

利用空间均匀网格对中国夏季降水异常区域特性的初步分析*

王晓春 吴国雄

(大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室(LASG),
中国科学院大气物理所,北京,100080)

摘要

用方差极大正交转动 EOF(Varimax EOF)及点相关图法分析了夏季总降水(6、7、8月降水之和)及逐月降水的区域特性。使用的资料为全国范围 47 个 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬度网格上的降水资料,分析时段为 1959—1994 年。分析结果表明,由于采用了空间均匀的格网资料,本分析除进一步证实了中国东部地区降水异常的区域特性外,也揭示了西部地区降水异常的区域特性及沿长江流域东西方向上降水异常的相互关系。夏季总降水异常最显著的区域特性是江淮流域与河套及华南反相关。另外沿长江流域,四川盆地的降水异常与青藏高原东部及江淮流域的降水异常也存在着反相关联系。西部地区的区域特性为青藏高原中东部南北两侧为负相关,并且青藏高原中东部南侧的降水异常与华北东部及东北南部为正相关。上述的空间模都有准 2—3a 及 10a 左右的周期。逐月降水的分析表明,6 月份,江淮流域、华北东部及东北大部分地区为正相关。7 月,河套地区与江淮流域的降水异常呈现一定的负相关联系,8 月份降水异常的区域特性与夏季总降水异常的区域特性极其一致。

关键词: 方差极大正交转动 EOF(Varimax EOF)分析,降水异常区域特性,夏季总降水,逐月降水。

1 引言

在天气实践中,人们已经注意到中国夏季降水异常往往呈现一定的空间分布,即不同地区的降水异常既具有一定的独立性又有一定的联系。以前这方面的工作主要利用台站资料进行(王绍武等,1979^[1],邓爱军等,1989^[2])。由于中国气象台站的分布特点为东部密、西部疏,因而以台站布点资料直接进行 EOF 分析一般主要揭示了东部地区降水异常的区域特性。为消除台站分布不均匀对结果的影响,本文使用了 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬度网格点上的降水资料进行类似分析,并与原用台站资料获得的结果进行比较。

本研究的另一特点是采用了方差极大正交转动 EOF(Varimax EOF)方法。比之传统的 EOF 分析方法,具有以下一些优点(Richman 等,1986^[3],黄嘉佑,1988^[4]):受区域的影响小(即得到的空间模对站点的分布不敏感);取样误差小;与遥相关型相似。尤其最后一个优点,对本文的研究十分重要,使得能方便地分析不同区域之间降水异常的相互关系。但这一方法本身无法检验不同区域之间降水异常相互联系的信度。因而本文也使用了直

* 初稿时间:1994年12月23日;修改稿时间:1995年10月13日。

资助课题:中国科学院“灾害性气候的预测及其对农业年景和水资源调配的影响”(编号 KY85-10)项目。

观点的相关图法。并在分析夏季总降水(6、7、8月降水量之和)区域特性的基础上,分析了逐月降水的区域特性。

近年的分析中,一些研究注意到了中国降水存在准两年周期振荡的现象(黄嘉佑, 1988^[5])。而降水异常的空间分布仅是降水异常区域特性的一个方面,空间模的年际演变当然也是一个值得讨论的问题,本文也讨论了空间模的时间演变特征。在介绍了本文所用的资料及方法之后,第3节分析了夏季总降水的区域特性,第4节分析了夏季逐月降水的计算结果,结论在第5节给出。

2 方法及资料

2.1 方差极大正交转动 EOF 分析

方差极大正交转动 EOF 分析的原理可以简单叙述如下(其详细的数学推导可参见文献[4])。对于一个资料矩阵 $A_{n \times m}$, 这里 n 为站点数(即空间), m 为样本数, 可将 $A_{n \times m}$ 分解为与空间及时间有关的两部分:

$$A_{n \times m} = V_{n \times n} T_{n \times m} \quad (1)$$

这里矩阵 $V_{n \times n}$ 的每一列为矩阵 $\frac{1}{m}AA'$ 的归一化特征矢量。 A' 为 A 的转置矩阵。

在 EOF 分析的基础上进行方差极大正交转动 EOF 分析。先将矩阵 $T_{n \times m}$ 标准化(以下我们略掉矩阵的下标, 如将 $T_{n \times m}$ 记为 T):

