

# 热带大气季节内振荡的一个数值 模拟研究\*

贾小龙

(中国科学院大气物理研究所, LASG, 北京, 100029; 中国科学院研究生院, 北京, 100039)

李崇银

周宁芳

(中国科学院大气物理研究所, LASG, 北京, 100029) (南京大学大气科学系, 南京, 210093)

## 摘 要

文中分析了中国科学院大气物理研究所全球气候谱模式 ALGCM(R42L9) 12 a(1978~1989 年) 积分的逐日输出结果, 并与 1978~1989 年的逐日 NCEP 资料对照, 以此对热带季节内振荡(30~60 d 振荡) 进行数值模拟研究。分析表明, 该模式在热带地区可以模拟出明显的季节内振荡(ISO) 的准周期信号, 并抓住了热带 ISO 的基本传播特征, 能较好地再现东、西半球传播速度的差异, 同时模式模拟存在东传要好于西传, 冬、春季的模拟要好于夏、秋季的现象。该模式模拟的热带 ISO 的强度较许多大气模式明显提高, 尤其是对 200 hPa 上 ISO 动能强度的模拟。模式基本模拟出了 ISO 低层辐合、高层辐散的水平风场特征。模式较好地再现了热带 ISO 纬向风的垂直结构。此外, 观测资料表明热带 ISO 在冬、春强, 而夏、秋弱的季节性倾向与 ISO 的年际变化相联系, 模拟的 ISO 在季节性倾向偏差上表现为冬、夏相对强, 而春、秋相对弱。垂直速度、散度、水汽等物理量的配置同 NCEP 资料的结构特征仍有明显差异, 模拟的 ISO 空间分布也不太理想, 表明要很好模拟 ISO 结构和空间分布特征, 还须做不少工作。

关键词: 热带, 大气季节内振荡(ISO), 数值模拟。

## 1 引 言

大气季节内振荡(Intraseasonal Oscillation, 简称 ISO) 是大尺度热带大气活动最显著的振荡信号之一, 也被视为是一种重要的气候系统。自 ISO 被观测研究发现以来<sup>[1,2]</sup>, 国际上众多科学家对其进行了广泛的研究, 对 ISO 的结构特征和基本活动规律有了比较清楚的认识<sup>[3~7, ①]</sup>。ISO 具有纬向 1 波为主的行星尺度空间结构, 在热带主要以向东传播为主, 但也存在西传情况; ISO 表现为 30~90 d 的宽频带振荡周期, 在 50~60 d 有强谱峰<sup>[8]</sup>; 在垂直结构上表现为对流层上、下反相的“斜压”结构。随着大气 ISO 事实及其活动规律的揭露, 关于大气 ISO 动力学机制的研究也开展起来, 李崇银<sup>[9]</sup> 首先将积

云对流加热反馈引入热带大气 ISO 的动力学研究中, 指出 CISK 机制是激发产生热带大气 ISO 的重要机制, 后来又进一步指出 CISK-Rossby 波的重要作用, 从而完善了热带大气 ISO 的 CISK 波理论<sup>[10~12]</sup>。关于蒸发-风反馈机制<sup>[13,14]</sup>, 动力学研究表明仅有蒸发-风反馈作用并不能激发大气 ISO, 但与 CISK 机制相结合可以使激发波不稳定<sup>[15,16]</sup>, 能更全面地解释热带 ISO 的活动。在大气环流模式比较计划(AMIP) 中, 15 个 AGCM 对大气 ISO 的模拟结果表明<sup>[17]</sup>, 虽然大多数模式能够反映大气季节内时间尺度的振荡信号, 再现对流层上层速度势异常的向东传播。但严格来说, 没有一个模式能够抓住观测到的热带 ISO 的主要特征, 目前, 大多数大气模式都低估了 ISO 的强度, 未能再现 ISO 的季节性

\* 初稿时间: 2004 年 8 月 15 日; 修改稿时间: 2004 年 9 月 10 日。

资助课题: 国家自然科学基金(NO. 40233033) 和中国科学院创新项目。

① Li Chongyin. Intraseasonal (30-50day) oscillation in the atmosphere, Summer School on Large-Scale Dynamics of the Atmosphere. Beijing, 5-20 August, 1988, 361~393

倾向,模拟倾向于较短的季节内振荡周期,30 d以内的高频信号比观测有更强的功率谱。

数值天气预报结果清楚地表明,模式对大气 ISO 的描述(预报)如何,对预报效果有重要影响。对 5 个动力延伸预报的分析表明,无论对 3 d 还是十几天的预报,大气 ISO 的预报误差对整个预报起着重要作用<sup>[18]</sup>。这也表明大气 ISO 是一个主要模态,它在热带相当于加上了一个散度场强迫。NCEP 的分析和预报也表明,动力延伸预报的主要误差来自模式得到的热带大气 ISO 比较弱,而且东传过快<sup>[19]</sup>。总之,热带大气 ISO 的模拟和预报十分重要,但目前还未完全解决好这个问题,需进一步研究。

