第 29卷第 5期　　南 京 气 象 学 院 学 报　　Vol 29 No 5
2006年 10月　　Journal of Nanjing Institute of Meteorology　　Oct 2006

文章编号: 1000-2022(2006) 05-0599-07

夏季索马里急流的建立及其影响机制

李晓峰,　郭品文,　董丽娜,　宇婧婧
(南京信息工程大学 大气科学系, 江苏 南京　210044)

摘　要: 定义了夏季索马里急流 (SSMJ)的建立指数, 从而确定了 1948—2002年的 SSMJ建立日期, 并以此为基础研究了 SSMJ建立过程以及前冬海陆热力异常和冬季风异常对其建立早晚的影响。结果表明: SSMJ的建立是亚洲季风爆发的最早信号; 其建立过程受到马斯克林高压、中非低压以及阿拉伯高压等非洲—印度洋系统的影响, 而印度低压的发展有利于 SSMJ越过赤道后向东转向; 夏季索马里急流建立时间的年际变化反映了北半球冬季海陆热力差异的年际异常; 强 (弱)东亚冬季风时, 次年春季 SSMJ建立偏迟 (早)。

关键词: 夏季索马里急流; 建立; 东亚冬季风; 年际变化
中图分类号: P462 4　　文献标识码: A

Onset Process of Summer Somali Jet and the Possible Influenced Mechanism

LI Xiao-feng　　GUO Pin-wen,
DONG Li-na,　　YU Jing-jing
(Department of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing　210044, China)

Abstract: The Summer Somali Jet(SSMJ) onset dates during the period from 1948 to 2002 are decided by a defined index for SSMJ onset. Then the processes of SSMJ onset and the influence of anomalies of the winter land-sea surface temperature and the East Asia winter monsoon are analyzed in this paper. The results show that the onset of SSMJ is the earliest signal of the Asia summer monsoon; the onset of SSMJ is caused by the African-Indian Ocean System, including Mascarene High, Middle African Low and Arabian High; the developing Indian Low can force SSMJ eastward after crossing equator. The interannual anomaly of SSMJ onset dates reflects the interannual anomaly of prophase winter temperature difference between land and sea. When the winter monsoon is stronger (weaker), the onset of SSMJ is later (earlier) in the coming spring.

Key words: summer Somali jet; onset; east Asia winter monsoon; interannual variability

收稿日期: 2004-12-10; 改回日期: 2005-03-02
基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK20011106)
作者简介: 李晓峰 (1979-), 男, 湖北宜昌人, 硕士, 研究方向: 短期气候诊断与预测, lixiaofeng@ mail iap ac cn

0 引言

索马里急流 (SMJ)是最强大的低空越赤道气流,作为季风系统的重要成员之一,在南北半球之间的质量、动量、水汽交换中扮演重要角色,是热带大气环流的重要组成部分。20世纪 60年代末, Findlater[1]首先发现了索马里低空急流。后来, Krishnamurti[2]和 Bannon[3]对索马里急流进行了一系列动力学研究和数值模拟。我国气象工作者在研究越赤道气流过程中发现,东半球越赤道气流特别是索马里急流对我国夏季降水、台风等灾害性天气有重要影响[4-7]。

近年来,在关于季风建立和南北半球季节转换的研究中,索马里急流受到越来越多的重视。李崇银等[8]认为,索马里跨赤道气流的稳定建立是南海季风爆发的重要机制。薛峰等[9]的分析表明,从全球范围看,季节变化始于全球最冷的地区,其次是热带季风区和副热带季风区,之后通过越赤道气流的作用才引起夏季风的爆发。

这些工作说明,夏季索马里急流 (SSMJ)的建立是南北半球季节转换过程中的一个重要环节,其稳定建立不仅对北半球夏季风的爆发起重要的作用,同时也预示着北半球夏季风的爆发,是亚澳夏季风爆发的一个重要信号。但是,还没有从多年资料入手来确定 SSMJ建立时间并研究其建立过程,以及前期海陆热力状况与 SSMJ建立关系如何,冬季风异常如何影响 SSMJ的建立早晚,本文将对这些问题进行初步的探讨,并试图给出物理解释。