$$F = \Lambda^{-1/2} T$$

其中 Λ 为矩阵 $\frac{1}{m}AA'$ 的特征值所构成的对角阵。并记

$$L = V \Lambda^{1/2}$$

则

$$A = V \Lambda^{1/2} \Lambda^{-1/2} T = LF \quad (2)$$

在因子分析中, 称 L 为因子荷载阵, F 为因子阵, 且 L 为资料阵 A 与因子阵 F 的相关系数阵。在气象应用中, L 即为空间模。

这时可以对 F 进行转动(同时 L 也要转动), 而式(2)仍然成立。所谓方差极大正交转动即按照如下原则进行转动: 使得 L 阵中各列相对方差的和达到最大。在取前 p 个因子的情形下, 也就是使

$$S = \sum_{\alpha=1}^p \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_{i\alpha}^2}{h_i^2} \right)^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{l_{i\alpha}^2}{h_i^2} \right)^2 \right]$$

达到最大。其中 $h_i^2 = \sum_{\alpha=1}^p l_{i\alpha}^2$, $l_{i\alpha}$ 为矩阵 L 的元素。在 S 的表达式中, 取 $l_{i\alpha}^2$ 而不是 $l_{i\alpha}$ 是为了使最后结果中各列数值的变幅增大, 即使 L 阵中出现大的正值或负值。 S 表达式中的分母 h_i^2 是为了消除各列间的差别。

参加转动的主分量个数可依 Scree 法取(Cattell, 1966^[6]), 即首先将特征值依序绘成图, 考察特征值随序数的变化, 取最后一个明显的转折点之前的主分量进行旋转变换。在选择参加转动的主分量个数时, North 等(1982^[7])提出的判据也有一定意义, 当样本数为 m 时, 特征值 λ 的抽样标准差为 $\lambda(2/m)^{1/2}$ 。因此, 当相邻主分量所对应的特征值之差大于

这一值时,表明对应的主分量是显著的。但这一标准是相当苛刻的,按照这一标准,当样本数为 300 时,其第一个主分量仍有很大的抽样误差。

在计算中,选择转动的主分量个数时,采用了 Scree 检验法。在分析中,根据 North 等的判据及试算结果,对夏季总降水,分析了第一、第二两个空间模,在逐月降水的场合,只分析了第一个空间模。

2.2 所用资料

在分析中,使用了全国范围 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬度网格的降水资料。具体资料处理过程见注^①。在 $15^{\circ}N$ 到 $55^{\circ}N$, $75^{\circ}E$ 到 $135^{\circ}E$ 的区域中,将中国分成 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 的网格。当网格内台站个数大于或等于 2 时,利用网格内所有台站的降水资料来计算网格内的平均降水,当网格内台站个数小于 2 时,则不计算该网格的平均降水。

全国范围内共有 47 个 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格可计算出网格平均降水,共用了 300 多站的资料。分析的时段为 1959—1994 年。由于夏季降水存在极大的区域差异,本文仅注重分析降水的相关特性,因而在计算之前,首先将降水资料处理成标准化距平。图 1 给出了 1981 年每一网格内的台站数量。由图 1 可以注意到,台站分布极不均匀,在长江中下游地区,每一网格内最多可达 18 站,而青藏高原西部则由于台站太少无法计算出网格平均降水。全国范围内,共有 4 个 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格不能计算出网格平均降水。因此在用台站资料直接进行 EOF 分析时,尤其是在研究各主分量的时间演变特征时,所反映的主要是东部地区的特征。如采用空间均匀网格,会有助于揭示西部地区降水时空分布的特点。

