

关于大气“记忆”的大气环流 模式模拟研究*

李崇银 龙振夏

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学国家重点实验室, 北京 100080)

摘要 通过2种大气环流模式(GCM)的数值模拟,研究了大气对于赤道东太平洋海温(SST)异常外强迫的“记忆”问题。结果表明,大气对外强迫的“记忆”比传统意义的“记忆”要长得多,这是因为外强迫通过影响大气内部动力过程而激发产生了低频振荡(即大气低频遥响应),使得外强迫的影响可持续相当长的时间,大气对外强迫的“记忆”也就变得相当长。

关键词 大气环流模式数值模拟 外强迫 低频遥响应 大气“记忆”

1 引言

一系列的研究表明,可以将气候的变化粗略地分为两部分,即自然变化和外强迫源的影响。近年来,由于大气中 CO_2 含量增加所造成的全球增暖以及赤道东太平洋海温正异常(El Niño事件)对全球气候异常的重要影响,人们对外强迫影响气候变化的问题尤为关心。因此,怎样估计和在多大程度上可以较好估计外强迫的影响,也就是所谓第2类气候可预报性问题,成为需要很好研究的课题^[1]。由此,人们自然地注意到大气的“记忆”问题。

较长时间以来,人们普遍的看法是大气变化比较迅速,它贮存信息的时效很短,或者说其“记忆”非常差^[2]。这可以说是认识大气“记忆”的传统观点,而根据这种观点比较难于认识外强迫对气候的重要影响。因为气候变化的观测分析已经表明,作为外强迫的太平洋SST异常,对中国东部降水的影响可以延续相当长的时间。冬季黑潮区域的SST异常同中国东部地区夏季汛期降水有很好正相关^[3]。而El Niño事件(SST最强正异常在初冬)也同第2年夏季中国东部降水有密切关系,使长江中下游降水偏多,而使华北地区降水偏少^[4]。也就是说,作为外强迫的SST异常所激发出的大气扰动可以在较长时间内存在,并导致较长时间的气候异常。这种大气强迫响应在较长时间内的持续性,无疑与过去有关大气“记忆”很差的结论有明显矛盾。因此,关于大气“记忆”的问题尚待进一步研究。

本文将基于大气环流模式的数值模拟结果,通过分析赤道东太平洋SST异常对大气影响的时间演变,说明大气“记忆”的一定持续性。

1998-06-02收到

* 本研究得到国家“九五”攀登项目“气候动力学和气候预测理论研究”及96-908-01-01共同资助

2 模式及其数值模拟

为了节省计算时间,本文数值模拟主要采用中国科学院大气物理研究所的2层大气环流模式(IAP GCM2)。该模式虽然分辨率比较低,但参加国际模式比较及已有模拟实验都表明它有比较好的气候模拟能力^[5,6]。有关该模式的具体细节可参阅文献[7]。

为了进行比较,本文同时还用中国科学院大气物理研究所另一大气环流9层谱模式做了类似数值模拟。这个9层模式是在澳大利亚墨尔本大学大气环流模式的基础上改进发展而成的,模式细节可参阅文献[8]。

本文所讨论的对照实验是25年稳定积分中的第2年(CE);异常实验(AE)是集合实验的结果:我们选取5个不同初始场(分别为25年稳定积分中的第2年1月1日00:00时,1月2日00:00时,1月3日00:00时,1月4日00:00时及1月5日00:00时),然后在1月份赤道东太平洋具有海温异常的情况下,分别对其积分,积分时间为8个月,我们所讨论的异常实验是这5个积分的平均结果。海温异常场(SSTA)假定在赤道东太平洋有海温正距平,具体分布为:170~70°W,14°N~14°S的矩形区有0.5°C以上的SST正距平,其中170~80°W,10°N~10°S的矩形区有1.5°C以上的SST正距平,而130~90°W,6°N~6°S的矩形区有2.5°C的SST正距平。

异常实验与对照实验之差值也就是赤道东太平洋海温正异常在大气中所强迫产生的响应,分析响应场的形势及随时间的变化,我们不难看出大气对外强迫(赤道东太平洋SST异常)的响应特征,也可以显示出大气对外强迫的“记忆”性。

3 大气对外强迫响应的基本结果

同已有关于大气对赤道东太平洋SST强迫响应的数值模拟实验结果相一致^[9,10],本文实验中1月份的赤道东太平洋正SST异常同样在大气中引起了明显的遥响应,既有明显的PNA型异常,也有明显的欧亚-太平洋型(EUP)异常被激发出来(图略)。而且,在赤道东太平洋正SSTA出现后的半年期间,对流层大气环流的异常流型仍十分清楚。图1分别给出的是1月份赤道东太平洋正SST异常所激发的6、7和8月份500 hPa高度异常的月平均形势,不仅其高度异常的振幅仍有80 gpm以上,并不比1月份弱;而且大气响应场的波列形势也还清楚可见,反映了SSTA强迫所激发出的大气行星波的活动特征。

不只是500 hPa高度在6~8月份仍维持较强的异常形势,因1月份赤道东太平洋正SST异常所激发产生的异常降水直到8月份也仍有较大的数值。图2和图3分别给出了由于1月份赤道东太平洋SST正距平所引起的中国江淮流域(105~120°E, 26~34°N)平均降水量异常以及美国东部地区(100~70°W, 30~46°N)平均降水量异常的时间变化。虽然两个地区降水量异常的时间变化有各自的形式,但是它们都有两个共同的特征:其一,在1月份海温异常强迫结束半年之后的6~8月份,降水异常的数值并没有减弱的现象;其二,降水异常存在明显的正负振荡特征,尤其以低频振荡更清楚。

