

文章编号: 1004-4965(2010)05-0521-05

预测夏季南海季节内振荡的一种新方法

琚建华^{1,2}, 刘一伶^{2,3}, 李汀², 白玉洁⁴

(1. 云南省气象局, 云南 昆明 650034; 2. 云南大学大气科学系, 云南 昆明 650091;

3. 北京维艾思气象信息科技有限公司, 北京 100081;

4. 广东省气象科技培训中心, 广东 广州 510080)

摘 要: 通过研究印度洋热带东传季节内振荡(MJO)活动和南海地区季节内振荡(ISO)活动的关系, 发现 MJO 与南海 ISO 之间存在较稳定的高滞后相关, 因此有可能利用春季和初夏 MJO 的活动来预测后期初、盛夏南海 ISO 的活动。通过对 MJO 活动与南海地区 ISO 活动物理关系的揭示, 有可能以季节内振荡理论为基础, 对夏季南海 ISO 活动提前 15~50 天进行预测。这样的预测试验在 2008 年取得了成功。这种建立在季节内振荡理论物理基础上的预测方法, 较单纯的经验、统计预测有一定的进步, 希望能为我国短期气候预测服务提供一种新的思路 and 理论依据。

关 键 词: 季节内振荡; 预测方法; MJO; 南海; 夏季

中图分类号: P456.9

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2010.05.002

1 引 言

1970 年代 Maddent 和 Julian^[1-2]通过谱分析方法, 发现热带大气纬向风和气压场存在 40~50 天周期并稳定向东传播的低频振荡(MJO), 之后大量学者开始对季节内振荡展开研究, 发现热带 MJO 的活动对全球许多地区的天气气候有显著影响^[3-10]。

我国东部地区夏季降水的时空分布特征复杂^[11]。南海作为季节内振荡(ISO)活动的关键区域, 对我国天气气候特别是夏季降水影响重大^[12-13]。夏季风期间季风涌的活动(其实是 ISO 的北移)对我国东部地区的降水有很大的影响^[14-15]。陶诗言^[16]指出, 在引发我国南方流域致洪性暴雨的环流系统中, 季风涌的作用非常重要, 它提供了暴雨产生所必需的水汽。而有研究表明, 南海是季风涌的主要源地^[17]。因此研究南海地区的 ISO 活动显得极其重要。由于大气季节内振荡遵循比较稳定的 30~60 天的振荡周期, 这使得我们有可能根据这一物理基础将长期天气预测的时效提前至 30~60 天。研究南海 ISO 预测方法需要解决两个问题, 一个是需找到具有物

理意义的能够提前影响南海 ISO 活动的物理因子(我们近期的研究发现, 前期热带 MJO 与随后的南海 ISO 有密切的联系); 另一个问题是用传统的滤波方法提取 ISO 特征的过程中会在序列的前后各损失 20 多天资料, 所以用传统的滤波方法难以有效获取实时数据, 这增添了提前预测南海 ISO 活动的难度。

热带低频振荡(MJO)的活动对下游天气气候可能产生一定影响^[18-19]。为了研究季节内振荡的预测方法, Storch 等早在 1990 年就提出了热带大气 30~60 天振荡的主振荡模式分析方法^[20], Webster 等也对 15~30 天尺度变化的统计预测技术进行了探索^[21]。为了达到实时预测 MJO 活动的目的, Lo 等^[22]提出用 OLR 的 EOF 分析的前两个模态和 200 hPa 流函数 EOF 分析的前三个模态来表征 MJO 的活动。进而 Wheeler 等^[18]提出将 OLR、850 hPa 和 200 hPa 纬向风分量三者的组合场 EOF 前两个模态的时间系数作为全年实时多变量 MJO 指数(RMMs), 来表征 MJO 的活动特征, 并证实了这对指数在去除季节内尺度以外的噪音、提取 MJO 活动信号方面的能力。这一新的 MJO 指数能够很好地描述热带季节内

收稿日期: 2009-03-16; 修订日期: 2009-09-28

资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2004CB418302、2006CB403603); 国际科技合作项目(2007DFB20210)共同资助

