

年际气候变率的数值模拟

薛 峰 曾庆存

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 本文利用 IAP GCM 20 年的模式输出结果, 计算了海平面气压、表面气温和降水的年际气候变率, 并与观测资料作了对比分析, 以考察模式模拟年际变率的能力。结果表明, 模式成功地再现了观测变率地理分布的基本特征, 这说明大气内部动力-物理相互作用过程对年际变率有重要影响, 而模拟值的偏低则显示了模式中未包括的某些外界强迫因子如海温和海冰年际变化的潜在作用。

关键词 年际变率 模拟 观测

1 引言

研究表明, 年际气候变率比长期气候变化对当前气候的影响更明显, 例如 Jones 等^[1]估计得出 1889~1984 百年间北半球陆地平均气温升高 0.52°C , 而气温的标准差为 0.32°C 。特别是近几十年来异常气候的频繁出现, 向人们提出这样一个新的问题, 即年际气候变率是否在增大, 又是何种因子在起作用, 但由于这个问题本身的复杂性以及观测资料的限制, 至今尚无定论, 而气候模式则为研究这一问题提供了一种新的途径和方法, 例如, 通过对比模式存在与不存在某种相关的物理过程(例如海气相互作用等)的长期积分结果, 就可以了解这种过程对气候变率的影响。另一方面, 我们必须注意到, 只有当确信一个模式能成功再现观测气候变率的某些本质特征时, 才能利用模式来研究其动力和物理机制, 换言之, 模拟好气候变率是利用模式研究的先决条件, 因此, 模拟与观测的对比分析具有特别重要的意义。

本文利用 IAP GCM 的 20 年模式输出结果, 计算了模式大气中海平面气压、表面气温和降水的年际变率(以标准差表示), 并与相应的观测资料作了对比, 以考察模式对观测年际变率的模拟能力, 同时, 这种对比分析亦有助于了解模式中未包括的某些外界强迫因子如 SST、海冰等的年际变化对年际变率的潜在影响。此外, 还讨论了模式大气中表面气温的长期演变趋势。

2 模拟与观测资料简介

中国科学院大气物理研究所两层大气环流模式(IAP GCM)是曾庆存及其合作者在长期从事地球流体力学计算方法和模式设计研究的基础上发展起来的^[2], 该模式已成功地积分了 25 年, 积分过程中采用多年平均的海面温度 and 海冰(包括季节变化而无

年际变化) 为边界条件。本文所用的模拟资料取自后 20 年的积分结果, 而观测图则直接引用不同作者的研究结果, 资料起止时间大致为 1950~1980 年共 30 年左右, 与一般所定义的气候时间尺度是一致的。

3 海平面气压场的年际变率

图 1 为模拟和观测的 1 月海平面气压场标准差, 模式模拟的整体分布型式与观测基本相同, 即高纬大于低纬, 北半球大于南半球, 也模拟出阿拉斯加南部、格陵兰南部和欧亚大陆北冰洋沿岸地区几个主要的变率中心, 后者整体位置偏西; 模拟值较观测值系统性偏低, 高纬到极区一带偏低最大。7 月 (图 2) 与 1 月相比有较大的季节变化, 在中高纬地区, 北半球变率显著减小而南半球增大, 南半球变率大于北半球, 模式再现了上述季节变化的基本情况, 也模拟出阿拉斯加南部的变率中心, 北半球其它中心的模拟则不够理想。南半球副热带变率普遍偏低, 也未能模拟出 40°S 附近一些明显的变率中

