

大气季节内振荡的耦合模式数值模拟*

李 薇 俞永强

(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, 北京 100029)

p4 A

摘 要 分析 GOALS/LASG 海气耦合模式 10 年积分 200 hPa 纬向风场的逐日输出结果, 引用 1980~1989 年期间逐日的 NCEP/NCAR 再分析资料作为实测对照, 结果显示该耦合模式抓住了热带大气低频振荡 (IO) 的基本时空分布特征, 模拟 IO 的强度较多数大气模式强而接近真实, 但空间一致性仍不清晰, 典型周期不够显著。NCEP 资料与耦合模式都反映模拟 IO 的季节变化与其年际变化有关, 模拟较强 IO 的年份表现 IO 的季节变化特征也较真实, 模拟 IO 的年际变化与热带东太平洋的 SST 呈明显的负相关变化。SST 暖异常的年份, IO 活动较弱。IO 变化滞后于 SST 异常 60 天左右的相关性最显著。对比单独积分 GOALS/LASG 的大气模式的结果, 发现二者的主要差别在于耦合模式再现 IO 的季节性特征更真实, 反映了海气耦合对 IO 变化的调制作用。利用海气耦合模式, 理解 IO 对流活动与上层海洋的相互作用过程, 是真实描述 IO 必要的手段。

关键词: 大气低频振荡; 海气耦合模式

1 引言

大气季节内振荡 (IO) 是与向东发展的对流活动相联系的大尺度环流异常在 30~60 天时间尺度的体现^[1]。它直接同长期天气变化和短期气候异常密切相关, 是大尺度热带大气活动最显著的振荡信号之一。IO 具有纬向 1~3 波的行星尺度空间结构, 对流活动主要表现为纬向风场在对流层上层的辐散和下层的辐合。季节内对流异常在北半球冬春季最明显, 在热带主要向东传播, 平均相速度在东、西半球分别为 6 m s^{-1} 和 12 m s^{-1} ^[2]。IO 表现 30~90 天的宽频带振荡周期, 在 50~60 天有强谱峰^[3]。

IO 由观测研究被发现后^[4], 日益备受关注, 而其形成和维持机制却仍是一个争议问题。不同的研究先后提出过波动-CISK 理论^[5]、海表蒸发-风反馈机制^[6]等一系列解释, 而均存缺陷 (参阅文献[7])。利用全球大气环流模式 (AGCM) 模拟 IO 的效果不能令人满意。大气模式比较计划 (AMIP) 中 15 个 AGCM 模拟 IO 的结果显示^[8], 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, 体现对流层上层速度势异常场的东向传播, 但严格讲来, 尚无一个模式真正再现了观测发现的季节内时间尺度上 IO 的最显著振荡信号。Slingo 等^[8]的具体分析表明, 大气模式模拟 IO 普遍存在的明显不足包括: 模式低估了 IO 振荡强度; 模式未能体现 IO 的季节性特点; 模式模拟趋向于较短的季节内振荡周期, 而模拟的 30 天以内的高频信号较观测强。

1999-10-08 收到, 1999-11-08 收到修改稿

* 中国科学院“百人计划”新型学科“海气耦合气候系统模式的有效化研究”和“优秀国家重点实验室研究项目” (4982-3002) 共同资助

作为对比, 利用海洋-大气耦合模式模拟 IO 取得了令人鼓舞的结果。Waliser 等^[9]的最新成果表明, 海气耦合模式, 即使设计大气模式仅与简化、平板的混合层海洋模式相互作用, 也使 IO 的模拟效果显著改善。而至今尚未见到利用完全耦合模式进行 IO 诊断分析的报道。

GOALS/LASG 海气耦合模式(以下简称 GOALS-CGCM)是由一个低水平分辨率的海洋环流模式和大气谱模式耦合而成, 其中的海洋模式在垂直方向使用了“Eta”坐标, 分为不等距的 20 层, 以描述复杂的海底地形和海表起伏, 水平方向为 $4^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬网格^[10]。大气模式为 15 波菱形截断, 采用 σ 坐标, 垂直方向有 9 层, 顶层约在 10 hPa^[11]。本文分析的是 GOALS-CGCM 的第 4 版本, 其中海洋模式与大气模式的耦合时间步长为 24 小时。

利用 GOALS-CGCM 10 年积分的逐日输出结果, 引用相同时间序列长度的逐日 NCEP/NCAR 再分析资料^[12,13](以下简称 NCEP 资料)作为实测对比, 本文的主要目的是检验该耦合模式对 IO 的模拟能力。同时对比单独积分 GOALS-CGCM 的大气模式(以下称 GOALS-AGCM)的计算结果, 以揭示海气相互作用过程对 IO 发展变化的影响意义。为节省篇幅, 二者所揭示 IO 的相似特征只展示 GOALS-CGCM 的分析结果, 而单独给出二者差异的比较。另外, 作为初步的分析, 主要侧重于热带区域, 这也便于同 AMIP 等模式研究结果相比较。

2 资料

热带 IO 体现积云对流活动的异常, 故而在对流层上层的积云对流流出层有较明显的反映, Slingo 等^[14]的观测研究指出, 150 hPa 是 IO 活动振幅最大的层次。而与其他许多模式相似, 本文模式之对流参数化方案导致赤道区域最强辐散平均出现于 200 hPa 高度附近(图略), 由于 IO 的全球纬向一波的行星尺度空间结构, 热带纬向平均的纬向风场扰动动能可作为衡量 IO 强度的指数之一^[8], 而且经过比较, 以对流层顶的其他物理量, 例如速度势、扰动流函数等表征 IO, 与利用纬向风表示的 IO 低频变化趋势十分一致, 而纬向风更具有计算方法直接简明的优点^[15]。本文即以 200 hPa 的纬向风场作为表征 IO 活动基本特征的主要物理量, 另外以射出长波辐射(OLR)资料反映 IO 的空间分布, 分析 GOALS-CGCM(耦合积分的第 21~30 模式年)和 GOALS-AGCM 的 10 年积分的逐日输出结果。对应的 1980 年 1 月 1 日~1989 年 12 月 31 日的 NCEP 逐日资料用于比照。

GOALS-CGCM 采用的是日平均海气通量距平耦合方案^[16], 其基本态的海表面温度(SST)是利用气候月平均值线性插值为日平均值。GOALS-AGCM 即以此 SST 场作为强迫。GOALS-CGCM 积分 10 年期间海气耦合作用产生的 SST 异常分布如图 1 所示。在热带西太平洋, 耦合 SST 较气候值降低约 1.2 K, 而在热带东太平洋, 冷舌区域的 SST 有类似幅度的升高, 这表明海气耦合相互作用减小了热带太平洋 SST 的纬向梯度, 下文将讨论这项变化对模拟 IO 强度的影响。而实际上, 耦合 SST 的异常值相对只是小量, GOALS-CGCM 的 SST 基本分布型仍保持与气候强迫场一致, 这是十分重要的。因为 IO 对基本气候态的变化十分敏感, 对后者的准确模拟, 是模式成功再现