本文利用中国科学院大气物理研究所全球气候系统谱模式(ALGCM(R42L9))的逐日输出结果,系统地分析了研究模式对热带大气 ISO 的模拟能力,增进对该模式的深入了解,为进一步研究和改进对热带 ISO 的数值模拟和预报提供依据。

## 2 模式及资料

本文使用的模式为中国科学院大气物理研究所的全球大气谱模式 ALGCM(R42L9),该模式采用 42 波菱形截断,垂直坐标为  $\sigma$  坐标,垂直方向有 9 层(详细介绍可模式参考手册<sup>②</sup>)。模式积分时间为 1978 年 1 月 1 日~1989 年 12 月 31 日,相应的 12 a 的 NCEP 逐日再分析资料用于对比,分析该模式的模拟结果。

在对比分析中也用到了 Xie/Arkin 的逐候降水资料(1979~1989 年)。

在分析季节内时间尺度的振荡信号时,对逐日资料分别减掉相应的 12 a 的气候平均以得到距平场,然后进行 30~60 d 带通滤波得到滤波后的资料。

## 3 气候背景场的模拟

已有的研究都表明热带 ISO 对基本气候态的变化十分敏感,因而对气候基本态的准确模拟是模式成功再现 ISO 的必要前提。

图 1 是 ALGCM 模拟的 12 a 平均的冬和夏季

200 hPa 纬向风及相应的 NCEP 的再分析资料结果。从 NCEP 资料看,热带对流层上层基本为东风控制,但有明显的季节变化,冬季西半球的中东太平洋和大西洋为西风控制,由冬季到夏季,东风范围扩大到整个热带地区,中心强度加强,尤其在东半球亚洲季风区;模式整体上正确反映了冬、夏季风场的季节特征,主要的差别在于模式模拟的热带东风中心的强度偏强,比 NCEP 资料结果要偏强 10 m/s 左右;而北半球热带外地区西风中心比 NCEP 资料要偏弱 20 m/s 左右。200 hPa 纬向风最值得注意的是冬季在中东太平洋的西风带,Sligo 等<sup>[17]</sup>在对 15 个大气环流模式进行比较时,模拟强的 ISO 模式都会在赤道中东太平洋产生强的西风带;并指出穿过中东太平洋从东风到西风的转换表明了经度方向上垂直风切变变化大,在经度上纬向风强的变化是中西太平洋强加热的结果,而后者是产生合理的季节内振幅的必要条件,当然它们之间的关系并不是一种简单的关系。

另外,李薇等<sup>[20]</sup>用中国科学院大气物理研究所的海气耦合模式(GOALS-CGCM)和单独的大气模式(GOALS-AGCM)进行了大气 ISO 的数值模拟,GOALS-AGCM 采用的是低分辨率的 15 波截断,对 200 hPa 纬向风气候态的模拟无论是耦合模式还是大气模式,其模拟的热带地区东风除强度偏强外,夏季的纬向扩展也不够充分,夏季东风带都没有贯穿整个热带地区。可见,采用提高分辨率的 ALGCM(R42L9)对 200 hPa 纬向风气候态的模拟显然更接近观测情况。

图 2 是 Xie/Arkin 1979~1989 年以及 ALGCM 模拟的 1978~1989 年平均的夏季和冬季降水分布。我们主要关心热带地区,夏季 Xie/Arkin 的几个降水中心主要分布在赤道东印度洋、南中国海、菲律宾、赤道东太平洋、赤道大西洋;热带太平洋沿着 ITCZ 降水呈带状分布,南印度洋东南也有一片带状降水区。ALGCM 模拟结果在南中国海、菲律宾、赤道东太平洋降水中心的位置都不太准确,西太平洋的降水中心位置偏东;模式模拟的降水强度普遍偏弱,但模式在北非的降水比 Xie/Arkin 强。

② 王在志,吴统文等. ALGCM(R42) 气候系统大气模式参考手册. 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室.

