

文章编号: 1000-2022(2005)02-0267-08

长江三角洲强降水过程年极值分布特征研究

谢志清¹, 姜爱军¹, 杜 银², 裕国³

(1. 江苏省气象科学研究所, 江苏 南京 210009;

2 南京大学 大气科学系, 江苏 南京 210093;

3 南京信息工程大学 空间信息科学系, 江苏 南京 210044)

摘 要: 利用长江三角洲地区 80 个站建站以来到 2002 年的逐日降水资料, 用 REOF 和统计分布方法, 计算并分析了长江三角洲地区年最大日降水量、年最大一次连续过程降水量的极端降水特征。结果表明: 长江三角洲一次连续过程的降水量极大值的空间分布相对集中, 时空变率小于日降水量极大值, 这对于洪涝灾害的预测与评估具有很好的实用价值; 强降水的渐近分布中, 日极值降水的分布以 Weibull 分布最为普遍, 一次连续过程降水以对数正态分布最为普遍。

关键词: 连续性过程降水; REOF; Weibull 分布

中图分类号: P426.614 **文献标识码:** A

我国是一个多暴雨国家, 若出现几十年乃至上百年一遇大暴雨或特大暴雨, 往往在地域引发严重洪涝灾害, 给人民生命财产带来极大威胁^[1-2], 如 1998 年长江流域特大洪水造成直接经济损失 1 660 多亿元, 死亡 3 004 人。长江三角洲地区由于受东亚季风影响, 是我国降水量最多、洪涝灾害最严重的地区之一。特别在盛夏江淮梅雨季节, 常常出现一些持续时间长、覆盖面大的连续性强降水, 形成严重洪涝灾害。造成该区洪水的情况主要有两种: 一种是中上游洪水造成的洪涝; 另一种是本地及临近地区强降水造成的洪涝^[3], 因此研究长江三角洲地区的洪涝问题不仅要分析本地强降水, 而且还应向西扩展 (特别是皖南地区强降水), 分析其降水量的时空分布特征, 这对于开展洪涝灾害长期变化的分析与预测研究和指导抗洪救灾都具有十分重要的意义。

以往对年最大日降水量时空分布以及重现期的研究比较多^[1-9], 对连续性强降水过程的研究相对较少。从水文气象学角度看, 洪涝灾害形成不仅与日降水量有关, 而且与一次连续性或间隔时间较短的多次强降水过程累积降水量及覆盖面积关系密切; 在一定气候条件下, 连续降水过程极值与日降水极值出现时段并不相吻合, 却同样形成洪灾^[10]。为此, 本文以长江三角洲地区多年逐日降水观测资料为基础, 在研究最大日降水量年极值时空分布、重现期分布特征

收稿日期: 2004-02-04 改回日期: 2004-04-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40375035); 国家科技基础性工作项目 (2001DEA30029-06-04)

作者简介: 谢志清 (1977-), 男, 四川资阳人, 硕士, 研究方向: 气象防灾减灾和陆面过程参数化。

Email: xiezhiqing989@163.com

基础上,进一步研究一次连续降水过程累积降水量年极值的时空分布特征及变化趋势。

1 资料和方法

1.1 资料

选用的资料是长江三角洲地区 80 个气象站自建站以来到 2002 年的逐日降水资料,地理范围大致为 $118^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$, $28^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$ 。

1.2 方法

本文所讨论的强降水过程为具有可能产生重大灾变事件,并造成严重危害的天气过程,对洪涝问题,选取一次连续强降水过程累积降水量年极大值的标准: (1)连续数日(2 d 及以上)总降水量 $> 150\text{ mm}$; (2)在该过程中至少有 1 d 降水量 $> 100\text{ mm}$ 或日降水量均 $> 50\text{ mm}$ 至少 2 d。

1.2.1 REOF 分析方法

REOF 分析分离出的空间分布结构能清晰表示不同地理区域的特征,当资料采用标准化场时,能较好地反映资料分类型特征。本文采用 REOF 首先分析长江三角洲地区降水年极值、一次连续性降水过程年极值的时空分布特征。具体公式参见文献[11]。

