第 19 卷第 3 期
1996 年 9 月

南 京 气 象 学 院 学 报
Journal of Nanjing Institute of Meteorology

Vol. 19 No. 3
Sep. 1996

“六月突变”前后大气环流对太平洋海温异常响应的数值试验*

王在志[1)]　　王盘兴[1)]　　袁重光[2)]

(1) 南京气象学院气象学系, 南京　210044, 2) 中国科学院大气物理研究所, 北京　100080)

摘　要　采用中国科学院大气物理研究所大气环流模式(IAP GCM)的持续积分方案, 模拟了 4、5、6 三个月大气环流对正常、异常海温强迫的响应。结果表明, 持续积分结果较通常积分结果约提前一个月, 其余特点保持不变。因此, 提出了利用 GCM 制作月预报的可能途径。

关键词　环流异常, 数值试验, 月预报

分类号　P434

长期天气过程的主要特点是它的非绝热性。在满足一定条件的外部异常热力强迫作用下, 长期天气过程将发生异常[1]。El Niño 事件就是满足条件的异常热力强迫[2,3], 利用大气环流模式(GCM)所作的大量数值试验已证实这一结论[4]。

我国气象学家所作的大量诊断分析[5]表明, 与 El Niño 事件相伴随的热带太平洋海表温度(*SST*)异常, 可以引起西太平洋副高季节性北进过程的异常, 从而导致“六月突变”前后东亚夏季风进程的异常。本文采用 IAP GCM 的持续积分方案, 对气候 *SST* 及 El Niño(反 El Niño)型 *SST* 异常作了数值试验。结果表明, IAP GCM 的模式大气也存在约一个月的热力响应滞后; 因而提出, IAP GCM 的持续积分方案有提供月预报的可能。

1　持续积分方案

通常情况下 IAP GCM 的数值试验(以 O 标记)表明, 它在模拟东亚季风区环流“六月突变”、东亚季风季节进程等方面是成功的[6,7]。因此, 可以选择该模式对这类问题作进一步研究。与通常试验方案(O 方案)不同, 采用持续积分方案(N 方案), 在积分过程中保持了历日和下界面条件不变, 这比较有利于仔细考察特定季节下界面热力强迫异常与环流异常的关系。我们的兴趣在研究“六月突变”前后, 东亚、西太平洋区域环流对太平洋 *SST* 异常的响应。为此, 需要在新方案的控制试验(记为 NC)中选择适当的历日, 以便得到与原方案控制试验(记为 OC)中 5、6、7 月相似的环流。试验表明, 将历日取为 4.15、5.16、6.15 是合适的, 这意味着 t_m 月 NC 试验(记为 NC_{t_m})得到的月平均模式大气环流相似于 t_{m+1} 月的 OC 试验(记为 $OC_{t_{m+1}}$)月平均模式大气环流。

对每一个历日(它代表一个月, 如 5.15 代表 5 月), 作一组数值试验。每组试验包含一个控

* 受 LASG 和国家自然科学基金资助

收稿日期: 1995-10-12; 改回日期: 1996-01-20

制试验(记为 NC_{t_m})和两个 SST 异常试验(对应 El Niño 型 SST 异常的试验记为 NS_{t_m+},反 El Niño 型 SST 异常的试验记为 NS_{t_m-})。控制试验以已完成的数值试验[8]中第 24 年相应历日的瞬时场为初始场,在历日所在月多年平均 SST 下积分 90 天,取最后 30 天平均为 NC_{t_m} 的试验结果。NS_{t_m+}、NS_{t_m-} 试验均以 NC_{t_m} 第 90 天 24 时的积分结果为初始场,在统计典型的 El Niño、反 El Niño 型 SST 异常(仅限于 37.5°S ~ 37.5°N、122.5°E~32.5°W 的太平洋区域)下积分 90 天,然后取最后 30 天平均。

