

相空间中划分大尺度异常雨型的初步研究*

任宏利

(兰州大学大气科学学院, 兰州, 730000; 中国气象局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)

(中国气象局气候研究开放实验室, 北京, 100081)

摘 要

文中针对以往雨型研究中的不足, 从动力学角度将相空间引入到大尺度异常雨型的划分, 通过估计 EOF 相平面上的概率密度函数, 并确定局部极大值区域来划分主要雨型。分析表明, 新雨型不仅再现了传统的 3 类雨型特征, 还得到了其他分型, 并且能够反映出异常降水分布的季节内低频变化; 分别采用 10 和 20 d 低通滤波数据划分的雨型形态比较接近, 但其种类、持续性和季节内分布等特征存在一定差异; 雨型的气候分布与季风雨带有一定对应关系, 其形成与夏季风异常关系密切。通过对简单直观的二维相平面问题的探讨, 不仅证实了在相空间中划分大尺度雨型的可行性, 也为进一步在高维空间中讨论雨型问题提供了依据。

关键词: 相空间, 降水, 雨型, EOF, 概率密度函数。

1 引 言

降水是最为重要的气象要素之一, 准确预报降水一直是气象工作者追求的目标。目前, 降水预报和预测的整体水平依然不高, 特别是月、季至半年尺度的降水形势预测方面^[1~3]。造成这种现状的原因很多, 其中一个基本且重要的问题就是对于大尺度异常降水的分布特征(雨型)的认识还远远不够, 因此, 如何划分雨型的研究就显得很重要。现在业务上广泛使用的划分方式为: 北方型、中间型和南方型^[2~4], 即传统的 3 类雨型, 它们主要是由季节平均的异常降水量得到, 反映的是中国东部地区异常降水分布的年际变化特征。但这种由平均图划分的雨型仍属于形态学的静态描述, 无法反映异常降水分布在季节内的演变特征, 与大气环流甚为重要的低频变化过程相脱离, 对短期气候预测无法给予有效的指导, 这一问题也存在于其他的雨型划分工作中^[5~10]。事实上, 异常降水的分布是不断变化的动态过程, 研究大尺度异常雨型的季节内变化特征及其分布规律, 将有助于人们深入认识影响中国乃至东亚地区旱涝变化的物理机制, 为中长期预报和短期气候预测服务。

非线性动力系统理论表明, 混沌吸引子的维数要比整个系统的维数小得多^[11]。大气是强迫耗散的非线性动力系统, 降水则是大气中不同尺度运动相互作用的产物, 是大气行为的一种表现形式, 因此降水量在相空间中会趋向低维吸引子演化, 即逐日观测的状态点逐渐向对应大尺度异常降水的模态聚集, 在低维相空间中形成局部的极大值区域, 中小尺度模态则分布于其中, 在物理空间中, 这些峰值区域就对应着经常出现的大尺度异常降水分布型。一旦采用某种办法区分出主要雨型, 我们就可以根据历史资料考察雨型之间的变化规律, 这也恰好体现了雨型的季节内变化特征, 从而为短期气候预测提供信息。

本文将针对传统雨型无法反映季节内变化的不足, 使用逐日降水资料, 在相空间中试图划分能够反映季节内变化特征的新雨型, 初步探讨这些雨型的主要特征。

2 数 据

本文所用数据为国家气象中心提供的 1962 年 1 月 1 日到 2001 年 12 月 31 日 40 a 逐日降水观测资料。为了与传统 3 类雨型进行比较, 我们按照与

* 初稿时间: 2003 年 11 月 14 日; 修改稿时间: 2004 年 2 月 9 日。

资助课题: 国家自然科学基金项目(40375025)和(40135020); 国家气象中心项目(ZK2002G-07)。

传统分型类似的做法,选取了 160 个标准台站,同时,也为了使后面 EOF 分解的空间自由度不至于太大。

为了集中考察中国夏季汛期雨型的变化特征,我们取每年 6~8 月共 92 d 的逐日资料,40 a 总计 3680 d 的样本,作为原始数据序列。对于每个站点,季节循环通过对逐日的 40 a 平均值作 5 d 滑动平均得到,然后在原始序列中去掉这个季节循环,得到了逐日距平值。由于逐日降水资料中 0 记录非常多,时间上的高频波动变化剧烈,会导致 EOF 分析的方差过于分散,以致于难以提取主要雨型的信息,而我们的工作着眼点在于低频变化的大尺度异常型,通过试验发现,10 d 以上的 Gauss 低通滤波数据能较好地满足分析的目的,一方面使方差明显集中,序列变得平滑,另一方面又尽可能地保留了有价值的低频变化信息。我们对距平序列分别进行了 10 和 20 d 的 Gauss 低通滤波处理,得到的数据样本分别记为 LF10 和 LF20,由于两者保留的数据信息所包含的尺度存在明显差异,因此由它们分别得到的雨型会有差异,这在后文中再加以详细分析说明。

表 1 6~8 月每种数据 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 every data from June to August

