

贾小龙,袁媛,任福民,等. 热带大气季节内振荡(MJO)实时监测预测业务[J]. 气象,2012,38(4):425-431.

热带大气季节内振荡(MJO)实时监测预测业务^{*1}

贾小龙¹ 袁媛¹ 任福民¹ 张勤²

1 国家气候中心,北京 100081

2 NOAA/NWS/Climate Prediction Center (CPC),美国

提 要: 参考目前国际上普遍认可的 Wheeler 和 Hendon 设计的 MJO 监测指标,设计了适合开展实时业务监测的 MJO 计算方法,初步在国家气候中心建立了逐日的 MJO 实时监测业务,通过与国外同类监测结果的比较分析表明,监测指标可以很好地描述 MJO 的强度和传播特征,与国外同类监测产品有很好的一致性。另外,引入了两种统计方法进行了针对 MJO 指数的实时预测,对预测结果的检验表明,对 MJO 在两周内有较好的预测技巧,其中利用滞后线性回归方法(PCL)的预测技巧要高于自回归模型(ARM)。

关键词: MJO, 监测, 统计预报

The Real-Time MJO Monitoring and Prediction Operation in NCC

JIA Xiaolong¹ YUAN Yuan¹ REN Fumin¹ ZHANG Qin²

1 National Climate Centre, Beijing 100081

2 Climate Prediction Centre, NWS, NOAA, USA

Abstract: Based on a popular MJO monitoring method designed by Wheeler and Hendon, a real-time MJO monitoring index and associated computing method were designed, and then, an MJO monitoring and prediction operation system was built up in National Climate Center (NCC). The monitoring results from NCC are much consistent with that from the foreign operational departments (e. g. Australia Bureau of Meteorology). Monitoring results can give a relative good description of the MJO's intensity and propagation. The real-time MJO prediction operation is also set up using two statistical forecast models. Analysis on the prediction skill showed that two statistical methods give a skillful forecast within 15 days. Lag linear regression model (PCL) has better forecast skill than auto-regressive model (ARM).

Key words: Madden-Julian Oscillation (MJO), monitoring, statistical forecast

引 言

热带大气季节内振荡(Madden-Julian Oscillation, MJO)是热带地区大气环流异常的一个主要模式^[1-2]。MJO的最重要的特征是其的季节内时间(30~70天)尺度上沿全球热带地区缓慢的向东传播,同时其具有纬向1波为主的行星尺度空间结构,

对流层上、下反相的“斜压”结构,以及有明显的季节性^[3-4]。MJO作为热带大气环流最主要的演变模式对热带地区的天气/气候异常有重要的影响,这方面的研究也已经有很多^[5-10]。不仅如此,MJO对全球热带外地区的天气/气候异常也有重要的影响^[11-21]。

大气季节内振荡在我国东部天气/气候演变中扮演了重要角色,国内做了非常多的研究工作^[22-34]。这些研究成果对我们认识季节内振荡和我国气候异

* 国家自然科学基金(40905035)、国家重点基础研究发展(973)计划(2010CB428606)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906015和GYHY200806004)和科技部科技支撑项目(2009BAC51B05)共同资助

2011年5月24日收稿; 2011年8月10日收修定稿

第一作者: 贾小龙,主要从事气候预测研究和应用. Email: jiaxl@cma. gov. cn

常的关系有很重要的作用,但目前国内无论是中期预报还是月尺度预报中的业务应用还远远不够。其中原因之一是由于滤波方法的限制,缺乏一个能客观地、实时地提取 MJO 演变信息(比如强度和位置)的方法;另外一方面,由于 MJO 主要是大气内部动力过程,其可预报性有很大的不确定性,并缺乏有效的预报手段。正是由于这两方面的原因,限制了 MJO 在“次季节”预报中的应用。但最近几年,国内外在这两方面的研究都取得了很大的进展。