通讯作者: 琚建华, 男, 河南省人, 教授, 博士, 主要从事热带季风与气候变化研究。E-mail: jujh@cma.gov.cn

振荡的活动,并已经开始应用于澳大利亚业务和美国准业务监测预测工作中。MJO 活动对东亚天气气候影响的研究也取得了一些进展^[18-19, 23]。

MJO 实时新指数的应用和实时监测业务的发展,使我们看到了对东亚地区季节内振荡进行监测和预测的希望。只要找到二者之间联系的纽带,就有可能以季节内振荡理论为基础,利用前期的实时 MJO 指数提前对南海发生的 ISO 活动进行预测,为我国的短期气候预测服务提供一种新的方法和理论依据。

2 热带 MJO 指数和南海 ISO 活动序列介绍

Wheeler 和 Hendon 为了提取出热带地区的 MJO 信号,利用近赤道($15^{\circ}\text{S} \sim 15^{\circ}\text{N}$)平均的向外长波辐射(OLR)、200 hPa 和 850 hPa 的纬向风(u_{200} 、 u_{850})首先进行去除季节、年、年际以及更长时间尺度信号的处理(得到 OLR^* 、 u_{200}^* 、 u_{850}^*),然后进行 EOF 分析,以第一模态(PC1)和第二模态(PC2)的时间系数,作为全年实时多变量 MJO 序列 1(RMM1)和序列 2(RMM2)^[18]。

本文构造南海 ISO 活动序列的方法为:850 hPa 逐日风场在西南方向上的投影(记为 V_{sw})经 30~60 天带通滤波^[24]后,在南海区域($5 \sim 15^{\circ}\text{N}$, $110 \sim 120^{\circ}\text{E}$)取平均值^[25],以该序列作为描述南海地区 ISO 活动情况的逐日序列。

3 热带 MJO 活动与夏季南海 ISO 的关系

为了探讨热带 MJO 与夏季南海 ISO 活动的关系,我们研究了气候平均状况下 MJO 指数 RMM1 和 RMM2 与夏季南海 ISO 活动的关系(图 1)。

由图可见,在气候平均状况下(1979—2007 年平均),尽管 MJO 和南海 ISO 是分别用两种完全不同的方法计算出来的,但热带 MJO 和南海 ISO 之间存在着比较稳定的位相关系。中国南海(SCS)在夏季(5—9 月)存在三次 ISO 比较明显的活跃过程。其中,第一次活跃过程与南海季风的建立相对应。在这一时期内 MJO 的 RMM1、RMM2 与南海 ISO 的位相存在较为稳定的关系,图中红线所代表的 RMM1 的峰值超前蓝线所代表的南海 ISO 大约 1/4

个周期,而绿线所代表的 RMM2 和蓝线所代表的南海 ISO 在这一时期内的峰值基本同步。这就意味着南海 ISO 与 MJO 活动确实存在着密切的联系。为了定量研究这一相关关系,分别计算了气候平均状况下 RMM1、RMM2 与逐日南海 ISO 序列的交叉滞后相关(图 2)。由图 2 可见,在南海 ISO 滞后 RMM1 的 0~60 天的范围内出现了两次相关的极大值,一次位于滞后值 $Lag=10$ 天附近,另一次位于滞后值 $Lag=51$ 天附近,而在滞后值 $Lag=30$ 天附近为最大负相关,相关系数远远超过 0.01 的显著性检验临界值。同样,在南海 ISO 滞后 RMM2 的 0~60 天的范围内也出现了两次相关的极大值,一次位于滞后值 $Lag=1$ 天附近,另一次位于滞后值 $Lag=41$ 天附近,在滞后值 $Lag=21$ 天附近为最大负相关。根据这样的关系可以利用实时 MJO 指数提前 15~50 天对南海地区的 ISO 活动情况作出中长期预报。例如,可以根据 MJO 的 RMM1 指数在 3 月底—4 月初出现的峰值,预测以后的 51 天左右南海将出现 ISO 活动的峰值,并且根据 MJO 的 RMM1 指数 4 月中下旬出现的谷值,补充预测以后的 30 天左右南海将出现 ISO 活动的峰值。一般两次预测南海 ISO 活动峰值的时间可能相差几天,可以在 3 月底—4 月初第一次进行预测,而在 4 月中下旬当 MJO 的 RMM1 谷值出现时进行第二次预测,将两次预测时间求平均。用 MJO 的 RMM2 指数可以用同样的方法进一步加强对南海 ISO 的预测。

