

IAP9L AGCM 中大气季节内 振荡的时空特征*

屈述军 张 铭

(解放军理工大学气象学院, 南京 211101)

摘 要 根据 IAP9L AGCM 10 年积分 850 hPa 纬向风的逐日输出结果, 应用 Morlet 小波分析方法, 研究了该模式中的大气季节内振荡 (MJO), 结果表明该模式能抓住热带 MJO 的基本时空特征, 模式中 MJO 的显著周期为 36 天; 另外还分析了 16~64 天重构信号的时间经度剖面图, 发现该 MJO 为东传, 这与实际较一致; 最后用 EOF 方法分析了模式大气中 850 hPa 5 天平均速度势, 揭示出该 MJO 在全球表现为行星尺度 1 波和 2 波的特征。

关键词: 大气环流模式; 大气季节内振荡; 时空特征

文章编号 1006-9585 (2004) 04-0567-08 **中图分类号** P434 **文献标识码** A

1 引言

热带低纬地区大气季节内振荡 (Madden and Julian Oscillation, 以下简称 MJO) 被发现后^[1], 受到广大气象工作者的日益关注。MJO 是热带大气活动在 7~90 天时间尺度上的最强振荡信号^[2]; 与 MJO 相关的对流异常和大尺度环流的相互作用是调整亚澳季风系统活跃与间断的重要因子^[3,4], 其对热带外地区有一定影响^[5,6]; MJO 活动对南海夏季风的爆发也有重要影响^[7]。总之 MJO 同长期天气变化和短期气候异常密切相关, 其作为大气科学的前沿课题而备受重视^[8]。

20 世纪 90 年代以前对 MJO 的研究主要侧重于对观测资料的分析, 目前随着大气环流模式 (以下简称 AGCM) 发展的日益成熟, 对模式输出中 MJO 的诊断研究也随之展开^[9]。当前的一个热门研究课题是, MJO 的一系列特征能否在数值模式中再现, 若其能再现, 则可了解模式大气中 MJO 的物理机制, 从而可探讨和研究实际大气中相应的机制。

目前, 国际上对 AGCM 中 MJO 的研究工作开展不少, 如大气环流模式比较计划 (AMIP)^[9]等; 国内, 薛峰等^[10]、李薇等^[11]用数值模式对 MJO 作了研究, 得到了一些有意义的结论。在前人工作基础上, 本文对中国科学院大气物理研究所研制的大气环流模式 IAP9L AGCM 的 10 年模式积分结果作了诊断分析, 研究了该模式中的 MJO。

2003-03-10 收到, 2003-09-16 收到再改稿

* 国家自然科学基金资助项目 40233027 资助

2 数值模式和资料

如上所述,本文所用的 AGCM 是中国科学院大气物理研究所曾庆存院士主持研制的 9 层大气环流模式(以下简称 IAP9L AGCM),该模式是一个包含物理过程比较完善的原始方程格点模式^[12]。模式积分过程中不引入实际外源强迫项(如海温等),而采用多年的气候逐月平均海温作为外强迫场,实际操作中使用时间线性插值来得到逐日的海温强迫场。因该模式海温强迫场无年际变化,故模式输出结果可认为是“干净”的。

MJO 的特征在某些物理量场上有很好表现,如速度势、扰动流函数、地面向外长波辐射(OLR)和纬向风场等,而纬向风计算具有比较简便的特点,为此本文主要用对流层低层 850 hPa 纬向风来诊断 MJO 的时间和空间特征。

本文分析所用资料是该 AGCM 10 年积分 850 hPa 的逐日输出结果,由于 MJO 对基本气候态的变化敏感,对气候平均场的准确描写,是成功再现 MJO 的必要前提,下面首先将模式输出 10 年平均的 850 hPa 纬向风气候场和 40 年 NCEP 再分析资料(1958~1997 年)作对比。

3 850 hPa 气候背景场

对照 40 年 NCEP 再分析资料,检验模式输出的 850 hPa 纬向风的季节循环。这里以 6、7、8 月 3 个月的平均纬向风场来代表夏季场;以 12、1、2 月 3 个月的平均纬向风场来代表冬季场。图 1 给出了模式积分 10 年的输出结果和 40 年 NCEP 再分析资料结果。从图 1 清楚可见:

(1) 无论是夏季抑或冬季,模式输出的 850 hPa 的纬向风场与相应的 NCEP 再分析资料相当一致。这表明该模式能很好的再现对流层低层大气纬向风的季节循环。

