

相空间中划分大尺度异常雨型的进一步研究^{*}

任宏利

(兰州大学大气科学学院, 兰州, 730000; 中国气象局国家气候中心气候研究开放实验室, 北京, 100081)

高 丽

张培群 李维京

(中国科学院大气物理研究所 LASG, 北京, 100029)

(中国气象局国家气候中心气候研究开放实验室, 北京, 100081)

摘 要

使用 1962~2001 年的逐日台站降水资料, 考察中国夏季大尺度低频降水的时空特征。对于 20 d 以上的低频尺度降水异常, 在前 8 个主要 EOF 模态支撑的相空间中, 采用聚类分析方法划分了 6 种大尺度异常雨型: 东北型、黄河型、秦岭淮河型、长江江南型、华南型和少雨型。分析表明, 这些雨型的物理意义明确, 具有较好的持续性, 优于使用 2 维概率密度函数的划分结果, 从而说明相空间中的聚类分型是整体性和区域性兼顾的划分方式, 同时也证实了多维相空间的不均匀性。统计结果显示, 新雨型在季节内交替出现, 能够反映出大尺度异常降水的低频演变特征, 并且具有不同于季风雨带变化的特点。通过分析新雨型在历史上的分布情况, 并与以往分型相比较, 进一步反映出新雨型划分的客观性和合理性。

关键词: 相空间, 雨型, 夏季降水, 聚类分析。

1 引 言

很多研究表明, 中国夏季降水的异常分布表现出明显的空间模态(雨型)特征^[1~8]。目前, 短期预测业务采用的是传统 3 类雨型: 北方型、中间型和南方型^[9,10]。以往这些雨型是由月或季节平均的异常降水量分析得到, 主要反映的是夏季或汛期降水分布的年际变化, 对整个季节降水来讲仍基本属于静态描述, 无法表达异常降水分布在季节内的连续演变特征。实际预测业务经验表明, 夏季降水异常是由季节内的若干大尺度低频降水过程组成的, 表现出明显的时空低频变化, 这对月、季尺度预测是非常重要的信息。因此, 本文目的就是要深入认识夏季低频降水的时空变化特征, 考察季节内的大尺度异常雨型。

我们曾提出在相空间划分大尺度异常雨型的思路, 认为相空间中状态点观测概率的局部极大值区域对应于大尺度的异常雨型^[11]。通过估计二维

EOF 相平面上的概率密度函数(PDF)并确定局部极大值区域进行了划分雨型试验, 初步证实了相空间的不均匀性和划分雨型的合理性。但两个 EOF 的方差贡献毕竟较小, 进一步增加相空间的维数是非常必要的, 本文将在更高维相空间中进行雨型划分试验, 由于我们所掌握的样本非常有限, 无法准确估计出统计上显著的高维 PDF, 而且确定高维 PDF 的局部极值也存在困难。因此, 我们考虑绕开对 EOF 相空间中的状态点进行 PDF 估计, 而是直接对这些点采用聚类分析方法划分出主要的聚集区域, 这实际上与 PDF 的局部极大值是对应的。本文尝试在多维相空间中进行大尺度异常雨型的划分试验, 可以通过改变引入 EOF 的个数来调节相空间的维数, 便于提取降水时空变化的主要信息。

2 数 据

文中所用数据是由中国气象局气象信息中心提供的 1962 年 1 月 1 日到 2001 年 12 月 31 日 40 a 逐

^{*} 初稿时间: 2004 年 6 月 8 日; 修改稿时间: 2004 年 9 月 27 日。

资助课题: 重大基础研究淮河专项: 淮河低层大气与降水研究(HB2003c-4); 国家自然科学基金项目(40375025 和 40135020)。

作者简介: 任宏利, 男, 1979 年出生, 博士生, 主要从事气候动力学与气候预测研究。E-mail: renhl@cma.gov.cn

日降水观测资料。与前面工作^[11]类似,我们选取了其中的 160 个标准台站,有所不同的是:首先,由于高原和西北内陆站点稀少,分布很不均匀,因此,本文只使用了 101°E 以东的 134 个台站,主要研究东部地区的分型;其次,为了较全面考察中国夏季汛期雨型的变化特征,我们取每年 5~9 月 153 d 的逐日资料,40 a 总计有 6120 个样本,作为原始数据序列,并去掉季节循环得到逐日距平值。通过在二维 EOF 相平面上的分型试验^[11],我们发现 20 d 低通滤波的雨型持续时间明显长于 10 d 滤波的,而且更能反映大尺度异常雨型的季节内变化特征,为此,本

文针对 20 d 的 Gauss 低通滤波数据(记为 LF20),将未进行滤波的数据记为 UNF。另外,在进行雨型分析时,使用了上述数据序列的标准化形式,目的是消除不同地区降水距平的气候差异。

3 EOF 分解

本文依然采用构建 EOF 相空间的办法^[11~13]来缩减自由度,通过降低相空间的维数达到提取主要信息的目的。我们分别对 UNF 和 LF20 进行了 EOF 分解(表 1),检验表明所给特征值对应的经验正交函数都是显著的。

表 1 两种数据 EOF 方差贡献的百分比和累积百分比(单位:%)

