

印度洋热通量变化及其对南海夏季风 爆发的影响*

陈锦年^{1,2,3} 左涛^{1,2,4} 王宏娜^{1,2}

(1. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋环流与波动重点实验室 青岛 266071;
3. 中国气象局广州热带海洋气象研究所 广州 510080; 4. 中国科学院研究生院 北京 100049)

提要 采用卫星遥感资料反演出的海洋大气参数,应用通量算法(CORAER3.0),计算出了印度洋区域海气热通量,据此,分析研究了该区域海气热通量的年、年际和年代际变化特征。进而分析探讨了该区域热通量变化与南海夏季风爆发之间的联系。结果表明,北印度洋的热通量具有明显的季节变化特征,在一年四季最大热通量基本发生在阿拉伯海和孟加拉湾,但其量值具有明显的差异。特别是在南海季风爆发前后,其量值显著增大,4月份之前,平均潜热通量维持在 110—120 W/m² 之间,4月份开始增大为 130 W/m²,5月份突然增大超过 160 W/m²。这种增大过程可能是影响南海夏季风或南亚夏季风爆发的关键。由分析可知,南海夏季风的爆发与北印度洋的热通量变化存在显著的相关关系,且它们均具有显著的年代际变化周期为 16 a。当 3 年前的 5 月份北印度洋区域海气潜热通量出现偏大(小)时,南海夏季风爆发时间会出现偏晚(早)的趋势。另外,为了预测南海夏季风爆发时间,建立了一个简单的回归方程,用来预测 2012 年南海夏季风爆发时间。预测结果表明,2012 年南海夏季风爆发时间将会出现偏晚 1—2 候的趋势。

关键词 南海夏季风爆发,北印度洋,海气热通量,预测

中图分类号 P732

海气相互作用的直接过程是海气界面的热交换过程,因此,海气界面的热交换是海洋和大气间相互影响的重要机制。海气界面热交换过程的异常变化不仅会影响上层海洋的变化,也会影响大气环流异常的变化,最终将导致全球气候的异常变化。尽管海气热交换是全球气候变化的关键因子,但由于受到客观条件上的制约,获得大面积、长时间、高分辨率的海气界面热交换资料是极其困难的。国内外学者只能通过海上船舶走航观测资料和极少的海上浮标观测资料进行计算,获得一些海区的热通量资料,并据此进行相关研究。陈锦年(1984,1986)对南海海面热交换特征进行分析,并对海温场以及长江中下游汛期降水的影响进行了分析;李若钝等(1993)等对热带太平洋区域海气热通量的变化特征进行分析,指出在赤

道海域潜热通量远大于感热通量,且二者都具有明显的年际变化和季节变化特征,而日变化变幅很小。马柱国等(1998)对 TOGA-COARE 强化期(IOP)西太平洋热带海域的热通量特征及其与大尺度环流关系进行了分析讨论。根据 1998 年南海季风试验西沙海面铁塔梯度观测资料,不少学者对季风试验期间的海气热通量进行估算,并对其变化特征进行了初步分析(曲绍厚等,2000;闫俊岳等,1999;姚华栋等,2003;闫俊岳等,2000),且对 2000 年、2002 年以及 2008 年西沙观测资料,季风爆发期间西沙海域的海气热通量进行了详细分析(闫俊岳等,2003,2005,2006;孙启振等,2010;蒋国荣等,2004;吴迪生等,2005)。随着卫星遥感技术的不断发展,通过遥感反演技术,可以获得大面积、高分辨率海气界面热通量。

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目, KZCX2-YW-Q11-02 号; 国家自然科学基金项目, 41076010 号。陈锦年, 博士, 研究员, 博士生导师, E-mail: Jnchen@qdio.ac.cn

收稿日期: 2009-12-15, 收修改稿日期: 2010-06-10

近年来中外学者通过卫星遥感资料获得的海气热通量资料以及再分析资料进行了分析研究, 初步给出了不同海区海气热交换的季节、年际变化特征, 为大尺度海气相互作用及其全球气候变化的深入研究提供了重要科学依据 (孙虎林等, 2008; Yu *et al.*, 2004; 王桂华等, 2006; 王丽娟等, 2008; 陈锦年, 2007)。本文试图通过卫星遥感资料获得的北印度洋区域海气热通量资料, 分析研究北印度洋区域季节和年际以及年代际变化特征, 进而探讨与南海夏季风爆发之间的关系, 为我国夏季风预测和汛期降水预测提供参考。

1 资料、季风爆发时间及分析方法

1.1 海气热通量资料

应用卫星 SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) 和 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 遥感资料, 通过神经网络方法反演出海洋和大气参数, 采用目前较为先进的通量算法 (COARE 3.0) (Fairall *et al.*, 2003), 自主完成的热通量产品。1987年8月—2009年12月共269个月。分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。NCEP 风场和气压场资料。

