

文章编号: 1000-0690(2002)05-0546-06

太湖流域公元960年以来的气候干湿变化研究

王张华, 陈中原, 寇莹, 陈宇

(华东师范大学地理系, 上海 200062)

摘要: 利用史料和文献建立了太湖流域公元960~1992年的逐年干湿等级序列, 对此序列进行了周期分析和突变分析。分析表明, 本区近千年来的历史干湿气候变化是一种复合振动, 其主周期是准100年, 另外还有多个周期, 这些周期与天体活动密切相关。统计还发现1247~1263年附近由干变湿和1618~1635年附近由湿变干的两次非局地性气候突变事件。其中, 14、15世纪是太湖流域近千年来最湿润的时期, 它可能是东亚地区大范围气候变湿波动的体现。

关键词: 干湿气候周期; 突变现象; 逐年干湿等级序列; 太湖流域

中图分类号: P467 **文献标识码:** A

我国拥有丰富的历史文献, 其中不乏关于气候灾害的记录。前人在史料整理方面已做了大量工作, 并据此做历史气候方面的研究。例如, 中国近500年旱涝分布图集及其续补^[1,2]; 张德二等重建了中国东部6区近1000年的干湿序列并进行了气候跃变分析^[3]; 张丕远等综合了我国47个地点的气候史料, 对中国近2000年来气候演变的阶段性作了研究^[4]。在太湖流域, 陈家其考察流域内各站点的历史气候信息, 确立了旱涝序列的信息源, 确定各站点的等级序列并综合成流域的等级, 从而建立了自南宋以来的历史旱涝等级序列^[5], 并进一步做了周期分析, 划分相对干湿期且作成因探讨^[6]。本论文试图在前人研究的基础上, 通过对太湖流域近千年来的历史干湿等级序列的周期分析和突变分析, 更深入地理解该流域的历史气候特征及其波动原因。

1 逐年干湿序列的建立及分析方法

1.1 逐年干湿等级序列的建立及均一性检验

太湖流域位于长江三角洲南部平原, 是以太湖为中心的一碟形洼地。它的气候史料可追溯到战国时期^①, 但早期的记录较为零碎, 达不到1年的

分辨率, 直到北宋(公元960年)以后, 关于旱涝灾害的记录日见增多。本文根据江苏省近2000年洪涝旱潮灾害年表^①、江苏省气候历史资料^②、浙江省气候历史资料^③、太湖水利史^④以及中国近500年旱涝分布图集和续补^[1,2]对太湖流域的历史旱涝资料进行整理, 建立公元960年以来的逐年干湿等级序列。

该序列的建立, 参考陈家其的研究^[5], 以苏州地区的历史记载为主要信息源, 另外适当选取了周边一些插补点作为补充。1470~1979年的干湿等级直接引用江苏省气候历史资料和中国近500年旱涝分布图集中的定级。本文主要对960~1469年的历史记录进行定级, 并根据降水资料将序列从1979年延长到1992年。干湿等级的确定按照“中国近500年旱涝分布图集”的分级标准, 1级: 湿, 2级: 偏湿, 3级: 正常, 4级: 偏干, 5级: 干。

考虑到序列的均一性可能受到主观判断及早期、晚期史料记载差异的影响, 因此必须作出检验。由于序列的等级值是按准正态分布建立的, 所以可通过对全序列及序列的前后两段(前段指公元960~1475年, 后段指公元1476~1992年)所含的各等级值的分布形式作 χ^2 检验来判断(表1)。

收稿日期: 2001-08-28; 修订日期: 2002-03-25

基金项目: 华东师范大学青年科技创新基金资助。

作者简介: 王张华(1973-), 女, 浙江诸暨人, 博士, 讲师, 主要从事第四纪地质研究。E-mail: zhanghua_w@yahoo.com

① 江苏省革命委员会水利局编, 江苏省近两千年洪涝旱潮灾害年表, 1976。

② 江苏省气象情报资料室编印, 江苏省气候历史资料, 1978。

③ 浙江省气象局, 浙江省气候史料(上、下册), 1978。

④ 江苏省水利厅水利史研究小组, 太湖水利史(讨论稿), 1964。

表 1 χ^2 检验结果($\chi^2_{0.05}=9.488, \chi^2_{0.01}=13.277$)