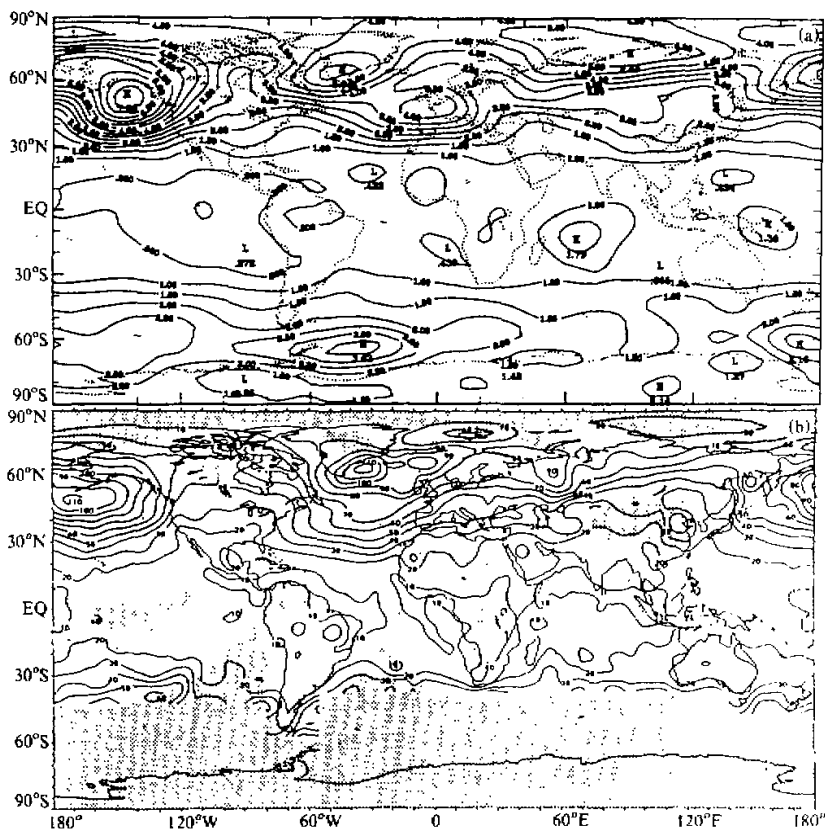


图 1 1 月海平面气压场标准差
(a) 模拟 (1 hPa); (b) 观测 (0.1 hPa) (取自文献[3])

