第22卷第2期 2006年04月

文章编号:1004-4965(2006)02-0155-06

# 南亚夏季风爆发前后降水量时空变化特征

### 朱敏,张铭

#### (解放军理工大学气象学院大气环流与短期气候实验室,江苏南京 211101)

摘 要:用南亚夏季风爆发前后的降水量资料作了经验正交函数分解(EOF),分析表明,南亚夏季风的爆发 主要体现在降水的突然增加和季风雨带的快速推进上,雨带的时空分布有突变的特点。第1模态反映了南亚夏季风 爆发前后季风区降水量的突然增加。第2模态反映了南亚夏季风爆发前后季风降水从南向北的快速推进过程。第3 模态反映了季风爆发期间南亚季风区降水量的东西分布型态,及在季风爆发后印度半岛降水快速增加的过程。第4 模态反映了印度次大陆东海岸降水的准双周振荡型态。

关键词:南亚夏季风;EOF分析;降水量 中图分类号:P426.61.4 文献标识码:A

# 1 引 言

南亚夏季风通常于 5 月底~6 月初在印度次大陆 最南端开始爆发,季风爆发线随时间逐渐北移;至7 月中旬,夏季风已控制整个印度半岛;9月初,夏季 风开始撤退,9月底,夏季风结束。南亚夏季风爆发 是非常迅速的,它主要表现为印度次大陆大范围地区 降水突然增加,与此同时,大范围地区的西南风加大, 气温也有明显的变化。季风爆发前,降水率的气候平 均是 2 mm/day, 季风爆发当天及随后的几天大约是 15 mm/day (Soman and Kumar, 1993)<sup>[1]</sup>。通常以印 度次大陆最南端的喀拉拉邦 (Kerala) 降水率骤升且 其持续性增长,来确定南亚季风爆发日期(简称 MOK)。MOK 的多年平均日期是 5 月 30 日~6 月 2 日,标准偏差 8~9天 (Ananthakrishnan and Soman, 1988)<sup>[2]</sup>。在过去的100年中, MOK的最早和最迟日 期相差达46天(分别是5月7日和6月22日)。在 印度次大陆 23 °N 以南的地区,季风降水由南向北推 进,大约在 MOK 的 15 天后推进到该地区。在 23 °N 以北,季风降水由东向西推进。故南亚夏季风爆发前 后降水量的诊断分析对研究其爆发过程具有重要作 用。本文主要利用降水的经验正交函数(EOF)来研

究南亚夏季风的爆发过程。

### 2 分析结果

由印度气象局提供的印度次大陆不同地区南亚夏 季风正常爆发日期如图 1 所示<sup>[1]178</sup>。该图是根据不同 观测站点多年候平均(不相重叠的 5 天)的降水图制 作而成,降水突然增加的那一候的中间日期被定义为 各站点的季风爆发日期。由图可见,在南亚季风爆发 时,其降水推进具有以上的特点。



收稿日期: 2004-10-08;修订日期: 2005-12-28

基金项目:国家自然科学基金重点项目(40233027)资助

作者简介: 朱 敏(1977-),女,江西丰城人,助理工程师,在读博士,研究方向:短期气候预测。E-mail:zhumin-@126.com

本文采用 1978~1987年(共10年)南亚夏季风 爆发期间由欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供 的逐日总降水量资料(TP,18:00 GMT)。资料处理 方法是:以各年南亚夏季风爆发当日为基准,取其前 后各 30 日(含爆发当日,这样每年有 61 个样本资料, 10年共有 10×61=610个样本资料), 对其作 10年平 均,这样得到计算样本 61 个,将该样本标准化后作 EOF 分析,以揭示在此期间内降水量主要模态的时空 变化及其与南亚夏季风爆发的关系。所取资料范围为 0~30°N, 60~100°E(格点数为17×13=221, 网格 × = 2.5°×2.5°)。南亚夏季风爆发的 距为 日期采用 Ananthakrishnan 等(1988)的结果<sup>[2]</sup>, 各年的 具体爆发日期则如表1所示<sup>[1]1179</sup>。EOF(经验正交函数) 分析的具体做法请参阅文献[3],本文不再赘述。

表1 南喀拉拉邦(SK)夏季风爆发日期<sup>[1]1179</sup>

年份	1978	1979	1980	1981	1982
日.时	5.27	6.11	5.31	5.29	6.01
年份	1983	1984	1985	1986	1987

EOF 分析得到的经验正交函数究竟是有物理意 义的信号还是噪音,应进行显著性检验,特别是当变 量场空间点数大于样本量时,显著性检验尤其重要。 本文采用 North 等人提出的计算特征值误差范围的检 验方法<sup>[4]</sup>。特征值 <sub>λ<sub>i</sub></sub>误差范围为

$$e_j = \lambda_j (\frac{2}{n})^{\frac{1}{2}}$$
 (1)

