

大气对外强迫低频遥响应的数值模拟

II: 对欧亚中高纬“寒潮”异常的响应*

李崇银 肖子牛

(LASG, 中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

本文通过用 IAP GCM 所作的数值模拟研究了欧亚大陆中高纬度地区的外强迫在全球大气中激发的响应。结果清楚表明, 同赤道地区的热源强迫一样, 中高纬度地区的外强迫也可以在全球大气中产生低频遥响应; 通过低频波列 EAP, 欧亚大陆中高纬度地区的寒潮异常可以对赤道中西太平洋地区的大气运动及全球大气环流有重要影响。对 30—60 天振荡的强迫激发来讲, 地球大气的气候基本态是极为重要的, 热带大气对于全球大气的低频振荡活动具有尤为突出的作用。

关键词: 外强迫; 寒潮; 低频遥响应; 气候基本态。

一、前 言

为了搞清热带大气 30—60 天低频振荡的实质, 人们对其动力学机制进行了深入的研究。作者之一针对南亚季风 30—60 天振荡的缓慢向北传播特征, 最先将第二类条件不稳定(CISK)机制引入到热带大气 30—60 天振荡的动力学研究中^[1]。其后, K. M. Lau 等提出的可称为 CISK-Kelvin 波的理论, 较好地解释了热带大气 30—60 天振荡的缓慢东传^[2-4]; 而李崇银^[5]及刘式适等^[6]提出和研究的 CISK-Rossby 波理论还解释了热带大气 30—60 天振荡的西传和能量频散特征。这样, 积云对流反馈激发产生热带大气 30—60 天振荡已被视为一种重要的动力学机制。

在本文的第一部分^[7], 我们用 IAP GCM 模式模拟研究了大气对赤道东太平洋暖海温异常的响应, 结果发现, 这种响应是一种低频遥响应, 其时间演变存在着极明显的 30—60 天周期。带通滤波结果表明大气响应主要由 30—60 天振荡的低频成分组成。同时还指出, 赤道东太平洋异常热源激发的扰动通过二维 Rossby 波列, 沿 PNA 和 EAP 路径传到中高纬度地区, 激发起那里强烈的 30—60 天振荡。

一个自然而又非常重要的问题是, 一个加在中高纬度地区的强迫源是否也能在全球大气中激发产生 30—60 天低频响应呢? 中高纬度地区的强迫主要以什么样的方式对热带大气及全球大气产生影响呢?

本文将对一个加在欧亚大陆中高纬度地区的异常“寒潮”形势进行数值模拟, 从而研

1991年5月6日收到, 9月30日收到修改稿。

* 本研究得到国家自然科学基金部分资助。

究中高纬度地区外强迫所激发的大气遥响应的性质和活动. 试验结果表明, 同赤道东太平洋的异常加热强迫类似, 中高纬度地区的外强迫同样可以在大气中激发出低频遥响应. 低频遥响应的进一步分析还将指出大气对外强迫响应的其他重要特性.

二、数值模拟及资料处理

数值模拟试验仍采用大气物理研究所的两层斜压模式(IAP GCM), 模式介绍请参见有关专门文章.

这里同样有两个试验, 即控制试验和扰动试验. 为了能同第一部分的结果比较, 其控制试验仍用 IAP GCM 稳定积分三年后第四年的模拟输出结果, 记为 FC 场. 扰动试验是在数值积分开始时将欧亚大陆中高纬度地区 12 月的地面气压场及温度场叠加上一个异常强迫场, 其气压和温度异常场如图 1 所示. 试验中异常强迫场共保持 20 天, 即在数值积分过程中其 $T_s = T_s + \Delta T_s$, $p_s = p_s + \Delta p_s$. 20 天之后, 地面气压场和温度场将不再有异常强迫. 整个扰动试验共积分 6 个月, 其结果记为 FCW . 这个扰动试验在一定程度上反映了一个异常强的“寒潮”形势, 其结果也可以说明冷空气活动异常对大气环流的一定影响.

把扰动试验的积分结果与控制试验的积分结果之差记为 ΔFCW , 那么可将 $\Delta FCW = FCW - FC$ 视为大气对中高纬度地区外强迫的响应. 我们将主要分析每 5 天或每 3 天的平均结果, 以讨论这种响应的活动及性质.

为了考查响应场中大气低频(30—60 天)振荡的重要性及其活动特征, 我们同样对 ΔFCW 场进行递归带通滤波处理. 带通滤波器的频率响应曲线同文献[7], 其滤波结果仅保留了 30—60 天大气振荡.

