

近 50 年湘江流域干湿气候变化若干特点^{*}

张剑明^{1,2}, 黎祖贤³, 章新平²

(1. 株洲市气象局, 湖南 株洲 412003; 2. 湖南师范大学 资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081; 3. 湖南省气象局, 湖南 长沙 410007)

摘 要: 采用 $M-K$ 突变、小波分析、空间变异系数、经验正交函数分解法 (EOF) 和旋转经验正交函数分解法 ($REOF$) 等方法, 对近 48 年来湘江流域 40 个测站干湿指数 (Z 指数) 进行了分析。研究表明: 湘江流域 1960 年代前期和 1980 年代为干旱期, 1990 年代为湿润期。1980 年代末有向湿润转变趋势, 2003 年后又开始向干旱转变。湘江流域干湿的年际变化较小, 降水相对稳定, 存在 3 年、6 年和 10 年和 21 年 4 个特征时间尺度, 且未来几年湘江流域将仍处于干旱期。湘江流域干湿变化具有很好的主体一致性, 依据空间异常类型可分为南部、中部、北部和西南部 4 个区域。

关键词: 干湿气候; 数学分析; 变化趋势; 空间分布; 湘江流域

中图分类号: P426. 616 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 811X(2009)04 - 0095 - 07

0 引言

湘江流域位于长江中游荆江以南, 南岭以北, 东以罗霄山与赣江水系分界, 西隔衡山山脉与资水毗邻。属于典型的亚热带季风气候区, 处在东南季风和西南季风相交绥的地带, 降水分布不均匀, 年际变化较大, 旱涝灾害发生频率高。即使是大水年也同样经常会出现干旱, 只是范围不同, 程度不一。旱涝成为影响湘江流域最为严重的灾害, 已成为制约该地区社会经济可持续发展的重大因素^[1-4]。且湘江流域是全国商品粮基地和工业原料供应地, 经济地位重要, 但又是中国旱涝灾害频繁、严重的地区^[5-7]。因此研究湘江流域干湿空间分布特征及时间变化趋势, 对湘江流域的防灾减灾和经济建设具有重要意义。

1 资料与方法

由于湘江流域主要位于湖南省境内, 湘江流域降水的资料来源于湖南省气象局 40 个地面台站 (图 1) 的资料。对个别站点缺测月降水用克里金 (Kriging) 插值进行插补。

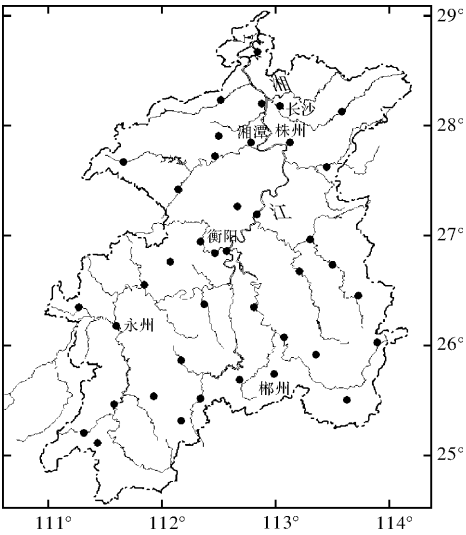


图 1 湘江流域气象站点分布图

2 干湿的时间变化

用 Z 指数^[8-9] 作为单站的旱涝指标划分旱涝级别。降水近似服从正态分布, 但年内某一时段的降水量一般并不服从正态分布, 假设其服从 Person - III 型分布, 对降水量 R_i 进行正态化处理, 将概率密度函数作 Z 转换, 其转换公式为:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} x_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6}, \quad (1)$$

^{*} 收稿日期: 2009 - 06 - 26
基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871094; 40871043); 湖南省重点学科建设项目
作者简介: 张剑明 (1982 -), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事环境演变与自然灾害研究. E-mail: zhaolanxai@sina.com

式中： σ 为降水的标准差； x_i 为降水的标准化变量； C_s 为偏态系数。计算公式为：

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^3}{n\sigma^3}, \quad (2)$$

$$x_i = \frac{R_i - \bar{R}}{\sigma}, \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}. \quad (4)$$

变异系数^[10] C_v (Coefficient of Variance) 反映干湿的变异特征。变异系数 C_v 是一个用来反映时间序列波动的统计指标，值越大，表示变化越大，序列越不稳定。计算公式为：