1.2.2 强降水的渐近分布模式

极值分布能较好地反映某些气候要素的分布规律(包括降水),气候要素极值的分布可以用概率模式(分布函数)去模拟^[12],但分布函数的具体形式因气候要素的特性而异,不同的气候要素可以遵循不同的渐近分布^[13],即使是同一气候要素的极值分布,也可以用不同的分布函数去拟合。丁裕国^[14]已经给出日降水年极值的原始分布为具有指数形式的 GAMMA 分布模型。本文用以下 4 种分布函数对长江三角洲地区的日降水量年极值和一次连续过程降水量的年极值进行拟合^[2,4,15]: (1) Gumbel 分布; (2) 皮尔逊 III 型分布; (3) 对数正态分布; (4) Weibull 分布。

1.3 概率分布的拟合度检验方法

K-S 检验,它不分区间,检验根据样本所得经验分布函数 $F_n(x)$ 与假定分布函数 $F_0(x)$ 之间的偏差。计算方法为

$$D_n = \max |F_n(x) - F_0(x)| = \max(D_n(x)).$$

求出 $D_n(x)$ 后再计算分歧度^[16]:

$$\lambda = D_n \sqrt{n_0}$$

给定显著性水平 α (本文取 0.05),查表得 λ_0 ,如果 $\lambda < \lambda_0$,则接受假设,认为服从该分布。

2 结果分析

2.1 日降水年极值、一次连续性降水过程年极值区域特征量场空间分布型

长江三角洲强降水多年平均值具有明显区域连续性分布特点,可以分为 3~4 个典型强降水区域(图 1)。从总体来看,一次连续性过程降水局地空间分布具有相当的一致性,有 3 个相对集中区(图 1b),而日降水量分布较为复杂,表明长江三角洲日极值降水的空间分布和过程降水极值的空间分布差异明显,从历年强降水的空间分布(图略)来看更是如此。过程降水空间变率(等值线密集)大于日降水空间变率,量值上也存在显著差异,一次连续过程降水与日降水量最大差值在黄山(216.7 mm),最小差值在无锡(68.8 mm)。日降水量和一次连续过程降水量年极值空间分布在长江下游以北以及皖南山区空间分布趋势基本相同。由于特殊地形

作用, 安徽黄山地区为全区最高值中心, 苏北沿海为强降水次高值区, 与江淮梅雨和淮北雨季的降水集中区相当吻合; 但日降水量和一次连续过程降水量年极值中心并不完全重合, 过程降水中心偏东 (过程降水中心值为 357.8 mm, 日极值降水的中心值为 141.1 mm)。安徽的中东部地区为低值区, 太湖地区为日降水年极值的次高值中心, 而浙北地区为低值区 (嵊县只有 79.6 mm), 过程降水在该区域的低值分布却不明显, 在太湖地区也无次高值中心存在, 表明过程降水和日降水在覆盖面上存在显著差异, 这势必对洪涝灾害的形成产生重大影响。

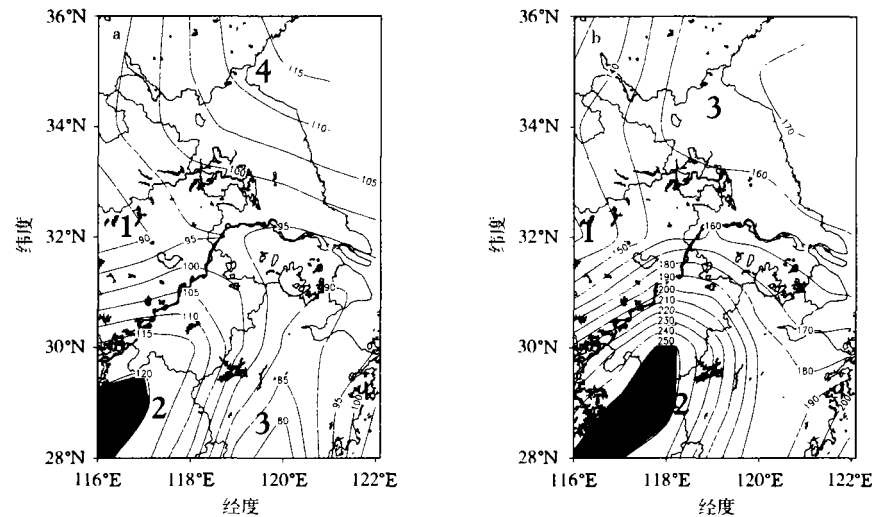


图 1 长江三角洲日降水量 (a) 和一次连续过程降水量 (b) 年极值多年平均 (单位: mm; 阴影区为极值中心所在位置)