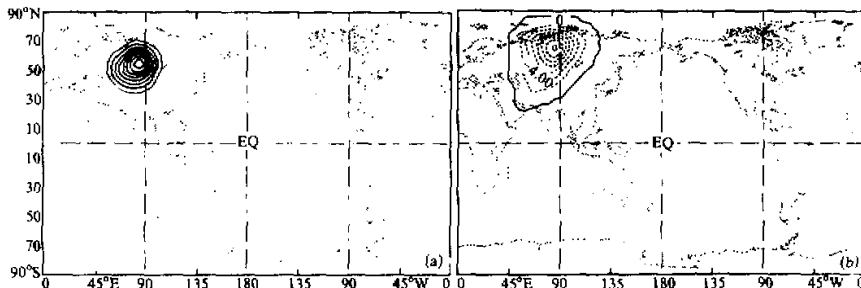


图 1 欧亚大陆中高纬度地区的强迫场形势

(a) 地面气压异常场(曲线间隔为 2hPa); (b) 地面气温异常场(曲线间隔为 -2°C).

三、大气对中高纬度强迫响应的低频特性

在本研究的第一部分中已极为清楚地表明, 大气对赤道东太平洋异常海温增高的强迫响应主要为低频遥响应, 强迫响应场既有 30—60 天的准周期变化, 还存在明显的低频波列特征. 这里, 我们将分析大气对欧亚大陆中高纬度地区“寒潮”异常的强迫响应情

况.

基于资料分析我们已经指出，寒潮活动可以把中高纬度地区的扰动能量以 30 — 50 天振荡形式沿 EAP 波列传输到中西太平洋热带地区，从而激发产生热带大气 30 — 60 天振荡^[8]，数值模拟结果是否同资料分析相一致呢？

分析 ΔFCW 响应场可以清楚看到，位于欧亚大陆中高纬度地区的强迫扰动有沿着 EAP 波列逐渐传到中西太平洋热带地区的特征，其后，在日更线附近的热带地区所激发的响应主要有向东北方向“反射”到中高纬度地区的现象，而且在日更线附近过赤道在南半球也激发出遥响应。