1 资料

本文使用的资料主要有: (1) NCEP/NCAR全球逐日的 17层风场 (u、v)、位势高度场 (Φ)资料以及逐月的表面温度资料。分辨率为 2.5°×2.5°,时间长度为 1948年 1月—2002年 12月。文中根据需要将逐日资料处理成逐候资料。(2) NOAA的全球外逸长波辐射 (OLR)逐日资料。分辨率为 2.5°×2.5°,时间长度为 1979年 1月—2002年 12月,文中处理成逐候资料。(3) 1951年 1月—2000年 12月中国 160站夏季降水资料。

2 索马里越赤道气流的季节变化

随着观测资料增加,关于东半球夏季低空越赤道气流通道的看法逐渐趋于一致[10-16]。夏季东半球低空主要有 5个越赤道气流通道: 45°E通道 (索马里急流)、90°E通道 (孟加拉湾越赤道气流)、125°E通道 (苏拉维西越赤道气流)、150°E通道 (新几内亚越赤道气流),且其强风轴均在 925 hPa上下[17-18]。

图 1a给出了东半球低层 1948—2002年 55 a 5°S~5°N平均经向风随时间的演变,图 1b为相应的纬向平均的地形分布。从图中可以看到,上述 5支越赤道气流均位于 30°E以东,冬季盛行北风,夏季盛行南风,具有明显的季风性质[13]。越赤道气流由北风变为南风的过程即为夏季越赤道气流的建立

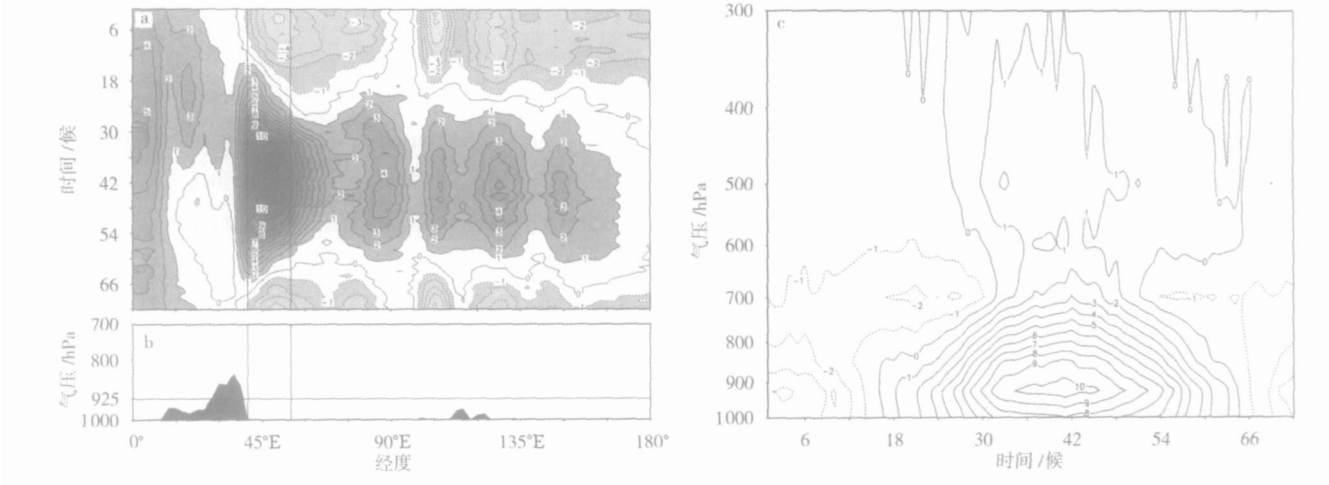

图 1 东半球 55 a 925 hPa近赤道地区平均经向风的纬向—时间 (候)剖面 (a)及相应的平均地形示意图 (b)和索马里急流高度—时间分布 (c,单位: m/s)

Fig. 1 The longitude-pentad cross-section of the meridinal wind averaged in equator area(a), the averaged relief(b), and height-time distribution of SMJ (c, units: m/s)

过程。对比这 5支越赤道气流可发现, SM J春季最早开始反向, 其次为 90°E越赤道气流, 而 105°E、125°E、150°E这 3支相对较迟; 夏季, SM J核心区风速达 10 m /s以上, 远强于其余 4支; 而秋季, SM J反向最迟。可见, 夏季 SM J是东半球低空建立最早、维持时间最长的越赤道气流。

