

中国年极端降水事件的时空分布特征

杨金虎^{1,2,3} 江志红³ 王鹏祥¹ 陈彦山³

1 中国气象局兰州干旱气象研究所甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 兰州 730020
2 中国气象局成都高原气象研究所, 成都 610071
3 南京信息工程大学 南京 210044

摘 要 基于中国 1955~2004 年 314 个台站逐日降水资料, 根据百分位值方法定义了不同台站的极端降水阈值, 进而对中国年极端降水事件的时空特征进行了探讨分析。结果表明: 江淮北部、湖南、四川西南部及西藏和新疆西部地区与中国其他区域呈反向变化特征, 是中国年极端降水事件的主要空间异常模态; 中国年极端降水事件的时间变化存在明显的区域性差异, 东北、西北东部、华北表现为减少趋势, 其中东北和华北发生了突变, 而西北西部、长江中下游、华南及青藏高原表现为增加趋势, 其中西北西部、长江中下游发生了突变; 中国各分区年极端降水事件的周期振荡不完全一致; 中国年极端降水事件与年降水量之间存在较好的相关性, 从季节来看, 夏季极端降水事件与年降水量的相关性最好。

关键词 中国 极端降水事件 时空特征
文章编号 1006-9585 (2008) 01-0075-09 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Temporal and Spatial Characteristic of Extreme Precipitation Event in China

YANG Jin-Hu^{1,2,3}, JIANG Zhi-Hong², WANG Peng-Xiang¹, and CHEN Yan-Shan²

1 Lanzhou Institute of Arid Meteorology of China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020
2 Chengdu Institute of Plateau Meteorology of China Meteorological Administration, Chengdu 610071
3 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract Based on 314 stations daily precipitation data from 1955 to 2004 in China, According percentile method the extreme precipitation threshold value were defined in different stations, temporal and spatial characteristics of extreme precipitation events (EPE) were studied. The results showed that the out-of phase change characteristic between north of Changjiang-Huaihe, Hunan, southwest Sichuan, west of Tibet, Xinjiang and other regions of China is main anomaly mode of EPE. It is found that the trend change of EPE showed remarkable regional difference, it showed decreasing trend in Northeast China, eastern Northwest China and North China, thereinto it also occurred sudden change in Northeast China and North China, however it showed increasing trend in western Northwest China, the middle and lower reaches of the Yangtze River, South China and the Tibetan Plateau, thereinto it also occurred sudden change in western Northwest China, the middle and lower reaches of the Yangtze River and the Tibetan plateau. It is proved that periodic oscillation of EPE was not consistent. It is also found that there were good the same term correlation between EPE and precipitation, from the season to see, the correlation is the best in summer.

收稿日期 2007-01-03 收到, 2007-10-20 收到修定稿
资助项目 国家自然科学基金资助项目 40375032、40675043, 干旱气象科学研究基金项目 IAM200609 和成都高原气象科学研究基金项目 LPM2007002
作者简介 杨金虎, 男, 1974 年出生, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为区域气候变化。E-mail: yjh740701@tom.com

Key words China, extreme precipitation event, spatial and temporal characteristic

1 引言

关于气候变化的研究过去主要集中在平均温度和降水量方面。极端气候事件作为一种小概率事件,突发性强,损害性大,但对其气候变化规律的认识还不足,所以极端气候事件的变化引起了广泛关注^[1~4]。

近年来关于极端降水事件的研究发现^[5],在全球变暖背景下,总降水量增大的区域,强降水和强降水事件极有可能以更大比例增加,美国^[6]、加拿大^[7]和日本^[8]等区域降水研究都证实了上述结论。即使平均总降水减少,强降水量及降水频数也在增加^[9,10]。翟盘茂等^[11]对中国极端降水的研究表明,全国总降水量变化趋势不明显,但降水强度在增强。刘小宁^[12]的研究发现,20 世纪 80 年代后,除华北外,全国暴雨出现频数明显上升,强度增大。尽管关于极端降水事件的研究已做了不少工作,但以前关于极端降水事件的定义主要是按照不同气候要素采用不同分布型的边缘来确定,比如我国通常把日降水量超过 50 mm 降水事件称为暴雨,日降水量超过 25 mm 的降水事件称为大雨等。事实上对于极端降水事件应该因地制宜,比如对于干旱的中国西北^[13~16],部分台站历史上从未出现过暴雨甚至大雨,而这些区域一场中雨往往会造成山体滑坡等危害,所以按照大雨或暴雨的标准来定义阈值去研究极端降水事件没有实际意义。基于以上理由,本文采用目前国际最为流行的百分位法定义了不同台站的极端降水阈值,进而探讨中国年极端降水事件的时空分布特征。

2 资料与方法

2.1 资料

本文所用资料来源于国家气候中心整编的中国大陆 1955~2004 年逐日降水资料集,在使用前对其进行了比较严格的质量控制,删除资料序列长度过短或缺测等站点。其检查方法是:如果一年内缺测超过 18 d (大于 1 年内实际观测日数的

5%) 时,该年不参加计算。当站点无缺测年超过 48 年,这个站点予以保留。经过上述处理以后,最终选取了 314 个台站。因西藏高原个别台站 1955 年资料不完整,但由于缺测主要在冬季,恰逢少雨季节,固未作删除处理。