1.2 南海夏季风爆发时间

综合中央气象局气候中心季风监测业务系统监测 (www.monsoon.gov.cn) 和郑彬等 (郑彬等, 2009) 方法, 并结合南海实地观测 (闫俊岳等, 2000; 2003; 2005; 孙启振等, 2010), 以及不同方法定义的指数 (杨艳等, 2005; 何金海等, 2001; 何敏等, 2002), 更为客观的确定了南海夏季风爆发时间。

1.3 分析方法

应用回归分析方法, 建立北印度洋海气热通量与南海夏季风爆发之间的预测方程, 对2012年的南海夏季风的爆发时间进行预测。

2 北印度洋海气热通量年和年际变化特征

应用上述热通量产品, 分析探讨了北印度洋的热通量的多年平均场和气候态。由分析可知, 在印度洋多年平均最大潜热通量出现在北印度洋的阿拉伯海和孟加拉湾, 最大值分别为 160 W/m^2 和 150 W/m^2 (图 1A)。多年平均最大感热通量 (图 1B) 与潜热基本相同, 也是

出现在阿拉伯海和孟加拉湾, 只是量值明显偏小, 位于阿拉伯海区域的最大值只有 22 W/m^2 , 孟加拉湾的最大值仅为 15 W/m^2 左右, 潜热通量和感热通量几乎相差一个量级。

由气候态平均场来看 (图 2 左), 海气潜热通量的最大值仍位于阿拉伯海和孟加拉湾, 11月—1月份的最大值位于 10°N 左右, 为 150 W/m^2 ; 2—4月份的最大值南移至 5°N 左右, 阿拉伯海和孟加拉湾出现低值区, 最低达 100 W/m^2 。5月份突然增大, 其最大值分别超过 190 和 180 W/m^2 , 其最大值又出现在 10°N 左右。6月份达极大值 (330 W/m^2), 随着时间的推移, 热通量逐渐减小, 10月份达最小 (140 W/m^2)。北印度洋区域的海气潜热通量的具有显著的季节变化。南海夏季风的平均爆发时间为5月第4候, 而5月份的热通量显著增大, 这种增大过程可能会与南海夏季风爆发存在一定联系。6月份基本是南亚季风爆发的时间, 这期间的风速达最强。因此, 受季风的影响, 该月份的热通量也将会出现极大值。感热通量的气候变化特征与潜热通量基本相似, 只是量值偏小 (图 2 右)。为了更清楚地了解北印度洋区域海气潜热通量的季节变化, 将该区域的海气潜热通量累加平均 (图 3A), 可以看出, 一年中北印度洋区域海气潜热通量冬季最小, 夏季最大, 呈现明显的年周期现象。值得注意的是, 从1月开始, 热通量缓慢增大, 5月份突然增大, 6月份达最大, 而南海夏季风通常在五月份爆发, 南亚夏季风在6月份爆发, 上述通量增大的月份与此对应。由于亚洲季风各子系统既互相独立, 但又相互联系。因此, 可以肯定热通量在5—6月份突然显著增强, 它可能不仅会对南海夏季风爆发过程产生影响, 还会与南亚夏季风爆发存在某种联系。

由分析可知, 在季节变化中, 北印度洋区域的海气潜热通量4月份开始增强, 5月份显著增大, 6月份

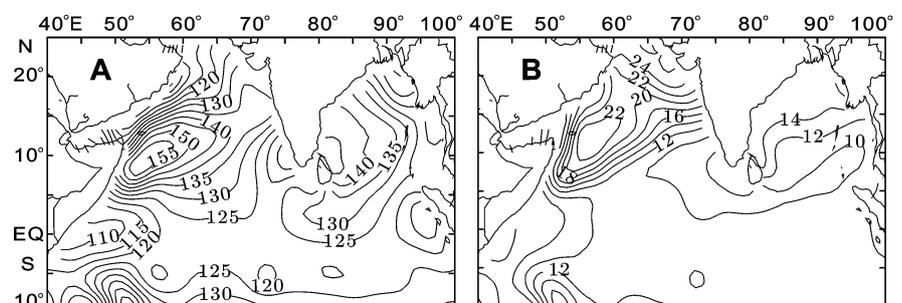


图 1 北印度洋海气热通量多年平均场分布特征

Fig.1 Multiyear mean (1988—2009) field of heat fluxes in the north Indian Ocean
A. 潜热通量; B. 感热通量

