

太平洋海—气热通量与长江流域降水及 东亚 500hPa 环流的遥相关

徐桂玉 苏炳凯

(南京大学大气科学系, 南京 210008)

符淙斌

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

本文采用对两种气象要素场的相关场作 EOF 分解的方法, 对 1951—1979 年太平洋海—气感热、潜热通量与长江流域降水和东亚 500hPa 环流作了分析。结果表明, 太平洋海—气感热、潜热通量与后期 ($\tau=6$) 长江流域降水存在显著相关区, 感热和潜热的异常分布能造成长江流域降水分布不均。同时, 冬季 (12—2 月) 太平洋潜热通量的变化与夏季 (6—8 月) 对流层中层的赤道辐合带、副热带高压等系统有较密切的联系。

关键词: 潜热通量; 感热通量; 遥相关; 经验正交函数 (EOF)。

一、引 言

海洋对我国天气气候有着重要影响, 由于海表面温度 (SST) 是反映海洋和大气年际变化的一种最强的信号, 有大量的研究是采用它来进行探讨的。事实上, 海—气相互作用最终通过它们之间的潜热、感热、水汽和动量等通量的输送来实现。有关太平洋感热、潜热通量的时空分布特征, 我们已作了分析, 这些热通量的异常必将影响到大气环流及天气气候的变化。本文是在根据综合海洋大气资料集 (COADS) 计算出各大洋海—气热通量的基础上, 探讨太平洋海—气潜热和感热通量对我国长江流域降水以及东亚对流层中层环流的遥相关关系, 进一步揭露海—气相互作用的事实。

二、方法与资料

为揭示太平洋热通量与长江流域旱涝和东亚 500hPa 高度场之间的联系, 我们采用 Prohaska^[1]提出的对两种气象要素场的相关场作 EOF 分解的方法。设两种已经标准化的气象要素场分别为

1990 年 9 月 26 日收到; 1992 年 3 月 15 日收到再改稿。

$${}_n \mathbf{X}_m = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}, \quad {}_n \mathbf{Y}_k = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1k} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nk} \end{bmatrix},$$

其中 m, k 为第一和第二种气象要素场的网格点数 (或测站数), n 为样本数, 不失一般性, 假定 $m \leq k$, 则它们的交叉相关系数矩阵为

$${}_m \mathbf{R}_k = \frac{1}{n} {}_m \mathbf{X}_n^T {}_n \mathbf{Y}_k = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mk} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中 r_{ij} ($i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k}$) 为第一种要素场第 i 个格点与第二种要素场第 j 个格点之间的相关系数; 上标“ T ”表示矩阵的转置。

然后对相关矩阵 $\mathbf{R}$ 进行 EOF 分析, 即

$${}_m \mathbf{R}_k = {}_m \mathbf{U}_m^T {}_m \mathbf{Q}_k, \quad (2)$$

其中 $\mathbf{U}$ 为均方相关矩阵 $\mathbf{R}\mathbf{R}^T/m$ 的特征向量, 它只与第一种要素场的格点位置有关; ${}_m \mathbf{Q}_k = {}_m \mathbf{U}_m^T {}_m \mathbf{R}_k$ 称为振幅系数, 它只依赖于第二种气象要素场的空间格点。这样, 原相关系数矩阵就可以分解为振幅系数和特征矢量的线性组合, 它们成对出现, 分别表示两种气象场对相关场的贡献, 特征值的大小反映了其对应空间模态对相关场贡献的大小。由 (2) 式可知, 两要素场之间的相关系数数值的大小取决于特征向量和振幅系数格点值的乘积, 因此, 当给定相关系数的显著水平, 可得到相关系数的临界值, 并匹配特征向量和振幅系数的边界值, 从而确定显著相关区。

本文采用的海—气感热、潜热通量选自全球三大洋的热量通量, 时段为 1950 年 1 月—1979 年 12 月, 分析范围为 56°N — 24°S , 108°E — 68°W 的太平洋地区, 格距为 $8^\circ \times 8^\circ$ 经纬度。

长江流域降水资料选自国家气象中心整理的 1951—1986 年全国 160 测站月平均降水量资料; 东亚 500hPa 高度资料取自国家气象中心整理的 1951—1987 年 500hPa 月平均网格资料。

三、太平洋海—气热通量与长江流域降水的时滞效应

为了解太平洋热状况对长江流域降水的时滞效应, 我们根据以往工作^[2], 即对太平洋感热 (SHF) 和潜热 (LHF) 通量 EOF 分析结果中的第一主成分, 计算它们与长江流域平均降水距平的滞后相关系数 (1951 年 1 月—1979 年 12 月, 样本数为 348), 为了去除年变化的影响, 这里采用热通量距平场 (SHFA、LHFA) 分解的第一主成分 (其中 SHFA 占总方差的 12.1%, LHFA 占 5.4%), 其结果见表 1。当信度达 0.05