Table 1 Percentage and cumulate percentage variances (%) associated with EOF of two data

EOF	未滤波数据 UNF		20 d 低通滤波数据 LF20		EOF	未滤波数据 UNF		20 d 低通滤波数据 LF20	
	百分比	累积百分比	百分比	累积百分比		百分比	累积百分比	百分比	累积百分比
1	5.12	5.11	8.90	8.90	10	1.85	30.26	2.03	43.04
2	4.31	9.42	6.94	15.84	11	1.71	31.97	1.98	45.01
3	3.72	13.13	6.04	21.88	12	1.62	33.59	1.76	46.78
4	3.35	16.49	4.90	26.78	13	1.60	35.19	1.66	48.44
5	2.75	19.24	3.55	30.33	14	1.44	36.63	1.54	49.99
6	2.56	21.80	3.16	33.48	15	1.38	38.01	1.44	51.42
7	2.41	24.21	2.71	36.19	20	1.09	43.92	1.02	57.10
8	2.23	26.44	2.54	38.73	25	0.91	48.734	0.88	61.74
9	1.98	28.42	2.28	41.01	30	0.81	52.97	0.76	65.74

可以看出,未滤波数据 EOF 展开的方差分布相对分散、收敛速度较慢,20 d 低通滤波的数据保留了包括季节内振荡在内的持续时间更长、空间尺度更大的低频变化信息,比未经滤波的收敛迅速,并且

比 160 个站的结果相应的方差贡献有所提高。

图 1 给出了 20 d 低通滤波数据的前两个 EOF 模态特征:EOF1(图 1a)大体上以长江为界,整个北方与南方呈现反向振荡;EOF2(图 1b)的主要特征

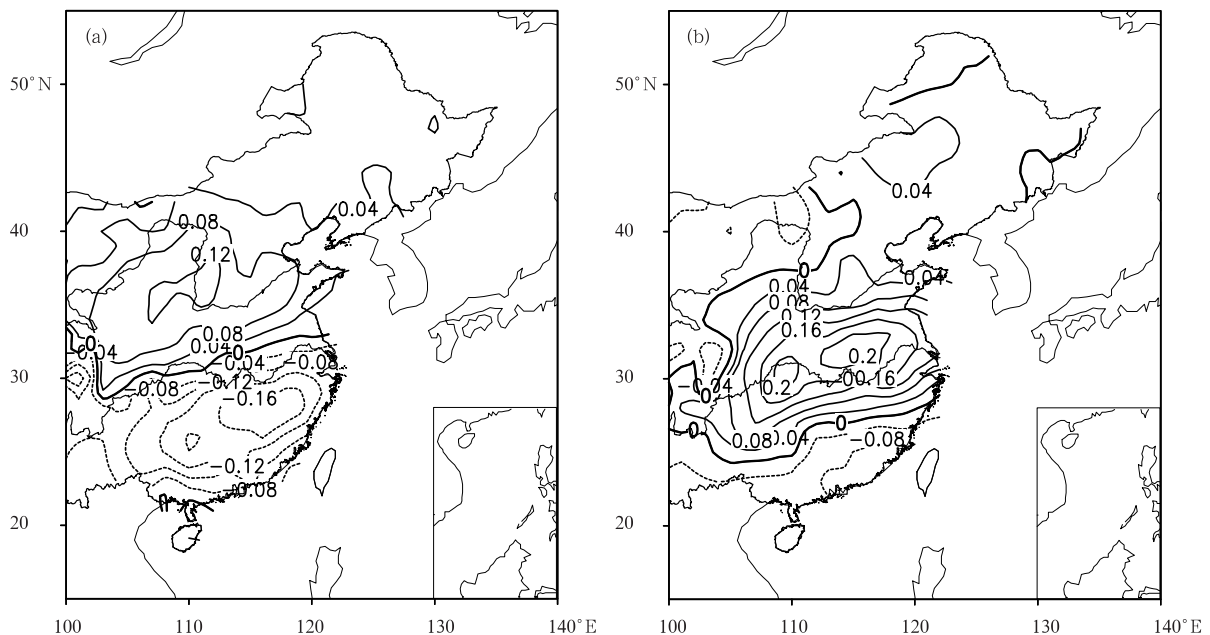


图 1 20 d 低通滤波数据的前两个 EOF(等值线间隔是 0.04)

Fig. 1 Spatial patterns of EOF1 (a) and EOF2 (b) of the LF20(interval of contours is 0.04)

是江淮流域存在大片明显的正异常中心,南北两侧为负异常。这两个模态反映了南北方降水的气候差异,与 160 个站的前两个模态基本一致,但 EOF2 也略有不同。由于 EOF 分解对于时空范围的选取是很敏感的,因此,本文仅使用前面若干个 EOF 来提取异常降水变化的主要信息,并不关心某一 EOF 的具体分布特征。