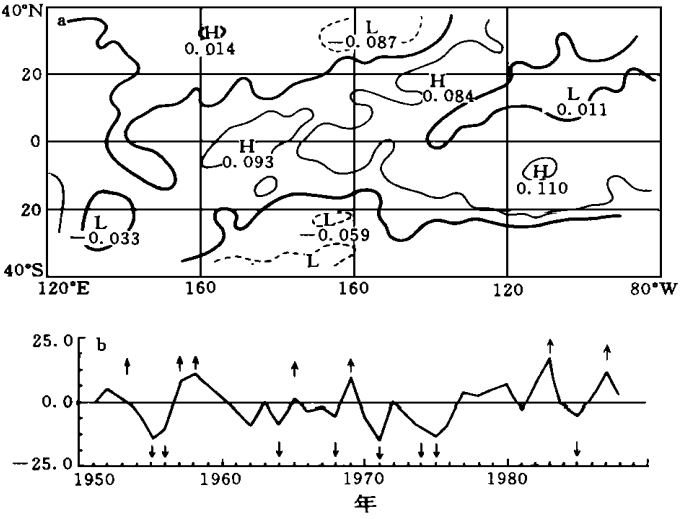

图 1 太平洋区域 5 月 SST 标准化距平场 EOF 分析的第一特征向量(a)及其时间系数曲线(b)

箭头↑、↓分别表示 El Niño、反 El Niño 年[9]

Fig. 1 The first eigenvector (a) and its time coefficient curve (b) of the EOF-analyzed normalized Pacific $SSTA$ of May

Up-and downward arrows denote the year of El Niño and La Nina, respectively

根据大气所整编的 1951 年 1 月~1988 年 10 月全球月平均 SST,求得 $\overline{SST_{t_m}}$ 为 t_m 月的 SST 多年平均值。$SSTA_{t_m+}$ ($SSTA_{t_m-}$) 是 t_m 月统计典型的 El Niño(反 El Niño) 型 SST 距平分布,其确定借助于 t_m 月 SST 标准化距平场时间序列的 EOF 分析。图 1 给出了 5 月的 EOF 分析第一特征向量及其时间系数曲线,它拟合了总方差的 13.2%。$SSTA_{5+}$ ($SSTA_{5-}$) 由第一特征向量乘时间系数极大值(极小值)及均方差值得到。各月第一特征向量时间系数极大、极小值及出现年份如表 1 所示。由图 1 知,5 月第一特征向量给出了 El Niño 年 5 月 SST 距平的典型分布型;而由表 1 知,$SSTA_{5+}$、$SSTA_{5-}$ 是最强 El Niño 年(1983)、反 El Niño 年(1955) SST 距平分布的近似。

表 1 第一特征向量时间系数最大(小)值出现年份和 El Niño(反 El Niño)事件强度[9]

Table 1 Years of maxima and minima of time coefficients for first eigenvector, and intensity of El Niño and La Nina events

月(t_m)	最大值	年	El Niño 强度	最小值	年	反 El Niño 强度
4	17.5	1983	最强	-17.4	1955	最强
5	19.3	1983	最强	-15.1	1955	最强
6	16.2	1983	最强	-15.1	1975	中等

2 控制试验结果分析

实际大气的季节变化比较天文季节变化(由地球绕太阳公转或历日变化决定)滞后约一个月,这被解释为地气系统对太阳短波辐射加热响应的滞后[10]。O 试验模拟了这一过程,因而也包含了热力响应滞后。在本文采用的 N 试验中,地球在其绕日公转的某一位置上有充分的时间与外界热力强迫达成近似的适应,所以热力响应滞后应当消失。我们通过比较IAP GCM 通

常控制试验(OC)和持续积分控制试验(NC)的结果,对此加以论证。OC 试验结果采用了大气所模式的 25 年积分结果平均。主要对月平均海平面气压场进行比较。

图 2a 给出了 5 月 NC 试验的月平均海平面气压场, 2b、2c 给出了 OC 试验的 5、6 月多年平均海平面气压场, 它们分别被记为 NC_5、OC_5、OC_6, 问题是 NC_5 与 OC_5、OC_6 中的哪一个更相似? 从天气学角度对亚洲、太平洋地区主要系统作了比较(见表 2), 可见 NC_5 与 OC_6 非常接近, 而与 OC_5 有明显差别。类似的分析得到 NC_4、NC_6 相似于 OC_5、OC_7 而异于 OC_4、OC_6。