Fig 1 The long term averages of annual extremes of daily(a) and a continuous process(b) rain fall(units mm) in the Yangtze River Delta (The shaded areas are the center of the precipitation extremes)

从历年一次连续性过程降水量年极值空间分布来看, 年极大值在局地出现时段基本一致, 一般都在汛期 (6—9 月)。丁一汇^[17]指出, 暴雨是在几种尺度系统相互作用的情况下发生发展的, 大尺度环流条件对暴雨的发生发展有明显制约作用, 尤其是 3 d 以上持续性暴雨受行星尺度甚至半球尺度长波系统的影响, 持续性大暴雨出现在长波系统稳定的时期。在这种情况下, 中尺度天气系统在同一地区重复出现或沿同一路径移动, 造成很大的累积降水量。这也许正是一次连续过程年极大值局地时空一致性的可能原因之一。

为了进一步了解该地区强降水年极值空间分布的年际变化, 对强降水年极值资料标准化后作自然正交分解, 取特征值大于等于 1 的主分量做 REOF 分析。表 1 给出了日降水、过程降水年极大值 EOF 分析和 REOF 分析前 21、17 个模态的方差贡献, 结果表明: 做旋转前过程降水年极大值特征量的收敛性明显好于日降水, 日降水年极大值前 3 个模态的方差贡献的差异不大 (第 1 和第 3 模态仅相差 8.51%), 而过程降水年极大值的前 3 个模态的方差贡献差异明显 (第 1 和第 3 模态相差 18.59%), 说明一次连续过程降水年极大值的空间分布型相对稳定, 以第 1、2 模态为主 (旋转前累积方差贡献率为 42.47%)。

日降水量年极值的第 1 特征向量场的方差贡献为 10.03%, 空间表现为东南—西北差异型 (图 2a), 在长江流域的安庆附近为正荷载中心, 安徽北部以及杭州湾附近为负荷载区, 荷载中心呈东南—西北走向; 西北、东南部与中部地区 (江淮地区及长江南部区域) 呈相反的变化。

第 2 特征向量场主要为东西差异型 (图 2b), 太湖地区为负荷载中心。一次连续过程降水年极值第 1 特征向量场主要为南北差异型 (图 2c), 安徽巢湖、安庆附近为正荷载中心, 浙江北部、皖南的一小部分区域为负荷载中心, 全区南北呈相反变化。第 2 特征向量场主要为全区一致型 (图 2d), 苏北的金湖地区有一个较强的正荷载中心。过程降水年极大值的时空变率小于日降水年极大值的时空变率, 过程降水年极大值特征量的收敛效果较好; 过程降水年极大值的时空分布与日降水年极大值的时空分布存在较大的差异。

表 1 日降水、过程降水年极大值 EOF 和 REOF 分析各模态的方差贡献及累积方差贡献

Table 1 Variance contributions of annual extremes of daily and a continuous process rainfall for all EOF and REOF modes												%
展开方式		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
日降水	旋转前	16.6	8.30	8.09	6.15	5.36	4.83	4.27	3.94	3.83	3.41	3.24
	旋转后	10.03	8.58	6.47	4.83	5.88	4.13	3.66	3.95	3.97	3.53	3.51
过程降水	旋转前	26.48	15.99	7.89	5.83	4.64	3.80	3.62	3.08	2.75	2.25	2.20
	旋转后	20.52	12.97	6.73	5.28	3.59	5.39	3.81	4.79	3.65	5.47	2.53