4 雨型的划分

由于相空间中状态点的分布呈现出明显的不均匀性,如果能够准确估计出状态点分布的概率密度函数(PDF),就为相空间中的分型创造了条件,但分析表明^[11],我们现在所拥有的样本是很有限的,无法准确估计出统计上显著的较高维数空间中的 PDF,另一方面,不同于二维平面的直观性,如何确定多维 PDF 的局部极值也存在一定困难。可见,采用在相空间中估计 PDF 的方法来寻找分型,在统计上的可行性和理论上的期望之间存在着很大差距,因此,本文将绕开对 EOF 相空间中的状态点进行 PDF 估计,直接对这些点采用聚类方法划分出主要的聚集区域,这实际上与 PDF 的局部极大值是对应的。

4.1 聚类分型

聚类分析在天气气候学诊断中有着极为广泛的

应用,理论上比较成熟。我们可以利用相空间中的距离或相似关系,直接将观测样本对应的状态点进行分类,这样就可以避开估计 PDF 的困难,本文选取了一种经过改造的 K-均值聚类方法^[13]。

在分类过程中,我们希望引进大尺度模态信息起主要作用的样本点,去掉方差较小模态占优势的样本,为此,对每个样本点考察其前 m 个主分量(PC)的均方差是否大于剩余 PC 的均方差,假定前者是“信号”,后者是“噪音”的话,选取信噪比大于 1 的样本(记为 SNR 数据),这里 m 取为 20。聚类中使用的衡量指标是向量之间的相似系数 p ,分类原则是:同类点之间 p 不低于 r_1 , p 小于 r_2 的两点不同类,其中 r_1 和 r_2 为给定参数。需要说明的是,一方面通过调整 r_1 和 r_2 来得到固定维数相空间中最稳定的雨型;另一方面,也尝试改变引入 EOF 的个数,大量试验表明,增加相空间维数会产生更多分型,很多都是不稳定的,而削减维数时,由于引入的信息量减少,很多特征表达不出来。因此,稳定且数目尽量少是我们着重考虑的两个方面。综合比较试验结果,我们采用占总方差近 40% 的 8 个 EOF 支撑相空间,取参数 $r_1=0.68$ 和 $r_2=0.20$ 时得到的 6 种分型作为主要雨型。表 2 给出了分型信息。

表 2 20 d 低通滤波数据在相空间中的分型信息

Table 2 Information of rainfall regimes identified in 8-dimensional phase space of the LF20

分型	样本个数	事件个数	给定持续时间(d)的事件个数										平均持续时间 T_d (d)	平均间隔时间 T_i (d)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥ 10		
1	251	45	8	7	2	8	1	3	3	1	3	9	5.58	8.51
2	538	84	5	7	11	8	11	10	4	7	4	17	6.40	6.19
3	366	76	10	10	11	9	10	5	8	3	4	6	4.82	6.64
4	446	67	4	4	10	8	6	7	5	7	2	14	6.66	6.49
5	518	83	5	9	16	10	8	9	2	4	3	17	6.24	6.93
6	703	111	10	9	14	11	15	7	6	6	10	23	6.33	6.76
总计	2822	466	42	46	64	54	51	41	28	28	26	86	平均 6.01	6.92

可以看出,雨型出现的天数接近总天数的一半,各种雨型大约平均每年发生 1~3 次,平均持续时间(T_d)约为 6 d,我们也计算了如果不计入短于 5 d 的事件,平均持续时间可以接近 9 d(约 8.81 d),雨型平均间隔时间(T_i ,从某一雨型结束到下一雨型开始)约为 7 d。另外,不短于 5 d 的事件个数超过了总事件数的一半,达到 10 d 及其以上的持续性事件比例很大,这些持续性的大尺度异常降水过程一般应与历史上著名的旱涝事件相联系。需要说明的

是,上述 6 种雨型在时间上是不会重叠的,即同一个样本只属于一种雨型,这是由聚类方法定量决定的。

4.2 雨型合成

相空间中的每一个状态点都对应着一个观测样本,代表实际物理空间的一张异常降水分布图,将每种雨型对应的样本进行合成,就得到了 6 种雨型在物理空间的实际分布图(图 2),并对合成结果进行了 u 检验(假定方差已知,考察每个合成值与该点序列的时间平均值是否存在显著差异)。