为了验证这种预测方法的可信程度,我们进行了多个个例研究。按第 2 节所述方法构造南海 ISO 活动序列,取绝对值后计算夏季(6、7、8 月)三个月的平均以描述当年夏季南海 ISO 的活跃程度。用这样的方法,我们挑选出 29 年来(1979—2007 年)夏季南海 ISO 活动较活跃的年份有 1979、1996、1999 和 2007 年。对这 4 年南海 ISO 的活动进行了预测试验,选择 ISO 活跃年是为了便于判断其振荡峰值的位置。

在这些年份我们使用前述的预测方法进行试验性的回报(预测),4 个活跃年都取得了较好的预测效果(图略)。值得指出的是,在不同年份 RMMs 对南海 ISO 峰值的预测回报试验中,可能略有 1~5 天以内的误差,这种误差体现了 MJO 与南海 ISO 之间的关系存在一定的年际变化,但这种变化并不影响对南海 ISO 活动长期天气预测的实质。

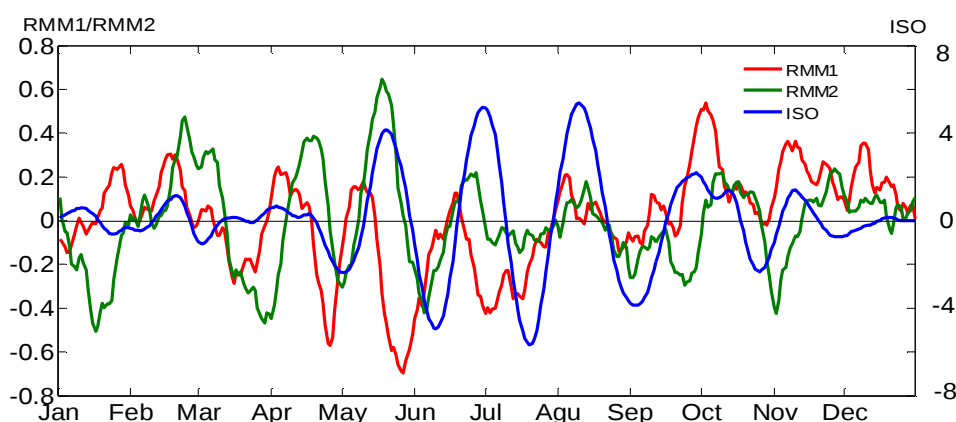
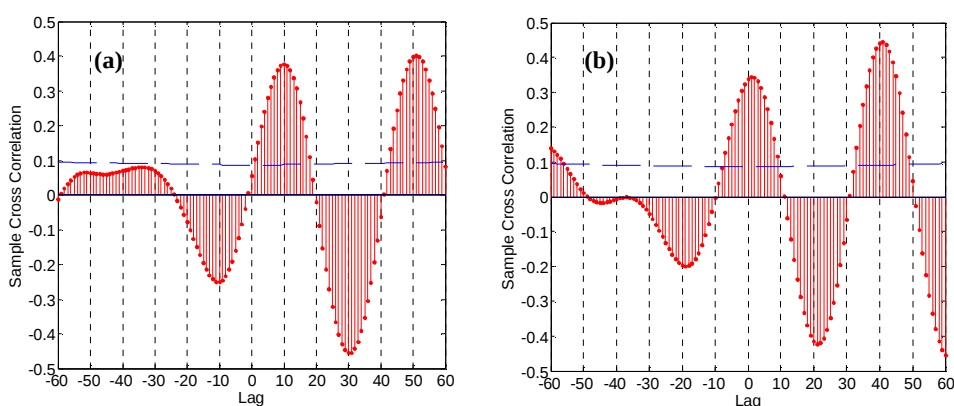


图 1 气候平均状况下 RMM1 和 RMM2 与南海 ISO 活动的关系

图 2 气候平均状况下 RMM1(a)、RMM2(b)与夏季南海 ISO 活动的交叉滞后相关
横轴是南海 ISO 滞后 MJO 的天数, 负值表示南海 ISO 超前。蓝线为通过 95%显著性检验的临界值。