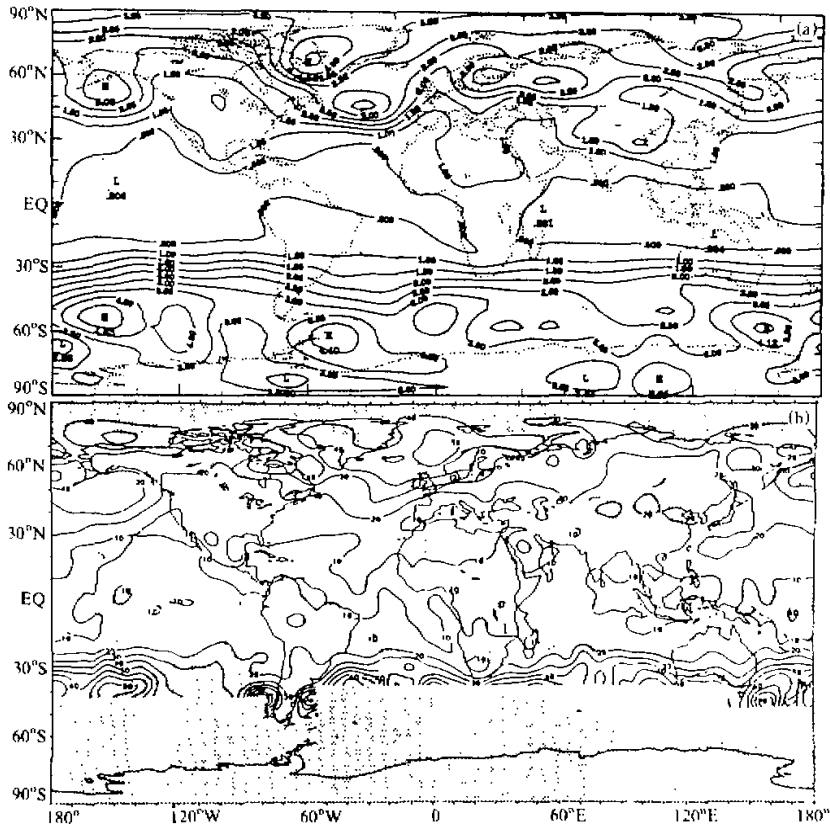


图2 同图1, 但为7月

心。总的来看, 1月、北半球的模拟效果要分别好于7月、南半球的模拟效果, 这与海平面气压场本身的模拟结果类似。此外, 热带地区变率一般较小且季节变化不大, 但模拟值显著偏小, 一般只有观测值的一半。需强调指出的是, 由于现行模式分辨率较低, 尽管能够模拟出大尺度变化的基本特征, 但区域尺度上仍存在很大的差别。

上述分析表明, 模式能够模拟出海平面气压年际变率地理分布及其季节变化的基本特征, 模拟值在大部分纬带达到观测值相当大的部分, 说明大气内部动力-热力的相互作用对海平面气压的年际变率有重要影响; 模拟值的系统性偏低则显示模式中未包括的某些外界强迫因子的潜在影响, 其中尤以热带和冬季北极较为明显。热带地区的偏低与模式中未包括 SST 的年际变化有关, 反映了海气相互作用过程对热带地区的年际变率有显著影响, 这与 Manabe 等^[4]分析 GFDL 的模拟结果所得结论基本相同, 俞永强^[5]通过比较耦合模式和未耦合模式模拟的海平面气压的标准差, 发现海气相互作用增强了热带地区特别是热带海洋的年际变率, 进一步证实了上述结论; 至于模拟值在冬季北极偏低较大, 则可能与模式中未包括海冰的年际变化有关, 这一点与 GFDL 的模拟结果有

很大差别。GFDL 模拟的北极变率接近或大于实测值, 这与该模式模拟的高纬变率中心过于偏北有关, 因此, IAP 的模拟结果似乎更为合理, 不过需要说明的是, 由于极区模拟效果普遍较差, 上述结论有待进一步证实。

4 表面气温场的年际变率

如图 3 所示, 观测 1 月表面气温变率的主要特征为大陆大于海洋, 高纬大于低纬, 北半球大于南半球, 模拟结果再现了上述基本特征, 同时模拟出阿拉斯加、欧亚大陆北冰洋沿岸、澳大利亚等地的高值中心, 但未能模拟出中西伯利亚的高值中心, 北美大陆与观测亦有较大偏差。对比分析 7 月的模拟和观测结果 (图略), 发现表面气温的年际变率也有很大的季节变化, 观测北半球 7 月变率比 1 月显著减小, 但模拟值的变化幅度不如观测值大, 也未能模拟出欧亚大陆北冰洋沿岸、澳大利亚和南美等地的高值中心。总之, 模拟的总体效果同海平面气压变率相似, 1 月模拟效果比 7 月好, 在绝大部分区

