

文章编号: 1000-2022(2006)05-0620-07

# 亚非感热异常时空特征及其与我国降水异常的关系

梁姗姗, 钱永甫

(南京大学大气科学系, 江苏南京 210093)

**摘 要:** 运用多年全球感热通量数据进行经验正交函数(EOF)分析, 得到感热异常关键区。运用小波分析等方法发现, 全球地表感热异常存在振荡现象, 东半球在年际、年代际尺度上, 地表感热异常主要以青藏高原东、西部的反相以及高原西部和北非的反相为热力异常振荡的主要分布形态。再运用中国月平均降水资料进行 EOF 分析, 得到各个感热异常关键区与中国华北、江淮和华南地区汛期降水异常的相关关系, 其中北非、青藏高原西北部和马来半岛这 3 个区域的感热距平之间有较强的相关关系, 且感热异常季节变化较小, 对我国东部地区降水的影响比较稳定, 持续性较好。  
**关键词:** 感热; 振荡; 降水异常; EOF 分析  
**中图分类号:** P461 **文献标识码:** A

# Sensible Heat Oscillation Character of Asian and African Continents and Its Relation to Precipitation Anomaly of Eastern China

LIANG Shan-shan, QIAN Yong-fu

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract** The exchange of sensible heat is a primary form of energy exchange between the ground and atmosphere. The Empirical Orthogonal Function (EOF) analyses of the NCEP/NCAR reanalysis data of global monthly means of ground surface sensible heat net flux from 1948 to 2002 reveal six sensible heat flux anomaly areas in the Eastern Hemisphere, and the oscillation phenomena of sensible heat fluxes between North Africa and the Tibetan Plateau. And the EOF analyses of the monthly precipitation data at 160 stations in China in 1951—2000 uncover the correlation of the sensible heat oscillation phenomena and the rainy season precipitation anomaly of North China, South China and the Changjiang-Huaihe River valley. The sensible heat flux anomalies among North Africa, the northwest of the Tibetan Plateau and Malay peninsular are closely correlated each other and they have more stable and persistent influence on the precipitation in Eastern China.  
**Key words** sensible heat oscillation character; precipitation anomaly; EOF analysis

收稿日期: 2004-12-17; 改回日期: 2005-07-06  
基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(40233037); 国家重点基础研究发展规划项目(2004CB418300)  
作者简介: 梁姗姗(1982-), 女, 江苏南京人, 研究方向: 灾害性天气气候, [countids@163.com](mailto:countids@163.com); 钱永甫(通信作者): 男, 教授, 研究方向: 灾害性天气气候, [qianzh2@nju.edu.cn](mailto:qianzh2@nju.edu.cn)

0 引言

地面与大气间的能量交换是大气运动的动力,地面与大气之间能量交换的形式主要有感热、潜热和辐射。在干旱、半干旱地区,尤其是在少降水的季节,由于土壤湿度小,干燥的土壤或沙地热传导性能很差,地—气之间的潜热交换和土壤热吸收相对是小量。因此可以认为陆地表面辐射收支差额主要是以感热湍流热交换的形式供给大气而达到地面的热量平衡。在地表对大气的加热作用中,地—气间的感热交换是地—气能量交换的主要形式。所以研究感热通量的时空变化对研究大气活动及其异常有重大的意义。通过对全球地面感热通量的多年数据进行分析,可以得到感热通量的关键区<sup>[1]</sup>。

中国东部的降水区可以分为东北、华北、黄淮、江淮(长江中下游)、江南和华南等区<sup>[2-3]</sup>,其中华北、江淮和华南 3 个地区的降水有明显的季节差异。研究这 3 个地区降水资料,与感热通量资料进行对比分析,可以得到全球感热变化对中国东部地区降水的影响。柏晶瑜等<sup>[4]</sup>研究过春季青藏高原感热异常对长江中下游夏季降水的影响,结果表明春季高原下垫面感热南北非均匀异常分布特征可能是长江中下游地区夏季旱涝的强信号之一。叶燕华等<sup>[5]</sup>通过 SVD 方法分析了青藏高原感热与黄土高原春季降水异常的关系,研究表明上年冬季和秋季青藏高原感热场的异常通过影响大气环流,能够导致次年黄土高原春季降水异常。因此,研究感热与降水的关系对我国长期天气预报和大气环流季节变