2.2 极端降水事件的定义

文中根据每一个测站的日降水量定义了不同台站极端降水事件的阈值^[11]。其具体方法是:把 1971~2000 年逐年日降水量按升序排列,将第 95 个百分位值的 30 a 平均值定义为极端降水事件的阈值,当某站某日降水量超过了该站极端降水事件的阈值时,就称该站该日出现了极端降水事件。

对于极端事件阈值的确定,本文参照 Bonsal 方法,如果某个气象要素有 n 个值,将这 n 个值按升序排列 $x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$, 某个值小于或等于 x_m 的概率^[17]

$$P = (m - 0.31) / (n + 0.38), \quad (1)$$

其中, m 为 x_m 的序号, n 为某个气象要素值的个数。如果有 30 个值,那么第 90 个百分位上的值为排序后的 x_{27} ($p = 87.9\%$) 和 x_{28} ($p = 91.1\%$) 的线性插值。

2.3 区域平均序列的计算

在计算区域平均时间序列时,采用 Jones 等^[18]提出的方法,把整个区域按经纬度划分为 $2^\circ \times 2^\circ$ 的网格,将每个网格内所有站点的数据做算术平均,得到各网格的值,然后将各网格的值应用面积加权平均法,得到该区域的时间序列,公式为

$$\hat{\gamma}_k = \frac{\sum_{i=1}^M (\cos \theta_i) \times \gamma_{ik}}{\sum_{i=1}^M \cos \theta_i}, \quad (2)$$

式中 $\hat{\gamma}_k$ 为第 k 年区域平均值; $i = 1, 2, \dots, M$ (M 为网格数); γ_{ik} 为第 i 个网格中第 k 年的平均值; θ_i 为第 i 个网格中心的纬度。

3 年极端降水事件的空间分布

3.1 平均分布特征

图 1 给出了中国 1955~2004 年极端降水事件

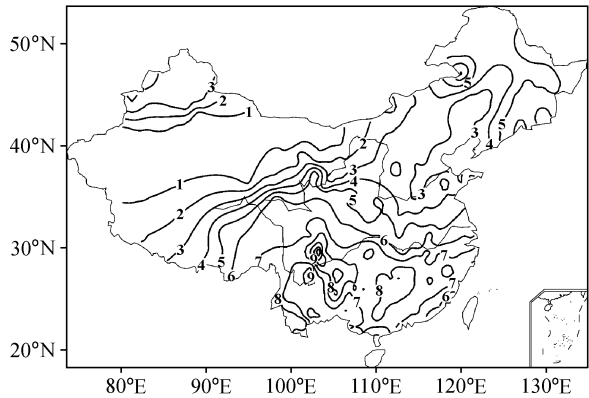


图1 年极端降水事件的多年平均空间分布
Fig.1 The secular mean spatial distribution of extreme precipitation events

的多年平均空间分布，从中可以看出中国年极端降水事件平均次数为 5.1 次，其中最多的为 10.7 次，最少的不足 0.2 次。从空间分布来看，小值区主要在新疆的南疆，基本上都小于 1 次，而大值区在四川省及我国长江以南地区，一般都大于 6 次，其中四川峨眉山超过了 10 次，为全国最多。

3.2 异常分布特征

由于标准差能反映变量围绕平均值的离散程度，也就是说它实际上反映了对该变量做预报的难易程度。为了弄清楚中国年极端降水事件的异常特征，图 2 给出了年极端降水事件的标准差空间分布，我们发现西藏东部、四川东北部以及我国东南部为大值区，也就是说这些区域的年极端降水事件容易发生异常现象，而南疆地区为小值区。

为了进一步弄清楚中国年极端降水事件的异常特征，图 3 给出了年极端降水事件经验正交函数 EOF 前 3 个空间模态及相应的时间系数演变曲线。从第一模态（图 3a）可以看出，江淮北部、湖南、四川西南部、西藏及新疆西部地区与我国其他区域呈反向变化特征，该模态对总方差的贡献为 12.09%。从时间系数变化曲线（图 3d）可以看出，该模态在 1955~1965 年、90 年代中后期主要为正异常，而 80 年代前期、80 年代后期以及近年来主要为负异常，其余年份正负异常交替出现。从第二模态（图 3b）可以看出，基本以长江为界，其南北表现为反向变化特征，该模态对总方差的贡献为 8.38%。从时间系数变化曲线（图 3d）可以看出，该模态基本以年际变化为主，没

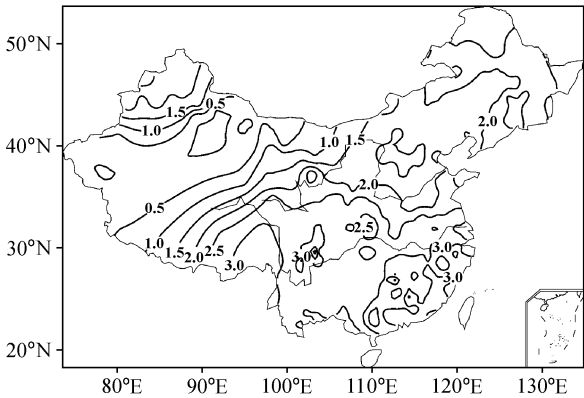


图2 年极端降水事件标准差空间分布
Fig.2 The standard deviation spatial distribution of extreme precipitation events