为了进一步研究 SSM J的季节变化, 取夏季 925 hPa高度上索马里急流核心风速区 (40~ 55°E, 5°S~ 5°N)为索马里急流区, 并用这里的平均经向风代表 SM J。图 1c为垂直剖面上 SM J随时间的变化, 可发现 SSM J具有明显的季节变化: 早在 3月下旬, SSM J就已开始建立, 4月逐渐加强并向高空伸展, 6、7、8月达到最强并继续向上伸展, 最高可达到 300 hPa高度, 9月初开始减弱, 11月中下旬撤退并开始反向。

3　索马里越赤道气流建立时间及其年代际特征

3 1　夏季索马里越赤道气流建立时间

基于 SM J冬夏季风向相反的特点, 其夏季核心区风向的稳定转变可用来判定 SSM J的建立。分析发现, 925 hPa高度上赤道地区 (0°~ 360°E, 5°S~ 5°N) 年平均经向风为南风, 其 55 a平均值为 0. 86 m / s。本文以赤道地区 925 hPa当年的平均经向风作为判别 SSM J建立指标, 当 SM J稳定达标 (连续 3候达标, 或连续 2候达标间断 1候又立刻回到间断前的状态并持续 2候) 且其后间断不超过 2候时, 则将达标首候定义为该年 SSM J的建立时间。

表 1是由此标准定义的 1948—2002年间各年夏季索马里急流的建立时间的时间序列。由表 1可见, 索马里急流的建立有明显的年际变化, 建立最早的年份是 1959年, 在 13候 (3月第 1候); 最晚的年份是 1957年和 1964年, 在 24候 (4月第 6候); 平均建立时间为 19. 02候, 与合成资料计算的日期 (19候, 即 4月第 1候, 图略) 很接近。这表明, SSM J的建立时间早于南海季风爆发 9候, 早于印度季风爆发 13候, 是亚洲季风爆发的最早信号。

索马里急流区内, 气候平均的经向风 (图 2a) 与 OLR随时间演变 (图 2b)的对比分析表明, 自 19候, 索马里急流区平均 OLR值持续减小, 直到 25候 (7月第 1候) 才有所回升。这正好与夏季索马里越赤道气流第 19候建立相对应。可见, OLR值的变化与索马里越赤道气流建立时间具有一致性, 说明本文定义的 SSM J的建立标准及确立的时间具有一定的合理性。

3 2　夏季索马里急流建立的年际和年代际变化

将 1948—2002年 55 a的建立时间标准化, 然后对其进行线性拟合 (图 3)。取标准化距平 σ = 1. 0为临界值, σ> 1. 0定义为建立偏迟年, σ< - 1. 0的年份定义为偏早年, - 1. 0≤σ≤1. 0是正常年。建立偏迟共 8 a(1953、1957、1964、1965、1967、1968、1976、1980年); 建立偏早共 5 a(1960、1961、1992、1997、2002年); 其余年份为正常。

表 1　1948—2002年夏季索马里越赤道气流的建立日期

Table 1　The Summer Somali Jet onset dates from 1948 to 2002

年份	建立时间	年份	建立时间	年份	建立时间	年份	建立时间	年份	建立时间
1948	第 20候	1959	第 19候	1970	第 19候	1981	第 20候	1992	第 16候
1949	第 21候	1960	第 13候	1971	第 17候	1982	第 20候	1993	第 19候
1950	第 20候	1961	第 15候	1972	第 19候	1983	第 19候	1994	第 19候
1951	第 16候	1962	第 21候	1973	第 19候	1984	第 17候	1995	第 18候
1952	第 19候	1963	第 17候	1974	第 19候	1985	第 17候	1996	第 19候
1953	第 22候	1964	第 24候	1975	第 20候	1986	第 18候	1997	第 16候
1954	第 18候	1965	第 22候	1976	第 22候	1987	第 21候	1998	第 18候
1955	第 19候	1966	第 19候	1977	第 19候	1988	第 19候	1999	第 18候
1956	第 17候	1967	第 22候	1978	第 18候	1989	第 20候	2000	第 19候
1957	第 24候	1968	第 21候	1979	第 18候	1990	第 17候	2001	第 17候
1958	第 18候	1969	第 19候	1980	第 23候	1991	第 17候	2002	第 16候