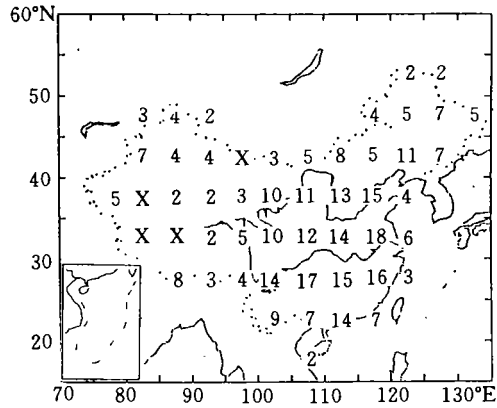


图 1 1981 年每一个 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格内的台站数量

因此,在全国范围内,共有 4 个 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格不能计算出网格平均降水。因此在用台站资料直接进行 EOF 分析时,尤其是在研究各主分量的时间演变特征时,所反映的主要是东部地区的特征。如采用空间均匀网格,会有助于揭示西部地区降水时空分布的特点。

3 夏季总降水的区域特性

3.1 空间模

首先分析了夏季降水异常的空间模。EOF 分析之后,用 Scree 法对主分量进行了截取。图 2 给出特征值依顺序的变化情况,由图 2 可以注意到,随着序数的增加,特征值逐渐变小,特征值之间的差别也逐渐变小。根据 North 等的结论,这时特征矢量的抽样误差增大。按照 Scree 检验法的原则,取前 5 个主分量进行方差极大正交转动 EOF 分析。

图 3 a、b 为方差极大正交转动 EOF 的第一空间模及相应的以最大荷载点为相关原点的相关系数分布图。这一空间模占总方差的 12.4%。由图 3 a、b 可以看到,夏季降水最显著的区域特性为江淮地区的降水异常与河套地区及华南反相关,相应的相关系数超过信度 95% 的置信限。在我国东部呈现南北方向的 W 或 M 型,即当江淮地区降水异常为正

① 孙凤英:中国科学院大气物理研究所资料中心通讯第 13 期。

距平时,河套地区及华南地区易出现降水负距平,反之亦然(吴国雄等^[8])。这与以往的研究结果(文献[1]中图 2,文献[2]中图 3)十分相似。唯一显著差异是,江淮流域与华北地区的反相关中心在我们的分析中位于河套地区,而以往的研究为华北的东部地区。产生这一差别的原因一方面在于本文只应用标准化后的降水距平,而没有考虑降水量的相对多少;另一方面与

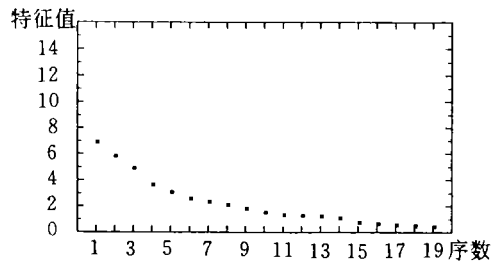


图 2 特征值依顺序的变化
(横坐标为序数,纵坐标为特征值)

以往的研究使用的站点资料集中在东部有关。在图 3 a 中另一新的特征是,沿长江流域也存在一个东西方向上的 W 或 M 型,即四川盆地的降水异常与江淮流域及青藏高原东部存在一定的负相关联系。这一特征在以原始台站资料进行的 EOF 分析中并不明显。事实上,这种降水异常分布型在某些典型的旱涝年(如 1954 年,见《中国近 500 年旱涝分布图集》^[9])表现得十分清楚。

图 4a, b 给出第二空间模及以最大荷载点为相关原点的相关系数分布。这一空间模占总方差的 11.4%。这一空间模表明青藏高原中东部南侧的夏季总降水与北侧存在显著的反相关,并且高原中东部南侧的降水与华北东部及东北南部地区的降水存在正相关联系。由于青藏高原中东部南侧的降水不可避免地受到印度西南季风活动的影响。上述相关分析似乎表明印度西南季风的降水与华北东部地区存在正相关。这与以往的研究(梁平德, 1988^[10])有一定的可比之处。而青藏高原中东部南北两侧的跷跷板负相关在用原始台站资料进行的 EOF 分析中并不明显。然而,这种相关型的存在可由图 4b 的点相关分析得到验证,也部分地为古长安的旱涝指数与印度季风建立日期的相关分析所证实(李兆元等, 1987^[11])。