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 / \bar{R}}. \quad (5)$$

由于小波分析在时域和频域上同时具有良好的局部性质可以分析出时间序列周期变化的局部特征，能更清楚的看出各周期随时间的变化情况^[11-12]。本文用 *Morlet* 小波分析湘江流域干湿的特征尺度和周期性。

运用 Mann - Kendal ($M - K$) 非参数检验^[13] 方法，给定显著性水平： $\alpha = 0.05$ ，临界线为 ± 1.96 (两条虚线)。如果统计曲线在临界线之间出现交点，则交点对应的时刻就是突变开始的时间。本文用 Mann - Kendall 方法对湘江流域干湿做突变分析。

旋转主成分分析 (*REOF*) 是在 *EOF* 分析结果的基础上再做旋转，本文采用气候诊断分析中方差最大正交旋转法^[13]。取前 7 个特征向量及其对应的主成分参加旋转。旋转主成分分析不仅可以很好地反映不同区域的变化，而且可以反映不同区域的相关分布状况^[13]。

2.1 干湿的时间变化趋势及突变分析

对湘江流域干湿变化进行趋势分析 (图 2)，发现过去 48 年湘江流域有变湿润的趋势。 Z 指数倾向率达 0.097/10a，其中 1990 年代为 48 年来最湿润时期。7 年滑动平均曲线表明，1960 年代和 1980 年代为干旱期，1990 年代为湿润期。1980 年代末到 1990 年代初有向湿润转变趋势，2003 年后又开始向干旱转变。

对湘江流域 Z 指数进行突变分析 (图 3)，根据 *UF* 和 *UB* 曲线交点的位置，湘江流域 1980 年代末到 1990 年代初由干向湿转变是一突变现象，具体年份是从 1989 年开始的。

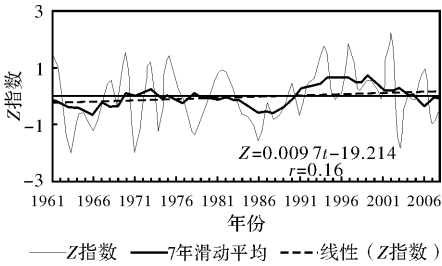


图 2 湘江流域干湿的时间变化趋势

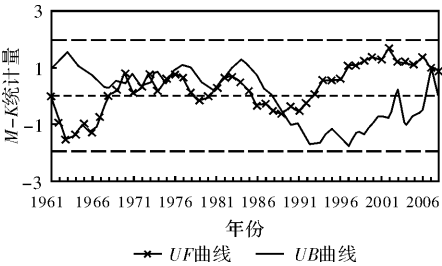


图 3 湘江流域干湿的 $M - K$ 曲线图

根据 Z 指数正态分布曲线，将湘江流域 48 年干湿变化划分为 7 个等级 (表 1)。由干湿等级表发现，1960 年代发生大旱 1 年、极旱 1 年，分别为 1963 年和 1966 年，偏旱 1 年 (1964 年)。1970 年代干湿变化频繁，1971 年为极旱年，1974 年、1979 年为大旱年，1970 和 1973 年为大涝年。1980 年代普遍偏旱，其中 1985 年和 1988 年为偏旱年，1986 年为大旱年。1990 - 2002 年除个别年份偏干外其余为湿润年。2003 年湘江流域开始向干旱转变。

表 1 湘江流域干湿等级分布			
等级	干湿指标	干湿类型	所属年份
1	$Z > 1.645$	极涝	1994 1997 2002
2	$1.036 < Z \leq 1.649$	大涝	1961 1970 1973 1975
3	$0.642 < Z \leq 1.036$	偏涝	1981 1982 1993 2006
			1962 1965 1967 1968 1969
			1972 1976 1977 1980 1983
4	$-0.642 < Z \leq 0.642$	正常	1984 1987 1989 1990 1992
			1995 1996 1998 1999 2000
			2001 2004 2005 2008
5	$-1.036 < Z \leq -0.642$	偏旱	1964 1979 1985 1988 2007
6	$-1.649 < Z \leq -1.036$	大旱	1966 1974 1978 1986
7	$Z < -1.649$	极旱	1963 1971 2003

