

文章编号: 1000-2022(2005) 05-0609-08

近 53 a 中国东部雨季降水的区域特征

王 永, 陆维松, 龚

(南京信息工程大学 大气科学系, 江苏 南京 210044)

摘 要: 利用 1951—2003 年中国东部 114 个站雨季 (4—9 月) 降水量资料作旋转经验正交函数 (REOF) 展开, 根据前 5 个旋转空间模上高载荷区分布, 将中国东部地区分成 5 个降水气候区, 即东北南部、河套地区、江淮地区、长江中下游地区及华南地区。Morlet 小波分析结果表明, 除了 7~8 a 的周期外, 各区还存在不同的振荡周期。长期变化趋势显示各区在 53 a 中基本上呈两波型, 东北南部、河套地区和江淮地区降水发生突变的时间为 20 世纪 60 年代末 70 年代初, 降水下降趋势显著, 长江中下游及华南地区降水突变时间为 90 年代初, 降水有弱的上升趋势。

关键词: 中国东部; 旋转经验正交函数 (REOF); 周期; 长期趋势

中图分类号: P468 **文献标识码:** A

我国气象科学工作者对中国东部降水区域特征的研究已作了许多工作。早在 20 世纪 50 年代, 朱炳海^[1]就对降水区划作了讨论, 但受到资料和计算工具等诸多条件的限制分区不够客观。随后国家气候中心对我国雨季降水分布分 3 种类型^[2], 即主要雨带在我国北方、长江与黄河之间、长江及其以南地区。这种分类突出了主要雨带位置, 预报方便, 但划分的范围较粗, 多雨与少雨的地理分布不够清晰。陈烈庭等^[3]在 20 世纪 90 年代采用逐级归并法和成批调整法对中国东部地区进行了降水气候区的划分, 但所使用的资料为 1951—1986 年站点月降水资料, 不能确切反映近年气候变化的特征。本世纪初, 李晓东等^[4]运用旋转复经验正交函数 (RCEOF) 方法, 研究了中国东部地区近百年干湿的时空演变规律及雨区的传播, 分区方法较为客观, 取得了较好的效果, 但由于资料的限制, 选取范围在 25°N 以北的地区, 华南的许多地方并不在其研究的范围内, 长期的工作经验说明华南地区降水气候特征具有一定的区域代表性, 不宜随便舍取。因此, 有必要对中国东部地区雨季降水的区域特征作进一步的研究。

本文的研究范围限于 105°E 以东, 47.5°N 以南的中国东部地区^[5], 采用旋转正交函数 (REOF) 对其进行分区, 并在分区的基础之上, 使用小波分析、Mann-Kendall 突变检验、趋势回归等方法探讨中国东部各区降水的年际、年代际特征及长期变化趋势, 试图进一步揭示我国东部降水的气候特征及其演变规律。

收稿日期: 2004-10-27 改回日期: 2005-01-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40275016); 江苏省科技计划社会发展项目“持续性暴雨的预报新技术”

作者简介: 王 永 (1980-), 男, 安徽砀山人, 硕士, 研究方向: 大气动力学. E-mail: aq9807@sohu.com.

1 资料和方法

1.1 资料来源

本文使用中国气象局整编的全国 160 站 1951 年 1 月—2003 年 12 月月降水量资料,选取 105°E 以东, 47.5°N 以南 114 站 1951—2003 年每年 4—9 月份的降水量资料进行分析。

1.2 计算方法

本文使用旋转经验正交函数 (REOF) 和 Morlet 小波分析及 Mann-Kendall 检验等方法,其中 Morlet 小波母小波的表达式为

$$\psi(t) = \exp(i2\pi t) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$$

2 中国东部地区雨季降水异常的空间分布特征及分区

对中国东部雨季降水量的时间序列作 REOF 分解,按 North 判别准则^[6],取前 5 个特征向量做空间旋转,表 1 给出了前 5 个主分量旋转前 (PC) 和旋转后 (RPC) 的方差贡献。可以看出,前 5 个特征向量累积解释方差贡献占总方差的 45.78%,旋转后各模态解释方差贡献要比旋转前分布均匀,但总的方差贡献没有发生变化。