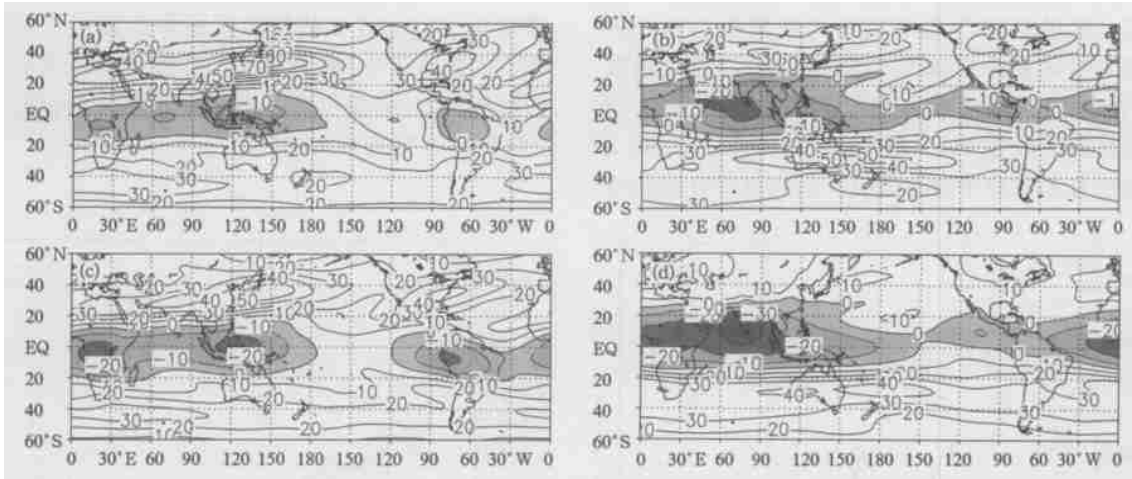


图1 NCEP 资料和 ALGCM 模拟的 1978~ 1989 年 12 a 平均的冬季 (DJF) 和夏季 (JJA) 200 hPa 纬向风 (a. NCEP 资料 冬季, b. NCEP 资料 夏季, c. ALGCM 模拟- 冬季, d. ALGCM 模拟- 夏季; 等值线间隔为 10 m/s, 阴影区为东风带, 单位: m/s)

Fig. 1 12- year mean (1978~ 1989) 200 hPa zonal wind climatology for winter (a, c) and summer (b, d) from NCEP data and ALGCM. (a. NCEP data for winter, b. NCEP data for summer, c. ALGCM for winter, d. ALGCM for summer. The contour interval is 10 m/s. Shading indicates easterlies (unit: m/s)

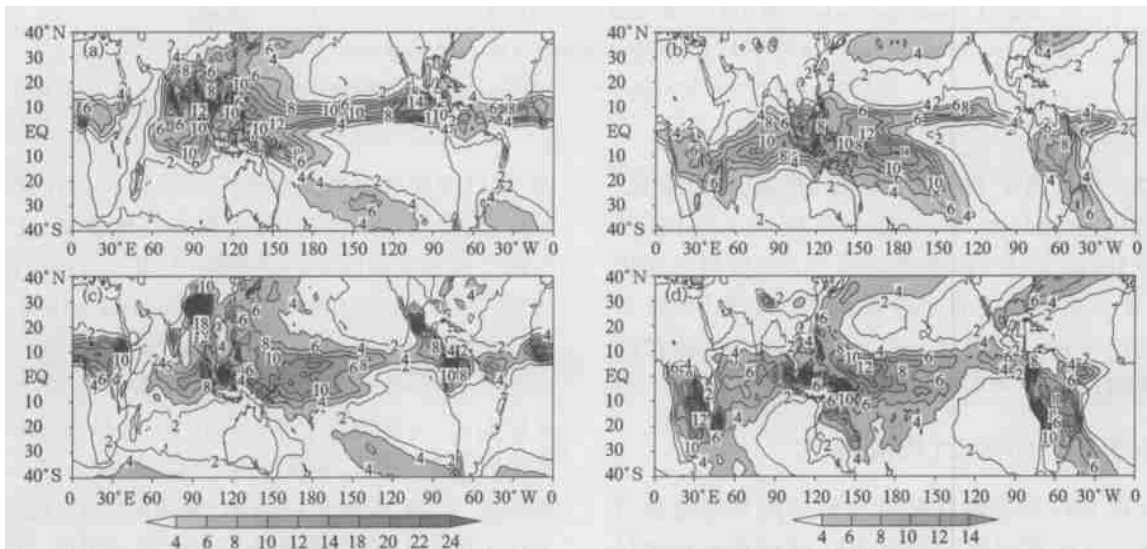


图2 冬季 (b, d) 和夏季 (a, c) 平均的 Xie/ Arkin 降水率和 ALGCM 模拟的降水率 (a. Xie/ Arkin- 夏季, b. Xie/ Arkin- 冬季, c. ALGCM- 夏季, d. ALGCM- 冬季; 等值线间隔为 2 mm/d, 阴影区为大于 4 mm/d, 单位: mm/d)