在此 *n* 为样本量,当两相邻的特征值  $\lambda_{j+1}$  满足  $\lambda_j - \lambda_{j+1} \ge e_j$ 时,就认为这 2 个特征值所对应的经验正 交函数有价值。经计算,该降水量 EOF 的前 4 个模态 都通过了显著性检验,其方差贡献分别为 24.80%、 10.79%、5.95%、3.60%,它们的累积方差贡献达45.1%。 下面对通过检验的这 4 个模态进行详细分析。

2.1 第1模态

由第1模态空间场的分布可见(图 2a),阿拉伯海、 孟加拉湾、印度次大陆一带均为负值区,其基本上呈 纬向带状分布,负值中心位于阿拉伯海靠近印度次大 陆西海岸的海域以及孟加拉湾靠近中南半岛西岸的 区域,赤道到6°N的区域为正值区。第1模态的时间 系数在南亚夏季风爆发前15天至爆发后10天大体呈 现由正到负的线性变化,而在其前后则基本稳定(图 2b)。这表明在爆发前 15 天起至爆发后 10 天,特别在前 5 天至后 5 天,南亚季风区(印度次大陆尤其是阿拉伯海、孟加拉湾)的降水量呈现由少变多突然增加的形式,而在爆发前和后降水量则分别处于少雨和多雨 2 个气候态,降水量增加最大的区域则位于阿拉伯海靠近印度半岛的海域和孟加拉湾靠近中南半岛的海域。 因第 1 模态的方差贡献最大,故可知南亚夏季风的爆发主要表现在降水量的突变上;而有研究表明,南亚 夏季风爆发时风场的突变不明显,这点与南海夏季风的爆发不同,后者主要体现在风场的突变上<sup>[5]</sup>。第 1 模态反映南亚夏季风爆发前后季风区降水量的突然 增加,南亚夏季风爆发主要体现在降水量的突变上。



图 2 降水量的第1模态 a. 特征向量; b. 时间系数(横坐标 表示南亚夏季风爆发当天及其前后的 30 天,下同,单位:天)。

2.2 第2模态

由第 2 模态空间场的分布可见(图 3a),在 15 °N 以南为负值区、以北为正值区。3 个负值中心分别位 于印度次大陆南部、阿拉伯海、孟加拉湾;正值中心 位于印度次大陆的北部。第2模态的时间系数在南亚 夏季风爆发前 30 天至爆发当天呈线性下降趋势,爆 发当日至爆发后第8天时间系数线性增加,由负值转 为正值,以后基本稳定,略有波动,爆发当天则处时 间系数的谷底(图3b)。

2期

综合分析图 3 后可知, 在图 3a 中等值线 0 线以 南区域(该区域主要为海洋),包括阿拉伯海、印度 半岛南部、孟加拉湾等地区,在南亚夏季风爆发前降 水量不断增加,爆发当日降水量增加到最大,季风爆 发后至季风爆发后第8天降水量则不断减少;而在印 度次大陆的中北部地区(该区域为陆地),季风爆发 前的降水量不断减少,爆发后降水量很快增加;以后 这两区域的降水量稳定下来。这表明伴随南亚夏季风 爆发,季风降水快速由南向北推进,南亚季风在印度 半岛南端爆发后,不过一周时间,季风降水就推进到 印度次大陆的中北部地区。第2模态反映了南亚夏季 风爆发前后季风降水从南向北的快速推进过程。



#### 2.3 第3模态

由第3模态空间场的分布可见,阿拉伯海为正值 中心,斯里兰卡以南为负值中心(图4a)。第3模态 的时间系数在南亚夏季风爆发后陡然增加,在爆发后 5天出现峰值,爆发后11天又突然减小,形成一个陡 峰(图4b)。

综合分析空间场和时间系数可知, 阿拉伯海在季 风爆发当日至爆发后 5 天降水迅速增加,以后至爆发 后 11 天降水又迅速减少,而印度半岛则在爆发当日 至爆发后 5 天降水减小,以后至爆发后 11 天降水又 迅速增加。该模态反映了该期间南亚季风区降水量的 东西分布型态,并表明南亚夏季风在印度半岛南端爆 发后,降水量分布有一次明显快速的东西调整过程, 印度半岛在季风爆发后降水快速增加。第3模态反映 了季风爆发期间南亚季风区降水量的东西分布型态, 及在季风爆发后印度半岛降水快速增加的过程。