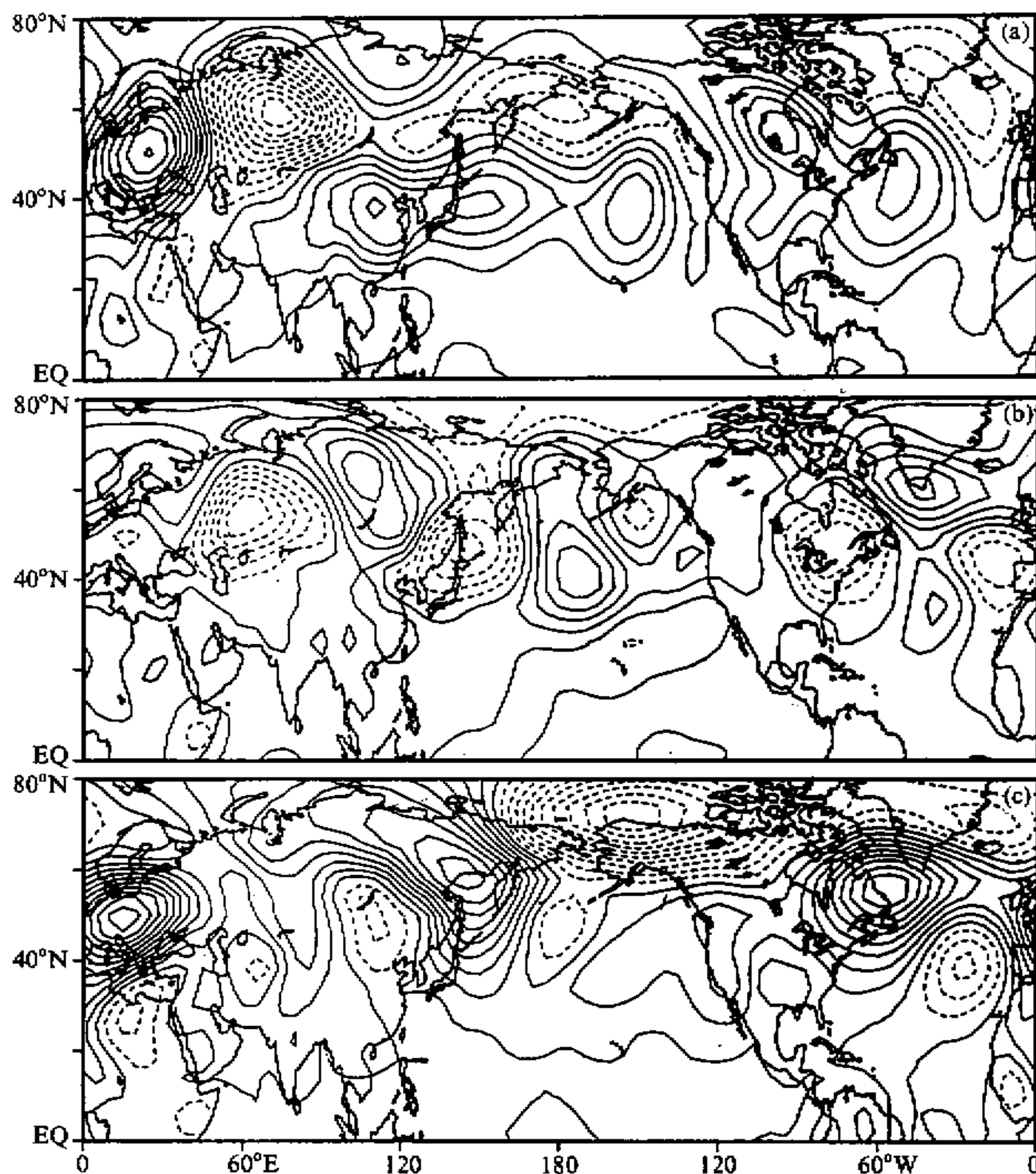


图1 1月份赤道东太平洋 SST 正异常所激发产生的 500 hPa 高度异常在 6 月 (a), 7 月 (b) 和 8 月 (c) 的平均形势
实验和虚线分别表示正异常和负异常, 等值线间隔: ± 8 gpm

上面虽然只给出了 500 hPa 高度异常和降水异常的情况, 但却代表了大气环流和气候异常的情况, 即大气环流和气候不仅对赤道东太平洋 SST 异常强迫有极为明显的遥响应; 而且这种响应可持续相当长的时间。换句话说, 大气对外强迫的“记忆”因大气内部过程的作用可以变得比较长。

4 低频响应特征

是什么原因使得大气对外强迫的“记忆”可以变得比较长呢?