有表现出明显的正负异常时段。从第三模态（图 3c）可以看出，黄河流域以及西藏和新疆西部与我国其他区域表现出反向变化特征，该模态对总方差的贡献为 6.89%。同样从时间系数变化曲线（图 3d）可以看出，该模态在 80 年代初期之前主要以正异常为主，而 80 年代后期以后以负异常为主，从长期趋势来看，该模态表现出减少趋势。

以上通过中国年极端降水事件的标准差空间分布以及前 3 个异常空间模态可以看出，整个中国年极端降水事件存在明显的地域差异。

4 年极端降水事件的次区域时间演变特征

从上述分析发现，中国年极端降水事件的次区域空间差异明显，因此下文通过分区来研究其次区域的时间演变特征。目前对于中国区域的划分，尚缺乏统一的标准，而行政区域的气候变化史实及预测是人们更为关注的，文中参照陈隆勋等^[19]的划分方法，将中国分为 8 个区域（表 1）。而各区域年极端降水事件的时间序列通过前文介绍的 Jones 方法计算得到。

4.1 年际、年代际变化

图 4 给出了中国年极端降水事件各区域平均时间演变及线性、六阶拟合曲线。东北年极端降水事件从 50 a 长期趋势来看，其表现为较明显的减少趋势，趋势系数为 0.23，减少率为 0.12 次/10 a；而从六阶拟合曲线可以看出其表现出明显的

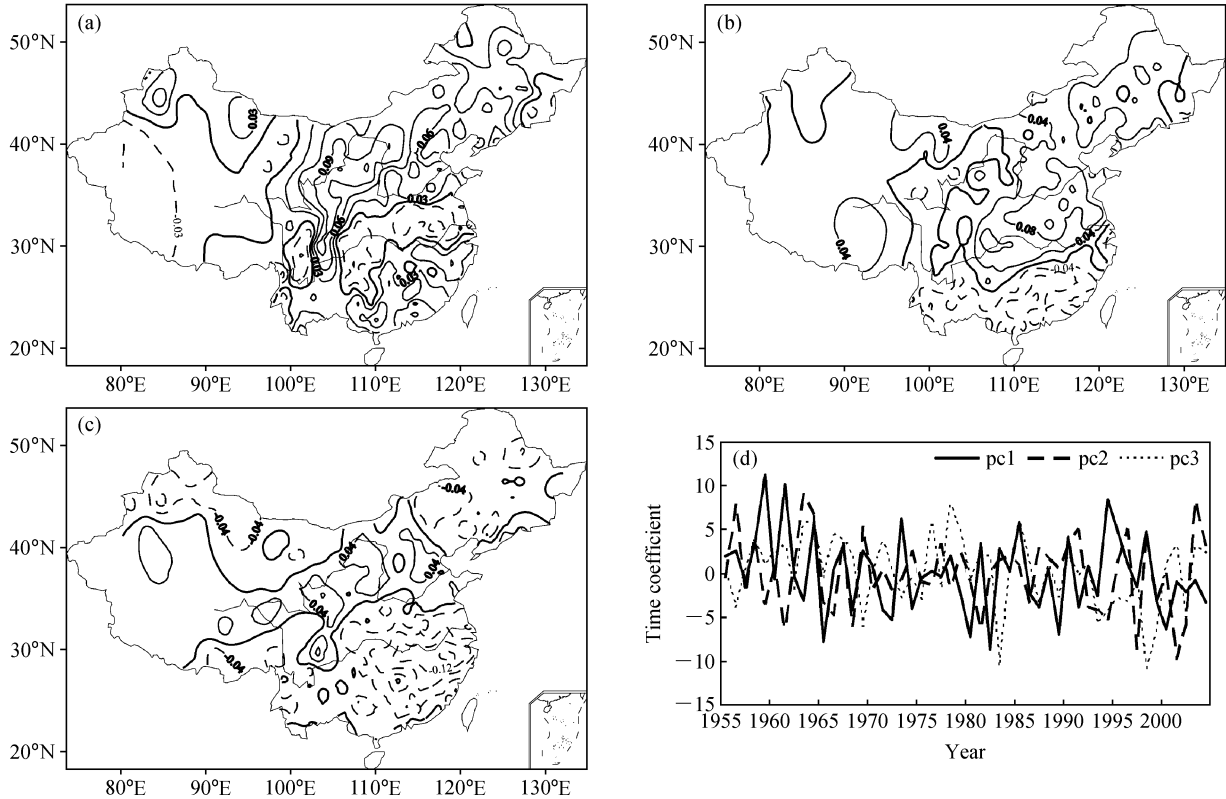


图 3 极端降水事件前 3 个模态及相应的时间系数演变：(a) 第一模态；(b) 第二模态；(c) 第三模态；(d) 时间系数
Fig. 3 The empirical orthogonal function (EOF) first three modes and corresponding time coefficients evolution of extreme precipitation events; (a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3; (d) time coefficients