图 2 给出了第 1 和第 5 个 5 天平均的 500hPa 位势高度响应分布，很明显，在北半

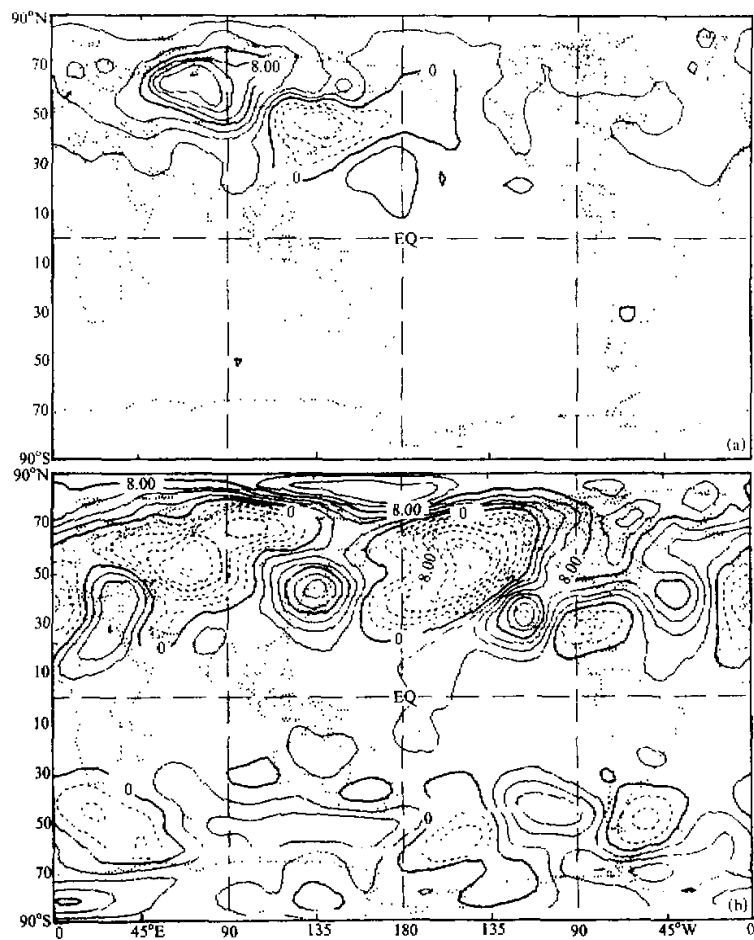


图 2 500hPa 位势高度响应场
(a) 第 1 个 5 天平均形势， (b) 第 5 个 5 天平均形势。

球有类似 EAP 波列和 PNA 波列的遥响应特征;而且在初始阶段可以清楚看到扰动沿 EAP 波列由中高纬度地区向赤道中西太平洋地区传播的现象. 另外,对于欧亚大陆和西北太平洋地区而言,响应场显示出有 20 天左右反相的性质,表现了低频遥响应的特征.

对 500hPa 上的高度响应场所进行的带通滤波分析结果同样可以清楚看到,经过 30—60 天带通滤波后,其响应形势基本上与未滤波的形势相一致.为节省篇幅,这里未给出滤波前后的响应高度场,但从表 1 所列数值可以清楚看到,30—60 天的低频成分是整个响应振幅的 50% 以上.这进一步说明,大气对中高纬度地区的强迫响应也主要是低频遥响应,其振荡周期为 30—60 天.

表 1 带通滤波前后 500hPa 位势高度响应沿各纬圈的最大振幅 (gpm)

纬度 振幅	70 °N	66 °N	62 °N	50 °N	30 °N	18 °N	18 °S	30 °S	42 °S	50 °S
滤波前	220	210	180	210	90	55	33	80	150	150
滤波后	165	160	140	160	55	32	24	60	95	120

四、强迫响应的 30—60 天振荡的性质

首先分析强迫响应的 30—60 天振荡在热带和中高纬度地区的传播情况.从 500hPa 位势高度响应沿各纬圈的时间剖面可以看到,在北半球中高纬度地区,无论是带通滤波前还是滤波后,扰动都有明显的西传特征.图 3 是带通滤波后 500hPa 位势高度场沿 66 °N 的时间剖面,不仅清楚表现了 30—60 天振荡特征,而且振荡是明显西传的.事实上,在我们的试验中,强迫响应的 30—60 天振荡在 18—70 °N 范围内均有西传

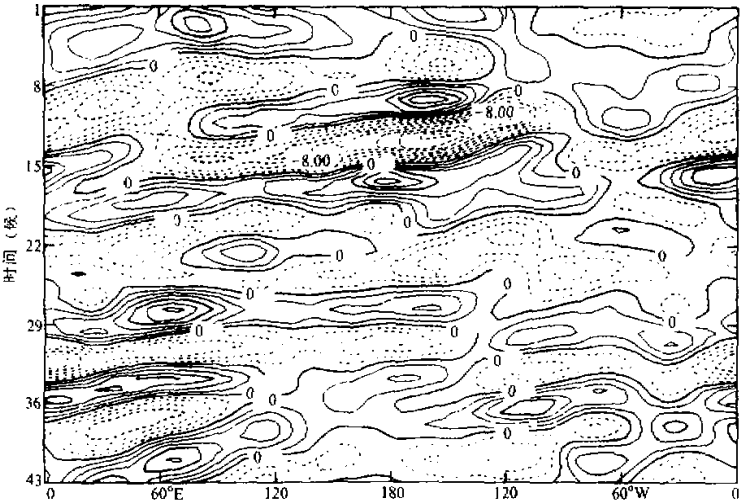


图 3 带通滤波后 500hPa 位势高度响应沿 66 °N 纬圈的时间剖面
实线和虚线分别为正和负值;等值线间隔为 20gpm.

特性,只是在较低纬度(例如 18°N)地区可以看到一些东传的趋向。

在热带地区,可以用纬向风场来表示 30—60 天振荡的活动。从 $6^{\circ}\text{S}—6^{\circ}\text{N}$ 纬带 400hPa 和 850hPa 上纬向风的时间剖面可以清楚发现 30—60 天振荡的存在,并且主要为东传特征。图 4 是带通滤波后 400hPa 纬向风沿 $6^{\circ}\text{S}—6^{\circ}\text{N}$ 纬带的时间剖面,在东半球振荡,主要向东传播,但在西半球西传也相当明显。