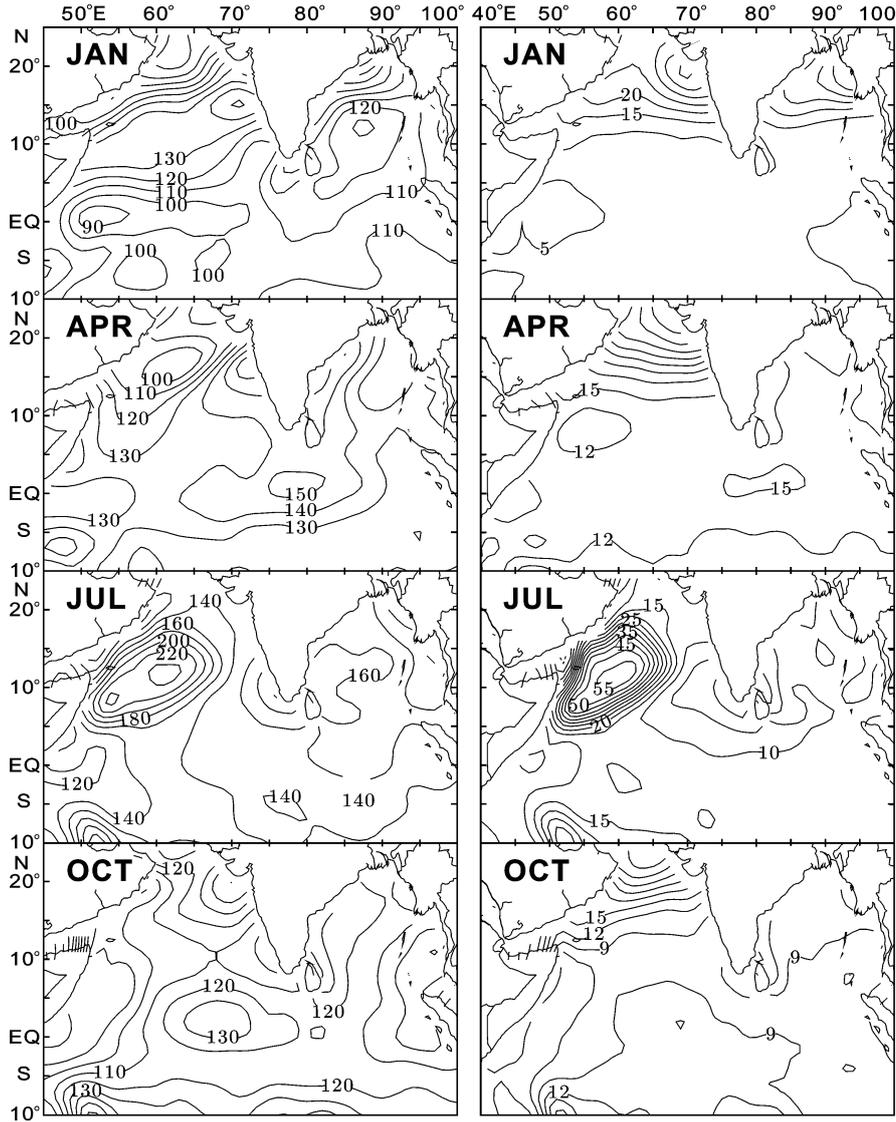


图2 北印度洋海气潜热(左)和感热(右)通量气候平均场

Fig.2 Climatology average field of the latent heat (left) and sensible heat (right) fluxes in the north Indian Ocean

达最大,这一时期恰好是南海夏季风爆发时间(平均为5月第4候),和南亚夏季风爆发时间(平均为6月第1候)。为了探讨北印度洋区域海气潜热通量变化与南海夏季风爆发之间的联系,重点分析5月份的海气热通量的年际和年代际变化特征。图3B是5月份北印度洋区域多年变化曲线图。由图可知,北印度洋区域海气潜热通量具有明显的年际变化特征。20世纪90年代初至中后期,潜热通量出现偏小趋势,而在90年代末期到21世纪初出现增强趋势,特别是2009年,海气潜热通量出现显著的增强过程。

为了更清楚地了解北印度洋海气潜热通量的年际变化特征,采用小波分析和功率谱分析(图4A,B),

结果表明,北印度洋区域海气潜热通量具有显著的年际变化特征,其周期为16 a。同时,还存在准3 a的次周期,虽然该周期未有通过信度检验,但从图4A的小波分析中可知,在20世纪90年代初之前,主要是以准2 a周期震荡,90年代中期之后开始出现准3 a周期。北印度洋区域海气潜热通量的周期与南海夏季风爆发周期相吻合(图5A,B,C)。

3 北印度洋海气热通量与南海夏季风爆发

3.1 海气潜热通量与南海夏季风爆发的关系

为了探讨北印度洋区域海气潜热通量变化与南海夏季风爆发之间是否存在某种联系,应用季节变化最为突出的5月份北印度洋潜热通量与南海夏季风爆发指数进行相关分析,结果表明,超前南海夏季风的爆发3a的5月份北印度洋海气潜热通量之间的相关最为显著(图6)。由图6可以看出,除了印度半岛附近出现较小负相关外,整个北印度洋区域均为正的相关,两者的最大相关出现在5°—15°N范围,相关信度已超过99.9%。北印度洋区域(0°—20°N; 45°—100°E)的海气潜热通量平均值与南海夏季风爆发时间的相关系数也达到0.6,超过相关信度为99.0%水平。这一相关关系表明,超前3年5月份的北印度洋区域海气潜热通量出现异常偏多(少)时,南海夏季风爆发时间会出现较常年偏晚(早)的趋势。