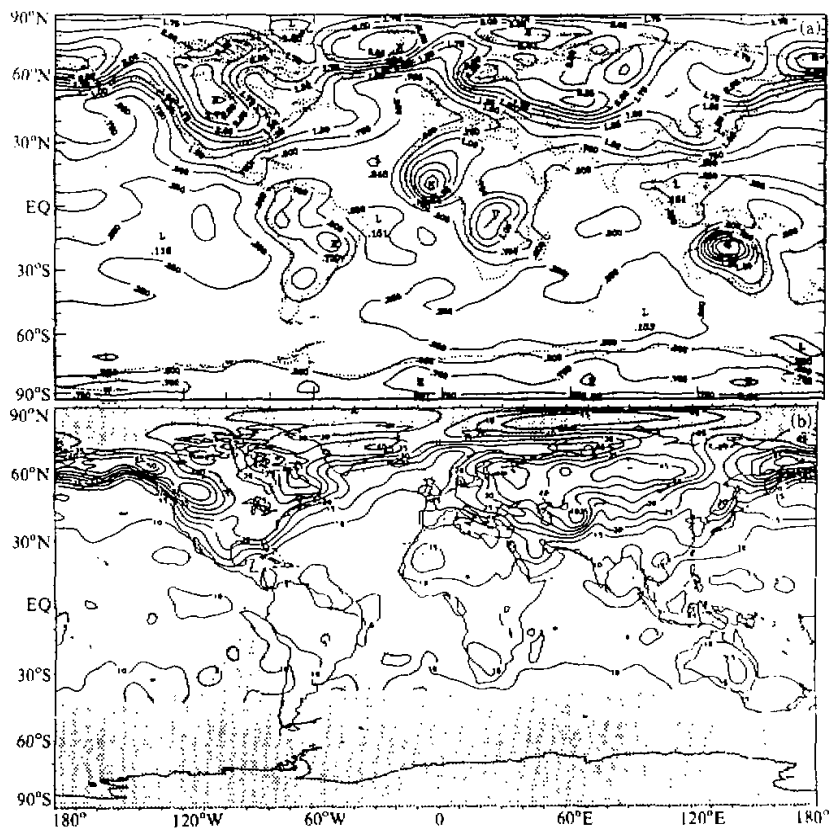


图 3 1 月表面气温标准差
(a) 模拟 (1°C); (b) 观测 (0.1°C) (取自文献[3])

域模拟值系统性偏低, 其中海洋和高纬最明显; 与海平面气压不同的是, 热带大陆个别区域的模拟值略偏大, 这很可能与地表参数化不够完善有关。

5 半球平均表面气温的长期变化

半球平均表面气温的长期变化是衡量气候变化的主要指标。为研究模式大气中表面气温的长期变化状况, 先对模式 6~25 年每一年逐月的表面气温取半球平均, 再减去对应月份的 20 年平均值, 构成一个 240 个样本的表面气温距平时间序列, 结果如图 4 所示, 图中的观测值为 1951~1975 年共 25 年 (300 个样本), 取自 Vinnikov 等^[6]的计算结果, 这里仅给出北半球的情况。

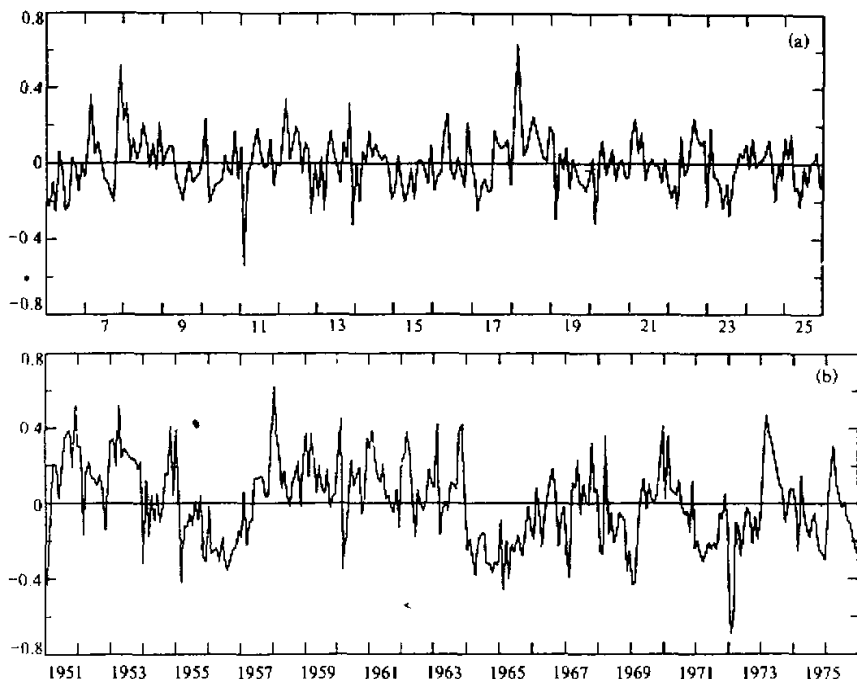


图 4 北半球平均逐月表面气温距平的时间演变 ($^{\circ}\text{C}$)