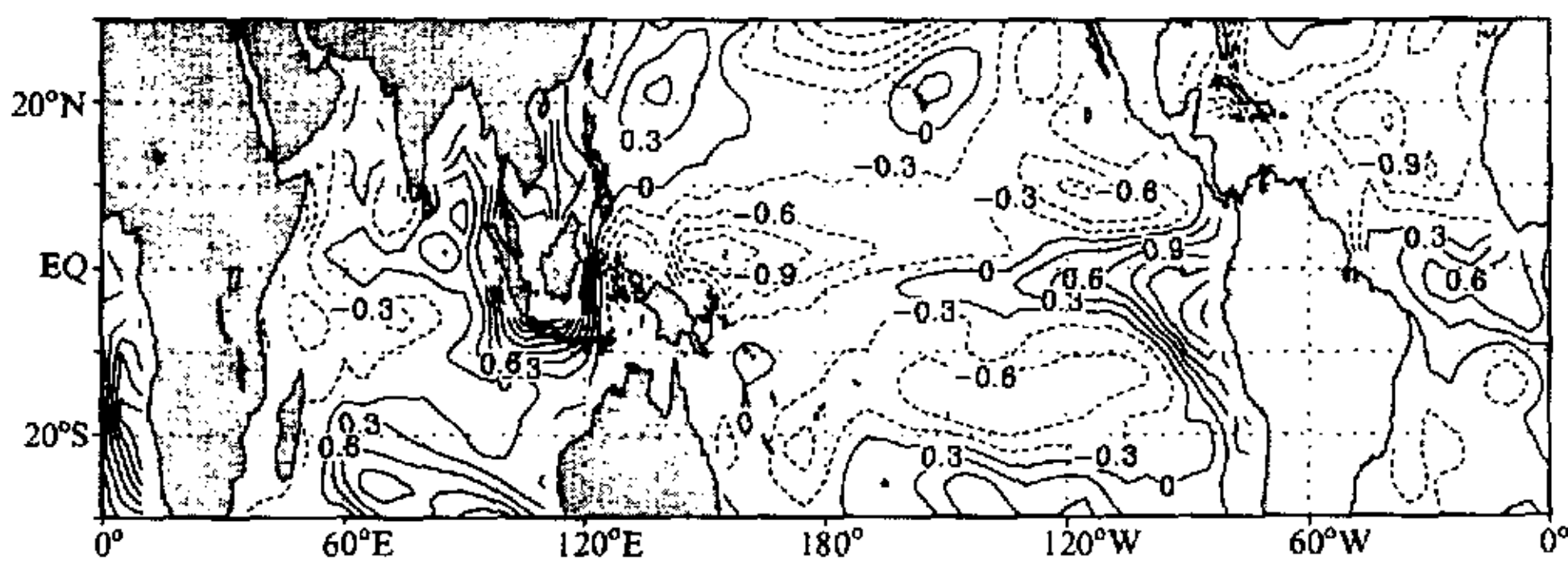


图1 GOALS-CGCM 10年积分平均的 SST 相对于气候值的异常在热带海区的分布

IO 的必要前提^[17]。下面一节将首先考察 GOALS-CGCM 与 GOALS-AGCM 对气候背景场的模拟情况。

3 气候背景场的模拟

下面将对照 NCEP 资料, 检验模式模拟 200 hPa 纬向风的季节循环。

图 2 为 GOALS-CGCM 与 GOALS-AGCM 模拟的 10 年平均之冬季 (12、1、2 月) 和夏季 (6、7、8 月) 200 hPa 纬向风及相应的 NCEP 结果, 从中可以确认二个事实:

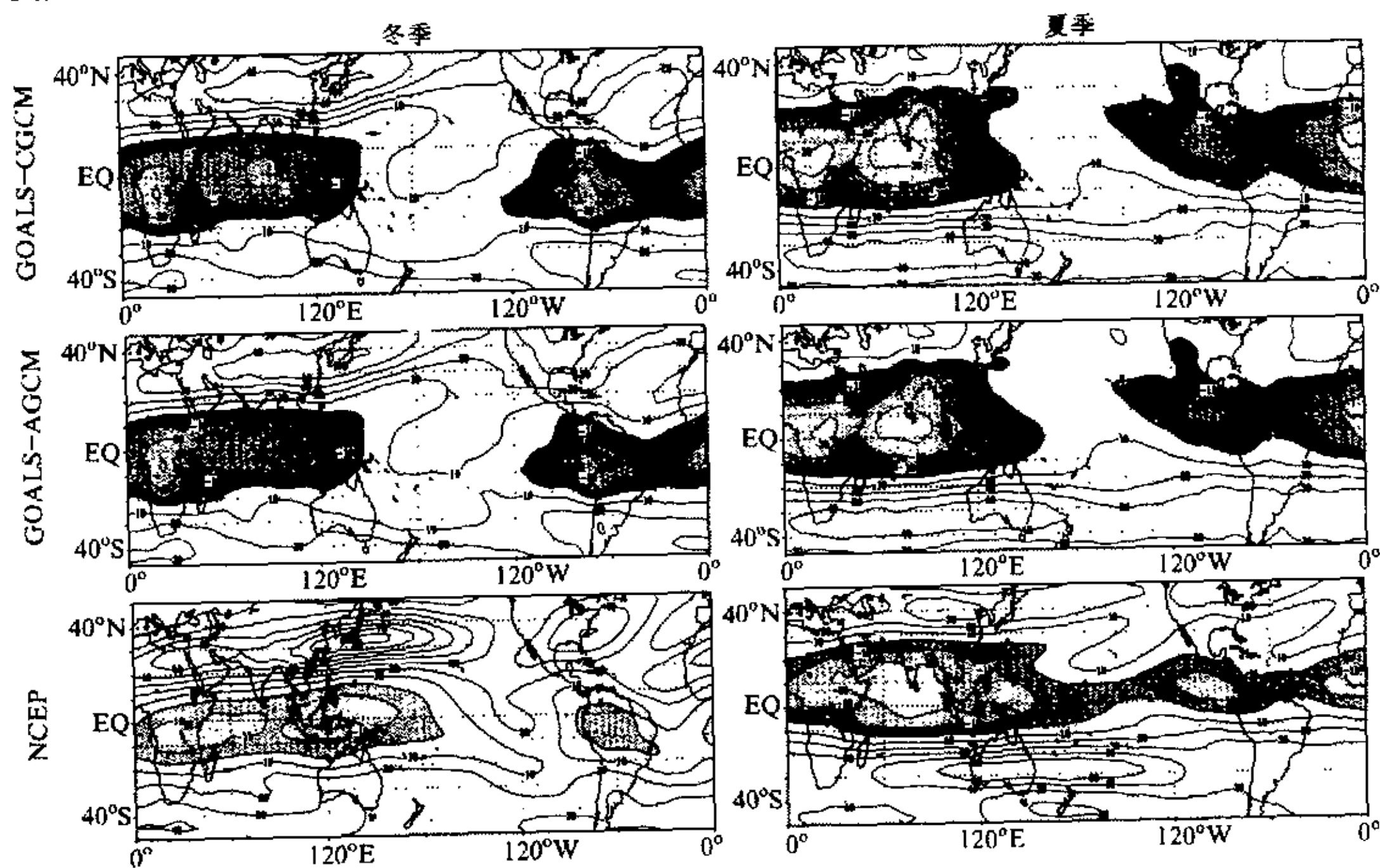


图2 GOALS-CGCM, GOALS-AGCM 计算及 NCEP 资料 10 年平均的冬季 (12、1、2 月)、夏季 (6、7、8 月) 200 hPa 纬向风, 阴影区表示东风

第一, 两个模式得到的风场基本型相当一致。在热带, 对流层上层基本为东风控制。由冬季到夏季, 东风中心强度加强, 范围增大。

第二, 对比 NCEP 资料, 模式总体上正确反映了冬、夏季风场的季节特征。主要差别在于, 模式模拟的冬季赤道印度洋和西太平洋的东风中心偏强, 超过 30 m s^{-1} , 而 NCEP 以及欧洲中期预报中心 (ECMWF) 的分析资料 (见文献[8]之图 3) 都显示这个东风中心的强度约为 10 m s^{-1} , 且其东伸的范围到达日界线附近, 比模式东伸显著。模式在东太平洋和南美大陆的东风中心也偏强, 而在北半球热带外区域的西风中心强度偏弱, 约 50 m s^{-1} , NCEP 与 ECMWF 分析的西风都达到 70 m s^{-1} 以上。模式模拟的夏季风场除与冬季相似的东风中心强度偏强外, 另一主要差别在于 NCEP 及 ECMWF 分析结果都表明东风带贯穿整个热带区域, 而模式东风的纬向扩展显然不够充分。这可能与模式模拟低层加热的强度误差有关。概括地说, 模式模拟热带东风中心强度偏强, 范围偏小, 热带外西风偏弱, 而总体空间分布特征是真实的。

模式对纬向风场空间结构的季节变化特征的正确再现使其对 IO 的真实模拟成为可能, 而 GOALS-CGCM 与 GOALS-AGCM 的气候背景场的时空一致性, 使二者模拟 IO 的能力具有可比性, 也就是说, 二者的气候背景相似, 则模拟 IO 的差异主要归因于海气相互作用的存在与否。

4 功率谱分析

分别对 NCEP 资料、GOALS-CGCM 和 GOALS-AGCM 全球热带地区 ($10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$) 纬向平均的 200 hPa 纬向风异常的时间序列 (10 年, 3650 个时次) 进行功率谱分析, 并进行红噪音检验。功率谱分析的具体方法见文献[18]。Slingo 等^[8]曾利用带通滤波后这个时间序列的方差作为 IO 指数研究其年际变化。

为更加清晰地显示季节内时间尺度的振荡信号, 图 3 的纵坐标取为 $P(T) \times T^{-1}$, 横坐标为 $\ln T$, 其中 T 为周期, P 为功率谱值^[3]。图中实线为功率谱值, 虚线为 95% 信度水平的 χ^2 检验曲线。可以发现, NCEP 资料反映的 30~90 天周期振荡在 95% 信度水平是显著的, 明显表现为以 50 天周期为峰值的宽频带振荡, 而 GOALS-CGCM 和 GOALS-AGCM 则体现在季节内时间尺度有多个振荡谱峰, 分别以 55 天和 38 天, 及 45~40 天和 36~29 天为显著周期。

这个结果给出一个简明而重要的信息, 即肯定了 GOALS-CGCM 和 GOALS-AGCM 在热带地区都模拟出明显的季节内振荡信号。下面将具体分析 GOALS-CGCM 反映的 IO 的空间分布、季节变化和年际变化等特征, 并对比分析与 GOALS-AGCM 结果的主要区别。