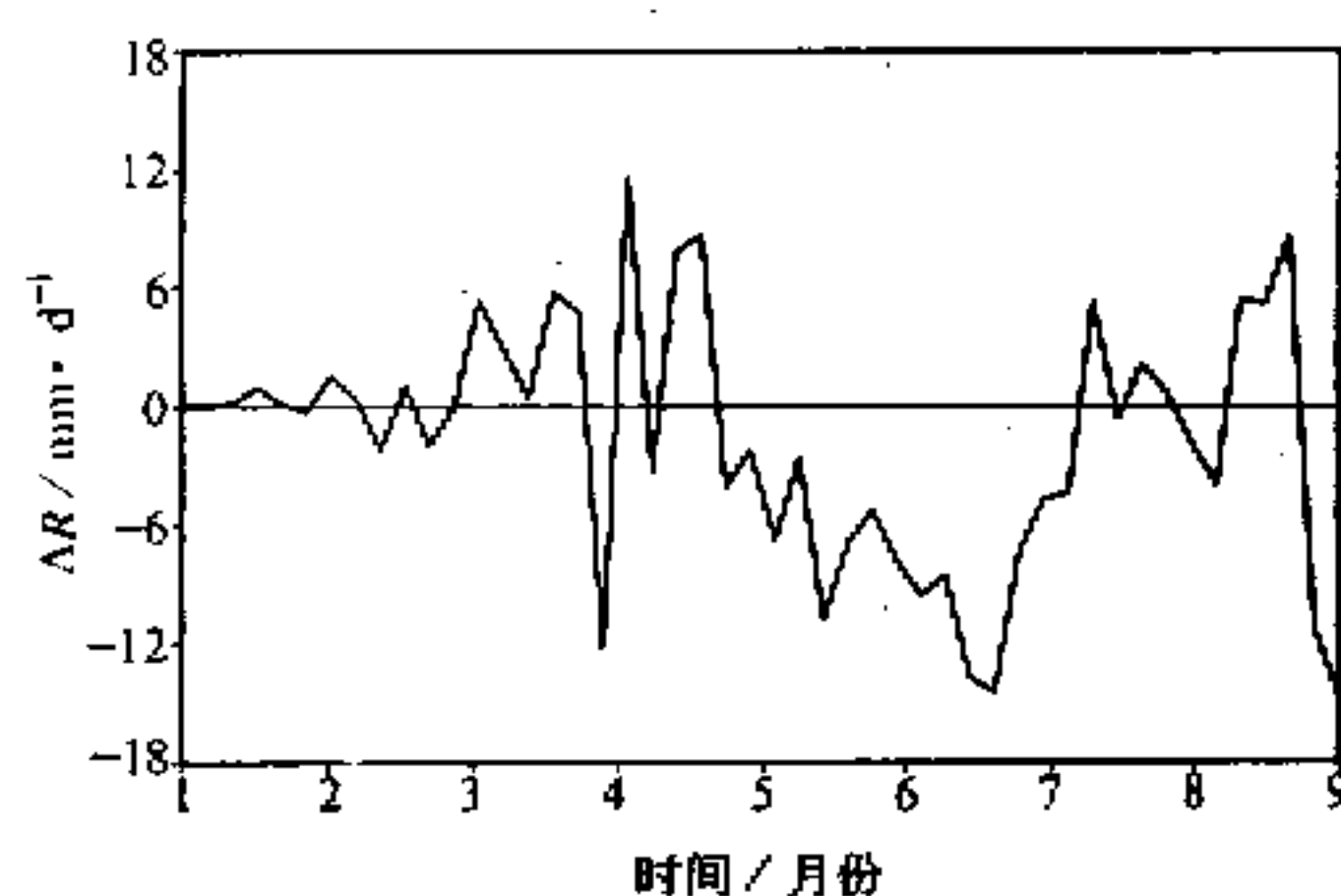


图2 1月份赤道东太平洋 SST 正异常所引起的
中国江淮流域平均降水量异常的时间变化

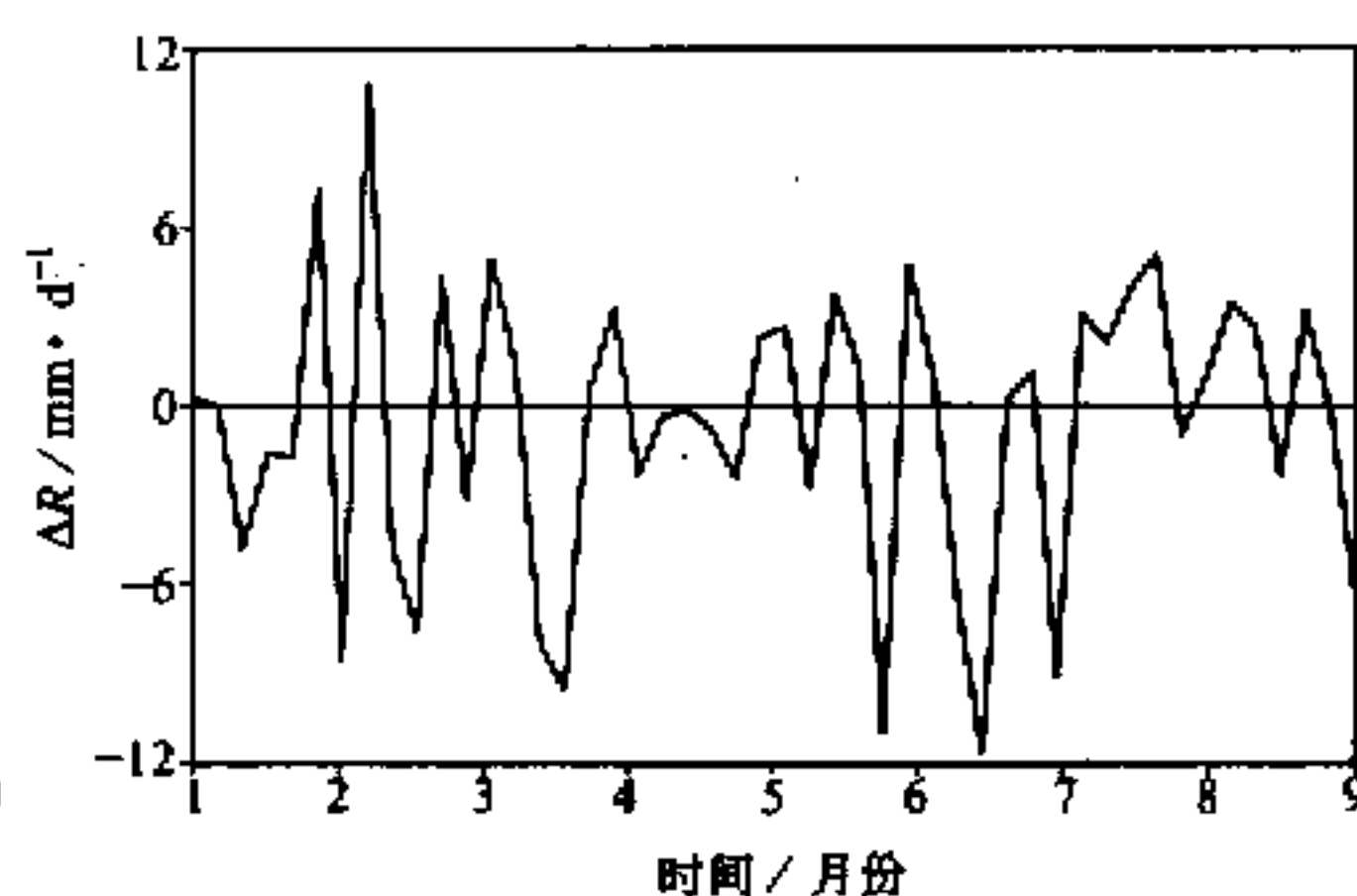