表 1 分区及其范围

Table 1 The name and areas of regionalization in China

区域名称	范围
东北	黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古东北部
西北西部	新疆
西北东部	陕西、甘肃、宁夏、内蒙古西部
华北	河北、山东、河南、山西、北京、天津、内蒙古中部
长江中下游	江苏、浙江、江西、安徽、湖北、湖南、上海
西南	四川中东部、云南（除德钦外）、贵州
华南	广东、广西、福建、海南
青藏高原	青海、西藏、四川西部、云南西北部

年代际变化，1955~1965 年和 1983~1996 年极端降水事件偏多，而其余时段偏少，特别 90 年代末以后为近 50 a 的最少期。西北西部年极端降水事件线性和六阶拟合曲线几乎平行，这说明近 50 a 来其表现为显著的增加趋势，趋势系数为 0.33 (通过了 0.05 的显著性检验)，增长率为 0.13 次/

10 a。在 1986 年之前的 32 a 中，有 25 a 极端降水事件偏少，而在其后的 18 a 中有 13 a 偏多，目前是近 50 a 来的最多期。西北东部近 50 a 来年极端降水事件表现为较明显的减少趋势，趋势系数为 0.22，减少率为 0.11 次/10 a，从六阶拟合曲线可以看出近 50 a 来也表现出较明显的年代际变化。华北年极端降水事件也表现为明显的减少趋势，趋势系数为 0.28 (通过了 0.05 的显著性检验)，减少率为 0.14 次/10 a，其六阶拟合曲线同线性趋势线基本平行，说明 50 a 来的年代际变化不太显著。长江中下游年极端降水事件近 50 a 来表现为较明显的增加趋势，趋势系数为 0.21，增长率为 0.14 次/10 a，在 1970 年之前绝大多数年份极端降水事件偏少，而 1990 年以后绝大多数年份偏多，1970~1990 年正负交替出现，近年来也处于偏多期。西南年极端降水事件几乎没有明显的增长或减少趋势，从六阶拟合曲线也可以看出该区年极端降水事件表现出了明显的年代际变化，