量平均值与南海夏季风爆发时间的相关系数也达到0.6,超过相关信度为99.0%水平。这一相关关系表明,超前3年5月份的北印度洋区域海气潜热通量出现异常偏多(少)时,南海夏季风爆发时间会出现较常年偏晚(早)的趋势。

3.2 南海季风与海气热通量的联系

由上述统计分析认为,南海夏季风爆发与北印度洋海气热通量存在密切关系,那么它们之间是否存在可能的物理机制呢?为此,本节简要分析它们之间的内在联系。为了重点探讨北印度洋区域潜热通量异常偏多或偏少时,南海夏季风爆发期间的大气环流的异常变化特点,提取了较常年偏多年份(1990,

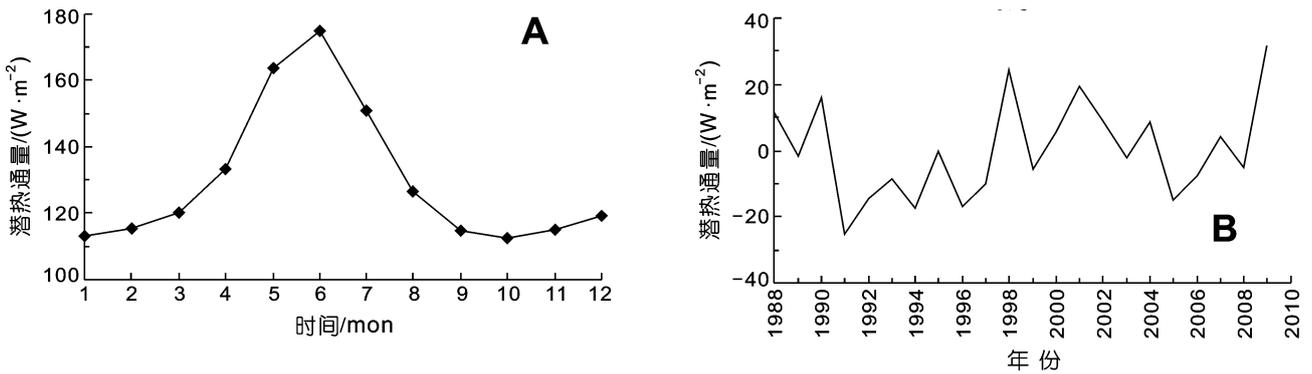


图 3 (A) 北印度洋区域海气潜热通量季节变化; (B) 北印度洋区域海气潜热通量多年变化曲线(5 月)

Fig.3 (A)Seasonal variations of air-sea latent heat fluxes over the north Indian Ocean; (B)Multiyear variations of air-sea latent heat fluxes over the north Indian Ocean(May)

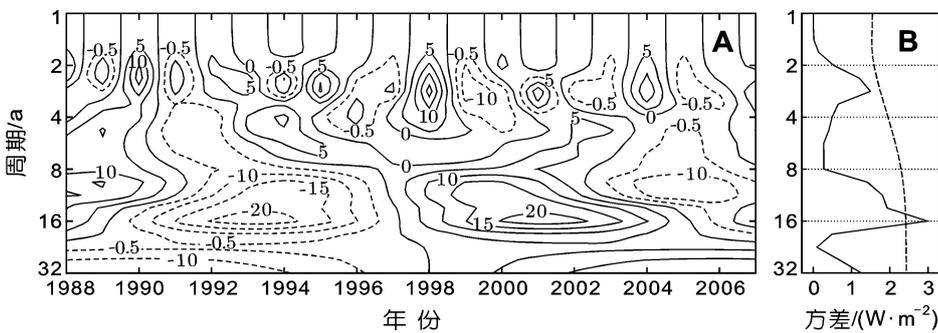


图 4 5 月份北印度洋区域海气潜热通量小波变换 (A) 和功率谱 (B)

Fig.4 Wavelet (a) and power spectrum (b) analyses of the latent heat fluxes over the north Indian Ocean