需要补充的是, 不论 NCEP 资料, 还是模式结果, 1000 hPa 的纬向风场均没有 IO 信号, 而高频 (准双周) 振荡信号明显 (图略)。

5 IO 的基本特征分析

确认 IO 的基本诊断方法是利用纬向风场的时间-经度剖面图。为集中分析季节内

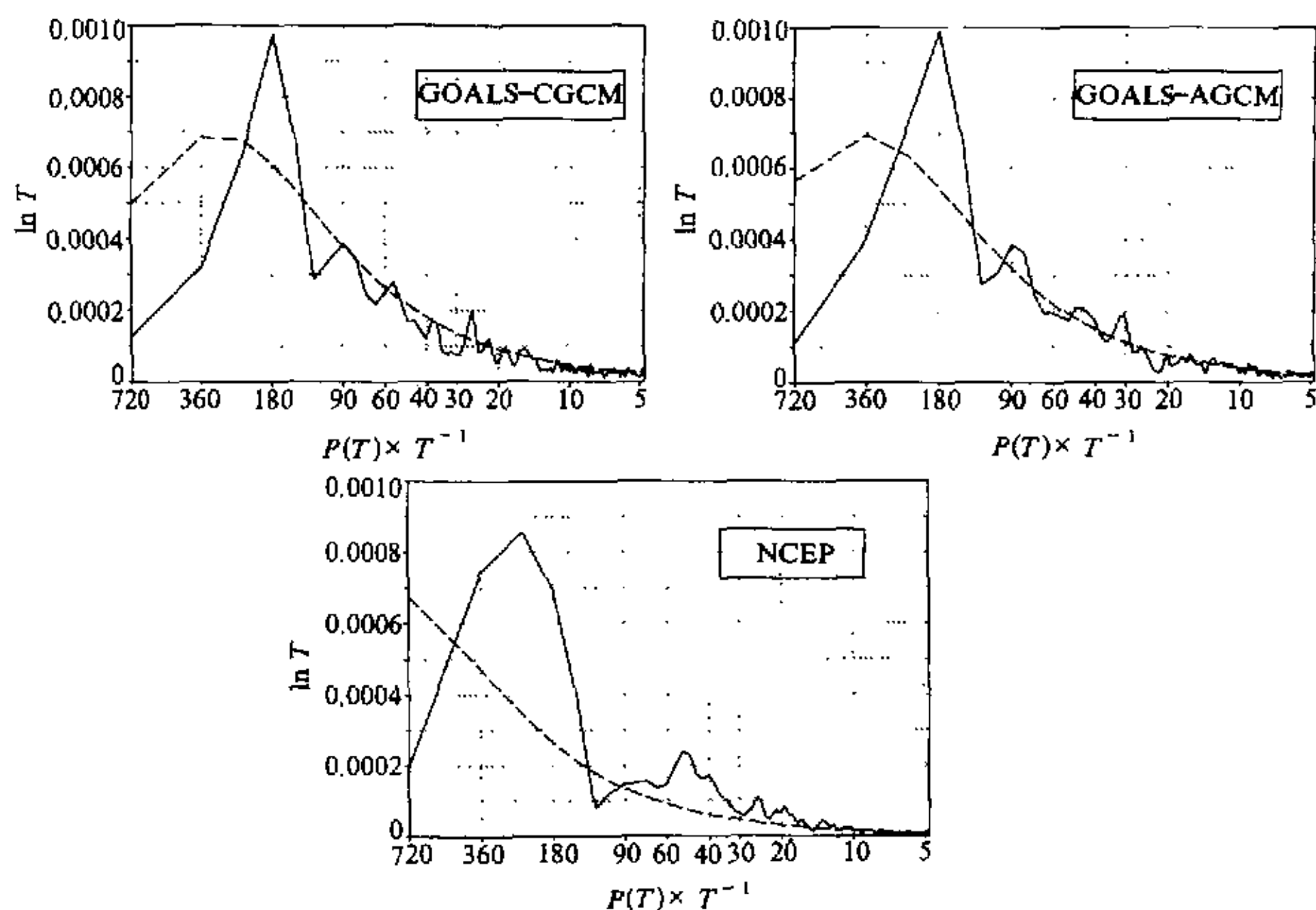


图3 GOALS-CGCM、GOALS-AGCM 与 NCEP 资料沿 $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 平均的 200 hPa 纬向风的功率谱 (实线) 和 95% 信度检验曲线 (虚线)

时间尺度的振荡信号, 对 200 hPa 纬向风场资料首先去除了季节循环, 然后进行 20~100 天带通滤波, 图 4 和图 5 分别是 NCEP 资料和 GOALS-CGCM 风场在 $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 平均的时间-经度剖面, 显示了 IO 的基本特征。季节循环的扣除是通过从原时间序列中减去年循环的前二个谐波实现的。

图 4 展示了 NCEP 资料热带 200 hPa 纬向风在 1981、1983、1985、1988 年随时间和经度的季节内变化。这 4 个年份中, 1983 为弱 IO 年, 其余三年都是强 IO 年 (详见下文)。图中各年都显示一系列不规则扰动向东传播, 扰动振幅平均 12 m s^{-1} , 1981 年振幅最大, 超过 15 m s^{-1} 。IO 季节差异的一致性不显著, 不同年份表现不同的季节性特点。在 1985 和 1988 年, IO 集中出现于冬、春季。1983 年 IO 没有明显的季节差异, 振幅相当的东传扰动几乎全年存在。而在 1981 年, 较强的 IO 扰动主要出现于夏秋季。不同的典型周期分别为 65 天 (1985 年春季) 和 40 天 (1988 年春季), 与 Slingo 等^[8]利用 ECMWF 分析资料的速度势场得到的结果一致。东传扰动的相速度在日界线附近有不连续, 在西半球传播较东半球速度快 (例如 1985 年春季, 1988 年春季)。

图 5 展示 GOALS-CGCM 输出 8 年 (21~28 模式年) 的纬向风异常。图中反映的季节内扰动的东向传播也十分明显, 且扰动振幅达到 15 m s^{-1} , 相对于 AMIP 比较结果中大气模式普遍低估 IO 振幅的状况^[8], 本文耦合模式的结果更为真实。但季节内异常的空间结构的一致性较差, 而且典型周期不显著, 较清晰的分别是在 21 年和 28 年春季, 扰动存在大约 35 天和 60 天的周期。与 NCEP 分析资料一样, GOALS-CGCM 模拟 IO 的季节性特点存在年际变化, 仅在 26 年和 28 年 (这两年都是模拟的强 IO 年, 见下文) 春季强度明显强于其他季节。模拟 IO 的季节性差异较弱, 也是许多大气

