

郑彬, 林爱兰, 李春晖, 等. 2007年南海夏季风季节内振荡的北传及影响因子[J]. 热带气象学报, 2011, 27(6): 869-876.

文章编号: 1004-4965(2011)06-0869-08

2007年南海夏季风季节内振荡的北传及影响因子

郑彬, 林爱兰, 李春晖, 谷德军

(中国气象局广州热带海洋气象研究所/热带季风重点开放实验室, 广东 广州 510080)

摘要: 利用2007年全球降水气候计划GPCP(the Global Precipitation Climatology Project)卫星红外窗口导出的全球降水指数GPI(the Global Precipitation Index)的日降水资料及频率-波数分析方法,分析2007年南海夏季风季节内振荡(Intraseasonal Oscillation, ISO)的传播特征,并使用美国国家环境预报中心(NCEP)/美国大气研究中心(NCAR)再分析的逐日资料,探讨影响其传播的主要因子。结果表明,南海夏季风ISO有明显的北传趋势,并且明显比南传分量占优。影响南海夏季风ISO北传的主要因子是平均纬向风垂直切变和平均经向风对异常水汽的输送。之所以异常经向风对平均水汽的输送及海-气相互作用的影响在南海地区不重要,而在印度季风区有一定的贡献,是因为平均水汽和纬向风分布在两个地区的差异。

关键词: 气候学; 季节内振荡; 频率-波数分析; 南海夏季风; 传播

中图分类号: P425.4.2

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2011.06.010

1 引言

热带季节内振荡(Intraseasonal Oscillation, ISO)自1971年^[1]被发现以来,得到全世界的广泛研究。在季风爆发期间,受ISO的影响,也会出现持续的少雨期,而且其变率可以比拟年际变率。由于季风影响超过了全球二分之一的人口,因此,对季风区ISO影响的研究也非常多,包括南亚季风^[2]、东亚季风^[3-4]和南海季风^[5-6]。Madden和Julian最初发现的ISO^[1]是向东传播的纬向1波^[7],因此也称为热带东传ISO为Madden-Julian模或Madden-Julian Oscillation(MJO)。随后,大量的ISO北传和西传波被揭示出来。例如,Yasunari^[8-9]发现北半球夏季时南亚季风区的云有40天左右的振荡周期并向北传播;贺懿华等^[10]的研究表明南海夏季风季节内振荡有明显北传现象并且可以影响到江淮地区;梁建茵等^[11]发现了南海及周

边地区ISO传播具有多向性特征,既包含了东向和西向传播,也包含了北向传播;而Chang等^[12]则揭示出西北太平洋地区ISO的西北向传播特征,孙丹等^[4]进一步证实了西北太平洋地区ISO的西北向传播,并指出其对我国东部地区降水有重要影响。Wang等^[13]利用1975—1985年的向外长波辐射(Outgoing Longwave Radiation, OLR)资料普查了ISO事件,他们将ISO分为3类——东传(65%)、独立北传(20%)和西传(15%)。关于ISO的北传机制已有一些研究。Wang等^[14]在1997年提出ISO的北传是由于东传波的Rossby波能量散逸导致,他们的设想得到了Lawrence等^[15]的证实。他们的研究都与东传ISO相联系,并且不是真正意义上的北传,仅仅是波的一个截面。Kemball-Cook等^[16]提出一个ISO北传的海-气耦合机制。认为夏季对流北部的负潜热通量将引起正的海表温度异常(SST anomaly, SSTA),使静力

收稿日期: 2011-06-13; 修订日期: 2011-04-18

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2011CB403403)课题; 国家自然科学基金(40675055)共同资助

通讯作者: 郑彬, 男, 福建省人, 副研究员, 博士, 主要从事季风和海气相互作用、中层大气研究。E-mail: zbin@grmc.gov.cn

稳定度减小,从而使对流趋向于向北移动。Jiang 等^[17]提出背景场是决定 ISO 北传的重要因子,其中东风垂直切变尤为重要,而经向水汽输送的贡献相对较小。

以上的研究都是在印度季风区或西北太平洋季风区的研究结果。在南海季风区,由于背景场的区别,可能会出现机制的相对重要性差异。为此,以 2007 年季风为例,验证背景场机制和海-气相互作用机制对南海夏季风季节内振荡北传的影响。使用的资料主要有:2007 年 NCEP/NCAR 再分析的逐日资料^[18],即第一套 NCEP 再分析资料,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$; 2007 年全球降水气候计划 GPCP 卫星红外窗口导出的全球降水指数 GPI 的日降水资料^[19],分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。