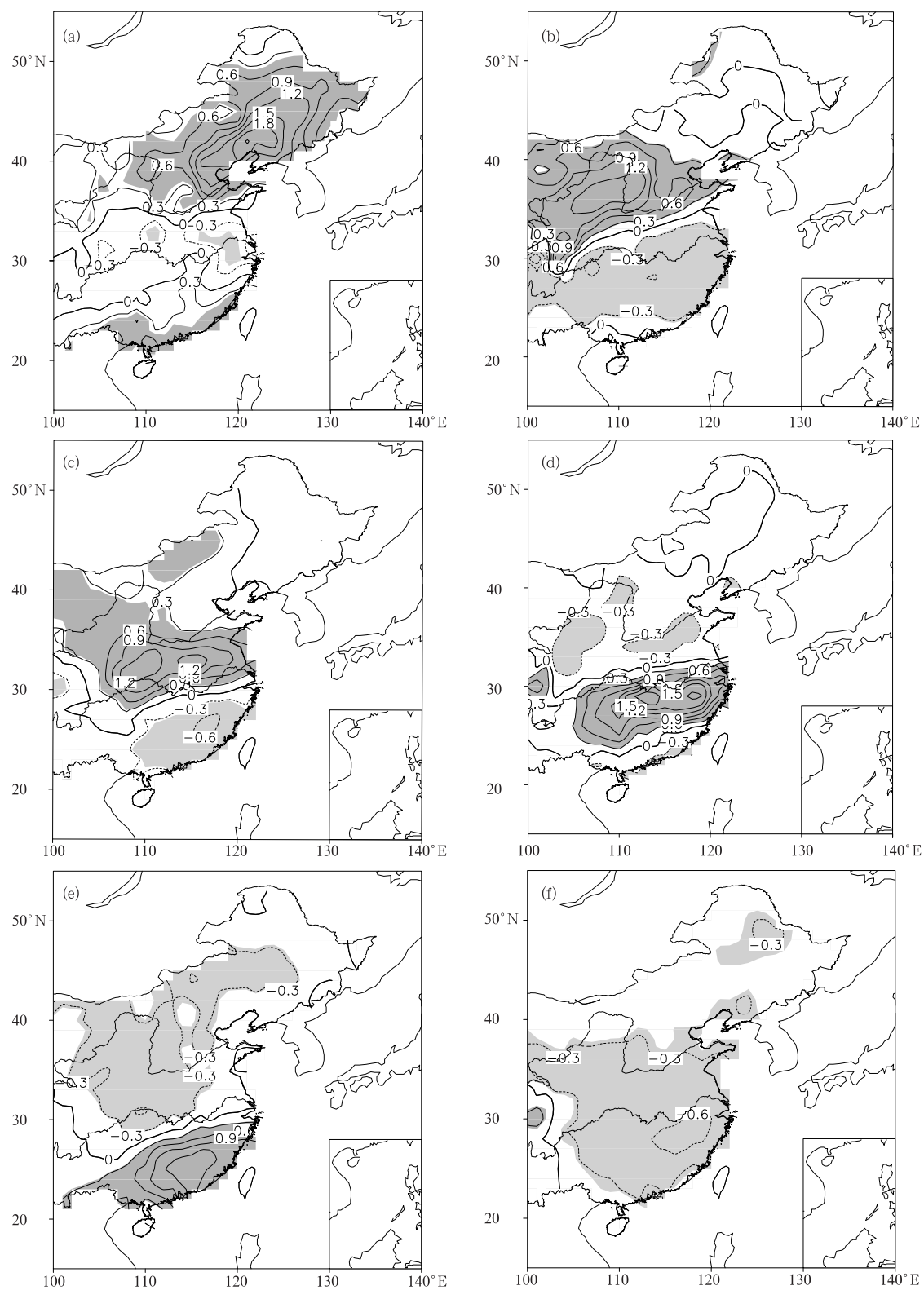


图 2 20 d 低通滤波数据的雨型合成图

(a. 东北型, b. 黄河型, c. 秦岭淮河型, d. 长江江南型, e. 华南型, f. 少雨型, 阴影区为达到 u 检验的 99% 信度水平区域; 等值线间隔是 0.3)

Fig. 2 Composite maps of the six rainfall regimes of the LF20
 (a. northeastern China regime; b. Yellow River regime, c. Qinling-Huaihe regime;
 d. Yangtze River with its south regime; e. South China regime; f. rainless regime;
 the areas over the 99% confidence level of u -test are shaded; interval of contours is 0.3)

第1类:东北型(图2a)。这种雨型出现的频率只有北方型和华南型的一半左右。整个东北地区和华北东北部为显著正异常区,中心位于东北中南部,长江流域是负异常区,华南沿海为多雨区,这种分布特征与 Tian 和 Yasunari^[14]的 EOF1 及其差异合成图相似,但反映的是 2~4 a 尺度降水异常的年际变化特征,中心位置和强度也存在差异。王绍武等^[7]的东北华北型则主要异常区集中在东北南部,范围相对较小。

第2类:黄河型(图2b)。很多研究中出现类似的雨型,例如,廖荃荪等^[1]的北方型、王绍武等^[7]的西北型、崔茂常等^[15]的黄河河套北部型和南部型、以及前面得到的 NHR 型^[11]等等。这种雨型的显著正异常区位于 35°N 以北大部分地区,中心主要位于华北北部到西北东部地区,长江流域及其以南呈现反相负异常分布。

第3类:秦岭淮河型(图2c)。这种雨型与廖荃荪等^[1]中间型和 BYH 型^[11]的位置非常接近,显著的正异常区介于黄河和长江之间,中心位于秦岭南—淮河一线,长江以南为显著负异常区。王绍武等^[7]的黄淮型与图2c类似,但正异常区位置明显偏北。

第4类:长江江南型(图2d)。这种雨型接近于 REOF 分析的江南降水模态^[15]和 SYR 型^[11]。整个长江沿线—江南地区(不包括华南南部)为显著的降水正异常区,北方大部分为负异常,但强度明显偏弱。这种异常特征的分布在很多研究^[2,3,5~7,14,15]中都得到过。