图3 同图2, 但为美国东部的情况

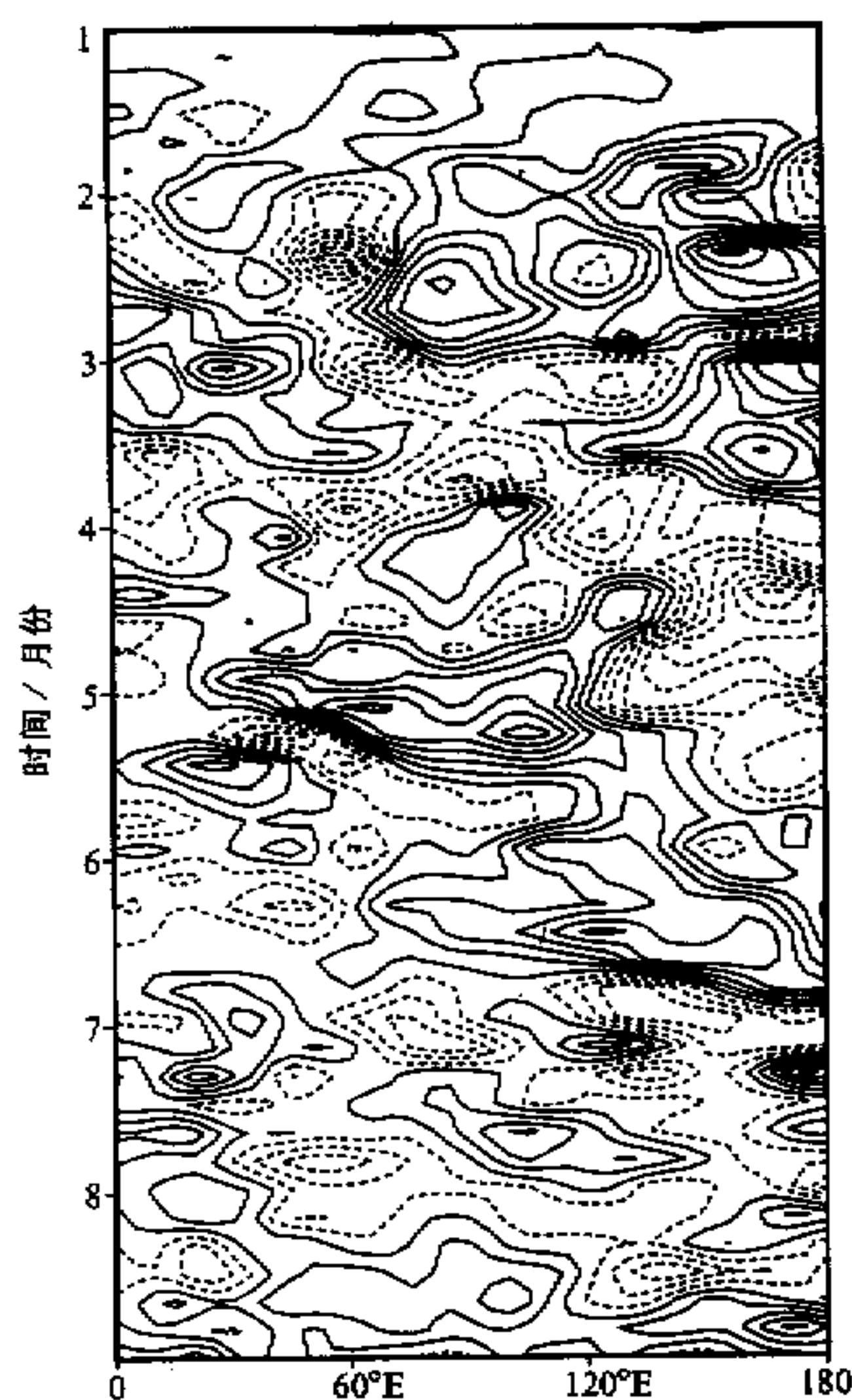


图4 1月份赤道东太平洋 SST 正距平所激发产生的
热带大气 850 hPa 纬向风异常的时间-经度剖面
实线和虚线分别表示西风和东风,
等值线间隔: 0.5 m/s