Table 1 Result of χ^2 test ($\chi^2_{0.05}=9.488, \chi^2_{0.01}=13.277$)			
时段	前段和后段	前段和全序列	后段和全序列
χ^2	5.561	1.894	1.821

χ^2 检验表明,前后两段之间以及它们与全序列之间分布形式的 χ^2 检验值均小于 9.488,因此可以认为前后两段序列基本属于同一分布,序列前后的均一性符合要求。

1.2 序列分析方法

本文利用功率谱法研究逐年干湿序列中存在的周期,利用滑动 t 检验法检测序列的干湿突变信号。由于功率谱目前在时间序列分析中应用已十分广泛,本文就不再赘述,以下是对滑动 t 检验法的简要介绍。

用滑动 t 检验法进行气候突变分析时,首先把一连续的随机变量 x 分成两个子样本集 x_1 和 x_2 ,以 u_i, S_i^2 和 n_i 分别代表 x_i 的平均值、方差和样本长度($i=1,2$)。

原假设 $H_0: u_1-u_2=0$ 。定义一统计量为:

表 2 功率谱分析所得的主要周期

Table 2 Periods of the dry/wet change resulted from spectral analysis

滞后			主要周期(年)										
280	93	35	26	11	22	15	19	3.6	2.4	8.5	6.5	5.5	5.1
200	100	36	26	11	22	15	19	3.6	2.4	8.5	6.6	5.6	5.1
150	100	37	27	11	22	15	19	3.6	2.4	8.5	6.5	5.6	5.2

三种分析结果比较一致,表明本区 1 000 年以来的干湿气候变化是一种复合振动,主周期是准 100 年,其它周期有准 36 年、准 26~27 年、准 11 年、准 22 年、准 15 年、准 19 年、准 2~3 年、准 8 年以及准 5~6 年(表 2)。其中,准 100 年、准 36 年、准 11 年、准 22 年、准 2~3 年以及准 5~6 年均和陈家其对太湖流域南宋以来历史气候干湿序列的周期分析结果一致^[6]。

2.2 突变分析

对太湖流域北宋以来的逐年干湿等级序列利用滑动 t 检验法作突变分析,分别取 $n_1=n_2=15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 75$ 和 80 各两组等值样本。为了便于以 $r_\alpha=1.0$ 作为检验的临界值辨认出突变信号,又计算了 t 检验比值 $r_j=t_j/t_\alpha$ (置信度 $\alpha=0.01$),检验出的超过置信度的突变年份见表 3 和图 1。

$$t_0 = \frac{x_1 - x_2}{S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}}$$

在上面的公式当中, s_p^2 是联合样本方差, $S_p^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}$ 为 σ^2 的无偏估计[$E(S_p^2) = \sigma^2$],显然 $t_0 \sim t(n_1+n_2-2)$ 分布。给出信度 α , 得到临界值 t_α , 计算 t_α 后,在 H_0 下比较 t_0 与 t_α ,当 $|t_0| \geq t_\alpha$ 时,否定原假设 H_0 ,即说明其存在显著性差异;当 $|t_0| < t_\alpha$ 时,则接受原假设 H_0 。具体应用时,应该结合需要选择 n_i ,并不断地变动 n_i ,以增进检查结果的可靠性。

2 研究结果

2.1 周期分析

对本文所建立的 1033 年气候干湿序列作功率谱分析,分别选取 280、200、150 等不同的滞后,以“红噪声”过程作显著性检验,信度 α 取 0.05。功率谱分析结果见表 2。

同时,将原干湿序列的 11 年和 30 年滑动平均曲线及其 6 次多项式回归曲线附于图 1,以帮助判别序列中的气候干湿突变现象。结果显示,在取不同样本长度 n 进行突变分析时,普遍都检验出 1247~1263 年和 1618~1635 年间的两次突变。从图 1e、f 可以看出,这两个时间段正好位于干湿等级序列中六次多项式趋势线和均值线的交点附近,表现为 1247~1263 年间,由干旱转为湿润阶段的突变;1618~1635 年间,则是由湿润转为干旱的突变。另外,当样本长度 n 较大时,检测到的突变年份较少,主要是 1253 年前后和 1635 年前后(表 3、图 1),反映较长时间尺度的突变。当 n 较小时,检测到的突变年份较多,除了上述两个外,还存在公元 983 年、1170 年、1215 年前后、1284 年前后、1522 年前后、1559 年前后的突变点,反映较短时间尺度的突变。