图 3a 与图 4a 相比较我们可以注意到,图 3a 主要反映了中国东部地区夏季降水的区域特性,图 4a 主要反映了西部地区夏季降水异常的区域特性。这两个空间模互为补充,概括了夏季降水异常最重要的区域特性。

3.2 空间模的时间演变

这两个空间模的时间系数也是方差极大正交转动 EOF 分析的重要结果。图 5a, b, 图 6a, b 分别给出第一、第二空间模的时间系数及功率谱分析的结果。

第一空间模的时间系数(图 5a)反映了这一空间模的符号及相对的显著程度。它反映着中国东部江淮地区夏季降水的逐年变化情况。在江淮流域的典型涝年(如 1962、1969、1980、1982、1983 和 1987)对应着正的时间系数。而在江淮流域典型旱年(如 1959、1961、1966、1967、1978、1979 和 1994)都对应着负的时间系数(冯佩芝等, 1985^[12], 王绍武, 1990^[13])。类似地,第二空间模的时间系数(图 6a)则反映了青藏高原东部的夏季降水的南北跷跷板结构之时间变化特征。

对比图 5 与图 6 可以发现,在第一空间模中,准 3a 左右的周期表现得十分明显,尤其在 60 年代至 70 年代中期。第二空间模的时间系数中也存在准 3a 左右的振荡现象。但显著性的周期较为分散,出现在 2.4, 3.0 及 3.5a 附近。另外,这两个空间模还存在着更长周

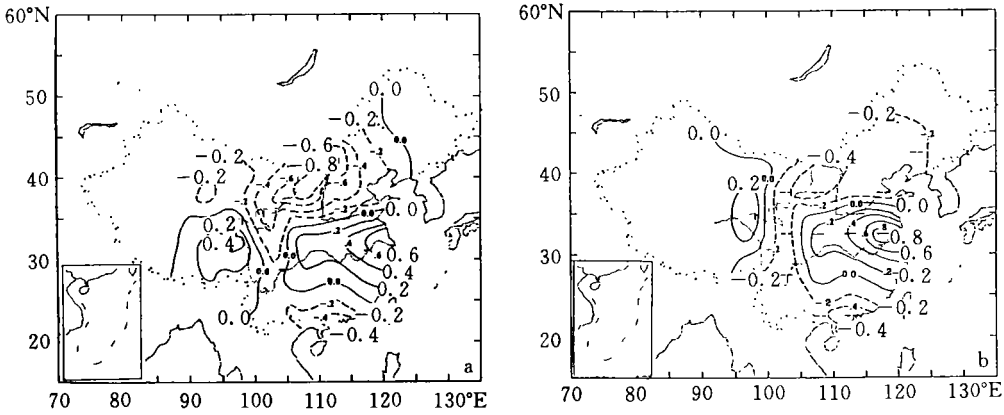


图3 夏季总降水 Varimax EOF 分析的第一空间模(a)及以最大荷载点
(30—35°N, 115—120°E)为相关原点的相关分布(b)

(网格点内的横线表明该网格的相关在信度 95%下是显著的(大于 0.32), 实线为正相关, 虚线为负相关)

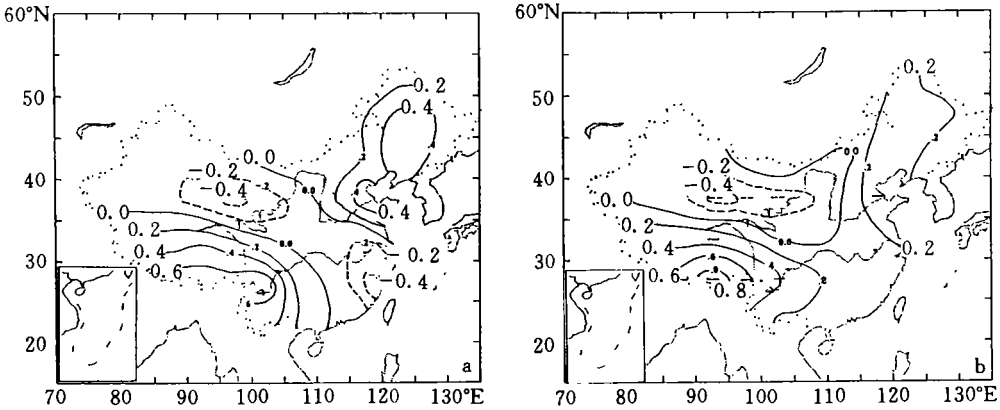


图4 夏季总降水 Varimax EOF 分析的第二空间模(a)