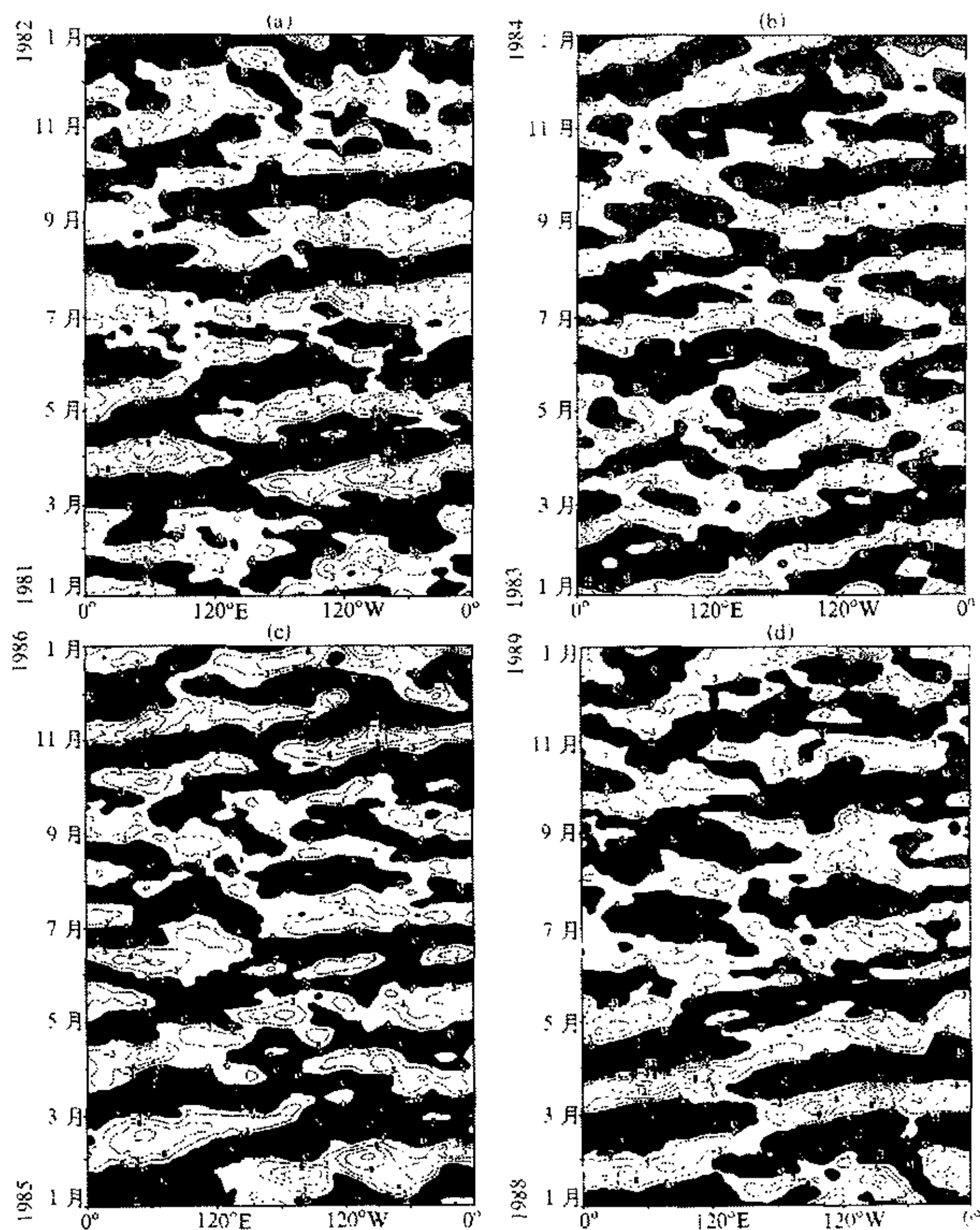


图4 带通滤波后 $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 平均的 NCEP 200 hPa 纬向风的时间-经度剖面
(a) 1981 年; (b) 1983 年; (c) 1985 年; (d) 1988 年

模式共同的弱点^[8]。东传扰动在日界线附近的速度异常跃变也未有体现。

6 IO 的季节变化特征

分析发现,海气相互作用对 IO 模拟的影响,最明显的是体现在 IO 季节性特征的再现。这一节利用谐波分析方法讨论 IO 的季节变化特征,包括强度、频次等,对比 GOALS-CGCM 与 GOALS-AGCM 模拟的差异,也分析 NCEP 资料的特征。

图 6a、b、c 分别是 NCEP 资料、GOALS-CGCM 和 GOALS-AGCM 对全球热带地区纬向平均的逐日 200 hPa 纬向风异常(与功率谱分析的变量相同)每年的时间序

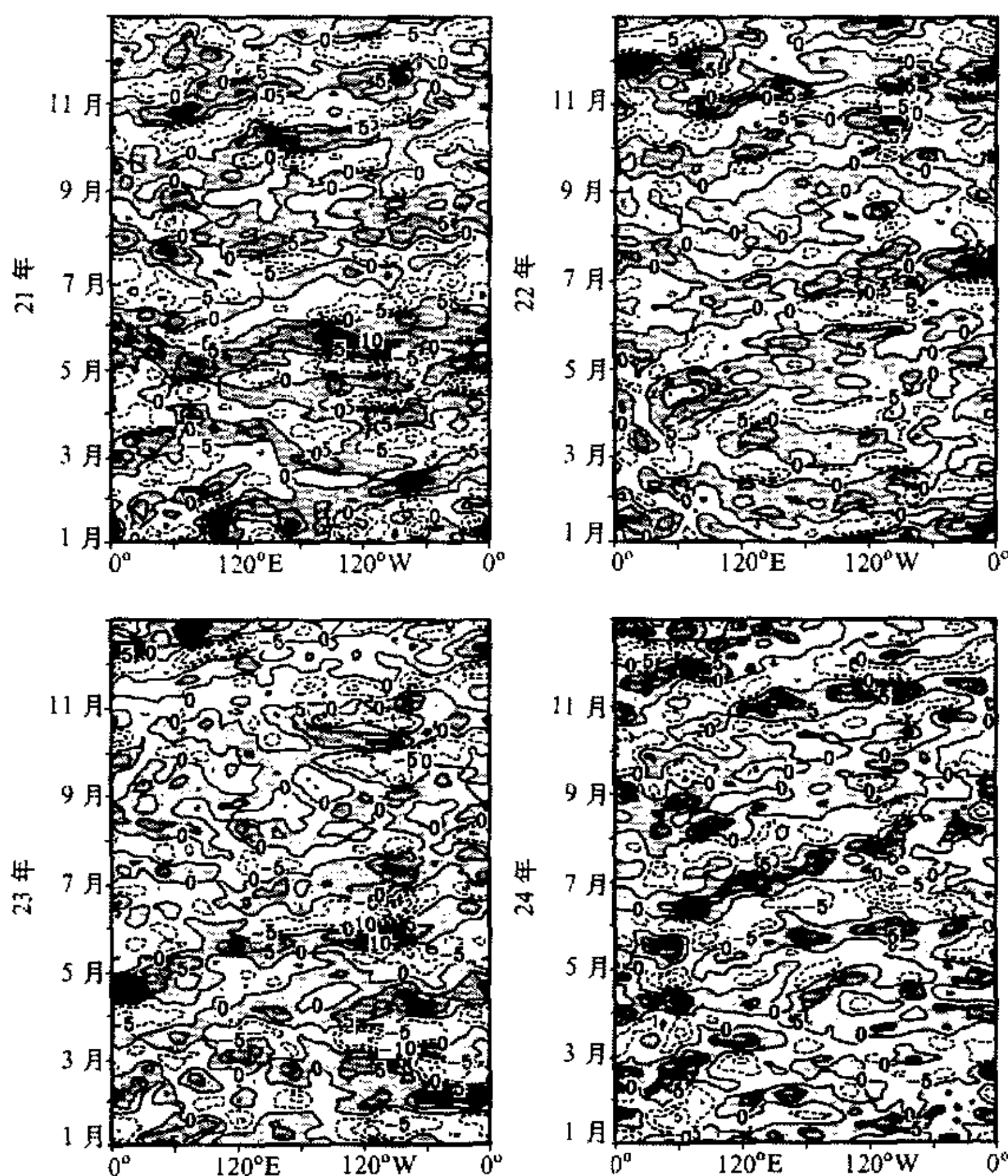


图5 同图4, 但为 GOALS-CGCM 计算第 21~28 年

列进行谐波展开的第 4~18 波 (对应周期 90~20 天) 的标准差。经过比较, 利用纬向平均量表示热带 IO 的总体特征, 与图 4、图 5 的经向剖面揭示的特征基本一致且更加清晰, 利于分辨和相互对比。图 6 中横坐标表示 365 日/a, 纵坐标自下而上表示分析资料的第 1~10 年。图中 4 条竖线划分出春 (3~5 月)、夏 (6~8 月)、秋 (9~11 月)、冬 (12~2 月) 四季。

观测研究已经确认了热带 IO 冬、春季强, 夏、秋季弱的基本季节变化倾向^[2], NCEP 资料在强 IO 的年份 (IO 年际变化见下文) 较好地反映了这个特点, 例如 1985、1986、1988 等年份, 季节差异都很显著。1981 年是甚强 IO 年, 在四季均有较强的 IO 振荡信号外, 出人意料的是夏秋季的振荡信号更强。在其余 IO 较弱的年份, 其振荡的季节性差异不显著。GOALS-CGCM 的模拟也较清晰地再现了 IO 的季节变化规律, 同 NCEP 资料的分析结果类似, 模拟强 IO 的年份, 则其出现的频次及强度都表现冬强夏弱的季节差异, 例如第 23、25、26、27、28 模式年。更为一致的是, 在模拟 IO 甚强的第 21 年, 其振荡的季节性倾向也与常年不同, 其余年份季节差异小。对