Fig. 2 Xie/ Arkin's observed and the ALGCM simulated mean precipitation rate for winter (b, d) and summer (a, c) (a. Xie/ Arkin for summer, b. Xie/ Arkin for winter, c. ALGCM for summer, d. ALGCM for winter. The contour interval is 2 mm/day and values in excess of 4 mm/day are shaded. unit: mm/day)

与夏季相比冬季的主要降水区位置偏南, ALGCM 模拟的印度洋的降水比 Xie/ Arkin 的观测要弱, 西太平洋降水中心位置比 Xie/ Arkin 的观测偏西, 偏北; 南太平洋东南部的降水带 ALGCM 的模拟也不好; 非洲和南美洲的降水模拟的太强。

#### 4 热带 ISO 的周期特征

分别对 NCEP 资料和 ALGCM 模拟的热带地区 200 hPa 平均纬向风 (10°S~ 10°N 平均) 的时间序列 (12 a, 4380 个时次) 作功率谱分析, 图 3 是谱分析

的结果。可以看到, NCEP 资料的结果在季节内时间尺度内明显表现为以 50 d 周期为峰值的宽频带振荡, 在 38, 34, 25 d 也有明显的谱峰; ALGCM 模拟的最显著谱峰在 66.6 和 50 d, 另外在 20~40 d 范围内也有多个功率谱的峰值。从功率谱分析的结果来看, ALGCM 在热带地区能够模拟出比较强的季节内振荡信号, 表明该模式对热带 ISO 具有基本的模拟能力, 也表明进一步分析该模式模拟的热带 ISO 的特征是有意义的。

果来看, ALGCM 在热带地区能够模拟出比较强的季节内振荡信号, 表明该模式对热带 ISO 具有基本的模拟能力, 也表明进一步分析该模式模拟的热带 ISO 的特征是有意义的。

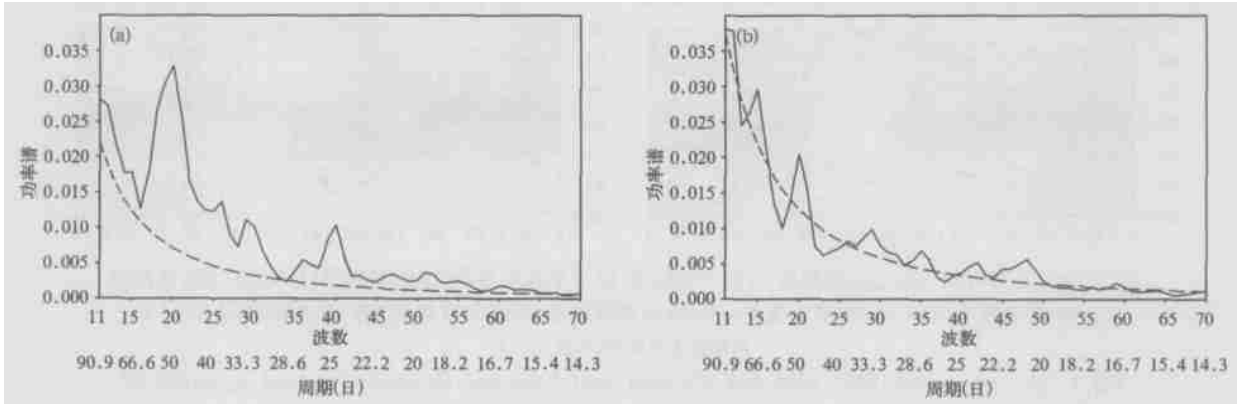


图3 沿  $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$  平均的 200 hPa 纬向风的功率谱

(a. NCEP 资料, b. ALGCM 模拟; 虚线为  $\alpha = 0.05$  的红噪声标准谱)

Fig. 3 Power spectra for 200 hPa zonal wind averaged between  $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ , the dashed line is red noise spectra for  $\alpha = 0.05$ , the horizontal axis is marked with wave number (up) and corresponding period (low) (a) NCEP data, (b) ALGCM simulation

本文以下将从热带 ISO 活动特征、强度、季节变化、结构特征、空间分布 5 个方面来分析 ALGCM 模拟的热带 ISO 的特征, 并用相应的 NCEP 资料分析作比较, 在认识该模式对 ISO 模拟能力的同时, 希望通过对比得到一些有助于提高模式对 ISO 模拟的改进思路。

## 5 热带 ISO 的活动(传播)特征

分析 ISO 基本特征最常用的方法是带通滤波场的时间-经度剖面, 而 200 hPa 速度势和纬向风是表征 ISO 的重要物理量。从 30~60 d 带通滤波的热带地区 ( $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$  平均) 200 hPa 速度势的时间-经度剖面来看(图略), 热带 ISO 一般从赤道印度洋向西中太平洋传播, 传播的速度在不同地区, 不同时间也不尽相同, 在西半球的传播速度要快于东半球, 位相速度的不连续点大致位于日界线附近; 由于速度势反映的西传信号不明显, 基本反映的是东传特征, ALGCM 模拟的结果也基本都为东传, 振幅偏强或者接近于 NCEP 分析。