2 资料分析

2.1 2007 年南海夏季风季节内活动概述

图 1a 显示了 2007 年 5—10 月 $105 \sim 120^{\circ} \text{E}$ 平均的降水,大于 10 mm 的降水用阴影表示。从

图 1 可以分析南海地区($105 \sim 120^{\circ} \text{E}$, $5 \sim 20^{\circ} \text{N}$)降水的经向分布和时间变化特征,且可以看到南海夏季风有明显的几次活跃和中断过程,周期约为 40 天。图 1 不仅显示了季节内的振荡特征,还表现出了南北向的传播。其中 6 月、7—8 月和 9 月的 3 次北传过程非常显著。图 1b 显示了印度季风区的降水变化,同南海季风区一样,都有显著的季节内变化特征。对图 1 中降水的 ISO 进行频率-波数分析得图 2,无论是南海夏季风还是南亚夏季风的 ISO 北传波的功率谱值都远大于南传波,其主要周期在 45 天左右,传播速度约为 $0.7 \sim 1.1$ 度/天。

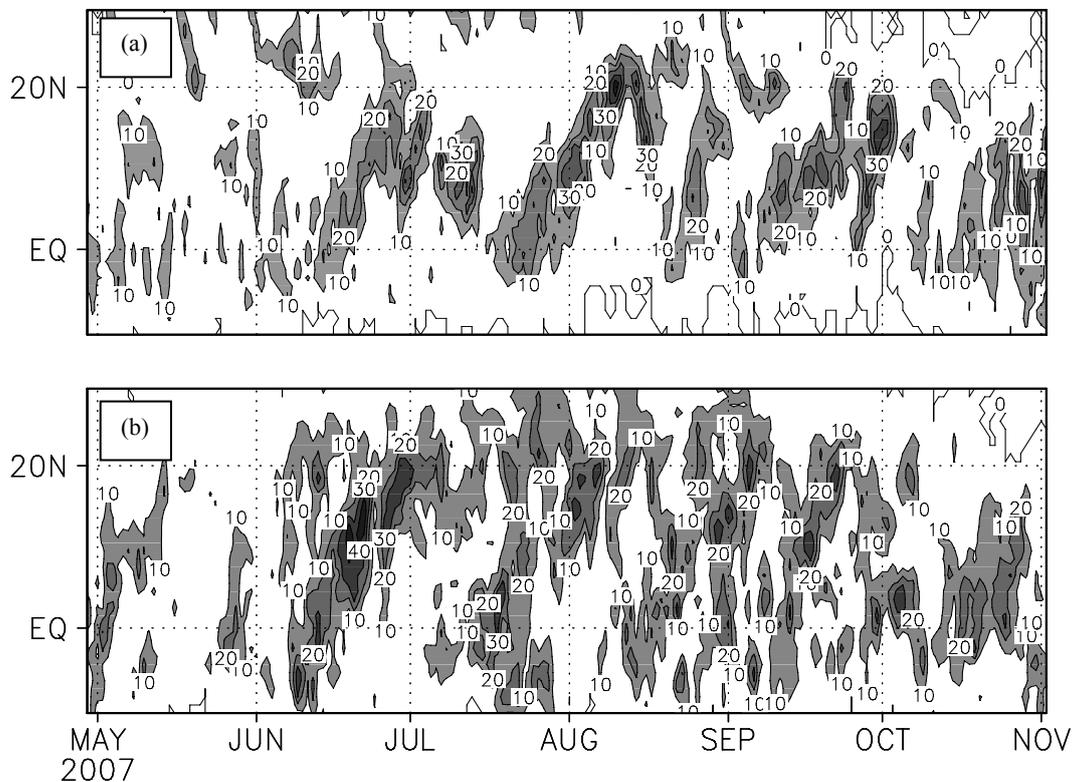


图 1 2007 年 5—10 月 $105 \sim 120^{\circ} \text{E}$ 平均(a)和 $70 \sim 95^{\circ} \text{E}$ 平均(b)降水
单位: mm, 阴影区为大于 10 mm 降水, 等值线间隔 10 mm。