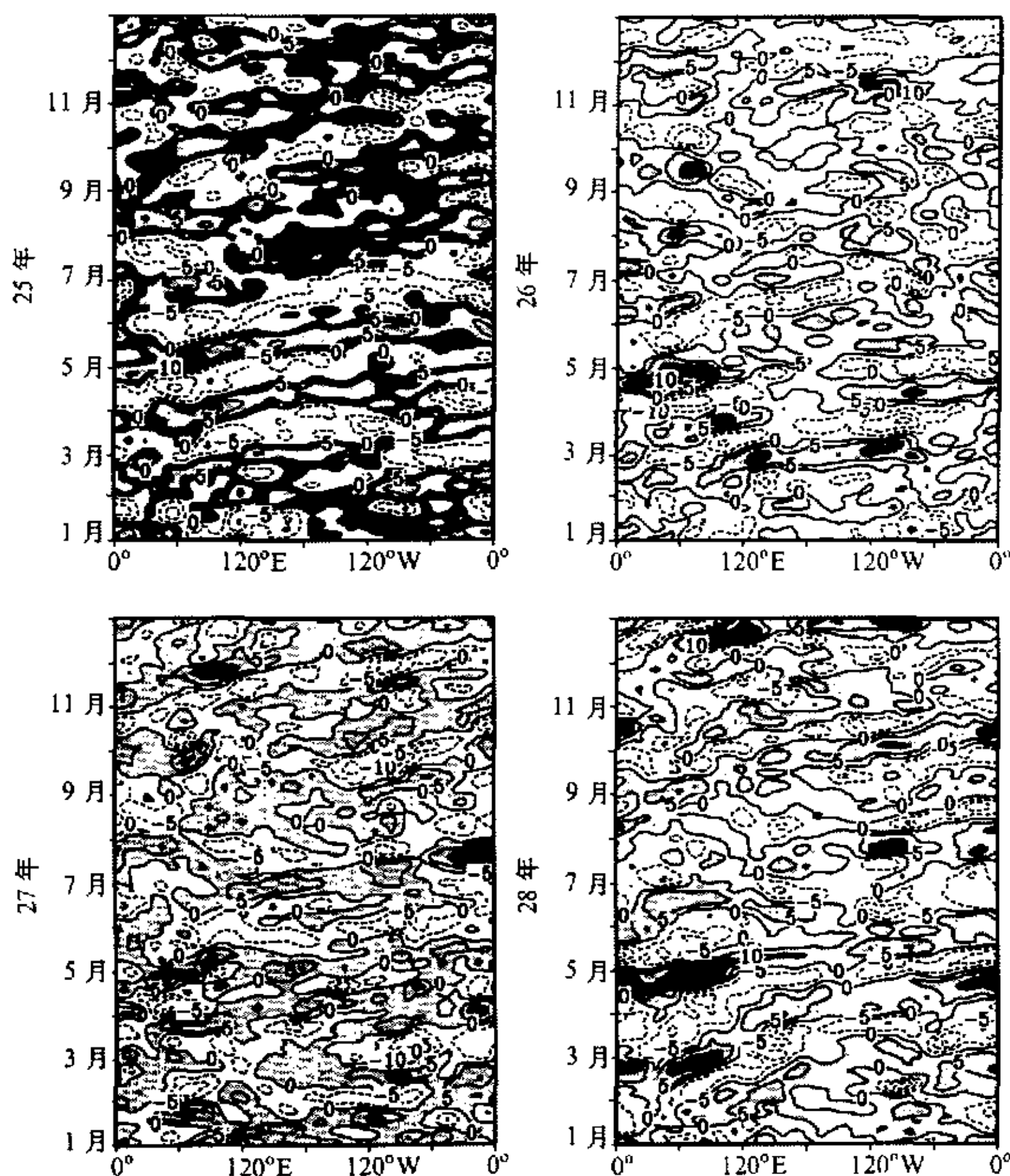


图5 (续) 同图4, 但为 GOALS-CGCM 计算第 21~28 年

比 GOALS-AGCM 的分析结果发现了区别。GOALS-AGCM 模拟 IO 在各年表现较为一致的季节变化特征。IO 的强度和频次都表现由强至弱的季节变化依次为春、夏、冬、秋。这一模拟结果有悖观测研究的结论, 尤其是在 IO 最不活跃的夏季, 模拟显著失真。可以推测的一种可能是海气耦合作用提供了大气强对流活动与 SST 的负反馈机制, 在对流活跃区使 SST 降低, 从而抑制其充分发展, 这种影响作用在海温高的夏季尤其显著。GOALS-AGCM 较 GOALS-CGCM 模拟的 IO 强度偏大也是一个证据。图 1 显示的 GOALS-CGCM 模拟热带西太平洋 SST 的负异常也反映了这一现象。耦合模式较之大气模式改进了模拟 IO 季节性特征的能力, Waliser^[9]的研究也强调了这一点。

7 IO 的年际变化

IO 的年际变化特征及其成因至今没有充分、合理的认识。对热带 IO 与 ENSO 事

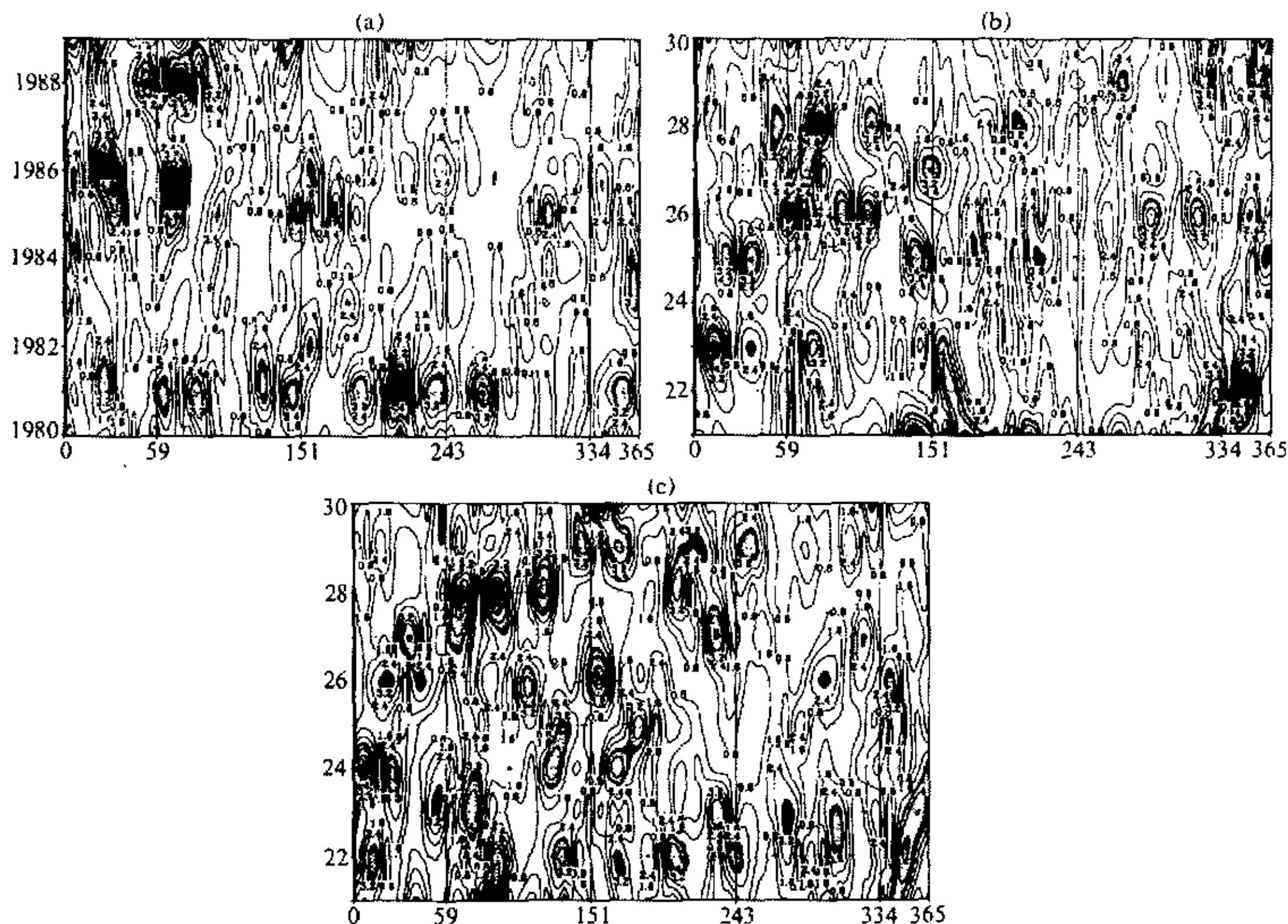


图6 NCEP资料 (a)、GOALS-CGCM(b) 和 GOALS-AGCM(c) 对 $10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$ 平均的 200 hPa 纬向风异常的季节内分量的标准差
横坐标表示以日为单位的年循环, (b)、(c) 的纵坐标表示以年为单位的年际变化
4 条竖线划分出春、夏、秋、冬四季

件之间可能存在的联系, 尚未发现普遍的规律。现有的一些研究结果主要是针对个别年份的分析, 例如观测研究较一致地发现在 1982/1983 年的强 El Niño 期间, IO 受到抑制^[17,19], 而在其他年份, 这二者之间的相关性则十分模糊。另外, Gray^[20]与 Kuhnel^[21]发现在 El Niño 期间 IO 趋向较高的频率。

Slingo 等^[8]的模式比较工作指出, 对 IO 模拟最真实的几个大气模式, 在 1982/1983 年的强 El Niño 期间都表现 IO 减弱的特征, 而在其他年份, 热带 SST 对 IO 的影响很弱, 甚至有的模式结果在 1987 年 IO 最活跃。

GOALS-CGCM 积分 10 年期间赤道附近海区 ($10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$ 纬带的平均) 逐日 SST 异常的时间-经度剖面显示 (图略), 第 24 年的中、东太平洋, 第 28~29 年的东太平洋出现强的 SST 正异常, 第 26 年在中、东太平洋出现 SST 负异常, 其振幅都超过 0.8°C 。对应模式耦合产生的中、东太平洋 SST 暖事件, IO 的年际变化如何呢?