表 3 太湖流域近 1 000 年来干湿气候突变年份

Table 3 Years of climate jump during the last thousand years in Taihu drainage basin

$n_1 =$ $n_2 = 15$	$n_1 =$ $n_2 = 20$	$n_1 =$ $n_2 = 25$	$n_1 =$ $n_2 = 30$	$n_1 =$ $n_2 = 35$	$n_1 =$ $n_2 = 40$	$n_1 =$ $n_2 = 50$	$n_1 =$ $n_2 = 60$	$n_1 =$ $n_2 = 70$	$n_1 =$ $n_2 = 75$	$n_1 =$ $n_2 = 80$
983	983									
1170										
1215										1221
	1250	1253		1262	1263	1250	1260	1250	1253	1247
1285						1282	1284	1284		
		1403								
		1522	1522	1522	1518	1519				
1559	1559		1554	1559	1559	1568	1559			
1635	1627		1635	1613	1633	1618	1620	1635	1635	1634

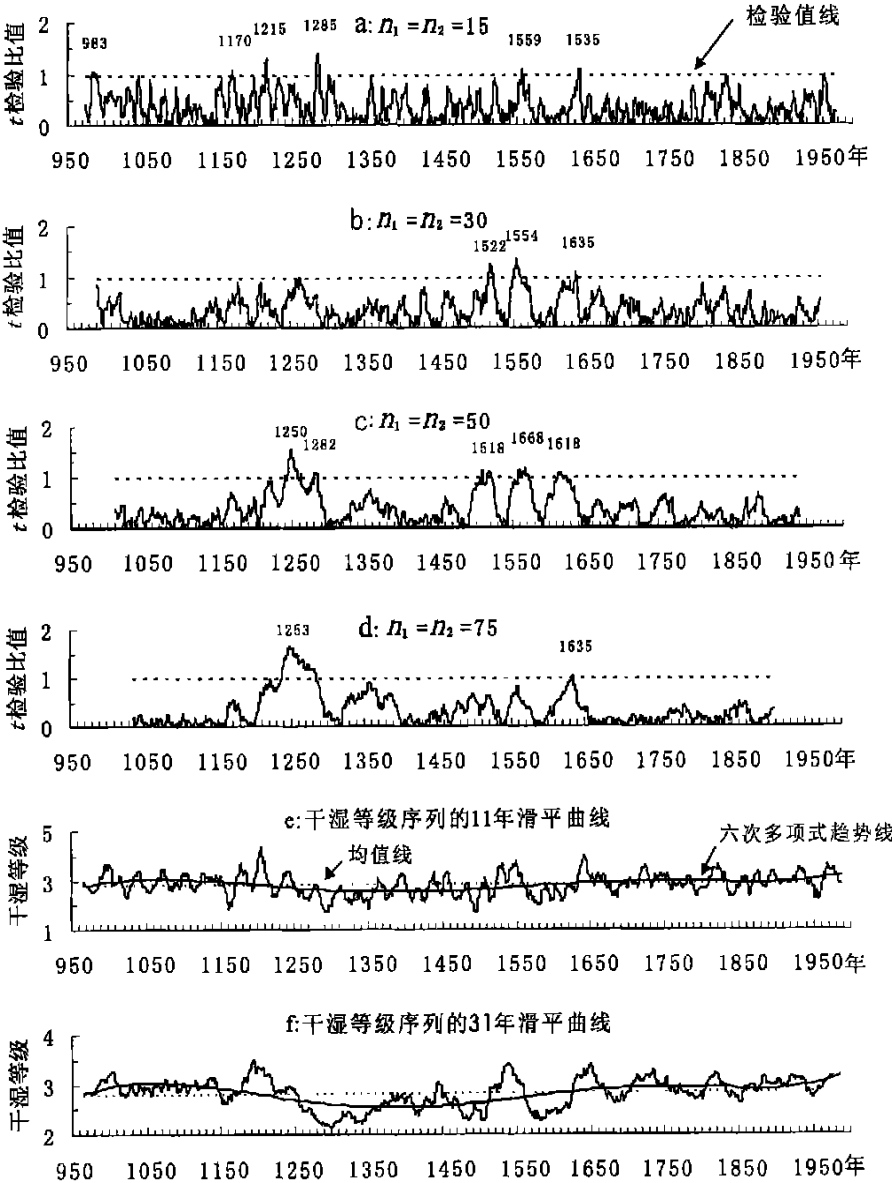


图 1 太湖流域近 1 000 年干湿等级序列的移动 t 检验比值曲线和滑平曲线

Fig. 1 Curves of moving t test ratio and the moving average curves of last 1 000 years of dry/wet series in Taihu drainage basin

3 讨 论

3.1 周期变化

周期分析显示, 本区近千年来气候干湿变化是一种多重周期叠加的复合振动, 反映了受天文因子控制和影响的行星风系变化及东亚季风环流对本区气候的作用。