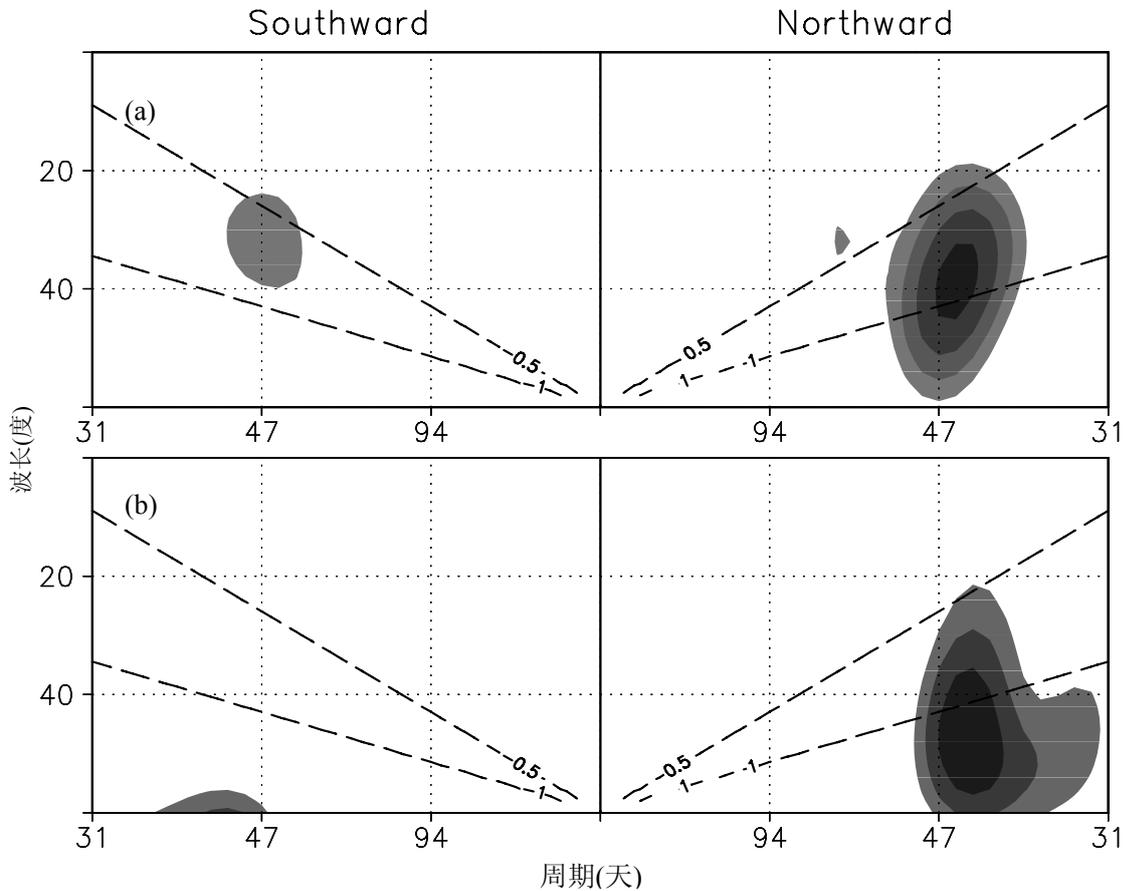


图2 2007年南海夏季风(a)和南亚夏季风(b)季节内振荡的频率-波数分析
阴影为相应波数和频率的功率谱值，单位： $(\text{mm}/\text{day})^2$ ，虚线对应相速度大小，单位：度/天。

2.2 背景场的作用

文献[17]认为背景场是 ISO 北传的关键因子，其中包括了纬向风垂直切变 $(U_{200}-U_{850})/2$ 、表面平均经向风和经向水汽梯度。由于平均经向风和水汽梯度都是为了描述异常水汽向北输送，我们参考文献[17]在图 3 直接给出了平均经向风对异常水汽的输送(公式(1))以及异常经向风对平均水汽的输送(公式(2))，它们代表了水汽的倾向；而图 3 则给出了由纬向风垂直切变导致的正压涡度倾向(公式(3))，它代表了垂直运动的倾向。

$$\frac{\partial q_s'}{\partial t} \sim -\bar{v} \times \frac{\partial q_s'}{\partial y} - w' \times \frac{\partial \bar{q}_s}{\partial z} \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_s'}{\partial t} \sim -v' \times \frac{\partial \bar{q}_s}{\partial y} \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} \sim \bar{u}_T \times \frac{\partial D}{\partial y} \quad (3)$$

其中“ $\bar{\quad}$ ”和“ $'$ ”分别表示平均量和异常量， u_T 为纬向风垂直切变。 D 为斜压散度 $(D_{200}-D_{850})/2$ 。从图 3 可看到，平均经向风对异常水汽的输送(图 3 上)和垂直风切变引起的正压涡度倾向(图 3 下)都有明显的季节内变化周期，且向北传播的特征都很显著，而异常经向风对平均水汽的输送(图 3 中)虽然也有季节内变化，但是传播特征不明显。

同样，利用频率-波数分析法，分析了背景场各因子 ISO 功率谱得图 4，从图中可以看到，平均经向风对异常水汽的输送(图 4 上)确实有明显的季节内振荡，周期 45 天左右。而且其北传波明显强于南传分量，相速度为 0.7~1.0 度/天，其中阴影部分显示大于 $10^{-9} \text{ kg}^2/(\text{kg}\cdot\text{s})^2$ 的区域。可见平均经向风导致的水汽倾向确实对南海夏季风