表 1 前 5 个 PC 和 RPC 对总方差的方差贡献率

Table 1 The variance contribution of the first 5 PC and RPC %

	前 5 个主分量					总贡献
	1	2	3	4	5	
旋转前方差贡献	13.19	11.79	8.83	6.81	5.16	45.78
旋转后方差贡献	9.48	12.02	8.98	7.83	7.47	45.78

图 1 给出了前 5 个 REOF 模态特征向量图,第 1 模态 (图 1a) 的中心位于淮河流域 (105~121°E, 30~35°N), 这一地区的降水主要受梅雨锋和东亚季风的爆发及后退的影响,一年中 60%~70% 的降雨量集中在盛夏。由于夏季风的年际变化较大,弱夏季风使中国夏季主要降雨带偏南,常造成该地区干旱少雨,旋转后该模态的方差贡献占总方差的 12.02%。在第 2 模态上 (图 1b), 高荷载区位于长江中下游地区 (106~121°E, 26~31°N), 这一地区的降水主要受梅雨锋和东亚季风加强的影响^[7],属湿润气候区,是中国东部降水频率较高的地区。旋转后该模态的方差贡献为 9.48%。从图 1c 看,第 3 模态的活动中心位于东北南部 (116~127°E, 35~47.5°N), 该地区主要受东亚热带锋区和西太平洋副高活动的影响,东亚热带锋区偏强偏北,西太平洋副高偏强且位置偏北偏西,造成该地区多雨。旋转后该模态的方差贡献占总方差的 8.98%。第 4 模态 (图 1d) 的活动中心位于河套地区 (105~113°E, 34~42°N), 旋转后的方差贡献占总方差的 7.83%。图 1e 是 REOF 的第 5 模态,高荷载区位于华南地区 (106~121°E, 26~31°N), 当西太平洋副高偏强,但位置异常偏南时,多形成该地区降水异常增多。旋转后该模态的方差贡献为 7.47%。第 1、2 模态与文献 [3] 的江南型和江淮型以及文献 [4] 的第 1、2 模态结果较为相近,刘宣飞等^[8] 及其他的研究结果表明河套地区和长江中下游地区的降水呈反位相,说明河套地区与长江中下游地区存在不同的降水气候特征。

以上分析表明, REOF 分解所得主要模态空间分布结构清晰,能够较好地反映东部降水的区域特征。根据前 5 个旋转空间模上高荷载区分布 (等值线 ≥0.50), 将中国东部地区分割成