EOF	UNF		LF10		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
1	4.14	4.14	7.20	7.20	7.96	7.96
2	3.50	7.64	5.63	12.83	6.23	14.19
3	2.80	10.44	4.31	17.14	4.88	19.07
4	2.70	13.15	3.87	21.01	4.11	23.17
5	2.35	15.50	3.11	24.12	3.24	26.42
10	1.64	24.85	1.93	35.61	2.06	38.26
15	1.25	31.72	1.42	43.41	1.48	46.56
20	1.01	37.30	1.02	49.22	1.10	52.69
25	0.87	41.91	0.86	53.86	0.89	57.61

总体来讲,3 种数据 EOF 展开的收敛速度是相对较慢的。经过滤波的数据要比未经滤波的收敛迅速;20 d 滤波的方差贡献要略高于 10 d 滤波的,前者保留了持续时间更长、空间尺度更大的低频变化信息。

4 二维概率密度函数(PDF)估计

由于大气中经常出现持续性的异常雨型,使得

前面未进行滤波的数据记为 UNF。考虑到进行滤波过程中的边界问题,我们在滤波时使用了延长的时间序列,即在每年 5~9 月的资料上进行滤波运算,然后根据需要截取 6~8 月的时间序列。另外,为了消除不同地区降水距平量级上的气候差异,我们在进行雨型分析时,使用了上述数据序列的标准化形式。

3 经验正交函数(EOF)分解

由于本文选取了 160 个空间点,意味着支撑相空间的维数达到 160,因此,为了提取降水量变化的主要模态,在相空间中考察大尺度雨型的结构,就必须降低相空间的维数,实践证明,EOF 分解是实现上述目的的一种简便实用的数学工具^[12~14]。我们分别对 UNF, LF10 和 LF20 进行了 EOF 分解,表 1 给出了 EOF 各自方差所占的百分比和累积百分比情况,同时还按照 North 等^[15]方法计算了特征值的误差范围(表中未列出),并使用它们进行了检验,表明表中所给特征值对应的经验正交函数都是显著的。

EOF 相空间中的概率密度函数呈现出明显的不均匀性。如果拥有无限多的观测样本,从理论上我们就能计算出由任意多个 EOF 支撑的相空间中的概率密度函数,而且随着选取的 EOF 的数目逐渐增加,相空间中 PDF 的高值区域会逐渐增多,当 EOF 达到一定数量时,PDF 的主要特征将趋于稳定,不依赖于相空间维数的增加而变化,这样 PDF 的分布就能提供我们需要的全部统计信息,但究竟我们在

多少维的相空间中划分雨型, 只能依赖于进行大量的试验。

事实上, 我们能够提供的独立样本数是相当有限的, Kimoto 和 Ghil^[16] 在进行北半球冬季环流型的分析中选取的样本为 3330 个, 其中相互独立的事实大约在 300 和 700 之间, 使得选取的子空间维数不能大于 4, 即引入 EOF 的个数不能超过 4 个, 否则估计出的 PDF 在统计意义上是不准确的。而本文所使用的样本数为 3680, 与 KG 的样本数接近, 这样就限制了 EOF 个数也不应超过 4, 而后面数据还要进行筛选, 样本数还要减少, 所能允许的相空间维数应小于 4。另一方面, 从表 1 中 EOF 的累积方差百分比可以看出, 理论上较为全面地考察大尺度降水的低频变化特征, 如果以接近 50% 为准, 那么 EOF 的个数至少应该在 15 个以上。可见, 在统计的可行性和理论的期望之间差距很大。

结合本文的目标, 即试图找到反映异常降水分布季节内变化的雨型, 同时为直观形象地阐述在相空间中分型的思路 and 过程, 我们将使用由前两个首要 EOF 支撑的二维相空间中的 PDF 来分析雨型;

而且, 通过在二维相平面上分型的可行性, 为在高维空间中探讨相应问题提供依据。Gutowski 等^[17] 在研究区域气候模拟的季节降水赤字问题时, 就是使用了二维空间的“self-organizing maps”方法来考察美国的降水分布特征。因此, 仅使用前两个 EOF 分型的结果是否具有代表性, 并不是问题的关键, 重要的是看分型结果是否合理, 能否反映季节内变化, 并要兼顾方法本身的合理性和可行性。我们将每个时次 PC1 和 PC2 的数对作为二维相平面上的一个点, 然后估计 PDF 的分布, 方法详见 KG 第 3 节 b 和附录说明。

5 10 d 低通滤波

10 d 低通滤波去掉了天气尺度变化, 保留了大气运动的低频变化信息。图 1 给出了 LF10 数据前两个 EOF 的空间分布特征, 可以看出, EOF1 表现为南负北正型的反相分布, 分界线位于长江; EOF2 表现为中间负、南北正的带状分布型, 负异常中心位于江淮流域。