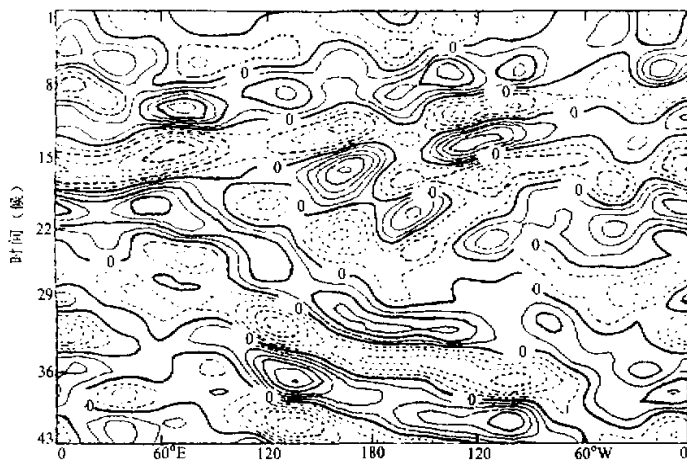


图 4 400hPa 上带通滤波的纬向风响应沿 $6^{\circ}\text{S}—6^{\circ}\text{N}$ 纬带的时间剖面
细实线和虚线分别表示西风 and 东风分量,等值线间隔为 0.9m/s 。

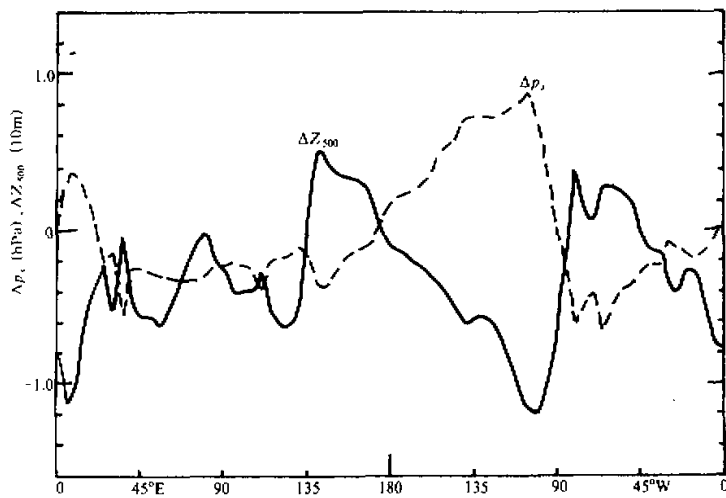


图 5 1 月 500hPa 位势高度响应(实线)和地面气压响应(虚线)沿 2°N 的经度分布

上面讨论的中高纬度地区强迫响应的30—60天振荡的传播特征,不仅基本类似于赤道东太平洋 SST 正异常强迫响应的30—60天振荡的传播,而且同实际大气中30—60天振荡在热带地区以东传为主、在中高纬度地区以西传为主的资料分析结果大体相同。

上述试验中强迫响应的30—60天振荡在垂直结构方面也同于实际观测资料的分析结果,以及对赤道东太平洋 SST 正异常强迫响应的30—60天振荡的情况(参见文献[7])。在热带地区其振荡有对流层上层和底层反相的特征(图5);在中高纬度地区其振荡为清楚的正压模态特征(图略)。

五、中高纬度与热带大气运动的相互影响

从图2我们已经看到大气对欧亚中高纬度地区的强迫响应有明显沿 EAP 波列向东南方向传播的特征。同时,前面我们还指出,遥响应的30—60天振荡在中高纬度地区有明显西传特征。上述两个结果是不是存在着矛盾呢?为了讨论这个问题,大致沿 EAP 波列作一个500hPa位势高度响应的时—空剖面,如图6所示。可以看到,在前20天(4候)左右大气响应是明显由欧亚大陆中高纬度地区沿 EAP 波列路径向太平洋热带地区传播的。但是在热带大气有了一定强度的响应后,不仅30—60天振荡被激发出来,而且这些振荡会沿 EAP 波列路径由中西太平洋赤道地区向西北方向传播。这极可能是如图3所示的响应场的30—60天振荡在中纬度地区沿纬圈表现为西移的原因。