用局地型相似系数(LPAC)图可以比较环流形势相似程度的地理分布[1]。LPAC 图上某点的值给出了以该点为中心的经纬网矩形区域上被比较的两个场的相似程度; 当值近于 1.0 时, 表示该点附近环流形势很相似, 而当值明显低于 1.0 时, 环流形势差异较大。对 NC_{t_m} 试验的全球海平面气压场, 计算了它与 OC_{t_m} 和 $OC_{t_{m+1}}$ 的 LPAC 图, 计算采用的经纬网矩形区域大小为 $D\varphi \times D\lambda = 32° \times 50°$, 格距为 $\Delta\varphi \times \Delta\lambda = 4° \times 5°$。图 3 给出了 $t_m = 5$ 月的两张 LPAC 图, 可以明显看出, NC_5 与 OC_6 的相似明显高于 NC_5 与 OC_5 的相似(印尼东北局部区域例外)。对 $t_m = 4$、6 月的类似计算也得出相同的结果(图略)。

另外, 根据通常的区域环流相似系数计算方法, 计算了北半球及东亚-西太平洋区域海平面气压场的 NC_{t_m}-OC_{t_m} 及 NC_{t_m}-$OC_{t_{m+1}}$ 的相似系数(表 3)。结果表明, 除 4 月东亚-西太平洋两种相似接近外, 海平面气压场的相似程度 NC_{t_m}-$OC_{t_{m+1}}$ 均高于 NC_{t_m}-OC_{t_m}。

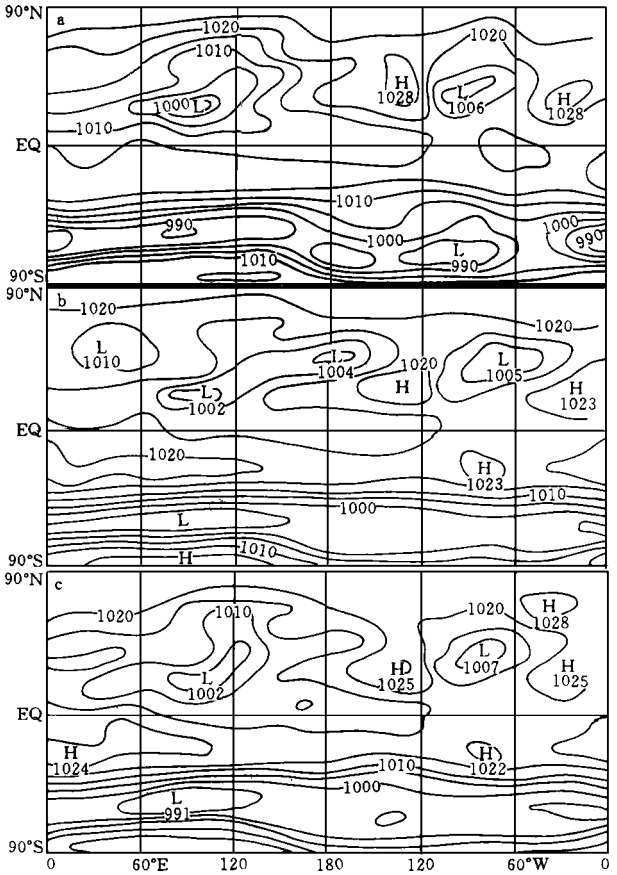

图 2　海平面气压场

等值线间隔 5 hPa

a. NC_5;　b. OC_5;　c. OC_6

Fig. 2　Sea-level pressure pattern for NC_5(a), OC_5(b) and OC_6(c). Contour spacing is 5 hPa

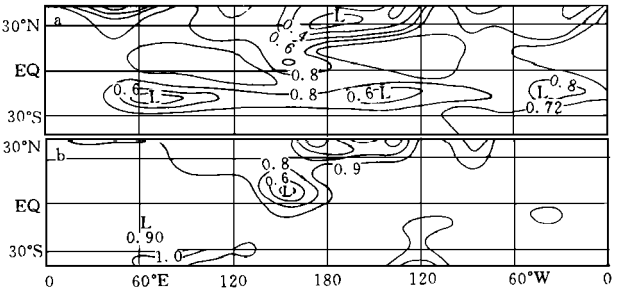

图 3　海平面气压场的局地型相似系数图

等值线间隔 5 hPa

a. NC_5-OC_5;　b. NC_5-OC_6

Fig. 3　Diagram of analogue coefficients for sea-level pressure patterns locally for NC_5-OC_5(a) and NC_5-OC_5(b)