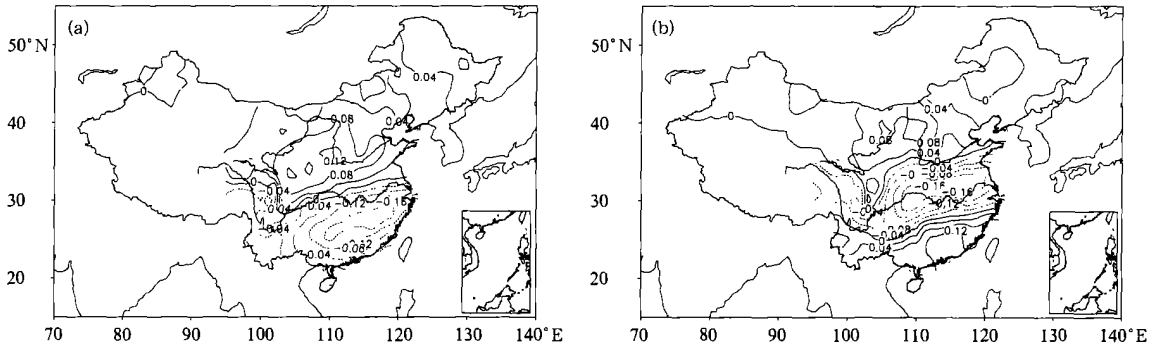


图 1 LF10 数据的前两个 EOF 模式
(a. EOF1, b. EOF2)

Fig. 1 Spacial patterns of EOF1 (a) and EOF2 (b) of the LF10 data

5.1 二维相空间中的 PDF

图 2 给出了二维相空间的 PDF 分布。图 2a 对应于所有样本, 它并没有显现出明显的等值线峰值, 却存在着相对于二元高斯分布的偏差构成的脊。由于使用的数据序列中包含有许多“噪音”会干扰有用信息的提取, 因此, 我们对每个样本考察其前 m 个 PC 的均方差是否大于剩余 PC 的均方差, 如果认为前者是“信号”, 后者是“噪音”的话, 即选取信噪比 (S/N) 大于 1 的样本, 记为 SNR 数据。参照表 1, LF10 数据的前 20 个 EOF 的方差贡献达到约

50%, 如 m 取为 2, 就选取了 1513 个样本, 它们被认为拥有相对更多的异常“信息”。图 2b 给出重新计算的二维 PDF 分布, 可以清楚看出, 对应于图 2a 的脊线位置上出现了明显的峰值或突起, 空间不均匀特征更加明显; 图 2c 为前 25 个 EOF 得到的 SNR 数据计算的 PDF, 不均匀特征与图 2b 基本相似。

由于我们考察的对象是相对于气候平均的显著大尺度降水异常型, 接近于平均态的小振幅状态(即相空间中接近于原点的), 在进行分析时不予考虑。经过比较, 我们在图 2 的相平面上选取了位于原点