第5类:华南型(图2e)。这种型的发生频率略少于北方型,整个华南地区被显著正异常覆盖,长江以北的大部分地区为显著的负异常区,与王绍武等^[7]的江南型和 SC 型^[11]类似。按照以往研究^[9],传统的 III 类雨型(南方型)可以再分为雨带分别位于江南和华南两个子类型,因此,我们的长江江南型和华南型则给予了明确量化的分离,可以看到,这两种雨型发生频率差不多。

第6类:少雨型(图2f)。这是样本数和事件数均最多的一类雨型,其主要特征是除了西南一角多雨、大部分地区均为显著负异常,在夏季风中断期和历史上大旱年(如 1965,1972 和 2000 年)经常出现。

王绍武等^[7]在中国东部夏季降水型中引入了少雨型,但需要人为划分,REOF 分析无法给出,而且没有出现图 2f 中那样大范围的显著负异常区。

6 种新雨型很好地反映了中国东部大尺度降水异常的分布特征,描绘了季节内经常出现的异常降水模态。与使用二维相平面 PDF 划分的雨型相比^[11],空间荷载的特征更明显,不仅仅只局限在华北到华南的东部地区,由于我们采用了占总方差近 40% 的 8 个 EOF 支撑的相空间进行分类,因此,新出现了东北型和少雨型。新雨型与王绍武等^[7]划分的 6 种汛期雨型很接近,但他们采用了 REOF 和主观分析相结合的办法,东北型和少雨型的范围和特征不是很明显,雨型的显著性尚有待检验。

我们在 EOF 相空间中对状态点的聚类分析,把相似程度高的样本归为同一类,实质上考察了不同时刻异常降水分布之间的整体相似性;另一方面,每种雨型都存在一个支配性的显著异常区域,如同命名中体现的地域含义,从而重点突出了降水异常的局部特征。可见,相空间分型是一种物理意义明确、整体性和区域性兼顾的雨型划分方式。

5 雨型分布特征

将本文雨型与使用二维 PDF 划分的 20 d 滤波数据的 5 种雨型^[11]进行了对比,发现 NHR 型、BYH 型、SYR 型和 SC 型分别与本文得到的黄河型、秦岭淮河型、长江江南型和华南型具有相似的空间特征。为了对它们在相平面上的位置加以比较,图 3 给出了本文前两个 EOF 对应的二维 PDF 和 6 种雨型(分别记为 $R_1 \sim R_6$)的相应位置,可以看出,PDF 的局部极值特征不是很明显,这就会增加二维相平面分型的难度,6 种雨型的位置分布比较分散,但第四象限集中了 3 种雨型,说明 EOF3~EOF8 起了重要作用,单纯使用二维 PDF 可能无法区分出东北型和少雨型。另外,对比两种分型方案在相平面上位置的对应关系,注意到图 1 中 EOF2 的空间特征与文献^[11]的几乎完全相反,可见,华南型和黄河型的位置分别与 SC 和 NHR 关于 EOF1 坐标轴接近对称,但秦岭淮河型与 BYH、长江江南型与 SYR 之间的对应关系并不好,说明引入 EOF3~EOF8 对分型结果具有明显影响。

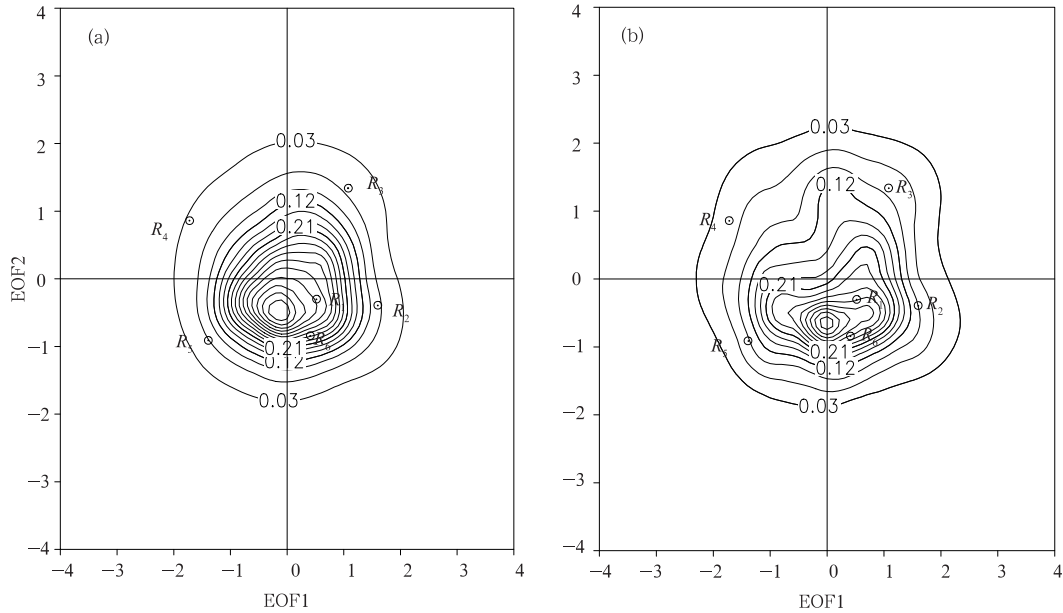


图3 20 d 低通滤波数据在二维相空间中的 PDF

(a. 为所有的样本得到的 PDF, b. 前 20 个 EOF 的 SNR 数据得到的 PDF, $\odot$ 为 6 种雨型的位置; 等值线间隔是 0.03)