ISO 有贡献。图 4 中显示了异常经向风对平均水汽的输送, 虽然其北传波比南传波占优, 周期和传播速度也与图 2 相近, 但是其总体比平均经向风对异常水汽输送小一个量级。由此可见, 对南海夏季风 ISO 向北传播而言, 平均水汽分布要比平均经向风分布的贡献小得多。图 4 下显示了平

均纬向风垂直切变引起的正压涡度倾向的波数-频率功率谱分布。可以看到其北传分量也是远大于南传分量, 并且其周期和传播速度也都与图 2 接近。由此可见, 平均纬向风垂直切变对南海夏季风 ISO 北传有较大的贡献。

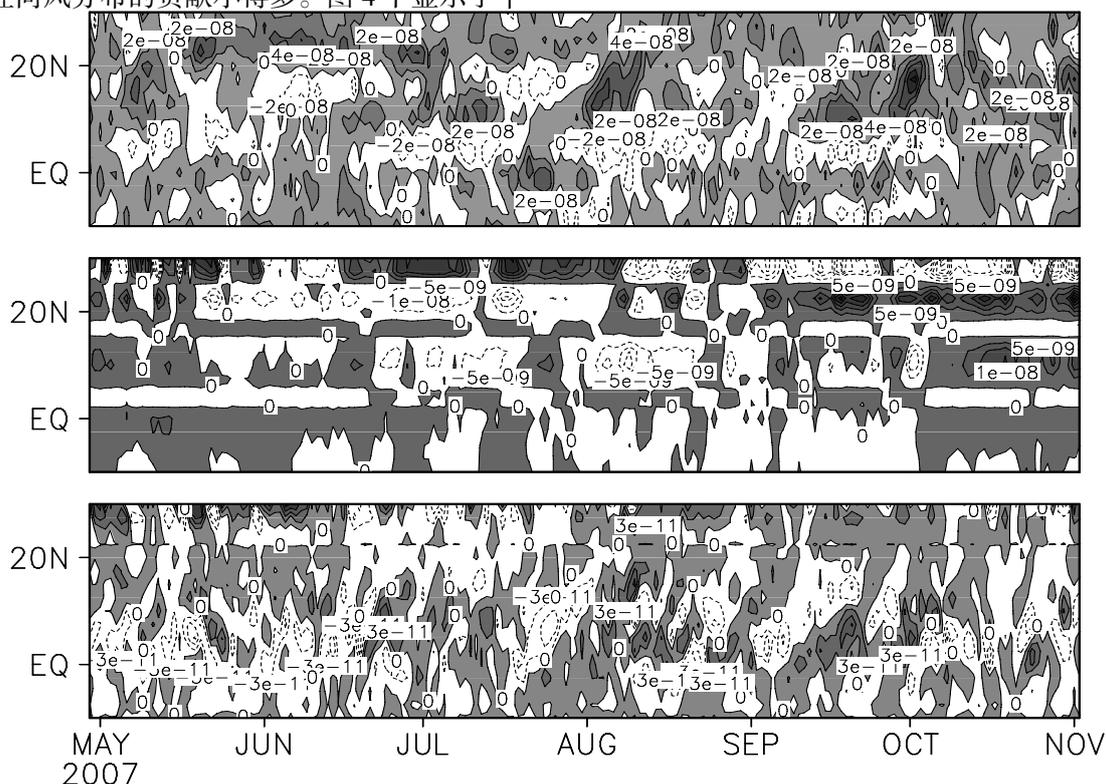


图 3 2007 年 5—10 月 105 ~ 120 °E 平均 925 hPa 经向风对异常水汽的输送(上, 单位: kg/(kg/s)), 异常经向风对平均水汽的输送(中, 单位: kg/(kg/s))和纬向风垂直切变导致的正压涡度倾向(下, 单位: s⁻²)

为什么平均水汽分布对南海地区的季节内振荡北传贡献不大呢? 从图 5 可看到, 70 ~ 95 °E 纬向平均的水汽经向梯度(经向上的水汽差值)在 0 ~ 20 °N 之间主要为正值, 只在 12.5 °N 附近出现负值; 而 105 ~ 120 °E 平均的水汽经向梯度在 2.5 ~ 5.0 °N 和 17.5 °N 附近都为负值。而图 1 中显示, 南海季风季节内振荡主要是从赤道附近向北传播的, 因此关键区是赤道附近的水汽经向梯度。如果赤道附近 2.5 ~ 5.0 °N 为负的水汽经向梯度, 那么赤道地区的对流就不能向北传播到南海地区, 而只有局地形成的对流才能向北传播, 这样就使得平均水汽经向分布在南海夏季风 ISO 北