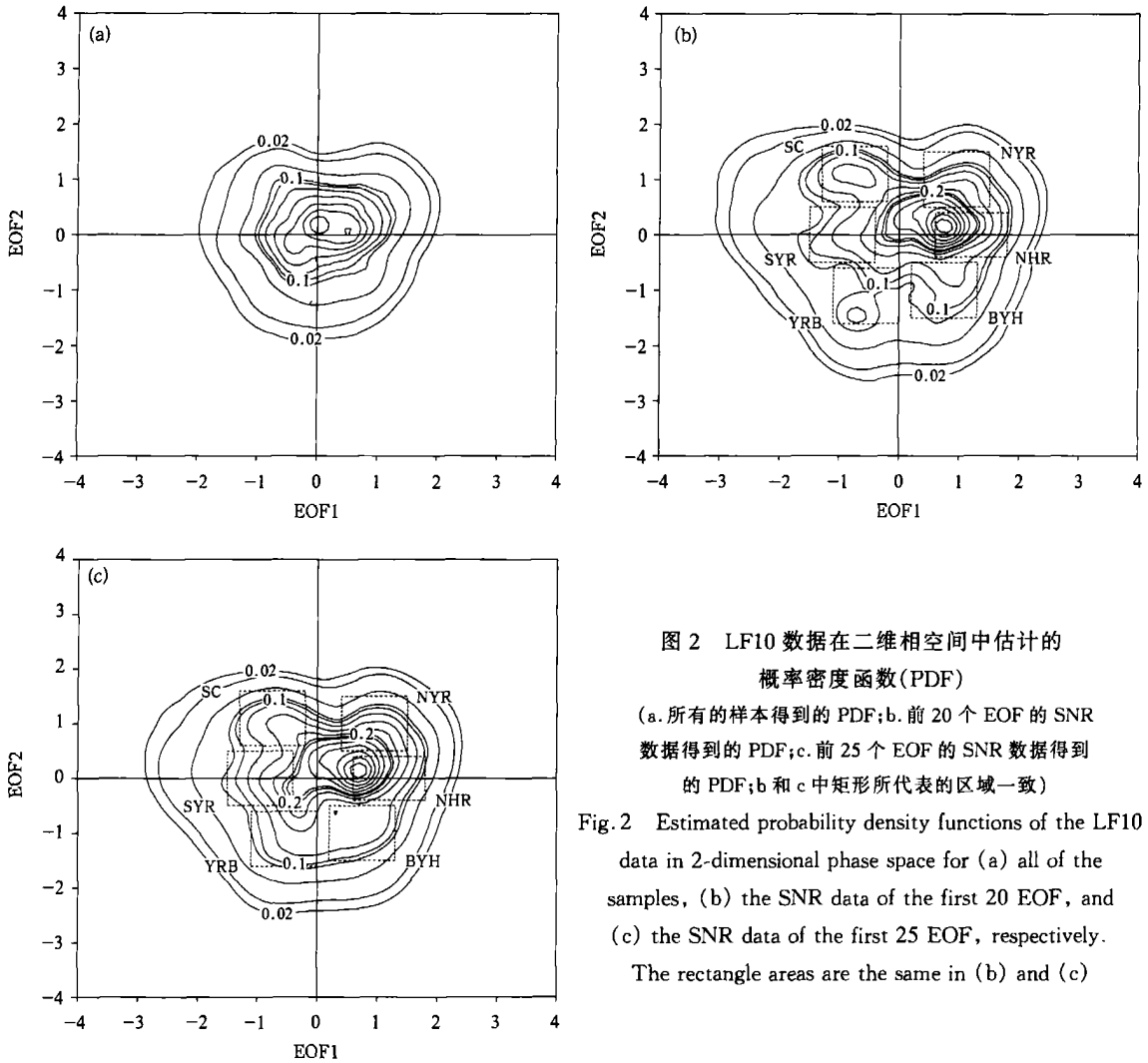


图 2 LF10 数据在二维相空间中估计的概率密度函数(PDF)

(a.所有的样本得到的PDF;b.前20个EOF的SNR数据得到的PDF;c.前25个EOF的SNR数据得到的PDF;b和c中矩形所代表的区域一致)

Fig.2 Estimated probability density functions of the LF10 data in 2-dimensional phase space for (a) all of the samples, (b) the SNR data of the first 20 EOF, and (c) the SNR data of the first 25 EOF, respectively. The rectangle areas are the same in (b) and (c)

外围的6个PDF相对大值区(矩形区域),分别标记为NYR, YRB, BYH, SC, SYR和NHR,将它们作为分型考察的对象,缩略词的意义反映了各个区域对应雨型的地理特征(5.2节有具体说明)。表2列举了矩形区域在相平面上的具体位置。

表2 LF10 数据在二维相空间中划分的雨型区域信息
Table 2 Regional information of the rainfall regimes identified in 2-dimensional phase space of the LF10 data

代号	区域名	PC1 范围	PC2 范围
1	NYR	[0.4, 1.5]	[0.5, 1.5]
2	NHR	[0.6, 1.8]	[-0.4, 0.4]
3	BYH	[0.2, 1.3]	[-1.5, -0.5]
4	YRB	[-1.1, 0.0]	[-1.6, -0.6]
5	SYR	[-1.5, -0.4]	[-0.5, 0.5]
6	SC	[-1.3, -0.2]	[0.6, 1.6]

5.2 分型

对于上面的6个PDF高值区,我们将图2b或c中每个矩形所包括的样本进行统计,得到了雨型的相关信息(表3)。按时间顺序,从雨型出现到结束称为该雨型的一个事件,所经历的天数记为持续时间。可见,6种雨型的持续时间均较短,平均为2.27d,而且每种雨型所对应事件的持续时间主要集中在5d以内。这体现了降水量变化剧烈的特点,也从另一方面反映出降水预报和预测的难度的确很大。

在物理空间中,对每种雨型的样本分别进行算术平均,得到了6张异常合成图(图3),并对合成结果进行了u检验,图中阴影区表示达到了0.05的显著性水平,雨型的命名按照显著正异常区域对应的地理位置。

NYR型(North of Yellow River regime)的主要

表 3 LF10 数据在二维相空间中的分型信息

Table 3 Information of the rainfall regimes identified in 2 dimensional phase space of the LF10 data

分型	样本个数	事件个数	给定持续时间(d)的事件个数										持续时间
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥10	
NYR	296	121	44	32	20	13	7	1	0	3	0	1	2.45
NHR	336	158	74	41	17	11	10	1	3	1	0	0	2.13
BYH	248	120	50	37	15	12	5	1	0	0	0	0	2.07
YRB	241	124	57	37	19	4	5	2	0	0	0	0	1.94
SYR	400	163	63	42	30	8	8	5	3	2	0	2	2.45
SC	271	104	26	36	21	12	2	3	1	0	3	0	2.61
总计	1792	790	314	225	122	60	37	13	7	6	3	3	平均 2.27