Fig. 3 Estimated probability density functions of the LF20 in 2-dimensional phase space for (a) all of the samples and (b) the SNR data of the first 20 EOFs

($\odot$ stand for positions of the six rainfall regimes; interval of contours is 0.03)

为考察雨型在季节内分布规律。图 4 给出了 5~9 月每天各雨型发生次数的气候统计, 可以看到, 各种雨型发生时间的气候分布存在明显差异, 东北型分布于 7~8 月, 黄河型主要集中于 7~9 月, 这两种雨型位置偏北, 多发生在夏季风降水时期; 秦岭淮河型则分散于 5 月~7 月下旬和 9 月中下旬, 长江江南型位于 5 月上旬和 6 月~7 月中旬, 华南型主要分布于 5 月~7 月上旬, 这 3 种雨型处于东亚季风区, 中高纬与低纬系统相互作用剧烈, 使得降水异常型的出现与季风雨带的气候分布并不完全一致;

少雨型多出现在 5, 6 月和 9 月, 这种雨型对应于大范围干旱事件的出现, 值得注意的是, 少雨型出现多的时期, 正是黄河型出现少的时期, 反之亦然; 另外, 5 月份 $R_3 \sim R_6$ 的出现频率都很高, 说明在研究汛期降水变化时, 应该考虑到 5 月份, 对于 9 月份也有类似情况。由此可见, 降水异常在季节内分布的变化很大, 并不是静态的, 一种雨型不会贯穿整个汛期, 因此, 研究导致降水异常的机理时, 着眼于季节内的大尺度异常过程, 考察雨型在季节内分布的气候特征, 应该是更为合理的。

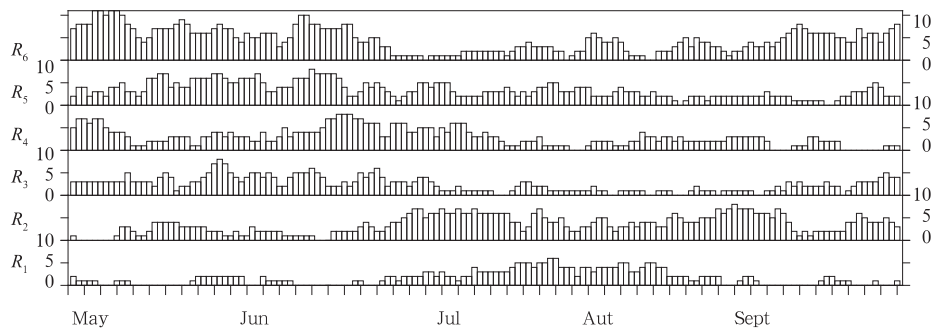


图4 5~9 月逐日 6 种雨型发生次数的 40 a 统计

Fig. 4 Numbers of daily 40-year cumulation associated with the six rainfall regimes of the LF20 from May to September

表 3 给出了 1962~2001 年逐年新雨型分布,同时列出了以往两种分型方案^[1,7]作为比较。由此可见,每年都有不同的雨型出现,这反映出大尺度异常降水的季节内变化,充分说明了夏季降水异常是由季节内的若干大尺度低频降水过程组成的;5 d 以上的长事件占有很大比例,而且几乎每年都有 10 d 以上的极端事件出现(例外的是,1987 和 1992 年最长事件为 9 d,1990 年最长仅为 7 d),这些长持续性事件有可能决定了整个汛期的雨型特征。我们希望每年汛期的整体雨型能够在出现的长雨型事件中找

到对应的,这在很多年份都是满足的,说明汛期雨型在物理上是实际存在的;但也有不满足的情况,例如,1975 年汛期被划分为 II 类和长江型^[7],但实际出现的长雨型事件是华南型、黄河型和少雨型,说明整体的长江—淮河多雨,仅是由于季节平均产生的。因此,将整个汛期看作一种雨型,存在一定局限,划分季节内雨型是很有必要的。另外,表 3 还表明各种雨型除了具有季节内演变特征,还存在着明显的年际和年代际变化,这将在以后的研究中加以讨论。