根据陈育峰等^[7]搜集、整理的气候周期与天体周期对应关系表, 将太湖流域干湿变化周期与前人研究结果作了对比, 发现准 100 年周期可能与太阳活动的世纪周期有关, 太阳直径变化具 100 年周期。准 35~36 年周期与地球自转速度变化 34.5 年周期、地极运动及月球、木星、水星、土星、天王星的 35 年公共周期相近或相同; 另外, 前人研究显示^[7], 长江中下游 5~8 月降水量变化和中国 7 月份降水量、长江黄河水旱灾害以及上海年降雨量也都存在准 35 年周期。可见准 35~36 年气候干湿变化周期受天文因子控制, 在我国东部具有普遍意义。准 26~27 年周期及准 15 年周期与太阳活动周期相近, 上海降雨量变化中也存在准 26~27 年周期及准 15 年周期, 准 15 年周期在气候上的反映还可见于宜昌的年降水量。准 19 年周期与日月引潮力变化的 18.61 年周期相近。准 22 年、准 11 年和准 5~6 年周期分别对应于太阳活动的海尔周期、黑子周期和双振动周期。准 11 年、准 22 年都是上海周围地区旱涝变化的周期, 准 11 年周期还与长江中下游梅雨期降水量的周期相同, 准 22 年周期与长江中下游入梅日期周期相同。准 8 年周期对应于金星下合周期, 还可见于么枕生^[8]对上海年降水量及史久恩等^[9]对长江中下游 5~8 月降水量的周期分析结果。准 3 年左右的周期可能与海-气相互作用的 ENSO 事件有关。

由上可见, 天体活动和本区的气候变化密切相关, 尤其是太阳作为地球表层系统能量的主要供给者, 它的活动对地球气候干湿变化有深刻影响。陈家其的研究发现, 太湖流域南宋以来几个相对湿润时期大致都对应着太阳活动强盛的时期, 18 世纪以来的旱涝等级与相对提前 1~3 年的太阳黑子相对数, 呈十分显著的负相关($P < 0.01$)^[6]。另外据徐群研究, 认为西太平洋副热带高压强度、位置能很好地响应太阳活动 11 年周期变化, 且两者也具滞后 1~3 年的高相关性^[10, 11]。可见, 太阳黑子活动可能是通过西太平洋副高对东亚季风产生作用。