图4是从 NCEP 再分析资料显示的热带 ( $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ ) 200 hPa 纬向风上 ISO 的时间-经度剖面

图, 可以看到纬向风反映出来的传播特征比速度势要复杂, 传播以东传为主, 也存在西传情况, 几乎每年都会出现不同程度的西传情况, 其中 1978, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988 的西传特征都比较明显。这里仅给出了 1979, 1981, 1982, 1985, 1987, 1988 年的结果(图4)。就季节和区域而言, 西传情况主要出现在夏、秋季的印度洋和中西太平洋, 冬、春季西传情况较少。图5是相应年份 ALGCM 模拟的结果, 整体而言 ISO 的传播方向主要为东传, 同样也有明显的西传情况, 基本反映出了热带 ISO 的主要传播特征; 但同 NCEP 资料结果相比, 其空间结构的一致性较差。例如: 1979 年是典型的东传年, 而 ALGCM 模拟在东半球夏季有明显的西传; 1981 年, 7, 8 月印度洋和西太平洋有明显西传, 而模式结果基本为东传; 1982, 1985, 1986, 1988 年夏秋东半球基本是典型西传, 而模式结果更多的表现为东传; 1987 年夏秋为典型东传, 冬春有明显西传, 模拟结果在印度洋和西太平洋为典型西传, 冬季则基本为东传。