展开方式		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	累积方差贡献
日降水	旋转前	3.06	2.7	2.41	2.30	2.14	1.94	1.86	1.65	1.52	1.30	88.90
	旋转后	3.13	3.42	3.25	3.46	3.38	3.07	2.46	2.09	3.60	2.5	88.90
过程降水	旋转前	2.13	1.82	1.72	1.58	1.42	1.36					88.56
	旋转后	2.37	2.33	2.93	2.08	1.79	2.33					88.56

2.2 长江三角洲地区强降水年极值的统计分析

2.2.1 不同分布拟合日降水年极值、一次连续性降水过程年极值的最佳分布模式

对于 Gumbel 分布、皮尔逊Ⅲ型分布、对数正态分布、Weibull 分布各自求拟合误差, 同一序列用 4 种分布分别拟合, 取拟合误差最小并且通过检验的模式为最佳分布, 其中以皮尔逊Ⅲ型分布的拟合效果最差。通过 0.05 显著性水平检验的最佳拟合模式的台站个数见表 2。

表 2 通过 0.05 显著性水平检验的最佳分布模式台站数

Table 2 The optimum theoretic distribution models passing the test at the 0.05 significance level

	Gumbel 分布	对数正态分布	Weibull 分布
日极值降水	7	35	38
一次连续过程降水	8	40	32
服从同一种分布	1	22	18

就 3 种最佳拟合模式效果来看, 日降水年极值的分布以 Weibull 分布最为普遍, 拟合效果最优, 对数正态分布次之; 一次连续过程降水以对数正态分布最为普遍, Weibull 分布次之。同一台站的日极值降水和过程降水的极值服从的分布模式有近一半的站点不相同 (39 站), 可见该区域多年日极值降水和过程降水的分布模型同样存在较大差异, 同时各自的分布模型在空间上又具有一定程度的一致性。