(a) 模拟; (b) 观测 (取自文献[6])

对比图 4 中模拟和观测的结果可以发现, 对月平均尺度而言, 模拟和观测均显示出明显的振荡, 模拟振幅偏小, 另外, 从观测图上还可以看到年平均时间尺度以上的波动, 而模拟图则相对不够明显。为清楚起见, 对图 4 中的时间序列作 13 个月的滑动平均 (代表年平均时间尺度), 其中前、后 6 个月分别取前、后 13 个月的算术平均来代替, 如图 5 所示, 观测显示出明显的长期升温与降温趋势, 例如 1957~1962 年、1952

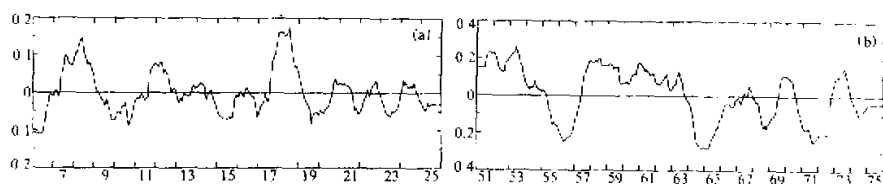


图5 同图4, 但为13个月的滑动平均

~1953年等为明显的升温期, 而1955~1956年、1964~1967年等为明显的降温期, 模拟图上也存在类似的升温降温趋势, 例如模式7~8年、18年前后为升温期, 9~11年等为降温期, 其变化幅度最大为 0.15°C , 约为观测的一半, 因此, 在研究年平均时间尺度的气候变化时, 须综合考虑大气本身的变化及其与外部因子的相互作用。模拟与观测的最重要差别是模式升降温持续的时间明显不如观测长, 模式的最长持续时间约为2年, 而观测最长达5年以上, 这说明在研究2年时间尺度的气候变化时尚须考虑大气内部的热力-动力相互作用, 而在2年尺度以上, 则主要是外界因子的变化导致表面气温的变化。

6 降水的年际变率

由于观测资料的限制, 关于降水年际变率方面的研究迄今为止仍然很少, 这里所用的资料取自 Hulme^[7]的计算结果, 包括1951~1980年共30年全球2500个陆地测站, 覆盖全球28%的表面面积, 不过该资料作为检验模式全球范围的降水变率仍是远远不够的, 因而只能得到初步的分析结果。

图6为1月降水的年际变率, 与对应的降水分布图对比分析可知^[8], 模拟和观测都显示大变率中心对应降水量大的区域, 而变率较小的区域则为降水量小的区域, 模式成功模拟出印度尼西亚一带、南美东部、非洲南部、热带中太平洋以及西海岸等地的变率高值区, 也模拟出非洲北部、北美和亚洲内陆高纬地区的变率低值区。7月北半球的变率显著增大(图略), 东亚和南亚最明显, 模拟结果再现了上述季节变化趋势, 也模拟出中美洲、印度尼西亚地区、热带中太平洋、欧洲等地的变率高值区和非洲南部、澳大利亚的变率低值区。差别较大的有非洲北部观测为低值区而模拟为高值区, 东亚沿海与南亚一带变率偏低, 这与模拟的季风雨带北进不够有关。总的来看, 7月的模拟效果不如1月, 而降水变率的总体模拟效果与降水有密切关系。

为衡量某一地区降水的相对年际变化情况, 我们以标准差除以平均值来表示降水的相对年际变率。为区别起见, 上述用标准差表示的年际变率不妨称之为绝对年际变率。如图7所示, 相对变率和绝对变率的高低值中心分布几乎相反, 大的相对变率中心主要位于绝对变率很小即干旱和半干旱区域, 撒哈拉地区甚至可达到100%, 而对变率较大的区域如印度尼西亚一带的相对变率一般较小, 因此, 降水的相对年际变化在干旱少雨区较多雨区更为显著, 模拟结果与 Hulme^[7]的观测分析完全一致。

