

印度洋海表温度的时空分布特征及其 与我国汛期降水关系的探讨

邓爱军 陶诗言 陈烈庭

(成都气象学院)

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文利用 EOF 分析方法研究了印度洋海表温度的时空分布特征。用海温和陆面气温的联合 EOF 分析讨论了海陆热力差异对季风的影响,并进一步讨论了海温与我国汛期降水型的关系。

一、引 言

早在六十年代初, Bjerkness^[1] 就对热带东太平洋海气相互作用问题进行了研究,发现赤道东太平洋海温(SST)异常(El Niño)可以明显地影响中高纬度地区甚至全球的大气环流和天气气候,使之发生相应的异常变化。我国自70年代开始进行海气相互作用的研究,许多作者^[2]对 El Niño 与我国天气气候的关系进行了探讨,发现赤道东太平洋地区 SST 异常与我国长江流域降水有显著的相关。

我国是世界著名的季风区,而印度洋是西南季风经过的地区,因此,研究印度洋 SST 的异常变化对我国天气气候的影响是非常有意义的。国内有许多作者^{[3][4]}对印度洋 SST 异常与我国旱涝的关系进行了研究,但是,这些研究大部分都采用了单点相关的分析方法,这样做,往往有很大的片面性,同时还由于受地方性因素的影响而缺乏代表性。本文利用经验正交函数分解方法(即 Empirical Orthogonal Function,以下简称 EOF 分析方法,这种方法在文献[5]中已作了简单介绍),将印度洋 SST 的空间分布分解为三个基本型,并用时间系数研究其变化特征,与文献[5]中求得的我国汛期降水的五个基本雨型对应的时间系数做相关分析,来研究我国汛期降水与印度洋 SST 的关系,这样就避免了前述方法的不足。

二、资料和方法

取 1948 年 1 月—1978 年 5 月共 30 年的月平均海表温度,在印度洋(包括中国南海和西太平洋)上取 28 个点,采用云南省气象局整编的网格点资料,缺测的格点参考美国 COADS 海温资料进行了补充,在这 28 个点上资料是比较齐全的,利用 EOF

方法对上述资料进行分析,取前三个特征向量作为海温分布的三种基本型。

三、印度洋 SST 的时空分布特征

1. 第一型

图 1 a 是 SST 的第一特征向量,表示 SST 的第一分布型。图中,印度洋西南部为暖(冷)水区;南海和西太平洋为冷(暖)水区。

图 2 a 是第一特征向量对应的时间系数逐月多年平均值曲线(对时间系数进行逐月 30 年平均即得到如图 2 a 的曲线)。由图可见,时间系数在冬半年(12 月至次年 4 月)为正,即冬半年南海和西太平洋为冷水区。这可能是因为冬半年东亚大陆受冷高压控制,使位于高压东南侧的我国东南沿海地区盛行东北季风。这种冬季风冷涌平流使下垫面冷却造成南海和西太平洋的冷水区。另外,从图 1 a 中还可以看到,(冬半年)阿拉伯海和孟加拉湾分别有两个冷水槽。此二冷槽正如文献[6]所指,是由于冷空气入海造成的,其原因是此一海湾地区北部与大陆接壤处是大陆冷空气入海的通道。冬半年印度洋西南部的暖水区可能与暖洋流有着密切关系。夏半年(5—11 月),时间系数为负(见图 2 a),即南海和西太平洋为暖水区。这可能是因为夏季该海区受西太平洋副热带高压控制使下垫面——海洋被稳定加热而使 SST 升高。此时,印度洋西南部变为冷水区,这可能与南半球天气气候有关。

2. 第二型

图 1 b 是 SST 第二特征向量,表示 SST 的第二分布型。图中有一明显特征是阿拉伯海有一个较强的冷(暖)水区。这种分布与 Wear(1979)^[1]的分析结果十分相似。西北太平洋为暖(冷)水区。

图 2 b 是第二特征向量对应的时间系数逐月多年平均值曲线。从该图中可以发现一个非常有趣的事实,即从 3 月份开始到 6 月份期间,时间系数为正值,即阿拉伯海为暖水区;从夏季(7 月份)开始到次年 2 月份期间,时间系数为负值,即阿拉伯海为冷水区。一般来说,印度季风爆发于 4—5 月份,结束于 9 月份左右。因此,以上事实说明,海温的变化早于季风的变化,即每年 2—3 月份阿拉伯海由冷水变为暖水,这早于印度季风的爆发;而 6—7 月份阿拉伯海由暖水变为冷水,这早于印度季风的结束。从以上事实似乎可以得到这样一个结论:印度季风的爆发和结束与阿拉伯海的海温有着非常密切的相互制约关系。这种相互制约的物理机制有待于进一步探讨。