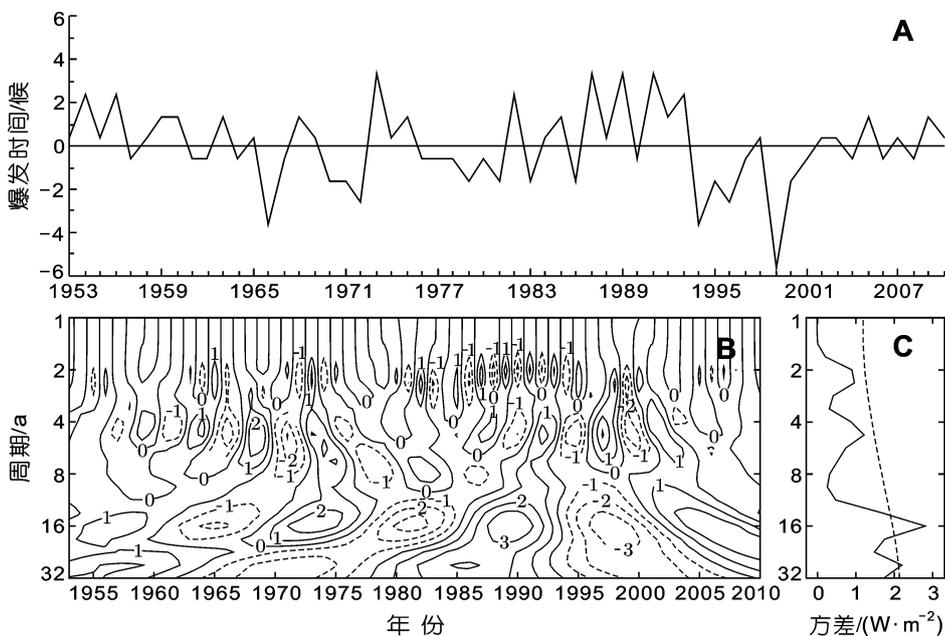


图 5 (A)南海夏季风爆发时间序列及其(B)小波和(C)功率谱分析

Fig.5 (A)Time series , wavelet (B) and power spectrum (C) analyses of the onset date of SCSSM

1998, 2001 和 2004 年 5 月份)和较常年偏少年份(1991, 1994,1996 和 2005 年 5 月份)的潜热通量, 以及后期

季风爆发偏晚, 这一结果与南海夏季风爆发机制相一致(chen *et al.*, 2001)。

(1993, 2001, 2004, 2007 和 1994, 1997, 1999, 2008) 850 hPa 异常流场和高度场进行合成分析。图 7 是 5 月份北印度洋海气热通量偏多(A) 偏少(B)年以及后期 5 月份的 850 hPa 异常流场(C,D)。由图 7A, B, C, D 可以看出, 在北印度洋区域海气潜热通量异常偏多年中, 北印度洋区域基本为正距平, 只有阿拉伯海北部出现一弱的负距平, 最大正距平出现在北印度洋西部区域, 该区域恰好是潜热通量与南海夏季风爆发时间最大相关的区域。由此可以说明, 北印度洋区域异常潜热通量对南海夏季风爆发的影响主要取决于北印度洋的西部区域的潜热通量变化。图 7C 是对应于异常偏多海气潜热通量后期的低层大气环流变化。从图中可以看出, 在 850 hPa 环流场中, 南海区域为一反气旋环流, 该区域 850 hPa 高度场异常偏高(图略), 这种环流形式和高度场异常会影响东亚夏季风系统的发展, 使得南海夏

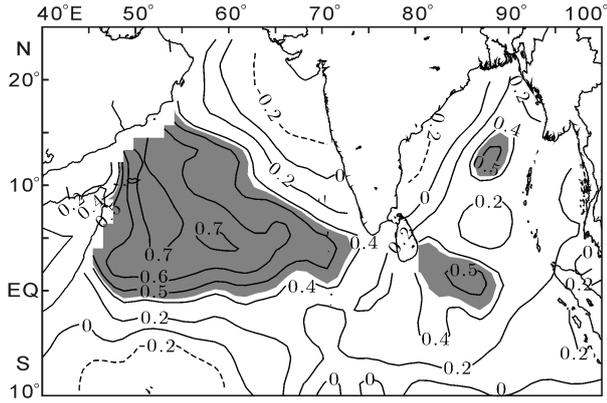


图6 5月份北印度洋海气潜热通量变化(超前3a)与南海夏季季风爆发相关场

Fig.6 Correlation field between latent heat flux (leading 3 year) and the onset date of SCSSM

图7B是北印度洋区域海气潜热通量异常偏少年的合成图,由图可以看出,整个北印度洋均为负距平,最大负距平仍然出现在北印度洋区域的西部和东部。由相对应的大气环流场(图7D)来看,与图7C存在明显的差异,在20°N以南,南海—东印度洋区

域基本为偏西南风距平控制,南海区域形成一气旋式环流,对应的区域以及东亚大陆(日本一带)850 hPa 高度场为显著的负距平,这种环流形势有利于东亚夏季风系统的发展,将会导致南海夏季风爆发偏早(陈隆勋等,2006)。

上述分析结果表明,前期5月份北印度洋区域海气潜热通量的异常偏多(少)会对后期大气环流异常场具有较明显的影响,进而影响南海夏季风的爆发时间。它们之间存在3年的时滞时间。这种关系可能与印度洋—南海、暖池区域间海洋与大气相互作用过程存在联系,但这其中的影响过程和物理机制目前还不清楚,将待于以后的深入研究。

3.3 南海夏季风爆发预测

上述分析结果表明,北印度洋海气热通量与南海夏季风爆发存在密切联系,而且这种关系具有可靠的物理意义,对南海夏季风爆发的预测有重要科学意义。因此,选取北印度洋海气潜热通量与南海夏季风爆发相关最为显著的区域(5°—15°N; 50°—70°E)的海气潜热通量与南海夏季风爆发进行回归分析,