表 3 1962~2001 年逐年雨型分布
Table 3 Distribution of the regimes in 40 years

年份	6种新雨型	传统3类 ^[1]	王绍武等 ^[7] 分型	年份	6种新雨型	传统3类 ^[1]	王绍武等 ^[7] 分型
1962	4 5 5 5 4 5 4 5 1 2 1 2	II	5	1982	6 5 4 6 3 2 4	II	3
1963	4 3 2 3 2 6 5 1 3 2	II	3	1983	4 1 2 4 3 4 4 2	III	4
1964	6 3 2 6 5 4 3 2 3 1 2 2 2 3	I	1	1984	6 2 5 3 2 1 6 5 3	II	3
1965	6 5 5 6 5 6 3 5 6 4	II	3	1985	3 2 3 3 6 1 1 5 2 5	I	1
1966	6 6 3 6 5 4 2 6 2 6	I	1	1986	6 2 6 3 1 2 1 4 5 6 6 3 6	III	4
1967	4 2 3 1 6 6 4 3 2 6 2 3 6 3	I	2	1987	5 3 3 2 3 6 2 6 5 6 1	III	4
1968	6 6 5 1 6 5 5 4 6 3 6 2 3 6	III	5	1988	6 3 1 2 4 6 2 2 2 1 4 5 6	I	2
1969	5 4 5 6 6 4 4 1 4 1 6 2	III	4	1989	6 4 5 3 2 3 6 4 2 4 4 2	II	4
1970	4 5 3 6 5 4 2 6 5 1 4	III	5	1990	3 6 3 4 3 3 2 1 5 2 2 5 1	II	6
1971	2 3 6 4 3 2 6 5 5 2	II	3	1991	4 6 3 2 3 3 1 6 5 6	II	4
1972	5 3 6 3 6 5 2 3 1	II	6	1992	3 4 6 1 5 2 2 6 2 2	I	2
1973	5 4 5 3 4 2 1 6 1 2 3 4 3 2	I	1	1993	5 2 5 4 4 2 4 3 6 5	III	5
1974	5 4 3 1 6 5 4 5 3 5 6 1 3	III	6	1994	1 6 6 3 4 5 2 1 5 1 5 6	I	1
1975	4 5 6 5 6 3 2 5 2 1 6 2 3	II	4	1995	4 6 4 4 5 2 1 3 2 6	I	1
1976	5 6 5 5 5 2 5 2 3 4 6 2	I	2	1996	3 6 5 3 6 3 4 1 1 5 6 6 3 6	III	4
1977	4 5 1 5 4 1 2 1 2 4 6 6 2 6 5	I	5	1997	6 6 4 6 5 6 5 4 6 5	III	5
1978	3 5 1 6 2 6 2 2 6 6 2 6 1 6	I	6	1998	1 3 2 4 3 2 1 4 3 2 6 6 6	III	4
1979	6 3 6 1 2 3 3 2 6 4 3 5 6	II	2	1999	6 4 5 6 4 3 4 5 4 5 6 2	III	4
1980	5 6 3 2 1 3 2 6 4 3 1 6 6	III	4	2000	6 4 3 4 5 3 5 2 4 4 5 6 3	II	3
1981	6 5 6 2 1 5 6 2 3 2 6 5	I	2	2001	4 6 6 5 5 2 5 2 5 6 2	III	6

注:表中数字1~6分别表示对应雨型的序号;黑体数字表示持续时间≥5 d的雨型事件,下划线表示持续时间≥10 d的事件。

6 小 结

汛期降水存在明显的低频变化特征,在讨论大尺度异常降水分布时,不应只是针对月、季平均的雨型而言,应该关注季节内经常出现的、并具有持续性特点的大尺度异常雨型。在使用二维相平面 PDF 研究分型的基础上,本文进一步在前 8 个主要 EOF 模态支撑的相空间中,采用聚类分析方法划分了 6 种季节内的雨型:东北型、黄河型、秦岭淮河型、长江江南型、华南型和少雨型。分析表明,这 6 种雨型的物理意义明确,具有较好的持续性,优于使用二维 PDF 的划分结果,从而说明相空间中的聚类分型是

整体性和区域性兼顾的划分方式,同时也证实了多维相空间的不均匀性特征。

统计结果也显示,新雨型在季节内交替出现,能够反映出大尺度异常降水的低频演变特征,并且具有不同于季风雨带变化的特点,这在中国东南部雨量偏多地区很明显,因此,深入研究雨型的季节内分布规律,例如少雨型和黄河型之间的关系问题,有可能增加我们对夏季低频降水时空变化特征的了解。进一步考察了历史上大尺度异常雨型事件的出现情况,通过与以往分型对比,证明新雨型的划分是客观和合理的。本文划分季节内大尺度异常雨型,目的就是深入认识夏季低频降水的时空特征。在实际应

用之前还有很多问题需要解决, 我们还不清楚形成这些雨型的物理过程以及与外强迫异常的关系, 需要通过大量的个例和合成分析加以研究, 这也是我们下一步着重进行的工作。