3.2 气候演变的阶段性

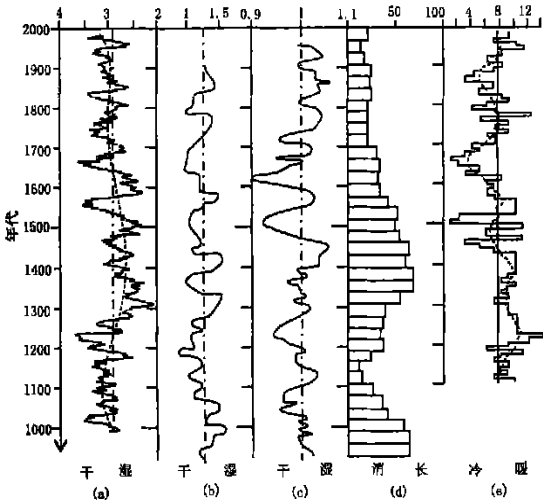
多重周期的复合振动, 使本区的干湿气候呈现出一系列突变。本区最显著的突变发生在 1247~1263 年和 1618~1635 年, 在这两个突变点之间, 是一个相对湿润的阶段(图 1e、f)。对比前人研究可以发现, 这两次突变并非局地性现象。张丕远等对中国 47 个采样点近 2 000 年来的历史气候资料分析显示^[4], 1230~1260 年发生了中国近 2 000 年来最为明显的气候突变, 并且认为中国现代季风气候的结构由此开始。张德二等^[3]也检测到苏杭地区在 1216 年前后, 由干旱转为多雨的突变和 1636 年前后又由多雨转入干旱阶段。此外, 17 世纪的突变, 在海河流域^[12]、关中地区^[12]和中原地区^[13]也都有显示。同时这两次突变也正好对应了我国近千年来最为温暖的 13 世纪和最为寒冷的 17 世纪^[14, 15]。

将本文所建立的干湿序列与东南地区(40°N 以南地区)每 5 年的湿润指数变化序列^[16]、中原地区降水变率曲线^[17]以及我国的湖面消长比率曲线^[18]进行对比(图 2)。对比发现, 虽然南北方的干湿波动并不完全一致, 有时甚至呈相反趋势, 但 14、15 世纪的湿润阶段发生范围较广, 是较大尺度的气候波动。在太湖流域 14、15 世纪是近千年来最湿润的时期(图 2a), 东南地区的湿润指数显示 14 世纪初和 15 世纪初有两次明显的变湿波动(图 2b), 中原地区在 14 世纪后期至 15 世纪也是一显著湿润时期(图 2c), 再从中国湖面消长比率来看, 1250~1650 年是湖面的扩张时期, 其中 14、15 世纪是近千年来湖面扩张的鼎盛阶段(图 2d), 反映雨量丰富, 气候湿润。另外, 将本区干湿序列与太湖流域南宋以来的温度指数^[9]对比可见, 基本上是一种冷与干、暖与湿的组合(图 2e), 体现了东亚季风气候的特征。

4 结 论

通过收集和整理历史资料, 建立了公元 960 年至 1992 年间(1 033 年)太湖流域的逐年干湿等级序列, 对此序列利用功率谱和移动 t 检验法进行了周期分析和突变分析。

功率谱分析表明, 本区近千年来历史干湿气候变化是一种复合振动, 其主周期是准 100 年, 其他周期主要有准 35~36 年、26~27 年、11 年、22 年、15 年、19 年、准 3 年、8 年以及 5~6 年等。根



(a) 太湖流域逐年干湿等级序列; (b) 东南地区每 5 年湿润指数(郑斯中等, 1977); (c) 中原地区降水变率(施少华, 1993); (d) 中国湖面消长比率(Fang, 1993); (e) 太湖流域温度指数(沈小英等, 1991)

图 2 近千年来东亚地区气候干湿波动及太湖流域温度波动对比

Fig. 2 Comparison of dry/wet climate change in East Asia and temperature variation of Taihu drainage basin during the last 1000 years

据对比分析, 认为上述周期是天体运动对行星风系和东亚季风环流的作用在本区气候的反映。

对干湿序列的移动 t 检验检测到 1247~ 1263 年和 1618~ 1635 年两个大尺度的气候突变点, 这两个突变点之间是本区的一个气候湿润阶段, 公元 1247 年之前和公元 1635 年之后则为两个偏干阶段。14、15 世纪是本区近千年来最为湿润的时期, 也是东亚地区普遍变湿的时期。

参考文献:

[1] 中国气象局气象科学研究院(主编). 中国近五百年旱涝分布图集[M]. 北京: 地图出版社, 1981.

[2] 张德二, 刘传志. 中国近 500 年旱涝分布图集续补(1980~ 1992)[J]. 气象, 1993, 19(11): 41~ 45.

[3] 张德二, 刘传志, 江剑民. 中国东部 6 区近 1 000 年干湿序列的重建和气候跃变分析[J]. 第四纪研究, 1997, (2): 1~ 11.

[4] 张丕远, 王 铮, 刘啸雷, 等. 中国近 2 000 年来气候演变的阶段性[J]. 中国科学(B 辑), 1994, 24(9): 998~ 1008.