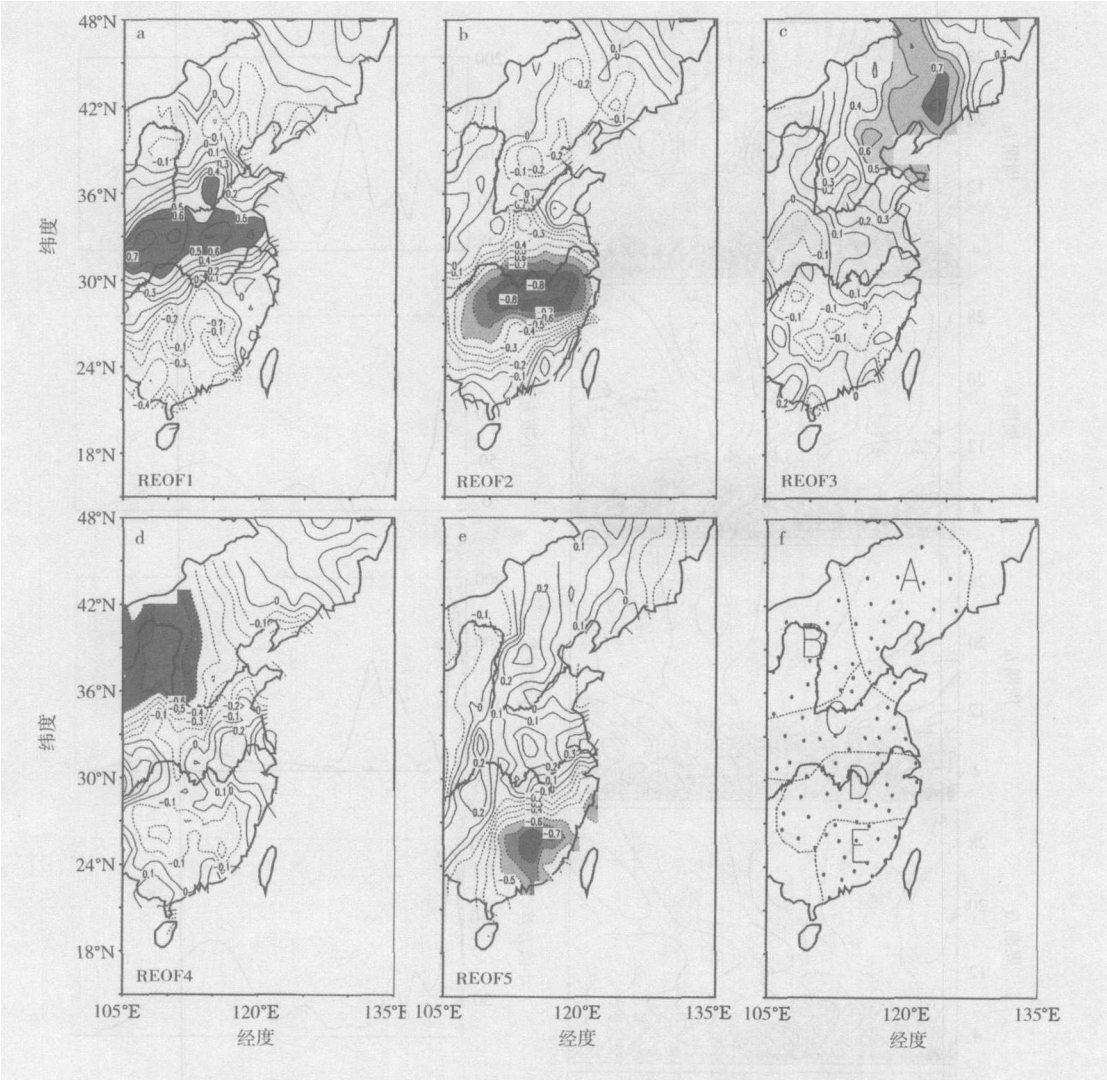


图 1 中国东部地区降水前 5 个旋转空间模态特征向量图 (a-e) 和区域划分图 (f)

Fig 1 Spatial patterns of the leading 5 REOF modes of rain fall over the eastern part of China(a-e) and the pbt of divisions(f)

5 个降水气候区 (图 1f), 即东南南部 (A)、河套地区 (B)、江淮地区 (C)、长江中下游地区 (D) 及华南地区 (E)。按照以上标准, 高载荷区覆盖了中国东部绝大部分地区, 且相邻区域几乎没有重叠, 分区方法较为客观。

3 中国东部雨季各区降水的周期特征

为了进一步研究 53 a 来中国东部各区域雨季降水的年际及年代际变化特征, 首先对各区 4—9 月降水量取区域平均, 然后对取区域平均后的各区降水量的时间序列作 Morlet 小波分析。图 2 为 5 个区域的 Morlet 小波实部系数时—频分析图 (图 2a c e g i) 和小波方差图 (图 2h d f g j)。由图 2 知, 整个中国东部地区除了具有 7~ 8 a 振荡周期外, 各区还存在不同的振荡周期, 这是由于各区所处的地理位置不同影响降水的因子不同, 或相同的影响因子对他们作用大小也不尽相同。东南南部 (图 2a b) 4~ 5 a 7~ 8 a 11 a 17 a 和 28 a 左右的振荡周期