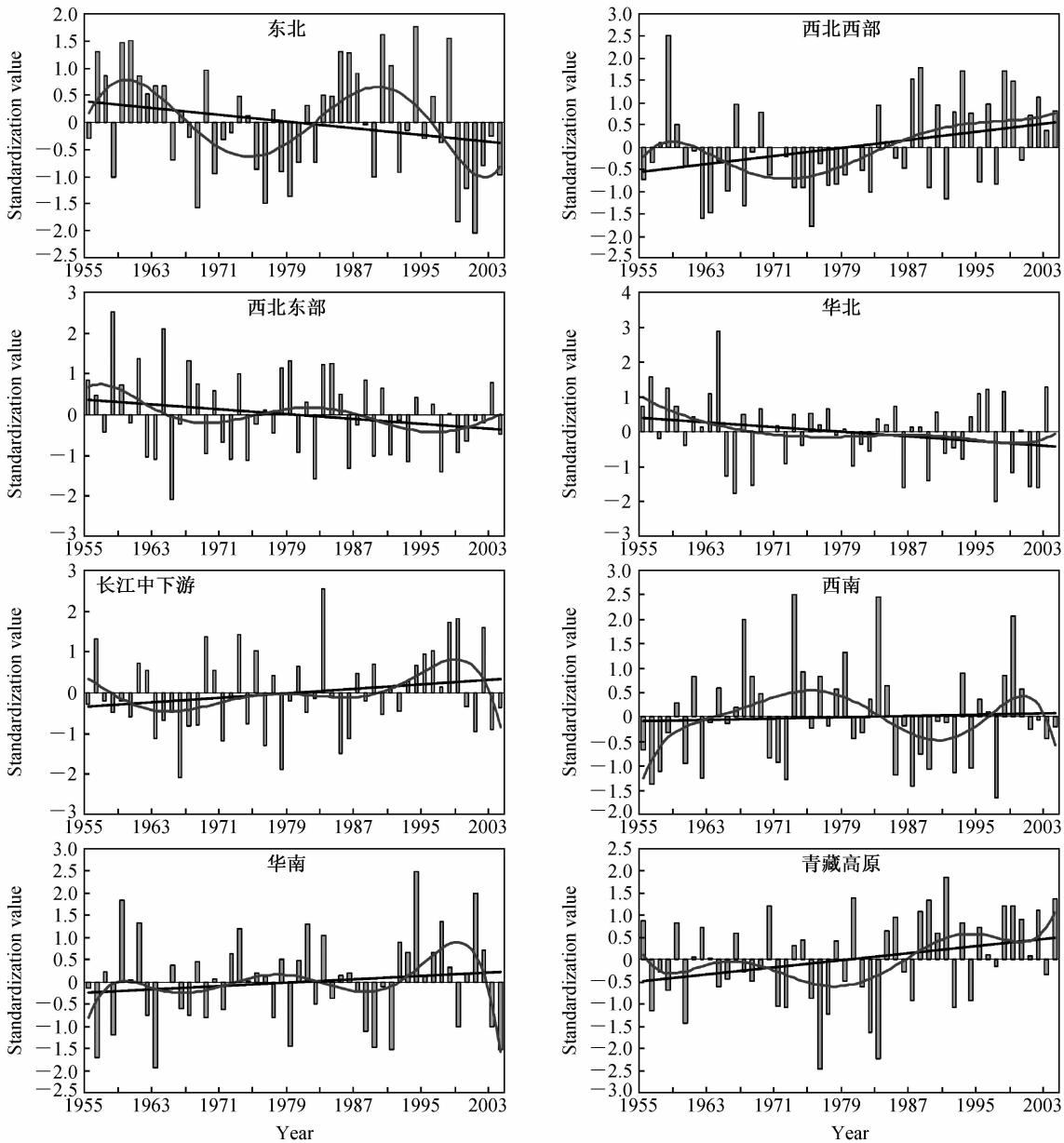


图 4 各分区年极端降水事件集中度的时间演变及线性、六阶拟合曲线
Fig. 4 The time evolution and six step fitting curve of extreme precipitation events in different areas

1955~1965 年及 1985~1995 年为偏少期，其余阶段为偏多期。华南年极端降水事件从长期趋势来看表现为较明显的增加趋势，趋势系数为 0.14，增长率为 0.11 次/10 a，而该区也表现出了明显的年代际变化。青藏高原年极端降水事件表现出了显著的增加趋势，趋势系数为 0.29（通过了 0.05 的显著性检验），增长率为 0.14 次/10 a，其六阶拟合曲线显示该区也表现出了明显的年代际变化。

通过以上的分析可以看出中国年极端降水事

件的次区域时间变化特征存在很明显的差异，东北、西北东部、华北年极端降水事件表现为减少趋势，西北西部、长江中下游、华南及青藏高原表现为增加趋势，特别是东北、西北西部及青藏高原的变化更为显著，而西南近 50 a 来极端降水事件没有明显的长期趋势变化。