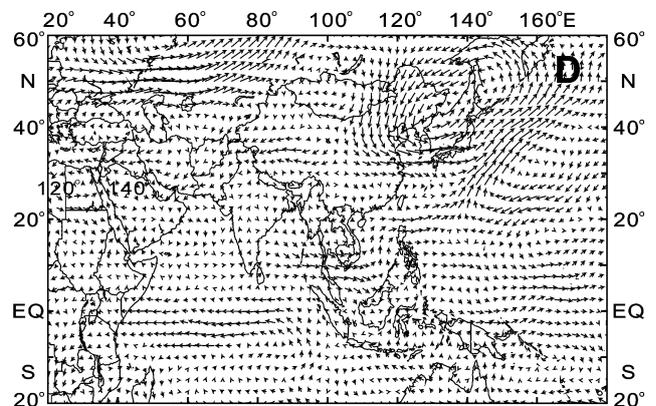
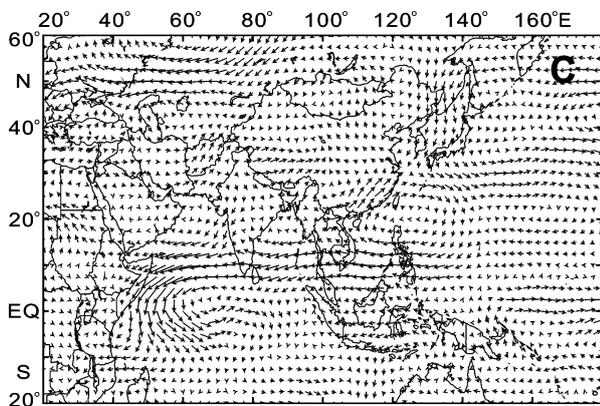
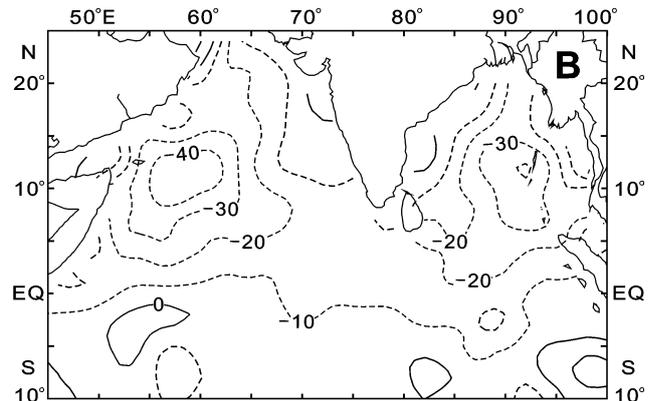
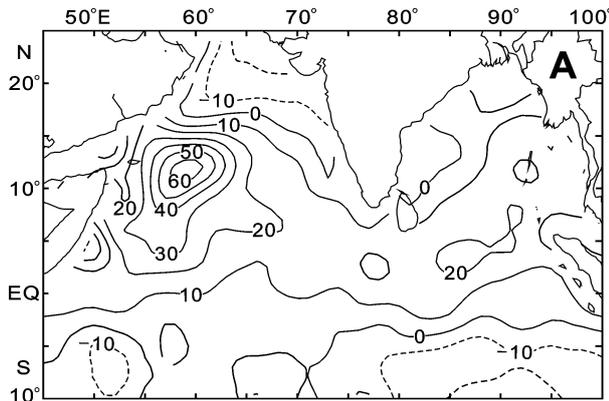


图7 前期5月北印度洋海气潜热通量偏多(A)和偏少(B)年以及3年后5月的850hPa流场合成图(C,D)

Fig.7 Composite chart of May the latent heat flux more(A) and less(B) over the north Indian Ocean and a composite plot of the current field at 850 hPa(C,D) lagging 3 year

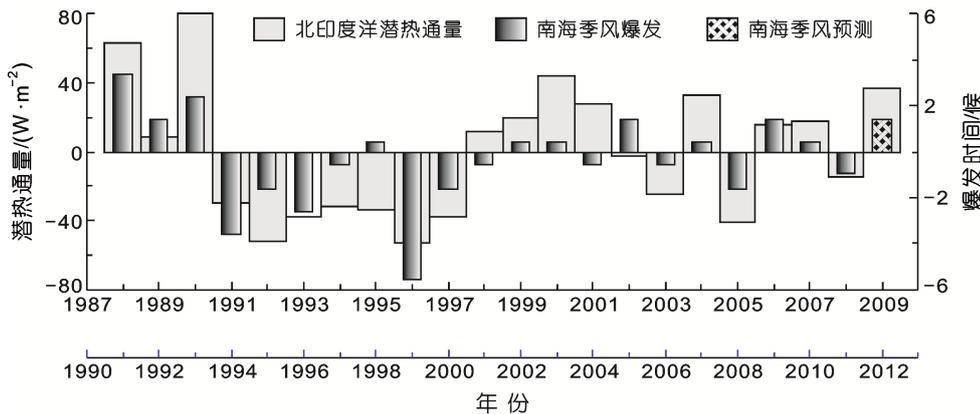


图 8 2012 年南海夏季风爆发时间预测

Fig.8 The forecast of the onset date of SCSSM in 2012

建立了它们二者之间的预报方程。

(1) 回归方程的建立: $Y=aX-b$

X : 是自变量, 北印度洋海气热通量, 时间从 1988 年到 2008 年; Y : 因变量, 南海夏季风爆发时间, 从 1991 年到 2011 年, 样本数为 21。