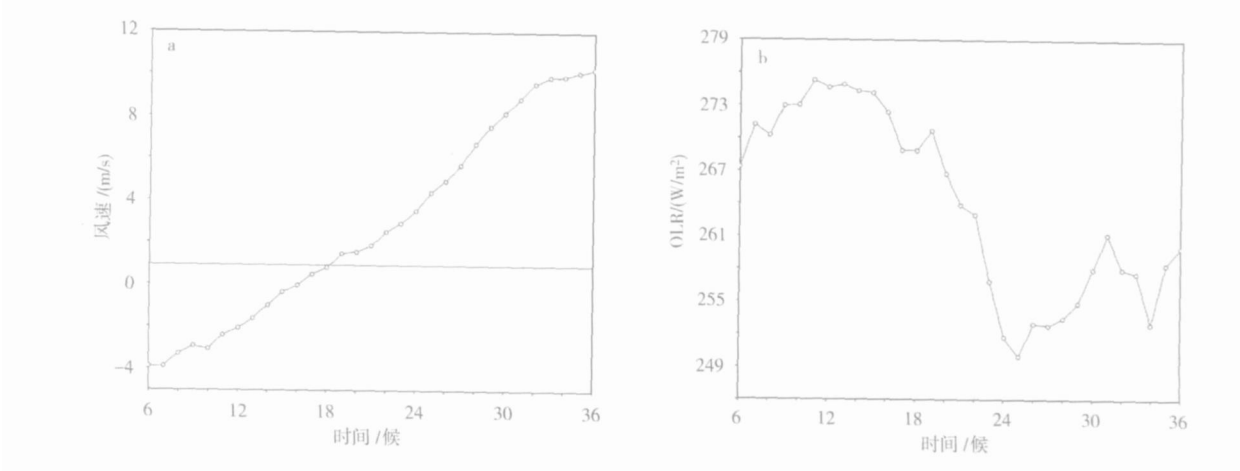

图 2 1948—2002年索马里急流区区域多年 2—6月候平均经向风
(a,单位: m/s)及 OLR(b,单位: W/m²)的逐候演变

Fig. 2 Pentad mean meridinal wind(a, units: m/s) and OLR(b, units: W/m²)
from February to June over Somali Jet Section in 1948—2002

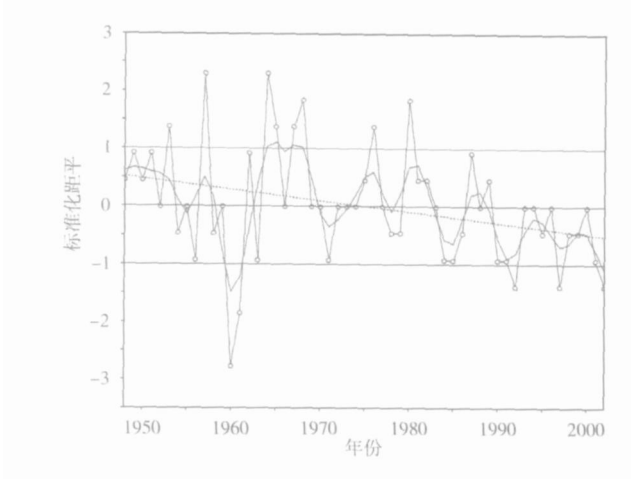

图 3 1948—2002年夏季索马里急流建立时间
标准化距平(实圈线)及其 11 a二项式平滑
(实曲线)和线性趋势(虚线)

Fig. 3 The normalized line(real line with open circle),
linear trend line(dash line) and 11-year sliding mean
(real curve) of the Summer Somali Jet
onset dates from 1948 to 2002

由拟合趋势不难看出, 1975年前后 SSMJ建立由偏迟变为偏早,即从 1948至 2002年 SSMJ建立有偏迟到偏早的变化趋势,计算结果表明其气候趋势为 -0.02,通过了 0.05的显著性检验。11 a二项式平滑曲线(图 3)更明确地表示了这种年代际变化特征。可见,夏季索马里急流的建立时间具有明显的年际和年代际变化特征。

4 夏季索马里越赤道气流的建立过程

为了研究索马里急流建立过程,首先给出风场演变图。将夏季索马里急流建立时间作为 0候,用 1948—2002年 55 a的资料做了 SSMJ建立前后的合成分析(图 4)。赤道地区 925 hPa高度上 55 a平均经向风速为 0.86 m/s,故图中给出 1 m/s和 0 m/s的 v的风速线来指示越赤道气流的建立情况。图中方框为索马里急流区。

