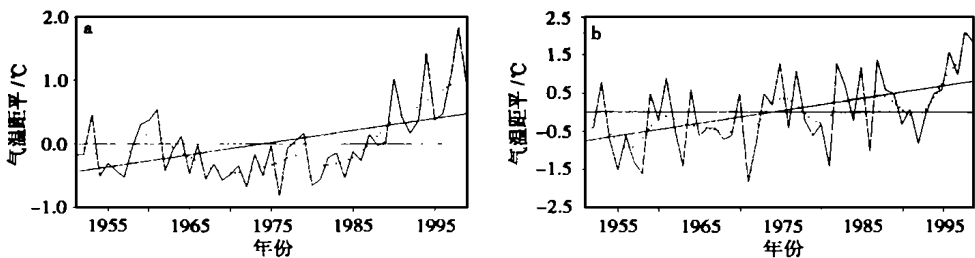


图3 浙江省宁波年(a)和10月(b)平均气温距平的时间变化及高斯滤波曲线
图中的实线是直线回归

Fig. 3 Time series of yearly(a) and monthly(b) mean temperature and linear trend(line) for Ningbo, with Gauss low-pass filtered variation (dotted curve)

5 近 50 a 浙江夏季降水量的滑动均方差变化特征分析

上面我们主要研究了气象要素平均值的变化,其实气候变化也可以出现在要素的气候变率上。这个问题我们过去并不注意,也很少研究。其实,气象要素变率或均方差的数值大小往往与异常天气的频率及强度相联系。因此,我们需要了解气象要素的均方差的有无发生变化,有什么样的变化。因为 30 a 的时段,往往可以作为气候平均值。所以,我们计算气象要素的 29 a 滑动的均方差,以了解的均方差的时间变化。作为一个例子,我们计算了浙江夏季 4 个站的降水量的滑动均方差。图 4 就是它们的时间变化曲线。特别注意一下衢州站(c),从 70 年代末开始,这个站的均方差明显地呈上升趋势,表明夏季衢州降水量的变化幅度已经增大,极易出现夏季洪涝与干旱的灾害天气。事实上,如果以距平值达到 1.5 个均方差作为衢州夏季洪涝与干旱的标准,近 50 a 共发生 8 次明显异常;其中 80 年代以后发生了 6 次(1983 年洪涝、1986 年干旱、1989、1992、1993 和 1998 年洪涝),50 年代发生 2 次(1954 年洪涝和 1958 年干旱),60 年代和 70 年代均没有洪涝、干旱现象发生。相反,在温州(图 4d),均方差明显地减少,近 50 a 也出现 8 次严重的洪涝、干旱现象,有 6 次发生在 70 年代以前,80 年代以后只有 2 次。所以,均方差变化能够反映气象要素的异常变化,而且与灾害天气的频率变化有联系。很值得在更多的气象要素中进行分析。

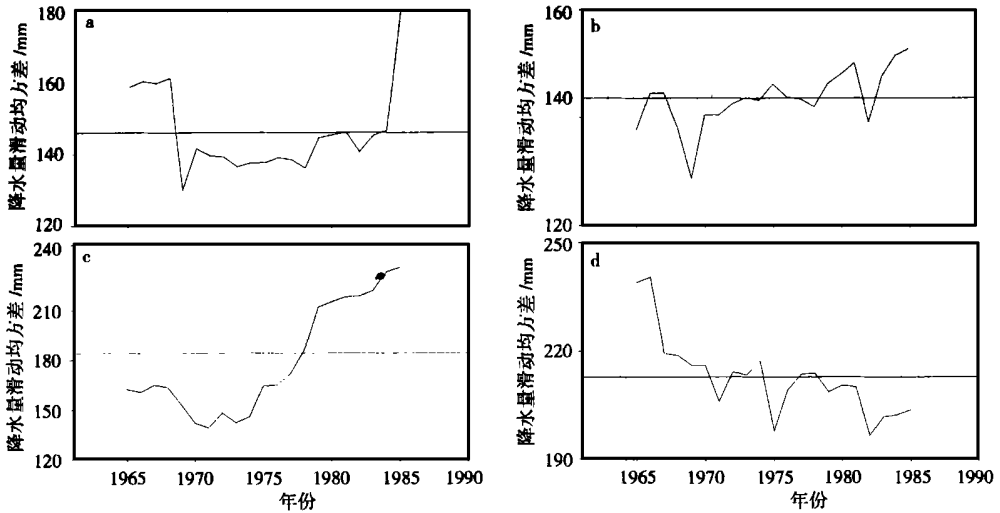


图 4 浙江省杭州(a)、宁波(b)、衢州(c)和温州站(d)
夏季降水的滑动均方差的时间变化
图中水平直线是滑动均方差的平均值

Fig. 4 Time series of 29-year running mean squared deviation of summer rainfall (solid curve) for Hangzhou (a), Ningbo (b), Quzhou (c) and Wenzhou (d) over Zhejiang Province, with averages of the running mean squared deviation (horizontal line)

6 结论

(1) 近 50 a 浙江省除东南部以外,年降水量呈上升正趋势。但是它们都没还没有达到 0.1 的信度标准。所以年降水量的变化仍处长在自然振动的变化范围之内。年降水量的气候变化主要反映在夏季降水量的明显增加上面。浙江夏季降水的强的正趋势可以与 80 年代以后气候

变暖的大背景相联系。

(2) 近 50 a 浙江的年平均气温都是正趋势。特别是浙江省的北部增温很明显。杭州、宁波的趋势系数超过 0.01 的信度,衢州是不显著正趋势。这与北半球大范围变化暖的特征是一致的。

(3) 浙江气温变暖主要发生在冬、春与秋季。近 50 a 浙江省夏季气温没有明显变化,甚至有些地区是不显著的降温(衢州、杭州)。夏季气温的这种变化又是与夏季降水增加是相协调一致的。

(4) 除了季节异常为外,浙江省某些地区,某些月份的降水、气温的气候异常也非常明显。

(5) 气象要素的变率或均方差的也可能随时间变化,这种变化与气象灾害的频率及强度相联系,很值得进一步作全面的研究。

参考文献:

- [1] 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
- [2] LIVEZEY R E, CHEN W Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques[J]. Mon Wea Rev, 1983, 111(1): 46 ~ 59
- [3] 施 能, 魏凤英, 封国林, 等. 气象场相关分析及合成分析中的蒙特卡洛检验[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(3): 355 ~ 359

Climate variation features over Zhejiang province in the last 50 years

SHI Neng¹, MA Li², YUAN Xiao-yu¹, GU Jun-qiang³

(1. Department of Atmospheric Sciences; 2. Department of Computer Sciences and Technology, NIM, Nanjing 210044;

3. Institute of Applied Climate of Zhejiang, Hangzhou 310017)

Abstract: A detailed study is undertaken of climatic variation features of rainfall and temperature on a monthly, seasonal and annual basis at 4 stations in Zhejiang in terms of 1951 ~ 1999 data. Monte Carlo scheme is used to test the long-term variation of the meteorological elements. Result shows that the climatic change can also occur in the elements. At last, a method is developed to identify the variability anomaly by means of the sliding mean square deviation.

Key words: climate change, trend change, sliding mean square deviation