在监测指数方面,2004 年, Wheeler 和 Hendon^[35]利用多变量 EOF 方法设计了一个二维 MJO 指数,该指数没有使用传统的滤波技术,因此可以实时提取 MJO 的信息(包括 MJO 对流的位置和强度)。由于该指数较为直观而且方便使用,目前该指数已在澳大利亚气象局以及 CPC/NCEP 等国外气候中心的 MJO 监测、诊断和预测业务中广泛使用。近些年来很多研究也利用该指数分析了 MJO 的传播及演变特征对全球不同区域天气/气候的影响^[16-21]。最近我们的研究也表明^[36-37],MJO 在不同的位相对我国冬季温度和降水有明显的调制作用。孙国武等^[38-39]提出了基于时间滤波的低频天气图方法做延伸预报,并投于 2008—2009 年的汛期延伸期预报准业务应用。另外,目前国际上对 MJO 的预报方法研究也取得了很大的进展。目前利用统计预报 MJO 已有相当的预报技巧,但仍远小于自身的时间尺度,因此提升预报技巧的空间还很大。2003 年美国开始开展了实验性的 MJO 预测计划,来进一步提升其预报时效^[40]。国内也有相关 MJO 预测的研究工作,效果比较好^[41]。最近丁一汇等^[42]对基于 MJO 的延伸预报的相关问题进行了详细论述。目前,美国气候预测中心(CPC)^[43]以及澳大利亚气象研究中心^[44]等机构已利用动力模式(如 GEFS/NCEP, GFS/NCEP 等)以及统计方法(如滞后回归、线性自回归等)对 MJO 进行预测,并将 MJO 的预测作为业务预报重点。

国家气候中心目前也引入了 Wheeler 和 Hendon^[35]的方法,并初步建立了 MJO 的实时监测预测业务,本文将对相关业务进行简要介绍和分析。

1 资料

MJO 实时监测业务系统使用的资料包括逐日 850 和 200 hPa 纬向风,来自国家气象信息中心的

实时气象数据库,为 T639 客观分析资料,分辨率为 $1.625^{\circ} \times 1.625^{\circ}$,然后插值得到 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 分辨率。向外长波辐射(OLR)资料使用的是 NOAA 的逐日格点资料,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。文中使用了 Wheeler 和 Hendon 定义地描述 MJO 的两个联合 EOF 模态^[35],该模态资料的分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。实时监测资料时段从 2009 年 1 月 1 日开始。

2 监测方法和指标

使用的监测指标采用 Wheeler 和 Hendon^[35]设计的多变量二维 MJO 指数。该指数是一个实时的多变量的 MJO 指数。该指数是将逐日资料投影到 $15^{\circ}\text{S} \sim 15^{\circ}\text{N}$ 平均的 OLR, 850 和 200 hPa 纬向风的前两个联合 EOF(也称多变量 EOF)模态上,得到两个主成分(PC)时间序列作为 MJO 指数,投影之前所有资料(包括做联合 EOF 的资料)都去除了年循环和年际变率,因此两个主成分时间序列主要在与 MJO 相关的季节内时间尺度上有最大的变率,该投影也就充当了一个有效的滤波器而不需要进行时间的滤波,得到的 PCs 可以用来实现对 MJO 的实时监测,组成 MJO 指数序列的两个 PCs 分别被称为 RMM_1 和 RMM_2 。根据 RMM_1 和 RMM_2 所确定的二维位相空间,将强的 MJO 沿着全球热带地区的纬向传播分为 8 个空间位相(位相 1~8,如图 1),位相 1 和 2 表明 MJO 的对流中心位于非洲和以西的

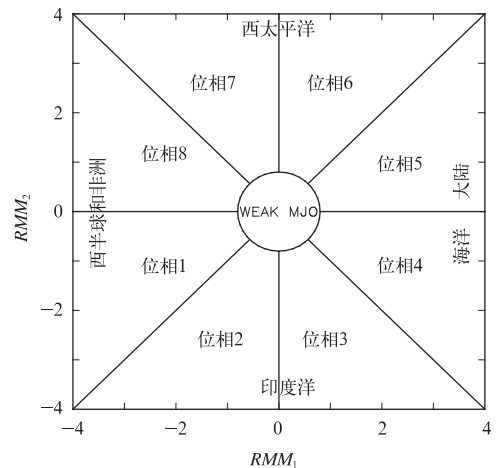


图 1 Wheeler 和 Hendon^[35]定义的二维 MJO 指数 (RMM_1 和 RMM_2) 的 MJO 空间位相
Fig. 1 Phase space represented by the 2-component MJO index (RMM_1 , RMM_2)
(Designed by Wheeler and Hendon^[35])