时, 相关系数临界值 $r_{0.05} \approx 0.106$, 由表 1 可见, $\tau=6$ 时 SHFA 第一主成分与降水距平的相关系数达最大, 为 $r=0.132$, 已超过 0.05 信度。相应 LHFA 与降水距平的滞后相关系数比较小, 最大值出现在 $\tau=5$, 考虑到 LHFA 第一主成分占总方差的比例较小, 而且长江流域降水取了区域平均值, 这里的总体相关仅是热通量与降水间关系的粗略估计, 因此在以下讨论热通量与降水的遥相关时, 时间延迟主要选用 $\tau=6$, 即探讨长江流域降水对半年前太平洋海-气热输送变化的响应。

表 1 太平洋热通量距平第一主成分与长江流域降水距平的后延相关系数

后延 热通量 距平 相关系数 τ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SHFA	-0.027	-0.020	0.078	-0.021	0.001	-0.009	0.132	-0.050	0.051	0.032	0.088	0.072	0.031
LHFA	0.075	0.005	0.015	-0.047	-0.019	0.0804	0.013	-0.013	-0.078	0.003	-0.047	-0.047	0.022

四、太平洋热通量与长江流域降水的遥相关

这里采用前述方法, 对热通量及半年以后 ($\tau=6$) 降水的相关场作 EOF 分解。其中, 长江流域降水取 1951 年 1 月—1979 年 12 月 44 个测站 (见图 1b) 的月平均降水量, 即 $m=44$, $n=348$, 太平洋热通量取 1950 年 1 月—1978 年 12 月, 56°N — 24°S 、 108°E — 70°W 范围内 $8^{\circ} \times 8^{\circ}$ 共 204 个网格点的月平均资料, 即 $k=204$ 。

$\tau=6$ 时潜热通量与降水间相关型第一模式 (94.3%, 图略) 表明, 北太平洋热通量变化与半年以后长江流域降水存在正相关联系, 而南半球为反相关。例如, 当北半球冬季热输送大、南半球热输送少, 则长江流域夏季降水多, 反之则降水少。其中最敏感的区域是西北太平洋、东南太平洋及澳大利亚以东洋面。这实质上反映了它们之间的气候变化特征, 即存在较强的年变化。

图 1 为潜热通量与降水相关型的第二模式 (4.7%, 感热通量类似)。由图可见, 赤道东太平洋、我国东部沿海及北太平洋中部的潜热通量 (图 1a) 与长江中下游 (主要位于长江南岸) 降水 (图 1b) 有较好的正显著相关区, 表明该区潜热通量大时降水偏多, 反之则偏少。而与长江上游的四川西南部地区存在负相关显著区。特别是秘鲁沿岸和我国渤海附近的 LHF 不但与上述地区降水有很好的正负相关区 (见图 1a、b 中虚线), 而且与长江上游甘孜、玉树地区亦存在较显著的负相关区。从图 1 中还可看到, 位于北赤道海流区的西部以及印尼和澳大利亚以东洋面的潜热通量与长江中下游及长江上游的相关符号正好与前面的相反, 即对中下游为负相关, 上游为正相关。由此可见, 长江中下游地区的降水不仅与赤道东太平洋的潜热 (或感热) 通量有很好的遥相关关系, 而且与西太平洋赤道附近的热量分布也有较好的联系。综上所述, 可清楚地看到, 无论是赤道东太平洋、还是西太平洋热输送异常, 都能造成长江流域降水分布不均, 即赤道东太平洋热量增加 (西太平洋减少) 时, 将使长江中下游大部分地区降水偏多, 而