2.2.2 长江三角洲地区 50 a 100 a 一遇降水极值分布特征

50 a 一遇、100 a 一遇指的是强降水概率为 1/50 和 1/100 的可能年最大降水量 (日降水

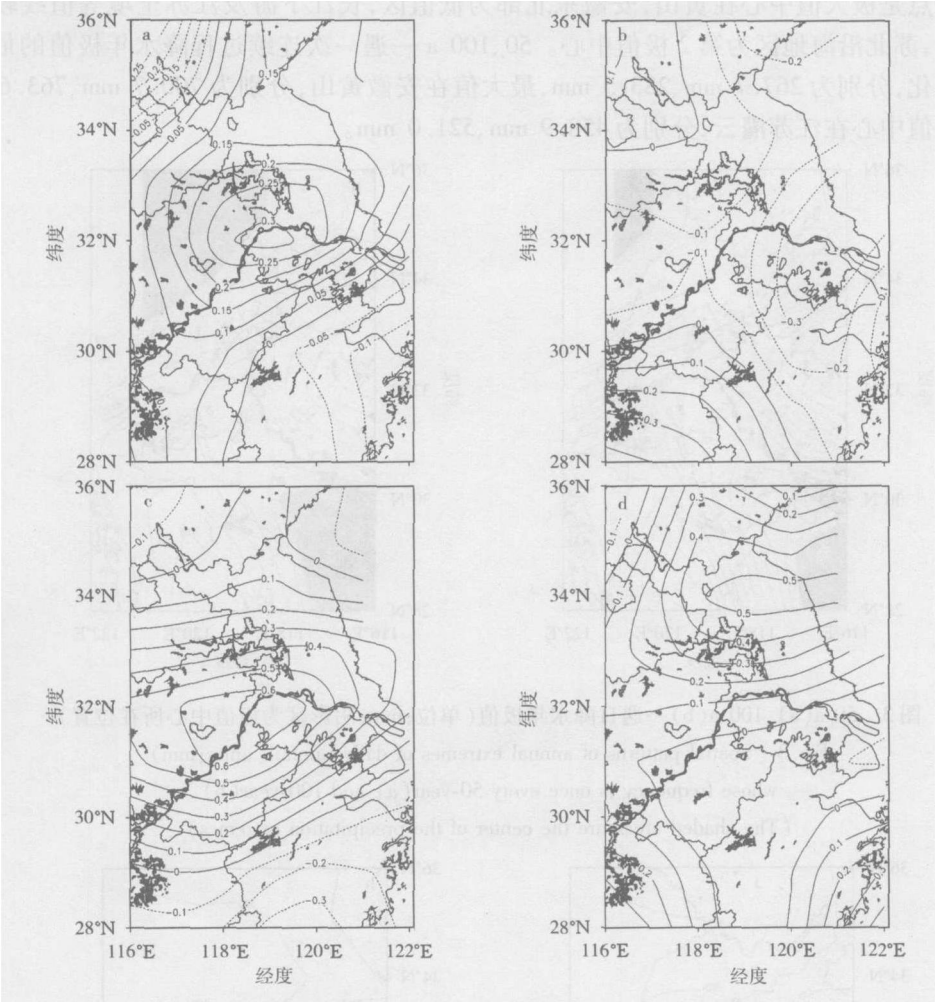


图 2 强降水年极值 REOF 分析的第 1、2 模态空间分布
a 日降水第 1 模态; b 日降水第 2 模态; c 过程降水第 1 模态; d 过程降水第 2 模态

Fig. 2 REOF spatial patterns of annual extremes of heavy precipitation
a the first REOF mode of daily rainfall b the second REOF mode of daily rainfall
c the first REOF mode of a continuous process rainfall
d the second REOF mode of a continuous process rainfall

和一次连续过程降水量), 根据每一个台站最佳极值分布模式计算得到。小概率事件在区域上的同时发生对于洪涝灾害的评估和防御具有十分重要的意义。例如 1998 年长江流域普遍出现 100 a 一遇洪水就可以认为是小概率事件区域上的同时发生, 形成区域上的连续强降水过程, 造成严重的洪涝灾害。

从 5Q、100 a 一遇日降水年极值分布 (图 3) 可以看出, 日降水量年极值分布的基本特点是, 极大值中心在黄山, 安徽东北部、浙江中部为低值区, 长江下游及江苏全境等值线较为稀疏。5Q、100 a 一遇日降水年极值的最小值在浙江金华, 分别为 133.4 mm、142.8 mm, 最大值在安徽黄山, 分别为 277.6 mm、306.3 mm。

从 5Q、100 a 一遇一次连续过程降水年极值分布 (图 4) 可以看出, 过程降水量年极值分布

的基本特点是极大值中心在黄山, 安徽东北部为低值区, 长江下游及江苏全境等值线较为稀疏。此外, 苏北沿海地区为第 2 极值中心。50、100 a 一遇一次连续过程降水年极值的最小值在江苏兴化, 分别为 267.7 mm、283.5 mm, 最大值在安徽黄山, 分别为 700.7 mm、763.6 mm; 第 2 极大值中心在江苏灌云, 分别为 458.9 mm、521.0 mm。

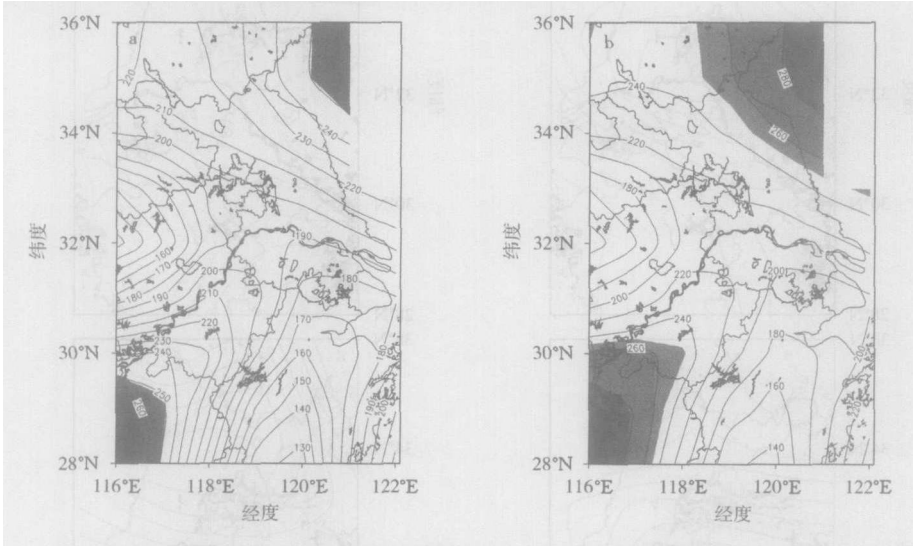


图 3 50 a(a)、100 a(b)一遇日降水年极值(单位: mm; 阴影区为极值中心所在位置)
Fig 3 Spatial patterns of annual extremes of daily rainfall(units mm)
whose frequency is once every 50-year(a) and 100-year(b)
(The shaded areas are the center of the precipitation extremes)