3. 第三型

图 1 c 是 SST 第三特征向量,表示第三分布型。图中,阿拉伯海和孟加拉湾有暖(冷)水区;孟加拉湾南部的赤道印度洋有冷(暖)水区;西太平洋有一暖(冷)水区。

图 2 c 是对应于第三特征向量的时间系数逐月多年平均值曲线。图中,时间系数在夏季(7—9 月)为正,即阿拉伯海和孟加拉湾为冷水区(这可能与印度季风有关),西太平洋为冷水区(可能与台风活动有关)。在 10—12 月份时间系数为负,即阿拉伯海、

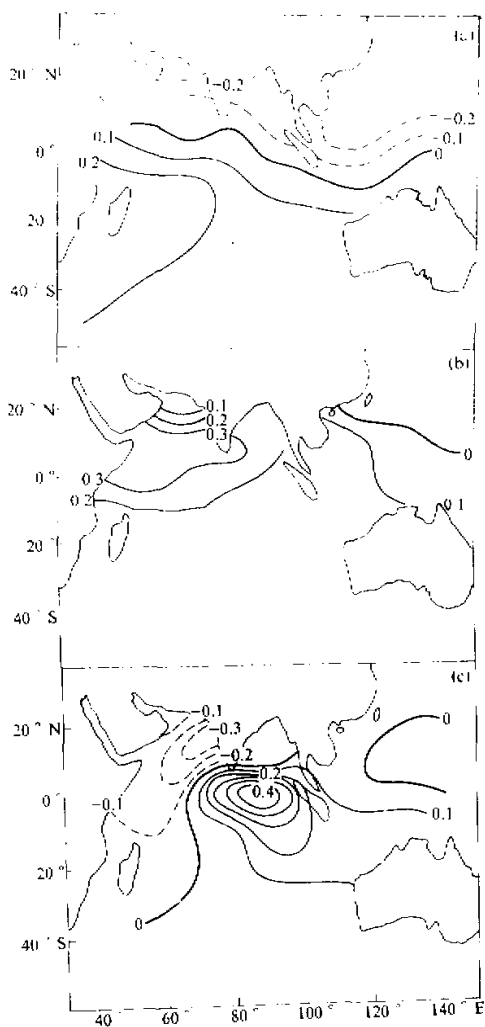


图1 印度洋SST的前三个特征向量

- (a) 第一特征向量,
(b) 第二特征向量,
(c) 第三特征向量.

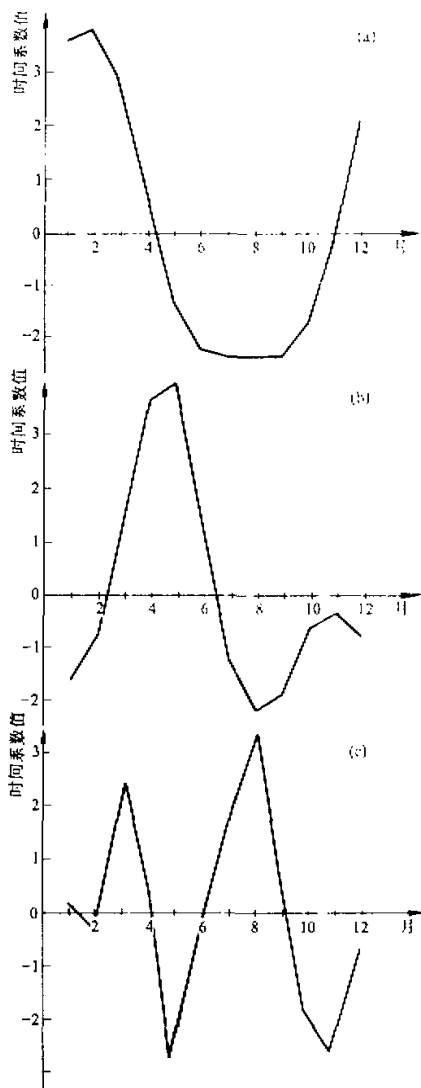


图2 SST 各特征向量对应的时间系数逐月多年平均值曲线

- (a) 第一特征向量, (b) 第二特征向量,
(c) 第三特征向量.