化的研究有重大意义。本文将对全球感热分布进行分析,找出与我国东部降水关系较大的感热异常关键区,并分析这些关键区的感热异常与我国降水异常的关系。

1 资料和研究方法

分析所用地表感热通量密度(下称地表感热)资料为美国国家环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)的再分析月平均资料。地表热通量的网格,在纬向是均匀的,格距为  $1.875^{\circ}$ ,经向为非均匀高斯格点,本文用双线性插值方法将其变为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  的网格资料。资料年限为 1948 年 1 月—2002 年 12 月共 55 a。降水资料为中国 160 个站点 1951—2000 年 1—12 月各月降水量。

文中采用经验正交函数(EOF)分解和 Morlet 小波分析方法研究感热的时空特征和振荡周期<sup>[6-7]</sup>。对 EOF 各模态的分析结果使用 North 等<sup>[8]</sup>提出的计算特征值误差范围的方法进行显著性检验,结果表明,经验正交函数为有价值的信号而不是噪声。

2 东半球感热振荡特征分析

2.1 全球地表感热振荡区域

从 NCEP/NCAR 资料中选取 1948 年 1 月—2002 年 12 月的地表感热通量密度,由 55 a(660 月)的资料求得全球各个格点去除年变化后的月距平序列,对此序列用 EOF 法进行展开<sup>[9]</sup>,因为所用的感热距平序列很长且全球格点很多,第 1 模态的方差贡献率较小,为 6%。图 1 中只给出东半球的

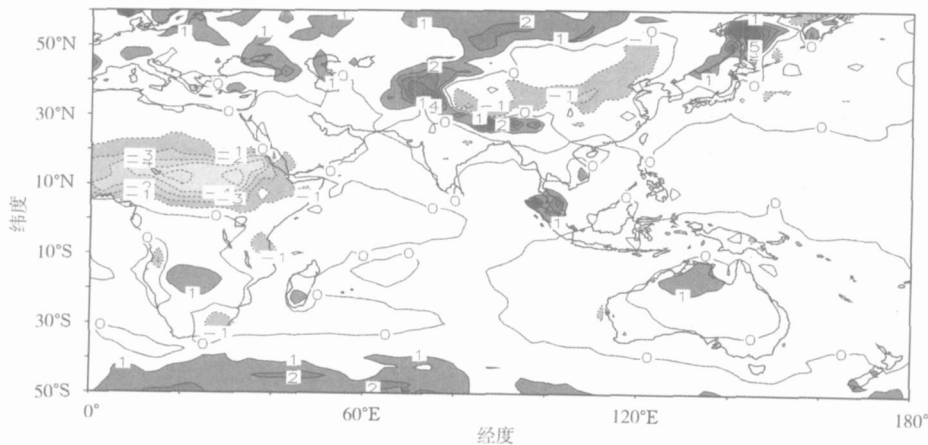


图 1 1948—2002 年东半球地表感热距平 EOF 分析的第 1 模态空间分布  
(等值线数值扩大至 100 倍,阴影区为绝对值大于 1 的区域)

Fig. 1 The first EOF characteristic vector for the ground surface sensible heat fluxes of Eastern Hemisphere during 1948 to 2002  
(The value of isolines has been enlarged by 100 times, and areas where the absolute value is larger than 1 are shaded)

情况。由图可以清楚地看出, 北非大陆 (  $5^{\circ}\text{W} \sim 40^{\circ}\text{E}$ ,  $5^{\circ} \sim 20^{\circ}\text{N}$  ) 为一明显的负值区, 而青藏高原 (  $70^{\circ} \sim 100^{\circ}\text{E}$ ,  $25^{\circ} \sim 50^{\circ}\text{N}$  ) 为带状连续的正值区, 这两个区域呈相反的变化, 是显著的异常区。第 1 模态对应的时间系数呈现非常明显的年代际变化, 1970 年前后正负异常变化反相, 说明在年际、年代际尺度上, 地表感热异常主要以青藏高原东、西部的反相以及高原西部和北非的反相为热力异常振荡的主要分布形态。