2.2 干湿的周期变化

对湘江流域 Z 指数作小波分析，做 *Morlet* 小波变换得到的小波系数实部等值线图 (图 4)。图 4 中横坐标值为年代，纵坐标值为周期，实线表示处于湿润期，虚线表示处于干旱期。

图 4 中显示湘江流域干湿变化存在 4 个特征时间尺度, 分别是 3 年、6 年和 10 年和 21 年。3 年时间尺度上, 在 48 年中始终存在, 且周期振荡稳定。6 年时间尺度表现为 1980 年代中期以前的 7 年周期, 以后逐渐变为 5 年周期。10 年左右的时间尺度上, 在 1980 年代以前比较明显。21 年左右的时间尺度的周期振荡贯穿整个研究时段且表现稳定, 48 年大致经历了 4 次干湿交替, 1960 年代中期以前为干旱期, 1960 年代中期到 1970 年代末为湿润期, 1980 年代初到 1990 年代初为干旱期, 1990 年代初到 21 世纪初为湿润期, 之后进入干旱期。

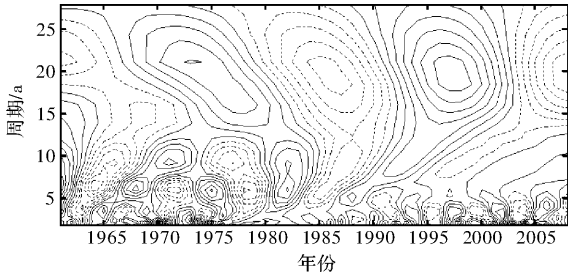


图 4 湘江流域干湿 Morlet 小波系数实部等值线图

无论是根据 21 年左右、还是 6 年左右的周期振荡, 2008 年之后小波系数仍将是负值, 表明未来若干年湘江流域将仍处于干旱期, 之后可能进入一个湿润期。这与一些研究结果^[14-16]是一致的, 近年来湘江流域发生的干旱事件也证明了这一点。

需指出 3 年周期振荡与对流层大气环流的准 2 年周期振荡 (TBO) 存在一致性关系。除在赤道平流层低层纬向风有明显的准两年周期振荡现象外, 对流层中各气象要素普遍存在准两年周期振荡现象, 通常把季风环流、降水、海温等具有 2~3 年周期的年纪变化称之为对流层准两年振荡 (Tropospheric biennial oscillation, 简称 TBO)^[17]。6 年的周期则与 ENSO 事件的 5~7 年的准周期相联系, 说明 ENSO 事件一定程度上影响湘江流域干湿变化^[18]。21 年的周期与太阳活动的准 22 年周期相吻合, 说明湘江流域干湿变化受太阳活动影响明显^[19]。

3 干湿空间变化

3.1 干湿的空间分布

湘江流域干湿的空间分布 (图 5) 表明, 图 5 中表示湘江流域多年平均年降水量。中部、北部降水较少, 比较干旱; 东部、南部和西南部降水较

多, 较湿润。其中桂东、蓝山和浏阳等地为区域内最湿润的地区。湘江流域干湿的空间分布与大气环流和地形有关, 常年 6 月以后直接受到西太平洋副热带高压的控制, 表现较长时间的晴热干燥天气^[20]。而桂东、蓝山和浏阳等地位于山地东侧迎风坡, 降水丰富。

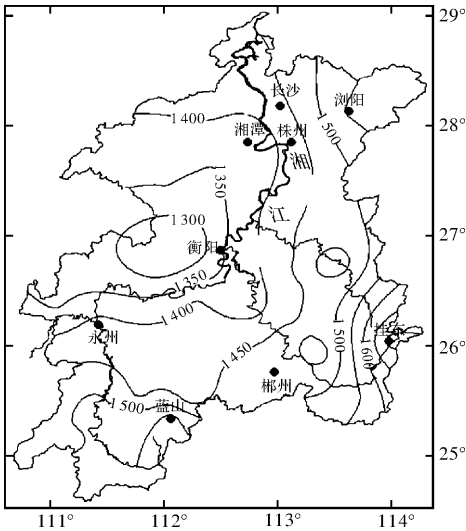


图 5 干湿的空间分布 (年降水量: mm)