孟加拉湾和西太平洋为暖水区。

综上所述, 利用 EOF 方法可以将 SST 分解为三个基本分布型, 另外, 从上述分析中还发现, 在第一型中, 印度洋西南部的 SST 分布与南海和西太平洋的 SST 分布

反相, 即当印度洋西南部 SST 高时则南海和西太平洋 SST 低, 反之亦然. 在第二型中, 阿拉伯海 SST 与西北太平洋 SST 有反相分布, 即当阿拉伯海 SST 高时则南海和西北太平洋 SST 低, 反之亦然. 以上这种 SST 分布的东西差异可能反映了印度季风系统与东亚季风系统的差别, 即当印度季风强时, 则东亚季风弱, 反之亦然.

表 1 SST 的前三个特征向量对应的特征值及其百分比

特征向量	x_1	x_2	x_3	总和
特征值	4003.10	2297.76	433.46	6734.32
百分比 %	39.2	22.5	4.2	65.9

表 1 是印度洋 SST 的前三个特征向量对应的特征值及其百分比. 百分比表示了一种分布型分别所占的权重, 分别为 39.2%、22.5% 和 4.2%.

四、海陆热力差异对季风的影响

1. 资料和方法

用 26 年 (1952 年 1 月 — 1978 年 5 月) 的逐月平均陆地表面气温 (Land Air Temperature, 以下简称 LAT, 以表示大陆表面的热状况) 和印度洋 SST. LAT 取自 30°N 以南的南亚大陆上的 27 个测站 (包括中国南部、印度和东非大陆等). SST 仍为前述的 28 个测点, 不同的是资料从 1952 年 1 月开始. 将 LAT 和 SST 放在一起 (即资料阵的一部分放 SST, 另一部分放 LAT) 进行 EOF 分析, 这样可以描述 LAT 与 SST 在空间上的位相分布, 即可以反映出海陆热力差异. 由于资料中包含着季节变化的信息, 因此这种 EOF 分析可以研究海陆热力差异随季节的变化以及对季风的影响.

2. 海陆热力差异与南亚季风的关系

取联合 EOF 分析的前三个特征向量作为基本型进行讨论

图 3a 是联合 EOF 的第一特征向量. 图中, 以赤道为零界, 北半球冷 (暖), 东亚沿岸的中国南海和西太平洋有明显冷 (暖) 槽 (脊). 南半球暖 (冷), 主要暖 (冷) 区位于印度洋西南部. 从对应于该特征向量的时间系数逐月多年平均值曲线 (图略) 中发现, 冬半年 (相对北半球而言) 时间系数为正, 夏半年为负. 因此, 冬半年北半球冷而南半球暖, 夏半年则反之. 所以, 第一特征向量描述了南北半球的热力差异.

图 3b 是联合 EOF 的第二特征向量. 图中, 整个印度洋为暖 (冷) 区, 中心位于阿拉伯海. 在东非沿岸, 零等值线走向平行于海岸线, 这说明海陆热力差异是非常明显的. 中国东南部、西太平洋和东非大陆为冷 (暖) 区. 对应于该特征向量的时间系数逐月多年平均值曲线 (图略) 类似于图 2b, 即 2—6 月份时间系数为正. 这说明阿拉伯海为暖区, 东非大陆为冷区, 即温度梯度由海洋 (阿拉伯海) 指向 (东非) 大陆. 这个温度

梯度的出现早于印度季风的爆发,此时,我国东南部和西太平洋为冷区,在每年7月份到次年1月期间,时间系数为负,说明阿拉伯海变为冷区,东非大陆变为暖区。上述的温度梯度反向,即由大陆指向海洋,此温度梯度的出现早于印度季风的结束。此时,我国东南部和西太平洋为暖区。综上所述,春季(2月份开始)阿拉伯海出现暖水并逐渐加强,到4月份达到最强(图略),同时,东非大陆出现冷区并也逐渐加强。上述暖(冷)区的出现并加强可以逐渐加热(冷却)其上的大气,因此,前述的温度梯度也逐渐加强并且向上扩展。根据热成风原理,这个由海洋指向大陆的温度梯度有利于索马里急流的产生或加强,即有利于印度季风的爆发。夏季(7月份开始),阿拉伯海出现冷水并逐渐加强,到八月份达到最强(图略),同时,东非大陆变为暖区并逐渐加强,这使得前述的温度梯度反向,即由大陆指向海洋。此温度梯度有利于抑制索马里急流,即有利于印度季风的结束。

图3c是联合EOF的第三特征向量。图中,阿拉伯海、孟加拉湾和西太平洋为暖(冷)区,大陆上以青藏高原为中心为冷(暖)区。图中有两条零线,其中,北支零线与海岸线轮廓非常吻合,这反映了非常明显的海陆热力差异。从图3c中我们可以认为有三个对南亚季风造成可能影响的关键区:阿拉伯海的冷(暖)水区可能是影响印度季风的关键区,孟加拉湾和西太平洋的冷(暖)水区可能是影响东亚季风的关键区。因此,该区的异常变化对我国旱涝的影响应受到足够的重视。