传中的作用大大减弱。相反, 南亚季风 ISO 通过平均的水汽经向梯度则能传播到至少 12.5 °N 附近。

2.3 海-气相互作用的影响

下面来看看海-气相互作用(本文仅考虑了蒸发-风反馈机制)是否对南海夏季风 ISO 北传有所贡献。这里考虑了纬向风异常引起的 SSTA 倾向,

$$\frac{\partial T'}{\partial t} \sim -\lambda \times \bar{u}_B \times u_B' \quad (4)$$

其中 λ 为海-气相互作用系数, 参考文献[17]取为 $1.2 \times 10^{-8} \text{ K} \cdot \text{s} / \text{m}^2$, 下标“B”指表面, 这里用 925 hPa 代替。由此得到 SSTA 倾向(图 6 上), 从图中可以看到, SSTA 倾向的 ISO 特征非常显著, 但是

其北传并不明显。从其频率-波数分析结果(图 6 下)可以看出,功率谱值中心的波速无穷大,这就表示 SSTA 倾向的 ISO 基本是经向对称的。但是

从图 6 下也可以看到,纬向风异常引起的 SSTA 倾向同时还有向南和向北的分量,而且功率谱值的量级可以相比拟。

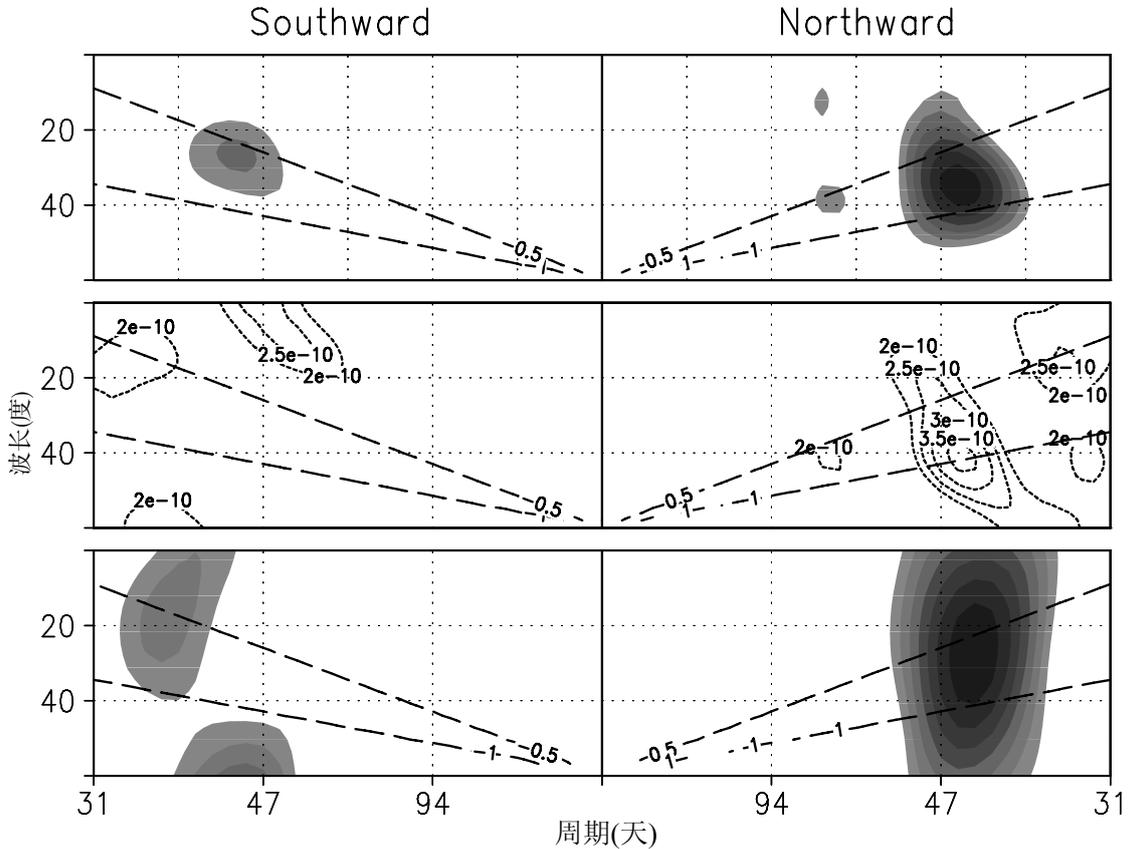


图 4 同图 2, 但为 925 hPa 经向风对异常水汽的输送(上, 单位: $\text{kg}^2/(\text{kg}/\text{s})^2$); 异常经向风对平均水汽的输送(中, 单位: $\text{kg}^2/(\text{kg}/\text{s})^2$)和纬向风垂直切变导致的正压涡度倾向(下, 单位: s^{-4})