3.2 干湿时间变异特征的空间分布

根据公式 (5) 计算出湘江流域干湿时间变异特征的空间分布。变异系数是一个用来反映干湿年际变化的统计指标, 图 6 中值越大, 表示干湿年际变化越大; 值越小, 则为干湿年际变化越小。图中显示湘江流域干湿的年际变化较小, 降水相对稳定。由南部、北部干湿年际变化较大逐渐过渡到中部干湿年际变化较小。其中涟源 (0.133)、韶山 (0.138) 干湿年际变化最小, 资兴 (0.215) 干湿年际变化相对较大。

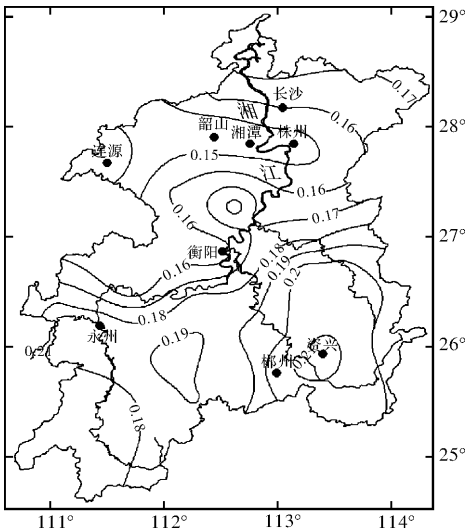


图 6 干湿时间变异特征的空间分布

3.3 干湿变化趋势的空间分布

为了分析干湿变化趋势的区域差异，对湘江流域各站点 Z 指数的线性倾向进行估计(图7)。在1961–2008年，湘江流域 Z 指数除向东部、南部个别站点呈降低趋势外，其它地区呈增加的趋势，即有变湿的趋势。在40个统计站中，有34个站点 $b > 0$ ，占85%，其中 Z 指数的大值区分别位于湘江流域南部和东部地区；有6个站点 $b < 0$ ，占15%。

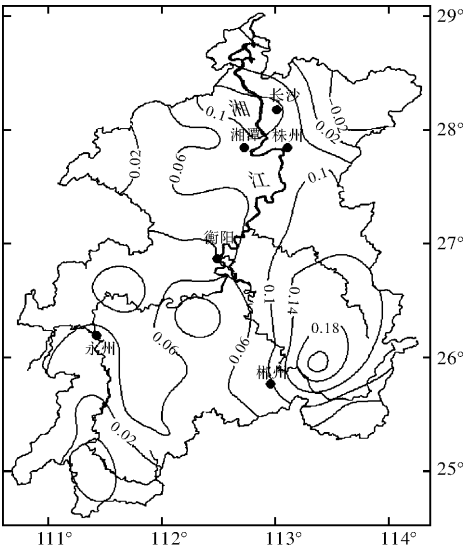


图7 1961–2008年干湿变化趋势的空间分布

3.4 干湿的空间分异特征

利用主成分和旋转主成分分析对湘江流域40个地面气象站点 Z 指数进行展开分析，表1给出旋转前后 EOF 和 $REOF$ 对干湿场总方差的贡献率。

根据 North 提出的计算特征向量误差范围进行显著性检验^[13]，前2个特征向量场具有显著物理意义。这两个特征量累计贡献达76.2%，用前2个特征向量场能反映出湘江流域干湿的主要的空间分布特征。

第一特征向量场(图8a)在湘江流域内均为正值，这表明湘江流域干湿在空间上具有很好的一致性，普遍干旱或湿润。正值分布由中部向北、东南逐渐减小。特征量最大值在耒阳，达0.93，说明这里是该种空间分异类型中干湿变化幅度最大，最敏感的地区。这种全区一致的特征占总方差的66.6%，表明湘江流域干湿变化在很大程度上受大尺度天气系统影响。

表2 前7个 EOF 和 $REOF$ 的对总方差的方差贡献率及累积贡献率

序号	解释方差	EOF		REOF		
		方差贡献 /%	累积方差贡献 /%	解释方差	方差贡献 /%	累积方差贡献 /%
1	26	66.6	66.6	10.8	27.8	27.8
2	3.7	9.6	76.2	7.7	19.7	47.4
3	1.5	3.7	79.9	6.8	17.5	64.9
4	1.4	3.6	83.5	6.5	16.7	81.6
5	0.8	2.1	85.6	1.3	3.3	84.9
6	0.6	1.5	87.2	0.7	1.9	86.8
7	0.5	1.4	88.5	0.7	1.7	88.5