为了定量表示 IO 活动强度, 选择 200 hPa 纬向风季节内变化的方差作为 IO 指数。具体做法是计算 $10^{\circ}\text{N} \sim 10^{\circ}\text{S}$ 纬向平均的 200 hPa 纬向风经过带通滤波后的方差, 并对其进行 100 天的滑动平均^[8]。

图 7a 显示了 GOALS-CGCM 模拟 IO 指数与 Niño 3 海区 ($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$, $90^{\circ}\text{W}\sim 150^{\circ}\text{W}$) SST 异常之间的关系。图中可见第 21、23、25~28 模式年为强 IO 年份。IO 指数与 Niño 3 区海温异常的负相关是显著的, 计算其同期相关系数为 -0.33 , 最强相关出现在 IO 指数的位相滞后 ENSO 60 天左右, 相关系数达到 -0.37 。相应于 3650 天的样本序列长度, 上述的相关都超过 99% 的信度检验。IO 在 ENSO 暖事件期间出现减弱的倾向, 这与根据 ECMWF 分析资料得到的结果^[8]一致。对比针对 NCEP 资料的同项分析 (图 7b), 显示 1981~1982、1985、1986、1988 年为强 IO 年, 1983 年为弱 IO 年。IO 指数与赤道中、东太平洋 SST 异常也存在负相关。

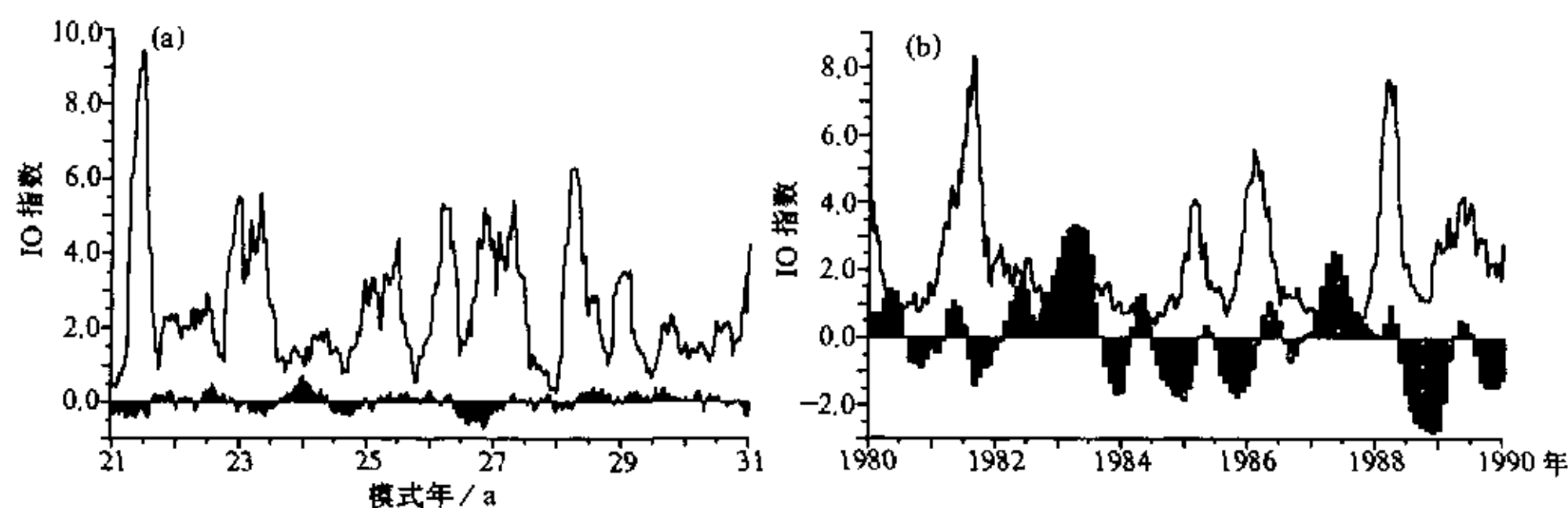


图 7 GOALS-CGCM(a) 和 NCEP 资料 (b) 计算的 IO 指数的时间序列
阴影显示的是相应时间的 Niño 3 区 SST 异常

8 IO 空间分布

IO 作为大尺度环流异常及与之相关的深厚对流加热异常的显著振荡, 它的水平分布也必须从动力和热力这两个方面来考虑。在热带地区, OLR 是有效反映对流加热 (主要是积云对流) 的主要因子, 而对流层上层的平均纬向风场响应非绝热加热的异常而变化, 故而以 200 hPa 纬向风场的异常反映大尺度环流场的季节内振荡。

图 8 和图 9 给出分别根据 1980~1989 年逐日 NCEP 资料和 GOALS-CGCM 10 年积分逐日结果计算的热带 OLR 场的方差变化, 20~100 天带通滤波后 OLR 的方差以及 20~100 天周期变化解释总方差的百分比。NCEP 资料反映, 在热带海区, 强的对流加热异常主要出现在东印度洋和西太平洋暖池区, 这实际也对应着观测的强对流区 (即 OLR 的低值区域)^[2]。季节内时间尺度的加热异常则更显著地分布于东印度洋, 西太平洋次强, 东太平洋较弱。季节内变化所解释的总变化的比例也体现同样的分布特征, 最大比值超过 28%。

模式揭示 OLR 振荡的空间分布型与 NCEP 资料所反映的总体接近。二者的主要差别在于模式模拟的季节内 OLR 振荡中心在印度洋位置偏北, 而且在西、中太平洋的赤道外海区, 季节内变化呈现明显的双峰结构, 与模拟 SST 的 28°C 等温线的分布一致, 反映了 28°C 海温是影响对流活动强度的一个阈值^[1]。