取出 55 a 1—12 月各月的感热距平, 对每个月的序列在东半球范围内分别进行 EOF 分析。各月第 1 模态的方差贡献均在 20 % 左右, 表征出各月最主要的特征, 选取各月第 1 模态空间图进行分析, 找到各月的振荡区域并与 660 月全球的分析结果 (图 1) 作比较。

图 2 给出 4 月和 7 月第 1 模态空间分布, 分别代表春、夏季感热距平 EOF 值的空间分布型。由各

月的 EOF 分析空间分布可以得到: 冬季 ( 11 月、12 月、次年 1 月 ) 正值区数值小, 振荡现象不明显 (图略), 其他季节振荡现象都很明显, 夏季尤其突出。2 月开始正负值区的数值都变大, 北非为十分稳定少变的负值大值区 ( 2 月除外 ), 亚洲中部的正值大值区在 3 月、4 月时位于青藏高原中南部 (图 2a), 5 月后向西北移至青藏高原西北部地区 (图 2b), 并且 5—8 月达到最强, 之后有所减弱, 至 12 月正值区回到青藏高原中南部。4—8 月在大的正值区周围有大片负值区存在, 9 月后减弱消失。冬季 ( 11 月、12 月、次年 1 月 ), 锡霍特山脉一带出现较大正值区, 沿海陆交界处呈带状分布, 夏季此区域消失。3—10 月, 马来半岛地区 (  $95^{\circ} \sim 105^{\circ}\text{E}$ ,  $0^{\circ} \sim 8^{\circ}\text{N}$  ) 有稳定少变的正值大值区域, 冬季此区域值很弱, 不明显。

由此可以确定几个较为固定少变的大值区, 即为感热异常关键区, 如表 1 所示。

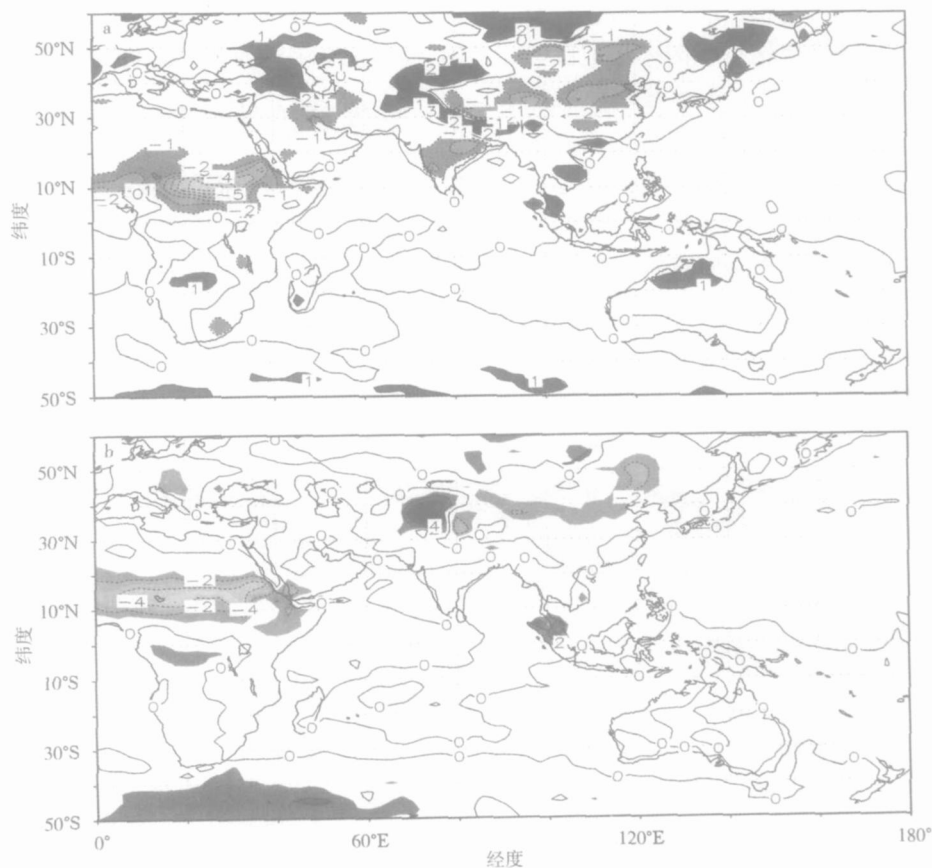


图 2 1948—2002 年 4 月 ( a ) 和 7 月 ( b ) 地表感热距平 EOF 分析的第 1 模态空间分布  
(等值线数值扩大至 100 倍, 阴影区为绝对值大于 1 的区域 )