4.2 突变检测

从上述分析发现，中国大多分区年极端降水事件表现出了明显的长期变化趋势，为了进一步

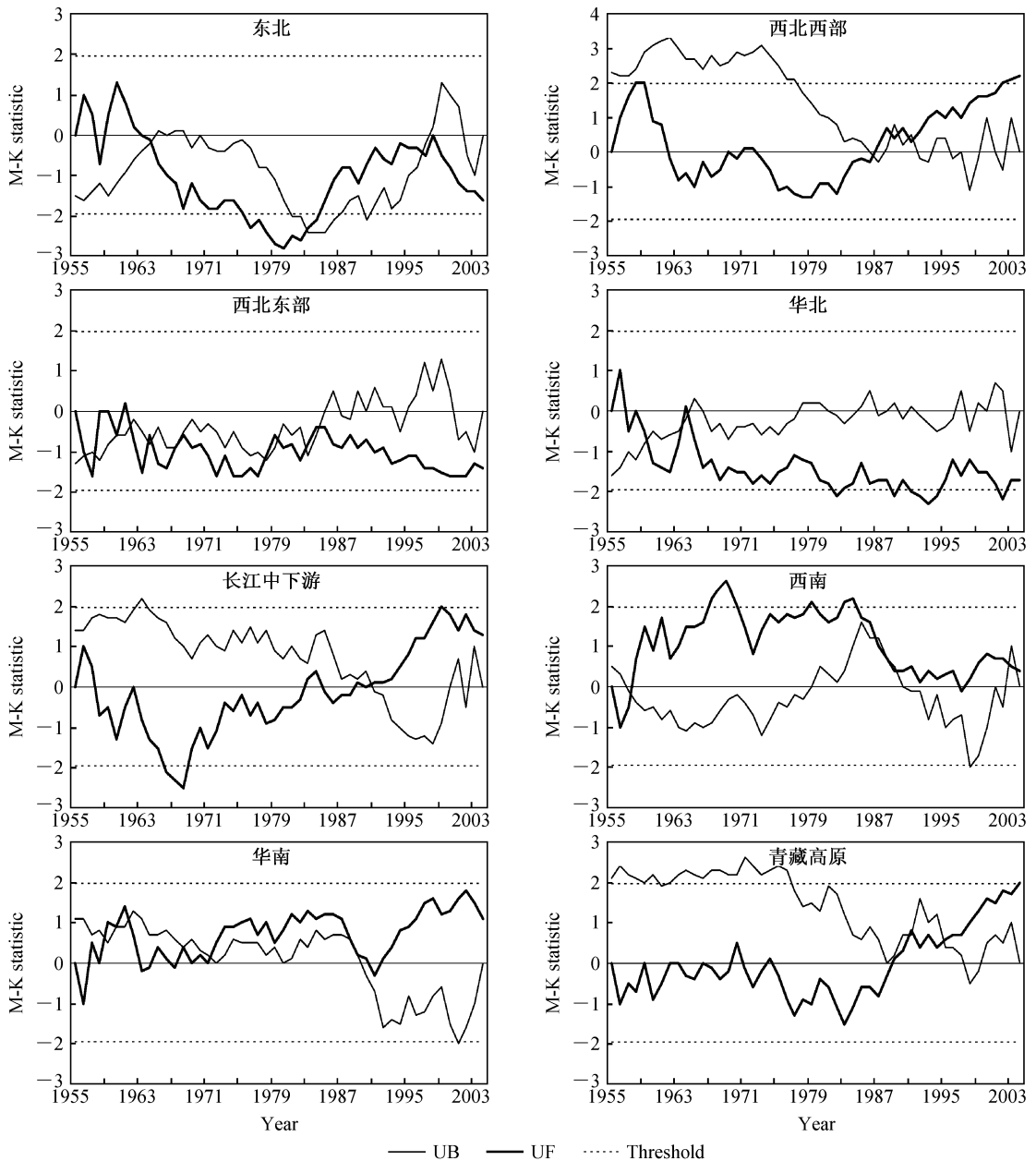


图5 各分区 M-K 突变检测曲线

Fig. 5 The M-K catastrophe detection curve of the different areas

检测其突变情况, 图 5 给出了各分区 M-K 突变检测曲线。从图中可以看出东北从 1955 年开始年极端降水事件表现为减少趋势, 在 1975 年以后减少得更为显著, 减少突变发生在 1965 年, 从 80 年代初又开始表现为增加趋势, 但后来并未发生增加突变; 西北西部在 80 年代初期开始年极端降水事件表现为增加趋势, 特别在近两年增加趋势更为明显, 增加突变发生在 1991 年左右; 西北东部近 50 a 来年极端降水事件由于减少趋势不太显著,

所以没有发生突变现象; 华北从 1955 年开始年极端降水事件就开始呈减少趋势, 而 80 年代后减少趋势更为显著, 1964 年前后发生了由多到少的突变现象; 长江中下游年极端降水事件从 60 年代中期开始增加, 在 90 年代末期增加趋势变得比较显著, 1991 年发生了突变; 西南从 70 年代后期开始年极端降水事件表现为减少趋势, 但减少趋势不显著, 所以未发生突变现象; 华南年极端降水事件近 50 年来由于增加趋势比较缓慢也没有发生突

变现象; 青藏高原从 80 年代中期开始年极端降水事件开始呈增加趋势, 而近年来增加趋势比较显著, 1995 年左右发生了突变现象。

综上所述, 中国 8 大分区中, 东北和华北年极端降水发生了由多到少的突变, 而西北西部、长江中下游及青藏高原发生了由少到多的突变, 其余区域没有发生突变现象。

4.3 周期分析

为了进一步搞清楚中国近 50 a 来年极端降水事件的周期特征, 通过对各分区年极端降水事件的区域平均值进行了 Morlet 小波分析, 发现东北在近 50 a 来 12 a 左右的周期较显著, 而 80 年代后期到 90 年代后期准 4 a 周期振荡也较显著。西北西部在 90 年代之前 12 a 左右的周期比较明显, 但 1965 年之前由于边界效应不能完全确定, 而在 1970 年之前以及 1980 年之后准 3 a 周期也有所反映, 并且在 80 年代后期到 90 年代后期准 6 a 周期比较显著。西北东部在 1975 年之前准 3 a 周期振荡比较明显, 而且大约在 1968 年之前振幅很强。在 70 年代和 80 年代准 6 a 振荡也反映得比较清楚。华北在 1970 年之前和 1995 年之后准 3 a 周期振荡比较显著, 而在 1980 年之前 6~8 a 振荡也比较显著。长江中下游在近 50 a 来 2~4 a 的周期有所反映, 并且 70 年代和 80 年代的振幅很强, 另外 8 a 左右的周期振荡在 60 年代中期到 90 年代中期也反映得较为清楚, 尽管 16 a 以上的低频振荡也有所反映, 但由于边界效应不能完全确定。西南近 50 a 来 6~8 a 的周期反映得比较清楚, 且在 1965~1985 年振幅很强, 16 a 左右的周期也有所反映, 同样由于边界效应不能完全确定。华南近 50 a 来 2~4 a 和 12 a 的周期反映得比较清楚, 而且 12 a 周期在 1975~1995 年振幅很强。青藏高原近 50 a 来 2~4 a 的周期有所反映, 在 1970~1990 年 6 a 左右周期反映得比较清楚, 且振幅很强。

通过以上的分析可以发现, 中国各分区年极端降水事件的周期振荡不完全一致, 但主要以 2~4 a、6~8 a 以及 12 a 左右的振荡为主。

5 年、季极端降水事件与年降水量的关系

由于年降水量一般能够反映当年的干湿状况,

为了搞清楚中国年及各季极端降水事件与当年干湿特征的关系, 图 6 给出了春、夏、秋季及年极端降水事件同年降水量的相关系数分布 (鉴于大多数台站年极端降水事件出现在春、夏季及秋季, 所以不再分析冬季情况)。从图 6a 可以看出, 春季相关系数大值区主要在北疆和华南地区, 其中最大值为 0.64, 并且所有站平均值为 0.28 (通过 0.05 的显著性检验); 夏季 (图 6b) 全国所有站极端降水事件与年降水量均表现出较好的相关性, 其中最小值为 0.28, 最大值为 0.83, 而且所有站平均值为 0.64; 秋季 (图 6c) 相关系数大值区主要在甘肃和陕西南部, 最大值为 0.68, 所有站平均值为 0.31 (通过 0.05 的显著性检验); 而年 (图 6d) 极端降水事件与年降水量之间也表现出很好的相关性, 大值区主要在北疆、江淮流域及四川东部等区域, 而小值区主要在西藏南部, 所有站的平均值高达 0.77。