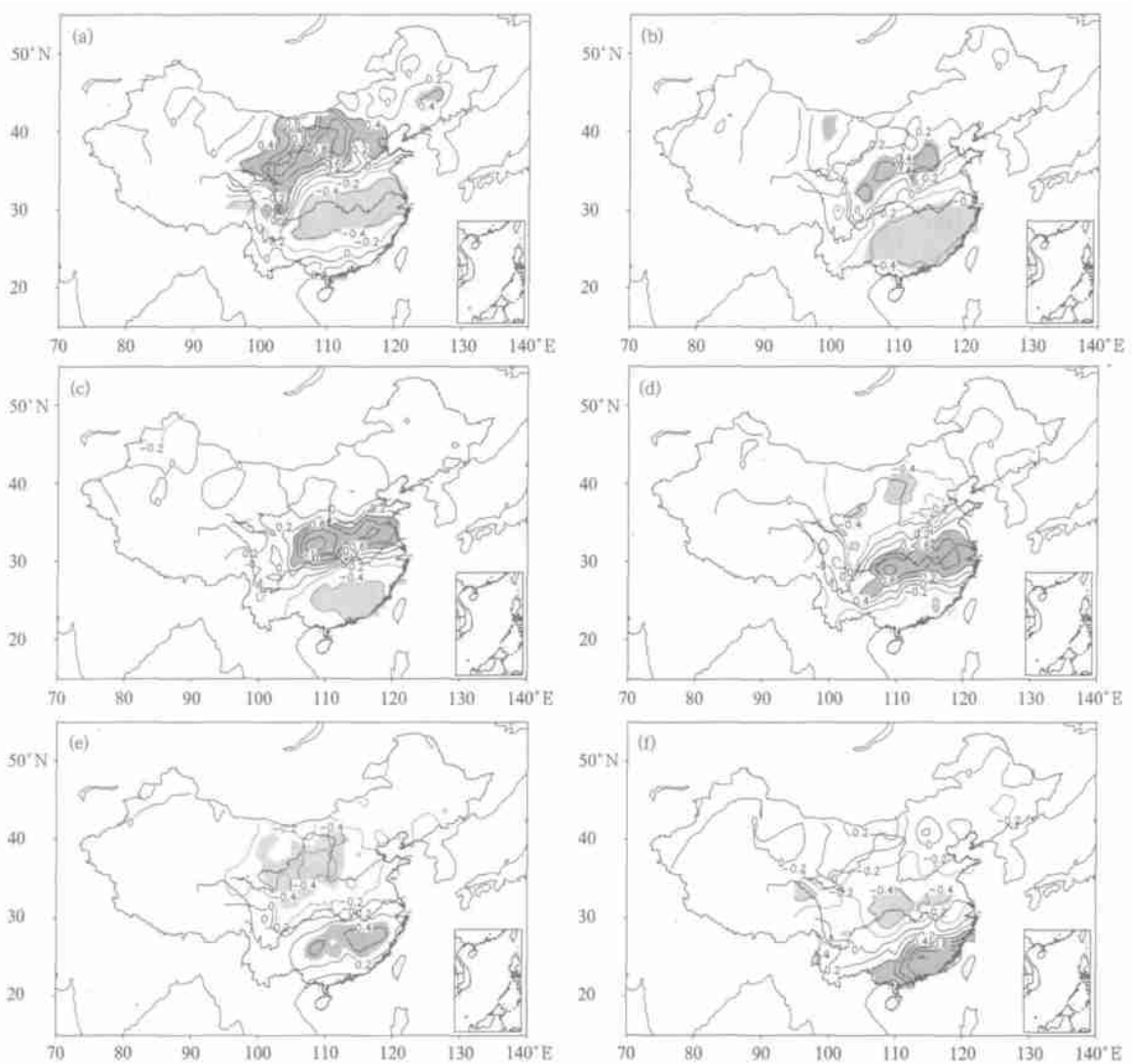


图 3 LF10 数据在二维相空间中划分的雨型合成图

(a. NYR 型, b. NHR 型, c. BYH 型, d. YRB 型, e. SYR 型, f. SC 型; 阴影区为达到 u 的 95% 信度水平区域)

Fig. 3 Composite maps of the rainfall regimes identified in 2 dimensional phase space of the LF10 data

(a. NYR regime, b. NHR regime, c. BYH regime, d. YRB regime, e. SYR regime, f. SC regime;

The dark and light shadings indicate significant at the 95% confidence level of u -test)

特征是显著多雨区位于黄河流域及以北, 中心位于黄河中上游, 长江流域是大片负异常区, 华南地区南部为相对多雨区, 与传统分型的 I 类雨型(北方型)非常相似。而 YRB 型(Yangtze River Basin regime)与 NYR 型的情形几乎完全相反, 显著的正异常中心位于长江流域, 华南和黄河流域呈现相对较弱的负异常分布, 这是由于在相平面上 YRB 型的位置几乎与 NYR 型相对于原点对称。

BYH 型 (Between Yangtze and Huanghe regime) 的显著正异常中心位于黄河至长江之间的淮河流域及其以西地区, 长江以南为大片负异常区, 这个雨型与传统 II 类雨型(中间型)很相似。SC 型(South China regime)则几乎是 BYH 型的反相分布, 长江以北的淮河流域变成了较弱的少雨区, 显著多雨中心位于华南地区。

SYR 型(South of Yangtze River regime)基本对应于传统分型的 III 类雨型(南方型), 主要的显著正异常区位于长江流域及其以南, 淮河以北大部分地区为负异常。NHR 型(North of Huaihe River

regime) 与 SYR 型的特征几乎完全相反, 淮河以南为大片少雨区, 中心位于江南一带, 显著多雨中心主要位于黄河中下游地区。

由分型结果可以看出, 2 个 EOF 撑起的相平面上 PDF 的分型信息已经基本能够反映出传统三类雨型特征, 而且还给出了其他分型, 这充分说明了前述思路和方法的合理性。可以预见, 随着维数的增加, 相空间中的个别雨型将保持不变, 而另一些 PDF 极大值区域将发生分化, 它们包含的样本会与其他样本进行重组, 从而形成更加客观真实的稳定分型。