Fig 2 The first EOF characteristic vector for ground surface sensible heat fluxes in April ( a ) and July ( b ) during 1948 to 2002  
( The value of isolines has been enlarged by 100 times and the absolute value of shaded areas is larger than 1 )

表 1 东半球地表感热距平关键区  
Table 1 Six key areas for ground surface sensible heat anomaly in the Eastern Hemisphere

| 编号 | 地区      | 范围                   |
|----|---------|----------------------|
| 1  | 北非      | 0°~45°E, 5°~25°N     |
| 2  | 青藏高原中南部 | 80°~100°E, 25°~30°N  |
| 3  | 青藏高原西北部 | 70°~80°E, 30°~50°N   |
| 4  | 马来半岛    | 95°~105°E, 0°~8°N    |
| 5  | 锡霍特山脉一带 | 130°~150°E, 40°~55°N |
| 6  | 蒙古      | 100°~110°E, 35°~45°N |

2.2 北非和青藏高原关键区感热振荡特征

分析感热异常振荡现象, 在北非选取 10°~60°E, 0°~30°N 作为分析区, 青藏高原西部选取 60°~90°E, 30°~50°N 范围, 并选取北非地区数值最大的一个点 (30°E, 12°N), 求全球格点 660 月的感热通量距平场与该点的相关。对北非范围内相关系数大于等于 0.3 的格点的感热距平做区域平均, 得到一个时间序列, 定义为北非感热距平指数 (简称“指数”)。同理, 取青藏高原西部 (75°E, 35°N) 点, 在 60°~90°E, 30°~50°N 范围内, 选取相关系数大于等

于 0.3 的格点做区域平均, 得到的感热距平时间序列定义为青藏高原西部感热距平指数。用青藏高原西部指数减去北非指数, 得到第 3 个时间序列, 定义为“振荡指数”。

标准化 3 个时间序列并比较可发现, 北非指数和青藏高原指数呈相反的变化形式, 说明选取的这两个区域有振荡现象, 是分析的关键区。

用小波分析法分析以上 3 个标准化的时间序列, 讨论各个序列的主周期。

由图 3 可见, 北非指数的主周期为 288 月 (约 24 a), 此周期在 1975 年前明显比 1975 年后强; 1960 年前, 还存在一个 6~12 a 的周期, 1960 年后, 周期逐渐变长且与 24 a 的周期合并。青藏高原西部感热通量距平的变化也有 288 月 (约 24 a) 的主周期, 且在 1975 年后变长; 1970 年前, 还有一个 18 月的周期, 其后消失, 这与北非指数的变化特征不同。振荡指数有与北非和青藏高原西部相同的振荡周期及其演变特征。以上 3 个时间序列的主周期相同, 说明在所选区域内感热变化存在强相关, 即青藏