基于以上研究结果,我们认为利用实时 MJO 指数对南海 ISO 活动情况作预报的方法是可信的。并且发现这种极强的相关关系也具有清晰的物理意义,二者联系的关键在于热带地区的对流活动以及纬向环流配置。在我们之前对夏季南海 ISO 活动年际变化的研究过程中已经发现,春季和初夏强的 Walker 环流以及南海-西太平洋地区的 ITCZ 和深对流活动中心,是南海夏季 ISO 活跃的前期强信号^[25]。这恰好也是 MJO 第一模态(PC1)所显示的分布形式^[18]。因此前期 RMM1 的峰值对应了随后南海 ISO 的活跃。而 MJO 第二模态(PC2)的空间分布显示出近赤道(15°S~15°N 平均)西太平洋地区为强对流区,因此前期 RMM2 的峰值也对应了随后南海 ISO 活跃。也就是说 MJO 在冬春季的活跃可以激发南海-西太平洋地区 ITCZ 的活跃,进而随着代表半球暖湿气团的 ITCZ 的加强北上,可一直影响到随后南海的对流活动(ISO)。因此可以在季节内振荡的理论基础下,指导我们利用前期 MJO 与随后南海 ISO 之间的关系进行短期气候预测。

4 春季 MJO 对夏季南海 ISO 活动预测的初步试验

前面 1979、1996、1999 和 2007 年南海 ISO 活动的预测回报的结果都很好,但这 4 年的资料都参加了 MJO 和 ISO 的相关统计,这种预测结果还需要进一步的验证。下面我们选择没有参加统计的 2008 年进行预测试验(图 3、图 4)。图中,粗黑线是利用正相关关系由 RMM1 和 RMM2 的波峰预测的南海 ISO 峰值位置,粗红线是利用负相关关系由 RMM1 和 RMM2 的波谷预测的南海 ISO 峰值位置。根据南海 ISO 相对 RMM1 的滞后时间 Lag=51 天附近为最大正相关, Lag=30 天附近为最大负相关,那么可以预计,当 RMM1 序列出现峰值之后的 51 天左右的时间南海地区将出现一次 ISO 活动的峰值,而当 RMM1 序列出现谷值之后的 30 天左右的时间南海地区也应该是 ISO 活动的峰值期。2008 年 3 月

27 日 RMM1 达到活动峰值, 随后 4 月 9 日转到谷值, 往后推 51 天和 30 天可以得到南海 ISO 在 5 月 9 日和 5 月 17 日之间将出现活跃期的峰值, 最后预测的南海 ISO 第一次活动峰值发生在 5 月 13 日。

同样, 根据 5、6 月 RMM1 的峰值和谷值, 也可以对随后南海地区 6、7 月的第二次 ISO 活动的峰值做出预测。

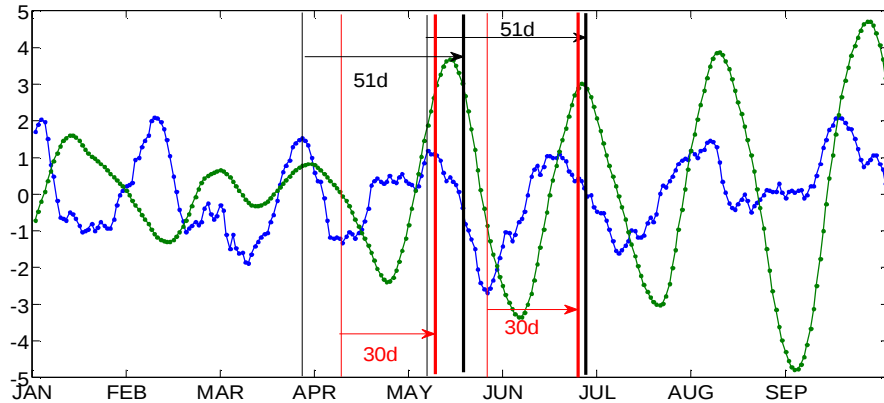


图 3 RMM1 对南海 ISO 的预测试验 蓝线是用于预测的 RMM1 序列, 粗黑线是由 RMM1 波峰预测的南海 ISO 峰值位置, 粗红线是利用 RMM1 的波谷预测的南海 ISO 峰值位置, 绿线是南海实际发生的 ISO 序列。