由第4模态空间场的分布可见(图 5a),正值中 心主要位于印度次大陆的东海岸。时间系数在季风爆 发后呈现准双周振荡。选取位于印度次大陆东海岸的 关键区1(85~90 °E,15~18 °N),关键区2(80~ 85 °E,12~15 °N),分别做这2个关键区面积平均 的降水量-时间变化(图 6)。图中确可发现,季风爆 发后这些关键区的降水有振荡,特别是爆发后 0~5 天和 10~15 天出现了最大振幅。用功率谱分析其周 期为13~15 天(准双周)。第4模态反映了印度次大 陆东海岸降水的准双周振荡型态。





### 3 合成分析

因第 2 模态呈现季风降水由南向北的快速推进过 程,故纬度-时间剖面图能更好地反映降水的该特征。 为此作了 10 年平均实际降水量的纬度-时间剖面图 (取 70~90°E 的范围平均,图 7a)。可见伴随南亚 夏季风爆发,印度次大陆的降水迅速增加,南亚季风 区雨带北移,次大陆南端的降水在季风爆发前后 5 天 剧增。为考察以上特征具体体现在何模态中,作了各 模态合成的纬度-时间剖面图(图 7b、7c、7d),并 与图 7a 相对比;可见,第 1、2 模态合成的图 7b 基本 能反映出图 7a 的分布特征,即 EOF 分析的前两个模 态(累积方差贡献达 35.6%)基本可反映南亚夏季风 降水量的演变特点。

图 7c 为第 2、3 模态合成,其不能体现印度次大

陆降水的迅速增加和南亚季风雨带的北移,仅反映印 度次大陆南端(70~90°E,3~12°N)的降水在季风爆 发前5天至爆发后2天剧增和以后剧减的演变特征。 图7d为第1、3模态合成,因其包含模态1,故它能 反映印度次大陆降水的不断增加和南亚季风区的雨 带北移,以及爆发后印度次大陆南端降水量的剧减。

我们还制作了10年平均实际降水量的经度-时间

剖面图(取12~18°N的范围平均,图8a)以及第1、 3 模态合成后的经度-时间剖面图(图8b)。分析该2 图可知,第3模态描述的是在季风爆发至季风爆发后 第10天,降水量在东西方向的一次重大快速的调整 过程,即阿拉伯海(60~70°E)降水先增加后减少、 印度半岛(75~85°E)降水先减少后增加的过程,尤 其是爆发后的第3、4天该调整最快速和明显。



### 4 结 语

本文对南亚夏季风爆发前后的降水量资料作了 经验正交函数分解(EOF)。通过分析表明,南亚夏 季风的爆发主要体现在降水的突然增加和季风雨带 的快速推进上,雨带的时空分布有突变的特点。

(1) 第1模态反映了南亚夏季风爆发前后季风 区降水量的突然增加。

(2) 第2模态反映了南亚夏季风爆发前后季风

降水从南向北的快速推进过程。

(3) 第3模态反映了季风爆发期间南亚季风区 降水量的东西分布型态,及在季风爆发后印度半岛降 水快速增加的过程。

(4) 第4模态反映了印度次大陆东海岸降水的 准双周振荡型态。

最后要指出的是,以上仅对 EOF 各模态作了分 析,而形成各模态的动力机制则尚有待于今后继续深 入地研究。

### 参考文献:

 SOMAN M K, KRISHNAR K KUMAR. Space-Time evolution of meteorological features associated with the onset of Indian Summer Monsoon[J]. Monthly Weather Review, 1993, 121(4): 1177-1194.

- [2] ANANTHAKRISHNAN R, SOMAN M K. Onset of southwest monsoon over Kerala 1901-1980[J]. J Climat, 1988, 8(3): 283-296.
- [3] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 135-139.

[4] NORTH G R T, BELL R CAHALAN, MOENG F J. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function[J]. Mon Wea Rev, 1982, 110: 699-706.

[5] 曾庆存,张东凌,张 铭,等.大气环流的季节突变与季风的建立——基本理论方法和气候场的分析[J].气候与环境研究,2005,10(3):285-302.

# EOF EXPANSION OF PRECIPITATION DURING THE INDIAN SUMMER MONSOON ONSET

ZHU Min, ZHANG Ming

(Institute of Meteorology, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 211101, China)

**Abstract:** Using the precipitation of the Indian summer monsoon onset process by the method of EOF expansion, the following conclusions can be found. The onset of the monsoon is mainly seen as the augmentation of precipitation and the rapid advance of monsoon rain belt with sudden change in the distribution of its space and time. The first mode shows the augmentation of precipitation of monsoon area during onset phase. The second mode shows the rapidly-advancing precipitation from south to north. The third mode shows the east-west distribution and the augmentation of precipitation over the Indian subcontinent after onset. The fourth mode shows the quasi-two weeks oscillation of rain around the east-coast of Indian subcontinent.

Key words: Indian summer monsoon; Empirical Orthogonal Function(EOF); precipitation