通过以上分析得知, 中国年极端降水事件与年降水量之间存在较好的相关性, 相比较西藏南部的相关性较差。从季节来看, 夏季极端降水事件与年降水量的相关性最好, 而春季北疆和华南地区的相关性较好, 秋季甘肃和陕西南部相关性较好。这主要是由于我国年降水主要集中在夏季, 所以当夏季极端降水事件偏多, 则年降水相应增多, 而相比较其他区域, 北疆和华南春季降水占年降水的比重较大, 所以春季的极端降水事件与年降水相关性较好, 同样甘肃和陕西南部秋季降水占年降水的比重均较大, 所以秋季的极端降水事件与年降水相关性较好。

6 结论

(1) 江淮北部、湖南、四川西南部、西藏及新疆西部地区与其他区域反向变化特征是中国年极端降水事件异常的主要空间模态, 长江南北表现为反向变化特征以及黄河流域、西藏和新疆西部同其他区域的反向变化特征空间异常分布也是比较重要的模态。

(2) 中国年极端降水事件的时间变化特征存在很明显的地域差异, 东北、西北东部、华北年极端降水事件表现为减少趋势, 西北西部、长江中下游、华南及青藏高原表现为增加趋势, 特别

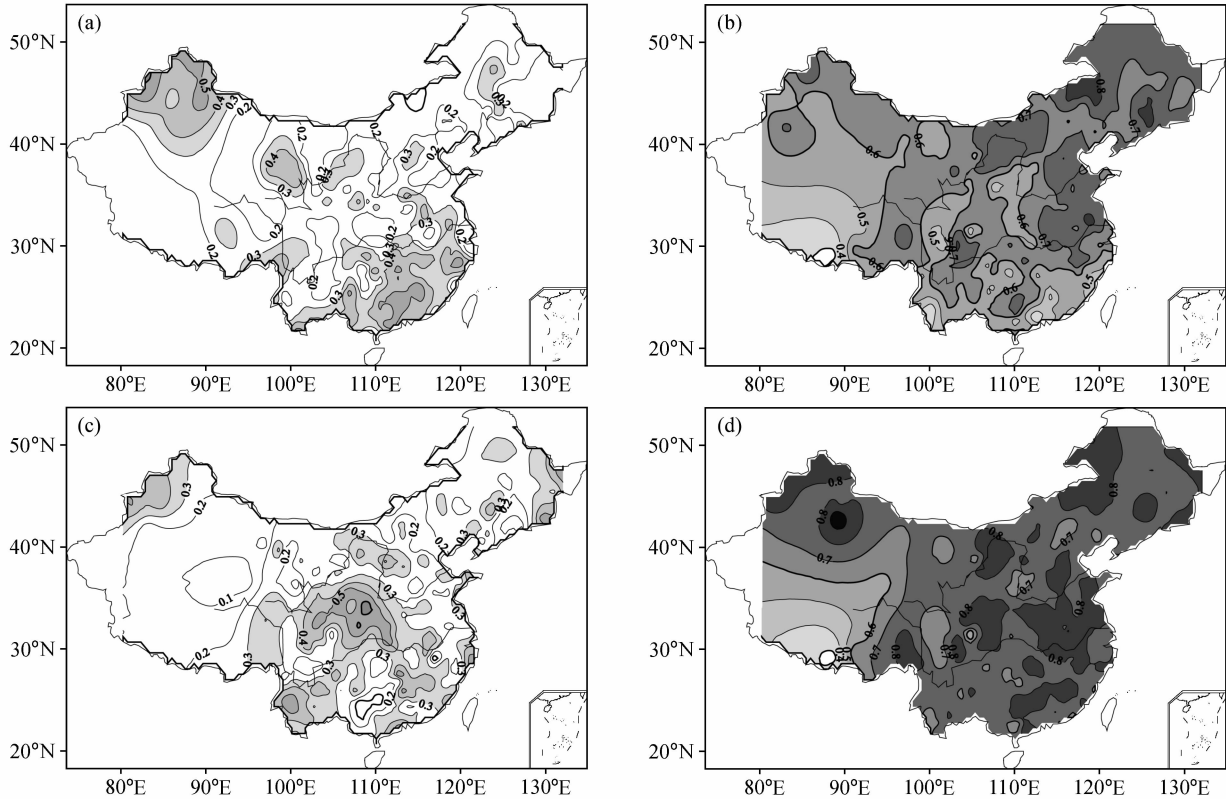


图 6 中国极端降水事件同年降水量的相关系数分布：(a) 春季；(b) 夏季；(c) 秋季；(d) 年际（阴影为通过 0.05 显著性检验的区域）

Fig. 6 Correlation coefficient distribution between annual precipitation and extreme precipitation events in China: (a) spring; (b) summer; (c) autumn; (d) annual (shadow is the overpass 0.05 significance test areas)