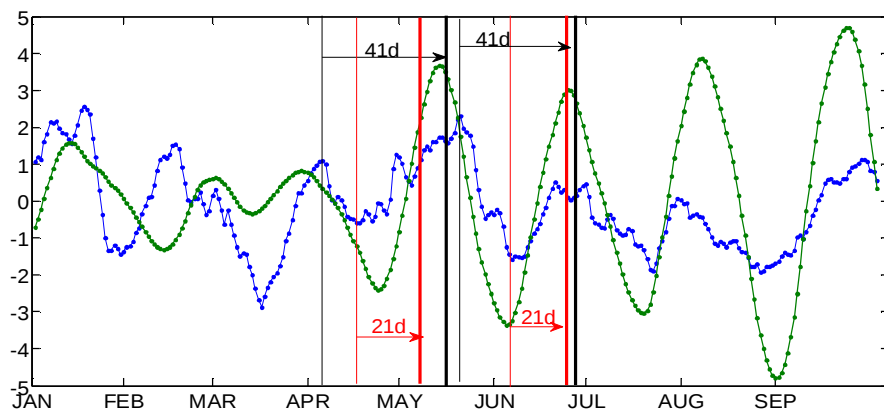


图 4 同图 3, 但为 RMM2

图 4 是 RMM2 对南海 ISO 的预测试验。同理, 当 3、4 月 RMM2 活动出现峰值时, 往后推 41 天可以预测得到南海 ISO 出现第一次峰值的时间, 当 RMM2 活动进入谷值时, 往后推 21 天又可以补充预测南海 ISO 出现第一次峰值的时间。2008 年南海 ISO 第一次活动峰值发生的时间也正好在 5 月 13 日附近(图 3、图 4 中的绿线), 这与我们用 MJO 指数预测的结果相符。由图可见, 6、7 月南海 ISO 第二次活动的预测结果同样与实况一致。

5 结论与讨论

通过夏季南海 ISO 的活动与 MJO 指数的对比研究发现, 我们所选取的南海 ISO 活动指数能够合理地描述当地 ISO 的活动特征。研究结果表明, 热

带 MJO 与夏季南海 ISO 之间存在非常稳定的高滞后相关, 这样的相关关系具有明确的物理意义。在季节内振荡理论基础的指导下, 通过分析前期 MJO 指数与南海 ISO 之间的位相关系, 可以利用实时 MJO 指数有效地提前 15~50 天对南海地区的 ISO 活动情况做出中长期预报。这样一种基于季节内振荡理论的思路, 有可能为短期气候预测工作提供新的理论依据和方法。

本文研究 MJO 与南海 ISO 的关系主要基于夏季南海 ISO 比较活跃的年份, 不活跃年份的情形有待进一步研究。目前我们的工作主要是针对一种位相上的超前滞后关系, 而 MJO 的强度对后期南海 ISO 强度的影响也是我们近期研究的另一个重要问题。另外, MJO 本身也存在年际变化, 它的机理尚不清楚, 这更是一个需要研究的问题。

参 考 文 献:

- [1] MADDEN R D, JULIAN P. Detection of a 40-50 day oscillation in the general wind in the tropical Pacific[J]. J Atmos Sci, 1971, 28(5): 702-708.
- [2] MADDEN R D, JULIAN P. Description of global scale circulation cells in the tropics with 40-50 day period[J]. J Atmos Sci, 1972, 29(6): 1 109-1 123.
- [3] 何金海. 1979 年夏季亚洲季风区域 40-50 天周期振荡的环流及其水汽输送场的变化[J]. 南京气象学院学报, 1984, 2: 163-175.
- [4] CHEN L X, ZHU C W, WANG W, et al. Analysis of the characteristics of 30—60 day low frequency oscillation over Asia during 1998 SCSMEX[J]. Adv Atmos Sci, 2001, 18: 623-638.
- [5] 丁一汇, 李崇银, 何金海, 等. 南海季风试验与东亚夏季风[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 561-586.
- [6] 杨辉, 李崇银. 热带大气季节内振荡的影响及因子研究[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(2): 145-156.
- [7] 韩荣青, 李维京, 董敏. 北半球副热带—中纬度太平洋大气季节内振荡的纬向传播与东亚夏季旱涝[J]. 气象学报, 2006, 64(2): 149-163.
- [8] 李崇银, 贾小龙, 董敏. 大气季节内振荡的数值模拟比较研究[J]. 气象学报, 2006, 64(4): 412-419.
- [9] 林爱兰, 梁建茵, 谷德军. 热带大气季节内振荡对东亚季风区的影响及不同时间尺度变化研究进展[J]. 热带气象学报, 2008, 24(1): 11-19.
- [10] 王允, 张庆云, 彭京备. 东亚冬季环流季节内振荡与 2008 年初南方大雪关系[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(4): 459-467.
- [11] 刘艳群, 陈创买, 郑勇. 珠江流域 4~9 月降水空间分布特征和类型[J]. 热带气象学报, 2008, 24(1): 67-73.
- [12] LI CY, LONG Z X, ZHANG Q Y. Strong/weak summer monsoon activity over the South China Sea and atmospheric intraseasonal oscillation[J]. Adv Atmos Sci, 2001, 18(6): 1 146-1 160.
- [13] 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.
- [14] 据建华, 赵而旭. 东亚夏季风区的低频振荡对长江中下游旱涝的影响. 热带气象学报, 2005, 21(2): 163-171.
- [15] 据建华, 孙丹, 吕俊梅. 东亚季风涌对我国东部大尺度降水过程的影响分析[J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1 029-1 039.
- [16] 陶诗言, 卫捷. 夏季中国南方流域性致洪暴雨与季风涌的关系[J]. 气象, 2007, 33(3): 10-18.
- [17] 据建华, 钱诚, 曹杰. 东亚夏季风的季节内振荡研究[J]. 大气科学, 2005, 29(2): 187-194.
- [18] MATTHEW C Wheeler, HARRY H Hendon. An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development of an Index for Monitoring and Prediction[J]. Mon Wea Rev, 2004, 132: 1 917-1 932.
- [19] JEONG Jee-Hoon, HO Chang-Hoi, KIM Baek-Min. Influence of the Madden-Julian oscillation on wintertime surface air temperature and cold surge in east Asia[J]. Journal of Geophysical Research, 2005, 18: 600-612.
- [20] STORCH Hans von, XU Jinsong. Principal Oscillation Pattern analysis of the 30-to 60-day oscillation in the tropical troposphere. Climate Dynamics, 1990, 4: 175-190.
- [21] WEBSTER Peter J, HOYOS Carlos. Prediction of monsoon rainfall and river rainfall and river discharge on 15–30-day time scales[R]. Bulletin of American Meteorological Society, 2004, 85(11): 1 745-1 765.
- [22] LO Fiona, HENDON Harry H. Empirical Extended-Range Prediction of the Madden-Julian Oscillation[J]. Mon Wea Rev, 2000, 128(8): 2 528-2 543.
- [23] JEONG Jee-Hoon, KIM Baek-Min, HO Chang-Hoi, et al. Systematic Variation in Wintertime Precipitation in East Asia by MJO-Induced Extratropical Vertical Motion[J]. Journal of Climate, 2008, 21(4): 788-801.
- [24] 李崇银. 大气低频振荡[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 12-18.
- [25] 据建华, 刘一伶, 李汀, 等. 南海夏季风季节内振荡的年际变化研究[J]. 大气科学, 2010, 34(2): 253-261.

A NEW METHOD FOR PREDICTING SUMMER INTRA-SEASONAL OSCILLATION OVER THE SOUTH CHINA SEA

JU Jian-hua^{1,2}, LIU Yi-ling^{2,3}, LI Ting², BAI Yu-jie⁴

(1. Yunnan Provincial Meteorological Bureau, Kunming 650034, China;

2. Department of Atmospheric Sciences, Yunnan university, Kunming 650091, China;

3. Beijing Weather Information Service Co., Ltd., Beijing 100081, China;

4. Guangdong Meteorological Training Centre, Guangzhou 510080, China)

Abstract: The relationship between the east-propagating Madden-Julian Oscillation MJO across tropical Indian Ocean and the summertime South China Sea intra-seasonal oscillation is studied. The results show that there is a significant lag correlation between the two oscillations. This relationship is very important theoretically. With this method, the ISO activities over the South China Sea are shown to be predictable with the MJO of spring and early summer, 15 ~ 50 days earlier than before. It was actually achieved in 2008. This approach, based on the theory of intra-seasonal oscillation, is more advanced than the traditional one, which just relies on pure experience and data. Thus, it enriches the service of short-term climate prediction in China with new supply of thought and theory.

Key word: ISO; prediction methods; MJO; South China Sea; summer