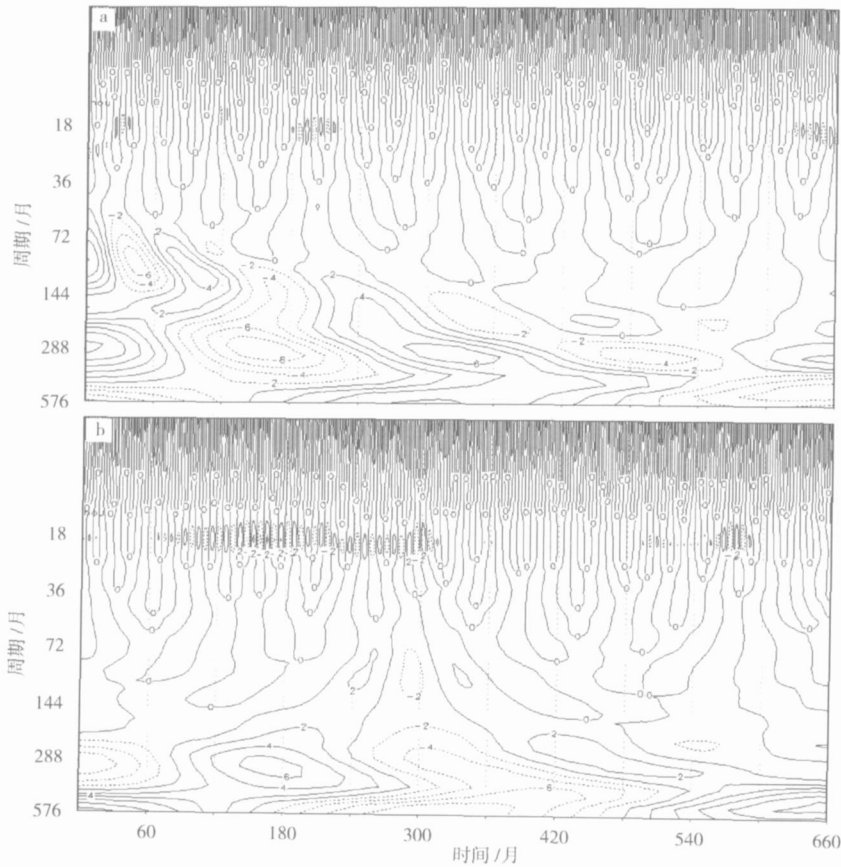


图 3 标准化后感热通量距平的小波变换 a 北非指数; b 青藏高原西部指数  
Fig. 3 Morlet wavelet transform coefficients of normalized sensible heat fluxes  
a index of North Africa; b index of western Tibetan Plateau

高原西部和北非感热通量存在振荡现象。

本文还用累计标准化距平、滑动  $t$  检验和 Mann Kendall(MK)等方法对以上 3 个指数的突变点进行了分析。结果表明,振荡指数在第 280 月(1973—1974年间)有突变,北非指数在 240 月(即 1970 年)附近存在突变,青藏高原西部指数的突变点与振荡指数的相同。可见,北非感热异常的突变早于青藏高原西部感热异常,而振荡指数的突变主要由青藏高原西部感热异常的突变所决定。

### 2 3 北非、青藏高原各月感热异常的方差分析

前面对 55 a 整个 660 月时间序列的特征进行了分析。但在不同的月份,感热距平的变率是不同的。通常感热距平序列的方差越大,其气候效应也越明显。为此,将 3 个标准化的感热距平时间序列分别分解为 1—12 月的 12 个序列。对振荡指数、北非指数和青藏高原西部指数分别对应的 12 个序列求方差,可得到感热年际变化最明显的月份。对于振荡指数,5—7 月和 10 月的方差较大,说明这几个月感热的年际变化明显。北非指数中 4—8 月的方差都较大,年际变化明显。青藏高原西部指数 5—7 月、9—10 月的方差较大。综合可知 5—7 月为感热年际变化最明显的月份。用这几个月感热距平来研究气候效应现象更合适,更容易看出引起气候变化的作用因子,同时,高原西部 9—10 月的感热异常的气候效应也值得研究。

## 3 地表感热关键区与我国东部地区降水关系

### 3 1 我国东部地区代表站的选择

在全国 160 站 1951—2000 年的各月降水资料中选取我国东部地区站点的资料作为分析对象。根据前人研究,我国东部可分为东北、华北、黄淮、江淮(长江中下游)、江南和华南等降水区<sup>[3]</sup>。本文重点研究华北、江淮和华南 3 个区域。用相关分析选定代表站,华北区域的代表站有:承德、北京、天津、石家庄、德州、邢台、安阳、烟台、青岛、潍坊、济南、临沂、菏泽、郑州、太原和临汾,共 16 个,此区域的汛期为 7—8 月。江淮地区的代表站有:南京、合肥、上海、杭州、安庆、屯溪、九江、汉口、钟祥、岳阳、宜昌、常德、宁波、衢县、贵溪、南昌和长沙,共 17 个,此区域的汛期为 6—7 月(梅雨期)。华南区域的代表站有:厦门、梅县、汕头、曲江、河源、广州、阳江、湛江、海口、桂林、柳州、梧州、南宁、北海、福州、永安,共 16 个,此区域的汛期为 4—6 月(华南前汛期)。