及以最大荷载点(25—30°N, 90—95°E)为相关原点的相关分布(其余同图3)

期的振荡。在时间系数的功率谱分布(图 5b、图 6b)中, 第二空间模在 10a 左右有显著的周期, 第一空间模的功率谱在相应的周期上也有一极大值, 虽然没有超过信度 95%的置信限。这表明中国的夏季降水型分布中存在着年代际的变化。

4 夏季降水区域特性的月际变化

在了解了夏季总降水的区域特性后, 本节进一步分析逐月降水的区域特性。我们对 6、7、8 月逐月降水也进行了方差极大正交转动 EOF 分析。图 7a、b、c 分别为 6、7、8 月逐月降水的第一空间模。由图 7a 可以注意到, 6 月份江淮流域、华北东部及东北大部地区为正相关, 即这些地区 6 月份的降水异常往往具有一致的符号, 这一空间模可以解释总方差

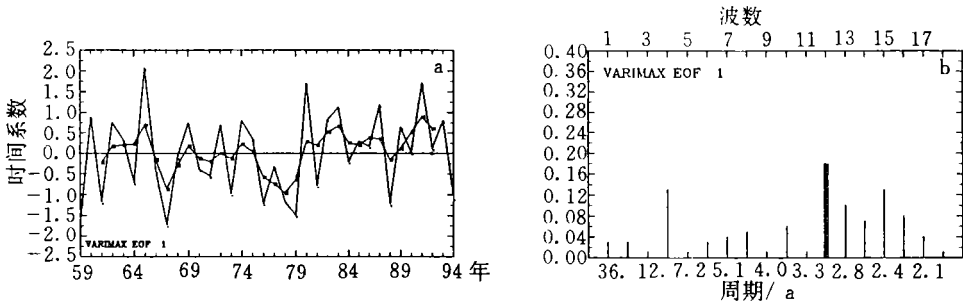


图5 夏季总降水 Varimax EOF 分析第一空间模时间系数的逐年演变及离散功率谱分析的结果
 (a 中横坐标为年,纵坐标为时间系数,带星号的线为 5a 滑动滤波之后的结果;
 b 中横坐标为以年为单位周期(下)及波数(上),
 纵坐标为功率谱,95% 信度下显著的周期以三条线标出)

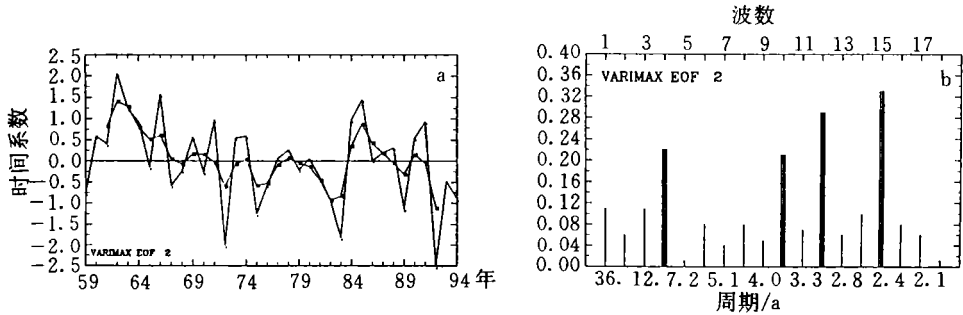


图6 夏季总降水 Varimax EOF 分析第二空间模时间系数的逐年演变(a)
 及离散功率谱分析的结果(b)(其余同图5)