(2) 模式输出的风场强度比实际观测值要偏小。无论冬、夏模式输出的纬向东风最大值在 6 m s^{-1} 左右,而 NCEP 再分析资料的则超过 8 m s^{-1} ,但风场中的最大风速中心则对应得较好。

以上事实表明 IAP9L AGCM 能较好地再现大气低层(850 hPa)纬向风场的空间结构和季节循环,这使得用低层纬向风场研究该模式中的 MJO 成为可能。

4 MJO 的时空分析

4.1 时频特征

小波分析是分析非平稳信号的强有力工具^[13]。本文采用 Morlet 小波分析法对模式大气 850 hPa 全球热带地区($14^{\circ}\text{S}\sim 14^{\circ}\text{N}$)的纬向风时间序列作时频特征分析。由于信号的时间序列长(共有 10 年),并且该信号包含各个频率带的波动(如 1 年周期和半年周期的谐波,其分别对应纬向风场的年循环和半年循环),故须先滤掉季节周期以上的谐波,只保留季节内振荡的信号。

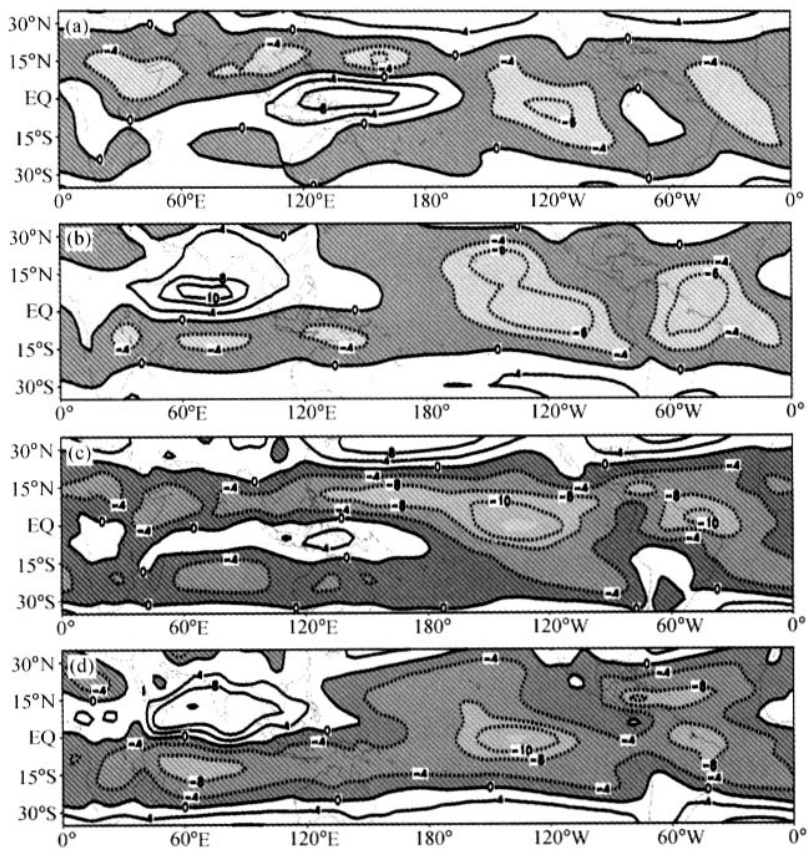


图 1 模式和 NCEP 资料冬季和夏季 850 hPa 纬向风 (单位: m s^{-1})
(a) 冬季模式结果; (b) 夏季模式结果; (c) 冬季 NCEP 资料结果; (d) 夏季 NCEP 资料结果
阴影区为东风, 等值线间隔为 4 m s^{-1}

多分辨率分解如图 2 所示。该图中 s 代表原始信号, a 代表低频部分, d 代表高频部分, 数字 1、2、3 代表分解的层数, 其中原始信号和分解后的信号具有如下关系:

$$s = d_1 + d_2 + d_3 + a_3, \tag{1}$$

对于更高层数的分解只是把低层的 a_3 进一步分解成低频部分的 a_4 和高频部分的 d_4 , 以下的分解依此类推, 这是多分辨率分解的核心思想。

分解后各层高频信号有以下频率关系式:

$$1/2^{j+1} < |f| < 1/2^j, \tag{2}$$

其中 j 表示分解的层数。分解后, 根据需要提取周期在 30~60 天的低频信号, 则在第 5 层根据式 (2) 可得其频率带为 $1/2^{5+1} < |f| < 1/2^5$, 即带通时间为 32~64 天, 此时模式中 MJO 的周期为 32~64 天。