在 3 个区域的降水资料中根据汛期分别把各站汛期所对应月份的降水相加后平均,得到 3 个区域平均的汛期降水序列,并求得各自的距平值。

### 3 2 感热关键区与我国 3 个降水区的 EOF 分析

前人对我国区域降水的影响因子做过许多研究<sup>[10-13]</sup>。本文通过对亚非大陆感热振荡现象的分析,得到亚非大陆的 6 个地表感热关键区(表 1)。从全球 1948—2002 年地表感热距平资料中取出这 6 个区域 1951—2000 年的感热距平资料,进行区域平均和标准化,使得每一个区域都得到一个 50 a 1—12 月的标准化感热距平序列。对上面得到的我国 3 个区域的汛期降水距平序列也进行标准化,得到 3 个标准化降水距平序列。将各个感热距平关键区的 1—12 月 12 个标准化感热距平和 3 个降水标准化距平,共 15 个距平序列构成矩阵的列,各年的同一标准化距平构成行,形成一个  $50 \times 15$  矩阵,以此进行 EOF 分析。

各感热关键区的标准化感热距平与华北、江淮、华南地区的标准化降水距平的 EOF 分析见表 2 和图 4。图 4 中横坐标上 1—12 代表关键区 1—12 月的地表感热,13 代表华北降水,14 代表江淮降水,15 代表华南降水。

表 2 各感热关键区与降水区 EOF 分析的前 3 模态方差贡献

Table 2 Percentages of total variance explained by the first three EOF characteristic vectors of standardized key area sensible heat flux and regional rainy season precipitation anomaly series /%

| 地区      | 第 1 模态<br>方差贡献 | 第 2 模态<br>方差贡献 | 第 3 模态<br>方差贡献 |
|---------|----------------|----------------|----------------|
| 北非地区    | 66             | 8              | 7              |
| 青藏高原中南部 | 25             | 14             | 11             |
| 青藏高原西北部 | 29             | 16             | 13             |
| 马来半岛    | 58             | 8              | 7              |
| 锡霍特山脉一带 | 16             | 14             | 12             |
| 蒙古      | 29             | 13             | 9              |

各关键区中,第 1 模态的方差贡献最大,显示了各关键区感热异常与 3 个降水区降水异常最主要的关系:华北地区降水异常与北非地区和蒙古地区的感热异常有明显的负相关,而与青藏高原中南部、青藏高原西北部和锡霍特山脉一带地区的感热异常是正相关,而马来半岛地区感热异常对此地区的降水异常影响不大。江淮地区的降水异常与北非和蒙古地区的感热异常是正相关,与青藏高原中南部、青藏

高原西北部、马来半岛和锡霍特山脉一带地区的感热异常均为负相关。华南地区的降水受北非、青藏高原中南部, 青藏高原西北部、马来半岛和蒙古地区感热的影响均不大, 只与锡霍特山脉一带地区有较大的正相关。在关键区中, 北非、青藏高原中南部、青藏高原西北部、马来半岛地区的感热异常现象持续性较好, 对降水的影响也较稳定。而蒙古和锡霍特山脉一带地区的模态曲线变化较大, 尤其是锡霍特山脉一带地区, 变化十分剧烈。说明这些地区感热异常有很大的季节变化, 对降水的影响也不稳定。

对各感热异常关键区的 50 a 的感热距平再进

行相关分析, 结果见表 3。由表 3 可见, 只有北非与青藏高原西北部和马来半岛感热距平之间有明显的负相关, 青藏高原西北部和马来半岛的感热距平之间为正相关, 马来半岛还与蒙古间存在一定的负相关。其他区域的感热距平之间的关系不太显著。

综上所述, 北非、青藏高原西北部和马来半岛这 3 个区域的感热距平之间有较强的相关关系, 并且在 EOF 分析中, 表示这些地区感热异常状况的曲线较平滑, 季节变化较小, 其对我东部地区降水的影响比较稳定, 持续性较好。所以这 3 个区域感热异常对我国降水的影响机制值得在以后的研究中仔细