西印度洋附近,而位相 7 和 8 表示 MJO 对流中心位于太平洋的日界线及其以东的西半球,位相 1~8 组成了一个完整的 MJO 对流从非洲沿岸的西印度洋发展到中东太平洋消亡的生命循环过程。在 RMM_1 和 RMM_2 的逐日二维图上(图 1) MJO 指数表现为逆时针的旋转。另外将弱的 MJO 位相定义为 MJO 的振幅小于 1,即 $\sqrt{RMM_1^2 + RMM_2^2} < 1$,关于该指数的详细描述可参见文献[35]。

在实时的监测业务中,首先将每日的 3 个变量[850 和 200 hPa 纬向风及向外长波辐射(OLR)]的实时资料进行 $15^{\circ}\text{S}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 的平均,然后在每一个格点上减去气候平均值得到距平值,然后再减掉最近 120 天的平均值,最后将三个变量的距平投影到 Wheeler 和 Hendon 的两个联合 EOF 模态上(图 2)(该 EOF

模态可从 <http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/eof1and2.htm> 上获取,其中 EOF_1 的方差占总方差的 12.83%, EOF_2 的方差占总方差的 12.17%),得到两个系数作为 MJO 实时监测指数。

对该 MJO 指数的预测,目前采用了两种统计预报方法,一种是滞后线性回归方法^[35,45-46],另外一种简化的自回归模型^[45],详细的介绍可参阅相关文献。

国家气候中心(NCC)、NCEP 和澳大利亚气象局的 MJO 监测,使用的都是 Wheeler 和 Hendon^[35]的方法,但在资料和资料处理上有些细微的差异。资料方面,NCC 的 850 和 200 hPa 纬向风,使用的是国家气象中心 T639 天气模式的实时分析资料,OLR 资料使用的是 NOAA 的逐日格点资料。澳大

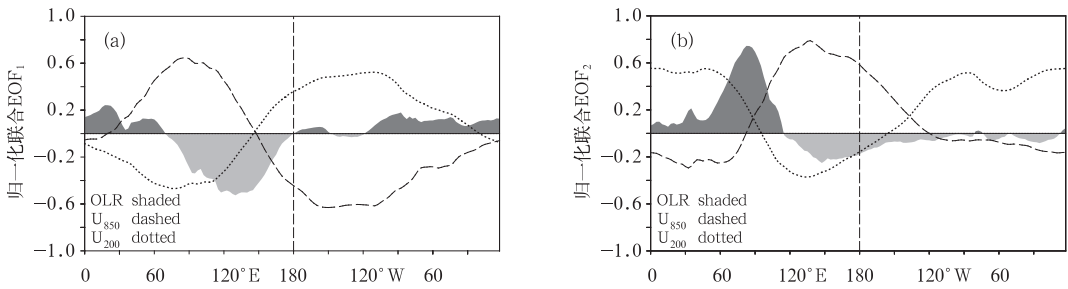


图 2 Wheeler 和 Hendon^[35]定义的 OLR,850 和 200 hPa 纬向风异常的前两个联合 EOF 模态
(资料下载自 <http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/eof1and2.htm>)

Fig. 2 EOF_1 (a) and EOF_2 (b) of the (combined) daily fields of $15^{\circ}\text{S}\sim 15^{\circ}\text{N}$ averaged OLR, 850 hPa zonal wind, and 200 hPa zonal wind
(Data download from <http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/eof1and2.htm>)