的 13.7%(表 1)。以最大荷载点为相关原点的相关分析表明(图略),这些区域的相关系数均超过信度 95% 的置信限。

表 1 夏季总降水 Varimax EOF 分析第一、第二空间模及逐月降水
 第一空间模占总方差的百分数

夏季总降水		6 月	7 月	8 月
第一模	第二模	第一模	第一模	第一模
12.40%	11.40%	13.66%	10.51%	12.78%

图 7b 为 7 月降水的第一空间模。7 月江淮流域与河套地区存在反相关,但江淮流域的相关中心位置明显偏东,范围偏小。这时四川盆地与江淮流域及青藏高原东部地区的反相关联系已初见端倪,但华南与江淮及河套地区的联系仍不明确。这一空间模占总方差的 10.5%。

8 月份,江淮流域与河套及华南的反相关非常清楚,并且沿长江存在东西方向上的 W 或 M 型分布(图 7c)。这一空间模占总方差的 12.8%。比较图 3a、b 与图 7c 可以注意到两者极为相似,表明夏季总降水的异常分布主要由 8 月份的降水异常型造成。

由上述分析可以知道,逐月降水的区域特性与夏季总降水的区域特性具有一定的差别,这与大气环流的季节演变及同期大气环流的异常状况紧密相关,作者将在另一文发表。另外由表 1 可以注意到,7 月份的第一空间模占总方差的百分数最小,并且计算过程也表明,7 月份的计算结果对样本的选取最敏感,这种现象可能与这一月中阵性降水偏多有一定关系。更恰当原因尚待深入研究。

5 结 论

利用空间均匀网格的资料进行分析有助于全面了解中国夏季降水的特征。本文的分析结果除进一步证实了中国东部地区降水异常的区域特性外,也揭示了西部地区降水异常的区域特性及沿长江流域东西方向上降水异常的相互关系。夏季总降水的分析结果表明,降水异常最显著的区域特性是江淮流域与河套地区及华南反相关。另外沿长江流域,四川盆地的降水异常与青藏高原东部及江淮流域的降水异常也存在着反相关联系。西部地区的区域特性为青藏高原中东部南北两侧为负相关。并且青藏高原中东部南侧的降水异常与华北东部及东北南部为正相关。上述的空间模都有准 3a 及 10a 左右的周期。

逐月降水的分析表明,6 月份,江淮流域、华北东部及东北大部分地区为正相关。7 月,河套地区与江淮流域的降水异常呈现一定的负相关联系,8 月份降水异常的空间模与夏

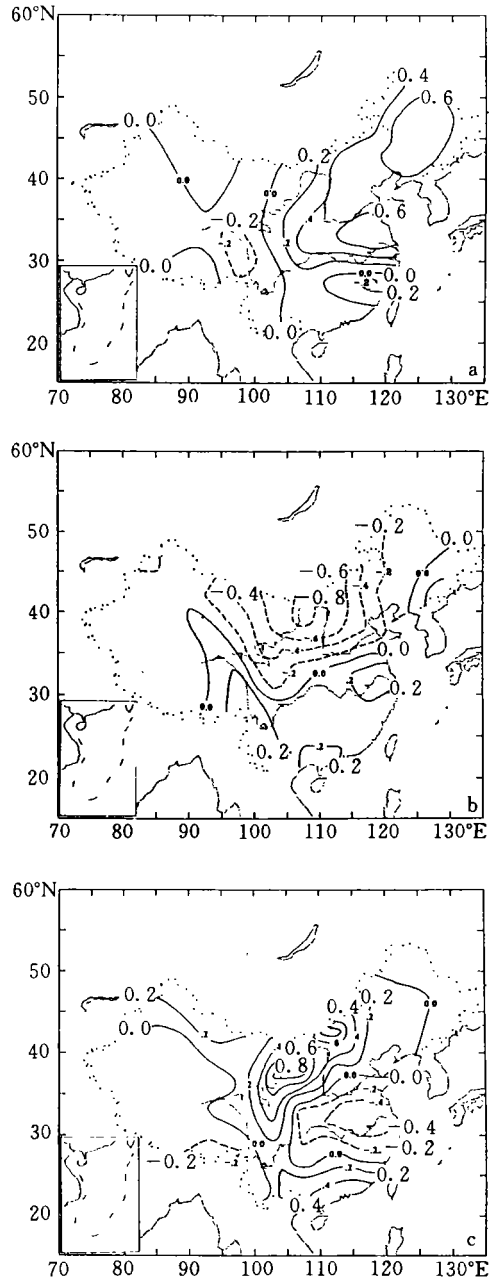


图 7 6、7、8 月逐月降水 Varimax EOF 分析的第一空间模(6 月:a;7 月:b;8 月:c)