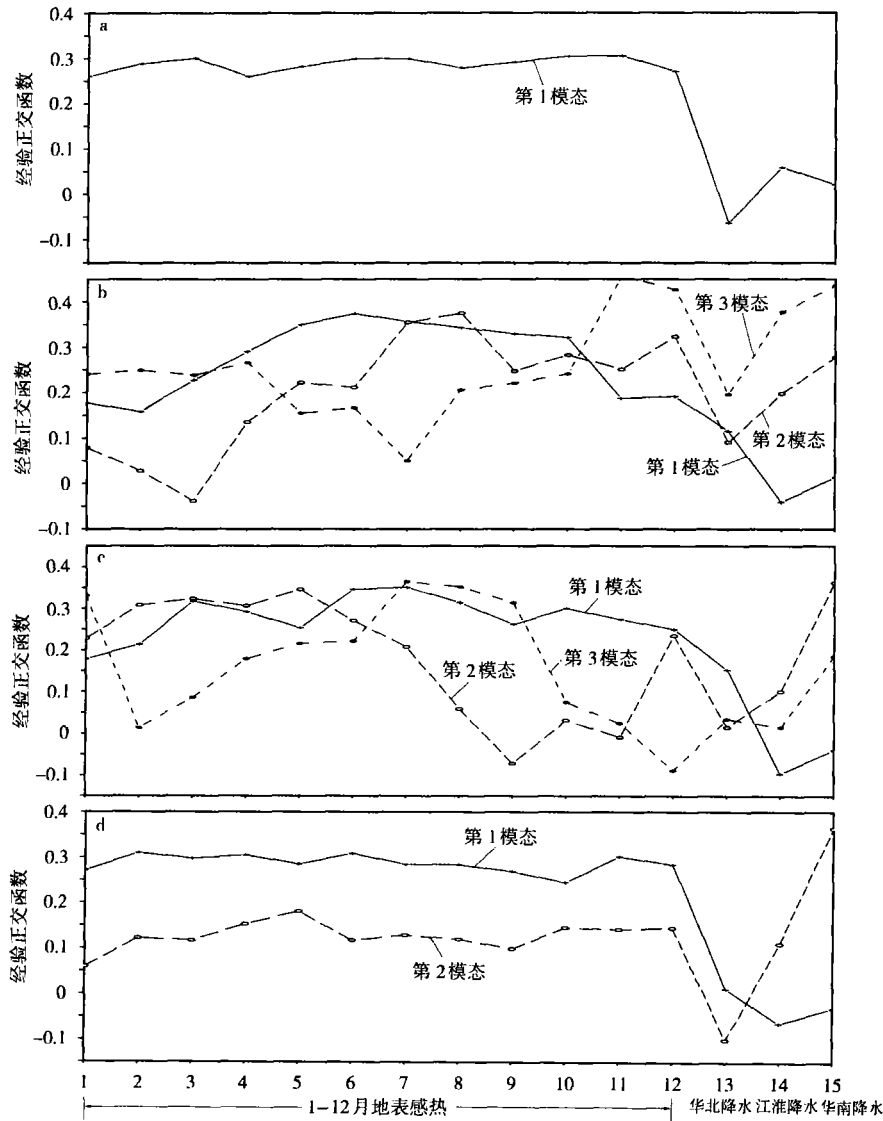


图 4 感热关键区标准化感热距平与华北、江淮、华南地区降水标准化距平 EOF 分析  
a 北非地区; b 青藏高原中南部地区; c 青藏高原西北部地区; d 马来半岛地区

Fig 4 The EOF analysis of the normalized sensible heat flux of four key areas and the normalized precipitation of North China, Changjiang-Huaihe River valley and South China  
a North Africa; b the middle and south part of Tibetan Plateau;  
c the northwest part of Tibetan Plateau; d Malay peninsular

讨论,对我国降水异常的诊断和预测有一定的意义。

另外,还有研究表明,感热异常与上述地区汛期降水的相关系数虽然通过了显著性检验,但其值都不是很大,说明感热异常的影响并非每年都是主要的,在某些年甚至被其他因子的作用所掩盖,表现为

表 3 各感热异常关键区相关系数

Table 3 Correlation coefficients of the sensible heat anomalies of various key areas

|         | 北非      | 青藏高原中南部 | 青藏高原西北部  | 马来半岛     | 锡霍特山脉一带  | 蒙古       |
|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 北非      | 1.000 0 | 0.014 3 | -0.408 3 | -0.555 5 | -0.088 6 | 0.191 1  |
| 青藏高原中南部 |         | 1.000 0 | -0.014 8 | -0.090 3 | 0.072 4  | -0.075 7 |
| 青藏高原西北部 |         |         | 1.000 0  | 0.294 5  | 0.106 1  | -0.109 1 |
| 马来半岛    |         |         |          | 1.000 0  | 0.086 4  | -0.267 2 |
| 锡霍特山脉一带 |         |         |          |          | 1.000 0  | -0.039 7 |
| 蒙古      |         |         |          |          |          | 1.000 0  |