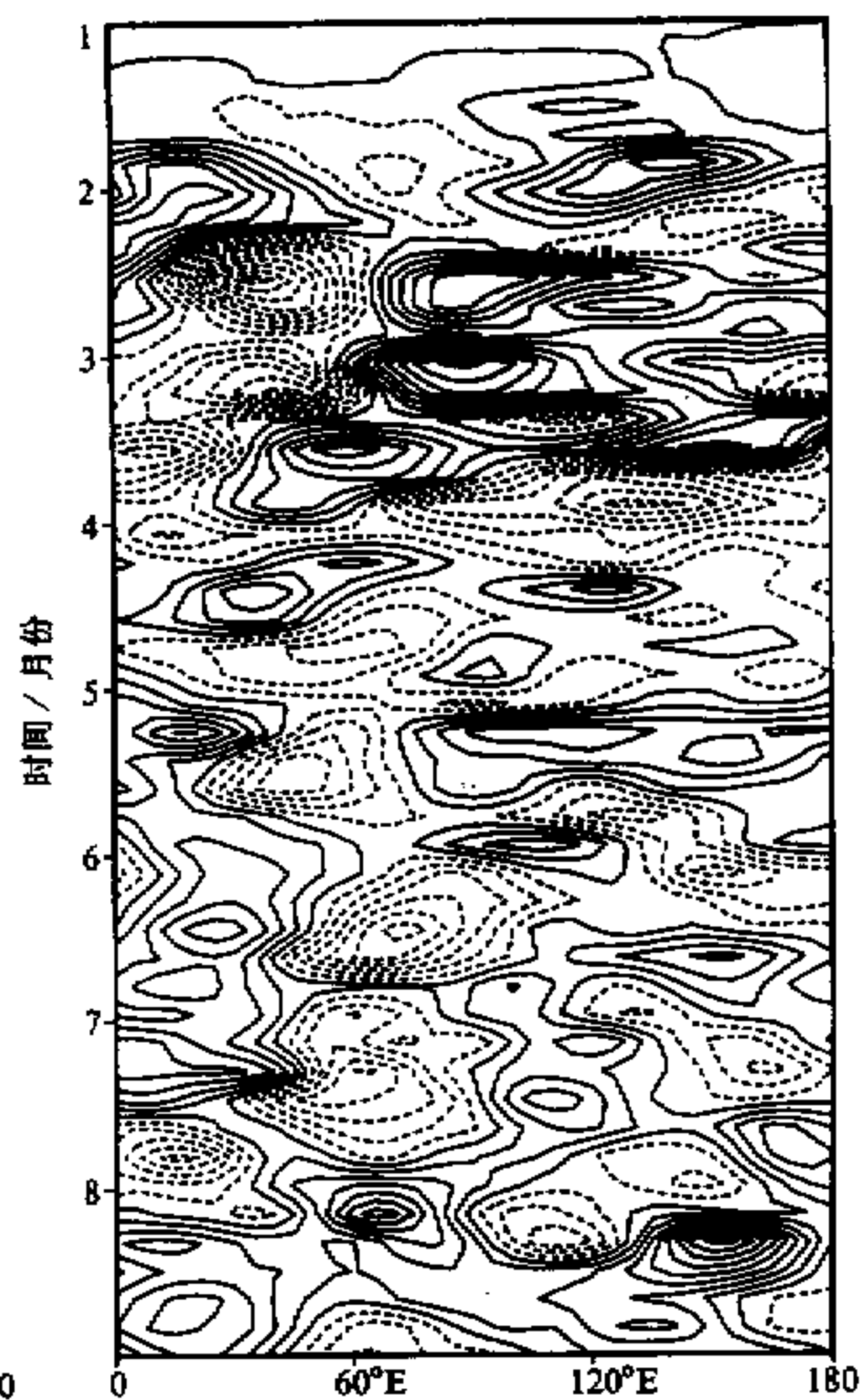


图5 1月份赤道东太平洋 SST 正距平所激发产生的
中高纬度地区平均 500 hPa 高度异常的时间-经度剖面
实线和虚线分别表示正和负高度异常,
等值线间隔: 20 gpm

在过去的研究中, 我们通过数值模拟实验已指出大气对外强迫(例如, SST 异常)的响应主要是低频遥响应^[11], 也就是说外强迫的作用通过大气内部过程主要导致大气低频模的不稳定发展, 从而使其响应主要为低频遥响应。这里我们要进一步指出:

正是大气低频振荡的被激发, 使得外强迫的影响在大气中可以比较长时间持续表现出来, 大气对外强迫的“记忆”也就相对变得比较长久。

图 4 是 1 月份赤道东太平洋 SST 正异常所激发的热带 ($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$) 大气 850 hPa 纬向风异常的时间-经度剖面。它不仅表明 850 hPa 纬向风异常的长期持续性, 而且东风和西风扰动的交替出现充分显示了热带大气异常纬向风演变的低频特征。类似地, 在中高纬度 ($50\sim 62^{\circ}\text{N}$) 地区被激发的 500 hPa 高度异常的时间-经度剖面 (图 5) 上, 我们也可以看到 1 月份赤道东太平洋 SST 正距平所激发出的 500 hPa 高度异常是持续存在的, 而且也主要表现为低频振荡的特征。

为了进一步表示大气对外强迫响应的低频特征, 图 6 给出了由于 1 月份赤道东太平洋 SST 正距平所激发的赤道西太平洋地区 ($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $110\sim 170^{\circ}\text{E}$) 平均和中高纬度亚太地区 ($50\sim 62^{\circ}\text{N}$, $60\sim 180^{\circ}\text{E}$) 平均的 850 hPa 扰动动能的时间变化。很显然, 1 月份赤道东太平洋 SST 正距平在热带和中高纬度大气中都激发出了相当强的异常扰动, 而且扰动并未随时间明显减弱; 同时, 扰动动能的演变都清楚地显示出低频振荡的特征。