在 -6候(图 4a),阿拉伯半岛、南印度洋分别为阿拉伯高压、马斯克高压控制,亚洲大陆为南亚高压控制;源自阿拉伯反气旋的气流向南越过索马里急流区,与来自莫桑比克海峡的南风在马达加斯加岛上空辐合,此时冬季 SMJ盛行。-4候(图 4b),阿拉伯反气旋减弱,而马达加斯加岛东北部及莫桑比克海峡出现较强南风。-2候(图 4c),阿拉伯反气旋继续减弱,但仍然控制着索马里急流区,而来自莫桑比克海峡的南风已向北推进到索马里急流区附近。0候(图 4d),阿拉伯反气旋收缩到赤道以北,源于马斯克林高压的反气旋性气流在马达加斯加岛东北面转向,与来自莫桑比克海峡的气流汇合,向北经索马里急流区越过赤道,达到埃塞俄比亚地区。此时, SSMJ建立。+2候(图 4e), SSMJ加强,印度低压形成。+4候(图 4f),阿拉伯高压消失,印度低压加强, SMJ继续加强并开始向北转向。

结合 925 hPa高度场合成图(图略)可以看到, SSMJ建立前后,阿拉伯高压以每 2候 5 hPa的速度持续减弱,使得自阿拉伯高压出发的气流越过赤道吹向南半球的气流持续减弱;而马斯克林高压西北角持续西伸北抬并且加强,造成源自莫桑比克海峡及其附近地区上空气压持续加强,驱使该区域上空的南风向北推进,并与源自马斯克林高压的反气旋性气流在马达加斯加岛东北部汇合;中非低压在建

立前一候开始显著增强, 最终导致 SSMJ的建立。在 SSMJ建立后, 阿拉伯高压减弱并崩溃, 印度低压形成并加深, 于是 SSMJ越过赤道后被印度低压吸引开始向东转向。