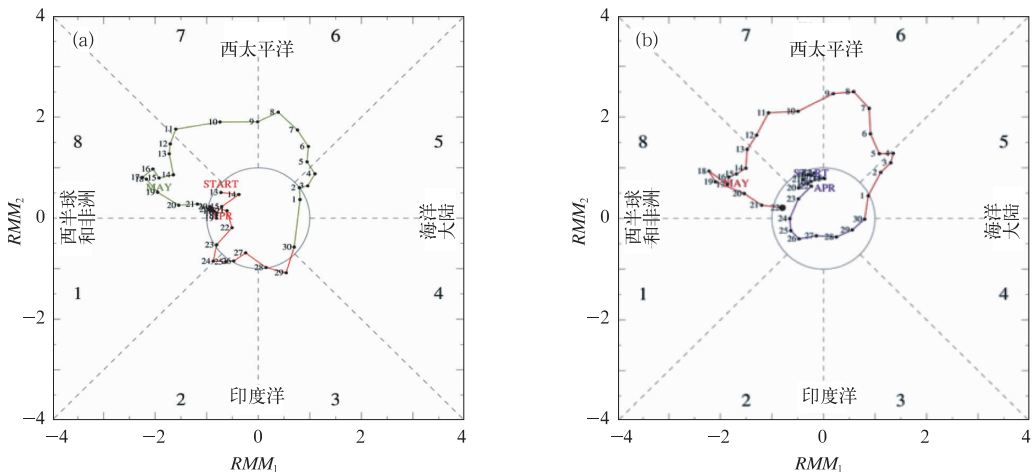


图 3 2011 年 4 月 13 日至 5 月 22 日的逐日 MJO 监测

(a) 国家气候中心, (b) CPC/NCEP

Fig. 3 The daily MJO real-time monitorings from 13 April to 22 May, 2011

(a) NCC, (b) NCEP

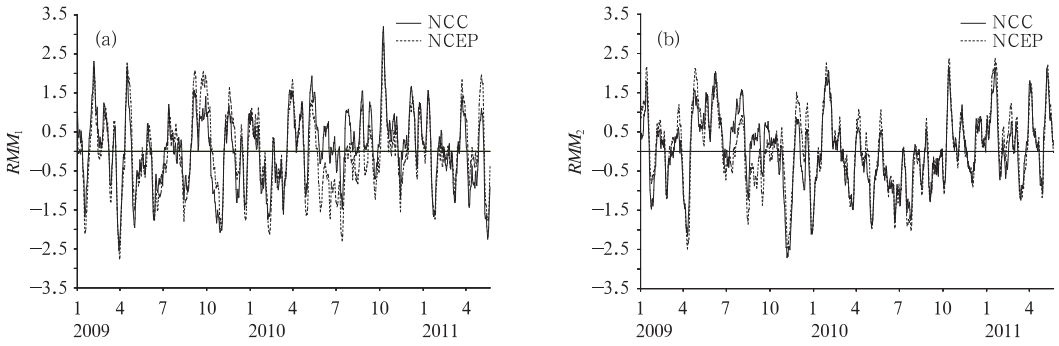


图 4 2009 年 1 月至 2011 年 5 月监测指标 RMM_1 (a) 和 RMM_2 (b) 时间序列
(实线: NCC, 虚线: 澳大利亚气象局)

Fig. 4 MJO monitoring index RMM_1 (a) and RMM_2 (b) time series from the year of 2009
(Solid line: NCC, dashed line: Bureau of Meteorology of Australian)

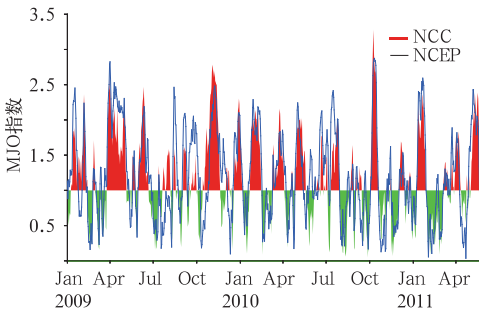


图 5 2009 年 1 月至 2011 年 5 月 MJO 指数的强度 ($\sqrt{RMM_1^2 + RMM_2^2}$) 序列
(阴影: NCC, 实线: 澳大利亚气象局)

Fig. 5 The time series of MJO amplitude ($\sqrt{RMM_1^2 + RMM_2^2}$) from the year of 2009
(Shade: NCC, solid line: Bureau of Meteorology of Australian)

利亚气象局和美国 NCEP 使用的都是 NCEP 的再分析和分析资料和 NOAA 的 OLR 资料。在资料处理上,区域范围都是取 $15^{\circ}\text{S}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 的平均,在距平处理上,NCC 和 NCEP 的一样,先去除每天的多年平均值,然后减掉最近 120 天的平均,澳大利亚气象局的处理复杂些,还去除了与 ENSO 相关的年际异常。在 MJO 的统计预报方面,NCC 使用的两种方法与 NCEP 使用的一致,NCEP 还有另外一种统计方法(构造相似法)^[47-50]。澳大利亚气象局使用的是另外一种季节变化的矢量自回归模型^[51]。