新分型的优点在于能够给出雨型的季节内变化, 为此, 我们把上述分型(用 $R_1 \sim R_6$ 分别表示)进行了逐日的 40 a 累加(图 4)。可以看出, 每种雨型在出现时间的气候分布上明显不同, 不同的时间段有相应的优势雨型, 反映出了降水异常分布的季节内动态演变过程, 这对于我们进一步认识大尺度降水异常的时空分布很有帮助, 而这一特征在以前的分型研究中无法反映。

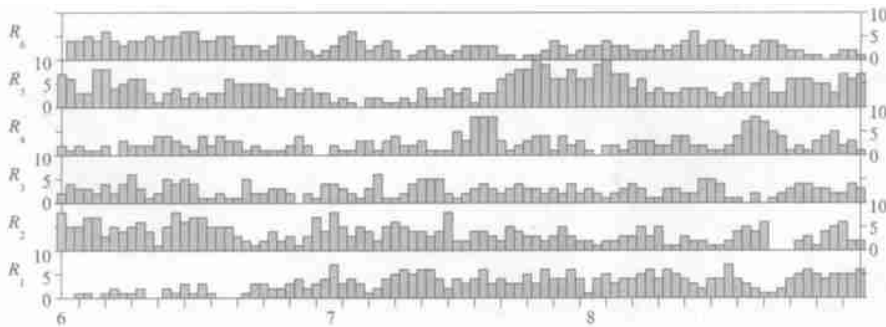


图 4 LF10 数据的 6 种雨型在 6~8 月逐日的 40 a 累加次数

Fig. 4 Number of daily 40 years cumulation associated with the six rainfall regimes of the LF10 data

我们知道, 实际雨带的移动是与夏季风的推进或撤退相伴随的, 当夏季风出现异常时, 就会出现降水的异常分布(雨型)。从图 4 中可见, 一方面雨型的发生倾向与同区域实际季风雨带出现的气候时间相对应, 例如, 位置偏北的雨型出现偏晚, 反之亦然; 另一方面, 也有很多情况与这种对应关系并不一致。由于我们去掉了数据中的季节循环, 因此所反映的异常降水的分布特征, 与实际雨带并没有必然联系, 显然与夏季风的异常变化关系密切。

6 20 d 低通滤波

20 d 低通滤波去掉了天气尺度和准两周振荡,

保留了大气中极为重要的季节内低频振荡, 这是短期气候预测中甚为关注的部分。LF20 的前两个 EOF 模态与 LF10 的很相似, 只是雨带位置和强度略有差异(图略)。我们采用与 LF10 同样的方式, 计算了二维相空间的 PDF(图 5)。

图 5b 或 c 上有 5 个明显的 PDFs 高值区, 对应于图 5a 中向外围突起的脊。相应地划分了 5 个矩形区域, 作为 LF20 数据的雨型, 详细信息列于表 4 中。

由于 5 种雨型样本合成图与 LF10 的雨型图非常相似, 因此, LF20 雨型的命名依然根据地理位置而使用前面的, 即: NYR, NHR, BYH, SYR 和 SC(图略)。相关信息见表 5。