综上所述, SSMJ的建立是与马斯克林高压、中非低压以及阿拉伯高压等非洲—印度洋系统紧密联系的, 而印度低压的形成和发展则有利于索马里急流越过赤道后向东转向。

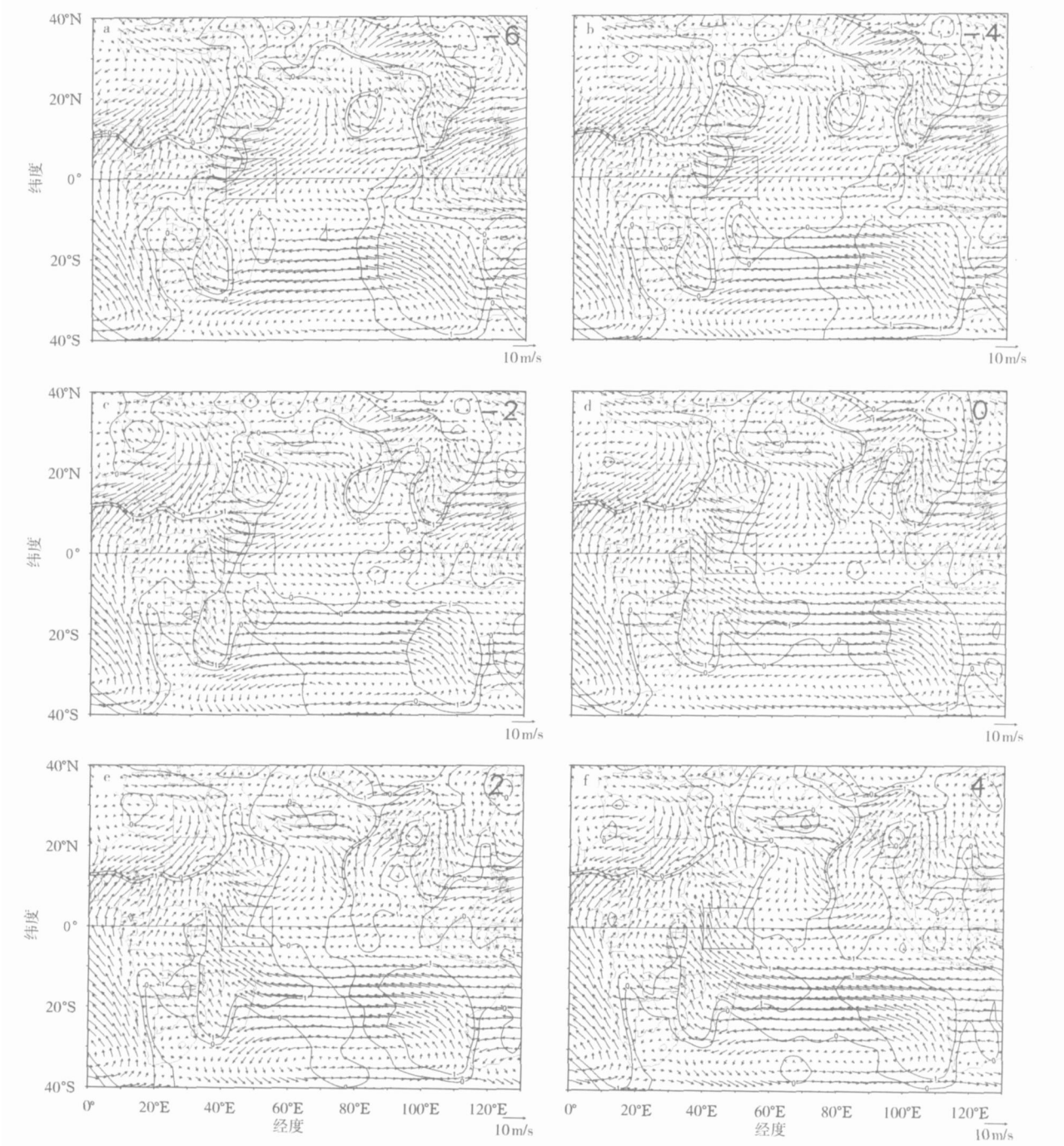

图 4　55 a的 925 hPa风场以索马里越赤道气流建立候作为 0候的时段叠加合成

(图中右上角为相对建立时间候; 单位: m/s)

a - 6候; b - 4候; c - 2候; d 0候; e + 2候; f + 4候

Fig 4　Pentad mean 925 hPa wind field marked

in the top right corner with respect to the SSMJ onset as zero pentad(units m/s)

a - 6 pentad; b - 4 pentad; c - 2 pentad; d 0 pentad; e + 2 pentad; f + 4 pentad

5 夏季索马里急流的建立与前期海陆热力状况的年际关系

为了研究前期海陆热力年际异常对索马里越赤道气流建立早晚的影响, 本文首先将资料进行了尺度分离[19], 然后分析了 1948—2001年表面温度异常(STA)与 1949—2002年的 SSMJ建立时间的年际变化关系(如图 5)。由于索马里急流建立时间最早为 3月第 1候, 最迟为 4月第 6候, 故本文将冬季(DJF)STA作为考察对象。

陆地热力作用较海洋热力作用要敏感。图 5中, 中非、阿拉伯半岛东北部及伊朗高原和蒙古高原存在较大面积的负相关显著区, 而在海洋上仅有北部湾等小面积的的相关显著区, 其相关系数均通过了 0.01的显著性检验。进一步分析表明, 当中非、阿拉伯半岛东北部及伊朗高原和蒙古高原冬季表面温度异常增大时, SSMJ建立偏早; 反之, 当以上 3个区域地表温度异常减小时, SSMJ时间建立偏晚。

由于海洋的热容量大, 海温的季节变化相对于陆地不明显, 则地温和近地层气温的季节变化异常易导致海陆加热差异的异常。因此, 当陆地冬季 STA增大时, 海陆加热差增大, 有利于形成海洋指向陆地的气压梯度, 促使春季 SSMJ建立提前; 当陆地 STA减小时, 海陆加热差减小, 减弱了海洋指向陆地的气压梯度, 从而使得 SSMJ建立推迟。

中非、阿拉伯半岛东北部及伊朗高原地温异常增大(减弱), 有利(不利)于阿拉伯及中非地区气压降低, 使得由印度洋指向北非及阿拉伯地区的气压梯度加强(减弱), 促使次年 SSMJ提前(推迟)建立。而蒙古高原加热异常增加(减弱), 有利(不利)于南亚高压的减弱及印度低压及蒙古低压的形成, 促使 SSMJ建立后稳定加强并向东转向。由此看来, 在年际尺度上, 夏季索马里急流的建立早晚反映了前冬海陆热力差异异常。