3 监测预测结果分析

下面将对 NCC 建立的 MJO 监测预测业务系

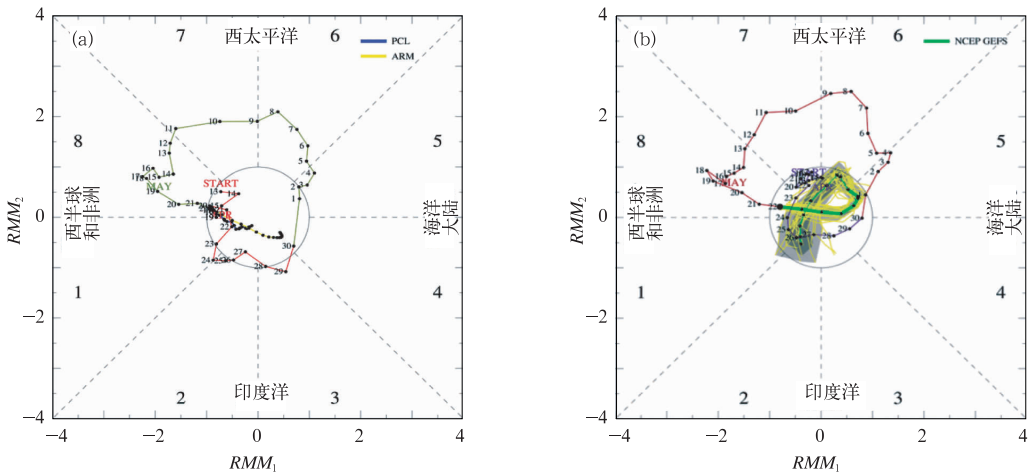


图 6 2011 年 5 月 22 日预报的 MJO 指数未来 15 天(5 月 23 日至 6 月 6 日)的变化
(a) NCC 的两种统计预报方法的预报,蓝色线为 PCL 模型的预报,黄色线为 ARM 模型的预报;
(b) NCEP GFS 动力模式的集合预报,黄色线为各成员的预报,绿色线为集合平均的结果
(资料下载自 <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/foregfs.shtml>)

Fig. 6 Forecasted MJO index for 15 days (from 23 May to 6 June, 2011)
(a) NCC prediction, blue line is for PCL model, yellow line is for ARM model;
(b) NCEP GFS ensemble prediction

(Download from <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/foregfs.shtml>)

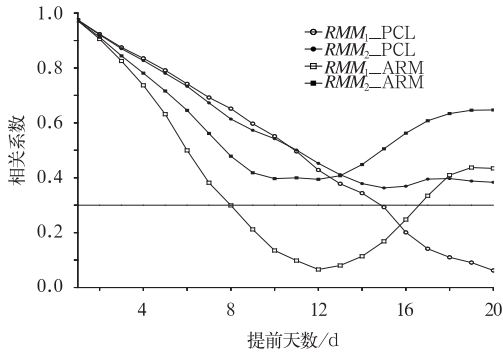


图7 两种统计方法对 RMM_1 和 RMM_2 的预报技巧

Fig. 7 Forecast skill of MJO index by two statistical models

(Horizontal axis: leading days, vertical axis: correlation coefficient between the forecasted and observed index)

统的主要产品进行分析,并与 NCEP 的类似产品进行对比。图 3a 给出了 NCC 2011 年 4 月 13 日至 5 月 22 日的监测结果,可以看到 MJO 在 4 月中下旬较弱,4 月下旬后期向东传播进入印度洋,但强度仍然较弱,5 月初开始在西太平洋地区开始明显加强并缓慢向东传播,5 月上旬主要位于 6、7 位相,中下旬进入 8 位相,并且在下旬强度开始明显减弱。作为对比,图 3b 给出了同期 NCEP 的监测结果,可以看到 NCC 的监测结果在位相传播上与 NCEP 的结果还是基本一致的,主要在强度上略有差异。为进一步与国外监测结果进行比较,图 4 给出了 2009 年 1 月 1 日至 2011 年 5 月 22 日两个监测指数 RMM_1 和 RMM_2 时间序列,两个指标的监测序列与澳大利亚气象局的结果一致性较好(NCEP 网站不提供历史监测数据)。NCC 的 RMM_1 和 RMM_2 与澳大利亚气象局的 RMM_1 和 RMM_2 的相关系数分别为 0.87 和 0.92, RMM_2 的一致性要略好于 RMM_1 。从 MJO 的振幅($\sqrt{RMM_1^2 + RMM_2^2}$)比较来看(图 5),NCC 和澳大利亚气象局的结果也有较好的一致性,两者的相关系数为 0.82。