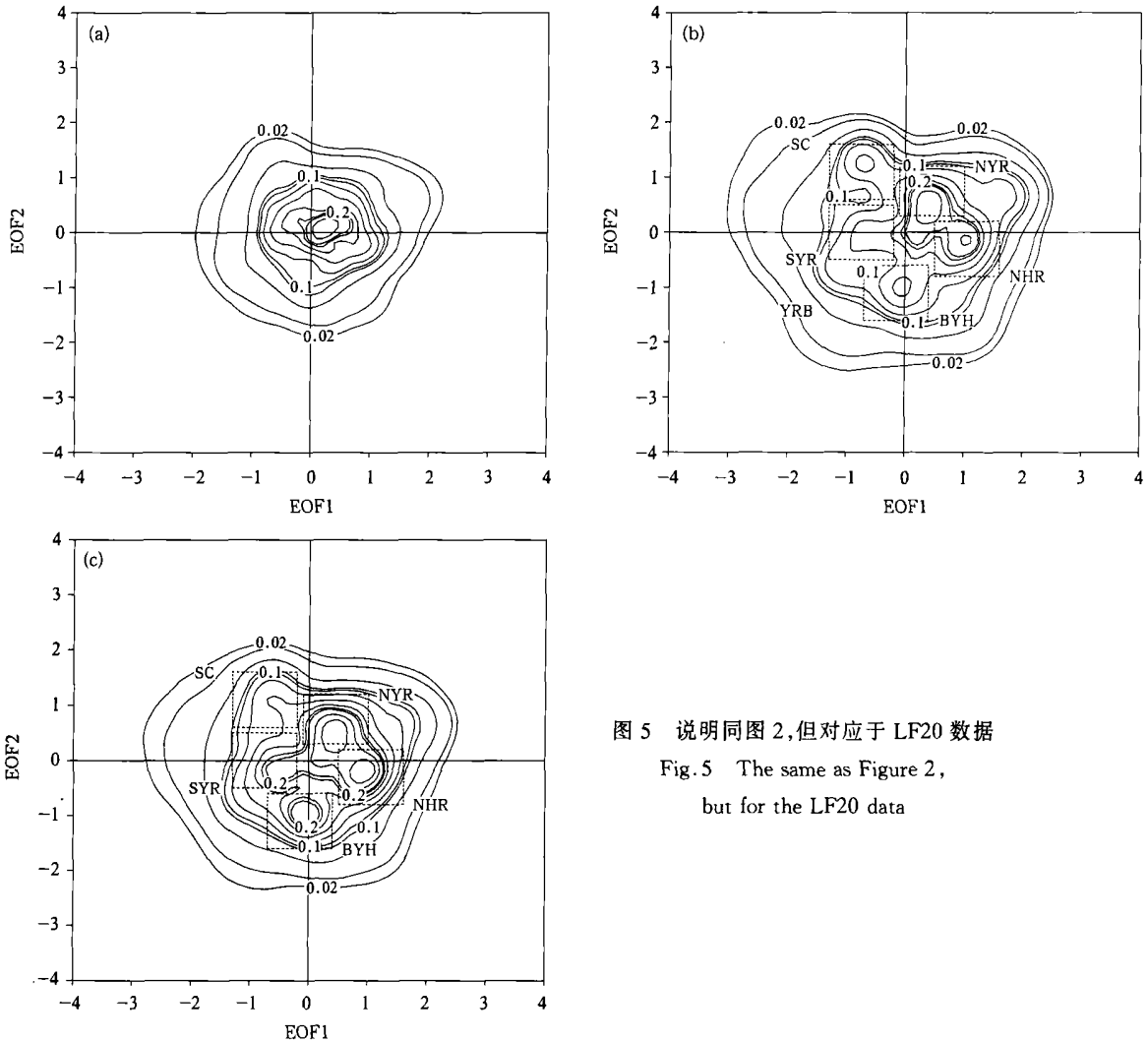


图 5 说明同图 2, 但对应于 LF20 数据
Fig. 5 The same as Figure 2, but for the LF20 data

表 4 LF20 数据在二维相空间中划分的雨型区域信息
Table 4 The same as Table 2, but for the LF20 data

代号	区域名	PC1 范围	PC2 范围
1	NYR	[- 0.1, 1.0]	[0.3, 1.2]
2	NHR	[0.5, 1.6]	[- 0.8, 0.2]
3	BYH	[- 0.7, 0.4]	[- 1.6, - 0.6]
4	SYR	[- 1.3, - 0.2]	[- 0.5, 0.5]
5	SC	[- 1.3, - 0.2]	[0.6, 1.6]

由表 5 可见, LF20 雨型的持续时间较 LF10 的明显加长, 平均达到 4.21 d, 而且持续时间在 5 d 以上的事件个数显著增多。如果把雨型生命史的长度当作降水量逐日预报的期限, 那么与 LF10 的持续性相比, LF20 雨型的“可预报期限”明显加长了。图 6 给出了 5 种雨型 40 a 累积的季节内变化, 各雨型在出现时间的分布上与 LF10 的基本相同, 但大尺度异常降水在不同地理位置的气候分布特征变得更为明显。

表 5 LF20 数据在二维相空间中的分型信息
Table 5 The same as Table 3, but for the LF20 data

分型	样本个数	事件个数	给定持续时间(d)的事件个数											持续时间
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥10		
NYR	442	101	16	18	19	16	10	2	4	4	2	10	4.38	
NHR	440	93	15	17	9	15	7	5	6	7	3	9	4.73	
BYH	313	78	13	19	14	10	9	2	3	3	0	5	4.01	
SYR	449	105	19	20	18	12	8	9	4	4	3	8	4.28	
SC	238	65	17	10	12	10	1	4	4	3	1	3	3.66	
总计	1882	442	80	84	72	63	35	22	21	21	9	35	平均 4.21	

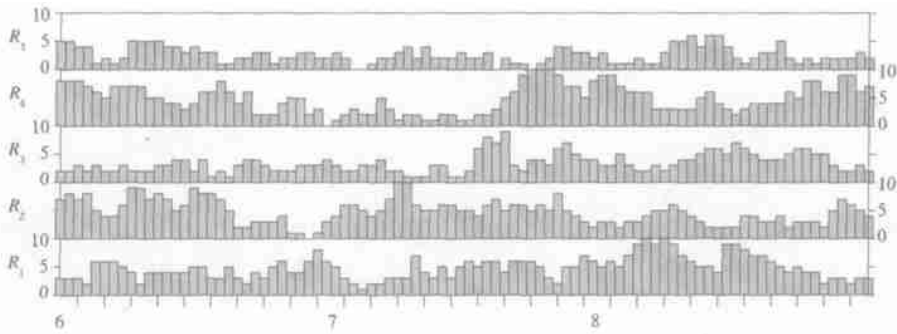


图 6 说明同图 4, 但对应于 LF20 数据

Fig. 6 The same as Figure 4, but for the five rainfall regimes of the LF20 data

另外, 由于文中所用数据仅去掉了季节循环, 实质上保留了年际以及更长尺度的变化, 这就使得新雨型不但具有季节内的演变特征, 也能够反映异常降水分布型的年际和年代际变化规律, 与夏季风相应尺度的异常变率结合分析, 能够增加我们对影响中国汛期旱涝变化机制的认识, 由于篇幅所限, 这里没有给出。