第二特征向量场的分布如图8b所示，方差贡献率占9.6%。可以看出，第二特征向量场分布表现为南北反向变化的特征。其中南部为负值、北为正值。这说明了湘江流域干湿呈现南北反位相变化。特征等值线基本呈南—北走向平行分布，以零等值线为界线，且随着特征值由零等值线向南、北递增，干湿变化的敏感性不断增强。南干北湿，或北干南湿。其中南部特征量高值中心在道县，中心值达−0.429，北部正向高值中心在宁乡，中心值达0.645，即这两个站点为该种空间分异类型中干湿变化最敏感区。

3.5 干湿的空间分异类型

EOF 不能清晰的表现不同地理区域的特征^[13]。为了突出湘江流域的空间分布特点，在 EOF 分析的基础上，做最大正交方差旋转。前7个主成分的累积方差达到88.5%。对前7个主成分及对应的特征量进行旋转，按照 North 判别准则^[13]得到湘江流域干湿的4个主要空间异常气候区(图9)。从旋转前后 EOF 和 $REOF$ 占总体方差贡献的数值看，旋转后特征要比旋转前分布均匀。图9a–d是干湿的4个旋转特征向量场。以较大的特征值为界限，特征大值区很少有重叠，它们将湘江流域干湿大致可以分为南部、北部、中部和西南部4个异常区。

由以上分析可以看出，由 $REOF$ 分析得出的湘江流域干湿异常分区反映了地理位置和地形对降水的影响，同时对比湘江流域干湿变化趋势的空间分布和干湿空间分布发现，北部和西南部可能变干旱，中部和南部区域有可能向湿润转变的趋势。

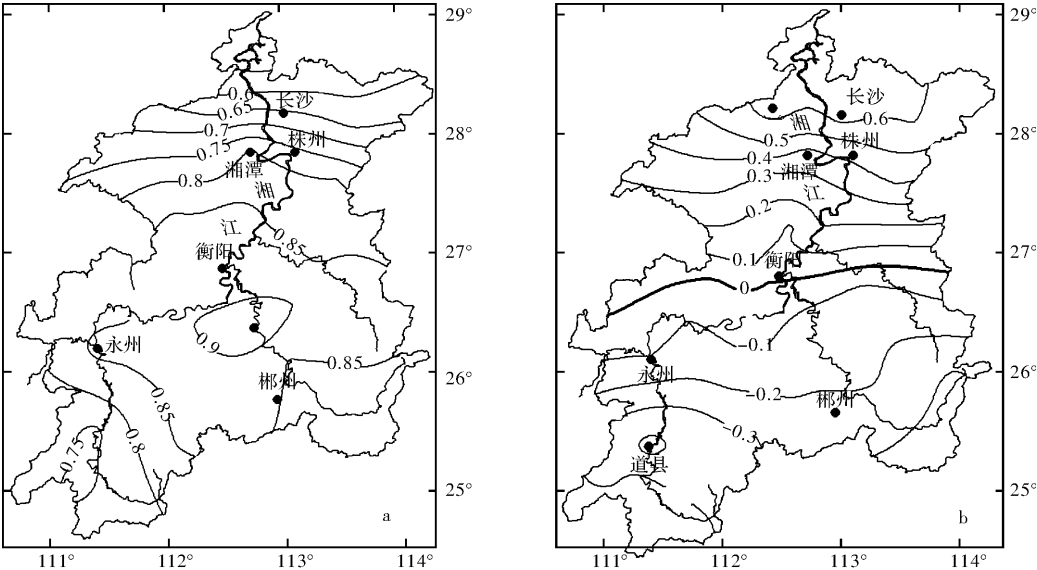


图 8 湘江流域 Z 指数 EOF 展开前 2 个特征向量分布(a、b 分别为第一、二特征场)