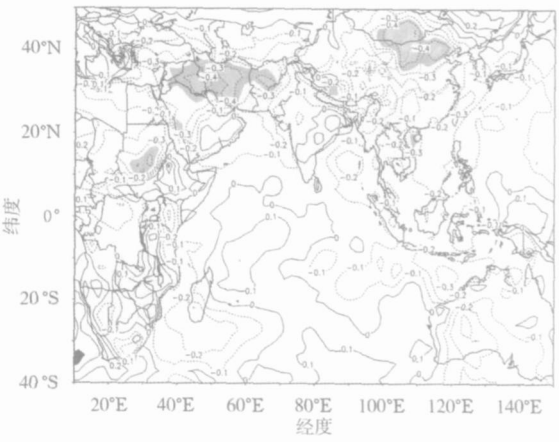

图 5 夏季索马里越赤道气流建立与前冬海陆表面温度异常的年际相关分布
(阴影区通过了 0.01显著性水平检验)

Fig 5 Interannual correlation of SSMJ onset with winter SSTA
(Areas passing the 0.01 significance level are shaded)

6 夏季索马里急流建立与东亚冬季风异常的年际关系

由 SSMJ建立时间与前冬 500 hPa高度场异常的相关分析(图 6)发现, 在中高纬度环流系统中, 正相关区基本叠加在脊区的平均位置之上, 负相关区则对应槽区, 即在 SSMJ建立偏迟年前冬欧洲西海

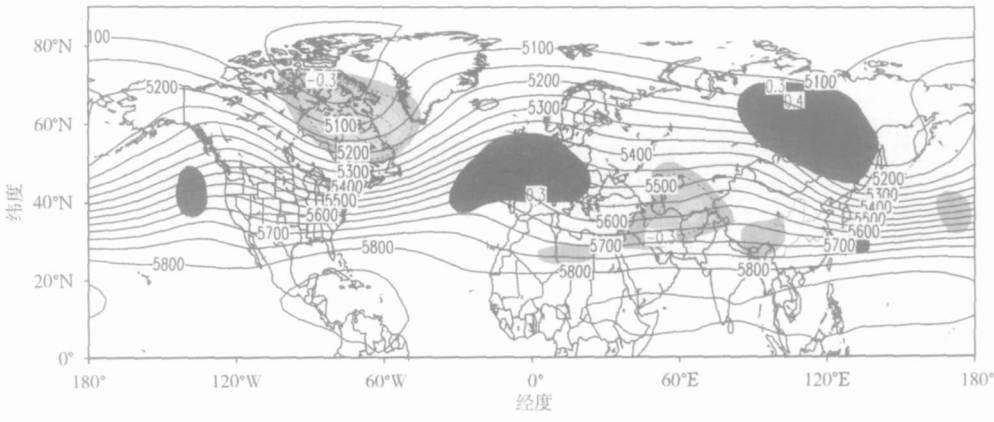

图 6 冬季 500 hPa高度场的平均状况(单位: gpm)及 SSMJ建立与前冬 500 hPa高度场异常的年际相关分布(阴影区通过了 0.01显著性水平检验)

Fig 6 The mean 500 hPa height field(units gpm) in winter and interannual correlation of SSMJ onset with anomaly(Areas passing the 0.01 significance level are shaded)

岸脊、欧洲大陆槽、西伯利亚高压、东亚大槽、太平洋高压脊及北美大槽均较强, 东亚地区环流经向度大, 有利于冷空气南下, 偏北风加大, 正好与强东亚冬季风时期的环流场形势相对应。而 SSMJ建立偏早年前冬环流经向度小, 为弱东亚冬季风时期形势。

弱东亚冬季风有利于 SSMJ建立偏早, 而强冬季风则有利于 SSMJ建立推迟。原因可能是在强冬季风时期, 西伯利亚冷空气南下过程中遇到青藏高原的阻挡, 一部分流向东亚地区, 使以蒙古高原为中心的东亚地区地温异常下降, 而另一部分气流可绕行至伊朗高原附近, 造成中亚地区地温异常下降, 于是冬季由海洋指向陆的温度梯度增大, 次年春季 SSMJ建立偏迟。反之, 东亚和中亚地区地温异常增大, 次年春季 SSMJ建立偏早。