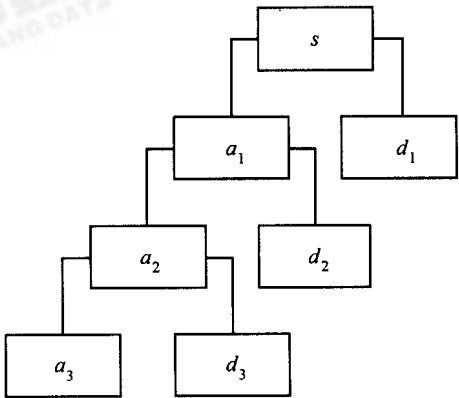


图 2 3 层小波分解结构示意图

下面首先将模式中季节以上周期的分解信号揭示出来。分解后第 8 层高频部分 d_8 有很规则的 1 年周期振动, 第 7 层高频部分 d_7 表现为半年左右周期的振动, 第 6 层的高频部分 d_6 则代表的是季节的周期振动 (图均略)。上述分解结果较好地证实了大气的季节循环特征。

因分解信号在 d_5 层次以下是季节内的振荡信号, 这是有关 MJO 的重要信号, 故下面通过 Morlet 小波对其作进一步的研究。

图 3a 是模式 10 年积分标准差信号的局地功率谱值, 其展现出信号的年际和季节变化的特征, 粗实线包围区域的周期振荡信号是可信的, 通过了 95% 的红噪声信度检验; 图 3b 是小波全谱 (global wavelet spectrum), 为小波局地功率谱在各尺度上的平均, 反应信号在何尺度或周期有最强的功率谱值, 虚线右边的谱值表示周期通过 95% 的红噪声信度检验; 图 3c 是重构的 20~100 天信号方差时间演变曲线, 虚线以上部分表示方差贡献大, 振荡信号强。将图 4 展现的结果和经典 MJO 研究理论相比, 可得以下结论:

(1) 振荡周期: 模式中全球热带地区的低频振荡在 36 天左右有最大的谱峰, 而实际则在 45 天左右, 模式中低频振荡显著周期较实际偏短。

(2) 年际变化: 模式中 32~64 天低频振荡信号年际变化不很显著, 这应与模式中所取的海温强迫无年际变化有关; 而实际 30~60 天的低频振荡信号则有很强的年际变化。

(3) 活动阶段性: 根据 20~100 天重构信号的方差时间演变曲线, 发现模式中 MJO 振荡一般出现在冬春季节, 这与实际 MJO 活动在冬春季较强的事实一致。