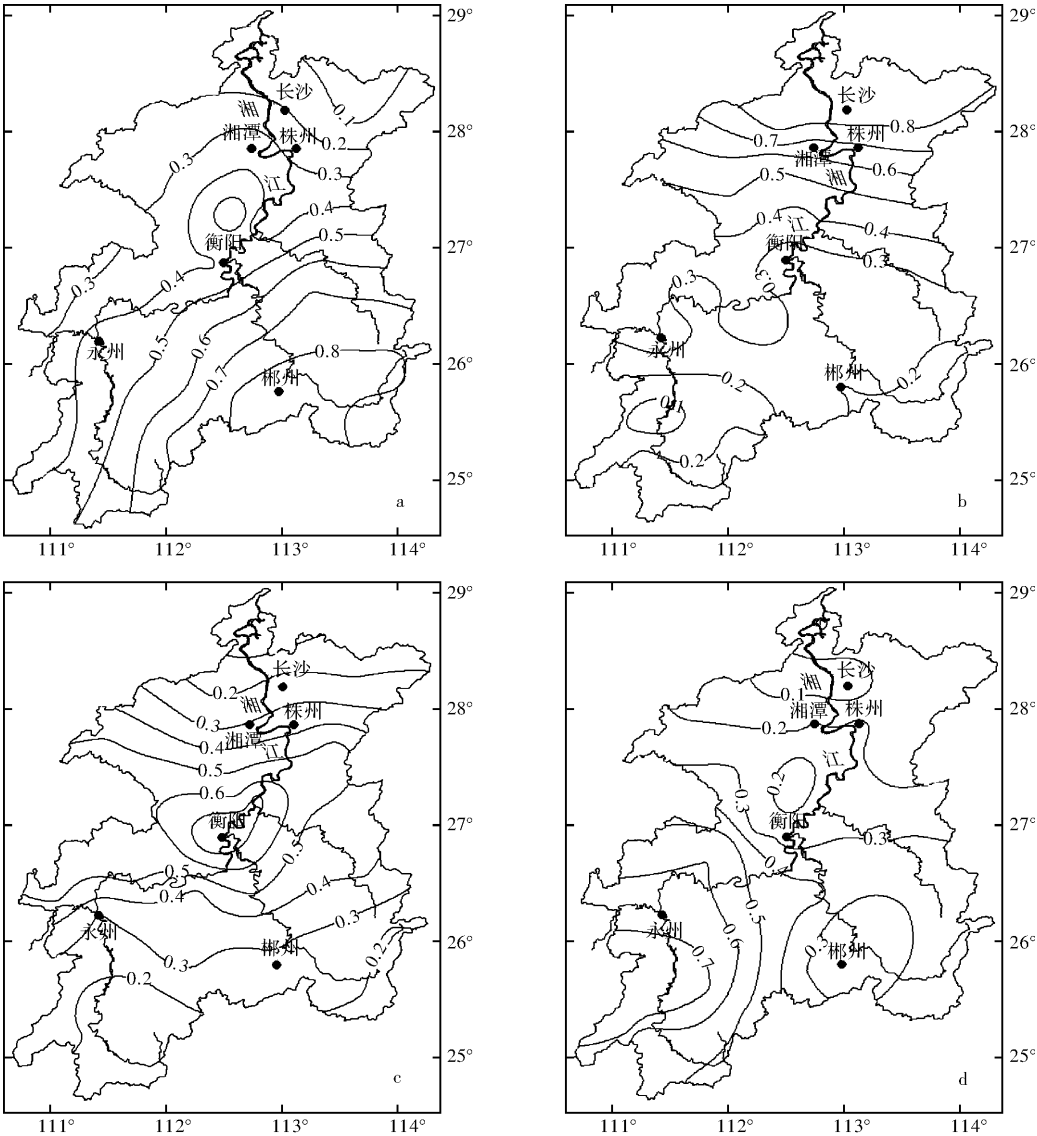


图 9 湘江流域 Z 指数前 4 个(a ~ d)旋转特征向量场分布

4 结论与讨论

采用湘江流域 40 个测站 1961–2008 年降水资料, 运用 $M-K$ 突变、小波分析、空间变异系数、经验正交函数分解 (EOF) 和旋转经验正交函数分解 ($REOF$) 等方法, 对近 48 年来湘江流域 40 个测站干湿指数 (Z 指数) 进行了分析。研究表明:

(1) 过去 48 年, 湘江流域 1960 年代前期和 1980 年代为干旱期, 1990 年代为湿润期。1980 年代末有向湿润转变趋势, 2003 年后又开始向干旱转变。湘江流域 1980 年代末到 1990 年代初有由干向湿转变现象。