7　结论

(1)夏季索马里急流的平均建立时间是在第 19候, 早于南海季风爆发 9候、早于印度季风爆发 13候, 是亚洲季风爆发的最早信号。

(2) SSMJ建立具有明显的年际和年代际变化特征, 1948—2002年 SSMJ建立时间偏早趋势明显。

(3)夏季索马里急流的建立过程是马斯克林高压、中非低压以及阿拉伯高压等非洲—印度洋系统所造成的, 而印度低压的发展有利于索马里急流越过赤道后向东转向。

(4)就年际尺度而言, 夏季索马里急流建立的早晚反映了东半球的海陆加热差异的异常。

(5)东亚冬季风对 SSMJ建立影响显著。弱东亚冬季风有利于 SSMJ建立偏早, 而强冬季风则有利于 SSMJ建立推迟。

参考文献:

[1] Findlater J. A major low-level air current near the Indian Ocean during the northern summer[J]. Q J R Meteorol Soc, 1969, 95(404): 362-380.

[2] Krishnamurti T N. Numerical simulation of the Somali Jet[J]. J Atmos Sci, 1976, 33(12): 2350-2362.

[3] Bannon P R. On the dynamics of the East African jet Ⅰ: Simulation of mean conditions for July[J]. J Atmos Sci, 1979, 36(11): 2139-2152.

[4] 王继志, 李麦村. 源于澳洲过赤道气流与中国季风环流和降水[J]. 大气科学, 1982, 6(1): 1-10.

[5] 李曾中, 李月安, 晁淑懿. 越赤道气流与我国洪涝灾害关系的初探[J]. 应用气象学报, 1988, 9(增刊), 132-136.

[6] 施宁, 施丹平, 严明良. 夏季越赤道气流对南海季风及华东旱涝的影响[J]. 热带气象学报, 2001, 17(4): 405-415.

[7] 王会军, 薛峰. 索马里急流的年际变化及其对半球间水汽输送和东亚夏季降水的影响[J]. 地球物理学报, 2003, 46(1): 18-25.

[8] 李崇银, 吴静波. 索马里越赤道气流对南海夏季风爆发的重要作用[J]. 大气科学, 2002, 26(2): 185-192.

[9] 薛峰, 林一骅, 曾庆存. 论大气环流的季节划分与季节突变Ⅲ: 气候平均状况[J]. 大气科学, 2002, 26(3): 307-314.

[10] 中国科学院大气物理研究所热带气象研究组. 南半球气流对南海和北太平洋西部地区热带环流的影响[J]. 大气科学, 1976(2): 18-27.

[11] 陈于湘. 夏季西太平洋越赤道气流的谱分析[J]. 大气科学, 1980, 4(4): 363-368.

[12] 陈隆勋, 金祖辉. 夏季东亚季风环流系统内中期变化的南北半球相互作用[C]//全国热带季风学术会议文集. 昆明: 云南出版社, 1982: 218-231.

[13] 王兴东, 陶诗言. 西太平洋越赤道气流的初步研究[J]. 海洋学报, 1984, 6(2): 160-173.

[14] 李曾中, 楼光平. 北半球夏季风时期东半球越赤道气流通道的研究[J]. 大气科学, 1987, 11(3): 313-319.

[15] 汤明敏, 黄士松, 周德佩. 全球越赤道气流的时空变化[J]. 热带气象, 1985, 1(4): 287-296.

[16] 彭维耿, 蒋尚城. 越赤道气流特征及其年际变化特征初探[J]. 热带气象学报, 2003, 19(1): 87-93.

[17] 韩慎友. 越赤道气流时空变化特征及其与我国夏季降水和西北太平洋热带气旋发生频数的关系[D]. 南京: 南京信息工程大学大气科学系, 2002: 15-16.

[18] 高辉. 南半球大气环流的季节和年际变化及其对东亚夏季风的影响[D]. 南京: 南京信息工程大学大气科学系, 2004: 26-27.

[19] 徐建军, 朱乾根, 施能. 近百年东亚冬季风与 ENSO循环的关系及其年代际异常[J]. 大气科学, 1997, 21(6): 641-647.