4 小结

(1)全球地表感热异常存在振荡现象,东半球在年际、年代际尺度上,地表感热异常主要以青藏高原东、西部的反相以及高原西部和北非的反相为热力异常振荡的主要分布形态。这两个振荡区主周期相同,约 288 月(约 24 a)。在 1973 年附近存在突变,两个地区感热距平有正态分布特点。各月中 5、6、7 月为感热年际变化最明显的月份。

(2)东半球存在 6 个主要的地表感热异常关键区:北非、青藏高原中南部、青藏高原西北部、马来半岛、锡霍特山脉一带、蒙古。冬季振荡现象不明显,其他季节振荡现象都很明显,夏季尤其突出。

(3)华北地区汛期与北非地区和蒙古地区的感热异常有负相关,与青藏高原中南部、青藏高原西北部和锡霍特山脉一带地区的感热异常正相关。江淮地区汛期与北非和蒙古地区的感热异常正相关,与青藏高原中南部、青藏高原西北部、马来半岛和锡霍特山脉一带地区的感热异常均为负相关。华南地区汛期受北非、青藏高原中南部、青藏高原西北部、马来半岛和蒙古地区感热的影响均不大,只与锡霍特山脉一带地区有较大的正相关。

(4)北非、青藏高原西北部、马来半岛地区是稳定少变的感热异常大值区,其两两之间的相关系数也较大,这 3 个地区对我国东部地区降水的影响作用及机理具有进一步研究的价值。

感热与降水的相关关系被破坏。关于感热异常对降水异常的影响机理和相关关系被破坏的原因,以及在何种时间尺度上两者的相关性最明显等问题将进一步研究。

参考文献:

[1] 张艳. 青藏高原热力参数特征及其异常气候效应的研究 [D]. 南京: 南京大学大气科学系, 2004 1-23

[2] 邓爱军, 陶诗言, 陈烈庭. 我国汛期降水的 EOF 分析 [J]. 大气科学, 1989, 13(3): 289-295.

[3] 朱乾根, 陈晓光. 我国降水自然区域的客观划分 [J]. 南京气象学院学报, 1992, 15(4): 467-475.

[4] 柏晶瑜, 徐祥德, 周玉淑等. 春季青藏高原感热异常对长江中下游夏季降水影响的初步研究 [J]. 应用气象学报, 2003, 14(3): 363-368

[5] 叶燕华, 王平鲁, 李栋梁. 青藏高原感热与黄土高原春季降水异常关系研究 [J]. 干旱气象, 2005, 23(1): 22-25

[6] 胡增臻, 石伟. 小波变换在大气科学中的应用研究 [J]. 大气科学, 1997, 21(1): 58-72

[7] 陈绍东, 王谦谦, 钱永甫. 江南汛期降水基本气候特征及其与海温异常关系初探 [J]. 热带气象学报, 2003, 19(3): 260-268.

[8] North G R T, Bell R C, Moeng F J Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function [J]. Mon Wea Rev, 1982, 110(7): 699-706

[9] 任雪娟, 钱永甫. 南海地区潜热输送与我国东南部夏季降水的遥相关分析 [J]. 海洋学报, 2000, 22(2): 25-34

[10] 徐桂玉, 苏柄凯, 符淙斌. 太平洋海一气热通量与长江流域降水及东亚 500 hPa 环流的遥相关 [J]. 大气科学, 1994, 18(1): 89-95.

[11] 朱乾根, 腾莺, 徐国强. 北太平洋中纬海温异常对中国东部夏季降水影响的可能途径 [J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 2-7.

[12] 王慧, 王谦谦. 淮河流域夏季降水异常与北太平洋海温异常的关系 [J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(1): 45-54

[13] 周顺武, 丁峰, 假拉. 印度洋春、夏季海温对西藏高原夏季降水的影响 [J]. 气象科学, 2003, 23(2): 168-175.