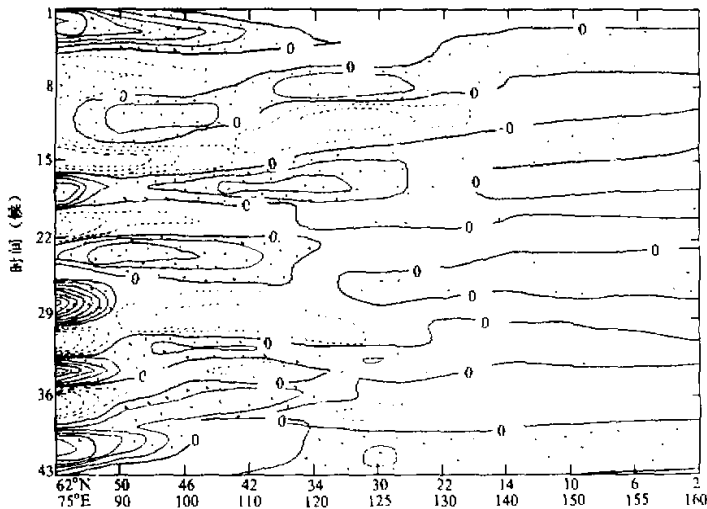


图6 500hPa位势高度响应沿近EAP波列路径的时间(候)演变

等值线间隔为20gpm.

在图3中只在180°经度附近初期才有高度响应东传的迹象,这可能是所在纬度较高的缘故。图7给出了沿42°N纬圈的500hPa位势高度响应的时(天)剖面,很显然,强迫响应反映了向东传播的特征。为进一步说明强迫响应在初期沿EAP波列由欧亚大

陆中高纬度地区向赤道中西太平洋地区传播情况，类似图 6 作前 20 天 500hPa 位势高度响应的时间 - 空间剖面(图 8)。强迫响应沿 EAP 路径呈振荡式由欧亚大陆中高纬度地区向东南方向传播在图 8 中反映得相当清楚。

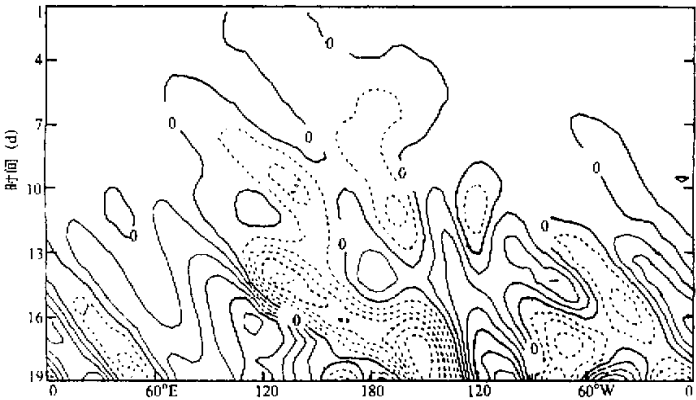


图 7 500hPa 位势高度响应沿 42°N 的时间剖面
等值线间隔为 4gpm.

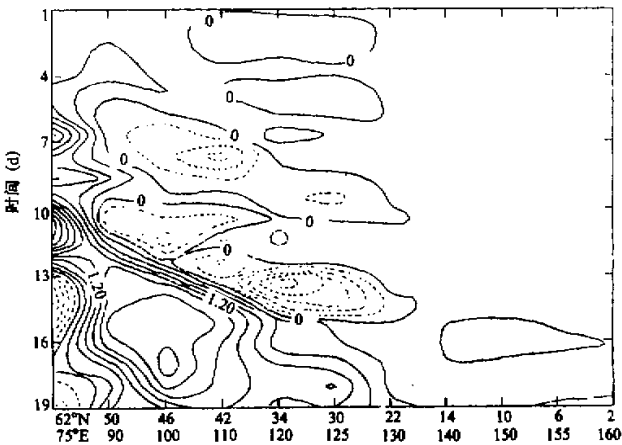


图8 同图6, 但时间坐标为天
等值线间隔为 3gpm.

由上述分析可以初步认为，欧亚大陆中高纬度地区的外源强迫所激发的大气能量将首先沿EAP 波列路径向赤道中西太平洋地区传播，并在那里激发出热带大气扰动，而这种被激发的热带扰动将作为新的强迫源而再影响全球大气，在全球大气中产生低频遥响应。对于全球大气的低频遥响应来讲，热带地区的被激强迫源起着更为重要的作用。可以初步认为，中高纬度地区的外强迫，首先要激起热带大气的低频扰动发展，然后，通过热带大气运动的异常，最终引起全球大气环流的异常和全球大气的低频振荡。中高