是东北、西北西部及青藏高原的变化更为显著，而西南近 50 年来极端降水事件没有明显的长期变化趋势。

(3) 中国各分区中，东北和华北年极端降水发生了由多到少的突变，而西北西部、长江中下游及青藏高原发生了由少到多的突变，其余区域没有发生突变现象。

(4) 中国各分区年极端降水事件的周期振荡不完全一致，但主要以 2~4 a、6~8 a 以及 12 a 左右的振荡为主。

(5) 中国年极端降水事件与年降水量之间存在较好的相关性。从季节来看，由于我国年降水主要集中在夏季，所以夏季极端降水事件与年降水量的相关性最好，而相比较于北疆和华南春季降水以及甘肃和陕西南部秋季降水占年降水的比重均偏大，所以北疆和华南地区春季以及甘肃和陕西南部秋季的极端降水事件与年降水量的相关性也较好。

参考文献 (References)

[1] 陈洪滨, 范学花, 董文杰. 2005 年极端天气与气候事件及其他相关事件的概要回顾. 气候与环境研究, 2006, **11** (2): 236~244
Chen Hongbin, Fan Xuehua, Dong Wenjie. Some extreme events of weather, climate and related phenomena in 2005. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (2): 236~244

[2] 唐红玉, 翟盘茂, 王振宇. 1955~2002 年中国平均最高, 最低气温及其日较差变化. 气候与环境研究, 2005, **10** (4): 728~735
Tang Hongyu, Zhai Panmao, Wang Zhenyu. On change in mean maximum temperature, minimum temperature and diurnal range in China during 1951—2002. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (4): 728~735

[3] 任福民, 翟盘茂. 1951—1990 年中国极端气温变化分析. 大气科学, 1998, **22** (2): 217~227

- Ren Fumin, Zhai Panmao. Study on changes of china extreme temperature during 1951-1990. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1998, **22** (2): 217~227
- [4] 严中伟, 杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局. 气候与环境研究, 2000, **5** (3): 267~272
- Yan Zhongwei, Yang Chi. Geographic Patterns of extreme climate changes in china during 1951—1997. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (3): 267~272
- [5] IPCC. Climate change 2001: The Science Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of IPCC. Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al., Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 156~159
- [6] Karl T R, Knight R W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the USA. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1998, **79**: 231~241
- [7] Stone D A, Weaver A J, Zwiers F W. Trends in Canadian precipitation intensity. *Atmos. -Ocean*, 1999, **2**: 321~347
- [8] Yamamoto R, Sakurai Y. Long-term intensification of extremely heavy rainfall intensity in recent 100 years. *World Resource Review*, 1999, **11**: 271~281
- [9] Manton M J, Della-Marta P M, Haylock M R, et al. Trends in extreme daily rainfall and temperature in South-east Asia and the South Pacific: 1961—1998. *Int. J. Climatology*, 2001, **21**: 269~284
- [10] Buffoni L, Maugeri M, Nanni T. Precipitation in Italy from 1833 to 1996. *Theor. Appl. Climatol.*, 1999, **63**: 33~40, 417~425
- [11] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化. 地理学报, 2003, **58** (增刊): 1~10
- Zhai Panmao, Pan Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over Northern China during the second half of the 20th century. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2003, **58** (Suppl): 1~10
- [12] 刘小宁. 我国暴雨极端事件的气候变化特征. 灾害学, 1999, **14** (1): 54~59
- Liu Xiaoning. Climate characteristics of extremerainstorm events in China. *Journal of Catastrophology* (in Chinese), 1999, **14** (1): 54~59
- [13] 谢金南, 李栋梁, 董安祥, 等. 甘肃省干旱气候变化及其对西部大开发的影响. 气候与环境研究, 2002, **7** (3): 359~369
- Xie Jinnan, Li Dongliang, Dong Anxiang, et al. Effects of gansu arid climate change on developing of the western China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7** (3): 359~369
- [14] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 我国西北地区近 50 年降水和气温的变化. 气候与环境研究, 2003, **8** (1): 9~18
- Yu Shuqiu, Lin Xuechun, Xu Xiangde. The climatic change in Northwest China in recent 50 years. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (1): 9~18
- [15] 李香云, 王立新, 章予舒. 近 40 年我国西北荒漠化区降水和气温的时空变异特征——以塔里木河流域为例. 气候与环境研究, 2004, **9** (4): 658~669
- Li Xiangyun, Wang Lixin, Zhang Yushu. A study of the spatial-temporal changes of precipitation and temperature in desertification area in the Northwestern China——An example of the Tarim River Basin. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (4): 658~669
- [16] 王秀荣, 徐祥德, 苗秋菊. 西北地区夏季降水与大气水汽含量状况区域性特征. 气候与环境研究, 2003, **8** (1): 35~42
- Wang Xiurong, Xu Xiangde, Miao Qiuju. Regional characteristics of summer precipitation and water vapor amount in Northwest China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (1): 35~42
- [17] Bonsal B R, Zhang X B, Vincent L A, et al. Characteristic of daily and extreme temperature over Canada. *J. Climate*, 2001, **5** (14): 1959~1976
- [18] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, 1996, **16**: 361~377
- [19] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芳. 近 40 年我国气候变化的初步研究. 应用气象学报, 1991, **2** (2): 164~174
- Chen Longxun, Shao Yongning, Zhang Qinfang. Preliminary analysis of climatic change during the last 39 years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1991, **2** (2): 164~174