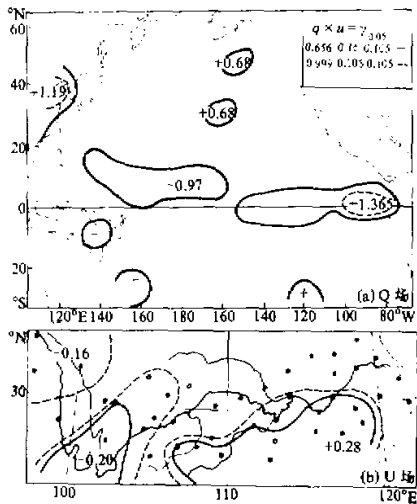


图1 太平洋潜热通量与长江流域降水相关场 ($\tau=6$) 的第二模式

上游降水却偏少。这种降水分布的特征是长江流域常见的型式之一^[3]。

以上分析是对总体而言的, 即对 29 年 348 个月太平洋热通量与长江流域降水的遥相关分析, 然而, 长江流域更侧重于汛期旱涝问题的研究, 既然太平洋海表热通量与长江流域降水之间存在半年滞后效应, 那么是否能通过冬季热通量的变化来了解长江流域夏季降水的变化。为此, 我们取冬季 (12—2 月) 太平洋平均潜热和感热通量与夏季 (6—8 月) 长江流域降水的相关场作 EOF 分解, 其样本数 $n=29$, m, k 同前, 所得结论如下:

冬季太平洋潜热与长江流域降水相关型的第一模式表明, 显著相关区主要位于赤道太平洋附近海域以及长江流域东北部, 呈负相关关系 (图略), 也就

是说, 赤道东太平洋冬季潜热输送量大 (小) 时, 夏季长江流域东北部雨量少 (多), 长江中上游降水亦有相反趋势。

冬季感热通量与夏季长江流域降水相关型第一模式 (图略) 表明, 显著相关区在加利福尼亚寒流区以及西风飘流区, 即该区感热输送量大 (小), 将造成夏季长江中下游中部地带降水多 (少)。

第二、三模式, 也能反映出太平洋冬季热通量在某些海域的异常分布与长江流域夏季降水分布不均的特点, 但达不到 0.10 的信度, 故不再给出。

从以上分析可知, 长江流域汛期降水与太平洋海—气热通量的输送有一定的联系, 但显著相关区都偏小。这可能说明, 降水形成的机制比较复杂, 显然仅考虑海表热通量输送是不够的。况且海表热通量的变化不一定对长江流域降水起直接影响作用, 而常常通过海—气相互作用使大气环流发生变化, 从而导致降水的异常。为此, 以下我们将对热通量与大气环流的联系作一些探讨。

五、冬季太平洋热通量与夏季东亚 500hPa 环流的遥相关

长江流域汛期降水在很大程度上取决于对流层中层副热带高压的变动, 为进一步了解太平洋海表热状况与夏季大气环流、特别是副热带高压之间的联系, 这里对冬季 (12—2 月) 太平洋平均热通量及夏季 (6—8 月) 东亚 500hPa 平均高度场同样作了 EOF 分析。其中 500hPa 高度场取 10° — 50° N, 100° E— 160° W 范围内 5° 纬度 $\times 10^{\circ}$ 经度网格点值, 即 $m=99$, 样本 $n=29$, k 同前。

计算结果表明, 冬季海—气热通量与夏季东亚 500hPa 环流有密切的遥相关关系,

前五个模式都显示出显著相关区,结果如下:

相关型第一模式(42.7%,见图2及图4中I区),表示北太平洋中部以及赤道东太平洋附近的潜热输送与500hPa低纬高度场为显著的正相关,表明上述海区的热输送与夏季对流层中层的赤道辐合带和太平洋副热带高压有明显的联系。

第二模式占总方差的14.8%,显著相关区表明在东北太平洋低纬度及西北太平洋的潜热通量(图3)与日本海附近500hPa高度(图4中II区)为正相关;而南半球及赤道太平洋潜热与日本海附近高度场为显著负相关区。从6—8月东亚500hPa平均高度场看,日本海附近为一低压槽(见图4),这实际上为东亚槽的底部,它反映了热通量与中纬冷空气活动的关系。

第三模式(11.1%)表示南太平洋中部及东太平洋赤道以北(图略)的潜热通量与南海地区高度场有负、正相关区(见图4中III区)。该区高度场的变化实质上反映了南海高压的强弱,而该天气系统对长江流域降水有直接的影响。

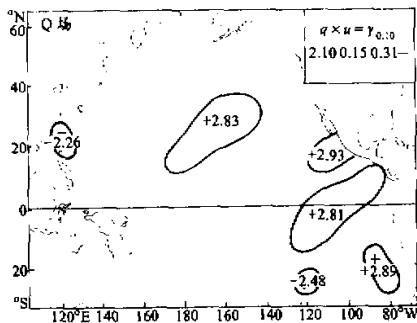


图2 冬季太平洋潜热通量与夏季东亚500hPa高度相关场展开的第一模式

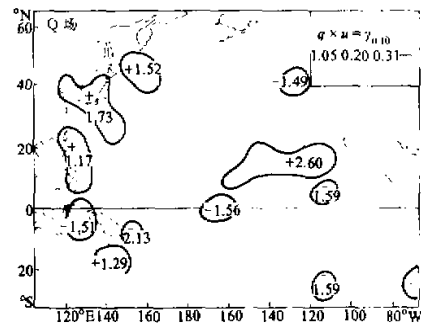


图3 同图2, 但为第二模式

第四模式(5.8%)表明北太平洋中部、东太平洋赤道以北及西太平洋赤道以南部分地区的潜热通量(图略)分别与西太平洋500hPa高度有正、负显著相关区(见图4中IV区),它反映了夏季西太平洋副高对冬季热输送的响应。