a , b 分别表示预报方程的斜率和截距, 其值分别为 0.046 和 0.316。

(2) 回归方程的显著性检验

针对建立的回归方程是否具有良好的预报性能, 需要进行回归方程的显著性检验。

根据 F 分布可以检验回归方程是否具有显著性。

$$F = \frac{r^2}{\frac{1-r^2}{n-2}}$$

由上述公式可知, $F=22.84$ 。

查算在 $\alpha=0.05$, 分子自由度为 1, 分母自由度为 19 时, $F_{\alpha}=4.38$, 显然 $F > F_{\alpha}$, 由此可以认为建立的回归方程是显著的, 可以用来进行南海季风的预测。

(3) 2012 年南海季风爆发预测

应用上述建立的回归方程, 对 2012 年南海季风爆发进行预测(图 8)。2012 年南海季风爆发将会出现偏晚 1—2 候的趋势。

(4) 南海季风爆发回报检验

为了验证建立的回归方程预测的可靠性, 对 2011 年进行回报检验。回报结果是 2011 年南海季风爆发偏早 1 候, 实际南海季风爆发为偏早 2 候, 预测结果基本正确。

4 结论

(1) 北印度洋区域海气潜热通量具有明显的年变化特征, 1—3 月份潜热通量值为 110—120 W/m^2 , 4 月开

始增大到 130 W/m^2 , 5 月份突然增加超过 160 W/m^2 , 6 月份达最大为 175 W/m^2 。这一变化过程恰好与南海和南亚夏季风爆发时间相吻合, 因此, 北印度洋区域海气潜热通量的变化与南海夏季风和南亚季风爆发应存在密切关联。

(2) 北印度洋区域海气潜热通量具有显著的 16 a 的年代际变化, 且也存在准 3 a 的周期。前者与南海季风的年代际变化周期相同。

(3) 南海季风爆发与北印度洋区域海气潜热通量异常变化存在密切关系, 当前期潜热通量异常偏多(少)时, 南海夏季风爆发会出现异常偏晚(早)的变化趋势。

(4) 根据回归方程的预测, 2012 年南海夏季风爆发将会出现偏晚 1—2 候。

(5) 对 2011 年南海夏季风爆发时间进行回报检验, 回报结果为南海夏季风爆发偏早 1 候, 与实际南海夏季风爆发(偏早 2 候)基本一致。

参 考 文 献

- 马柱国, 冯 松, 王冬梅, 1998. TOGA-COARE 强化期(IOP)西太平洋热带海域的热通量特征. 热带气象学报, 14(1): 20—27
- 王丽娟, 王 辉, 闫俊岳等, 2008. 南海海气界面潜热通量的分布特征及其对西南季风爆发影响的初步分析. 海洋学报, 30(1): 20—30
- 王桂华, 黄韦良, 王 辉, 2006. 利用 HOAPS 资料研究南海海气界面热通量时空分布. 海洋学报, 28(4): 1—7
- 曲绍厚, 胡 非, 李亚秋, 2000. 1998 年 SCSSMEX 期间南海夏季风海气交换的主要特征. 气候与环境研究, 5(4): 434—446
- 刘 娜, 吴德星, 林霄沛, 2010. 近 50 年东中国海潜热通量的变化. 中国海洋大学学报, 40(4): 19—25
- 闫俊岳, 姚华栋, 王 强等, 1999. 西沙海-气通量观测资料初步分析. 丁一汇编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 147—151
- 闫俊岳, 姚华栋, 李江龙等, 2003. 2000 年南海季风爆发前后西沙海域海-气热量交换特征. 海洋学报, 25(4): 189—199
- 闫俊岳, 姚华栋, 李江龙等, 2000. 1998 年南海季风爆发期间近海面层大气湍流结构和通量输送的预测研究. 气候与环境研究, 5(4): 447—458
- 闫俊岳, 唐志毅, 姚华栋等, 2005. 2002 年南海西南季风爆发前后西沙海区海-气界面的通量变化. 地球物理学报,