5 9 层谱模式的结果

为了使数值模拟实验结果不至于是特定模式所产生的, 我们还用一个 9 层谱模式进行了类似的模拟实验, 并得到了与前几节基本相似的结果, 进一步说明由于外强迫 (例如赤道东太平洋 SST 正异常) 在大气中主要激发产生低频遥响应, 这种被激发大气低频波 (或者可称强迫低频波) 的活动使得大气对外强迫的“记忆”明显地变得比较长久。

在给出 9 层谱模式的模拟结果之前需要指出, 本文所用的 2 个大气环流模式不仅分别属于格点模式和谱模式, 而且一些物理过程的处理也有一些差别, 但是 2 个大气环流模式已表明对气候基本态都有较好的模拟能力。同时, 本文的目的是讨论大气对外强迫的“记忆”问题, 重点是看大气响应的持续性, 我们虽然要比较两个模式的结果, 但并不去比较结果的具体差异。

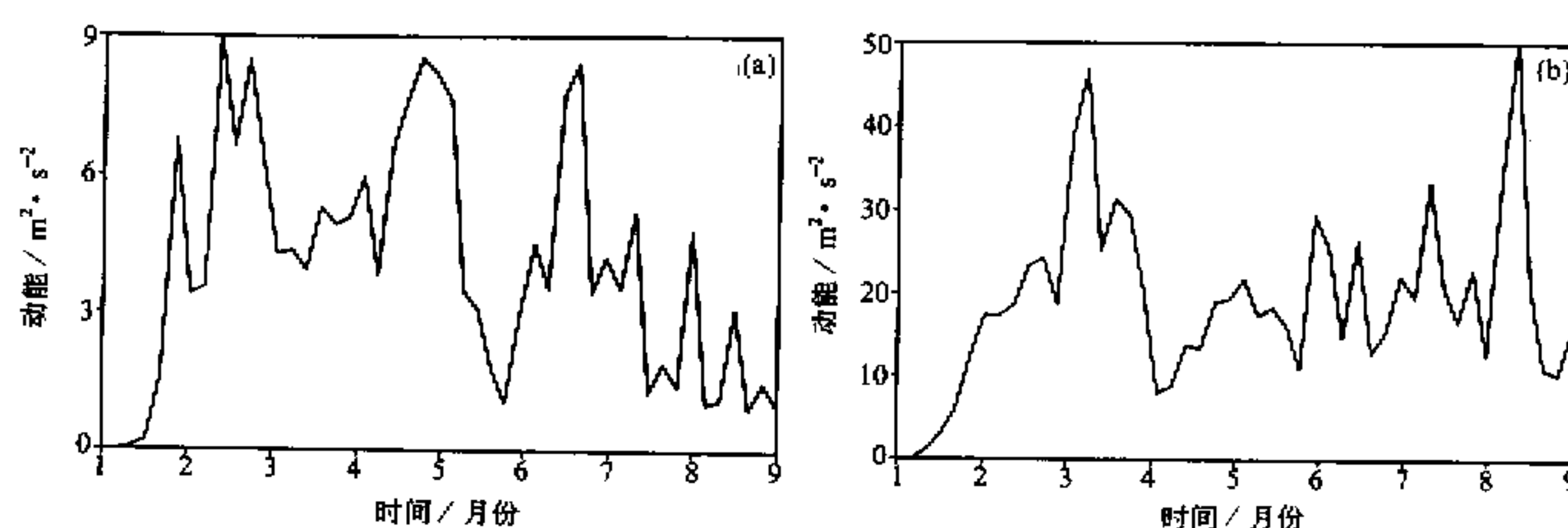


图 6 1 月份赤道东太平洋 SST 正异常所激发产生的大气扰动的动能变化
(a) 850 hPa 上赤道西太平洋地区的平均; (b) 850 hPa 上中高纬度亚太地区的平均