第五模式(5.5%)表示太平洋低纬地区的热通量与鄂霍茨克海附近500hPa高度有负显著相关区(见图4中V区)。显然,这反映了与东亚大槽

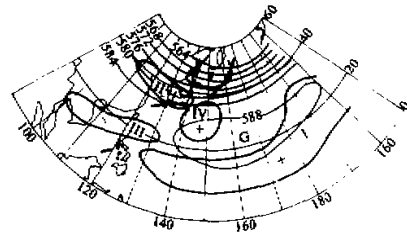


图4 东亚500hPa 6—8月多年平均高度场(细实线)与U场

强弱的联系,与 II 区相结合,表明热通量影响了东亚冷空气的活动。

感热通量与潜热通量的结果相类似,故从略。

综上所述,冬季太平洋潜热和感热输送对东亚 500hPa 上赤道辐合带、太平洋副热带高压、南海高压以及东亚大槽的强弱有密切的联系,这些系统是东亚主要天气系统,它们对长江流域降水有着重要贡献。由此可见,联系到前面冬季热通量与夏季江淮流域降水的关系,可以认为,它们之间的影响途径可能是:冬季太平洋海-气热通量输送异常改变了对流层中层大气环流,副热带及西风带系统的共同作用使长江流域降水发生变异。

六、小 结

通过对太平洋海-气热通量与长江流域降水及东亚 500hPa 环流的分析,可以初步得到它们之间的一些遥相关联系,主要是:

(1) 赤道太平洋及我国东部沿海的潜热、感热通量输送异常能造成 6 个月以后长江流域降水分布不均,即长江中、下游与上游降水呈相反趋势,其中以赤道东太平洋的作用最为显著。

(2) 冬季赤道东太平洋潜热通量与夏季长江流域东北部降水呈负显著相关,即潜热输送量大(小),降水就少(多)。冬季感热通量与夏季长江流域降水的显著正相关区位于加里福尼亚寒流区以及西风飘流区。

(3) 冬季潜、感热通量与夏季东亚 500hPa 环流的显著相关区,500hPa 上分别位于赤道辐合带、太平洋副热带高压、南海高压以及东亚大槽区。冬季热通量的变异,改变了夏季对流层中层大气环流,从而影响夏季长江流域降水。

参 考 文 献

- [1] Prohaska, John T., 1976, A technique for analyzing the linear relationships between two meteorological fields, *Mon. Wea. Rev.*, **104**, No.11, 1345-1353.
- [2] Su Bingkai, Xu Guiyu and Fu Congbin, 1990, A three mode EOF analysis on the air-sea sensible heat flux over the Pacific, *Proceedings of US-PRC International TOGA Symposium, 1988*, China Ocean Press, Beijing.
- [3] Su Bingkai, Xu Guiyu and Fu Congbin, 1991, The use of three-dimensional EOF technique to analyze climatic characteristics of precipitation in China, *Acta Meteorologica Sinica*, **5**, No.5, 617-627.

Teleconnection between Air-Sea Heat Flux over the Pacific and Precipitation over the Yangtze River Valley and 500 hPa Circulation over East Asia

Xu Guiyu and Su Bingkai

(*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008*)

Fu Congbin

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract

In this paper, the EOF technique is utilized to analyze the field of time cross-correlation coefficients between two meteorological fields, such as the correlations between the air-sea latent and sensible heat flux in the Pacific and the precipitation over the Yangtze River valley and the 500 hPa circulation in the period of 1951–1979. The results show that there exists teleconnectionship between the sensible and latent heat flux in the Pacific and the precipitation over the Yangtze River valley for the lags ($\tau = 6$). The anomalies of the latent and sensible heat flux in the eastern equatorial Pacific may cause the uneven distribution of precipitation over the above mentioned area. Moreover, the variations of latent heat flux in the winter (DJF) are also associated with the variations of equatorial convergence belt, subtropical anticyclone etc. over the mid-troposphere in the summer (JJA).

Key words: latent heat flux; sensible heat flux; telecorrelation; empirical orthogonal function (EOF).