7 总结与讨论

本文针对传统雨型无法反映季节内变化的不足, 使用逐日降水资料, 从动力学观点将相空间引入到大尺度异常雨型的划分, 通过考察二维相平面上概率密度函数的聚集状态, 我们得到了大尺度异常降水的主要分型, 与传统雨型相比是合理的。更重要的是, 新雨型能够反映异常降水分布在季节或汛期时段内的变化, 这源于文中使用了逐日资料, 不是月平均或季节平均, 那会人为过滤掉短期预测中甚为重要的低频变化, 这也是本文与以往雨型研究的不同之处。另外, 分别采用 10 和 20 d 带通滤波数

据划分的雨型比较接近, 但雨型种类、持续性和季节内分布特征存在差异, 显示了不同尺度低频成份雨型的差别。雨型的气候分布与实际季风雨带有一定对应关系, 但也存在大量不对应的情形, 雨型的形成机制与夏季风异常关系密切。本文还从理论上讨论了将上述方法推广到多维相空间的合理性。

通过简单直观的二维问题的探讨, 我们得到了能反映季节内变化特征的新雨型, 不仅证实了在相空间中划分雨型的可行性, 也为进一步在高维空间中讨论雨型问题提供了依据。因此, 对本文而言, 仅使用前两个 EOF 已经达到了分型的目的, 但为描述更为真实的雨型及其特征, 客观上需要增加相空间维数。正如引言中所述, 吸引子的维数要远低于实际系统的维数, 对于不同的数据对象, 选取的维数显然会有所不同, 究竟在多少维的相空间中划分雨型, 需要进行相关的理论分析和大量试验, 同时还要注意独立样本数量对于 PDF 估计准确性的限制, 这些问题在后面工作中将进一步探讨。

参考文献

- 1 丑纪范, 徐明. 短期气候数值预测的进展和前景. 科学通报, 2001, 46(11): 890~ 895
- 2 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
- 3 王绍武. 现代气候学研究进展. 北京: 气象出版社, 2001. 141~ 158
- 4 廖荃荃, 赵振国. 中国东部夏季降水分布的季度预报方法. 应用气象学报, 1992, 3(增刊): 1~ 9
- 5 邓爱军, 陶诗言, 陈烈庭. 中国汛期降水的 EOF 分析. 大气科学, 1989, 13(3): 289~ 295.
- 6 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
- 7 朱乾根, 陈晓光. 中国降水自然区域的客观划分. 南京气象学院学报, 1993, 16(1): 13~ 21
- 8 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
- 9 王晓春, 吴国雄. 利用空间均匀网格中对中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
- 10 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
- 11 郝柏林. 分叉、混沌、奇怪吸引子、湍流及其它——关于确定论系统的内在随机性. 物理学进展, 1983, 3(3): 329~ 415

- 12 张邦林, 丑纪范. 经验正交函数在气候数值模拟中的应用. 中国科学(B辑), 1991, (4): 442~ 448
- 13 张培群, 丑纪范. 改进月延伸预报的一种方法. 高原气象, 1997, 16(4): 376~ 388
- 14 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
- 15 North G R, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. Mon Wea Rev, 1982, 110: 699~ 706
- 16 Kimoto M, Ghil M. Multiple flow regimes in the Northern Hemisphere winter, Part I: Methodology and Hemispheric Regimes. J Atmos Sci, 1993, 50: 2625~ 2643
- 17 Gutowski W J, et al. Diagnosis and attribution of a seasonal precipitation deficit in a U S regional climate simulation. J Hydrometeor, 2004, 5: 230~ 242

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

Ren Hongli

(College Atmospheric Science Lanzhou University, Lanzhou 730000;
Laboratory of Climate Studies, 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, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract

In order to overcome the limitation of traditional rainfall patterns in reflecting intraseasonal variation, new anomalous large-scale rainfall regimes are identified in this paper, by introducing the phase space in terms of a dynamical point of view, and estimating probability density functions in the phase plane spanned by the first two EOFs, as well as examining local maximum regions. The analyses show that the new rainfall regimes reproduce not only the three kinds of traditional rainfall patterns and the others, but also describe the intraseasonal features of anomalous precipitation distributions, which evidently can use the daily precipitation anomalies involving the very important low-frequency components in short-term climate forecasts. On the other hand, the rainfall regimes from the 10-day and 20-day low-pass filter data, respectively, are approximately accordant, though there exist also some obvious differences between them such as the characters of classification, duration, and intraseasonal distribution, which exhibits the distinct contributions of the two low-frequency scales to rainfall regimes.

Furthermore, in the present paper, the climatological distributions of rainfall regimes are in certain agreement with usual monsoon rainbelts in the flooding seasons, and the formation mechanism of rainfall regimes are closely associated with the corresponding summer monsoon anomalies. By investigating the visual and intuitional problems of 2-dimension phase plane, it is verified not only the rationality and feasibility of identifying large-scale anomalous rainfall regimes in the EOF phase space, but also presented the evidences of identifying rainfall regimes in multi-dimensional phase space.

Key words: Phase space, Precipitation, Rainfall regime, EOF, Probability density function.