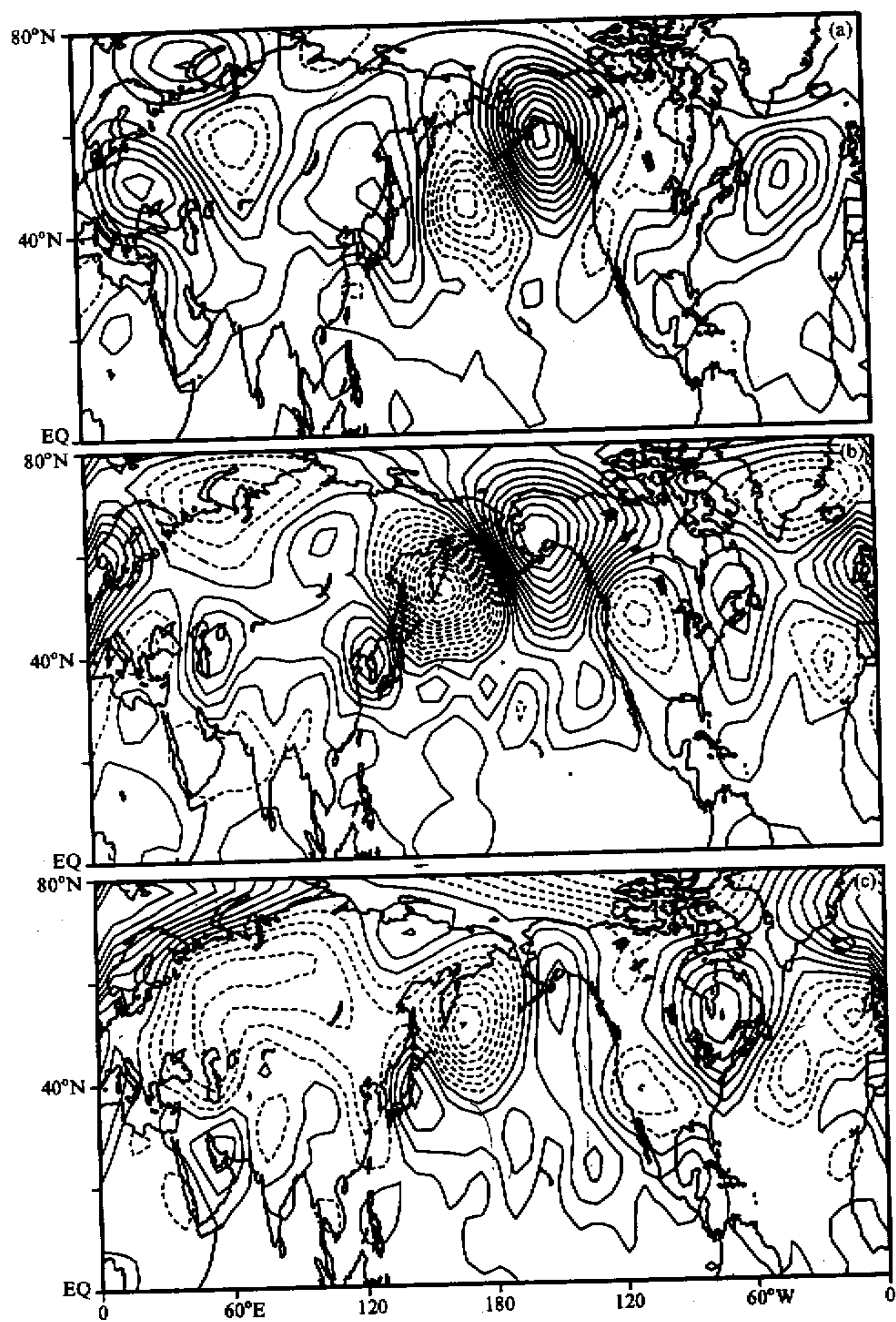


图7 同图1, 但为9层谱模式的结果
等值线间隔: 10 gpm

图 7 是 1 月份赤道东太平洋 SST 正距平在 9 层谱模式中所激发出的 6~8 月份的 500 hPa 高度异常的分布形势。我们首先可以看到在 8 月份, 500 hPa 高度异常的强度仍是比较大的(振幅超过 80 gpm, 同样表明大气对外强迫的“记忆”的持续性。如果将图 7 与图 1 进行比较不难发现两者间的类似处明显多于不同之处, 特别是在 7 月和 8 月的平均图上, 例如在日本到堪察加半岛地区都有明显的负异常, 在阿留申地区都有正异常, 在西太平洋到亚洲东部地区都有大片正异常, 而在黑海到新地岛一带都有负异常区等等。因此, 不同的大气环流模式基本上可以模拟出 1 月份赤道东太平洋 SST 正距平在大气中激发出的异常形势, 而且都表明大气对这种外强迫有较长时间的“记忆”。

在 9 层谱模式的模拟结果中, 大气对赤道东太平洋 SST 正异常的响应也同样主要为低频遥响应。为节省篇幅这里我们仅给出热带地区 850 hPa 纬向风异常的时间-经度剖面(图 8), 它不仅清楚地表明异常风场的持续性, 而且更为重要的是这种异常风场演变的低频特征。如果与图 4 进行比较, 虽然其演变并非完全一致, 但一些主要的强异常还是有其一致性的。例如, 在 3 月份都有西风异常出现; 5 月初在 60~150°E 地区有强西风异常出现; 7 月和 8 月初在 0~60°E 和赤道西太平洋地区都有西风异常出现等等。

6 结语

本文用 2 个对气候及变化有一定模拟能力的大气环流模式(分别为 2 层格点模式和 9 层谱模式)模拟研究了大气对 1 月份赤道东太平洋 SST 正异常的响应及其演变, 其结果表明两个模式都能很好地模拟出大气响应的特征, 而且大气响应场有大致相似的基本形势。

两个模式的结果表明, 大气对 1 月份赤道东太平洋 SST 正异常的响应都能持续较长的时间, 直到 8 月份响应场的强度仍然很强。这意味着大气对强迫(如 SST 异常)的“记忆”可以比较长, 与经典意义的“记忆”要长久得多。