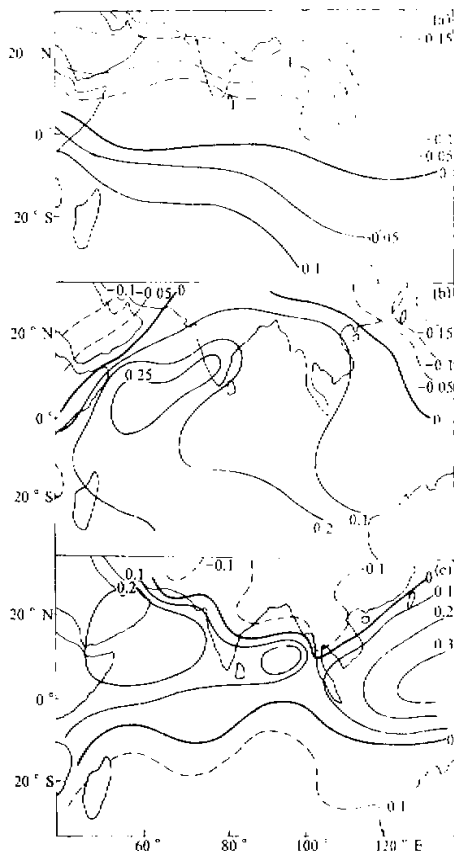


图3 LAT和SST联合EOF的前三个特征向量
(a)第一特征向量 (b)第二特征向量
(c)第三特征向量

表2 SST和LAT联合EOF的前三个特征向量对应的特征值及其百分比

特征向量	x_1	x_2	x_3	总和
特征值	10054.00	2712.4	606.3	13372.7
百分比 %	57.7	15.6	3.5	76.8

表2是联合EOF的前三个特征向量对应的特征值及其百分比,权重分别为:

57.7%、15.6% 和 3.5%。

五、印度洋 SST 与我国汛期降水的关系

本文将要讨论的另一个问题是印度洋 SST 与我国汛期降水的关系。利用上述 SST 三个特征向量对应的时间系数与文 [5] 中各基本雨型对应的时间系数做相关分析。这样可以避免用单点资料求相关的局限性。降水资料取 4—9 月份, 而 SST 取 1—12 月份。因此, 计算时将 SST 的时间系数分为 1—6 月、2—7 月、3—8 月、4—9 月、5—10 月、6—11 月和 7—12 月等逐段分别与 4—9 月降水的各时间系数进行相关分析。这样可以分别得到降水相对于 SST 落后、同时和超前的相关系数值。将这些值点绘在一张图上就得到一条相关曲线 (图 4)。由于做降水和 SST 的 EOF 分析时未将资料的季节变化去除, 因此, 得到的相关系数中包含了季节变化的信号而使 SST 和降水年际变化的相关信号不能很清楚地反映出来, 这是本文的不足之处, 此处只略做讨论。

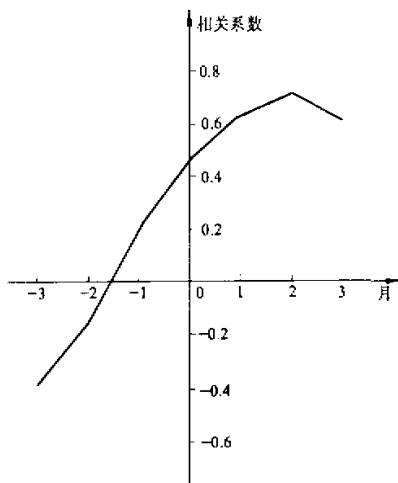


图 4 降水的第一特征向量与 SST 第一特征向量对应时间系数的相关系数曲线

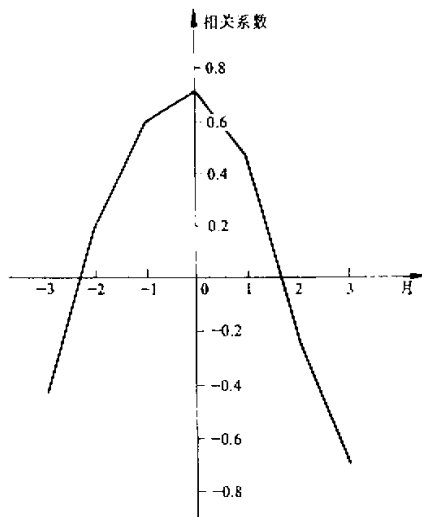


图 5 降水第一特征向量与 SST 第二特征向量对应时间系数的相关系数曲线

图 4 是降水第一特征向量 (即长江以南多 (少) 雨; 长江以北少 (多) 雨的情形, 也就是反映华南前汛期降水的雨型分布) 与印度洋 SST 第一特征向量 (见图 1a, 即印度洋西南部暖 (冷); 南海和西太平洋冷 (暖) 的情形) 所对应时间系数的相关系数曲线。横轴向右表示降水落后于 SST。图中可见, 前者与后者有落后两个月的正相关 (0.72)。考虑到特征向量本身的符号, 则我国华南前汛期降水与南海和西太平洋的 SST 有落后两个月的显著负相关。