参考文献

- [1] 廖荃荪, 陈桂英. 北半球西风带环流与我国夏季降水. 见: 全国中长期预报经验交流会编辑组编. 长期天气预报文集. 北京: 气象出版社, 1981. 103~114
Liao Quansun, Chen Guiying. The west circulation in northern hemisphere and summer rainfall in China. In: Edition Group of Symposium of Mid-long Range Forecasting Experience, Ed. Corpus of Long-range Weather Forecasting (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1981. 103~114
- [2] 邓爱军, 陶诗言, 陈烈庭. 我国汛期降水的 EOF 分析. 大气科学, 1989, 13(3): 289~295
Deng Aijun, Tao Shiyun, Chen Lieting. EOF analysis of flood-season rainfall in China. Chinese J Atmos Sci(in Chinese), 1989, 13(3): 289~295
- [3] 李维京, 丑纪范, 李连生. 中国汛期降水异常的时空演变规律研究. 见: 章基嘉, 黄荣辉主编. 长期天气预报和日地关系研究. 北京: 海洋出版社, 1992. 53~61
Li Weijing, Chou Jifan, Li Liansheng. Study on spatio-temporal evolution features of flood-season rainfall anomalies in China. In: Zhang Jijia, Huang Ronghui, Eds. Researches on Long-range Weather Forecasting and the Sun-earth Relationship (in Chinese). Beijing: China Oceanological Press, 1992. 53~61
- [4] 赵汉光, 张先恭. 我国东部夏季雨带的气候分类及其环流特征. 气象, 1993, 19(9): 3~8
Zhao Hanguang, Zhang Xiangong. The climatic classification of summer rain belt in eastern China and their circulation features. Meteorological Monthly (in Chinese), 1993, 19(9): 3~8
- [5] 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. 大气科学, 1994, 18(5): 586~595
Chen Lieting, Wu Renguang. Climatic division of precipitation in eastern China and drought-flood variation in various regions. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 1994, 18(5): 586~595
- [6] 王晓春, 吴国雄. 利用空间均匀网格中对我国夏季降水异常区域特征的初步分析. 气象学报, 1996, 54(3): 324~332
Wang Xiaochun, Wu Guoxiong. Regional characteristics of summer precipitation anomalies over China identified in a spatial uniform network. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 1996, 54(3): 324~332
- [7] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢等. 中国东部夏季降水型的研究. 应用气象学报, 1998, 9(增刊): 65~74
Wang Shaowu, Ye Jinlin, Gong Daoyi, et al. Study on the patterns of summer rainfall in eastern China. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 1998, 9(supple): 65~74
- [8] 熊敏谔, 陈菊英. 中国 7 月降水分型及其成因. 气象, 2001, 27(6): 43~46
Xiong Minquan, Chen Juying. Precipitation distribution pattern of China in July and its cause. Meteorological Monthly (in Chinese), 2001, 27(6): 43~46
- [9] 陈兴芳, 赵振国. 中国汛期降水预测研究及应用. 北京: 气象出版社, 2000. 241pp
Chen Xingfang, Zhao Zhenguo. Researches on Precipitation Prediction of Flood Season and its Applications in China (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 241pp
- [10] 王绍武. 现代气候学研究进展. 北京: 气象出版社, 2001. 141~158
Wang Shaowu. Advance in Modern Climatological Studies (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 141~158
- [11] 任宏利, 高丽, 张培群等. 相空间中划分大尺度雨型的初步研究. 气象学报, 2004, 62(4): 459~467
Ren Hongli, Gao Li, Zhang Peiqun, et al. Primary study on identifying anomalous large-scale rainfall regimes in phase space. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2004, 62(4): 459~467
- [12] 朱抱真, 张瑞雪, 林学椿. 利用 EOF 相空间分析东亚梅雨旱涝长期过程的初步研究. 大气科学, 2001, 25(6): 817~826
Zhu Baozhen, Zhang Ruixue, Lin Xuechun. A preliminary study of the Meiyu long-range processes in EOF phase space. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 2001, 25(6): 817~826
- [13] Mo K C, Ghil M. Cluster analysis of multiple planetary flow regimes. J Geophys Res, 1988, 93D: 10927~10952
- [14] Tian S-F, Yasunari T. Time and space structure of interannual variations in summer rainfall over China. J Meteor Soc Japan, 1992, 70: 585~595
- [15] 崔茂常, 朱海, 白学志等. 中国日降水量变化特征分析. 大气科学, 2000, 24(4): 519~526
Cui Maochang, Zhu Hai, Bai Xuezhi, et al. An analysis of daily rainfall variability in China. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 2000, 24(4): 519~526

FURTHER STUDY ON IDENTIFYING ANOMALOUS LARGE-SCALE RAINFALL REGIMES IN PHASE SPACE

Ren Hongli

*(College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000;
Laboratory of Climate Studies, National Climate Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081)*

Gao Li

(LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Zhang Peiqun Li Weijing

(Laboratory of Climate Studies, National Climate Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract

Using a 40-year daily precipitation dataset including 134 stations from 1962 to 2001, the large-scale distribution patterns of precipitation anomalies over China were investigated. In the phase space spanned by the first 8 EOFs generated from the 20-day low-pass filtered data, the six rainfall regimes (RRs) were identified by applying a cluster analysis method, namely, the northeastern China regime, Yellow River regime, Qinling-Huaihe regime, Yangtze River with its south regime, Southern China regime, and rainless regime. Analyses show that the new RR exhibits good persistence and evident physical sense, and excellently represent both of countrywide and regional features, which also demonstrate the inhomogeneity of multi-dimensional phase space. Furthermore, it is more important that the new RR can describe intraseasonal dynamic characteristics of large-scale rainfall anomalies, which is the most significant difference between the new RR and the conventional season average rainfall patterns. On the other hand, the climatic characteristics of daily distributions of the RR events, as well as the 40-year panorama of the RR occurring were also investigated, which further document reasonableness and objectivity of the RR with intraseasonal variability, and are likely to present more helpful information for short-range climate forecast, compared with other previous classical rainfall patterns.

Key words: Phase space, Rainfall regime, Summer rainfall, Cluster analysis.