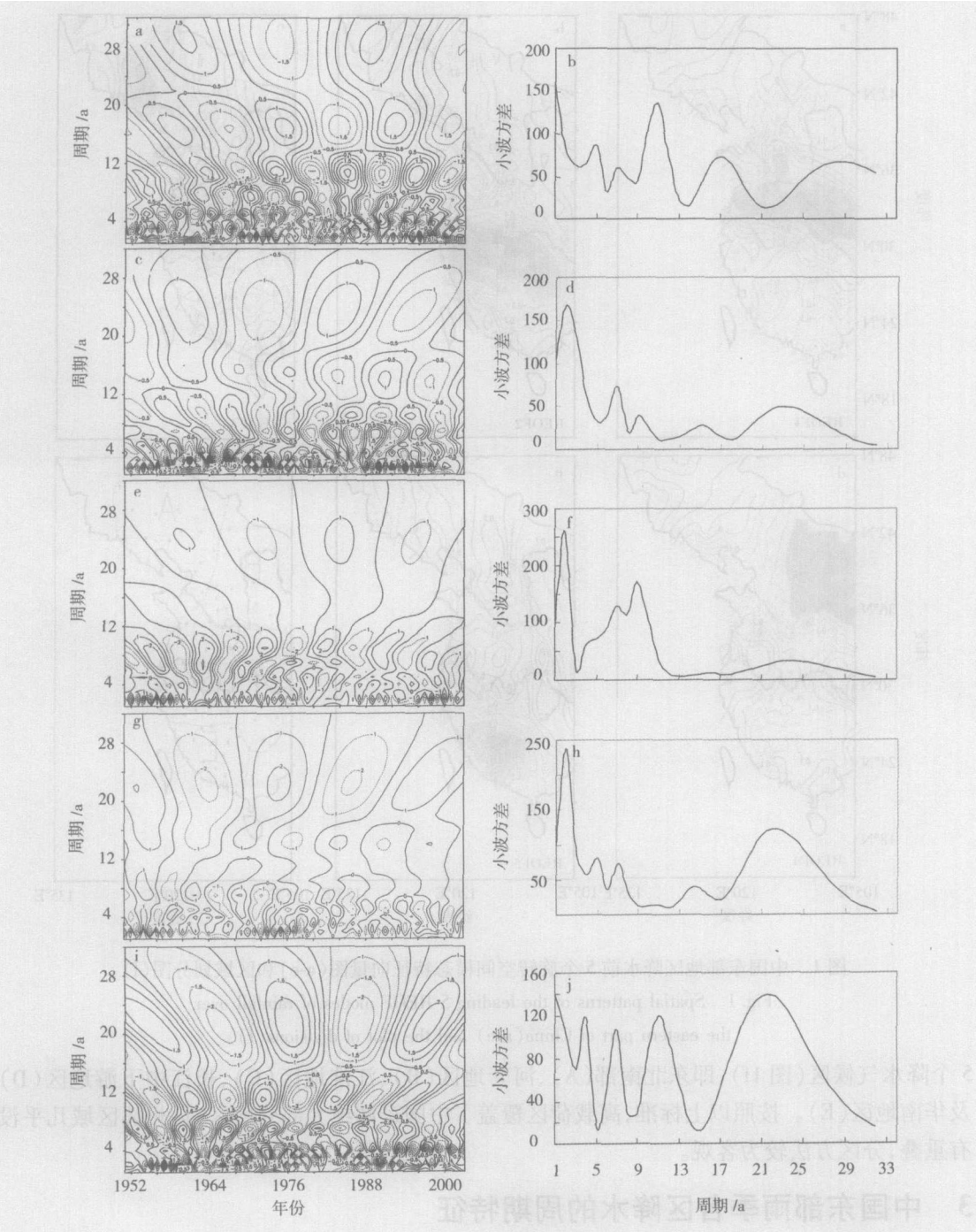


图 2 中国东部各区 Morlet 小波系数时-频分析图 (a c e g i) 和小波方差图 (b d f h j)
a h 东北南部; c d 河套地区; e f 淮河流域; g h 长江中下游; i j 华南地区