200 hPa 纬向风异常的方差 (相当于扰动动能) 反映了 IO 的不同地域特征。图 10

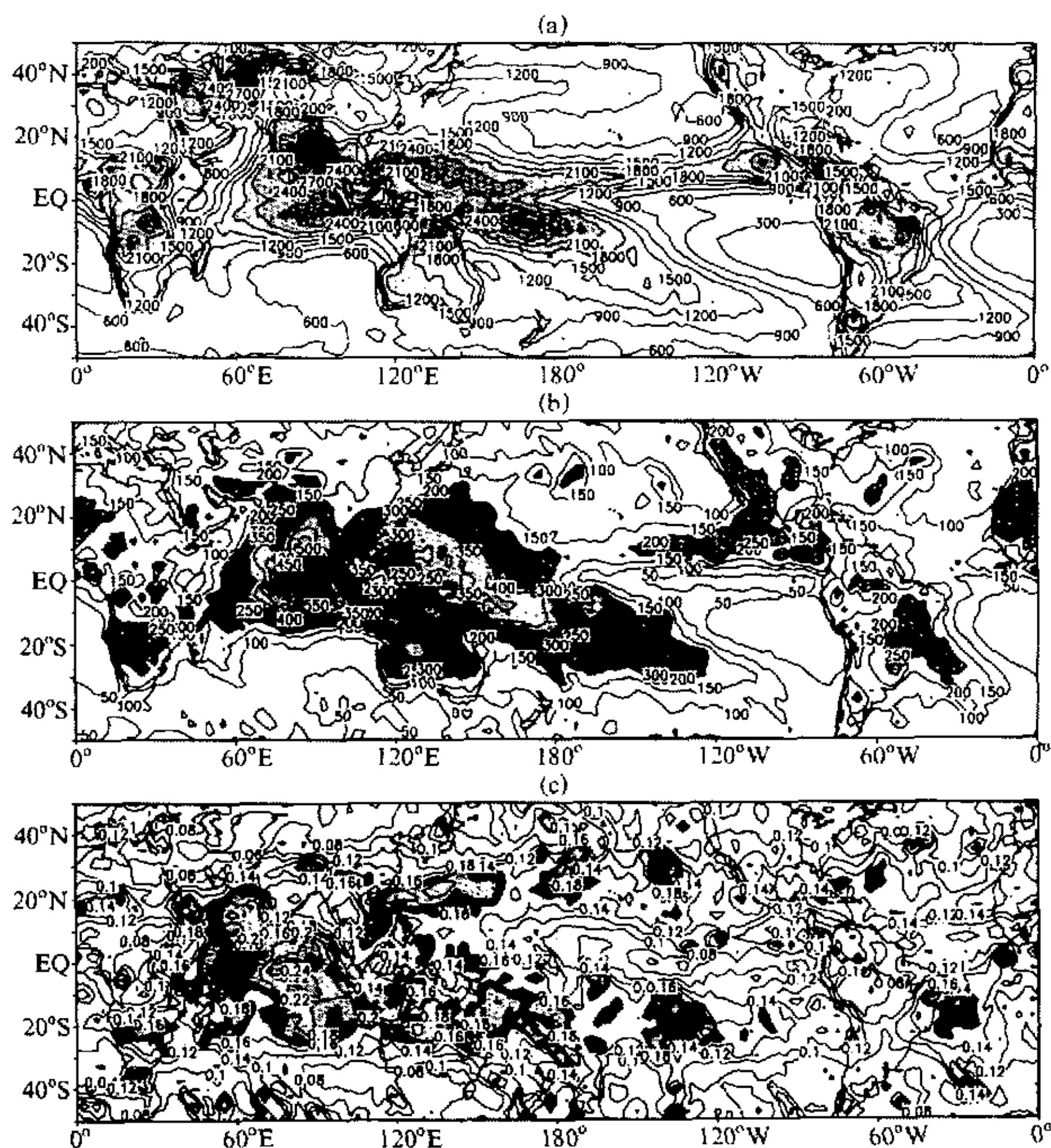


图8 NCEP 资料 1980~1989 年热带 OLR 场的总方差变化 (a)、季节内变化 (20~100 天带通滤波) 的方差 (b) 及季节内变化解释总方差的百分比 (c)

仅给出 20~100 天周期变化解释总方差的百分比的分布, 它与风场季节内变化中心的地理分布是一致的。从 NCEP 资料来看, 与 OLR 振荡分布的最显著差别是扰动动能季节内振荡的强中心出现于赤道东太平洋, 解释总体变化的 33% 以上, 其次在南亚热带地区 ($50^{\circ}\text{E} \sim 80^{\circ}\text{E}$) 和海洋陆地。模式同样体现热带东太平洋季节内扰动动能的中心, 而不同的是, 模式结果反映印度洋的 IO 中心在中东印度洋, 向东逐渐减弱, 西太平洋成为相对的低值区。另外在热带太平洋日界线附近也出现与 OLR 振荡类似的双峰结构, 且强度较大。

上述热带 IO 的空间结构特征与观测研究的结论定性是一致的^[22]。东印度洋到西太平洋 SST 高, 利于形成深厚对流, 而热带东太平洋平均 SST 较低, 积云对流活动本身相对较弱, 其季节内变化也弱, 但对流层高层的扰动动能在东太平洋却有明显的季节内振荡信号。

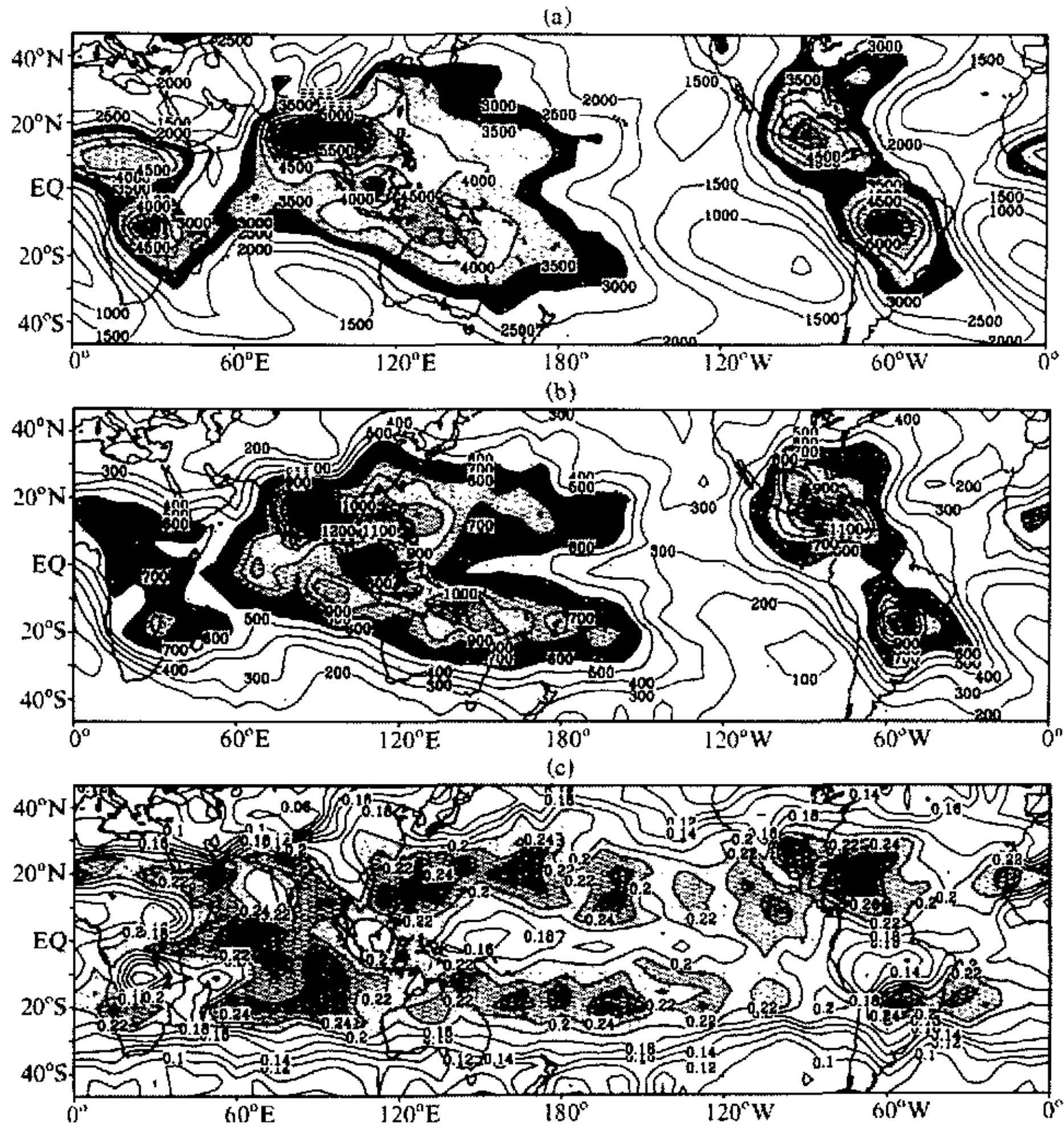


图9 同图8, 但为 GOALS-CGCM 的结果

9 结论与讨论

本文分析 GOALS-CGCM 长期积分的日平均计算结果, 与 1980~1989 年的逐日 NCEP 资料对照, 检验该耦合模式对热带 IO 的模拟能力, 并对比 GOALS-AGCM 的结果, 探讨海气相互作用对 IO 时空分布的影响以及与 IO 活动可能相关的海洋异常变化。应用的资料包括 200 hPa 纬向风场、OLR 场和 SST 场, 资料序列长度为 10 年。

GOALS-CGCM 基本真实地再现了气候背景场的季节循环, 这是正确反映大气 IO 信号的重要的先决条件。计算的 200 hPa 纬向风异常场基本反映了 IO 东向传播等主要特征。与其他的大气模式相比, 尤其重要的优点是模拟了较真实的 IO 的强度。而季节内异常的典型周期不明显, 空间一致性也较差。