- 49(5): 1000—1010
- 闫俊岳, 唐志毅, 姚华栋等, 2006. 南海西南季风爆发前后海-气通量交换系数研究. *气象学报*, 64(3): 335—344
- 孙启振, 陈锦年, 闫俊岳等, 2010. 2008 年南海季风爆发前后西沙海域海气通量变化特征. *海洋学报*, 32(4): 12—23
- 孙虎林, 黎伟标, 2008. ENSO 冷暖事件期间海气潜热通量特征分析. *热带海洋学报*, 27(4): 59—65
- 李若钝, 孙瑞本, 刘丽惠等, 1993. 热带太平洋海域感热、潜热通量的时空特征. *海洋通报*, 12(4): 45—48
- 杨林, 魏应植, 丁一汇等, 2007. 东亚地区夏季旱涝分布与南海夏季风爆发时间关系. *自然灾害学报*, 16(5): 52—58
- 杨艳, 温之平, 袁卓建等, 2005. 南海强夏季风(1994 年)和弱夏季风(1998 年)建立的机理分析. *热带气象学报*, 21(1): 1—12
- 吴迪生, 许建平, 王以琳等, 2005. 南海海洋站观测海气热通量的时间演变特. *热带气象学报*, 21(5): 517—524
- 何敏, 许力, 宋文玲, 2002. 南海夏季风爆发日期和强度的短期气候预测方法研究. *气象*, 28(10): 9—14
- 何金海, 丁一汇, 高辉等, 2001. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数. 北京: 气象出版社, 123
- 陈隆勋, 张博, 张瑛, 2006. 东亚季风研究的进展. *应用气象学报*, 17(6): 711—724
- 陈锦年, 1984. 冬春南海海-气热量交换对长江中下游汛期降水的影响. *海洋湖沼通报*, 2: 15—21
- 陈锦年, 1986. 南海海面热量平衡特性及其对海温场的影响. *海洋湖沼通报*, 1:1—7
- 陈锦年, 王宏娜, 吕心艳, 2007. 南海区域海气热通量的变化特征分析. *水科学进展*, 18(3): 390—397
- 郑彬, 林爱兰, 谷德军等, 2009. 利用大尺度环流确定 2006 年南海夏季风爆发日期. *热带气象学报*, 25(6): 690—696
- 姚华栋, 任雪娟, 马开玉, 2003. 1998 年南海季风试验期间海-气通量的估算. *应用气象学报*, 14(1): 87—92
- 蒋国荣, 何金海, 王东晓等, 2004. 南海夏季风爆发前后海-气界面热交换特征. *气象学报*, 62(2): 189—199
- Chen Lonxun, Li Wei, Zhao Ping *et al*, 2001. On the process of summer monsoon onset over East Asia. *Acta Meteorologica Sinica*, 15(4):436—449
- Fairall C W, Bradley E E, Hare J E *et al*, 2003. Bulk Parameterization of Air-sea Fluxes:updates and verification for the COARE Algorithm. *J Climate*, 16(4): 571—591
- Yu L, Weller R A, Sun B, 2004. Improving latent and sensible heat flux estimates for the Atlantic Ocean(1988—1999)by a synthesis approach. *Journal of Climate*, 17(2): 373—393

VARIATION OF AIR-SEA HEAT FLUXES OVER THE INDIAN OCEAN AND ITS INFLUENCE ON THE ONSET OF SOUTH CHINA SEA SUMMER MONSOON

CHEN Jin-Nian^{1,2,3}, ZUO Tao^{1,2,4}, WANG Hong-Na^{1,2}

(1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*; 2. *Key Laboratory of Ocean Circulation and Waves, Chinese Academy of Science, Qingdao, 266071*; 3. *Institute of Tropical and Oceanic Meteorology China Meteorological Administration, Guangzhou, 510080*; 4. *Graduate University of the Academy of Sciences, Beijing, 100049*)

Abstract The oceanic and atmospheric parameters are retrieved based on the satellite remote-sensing data using the neural network method, the air-sea heat fluxes over the Indian Ocean area were calculated by the advanced method of CORARE3.0 bulk algorithm. It was analysed that the average annual, the interannual and interdecadal characteristics of the air-sea heat fluxes in this area. Besides, the relationship between the air-sea heat fluxes and the onset of South China Sea summer monsoon(SCSM) is discussed primarily. The results indicate that the air-sea heat fluxes have obvious temporal and spatial variable characteristics. The air-sea heat fluxes have maximum values in the Arabian Sea and the Bengal Bay area, but the values have notable difference. The values of mean latent heat flux is between $110\text{W}/\text{m}^2$ and $120\text{W}/\text{m}^2$ before April, and then it begin increases to $130\text{W}/\text{m}^2$ in the April and it suddenly increases to more than $160\text{W}/\text{m}^2$ in the May, it reached maximum in June. The process of increase maybe the key factor to the SCSM or South Asian summer monsoon. There is close correlation between the onset of SCSM and air-sea heat fluxes in the North Indian Ocean. And they both have obvious interdecadal period of 16a. The SCSM onset date is later(earlier) when the air-sea heat flux over the North Indian Ocean is larger(smaller). The relationship has an important implication for the prediction of the onset of SCSM. Based on these results, the linear regression equation is obtained to predict the onset date of the SCSM in 2012. The results indicate that the onset date in 2012 is later 1—2 pentad than the normal year.

Key words The onset of SCSM, The North Indian Ocean, Latent heat flux, Forecast