Fig 2 Time-frequency distribution (a c e g i) and wavelet variance diagram (b d f h j) of the Morlet wavelet transform of rainy season rainfall for 5 divisions over Eastern China
a h the south of Northeast China; c d the Hetao region; e f the Huaihe River Valley;
g h the middle/lower reaches of the Changjiang River; i j South China

非常明显, 其中 11 a 和 17 a 的振荡周期都是在 20 世纪 60 年代后开始加强。河套地区 (图 2c, d) 存在 2~3 a、7~8 a、15~16 a 和 24 a 的振荡周期, 7~8 a 和 15~16 a 振荡周期是在 60 年代后期开始出现, 最强的信号是 2~3 a 和 7~8 a 周期。淮河流域 (图 2e, f) 以年际振荡为主, 除了具有 2 a 和 7~9 a 的振荡周期外, 还具有 24 a 的振荡周期, 但信号强度较弱。有趣的是 2 a 的振荡周期并不是始终存在, 而是每隔一段时间才会出现, 而且这种 2 a 振荡的间隔和持续时间在近二十年也有变短的趋势。从图 2g, h 中可以看出长江中下游地区降水年际和年代际周期特征与河套地区非常相似, 但位相相反且 24 a 的振荡周期更为明显, 文献 [4] 研究发现这一地区有 25 a 的振荡周期, 这和本文的结果相近。图 2j 显示华南地区降水年际和年代际特征显著, 存在 7~8 a、10~11 a 和 22 a 左右的振荡周期, 在 20 世纪 60 年代后期还出现了 3~4 a 的振荡周期。

文献 [9] 的研究表明, 欧亚大陆的阻塞高压有准 8 a 的振荡周期, 并且与中国东部降水有较好的相关关系。我国地处欧亚大陆东部, 其东部降水的年代际变化与其上空的大气环流的振荡密切相关。欧亚大陆阻塞高压的变化会影响整个欧亚大陆上空大气环流的调整从而影响我国东部地区的降水。我国东部地区 7~8 a 的振荡周期和阻塞高压 8 a 的振荡周期也验证了这种耦合机制。关于 ENSO 对我国东部降水影响方面的研究已有很多^[10-12], 华南地区在上世纪 60 年代后降水的 3~4 a 的振荡周期说明我国沿海地区的气候变化对 ENSO 事件有较强的响应。

从分析结果可以看出, 中国东部 5 个区域雨季降水变化具有多时间尺度的年际和年代际振荡特征, 各区降水变化均存在 7~8 a 和 24 a 左右时间尺度的振荡周期, 年代际尺度的振荡以淮河流域最弱, 向南向北逐渐增强。东北南部和河套地区 15~16 a 振荡周期从 60 年代开始产生并加强, 而长江流域 15~16 a 振荡自 50 年代一直在减弱, 并在 90 年代末消失, 华南地区 10~11 a 的振荡, 从 80 年代初开始减弱, 于 90 年代末逐渐消失, 这是否与气候突变存在一定的联系需要进一步的研究。

4 中国东部雨季各区降水的长期趋势

对我国东部各区降水长期趋势的研究是十分必要的, 它对未来的预报服务有重要的指导意义。图 3 是东部各区降水距平的时间序列及它们的趋势 (虚线)、6 次多项式拟合 (实线) 线。由图 3 知, 除东北南部其他各区均有两个波, 这与小波分析时一频分析图中所反映的 24 a 左右的振荡完全一致。东北南部 (图 3a) 在上世纪 60 年代末—80 年代初、90 年代中期至今为少雨期, 50 年代—60 年代末、80 年代—90 年代中为多雨期。河套地区 (图 3b) 在上世纪 50 年代—60 年代为多雨期, 70 年代—80 年代初、80 年代末—本世纪初为少雨期, 从本世纪初开始又有进入多雨期的趋势。江淮流域 (图 3c) 的少雨期主要在上世纪 80 年代末—本世纪初, 70 年代并不明显, 50 年代—60 年代末为明显的多雨期, 80 年代的多雨期也不明显, 但进入本世纪后降水有开始回升的趋势。长江中下游 (图 3d) 的波形非常清楚, 上世纪 50 年代末—70 年代初、80 年代初—90 年代初为少雨期, 50 年代初—50 年代末、70 年代初—80 年代初、90 年代中期—本世纪初为多雨期, 近两年降水又呈减少的趋势。华南地区 (图 3e) 波形和长江中下游地区 (图 3d) 非常相近, 上世纪 50 年代初—50 年代末、70 年代初—80 年代初、90 年代中期—本世纪初为多雨期, 50 年代末—70 年代初、80 年代初—90 年代中期为少雨期, 近年有变干的倾向。