[5] 陈家其. 从太湖流域旱涝史料看历史气候信息处理[J]. 地理学报, 1987, 42(3): 231~ 241.

[6] 陈家其. 太湖流域南宋以来旱涝规律及其成因初探[J]. 地理科学, 1989, 9(1): 25~ 32.

[7] 陈育峰, 张 强. 气候周期与天体活动周期的对应性及其区域特征的初步探讨[J]. 地理研究, 1995, 14(4): 91~ 96.

[8] 幺枕生. 气候统计[M]. 北京: 科学出版社, 1963.

[9] 史久恩, 徐 群. 长江中下游夏季降水长期预报的初步研究[J]. 气象学报, 1962, 32: 129~ 140.

[10] 徐 群. 1983 年气候异常的成因和长江中、下游汛期长期预报[J]. 自然杂志, 1985, 8(8): 589~ 593.

[11] 徐 群, 金 龙. 太阳活动与北半球副热带高压强度的耦合振荡[J]. 大气科学, 1986, 10(2): 204~ 211.

[12] 严中伟, 李兆元, 王晓春. 历史上 10 年至 100 年尺度气候跃变的分析[J]. 大气科学, 1993, 17(6): 663~ 672.

[13] Yan Z W, Ye D Z, Wang C. Climatic jumps in the flood/drought historical chronology of Central China[J]. Clim. Dyn., 1991, 6: 153~ 160.

[14] Zhang De'er. Evidence for the existence of the Medieval Warm Period in China[J]. Climatic Change, 1994, (3): 289~ 297.

[15] 张德二. 中国的小冰期气候及其与全球变化的关系[J]. 第四纪研究, 1991, (2): 104~ 111.

[16] 郑斯中, 张福春, 龚高法. 我国东南地区近两千年气候湿润状况的变化[A]. 中央气象局研究所(编). 气候变迁和超长期预报文集[C]. 北京: 科学出版社, 1977. 29~ 32.

[17] 施少华. 中原地区历史时期气候变化的周期分析[A]. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊(10)[C]. 北京: 科学出版社, 1993. 81~ 87.

[18] Fang J Q. Lake evolution during the last 3000 years in China and its implications for environmental change[J]. Quaternary Research., 1993, 39: 175~ 185.

[19] 沈小英, 陈家其. 太湖流域的粮食生产与气候变化[J]. 地理科学, 1991, 11(3): 207~ 212.

Dry/Wet Climate Changes since 960 A. D. in Taihu Drainage Basin of China

WANG Zhang-hua, CHEN Zhong-yuan, KOU Ying, CHEN Yu

(*Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062*)

Abstract: The present study collected historic climatic records since 960 A. D. from the Taihu drainage basin. A dry/wet series, i. e. a five-grade index of severe flood (1), flood (2), normal (3), drought (4), and severe drought (5) from 960 A. D. to 1992 A. D. was reconstructed and χ^2 -test was used to examine the evenly distribution of the series. Power spectrum analysis was made for the present 1033-year dry/wet grade series with different lagging of 280, 200, and 150. Process of “Red Noise” was applied to make the significance test ($\alpha=0.05$). Moving t -test was applied to detect the abrupt climate changes of the study area. The 11-year and 30-year moving average curves and their 6-degree polynomial regression curves are also presented to help the detection of climate jump.

Spectral analysis reveals that the change of drought-wet climate in the study area was a superposed phenomenon with the major period of ~ 100 -year, and other notable periods of 36-year, 26–27-year, 11-year, 22-year, 15-year, 19-year, 2–3-year, 8-year, and 5–6-year. Compared with those of celestial activity and climate change collected by previous work, these periods are supposed to be closely related to the celestial activities that control the planetary wind system and East Asia monsoon circulation.

The moving t test detected two large-scale abrupt changes, i. e., 1247–1263 A. D. and 1618–1635 A. D. The climate between these two abrupt changes was relative humid. Before 1247 A. D. and after 1635 A. D. it was relative dry. The 14th to 15th centuries was the wettest episode during the last 1000 years in the study area. This getting humid event occurred widely in East Asia.

Key words: climate periodicity; climate jump; annual dry/wet grade series; Taihu drainage basin