图 6 给出了两种统计方法和 NCEP GFS 集合预报系统对 MJO 指数未来 15 天的预报,从 5 月 22 日的预报来看,两种统计方法都预报未来 15 天 MJO 强度较弱,NCEP GFS 的预报也显示 MJO 将进入弱位相。图 7 给出了两种统计预报模型的预报检验情况,分别计算了两种方法提前 1~20 天预报

的 RMM_1 和 RMM_2 与观测值的相关系数。可以看出,PCL 方法对 RMM_1 和 RMM_2 的预报技巧基本相当,随着提前天数的增加而降低,从提前 16 天开始,对 RMM_1 的预报技巧降到了 0.3 以下,而对 RMM_2 的预报在 15 天后变得趋于平缓。与 PCL 方法相比,ARM 方法对 RMM_1 的预报技巧随着提前天数的增加下降得更为迅速,在提前为 9 天时降到显著性水平之下,但从 13 天开始预报技巧开始有所增加。ARM 方法对 RMM_2 的预报技巧要高于 RMM_1 ,从第 11 天开始趋于平缓并开始增加。通过对比可以看出,PCL 方法提前 1~15 天内有较好的预报技巧,而 ARM 方法提前 1~8 天内有可信的预报技巧,但明显低于 PCL 方法,但在 15~16 天之后预测技巧高于 PCL 方法。但预报技巧出现 ARM 这种先降低后增加的现象值得进一步分析。

MJO 作为热带大气环流的一个主要模态,目前成为进行“次季节”预报研究的焦点,其被认为可以填补天气预报和季节预测之间所谓的“预报缝隙”,有助于提高两周到月尺度的气候预测能力。目前国家气候中心也将 MJO 监测预测信息应用到延伸期一月尺度的气候预测业务中,建立了 MJO 不同位相下我国各个季节降水和温度异常的分布特征。最近我们的研究^[36-37]也表明 MJO 在向东传播过程中对我国温度和降水有明显的调制作用。比如,冬季 MJO 在沿热带向东传播过程中,我国东部地区冬季降水也表现出系统性的变化,当 MJO 对流位于印度洋时,东部地区降水概率显著增加;而当 MJO 对流位于西太平洋时,东部地区降水概率显著降低。在副热带 MJO 主要通过调制孟加拉湾南支槽和西太平洋副热带高压来影响水汽输送,在中高纬 MJO 主要通过激发 Rossby 波导致冬季风环流异常^[36]。(相关 MJO 监测预测和业务应用的更多信息,可访问国家气候中心业务网站:<http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/station/extension.php>)

4 小结

最近几年,国际上 MJO 监测预测业务发展很快,NCC 通过利用国际上的最新研究成果,也初步建立了 MJO 的监测预测和应用业务,实现了对 MJO 指标的实时监测和预测。通过与国外业务单

位同类产品的比较,监测结果有很好的一致性。对两种统计方法预测 MJO 指数的技巧分析显示,有较好的预报技巧,时效为 15 天左右,滞后线性回归方法(PCL)的预测技巧和可信度要高于自回归模型(ARM)。统计预报模型还有待进一步改进。