因此就传播特征而言, ALGCM 的模拟既有东传也有西传, 对东传的模拟相对而言要好于对西传

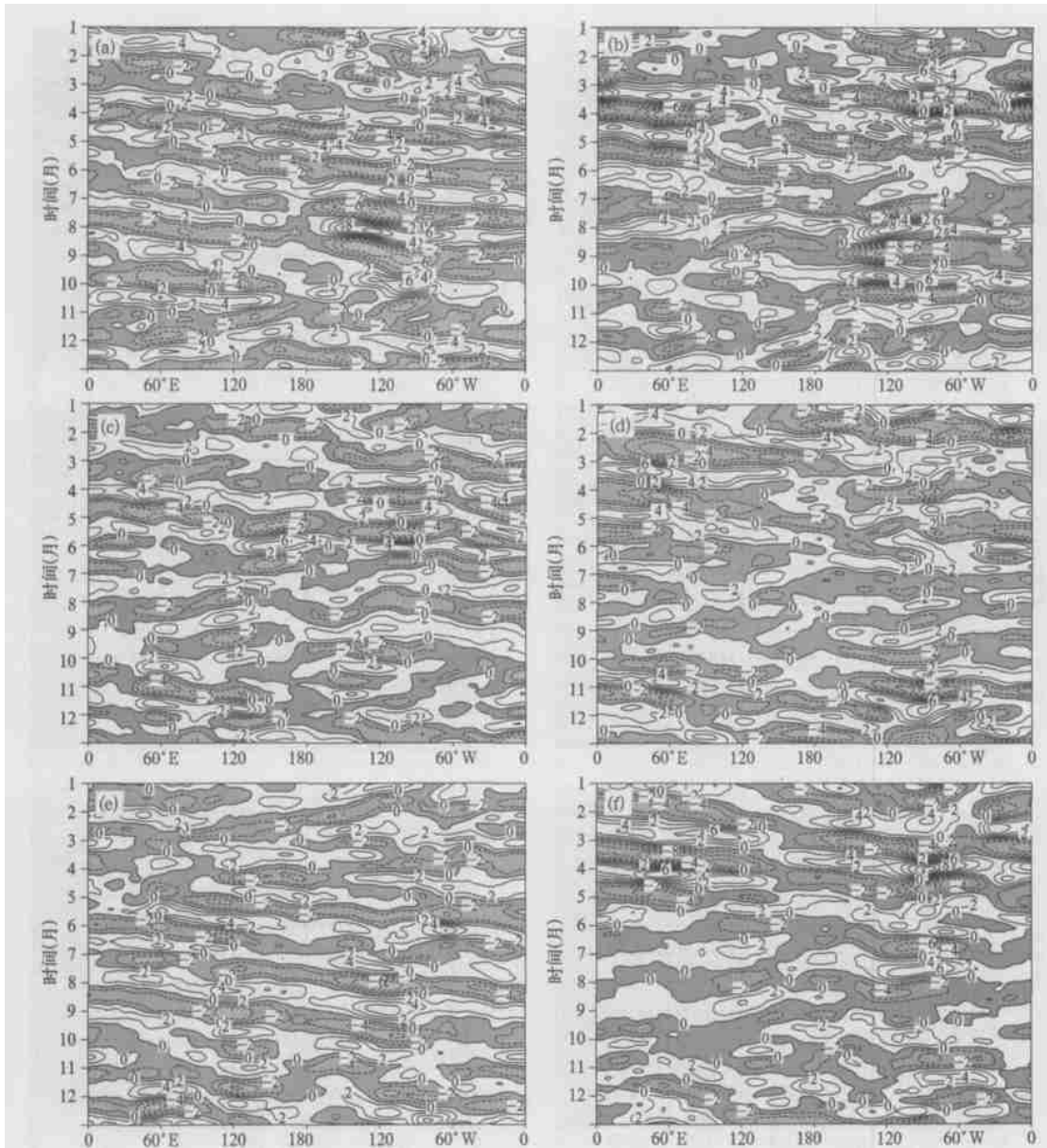


图4 30~60 d带通滤波后  $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$  平均的 NCEP 200 hPa 纬向风的时间-经度剖面(1978~1989年)  
(a. 1979年, b. 1981年, c. 1982年, d. 1985年, e. 1987年, f. 1988年,  
等值线间隔为 2 m/s, 阴影区为小于零, 单位: m/s)

Fig. 4 Time-longitude diagrams of the 30-60 day filtered 200 hPa zonal wind averaged between  $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$  from NCEP data. The contour interval is 2 m/s, and negative (easterlies) values are shaded. (unit: m/s)

的模拟, 由于热带 ISO 主要为东传, 西传也没有特定的规律, 模式较难准确地抓住西传特征; 同时, 模式对冬春的模拟要好于夏秋, 可能是因为西传现象更容易出现于夏秋季节。

## 6 热带 ISO 的强度

目前许多大气模式模拟 ISO 普遍存在的不足之一是模式低估了 ISO 的强度, Slingo<sup>[17]</sup> 曾经用带

通盟波的 200 hPa 纬向风的平均振幅作为定量的衡量季节内振荡活动强度的指标。而利用季内振荡动能来衡量 ISO 强度更是既直观又简便的方法, 可以用经过 30~60 d 带通滤波的风场资料 ( $u$  和  $v$ ) 很容易地计算出来。图 6 分别给出了 NCEP 资料和 ALGCM 模拟的热带地区平均 ( $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ ) 的 200 和 850 hPa 30~60 d 振荡动能的年际变化。可以看出, 热带大气 30~60 d 振荡动能存在明显的年际变化,