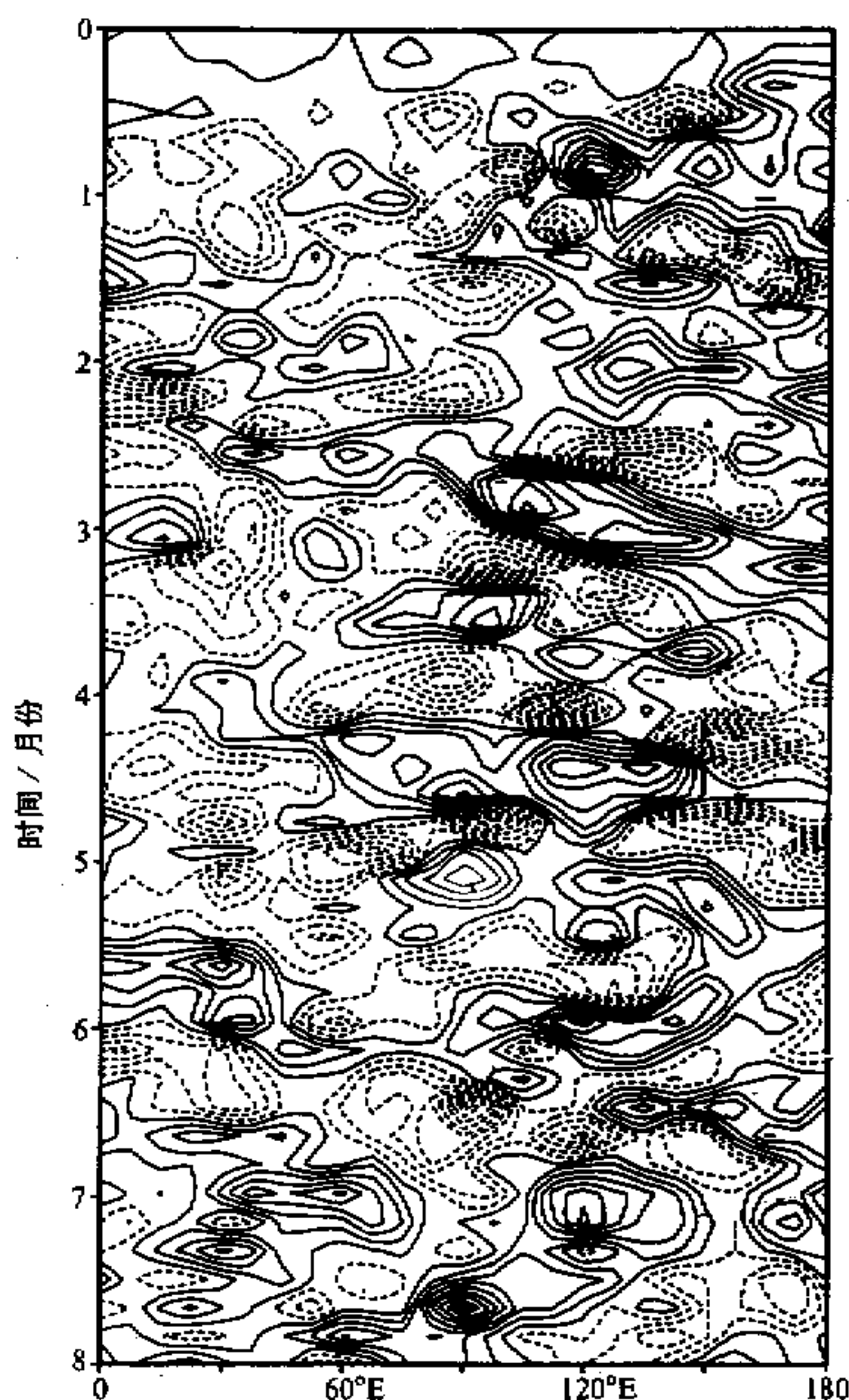


图 8 同图 4, 但为 9 层谱模式的结果
等值线间隔: 1.2 m/s

响应场演变分析表明, 大气对外强迫“记忆”的持续同低频响应的存在有密切关系。也就是说, 外源强迫激发出大气低频振荡是大气对外强迫“记忆”增长的根本原因。它实质上也可以说是外强迫与大气内部动力过程相互作用的结果。

参 考 文 献

- 1 李崇银, 1995, 气候动力学引论, 北京: 气象出版社.
- 2 叶笃正、曾庆存、郭裕福等, 1991, 当代气候研究, 北京: 气象出版社.
- 3 大气物理研究所所长长期天气预报组, 1978, 冬季太平洋海水温度异常时我国汛期降水的影响, 中国科学院大气物理研究所集刊, 第6号, 北京: 科学出版社, 1~12.
- 4 赵振国, 1996, 厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响, 大气科学, 20, 422~428.
- 5 Sperber, K. R. and T. N. Palmer, 1995, Interannual tropical rainfall variability in general circulation model simulation associated with the atmospheric model intercomparison project, *PCMDI Report*, No.28, UCRL~IK-121725.
- 6 Wang Huijun, 1997, On the modeling study of monsoon, *Acta Meteor. Sin.*, 11, 119~128.
- 7 Zeng Qingcun, et al., 1989, *Documentation of IAP Two-Level Atmospheric General Circulation Model*, TRO-44, DOE/ER/6034-HI, United States Department of Energy.
- 8 Wu Guoxiong, Liu Hui, et al., 1996, A nine-layer atmospheric general circulation model and its performance, *Adv. Atmos. Sci.*, 13, 1~18.
- 9 Shukla, J., Wallace, J. M., 1983, Numerical simulation of the atmospheric response to Pacific sea surface temperature anomalies, *J. Atmos. Sci.*, 40, 1613~1630.
- 10 Li Chongyin, Long Zhenxia and Xiao Ziniu, 1993, On low-frequency remote responses in the atmosphere to external forcings and their influences on climate, *Climate Variability*, China Meteorological Press, Beijing, 177~190.
- 11 李崇银、肖子牛, 1991, 赤道东太平洋增暖对全球大气30~60天振荡的激发, 科学通报, 36, 1157~1160.

AGCM Numerical Simulation on Atmospheric Memory

Li Chongyin and Long Zhenxia

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Science and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Based on numerical simulation, two AGCMs are employed to study atmospheric memory for sea surface temperature anomalies over eastern equatorial Pacific. The results show that atmospheric memory for external forcing is longer than expected. The mechanism is that, low-frequency oscillation (atmospheric low-frequency remote response) excited by the external forcing through atmospheric internal dynamic process prolongs the effect of external forcing, therefore, the atmospheric memory becomes longer.

Key words AGCM numerical simulation external forcing low-frequency remote response
atmospheric memory