(2) 湘江流域干湿的年际变化较小, 降水相对稳定, 存在 3 年、6 年和 10 年和 21 年 4 个特征时间尺度, 且未来几年湘江流域将仍处于干旱期。

(3) 湘江流域干湿变化的空间分布可以分为全区一致和南北方向变化的差异, 依据空间异常类型可分为南部、中部、北部和西南部 4 个区域。

据科技部、中国气象局、中国科学院等 6 部门发布的《气候变化国家评估报告》预测^[21], 中国未来气候变暖, 将有可能增加旱涝等灾害的出现频率, 并加剧水资源的不稳定性与供需矛盾。旱涝变化存在着年代际和阶段性变化, 气候学家从气象资料分析发现长江中下游地区的干湿变化表现为波动变化趋势^[22–23], 其中 1950 年代为湿润期, 1960–1970 年代为干旱期, 1980–1990 年代为湿润期^[24–25], 1990 年代是长江中下游地区近百年来降水最多的 10 年^[26], 长江流域为我国 5 个干旱中心之一^[27]。但对于湘江流域干湿变化来说, 1970 年代干湿变化明显, 1980 年代处于干旱时期, 1990 年代以后处于湿润时期, 进入 21 世纪后有变干的趋势, 与全球旱涝变化一致。而且该地区的干湿振荡具有的 3 年、6 年的周期与长江中游旱涝变化一致; 21 年周期变化与我国旱涝变的 22~23 年的振荡周期也吻合^[28]。通过 $M-K$ 突变曲线表明湘江流域干湿转变发生在 1980 年代末, 与有些研究指出长江流域发生在 1980 年代末^[29–30] 具有很好的 consistency。

本文只笼统研究了湘江流域干湿变化的敏感程度, 还应该对敏感度做进一步定量化的研究, 同时要研究该区域不同季节的干湿变化, 更深入研究该区域干湿变化对生态环境、经济等方面造成的影响, 将区域的环境变化同区域的可持续发展相结合。

参考文献:

- [1] 曾庆华, 祝燕德. 中国气象灾害大典·湖南卷[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [2] 左利芳, 仇财兴. 湖南干旱特征及其对经济的影响[J]. 经济地理, 2000, 20(2): 36–39.
- [3] 李景保, 郑云有. 论湖南省水旱灾害的地理规律性[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(4): 115–120.
- [4] 袁华斌, 李景保. 湖南省农业干旱灾害特征与洪水资源化[J]. 云南地理环境研究, 2006, 18(5): 14–18.
- [5] 贺建林. 近 50 年来湖南省旱涝灾害及其时空分布[J]. 灾害学, 2000, 15(1): 62–66.
- [6] 赵化雄. 洞庭湖区旱涝特征浅析[J]. 灾害学, 2003, 18(1): 87–91.
- [7] 杨奇勇, 李景保, 冯发林. 湖南 2005 年农业旱灾及抗旱效益的优势分析[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 69–72.
- [8] 鞠笑生, 邹旭恺, 张强, 等. 气候旱涝指标方法及其分析[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(4): 381–389.
- [9] 谭桂容, 孙照渤, 陈海山, 等. 旱涝指数的研究[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(2): 153–158.
- [10] 李香云, 王力新. 近 40 年我国西北荒漠化区降水和气温的时空变异特征[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(4): 658–669.
- [11] Christopher Torrence, Gilbert P. Compo. A Practical Guide to Wavelet Analysis [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1): 61–78.
- [12] 林振山. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [13] 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.
- [14] 刘会玉, 林振山, 张明阳. 湖南汛期降水异常的时空分布特征研究[J]. 热带气象学报, 2004, 20(4): 409–418.
- [15] 张剑明, 黎祖贤, 章新平. 1960–2005 年湖南的降水变化[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(2): 101–105.
- [16] 张剑明, 黎祖贤, 章新平. 长沙近 50 年来降水的多时间尺度分析[J]. 水文, 2007, 27(6): 78–80.
- [17] 贾建颖, 孙照渤, 刘向文, 等. 中国东部夏季降水准两年周期振荡的长期演变[J]. 大气科学, 2009, 33(2): 397–407.
- [18] 施能, 陈绿文, 封国林, 等. 1920–2000 年全球陆地降水气候特征与变化[M]. 高原气象, 2004, 23(4): 435–443.
- [19] 段长春, 孙绩华. 太阳活动 异常与降水和地面气温的关系[J]. 气象科技, 2006, 34(4): 381–386.
- [20] 蔡秀华, 曹鸿兴. 资料插值的进展[J]. 气象, 2005, 31(8): 3–7.
- [21] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [22] 翟盘茂, 任福民. 中国降水极值变化趋势检测[J]. 气象学报, 1999, 57(2): 208–216.
- [23] 赵亮, 邹力. 中国近 40 年来气温和降水的分布特征及年代差异[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 618–624.
- [24] 王叶红, 王谦谦. 长江中下游降水异常特征及其与全国降水