纬度扰动对热带大气的作用是局地触发性的,而热带地区扰动对中高纬度大气运动的影响是巨大且全球性的。热带大气运动对于全球大气低频振荡的产生具有更为重要的意义。

六、结 语

本文的数值试验并联系文献[7]的结果,不难发现,大气对外源强迫的遥响应是相当持久的,在去掉强迫源后,遥响应仍维持很久时间。这种较长时间的全球大气遥响应的存在,不只是由于外源强迫的直接激发,大气内部的动力和热力学过程也是极其重要的。

同在赤道地区的热源强迫一样,中高纬度地区的外强迫也可引起全球大气的长期遥响应,并且这种遥响应主要也具有 30—60 天振荡特征。因此可以认为,无论外源强迫的位置如何,都可以是激发产生大气中 30—60 天低频振荡的重要机制之一。当然,对于大气 30—60 天振荡来讲,外强迫还需有大气内在状态及过程的配合。

大气对中高纬度地区外源强迫的低频遥响应不及对热带地区外源强迫的遥响应那么明显和强烈,中高纬度地区的外强迫首先要局地激发热带大气扰动,然后因热带大气运动的异常而引起全球大气环流的异常和低频遥响应。因此,热带大气运动及其变化对于全球大气低频遥响应具有更为突出的作用。

中高纬度地区的外源强迫所激发产生的大气 30—60 天振荡在其结构和活动方面既同赤道地区的外源强迫 30—60 天振荡相近,又与实际大气 30—60 天振荡类似。热带地区振荡为“斜压”结构,中高纬度地区为正压模;热带地区主要表现为东传,中高纬度地区以西传为主。在一定意义上这可能表明,大气基本气候态对于大气低频振荡的结构和活动有极重要的影响。当然,对此还需作进一步研究。

通过 30—60 天低频振荡,特别是低频波列 EAP,欧亚大陆中纬度地区的寒潮异常可以对赤道中西太平洋地区的大气运动,并进而对全球大气环流有重要影响。

参 考 文 献

- [1] 李崇银, 1985, 南亚夏季风槽脊和热带气旋活动与移动性 CISK 波, 中国科学, B 辑, 668—675.
- [2] Lau, K. M., and L. Peng, 1987, Origin of low-frequency (intraseasonal) oscillations in the tropical atmosphere. Part I: The basic theory, *J. Atmos. Sci.*, **44**, 950—972.
- [3] Chang, C. P., and L. Him, 1988, Kelvin wave-CISK: A possible mechanism for the 30—60 day oscillation, *J. Atmos. Sci.*, **45**, 1709—1720.
- [4] Takahashi, M., 1987, A theory of the slow phase speed of the intraseasonal oscillation using the wave-CISK, *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 43—49.
- [5] 李崇银, 1990, 赤道以外热带大气中 30—50 天振荡的一个动力学研究, 大气科学, **14**, 83—92.
- [6] Liu Shikuo and Wang Jiyong, 1990, A baroclinic semi-geostrophic model using the wave-CISK theory and low-frequency oscillation, *Acta Meteorologica Sinica*, **4**, 576—585.
- [7] 肖子牛, 李崇银, 1992, 大气对外强迫低频遥响应的数值模拟, I: 对赤道东太平洋 SSTA 的响应, 大气科学, **16**, 第 6 期, 707—717.
- [8] 李崇银, 1988, 频繁的强大东亚大槽活动与 El Niño 的发生, 中国科学, B 辑, 667—674.

Numerical Simulation of the Atmospheric Low Frequency Teleresponse to the External Forcing, II: Response to the Anomalous "Cold Wave" over the Middle-high Latitude Eurasian Area

Li Chongyin Xiao Ziniu

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

Abstract

Through the numerical simulation by the IAP GCM, the atmospheric teleresponse caused by the external forcing over the Eurasian Continent middle-high latitude area is studied. It is revealed clearly that the external forcing in the middle-high latitude area can also bring about the low-frequency teleresponse in the global atmosphere as that excited by the tropical forcing; By the low-frequency EAP wave-train, the anomalous "cold wave" over the middle-high latitude Eurasian Continent significantly affects the motion of the atmosphere in the equatorial center-western Pacific area and the global atmospheric general circulation. It is also indicated that the basic climatic state of the atmosphere is extremely important to stimulating the forcing of the 30—60 day oscillation. The tropical atmosphere exerts especially important influence on the low-frequency oscillation in the global atmosphere.

Key words: External forcing; Cold wave; Teleresponse; Basic climatic state.