季总降水所呈现的空间模极其一致。

致谢:作者 1 蒙胡增臻提供 Varimax EOF 的有关文献并多次有益讨论,程小舟完成文字录入,特此表示衷心感谢。

参考文献

- [1] 王绍武,赵宗慈. 近五百年我国旱涝史料的分析. 地理学报,1979,34(4):329—340.
- [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.
- [3] Richman, M. B. Review article, rotation of principal components. J Climatol,1986, 6(3): 293—333.
- [4] 黄嘉佑. 转动主分量分析在天气气候分析中的应用. 气象,1988,14(9):47—51.
- [5] 黄嘉佑. 准两年周期振荡在我国月降水量中的表现. 大气科学,1988,12(3):267—273.
- [6] Cattell R B. The scree test for the number of factors. Multivar Behav Res,1966, 1: 245—276.
- [7] North G R, Bell T L and Cahalan R F. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. Mon Wea Rev,1982, 110: 699—706.
- [8] 吴国雄,孙凤英等. 降水对热带海表温度异常的邻域相应——Ⅰ 资料分析. 大气科学,1995,19(6):663—676.
- [9] 中央气象局气象科学研究所. 中国近 500 年旱涝分布图集. 北京:地图出版社,1982.
- [10] 梁平德. 印度夏季风与我国华北夏季降水量. 气象学报,1988,46(1):75—80.
- [11] Li Zhaoyuan and Quan Xiaowei. The climatic changes of drought-wet in ancient Chang-An region of China during the last 1604 years. The Climate of China and Global Climate(Ye Duzheng et al (Eds.)). China Ocean Press, 1987. 57—62.
- [12] 冯佩芝,李翠金,李小泉等. 中国主要气象灾害分析(1951—1980 年). 北京:气象出版社,1985. 19—42.
- [13] 王绍武. 当前气候变化及其演变趋势. 旱涝气候研究进展(叶笃正,黄荣辉主编),北京:气象出版社,1990. 1—10.

REGIONAL CHARACTERISTICS OF SUMMER PRECIPITATION ANOMALIES OVER CHINA IDENTIFIED IN A SPATIAL UNIFORM NETWORK

Wang Xiaochun Wu Guoxiong

(LASG, Institute of Atmospheric Physics, Academia sinica, Beijing, 100080)

Abstract

The regional characteristic of precipitation anomalies of total summer precipitation (total precipitation of July and Aug.) and monthly precipitation are analyzed by using the results of Varimax EOF and correlation analysis. The data set used is the grid point precipitation over a (5°lat×5°lon) network in China in the period of 1954 to 1994. The analysis of total precipitation shows that the most significant regional characteristic

is the existence of negative correlation in precipitation anomalies between the low-reaches of Yangtse River and the Huaihe River valley (LRYH region) and the middle-reaches of the Yollow River valley (MRY region) , and between the LRYH region and South China. The precipitation anomaly over the Sichuan Basin is negatively correlated with that over eastern part of Qinghai Xizang Plateau and that over the LRYH region. The regional characteristics of summer precipitation anomalies in the western China is that there exists negative correlation between the summer precipitation anomalies over the southern part of the central and eastern Qinghai Xizang Plateau and that over its northern part. There also exists positive correlation between the southern part of eastern Qinghai Xizang Plateau and the eastern part of North China and the southern part of Northeast China. The above spatial correlation modes have significant periods of about 3 years and 10 years. The analyses of the monthly precipitation show that, in June, there exists positive correlation among the precipitation anomalies over the LRYH region, the eastern part of North China and the Northeast China. In July, the precipitation in the MRV region and the LRYH regions are negatively correlated. The regional characteristics of precipitation anomalies in Aug. is very similar to that of the total summer precipitation anomalies.

Key words: Varimax EOF analysis, Regional characteristic of summer precipitation anomalies, Total summer precipitation, Monthly precipitation.