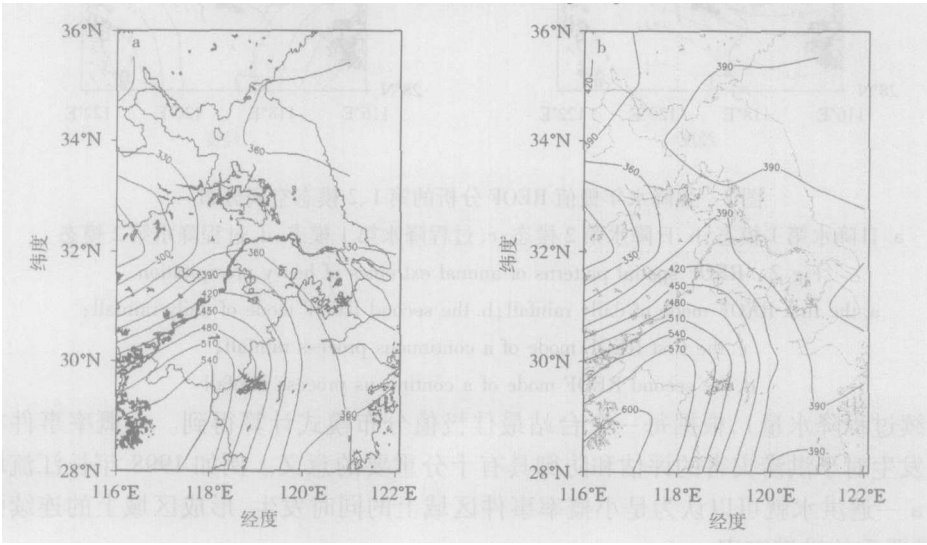


图 4 50 a(a)、100 a(b)一遇一次连续过程降水年极值(单位: mm)
Fig 4 Spatial patterns of annual extremes of a continuous process rainfall(units mm)
whose frequency is once every 50-year(a) and 100-year(b)

从 50、100 a 一遇一次连续过程降水年极值、日降水年极值的空间分布特征和量值上看, 高低值中心降水量差值 50 a 一遇为 423.1 mm、134.3 mm, 100 a 一遇为 457.3 mm、

140 7 mm。由此可见, 一次连续过程降水量与日降水量具有明显差异。水文学中对致洪暴雨的研究主要集中在 3 d 连续累积降水量的研究上, 一次连续过程降水年极值时空分布和重现期特征对洪水的发生发展预测具有更重要的意义。

3 结论和讨论

(1) 长江三角洲一次连续过程降水量的年极大值的空间分布相对集中, 时空变率小于日降水量年极大值的时空变率。自然正交展开结果表明, 过程降水年极大值特征量的收敛效果好于日降水年极值。日降水量年极值的第 1 特征向量场为东南—西北差异型; 第 2 特征向量场主要为东西差异型。一次连续过程降水年极值第 1 特征向量场主要为南北差异型, 第 2 特征向量场主要为全区一致型。

(2) 强降水的渐近分布中, 日极值降水的分布以 Weibull 分布最为普遍, 拟合效果在 4 种模式模拟结果中最优; 过程降水以对数正态分布最为普遍。同一台站的日极值降水和过程降水的极值服从的分布模式有近一半的站点不相同, 表明该区域多年日极值降水和一次连续过程降水的分布存在较大差异, 而各自的分布模型在空间上有相当的一致性。

(3) 在致洪暴雨研究中, 一次连续过程降水量可以消除人为限定时间段的影响, 更加真实地反映天气系统活动特征, 对分析洪涝灾害的形成、发生发展具有指导意义。

参考文献:

- [1] 陈建昌, 郭华文, 魏生, 等. 用 Jenkinson 法推算山东年最大日降雨量重现期值的初探 [J]. 应用气象学报, 1995, 6(4): 486-491.
- [2] 陈创买, 蒋光达, 周文. 广东年最大日降水量重现期的计算 [J]. 人民珠江, 1998(1): 15-19
- [3] 李吉顺, 王昂生, 陈家田. 降水时空分布变化是长江流域水旱灾害加重的主要原因 [J]. 中国减灾, 1999, 9(4): 27-40
- [4] 孟庆珍, 孙燕. 成都日降水量年极大值的渐近分布 [J]. 成都信息工程学院学报, 2001, 59(4): 243-248
- [5] Merab M, Munegusu S. Modeling of rainfall time series and extremes using bounded random cascades and Levy-stable distributions [J]. Water Resources Research, 2000, 36(11): 3293-3300.
- [6] Demeteris K, George B. Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens Greece, and design rainfall inferences [J]. Natural Hazards, 2000, 22(1): 29-48
- [7] Brant L, Charles J, Leika M V, et al. Interannual variability of daily extreme precipitation events in the State of Sao Paulo, Brazil [J]. J Climate, 2001, 14(2): 208-218
- [8] Jeong-Soo P, Hyun-Sook J, Rae-Seon K, et al. Modelling summer extreme rainfall over the Korean Peninsula using Wakeby distribution [J]. Int J Climatol, 2001, 21(11): 1371-1384
- [9] Jeong-Soo P, Hyun-Sook J. Modelling Korean extreme rainfall using a Kappa distribution and maximum likelihood estimate [J]. Theor Appl Climatol, 2002, 72(1-2): 55-64.
- [10] 章淹. 致洪暴雨中期预报进展 [J]. 水科学进展, 1995, 6(2): 162-168
- [11] Horel J D. A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500 mb height fields [J]. Mon Wea Rev, 1981, 109(10): 2080-2092
- [12] 幺枕生. 气候统计学的研究展望 [J]. 气象科技, 1984, 12(6): 1-8
- [13] 曲延祿. 我国地面气温极值和地面风速极值的渐近分布 [J]. 气象学报, 1988, 46(2): 187-193
- [14] 丁裕国. 降水量 Γ 分布模式的普适性研究 [J]. 大气科学, 1994, 18(5): 552-560.
- [15] Weibull W. A statistical distribution of wide applicability [J]. J Appl Mechanics, 1951, 18(1): 293-297
- [16] 屠珙璞, 王俊德, 丁裕国, 等. 气候应用概率统计学 [M]. 北京: 气象出版社, 1984.
- [17] 丁一汇. 暴雨和中尺度气象学问题 [J]. 气象学报, 1994, 52(3): 274-284.

Spatial-temporal Features of Annual Extremes of Heavy Precipitation Processes in the Yangtze River Delta

XIE Zhi-qing¹, JIANG Aijun¹,

DU Yin², DING Yu-guo³

(1. Jiangsu Institute of Meteorological Sciences Nanjing 210009 China

2. Department of Atmospheric Sciences Nanjing University, Nanjing 210093, China

3. Department of Spatial Information Science, NUST, Nanjing 210044 China)

Abstract The annual extremes characteristics of daily and a continuous process rainfall are analyzed by REOF and statistical models using the daily precipitation data of 80 stations in the Yangtze River Delta. The results show that the extreme precipitation in the Yangtze River Delta mainly belongs to the following patterns: South-east difference pattern of annual extremes of daily rainfall; North-south difference pattern of annual extremes of a continuous process rainfall. The four kinds of statistical models (Gumbel, Lognormal, Weibull, and Pearson III) were used to fit the annual extremes series of daily and a continuous process rainfall. Test results have showed that the Weibull distribution is more suitable to the daily rainfall, and the lognormal distribution fits the continuous process rainfall. The spatial distribution of the extremes of a continuous process rainfall is relatively concentrated, and its spatial-temporal variabilities are smaller than those of the extremes of daily rainfall.

Key words a continuous process rainfall; REOF; Weibull distribution