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] Madden R A, Julian P R. Description of global scale circulation cells in the tropics with 40—50 day period[J]. *J Atmos Sci*, 1972, 29(6): 1109-1123.
- [3] Madden R A, Julian P R. Observations of the 40—50-day tropical oscillation—A review[J]. *Mon Wea Rev*, 1994, 122(5): 814-837.
- [4] Zhang C. Madden-Julian oscillation[J]. *Rev Geophys*, 2005, 43(2): 1-36.
- [5] Lau K M, Chan P H. Aspects of the 40—50 day oscillation during the northern summer as inferred from outgoing long-wave radiation[J]. *Mon Wea Rev*, 1986, 114, 1354-1367.
- [6] 穆明权,李崇银. 1998 年南海夏季风的爆发与大气季节内振荡的活动[J]. *气候与环境研究*, 2000, 5(4): 375-387.
- [7] Hendon H H, Liebmann B. The intraseasonal (30—50 day) oscillation of the Australian summer monsoon[J]. *J Atmos Sci*, 1990, 47(24): 2909-2924.
- [8] Paegle J N, Byerle L A, Mo K C. Intraseasonal modulation of South American summer precipitation[J]. *Mon Wea Rev*, 2000, 128: 837-850.
- [9] Matthews A J. Intraseasonal variability over tropical Africa during northern summer[J]. *J Climate*, 2004, 17(12): 2427-2440.
- [10] 祝从文, Nakazawa T S, 李建平. 大气季节内振荡对印度洋-西太平洋地区热带低压/热带气旋生成的影响[J]. *气象学报*, 2004, 62(1): 42-50.
- [11] 李崇银. 江淮流域汛期降水与热带大气季节内振荡的活动[M]//黄荣辉主编. 灾害性气候的过程及诊断. 北京:气象出版社, 1996: 72-76.
- [12] Jones C. Occurrence of extreme precipitation events in California and relationships with the Madden-Julian oscillation[J]. *J Climate*, 2000, 13(20): 3576-3587.
- [13] Paegle J N, Byerle L A, Mo K C. Intraseasonal modulation of South American summer precipitation[J]. *Mon Wea Rev*, 2000, 128: 837-850.
- [14] Bond N A, Vecchi G A. The influence of the Madden-Julian oscillation on precipitation in Oregon and Washington[J]. *Weather Forecasting*, 2003, 18(4): 600-613.
- [15] Vecchi G A, Bond N A. The Madden-Julian Oscillation (MJO) and northern high latitude wintertime surface air temperatures[J]. *Geophys Res Lett*, 2004, 31, L04104. doi: 10. 1029/2003GL018645.
- [16] Jeong J H, Ho C H, Kim B M, et al. Influence of the Madden-Julian oscillation on wintertime surface air temperature and cold surges in East Asia[J]. *J Geophys Res*, 2005, 110, D11104. doi: 10. 1029/2004JD005408.
- [17] Barlow M, Wheeler M, Lyon B, et al. Modulation of daily precipitation over southwest Asia by the Madden-Julian oscillation[J]. *Mon Wea Rev*, 2005, 133: 3579-3594.
- [18] Donald A, Meinke H, Power B, et al. Near-global impact of the Madden-Julian oscillation on rainfall[J]. *Geophys Res Lett*, 2006, 33, L09704. doi: 10. 1029/2005 GL025155.
- [19] Wheeler M C, Hendon H H, Sam Cleland, et al. Impacts of the Madden-Julian Oscillation on Australian Rainfall and circulation[J]. *J Climate*, 2009, 22(6): 1482-1498.
- [20] Jeong J H, Kim B M, Ho C H, et al. Systematic variation in wintertime precipitation in East Asia by MJO-induced extratropical vertical motion[J]. *J Climate*, 2008, 21(4): 788-801.
- [21] Zhang L N, Wang B Z, Zeng C Q. Impacts of the Madden-Julian Oscillation on Summer Rainfall in Southeast China[J]. *J Climate*, 2009, 22(2): 201-216.
- [22] 何金海, Murakami T, Nakazawa T. 1979 年夏季亚洲季风区域 40—50 天周期振荡的环流及水汽输送场变化[J]. *南京气象学院学报*, 1984, 2(2): 163-175.
- [23] 陆尔, 丁一汇. 1991 年江淮特大暴雨与东亚大气低频振荡[J]. *气象学报*, 1996, 54(6): 730-736.
- [24] 何金海, 智协飞, Nakazawa T. 中国东部地区降水季内变化的季节锁相[J]. *热带气象学报*, 1995, 11(4): 370-374.
- [25] 黄静, 朱乾根. 与长江流域旱涝相联系的全球低频环流场[J]. *热带气象学报*, 1997, 13(2): 146-157.
- [26] Chen L X, Zhu C W, Wang W. Analysis of the characteristics of 30-60 day low-frequency oscillation near Asia during 1998 SCSMEX[J]. *Adv Atmos Sci*, 2001, 18(4): 623-638.
- [27] 张秀丽, 郭品文, 何金海. 1991 年夏季长江中下游降水和风场的低频振荡特征分析[J]. *南京气象学院学报*, 2002, 25(3): 388-394.
- [28] 张庆云. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件[J]. *大气科学*, 2003, 27(6): 1018-1030.
- [29] Yang H, Li C Y. The relation between atmospheric intraseasonal oscillation and summer severe flood and drought in the Changjiang-Huaihe Basin[J]. *Adv Atmos Sci*, 2003, 20(4): 540-553.
- [30] 踞建华, 赵尔旭. 东亚夏季风区的低频振荡对长江中下游旱涝的影响[J]. *热带气象学报*, 2005, 21(2): 163-171.
- [31] 信飞, 肖子牛, 李泽椿. 1997 年华南汛期降水异常与大气低频振荡的关系[J]. *气象*, 2007, 33(12): 23-30.
- [32] 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.
- [33] 王遵娅, 丁一汇. 夏季长江中下游旱涝年季节内振荡气候特征[J]. *应用气象学报*, 2008, 19(6): 710-715.