和气温异常的关系[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(4): 685-691.

[25] 江志红, 丁裕国. 近 40 年我国降水量年际变化的区域性特征[J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(1): 73-78.

[26] 龚道溢, 王绍武. 1990 年代长江中下游地区多雨的机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 567-575.

[27] 陈峪. 我国的干旱[J]. 气象知识, 2006, (2): 24-27.

[28] 王绍武. 近百年中国气候变化的研究[J]. 中国科学基金, 1998, 12(3): 167-170.

[29] Buda Su, Tong Jiang, Yafeng Shi, et al. Rainstorm and Precipitation Trends in the Yangtze River Catchment 1951-2002 [M]. Climate Change and Yangtze Floods. 2004: 101-121.

[30] 张永领. 长江流域夏季降水的时空特征及演变趋势分析[J]. 热带气象学报, 2006, 22(2): 161-168.

Characteristics of Drought and Flood Climate Changes of Xiangjiang River Basin in Recent 50 Years

Zhang Jianming^{1,2}, Li Zuxian³ and Zhang Xinping²

(1. Meteorological Bureau of Zhuzhou, Zhuzhou 412003, China; 2. College of Resources and Environment Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 3. Hunan Provincial Meteorological Bureau, Changsha 410007, China)

Abstract: The change of drought and flood in Xiangjiang River Basin in recent 48 years is discussed by using abrupt change analysis, wavelet analysis, coefficient of variance, EOF and REOF. The results show that the 1990s is in flood periods, and the 1960s and the 1980s is in drought period. There is a decreasing trend since the 21st century, and there is an abrupt change from dry climate to wet climate in 1980s. Generally, the Z Index presents variations of four periods. In the late 2000s, Xiangjiang River Basin would be in a period of drought, and would be in a period of flood afterwards. The most typical pattern of Z Index is the drought-flood consistence. The Z Index abnormal area can be divided into four as the southern, central, northern and southwestern regions.

Key words: wet and dry climate; mathematical analysis; trend of changes; spatial distribution; Xiangjiang River basin



《灾害学》2008 年的影响因子及其期刊主要考评指标

据《2009 年版中国期刊引证报告(扩刊版)》(中国科学技术信息研究所、万方数据股份有限公司, 北京: 科学技术文献出版社, 2009 年 10 月), 《灾害学》杂志 2008 年的影响因子为 1.375(参与统计的 6 108 种期刊的影响因子平均值为 0.394, ≥1 的期刊为 390 种)。

《灾害学》所取得的一切新的成绩都离不开主办单位和各协办单位的大力支持, 离不开编委会的正确领导, 离不开编委会各位顾问、编委和《灾害学》审稿专家的关心和帮助, 更离不开广大的作者、读者和各界人士对《灾害学》的支持和信任。作为 ECCSE 中国权威学术期刊、中国科技核心期刊和中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊的《灾害学》杂志这一灾害研究领域的良好平台将在今后的日子一如既往地为广大作者、读者提供最好的服务, 努力为我国的防灾减灾事业做出应有的贡献。

《灾害学》2008 年的主要期刊考评指标

总被引频次	影响因子	五年影响因子	即年指标	他引率	引用期刊数	学科扩散指标	学科影响指标	被引半衰期
1 028	1.375	1.186	0.190	0.734	383	0.45	9.575	4.953
平均引文	平均作者	地区分布数	机构分布数	海外论文比	基金论文比	引用半衰期	H 指数	单篇文章最高被引次数
13.967	3.264	25	73	0.017	0.950	5.468	7	19