由图 3a-3e 的趋势线可以清楚地看到近 53 a 中国东部由江淮流域至东北南部变干的趋势

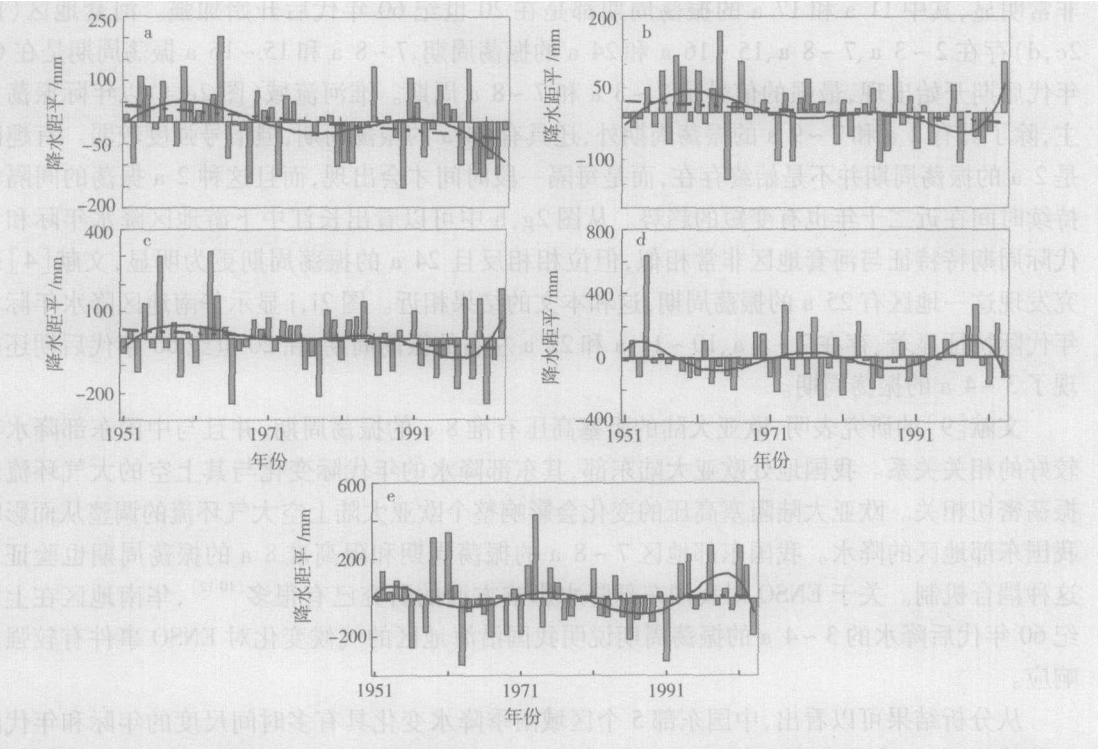


图 3 1951—2003 年中国东部各区降水距平时间序列及其趋势

a 东北南部; h 河套地区; c 淮河流域; d 长江中下游; e 华南地区

Fig 3 The time series and tendencies of precipitation anomalies for 5 subareas in Eastern China from 1951 to 2003

a the south of Northeast China h the Hetao region c the Huaihe River Valley
d the middle / lower reaches of the Changjiang River e South China