图 5 是降水第一特征向量 (同上) 与 SST 第二特征向量 (见图 1b, 即阿拉伯海为冷 (暖) 水区, 西北太平洋为暖 (冷) 水区的情形) 对应时间系数的相关系数曲线。由图可见,

前者与后者有显著(几乎同时)的正相关(0.71), 考虑到特征向量本身的符号, 则华南前汛期降水与阿拉伯海 SST 有显著正相关, 而与西北太平洋 SST 有显著负相关。

图 6 是降水第二特征向量(长江流域多(少)雨即梅雨降水的情形)与 SST 第二特征向量(同前)对应时间系数的相关系数曲线。由该曲线发现(并考虑了特征向量本身的符号), 长江流域梅雨降水与阿拉伯海 SST 有落后两个月的显著正相关, 而与西北太平洋 SST 有落后两个月的显著负相关。

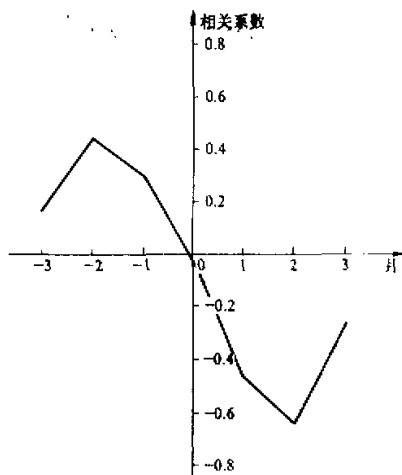


图 6 降水第二特征向量与 SST 第二特征向量对应时间系数的相关系数曲线

六、结 论

本文利用 EOF 分析方法将印度洋 SST 分解为三个基本分布型:

- (1) 冬(夏)半年, 印度洋西南部为暖(冷)水区; 西太平洋和南海为冷(暖)水区。
 - (2) 春(夏)季, 阿拉伯海出现暖(冷)水区; 西北太平洋为冷(暖)水区。
 - (3) 阿拉伯海、孟加拉湾和西太平洋有冷(暖)水区; 赤道印度洋有暖(冷)水区。
- 从 SST 的第一、二特征向量的分布来看, 印度季风区与东亚季风区有(冷、暖)反相的 SST 分布, 这可能反映了印度季风系统与东亚季风系统的关系。

我国华南前汛期降水与南海和西太平洋 SST 有落后两个月的显著负相关, 与阿拉伯海 SST 有同时的显著正相关, 长江流域梅雨降水与西北太平洋 SST 有落后两个月的显著负相关, 而与阿拉伯海 SST 有落后两个月的显著正相关。

从 SST 的 EOF 分析和 SST 与 LAT 的联合 EOF 分析中发现, 阿拉伯海 SST 与印度季风有着非常密切的相互制约关系, 这个问题有待于进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] Bjerkness, J., 1969, Atmospheric teleconnection from the equatorial Pacific ocean, Mon. wea. Rev., 97, No. 3, 163-172.
- [2] 章淹等, 1985, 1983 年长江流域的异常大雨与海洋异常, 海洋学报, 7, No. 1 期, 21-33.
- [3] 陈烈庭, 1977, 东太平洋赤道地区 SST 异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响, 大气科学, Vol. 1, No. 1, 1-12.
- [4] 罗绍华, 金祖辉, 陈烈庭, 1985, 印度洋和南海海温与长江中下游夏季降水的相关分析, 大气科学, p. No. 3, 314-320.
- [5] 邓爱军, 陶诗言, 陈烈庭, 1989, 我国汛期降水的 EOF 分析, 大气科学, Vol. 13, No. 3, 289-295.
- [6] 陈烈庭, 金祖辉, 罗绍华, 1985, 印度洋和南海海温的变化特征及其与大气环流的某些联系, 海洋学报, 7, No. 1, 103-110.
- [7] Wear, Bryan C., 1979, A statistical study of the relationships between ocean surface temperature and the Indian monsoon, J. Atmos. Sci., 36, No. 12, 2279-2291.