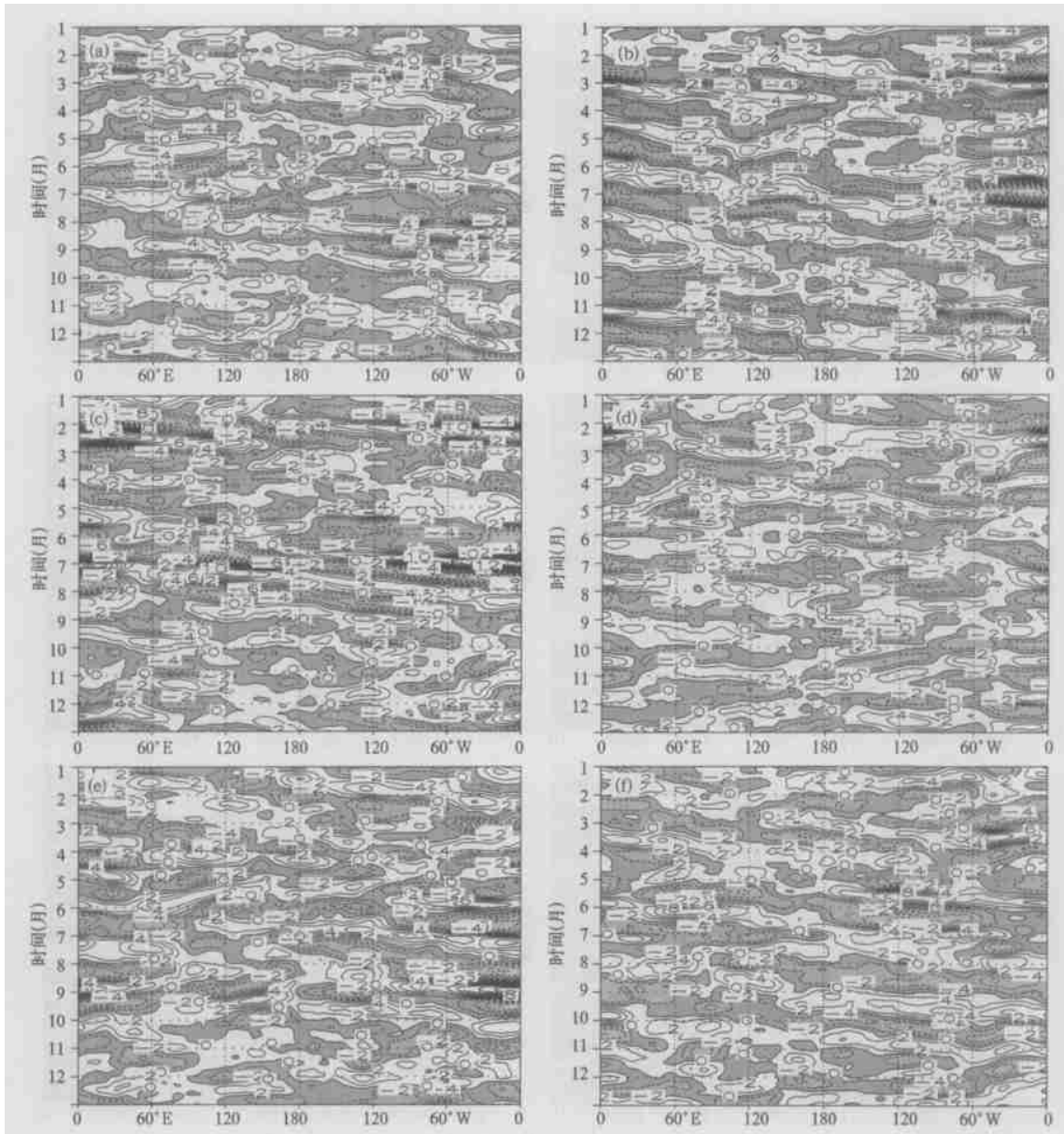


图5 30~60 d带通滤波后 $10^{\circ}\text{S}$ ~ $10^{\circ}\text{N}$ 平均的ALGCM模拟的200 hPa纬向风的时间-经度剖面(1978~1989年)

(等值线间隔为2 m/s, 阴影区为小于零, 单位:m/s, 其他说明同图4)

Fig. 5 Time-longitude diagrams of the 30-60 day filtered 200 hPa zonal wind averaged between  $10^{\circ}\text{S}$ - $10^{\circ}\text{N}$  from ALGCM. The contour interval is 2 m/s, and negative(easterlies) values are shaded. (unit: m/s)

ALGCM模拟的200 hPa纬向平均的动能整体上来说比NCEP的偏强,尤其是1981,1982,1983年更为偏强;850 hPa的30~60 d振荡动能要低于200 hPa,模式模拟的结果与NCEP资料较为接近。当然,这里给出的仅是热带地区平均的结果,在不同的区域模式模拟的结果会有所不同,对200 hPa来说在南亚-印度洋地区模拟的30~60 d振荡动能更为偏强,而在东太平洋则显得弱一些(图略)。但有

一点可以肯定,相对于AMIP比较试验中大气模式普遍低估ISO振幅的情况,ALGCM模拟出了比较强的ISO振幅。

## 7 热带ISO的季节变化特征

关于热带ISO的季节变化以往的观测研究也已经基本确认了冬、春季强而夏、秋季弱的这一特征<sup>[21]</sup>,而大气模式比较计划中,模式未能体现ISO



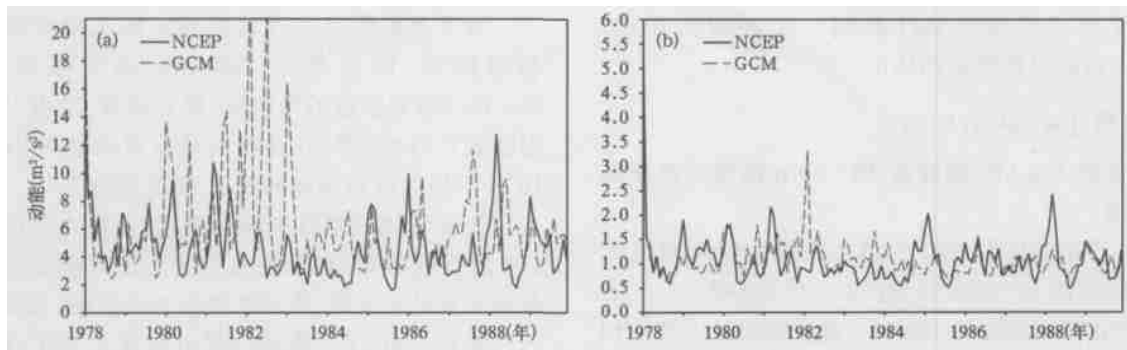


图 6 30~ 60 d 带通滤波的(10° S~ 10° N) 纬度带平均的 200 hPa(a) 和 850 hPa(b) 动能的年际变化

Fig. 6 Time series of kinetic energy calculated from 30- 60 day filtered zonal wind averaged between 10° S~ 10° N at 200 hPa(a) and 850 hPa(b), the solid(dashed) line is NCEP data(ALGCM simulation). (unit:  $m^2/s^2$ )