- [34] 夏芸,管兆勇,王黎娟. 2003年江淮流域强降水过程与30~70 d天低频振荡的联系[J]. 南京气象学院学报,2008,31(1):33-41.
- [35] Wheeler M C, Hendon H H. An all-season real-time multivariate MJO Index: Development of an index for monitoring and prediction[J]. Mon Wea Rev, 2004, 132, 1917-1932.
- [36] Jia X L, Chen L J, Ren F M, et al. Impacts of the MJO on winter rainfall and circulation in China[J]. Adv Atmos Sci, 2011, 28(3):521-533.
- [37] 贾小龙,梁潇云. 热带MJO对2009年11月我国东部大范围雨雪天气的可能影响[J]. 热带气象学报,待刊.
- [38] 孙国武,信飞,陈伯民,等. 低频天气图预报方法[J]. 高原气象,2008(s):64-68.
- [39] 孙国武,信飞,孔春燕,等. 大气低频振荡与延伸期预报[J]. 高原气象,2010,29(5):1142-1147.
- [40] Duane W, Weickmann K, Dole R, et al. Bull Amer Meteor Soc, 2006, 87, (4):425-431.
- [41] 朱红蕊,江志红,张勤,等. 基于SSA-AR方法的MJO指数预报模型试验[J]. 热带气象学报,2010,26(3):371-378.
- [42] 丁一汇,梁萍. 基于MJO的延伸预报. 基于MJO的延伸预报[J]. 气象,2010,36(7):111-122.
- [43] http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/people/wd52qz/mjointindex/MJO_INDEX.html.
- [44] <http://www.bom.gov.au/bmrc/clfor/cfstaff/matw/maproom/RMM/>.
- [45] Jones C, Carvalho L, Higgins W, et al. A statistical forecast model of tropical intraseasonal convective anomalies[J]. J Climate, 2004, 17:2078-2095.
- [46] Seo K, Wang W, Gottschalck J, et al. Evaluation of MJO forecast skill from several statistical and dynamical forecast models[J]. J Climate, 2008, 22(9):2372-2388.
- [47] van den Dool H M. Searching for analogues, how long must we wait? [J]. Tellus, 1994, 46A, 314-324.
- [48] van den Dool H M, Barnston A G. Forecasts of global sea surface temperature out to a year using the constructed analogue method[C]. Proceedings of the 19th Annual Climate Diagnostics Workshop, 1995, November 14-18, 1994, College Park, Maryland, 416-419.
- [49] van den Dool H, Huang J, Fan Y. Performance and Analysis of the Constructed Analogue Method Applied to US Soil Moisture over 1981 - 2001 [J]. J Geophys Res, 2003, 108 (D16), 8617. doi:10.1029/2002JD003114, 2003.
- [50] van den Dool H. Empirical Methods in Short-Term Climate Prediction[M]. New York: Oxford University Press, 2007: 240.
- [51] Maharaj E A, Wheeler M C. Forecasting an index of the Madden-Oscillation. International Journal of Climatology, 2005, 25 (12):1611-1618.