逐渐明显, 长江中下游和华南地区则有弱的变湿的趋势。

5 中国东部降水的 Mann-Kendall 突变检验

为了突出较长时期变化的信号, 首先对各区雨季降水量时间序列取 5 a 滑动平均, 滑动前在序列两端添加序列平均值使滑动后序列长度不变, 然后采用 Mann-Kendall 法对其进行突变检验^[13]。图 4 为中国东部各区雨季降水 Mann-Kendall 统计曲线, 图中 C_1 为降水的顺序统计曲线, C_2 为降水的逆序统计曲线, 并给定显著性水平: $\alpha = 0.05$, 临界线为 ± 1.96 (两条直线)。若 C_1 或 C_2 的值大于 Q 则表明序列呈上升趋势, 小于 0 则表明呈下降趋势。当它们超过临界线时, 表明上升或下降趋势明显。如果统计曲线在临界线之间出现交点, 则交点对应的时刻便是突变开始的时间。由图 4 可以看出: 东北南部 (图 4a) 与河套地区 (图 4b) 突变发生于 60 年代末, 降水有显著的下降趋势; 淮河流域 (图 4c) 突变发生在 70 年代初, 比以上两个地区略迟, 降水有明显的下降趋势; 长江中下游 (图 4d) 及华南地区 (图 4e) 在上个世纪 90 年代初存在突变, 趋势不显著, 降水有弱的上升趋势。这与周期振荡及长期变化趋势的研究结果存在很好的对应关系。

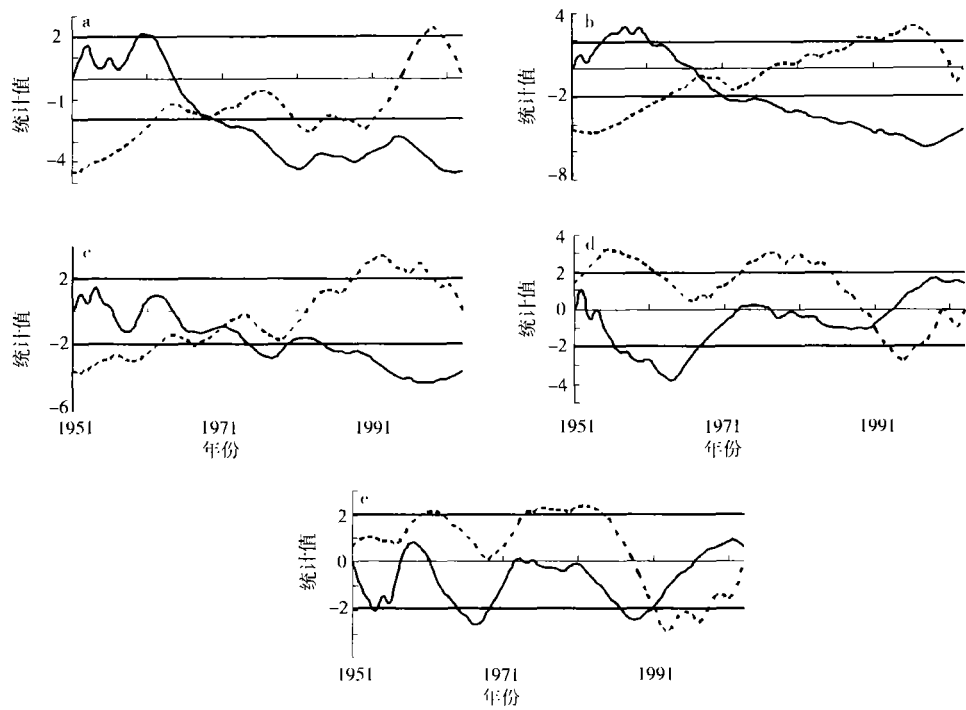


图 4 中国东部各区降水时间序列的 Mann-Kendall 突变检验

(实线(虚线)为降水的顺序(逆序)统计曲线)

a 东北南部; b 河套地区; c 淮河流域; d 长江中下游; e 华南地区

Fig 4 Climatic jumps of precipitation for 5 subareas in Eastern China detected by Mann-Kendall method