的这一季节性特点也是许多大气模式普遍存在的一个共同弱点<sup>[17]</sup>。图 7 是 NCEP 资料和 ALGCM 模拟的 30~ 60 d 带通滤波的逐日 200 hPa 纬向风平方在 10° S~ 10° N 纬度带平均的演变情况, 很好地反映了季节倾向的年际差异。从 NCEP 资料的结果看, ISO 整体上表现出冬、春强与夏、秋弱的季节倾向,

尤其是在 ISO 比较强的年份, 这一季节倾向更为明显, 如 1980, 1981, 1985, 1986, 1988, 1989 年, 但振荡较强的 1979, 1981 年夏秋也有较强的 ISO, 其余 ISO 较弱的年份, 振荡的季节性差异不明显, 或者说强的 ISO 易于出现在冬、春季, 这与前面的分析结果也是相一致的。

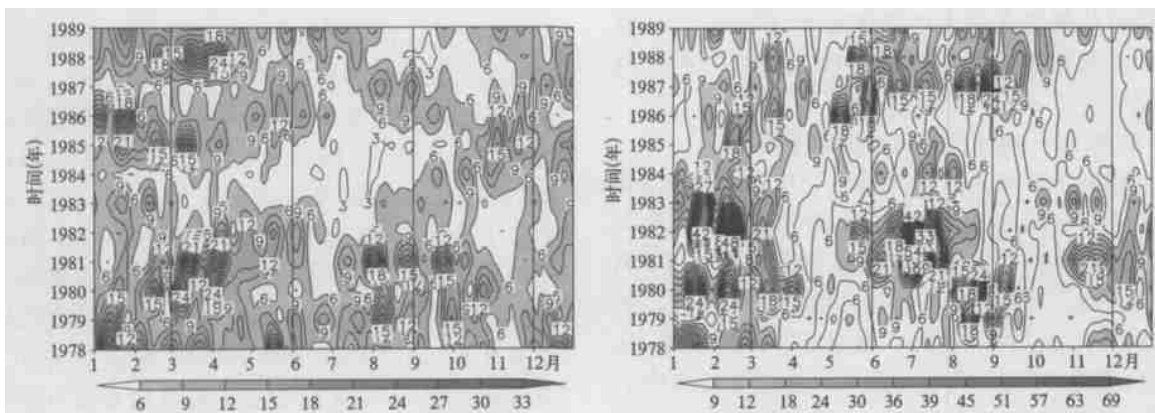


图 7 30~ 60 d 带通滤波的 200 hPa 纬向风的平方在 10° S~ 10° N 纬度带的平均

(a.NCEP 资料, b.ALGCM 模拟; 等值线间隔为  $3 m^2/s^2$ , 图(a) 阴影区为大于  $6 m^2/s^2$ , 图(b) 阴影区为大于  $9 m^2/s^2$ , 单位:  $m^2/s^2$ )

Fig. 7 Square of 30- 60day filtered 200 hPa zonal wind averaged between 10° S- 10° N

The horizontal (vertical) axis is month(year). The contour interval is  $3 m^2/s^2$  and values in excess of  $6 m^2/s^2$  are shaded in(a) and values in excess of  $9 m^2/s^2$  are shaded in(b). (unit:  $m^2/s^2$ ) (a)NCEP data; (b) ALGCM simulation

从 ALGCM 的模拟结果来看, 季节性倾向模拟得不好, 大部分表现为冬和夏季模拟的 ISO 相对最强, 春和秋季模拟的 ISO 相对偏弱。但是, 另外需要注意到, ALGCM 模拟的 ISO 在 200 hPa 上整体比 NCEP 资料结果强(图中 ALGCM 结果阴影区大于  $9 m^2/s^2$ , NCEP 阴影区大于  $6 m^2/s^2$ )。ALGCM

的模拟结果最强达到了  $120 m^2/s^2$ , 这与前面分析的结果认为该模式得到的热带 ISO 偏强或接近 NCEP 资料结果是一致的。另外, 李薇<sup>[20]</sup>用低分辨率的 15 波大气模式没有很好地刻画出 ISO 的季节变化特征; 而用相应的海-气耦合模式则在一定程度上改进了模拟 ISO 季节性倾向的能力, 似乎表明海-气耦

