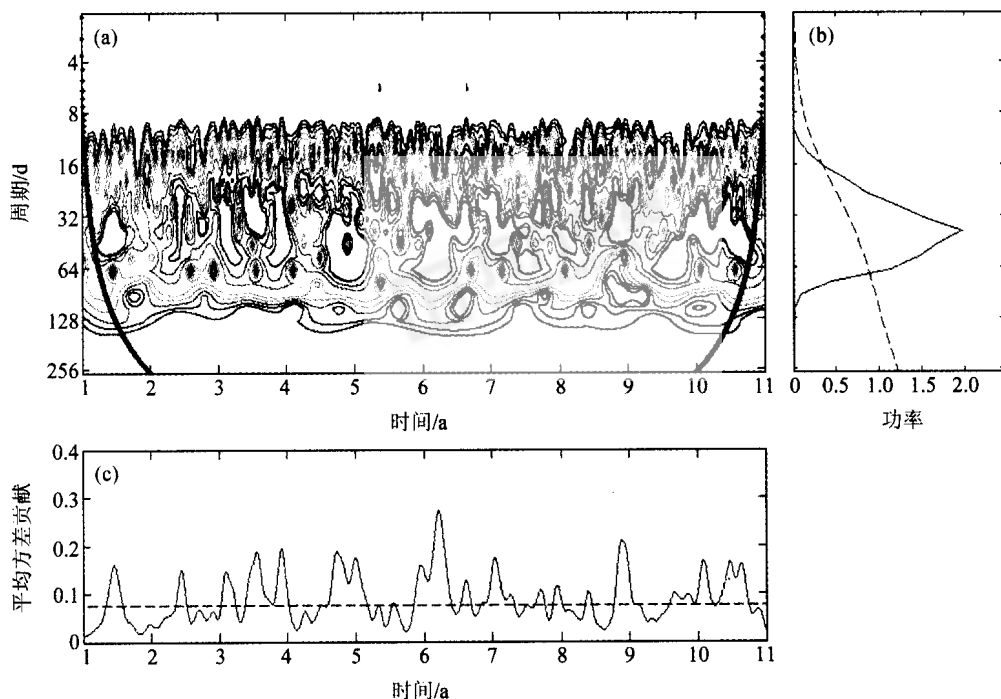


图 3 模式 10 年积分 850 hPa 纬向风的 Morlet 小波分析

(a) 小波局地功率谱; (b) 小波全谱 (纵坐标同 (a)); (c) 20~100 天重构信号平均方差贡献的时间演变

4.2 传播特征

图 4 展示的是模式积分第 4 年和第 5 年输出的经过 16~64 天带通滤波后在 14°S~14°N 范围内平均的 850 hPa 纬向风的时间经度剖面。由该图可见，MJO 的宽频带周期和向东传播特征均展现得较清楚。这两个年份冬季低频振荡的东传均表现得很明显。不同年份 MJO 还表现出不同的季节性差异：其在积分第 5 年冬季较强，表现为东传特征；而在第 4 年则秋冬季较强，且表现为既有东传又有西传。该图中的宽频带周期范围明显小于 45 天的实际典型周期。

MJO 一般在印度洋到印度尼西亚之间有很强的活动，而模式中的最强振荡则分布在 100°E~180°的范围，这表明模式和实际大气 MJO 最强扰动的活动范围有些不太一致，在空间上表现为向东漂移。

下面通过分解模式 10 年积分后 850 hPa 的 5 天平均速度势（在分解前首先除掉了速度势的气候变化，只保留了季节内的扰动）来研究模式中 MJO 的空间结构。分解方法采用经验正交函数分解（以下简称 EOF），并且将分析范围取在低纬地区（30°S~30°N）。

EOF 分解 4 个主要特征向量的解释方差如表 1 所示，表中前 4 个主要特征向量的解释方差贡献达到 71%左右，其中 EOF1、EOF2 的方差贡献达到了 54.86%，占整个解释方差的一半以上。