NCEP 资料与 GOALS-CGCM 都反映模拟 IO 的季节变化与其年际变化有相关。

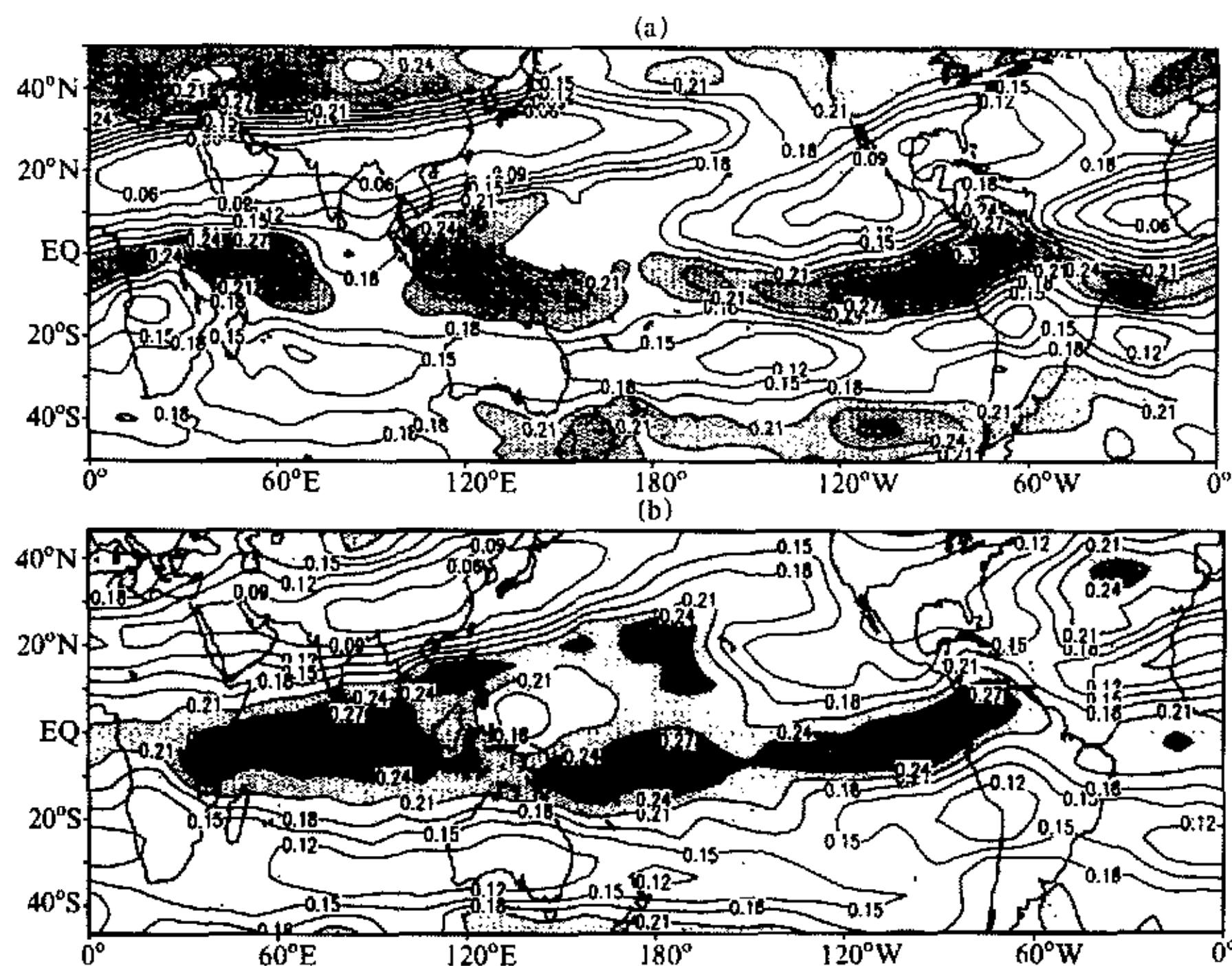


图 10 200 hPa 纬向风 20~100 天周期变化的方差解释总方差的百分比
(a) NCEP; (b) GOALS-CGCM

模拟较强 IO 的年份表现 IO 的季节变化特征也较真实, 而 Slingo 等^[8]也发现不同模式模拟 IO 的强度与其模拟季节变化的振幅成正相关, 模拟较强季节内振荡的模式, 模拟季节变化也强。这些都表明, IO 的模拟成功与否, 依赖于模式刻画各种时间尺度运动的总体能力的提高。

模拟 IO 的年际变化与热带东太平洋的 SST 呈明显的负相关。SST 暖异常的年份, IO 活动较弱。IO 变化滞后于 SST 异常 60 天左右的相关性最显著。

IO 的空间分布表现为在热带西太平洋热力特征显著, 在东太平洋表现动力特征明显。作为大气系统自身的低频振荡, 利用 GOALS-AGCM 模拟的 IO 也体现其基本结构特征, 而与 GOALS-CGCM 结果的主要差别表现在后者再现 IO 的季节性特征更真实, 反映了海气耦合对 IO 变化的调制作用。虽然其中具体过程的细节尚无法确定, 但可以确信耦合 GCM 的应用, 是数值方法真实再现 IO 的无可替代的手段。

致谢: 感谢张学洪研究员对本文的修改和郭裕福研究员多方面的支持, 感谢刘喜迎同学介绍模式的具体工作。

参 考 文 献

- 1 Sperber, K. R., J. M. Slingo, P. M. Inness and K. M. Lau, On the maintenance and initiation of the intraseasonal oscillation in the NCEP/NCAR reanalysis and the GLA and UKMO AMIP simulations, *Climate*

- Dyn.*, 1997, **13**, 769~795.
- 2 Madden, R. A. and P. R. Julian, Observations of the 40–50-day tropical oscillation: A review, *Mon. Wea. Rev.*, 1994, **112**, 814~837.
 - 3 Zhang Chidong, Atmospheric intraseasonal variability at the surface in the tropical western Pacific Ocean, *J. Atmos. Sci.*, 1996, **53**, 739~758.
 - 4 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.
 - 5 Lindzen, R. S., Wave–CISK in the Tropics, *J. Atmos. Sci.*, 1974, **31**, 156~179.
 - 6 Neelin, J. D., I. M. Held and K. H. Cook, Evaporation–wind feedback and low–frequency variability in the tropical atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, 1987, **44**, 2341~2348.
 - 7 Chao, W. C. and S. J. Lin, Tropical intraseasonal oscillation, super cloud clusters, and cumulus convection schemes, *J. Atmos. Sci.*, 1994, **51**, 1282~1297.
 - 8 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.
 - 9 Waliser, D. E., K. M. Lau and J. H. Kim, The influence of coupled sea surface temperatures on the Madden–Julian oscillation: A model perturbation experiment, *J. Atmos. Sci.*, 1999, **56**, 333~358.
 - 10 Zhang Xuehong, Chen Keming, Jin Xiangze, Lin Wuyin and Yu Yongqiang, Simulation of thermohaline circulation with a twenty–layer oceanic general circulation model, *Theor. Appl. Climatol.*, 1996, **55**, 65~88.
 - 11 Wu Guoxiong, Liu Hui, Zhao Yucheng and Li Weiping, A nine–layer atmospheric general circulation model and its performance, *Adv. Atmos. Sci.*, 1996, **13**, 1~18.
 - 12 Kalnay, E. and R. Jenne, Summary of the NMC / NCAR reanalysis workshop of April 1991, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1991, **72**, 1897~1904.
 - 13 Kalnay, E. and Coauthors, The NCEP / NCAR 40–year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**, 437~471.
 - 14 Slingo, J. M. and Madden R. A., Characteristics of the tropical intraseasonal oscillation in the NCAR community climate model, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1991, **117**, 1129~1169.
 - 15 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, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1999, **125**, 583~609.
 - 16 Yu Yongqiang, Zhang Xuehong, Liu Hui and Jin Xiangze, Schemes for Coupling the AGCM and OGCM. In IAP Global Ocean–Atmosphere–Land System Model, edited by Zhang Xuehong et al., Science Press, Beijing, 1999, 110~112.
 - 17 Salby, M. L. and H. H. Hendon, Intraseasonal behavior of clouds, temperature and motion in the tropics, *J. Atmos. Sci.*, 1994, **51**, 2207~2224.
 - 18 黄嘉佑, 气象统计分析与预报方法, 北京: 气象出版社, 1990, 304~316.
 - 19 Hendon, H. H. and B. Liebmann, Organization of convection within the Madden–Julian oscillation, *J. Geophys. Res.*, 1994, **99**, 8073~8083.
 - 20 Gray, B. M., Seasonal frequency variations in the 40–50 day oscillation, *Int. J. Climatol.*, 1988, **8**, 511~519.
 - 21 Kuhnelt, I., Spatial and temporal variation in Australia–Indonesia region cloudiness, *Int. J. Climatol.*, 1989, **9**, 395~405.
 - 22 李崇银, 气候动力学引论, 北京: 气象出版社, 1995, 104~105.

Intraseasonal Oscillation in a Coupled General Circulation Model

Li Wei and Yu Yongqiang

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Daily-mean reanalyses from the National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP / NCAR) for the years 1980~1989 are used as verification data in a study of intraseasonal oscillation (IO) in the GOALS / LASG coupled general circulation model. The projection of the IO onto the upper troposphere zonal wind provides a useful measure of intraseasonal activities. The results show that GOALS / LASG captures the salient features of IO in the tropics. The simulated IO is more realistic than that by some other atmospheric general circulation models with respect to an increased intensity, while it is not as spatially coherent and not as typically periodical as the observed. There is a tendency in both NCEP and the simulation that the representing of seasonal preference for the IO to form during the boreal winter / spring is related to its interannual variability, with the correct seasonal signature being simulated during the year of stronger IO. It is suggested that the simulated interannual variability of IO is related to the sea surface temperature (SST) anomalies for the Niño 3 region of the central and East Pacific. In the year with positive SST anomalies, IO activity is weak. The most significant correlation appears 60 days behind the phase of IO. In comparison with the data from the atmospheric circulation model of GOALS / LASG with a specified annual cycle SSTs, the coupled model represents an increased seasonal signature, which suggests the regulation to IO by the ocean-atmosphere interaction. An accurate representation of IO can only be available by the using of coupled model.

Key words: intraseasonal oscillation; coupled general circulation model