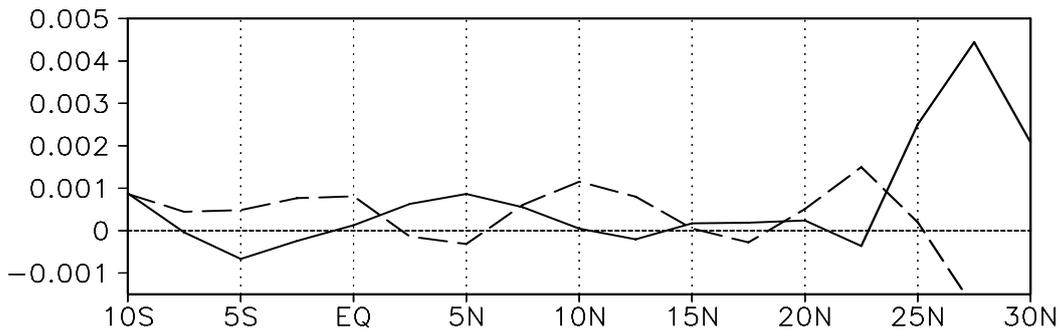


图 5 气候平均 5—10 月 70~95°E(实线)和 105~120°E(虚线)的 925 hPa 比湿经向梯度 单位: kg/kg 。

海-气相互作用的北传机制从 Kemball-Cook 等^[16]的研究中已有结论,而南海季风区海气相互作用为什么会引起 ISO 南传分量呢?从图 7 可以找到答案。图 7 上显示南海地区不同纬度带的降水与 925 hPa 异常纬向风的相关,可以看到对流

的中心及南部是西风气流而北部则是东风气流。对应图 7 下,发现在 18°N 以南的地区,南海 5—10 月平均为西风,因此只有 10°N 以南地区的对流北部全风速减小,中心及南部全风速增大。结合式(4)可知,北部异常纬向风与平均风场反向,引

起正的 SST 倾向, 即导致正 SSTA, 而异常暖海温及弱静力稳定度向对流北部发展, 引起 ISO 北传; 在南海的 18 °N 以北地区, 平均纬向风为东风, 导致 10 ~ 15 °N 地区的对流北部全风速与中南部都增大, 结合式(4)可知异常纬向风与平均风

场同向将导致 SST 降低, 所以此处的对流将不再有特别的向南和向北传播的趋势; 而 15 °N 以北地区的对流北部全风速增大, 中部减小, 导致对流北部 SSTA 负异常, 中部正异常, 从而驱使对流向南部发展。

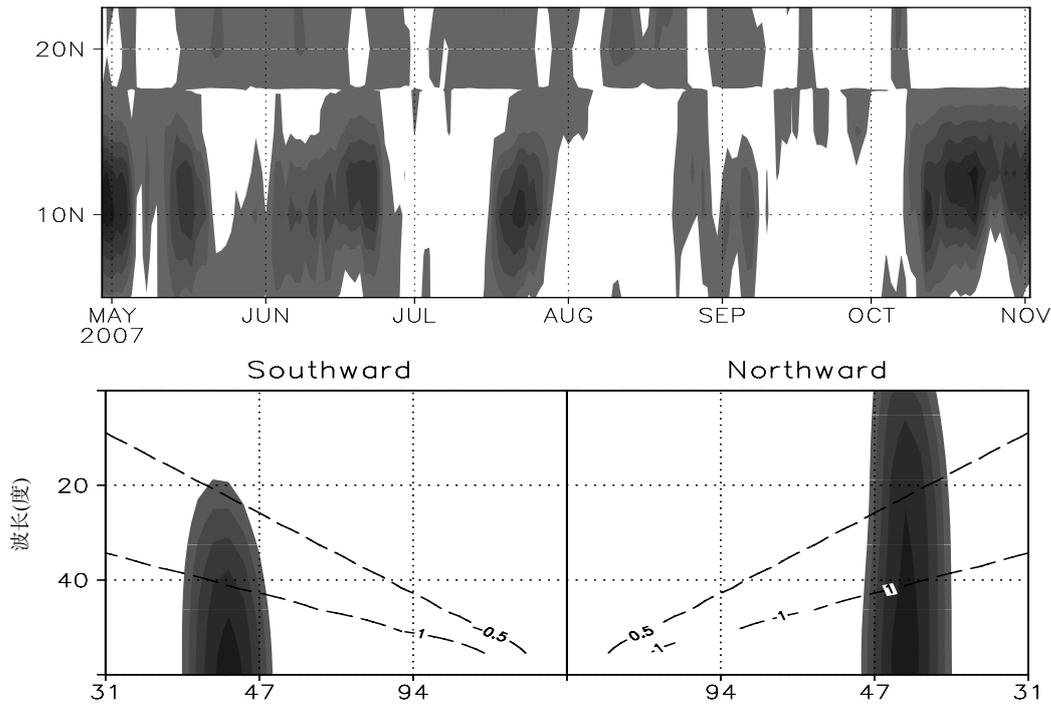


图 6 2007 年 5—10 月 105 ~ 120 °E 平均 925 hPa 异常纬向风引起的 SSTA 倾向(上, 单位: K/s)及其季节内振荡的频率-波数分析(下, 单位: K²/s²)