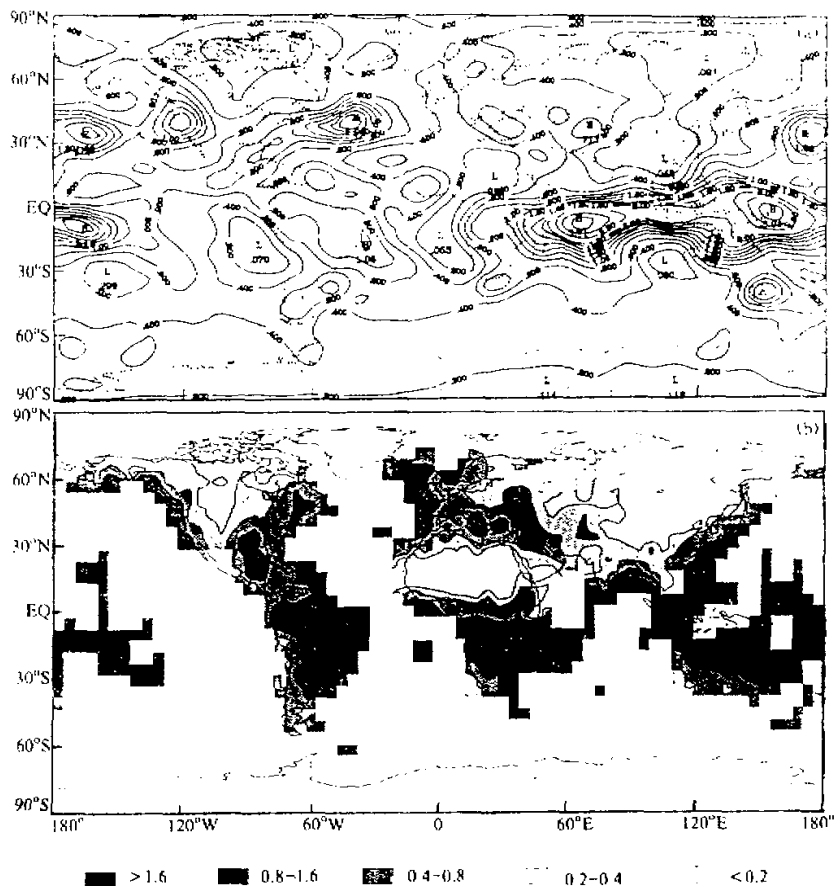


图 6 1 月降水的标准差 (mm/d)

(a) 模拟; (b) 观测 (取自文献[7])

7 结语

本文中我们详细分析了 IAP GCM 对海平面气压、表面气温和降水的年际变率的模拟结果, 并与观测资料作了对比, 以检验模式对上述基本大气变量年际变率的模拟能力以及模式中未包括的外界强迫因子对年际变率的潜在影响。结果表明, 模式能够模拟出年际变率分布的基本特征, 而模拟效果与各变量本身的模拟情况密切相关, 因此, 改进基本大气变量的模拟对模拟好气候年际变率是至关重要的。此外, 我们还讨论了半球平均表面气温的长期演变。需要指出的是, 由于现行模式分辨率较低, 区域尺度上仍有较大的差别, 这有待于模式的进一步改进和完善。现将主要结论小结如下:

(1) 模式模拟出 1 月、7 月海平面气压年际变率地理分布的基本特征, 即高纬大于

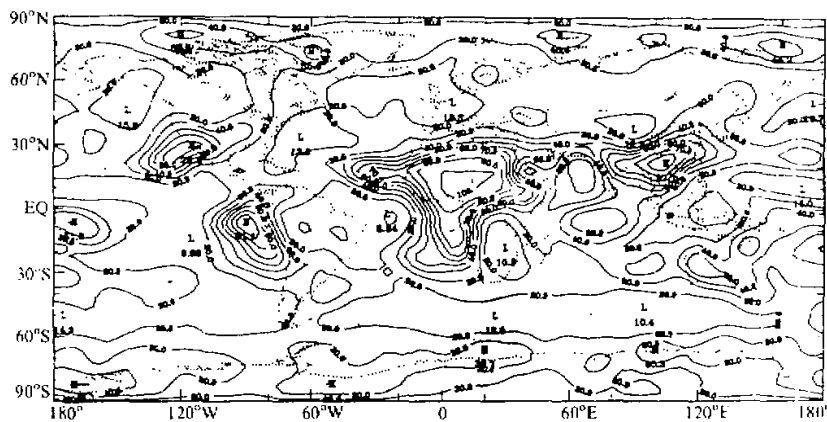


图 7 模拟 1 月降水的相对年际变率(百分比)

低纬, 冬季大于夏季。模拟值在中纬度地区达到观测值的相当大部分, 说明大气内部的动力-物理相互作用对海平面气压的年际变率有重要作用; 模拟值较观测值系统性偏低, 在热带和冬季北极偏低较大, 这反映了模式中未包括的某些外界强迫因子如海气相互作用等的潜在影响。

(2) 模式对表面气温年际变率的模拟也是相当成功的, 最明显的分布特征就是陆地大于海洋, 其余则与海平面气压相似。除热带大陆个别区域的模拟值略偏大外, 其余各区域均偏小, 偏小最大的区域是海洋, 显示海-气相互作用对海洋上表面气温的年际变化有决定性作用, 大陆个别区域的偏大则可能与地表过程参数化不够完善有关。

(3) 通过分析北半球月平均表面气温距平的长期变化过程可以发现, 对月平均尺度而言, 模式再现了观测所显示的振荡, 模拟振幅略小, 对年平均尺度而言, 模拟振幅偏小更大。另外, 模式大气中升降温的最长持续时间约为 2 年, 这也是大气内部变化影响表面气温变化的最长时间尺度, 而在 2 年时间尺度以上, 大气内部的影响则很小, 主要是外界因子的变化导致表面气温的变化。

(4) 模式模拟出降水绝对年际变率地理分布的基本特征, 即多雨区为变率高值区, 干旱少雨区为变率低值区, 而相对年际变率分布则与绝对年际变率基本上相反, 这也与观测结果吻合。

参 考 文 献

- 1 Jones, P.D., Wigley, T.M.L. and Kelly, P.M., 1992, Variations in surface air temperature, Part I: Northern Hemisphere, 1881~1980, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 59~70.
- 2 Zeng Qingcun et al., 1989, Documentation of IAP two-level atmospheric general circulation model TR044, DOE/ER/60314-H1.
- 3 Shea, D.J., 1986, Climatological Atlas: 1950~1979, NCAR.
- 4 Manabe, S. and Hahn, D.G., 1981, Simulation of atmospheric variability, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 2260~2268.
- 5 俞永强, 1994, IAP 海洋-大气耦合模式的全球区域气候模拟及年际变率研究, 中国科学院大气物理研究所硕士

论文, 89pp.

- 6 Vinnikov, K.Ya., P.Ya. Groisman and K.M. Lugina, 1990, Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation), *J. Climate*, 3, 662~667.
- 7 Hulme, M., 1992, A 1951~1980 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models, *Climate Dynamics*, 7, 57~72.
- 8 薛峰, 1992, IAP GCM 气候模拟的统计分析 with 模式效能研究, 中国科学院大气物理研究所博士论文, 173pp.

A Numerical Simulation of the Climatic Interannual Variability

Xue Feng and Zeng Qingcun

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract The simulated interannual variability of the sea level pressure, surface air temperature and precipitation is computed using the 20 years model output of IAP GCM. The results are compared with the observed data for evaluating the model's ability in simulating variability. It is shown that the model successfully reproduces the characteristic features of the geographical distributions of the observed variability. Therefore, the internal dynamical physical interaction processes in the atmosphere have substantial influences on the interannual variability. However, the model underestimates the observed variability systematically due to the absence of some external factors such as the interannual variations of the sea surface temperature and sea ice coverage.

Key words interannual variability simulation observation