表 2 NC_5 与 OC_5、OC_6 海平面气压场的比较

Table 2 Comparison of the sea-level pressure of NC_5 to those of OC_5 and OC_6

系统	项目	NC_5	OC_5	OC_6	结论
太平洋副高	150°E 脊位置	30°N	20°N	26°N	NC_5 相似 OC_6
	中心强度	1 028 hPa	< 1 025 hPa	1025 hPa	
阿留申低压	中心位置	无	170°W, 48°N	无	NC_5 相似 OC_6
	强 度		1 004 hPa		
亚洲季风低压	中心位置	100°E, 27°N	105°E, 23°N	105°E, 27°N	NC_5 相似 OC_6
	强 度	993 hPa	1 002 hPa	993 hPa	
亚洲大陆高压	中心位置	无	90°E, 35°N	无	NC_5 相似 OC_6
	强 度		1 019 hPa		

表 3 区域海平面气压场相似系数

Table 3 Analogue coefficients of sea-level pressure patterns on a regional basis

比较对象	北半球			东亚-西太平洋		
	4 月	5 月	6 月	4 月	5 月	6 月
NC_{t_m}-OC_{t_m}	0.753	0.678	0.671	0.817	0.606	0.604
NC_{t_m}-$OC_{t_{m+1}}$	0.839	0.931	0.861	0.777	0.883	0.804

综上,我们从天气学及统计学角度对两种控制试验方案的“六月突变”前后的月平均海平面气压的关系作了较充分的比较。结果表明,采用 N 方案,其 t_m 月的积分结果,与滞后一个月的 O 方案积分结果相似。我们的分析虽仅对海平面气压场进行,但由于模式大气环流的内在统一性,这一结论可以推广到该季节其他环流分量,例如 400、850 hPa 风场,月降水场等。如文献[6,7]所述,IAP GCM 的通常控制试验(OC)很好模拟了“六月突变”前后的东亚夏季风活动的主要特征。故持续积分控制试验(NC)也能模拟“六月突变”前后的这一过程,差异只在超前 OC 一个月。

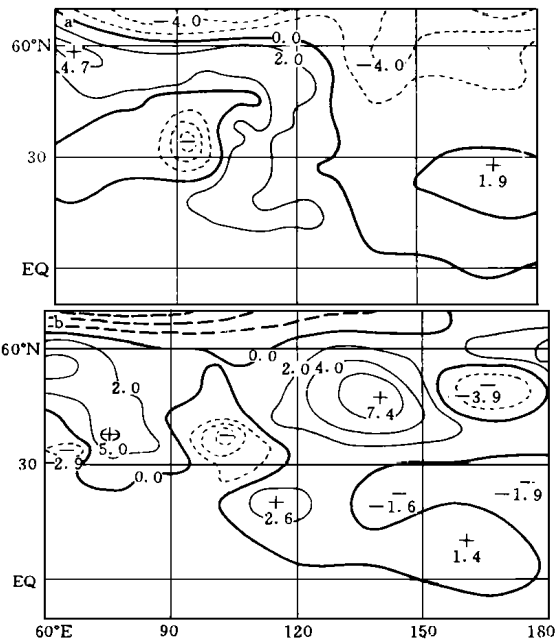

图 4 海平面气压场异常

等值线间隔: 2 hPa

a. NS_{5+}; b. NS_{5-}

Fig. 4 Anomalies of sea-level pressure for NS_{5+} (a) and NS_{5-} (b), contoured at 2 hPa

3 异常试验结果分析

对持续积分方案的两种 *SST* 异常试验(NS+、NS-),我们仅给出了 5 月亚洲-太平洋西部(10°S～70°N, 60°E～180°)两种试验的月平均海平面气压异常图(图 4),且主要分析 100°E 以东的环流异常(IAP GCM 对印度季风模拟结果不如东亚季风模拟的好[2])。由图 4a, El Niño 年图 2a 的环流(NC_5)将出现如下主要异常: 1) 亚洲季风低压(中心位于 100°E,