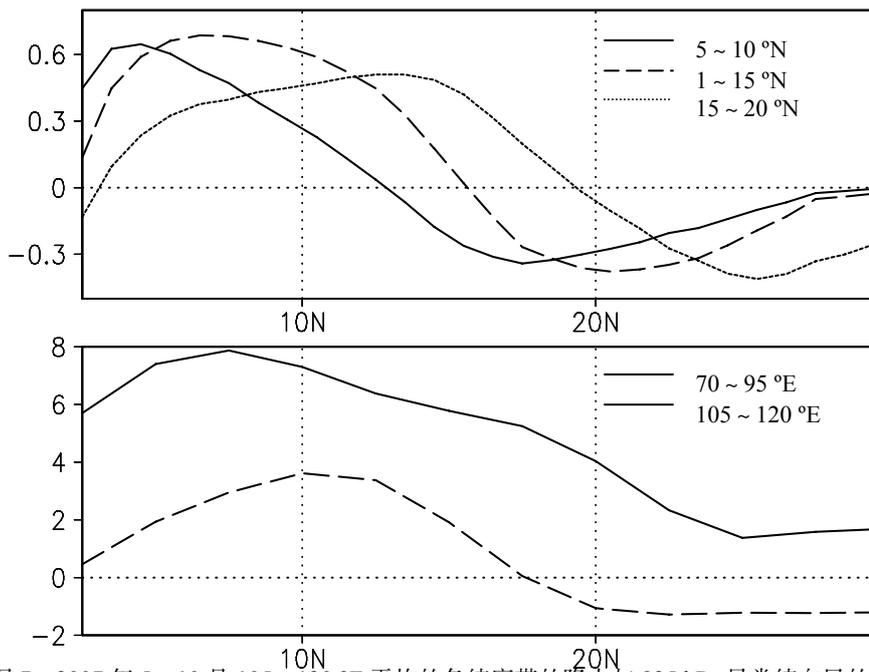


图 7 2007 年 5—10 月 105 ~ 120 °E 平均的各纬度带的降水与 925 hPa 异常纬向风的相关(上), 5—10 月气候平均的 925 hPa 纬向风分布(下)

3 结论和讨论

利用 NCEP/NCAR 再分析资料和 GPCP 的 GPI 降水资料, 通过频率-波数分析方法, 分析了 2007 年南海夏季风 ISO 的传播特征, 并探讨了背景场及海-气相互作用对南海地区 ISO 南北向传播的贡献。

(1) 2007 年南海夏季风的 ISO 北传特征明显, 周期约 45 天, 传播速度为 0.7~1.1 度/天。

(2) 平均经向气流及纬向风垂直切变相关的 ISO 特征与南海夏季风 ISO 特征相似, 表明它们是南海夏季风 ISO 北传的主要因子。

(3) 平均水汽分布相关的 ISO 虽然与南海夏季风 ISO 的周期和传播速度基本一致, 但是其功

率谱值比平均经向气流的小一个量级。这主要是由于平均水汽经向梯度在赤道附近为负值, 阻挡了赤道附近强对流的北传。

(4) 海-气相互作用对南海夏季风 ISO 的北传贡献也比较小。在 5~10 °N, 有北传贡献; 10~15 °N, 海-气相互作用对 ISO 南北向传播基本没有贡献; 而在 15~20 °N, 则有南传的贡献。

应该说明的是, 这里提到的海-气相互作用仅指蒸发-风反馈机制。是否还有其他海-气相互作用机制促使南海夏季风 ISO 的北传, 还需要进一步的深入研究。

参 考 文 献:

- [1] MADDEN R A, JULIAN P R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific[J]. *J Atmos Sci*, 1971, 28(5): 702-708.
- [2] KRISHNAMURTI T N, BHALME H N. Oscillation of a monsoon system I—Observational aspects[J]. *J Atmos Sci*, 1976, 33(8): 1 937-1 954.
- [3] LAU K M, YANG G J, SHEN S H. Seasonal and intraseasonal Climatology of Summer Monsoon Rainfall over East Asia[J]. *Mon Wea Rev*, 1988, 116(1): 18-37.
- [4] 孙丹, 据建华, 吕俊梅. 2003 年东亚季风季节内振荡对我国东部地区降水的影响[J]. *热带气象学报*, 2008, 24(6): 641-648.
- [5] 林爱兰, 梁建茵, 李春晖. 南海夏季风对流季节内振荡的频谱变化特征[J]. *热带气象学报*, 2005, 21(5): 542-548.
- [6] 袁金南, 梁建茵. 用南海西沙站观测资料诊断研究南海季风季节内振荡[J]. *海洋学报*, 2006, 28(1): 18-25.
- [7] MADDEN R A, JULIAN P R. Description of global-scale circulation cells in the Tropics with a 40-50 day period [J]. *J Atmos Sci*, 1972, 29: 3 138-3 158.
- [8] YASUNARI T. Cloudiness fluctuations associated with the Northern Hemisphere summer monsoon[J]. *J Meteor Soc Japan*, 1979, 57: 227-242.
- [9] YASUNARI T. A quasi-stationary appearance of 30- to 40-day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India[J]. *J Meteor Soc Japan*, 1980, 58: 225-229.
- [10] 贺懿华, 王晓玲, 金琪. 南海热带对流季节内振荡对江淮流域旱涝影响的初步分析[J]. *热带气象学报*, 2006, 22(3): 259-264.
- [11] 梁建茵, 林爱兰, 李春晖. 南海及周边地区 TBB 季节内振荡及其与 ENSO 的联系[J]. *气象学报*, 2005, 63(3): 267-277.
- [12] CHANG C P, CHEN J M, HARR P A, et al. Northwestward-propagating wave patterns over the tropical western North Pacific during summer[J]. *Mon Wea Rev*, 1996, 124(10): 2 245-2 266.
- [13] WANG B, RUI H. Synoptic climatology of transient tropical intraseasonal convection anomalies: 1975-1985[J]. *Meteor Atmos Phys*, 1990, 44: 43-61.
- [14] WANG B, XIE X. A model for the boreal summer intraseasonal oscillation[J]. *J Atmos Sci*, 1997, 54(1): 72-86.
- [15] LAWRENCE D M, Webster P J. The boreal summer intraseasonal oscillation: Relationship between northward and eastward movement of convection[J]. *J Atmos Sci*, 2002, 59(5): 1 593-1 606.
- [16] KEMBALL-COOK S R, WANG B. Equatorial waves and air-sea interaction in the boreal summer intraseasonal oscillation[J]. *J Climate*, 2001, 14: 2 923-2 942.

- [17] JIANG X, LI T, WANG B. Structures and Mechanisms of the Northward Propagating Boreal Summer Intraseasonal Oscillation[J]. *J Climate*, 2004, 17(13): 1 022-1 039.
- [18] KALNAY E, KANAMITSU M, KISTLER R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. *Bulletin of AMS*, 1996, 77(3): 437-472
- [19] JANOWIAK J E, ARKIN P A. Rainfall variations in the tropics during 1986-89, as estimated from observations of cloud-top temperature[J]. *J Geophys Res*, 96(S): 3 359-3 373.

THE NORTHWARD PROPAGATION AND MECHANISMS OF THE INTRASEASONAL OSCILLATION OF SOUTH CHINA SEA SUMMER MONSOON IN 2007

ZHENG Bin, LIN Ai-lan, LI Chun-hui, GU De-jun

(Guangzhou Institute of Tropical Marine and Meteorology / Key Open Laboratory for Tropical Monsoon,
China Meteorological Administration, Guangzhou 510080)

Abstract: The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Satellite-Derived (IR) GPI Daily Rainfall and frequency-wavenumber method are used to analyze the propagating features of the intraseasonal oscillation (ISO) associated with South China Sea summer monsoon (SCSSM) in 2007. Then, the NCEP (National Centers for Environmental Prediction)/NCAR(National Center for Atmospheric Research) daily reanalysis are employed to explore what drives the ISO propagate northwards. The results indicate that the ISO of SCSSM tends to move northwards greatly and the northward propagation is much larger than the southward one. Climatological mean zonal wind vertical shear and anomalous water vapor, transported by the mean meridional flow, play important roles in the northward propagation of ISO of SCSSM. However, because of differences in mean zonal flow and water vapor between the SCSSM and Indian summer monsoon region, mean water vapor transported by anomalous meridional wind and air-sea interaction plays a negligible role in the northward propagation of ISO over the SCSSM region, though with considerable contribution to the Indian summer monsoon region.

Key words: climatology; intraseasonal oscillation; frequency-wavenumber analysis; South China Sea summer monsoon; propagation