(solid(dashed) line denote ordinal(converse) curve of precipitation)

a the south of Northeast China; b the Hetao region; c the Huaihe River Valley;

d the middle/lower reaches of the Changjiang River; e South China

6 结 论

(1)中国东部雨季降水场可划分为: 东北南部、河套地区、江淮流域、长江中下游和华南地区 5 个区。

(2)各区除具有相同的 7~8 a 和 24 a 左右的振荡周期外, 还具有各自不同的振荡周期, 说明它们除受到相同的大气因子的影响外, 还对其他的外部因子产生响应。

(3)东部各区降水的长期趋势显示, 近 53 a 南北各区的旱涝基本呈反位相, 东北南部与河套地区降水在 60 年代末发生突变, 有显著的下降趋势, 淮河流域在 70 年代初发生突变, 降水有明显的下降趋势。长江中下游及华南地区突变发生在 90 年代初, 降水有弱的上升趋势。

许多研究表明中国东部降水受到多种因素的影响, 究竟是什么因素对我国东部降水起主导作用及其作用的物理机制是怎样的有待于更深入的研究和探讨。

参考文献:

[1] 朱炳海. 中国的降水区划 [J]. 南京大学学报(自然科学版), 1957, 4(1): 1-22
[2] 王绍武. 气候预测研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1996 84-93
[3] 陈烈庭, 吴仁广. 中国东部的降水区划及各区旱涝变化的特征 [J]. 大气科学, 1994, 18(5): 586-595

- [4] Li X iadong, Zhu Y afen, Q ian W eihong. Spatiotemporal variations of summer rainfall over Eastern China during 1880—1999 [J]. Adv Atmos Sci 2002, 19(6): 1 055-1 068
- [5] 王绍武,叶瑾琳,龚道溢,等. 中国东部夏季降水型的研究 [J]. 应用气象学报, 1998 9(增刊): 65-74.
- [6] North G R, Bell T L, Cahalan R E. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions[J]. Mon Wea Rev, 1982, 110(7): 699-706.
- [7] Lau K-M. The East Asian summer monsoon rainfall variability and climate teleconnections[J]. J Meteor Soc Japan, 1992 70 (1B): 211-242.
- [8] 刘宣飞,朱乾根. 中国东部夏季降水的主相关型及其环流特征 [J]. 南京气象学院学报, 1999 22(2): 238-245
- [9] 黄 菲,姜治娜. 欧亚大陆阻塞高压的统计特征及其与中国东部夏季降水的关系 [J]. 青岛海洋大学学报 (自然科学版), 2002, 32(2): 186-192.
- [10] 魏凤英,张先恭. 厄尔尼诺与中国东部夏季降水的异常分布 [J]. 海洋学报, 1994 16(6): 58-65.
- [11] 金祖辉,陶诗言. ENSO 循环与中国东部地区夏季和冬季降水关系的研究 [J]. 大气科学, 1999 23(6): 663-672
- [12] 李跃凤,丁一汇. 海表温度和地表温度与中国东部夏季异常降水 [J]. 气候与环境研究, 2002 7(1): 87-101.
- [13] 符淙斌,王 强. 气候突变的定义和检测方法 [J]. 大气科学, 1992, 16(1): 111-119.

Regional Characteristics of Precipitation in the Rainy Season over Eastern China during Last 53 Years

WANG Yong LU W eihong GONG Yan

(Department of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract By applying rotated empirical orthogonal function(REOF) analysis to precipitation in rainy season (April-September) from 1951 to 2003 at 114 selected stations over eastern China, defined by the large contours of the five REOF modes, 5 active centers are identified: the southern part of Northeast China, the Hetao region, the Yangtze and Huaihe river basins, the middle and lower Yangtze River valley and South China. Morlet wavelet analysis indicates that there have different oscillation periods in addition to the 7~8-year period in each region. Long-term trends show that the sub-areas basically presented two waves in the 53-year: and the southern part of Northeast China, the Hetao region, the Yangtze and Huaihe river basins all had a sudden change of precipitation in rainy season around the late 1960's with a evident decreasing, but the middle and lower Yangtze River valley and South China had a sudden change in the early 1990's with a weak rising.

Key words Eastern China; rotated empirical orthogonal function; period; long-term trend