27 N; 强度为 993 hPa) 势力减弱; 2) 西太平洋副高脊偏南、东退; 3) 鄂海为弱的负变压区。这些特征均表明东亚–西太平洋区域环流向盛夏型转变发生了滞后。图 4b 给出的反 El Niño 年的环流异常表明: 1) 亚洲季风低压较 正常年(NC_5, 图 2a) 加强、北进; 2) 西太平洋副高脊偏北、西进; 3) 鄂海海平面气压明显加强。表明反 El Niño 年东亚–西太平洋区域环流向盛夏型转变的进程提前。这一结果与文献 [2] 对 IAP GCM 模式大气在通常情况下的类似试验(即 OS_6) 中出现的异常一致, 与观测结果也相当接近。

4 讨　论

综上, 就 “六月突变”前后东亚–西太平洋区域环流的季节进程及其在 El Niño(反 El Niño) 年的异常而言, 我们分析了月平均海平面气压场的情况, 所得结果与通常试验及观测结果均相当接近。注意到持续积分方案的控制试验和海表温度异常试验中使用的是 t_m 月的多年平均 SST 场及个别年份的 SST 异常场, 而得到的是该年 t_{m+1}月的异常环流。这样, 在一定条件下 (例如本文的例子) , 利用 GCM 的持续积分方案, 可能能够提供某些地区、季节的一个月的预报。因为, 原则上我们能够在 t_m 月底得到 t_m 月的 SST 异常场。而 GCM 的通常积分方案却不可能得到这样的预报, 除非通过其他方法预报出 t_{m+1}月的 SST 异常场。

参　考　文　献

1 Sawyer J S. Notes on the possible physical causes of long-term weather anomalies. WMO Technical Note, 1964, (66): 227～248

2 Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. Mon Wea Rev, 1969, 97: 163～172

3 符淙斌. 埃尔尼诺/南方涛动现象与年际气候变化. 大气科学, 1987, 11(2): 209～220

4 杨修群. 近年来国外气候动力学过程若干问题数值模拟研究进展. 气象科技, 1991, 3: 1～10

5 余志豪, 蒋全荣. 厄尔尼诺, 反厄尔尼诺和南方涛动. 南京: 南京大学出版社, 1994

6 Yuan Chongguang. A simulation of East Asia monsoon by using IAP 2L GCM. Annual Report of LASG, 1987. 232～265

7 曾庆存, 梁信忠, 张明华. 季风和大气环流季节突变的数值模拟. 大气科学(特刊), 1988, 22～42

8 薛　峰. IAP GCM 气候模拟的统计分析与模式效能研究: [博士论文]. 北京: 大气物理研究所, 1992

9 ENSO 监测小组. 厄尔尼诺事件的划分标准和指数. 气象, 1989, 15(3): 37～38

10 黄建平. 理论气候模式. 北京: 气象出版社, 1992

11 Wang Panxing. A map of local pattern anologue coefficent——a tool for displaying circulation anomaly. AMS, 1992, 6(2): 326～331

12 Wang Panxing, Lau K M, Shen S H. Anomalies of the background circulation of the IAP GCM model atmosphere in an El Niño year. AMS, 1991, 5(5): 608～616

NUMERICAL STUDY ON RESPONSE OF ATMOSPHERIC CIRCULATIONS TO PACIFIC SSTA AROUND THEIR "JUNE ABRUPT CHANGE"

Wang Zaizhi Wang Panxing
(Department of Meteorology, NIM, Nanjing 210044)
Yuan Chongguang
(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract Response of April–June atmospheric circulations to normal and anomalous *SST* forcing has been investigated in terms of the perpetual integration of the General Circulation Model developed by Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica (IAP GCM). Evidence suggests that the perpetual run will offer a forecast one month earlier as compared to usual integration schemes without losing accuracy, thus presenting a possible approach to monthly prediction based on the GCM.

Keywords circulation anomaly, numerical experiment, monthly forecasting