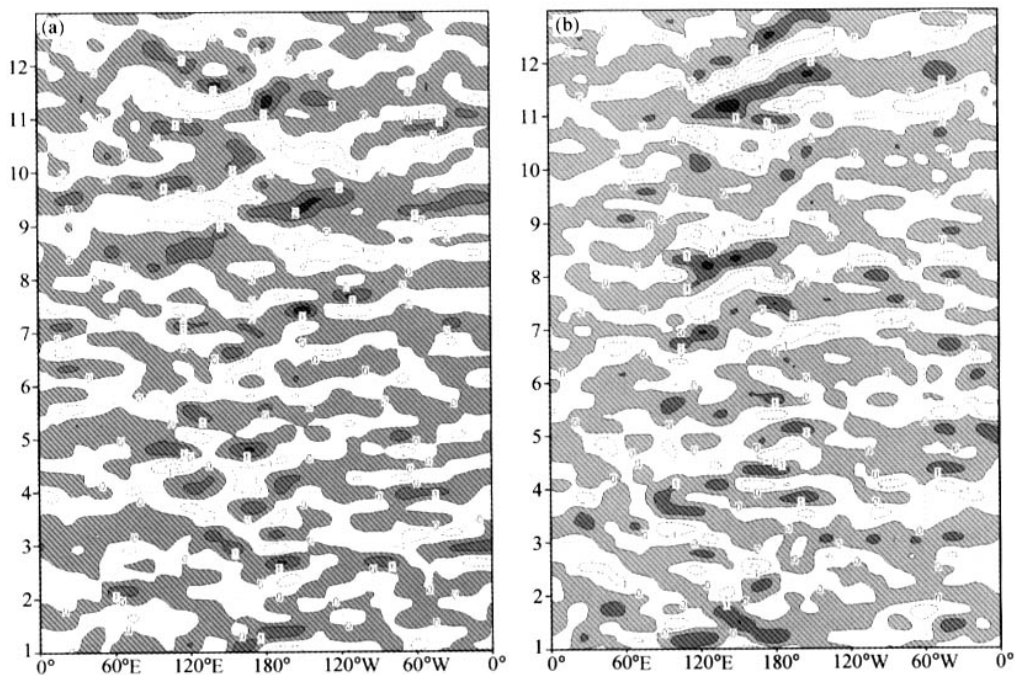


图 4 16~64 天带通滤波 14°S~14°N 范围内平均的 850 hPa 纬向风的时间经度剖面（单位： m s^{-1} ）

(a) 模式积分第 4 年；(b) 模式积分第 5 年

图中阴影区表示的是西风，颜色越深表示风速越大，纵坐标单位：月

表 1 前 4 个主要特征向量的解释方差

	EOF1	EOF2	EOF3	EOF4
解释方差/%	35.88	18.98	12.04	4.54

图 5 给出了 850 hPa 速度势 EOF 分解的 4 个特征向量场的空间结构。由图中可见，EOF1、EOF2 代表的是行星尺度为 1 波的扰动，其最大振幅在赤道附近，并大体关于赤道对称，EOF1 和 EOF2 之间的位相差为 1/4 波长；EOF3 和 EOF4 则是行星尺度为 2 波的扰动，其关于赤道非对称，且在纬向的相差也为 1/4 波长。对高层 200 hPa 速度势作同样的分解，其图形也与图 5 相似（图略），只是高低层的正负中心反相，即对流层低层的辐合对应于对流层高层的辐散。因而上述东传的 1 波和 2 波是贯穿整个对流层的行星尺度波动。以上分析结果与 Lau 等^[14]分析的 GFDL 大气环流模式中 MJO 的结构大体相同。

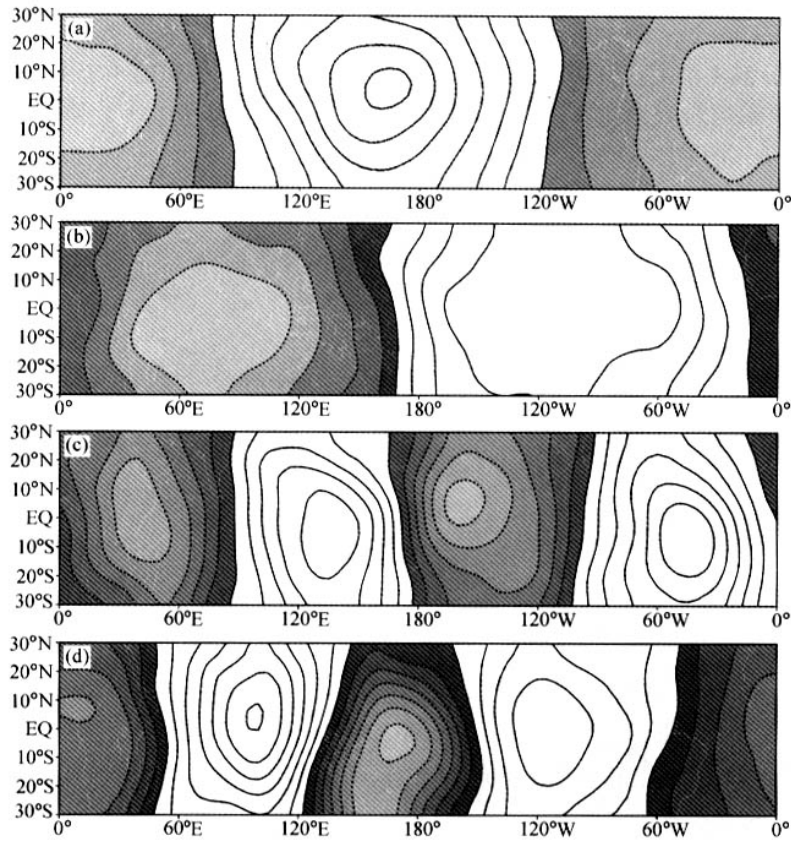


图 5 850 hPa 速度势 EOF 分解的 4 个特征向量场空间结构

(a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3; (d) EOF4

阴影区表示小于零，颜色越浅数值越小

5 结语

本文通过分析 IAP9L AGCM 中 850 hPa 纬向风的资料, 讨论了热带低纬地区 30~60 天低频振荡的时间和空间特征, 可得以下主要结论:

(1) IAP9L AGCM 的 10 年模式积分较好地再现了大气对流层低层纬向风的季节循环。

(2) IAP9L AGCM 能抓住热带地区 30~60 天的低频振荡现象, 但模式中 MJO 的主要周期与实际相比偏短。模式中 MJO 的年际变化不很明显, 这与其海温外强迫取气候态而无年际变化有关。

(3) 用 EOF 分析了该模式积分的 850 hPa 速度势, 发现 EOF1 和 EOF2 反映了行星尺度纬向 1 波的特征, EOF3 和 EOF4 则反映了 2 波的特征。

以上结论表明, IAP9L AGCM 能够反映热带低纬地区 MJO 的基本特征, 但其时空特征与实际情况仍有一些差别, 原因是与该模式中外强迫海温场无年际变化有关, 可能也与模式的离散化和模式中物理过程的计算方案有关。本文仅对模式输出资料作了 MJO 的诊断分析与实际资料作了对比, 尚未对 MJO 的物理本质作深入揭示, 在这方面还有很多研究工作要做, 这也是今后我们努力的方向。

致谢 本工作得到了中国科学院大气物理研究所李薇副研究员和张学洪研究员的帮助, 在此表示衷心感谢!

参 考 文 献

- 1 Madden, R. A., and P. R. Julian, Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific, *J. Atmos. Sci.*, 1971, **28**, 702~708.
- 2 Slingo, J. M., D. P. Rowell, K. R. Sperber, and F. Nortley, On the predictability of the interannual behavior of the Madden-Julian oscillation and its relationship with El Niño, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 1999, **125**, 583~609.
- 3 Yasunari, T., Cloudiness fluctuations associated with the Northern Hemisphere summer monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1979, **57**, 227~242.
- 4 Lorenc, A. C., The evolution of planetary-scale 200-mb divergent flow during the FGGE year, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1984, **110**, 427~441.
- 5 Lau, K. M., and T. J. Phillips, Coherent fluctuations of extratropical geopotential height and tropical convection in intraseasonal timescales, *J. Atmos. Sci.*, 1986, **43**, 1164~1181.
- 6 Ferranti, L., T. N. Palmer, F. Molteni, and K. Klinker, Tropical-extratropical interaction associated with the 30-60-day oscillation and its impact on medium and extended range prediction, *J. Atmos. Sci.*, 1990, **47**, 2177~2199.
- 7 Lau, K. M., and P. H. Chan, Interannual and intraseasonal variations of tropical convection; a possible link between the 40-day mode and ENSO, *J. Atmos. Sci.*, 1988, **45**, 506~521.
- 8 Chen Xingyue, Wang Huijun, Xue Feng, and Zeng Qingcun, Intraseasonal oscillation: the global coincidence and its relationship with ENSO cycle, *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, **18** (3) 445~453.
- 9 Slingo, J. M., and Coauthors, Intraseasonal oscillation in 15 atmospheric general circulation models: Results

- from an AMIP diagnostic subproject, *Climate Dyn.*, 1996, **12**, 325~357.
- 10 薛峰、曾庆存, 年际气候变率的数值模拟, 大气科学, 1996, **20** (5), 524~673.
 - 11 李薇、俞勇强, 大气季节内振荡的耦合模式数值模拟, 大气科学, 2001, **25** (1), 119~132.
 - 12 毕训强, IAP 九层大气环流模式及气候数值模拟, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 1993.
 - 13 胡昌华、张军波、夏军等, 基于 MATLAB 的系统分析与设计—小波分析, 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
 - 14 Lau, K. M., and T. J. Phillips, Coherent fluctuations of intraseasonal oscillation appearing in GFDL general circulation model, *J. Atmos. Sci.*, 1988, **43**, 1164~1181.

The Temporal and Spatial Characteristics of Madden and Julian Oscillation (MJO) in IAP9L AGCM

Qu Shujun, and Zhang Ming

(Meteorological College, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

Abstract With the day-to-day data of 850 hPa zonal wind using IAP9L AGCM of the integration period of 10 years, by applying the method of Morlet wavelet analysis, we have investigated temporal and spatial features of Madden and Julian Oscillation (MJO). It is shown that the model can describe the basic MJO feature of tropical lower-troposphere, the good correlation coefficient of cycle and propagation direction between the model output, In the latter, using the 850 hPa velocity potential of the EOF analysis model, we have found that MJO have the character of one wave and two waves in planetary scale of global area.

Key words: general circulation model; Madden and Julian oscillation; temporal and spatial characteristics