

外强迫引起的夏季大气环流异常 及其机制探讨

杨修群 黄士松

(南京大学大气科学系, 南京 210008)

提 要

本文主要探讨了夏季模式大气对热带海温和高纬极冰异常的外强迫响应机制, 结果表明, 在大气环流模式长时间积分以后, 不同的外强迫源均可在全球大气的一些关键性区域激发产生相同的环流异常型, 即夏季大气主要异常型对外强迫源地理位置不敏感, 很大程度上依赖于大气内部动力学过程. 根据以上特点本文提出外强迫引起大气异常存在两类机制, 其中外强迫和大气内部动力学过程相互作用机制是产生大气异常的重要动力学途径.

关键词: 外强迫; 大气异常; 机制.

一、引 言

对大气环流或短期气候异常的机理研究是人们十分关注的课题. 近年来的许多研究已经表明外强迫的作用在短期气候异常的形成中起着十分重要的作用^[1]. 所谓外强迫通常指的是大气下垫面条件等的异常, 例如海表温度、海冰、反照率、地表湿度、陆地冰雪覆盖等等, 其中热带海洋表面温度异常在大气环流异常中担负着重要角色, 人们也设计了许多数值试验来研究大气对 SST 异常的响应特征^[2-4], 研究结果表明 SST 异常确能引起冬半球温带大气环流显著的响应, 但这种作用仅能解释温带大气异常的小部分方差. 近年来高纬极冰异常的作用也受到人们一定的重视^[5], 研究指出: 冬季大尺度温带大气环流不仅受热带 SST 异常的影响, 而且也受极地海冰异常的作用, 极冰和热带海温具有同等重要的作用.

就在人们强调外强迫作用的同时, 人们也开始注意到大气内部动力学过程在气候异常形成中的作用. Simmons 等^[6] 研究指出冬季温带大尺度环流异常很大程度上依赖于基本态的正压不稳定, Geisler 等^[7] 进行若干数值试验指出了冬季温带大气对热带海温异常的经度位置不敏感性问题. 因此, 可以断言短期气候异常应是外强迫和大气内部动力学过程相互作用的结果, 而上述两方面在不同的地理位置和不同的时间尺度内可能有不同的贡献.

针对上述问题, 本文主要想探讨一下不同形式的外强迫源对夏季大气的激发作用, 进而分析外强迫引起夏季大气异常的机制, 同时也将指出大气内部动力学过程在其中的作用. 本文的外强迫主要指与热带 SST 相联系的热源异常和与低温层极冰相联系的热汇异常造成的热力强迫作用.

1990 年 10 月 20 日收到, 1991 年 11 月 18 日收到再改稿.

二、模式和试验简介

1. 模式

本文数值试验所采用的模式是一菱形截断 15 波的九层全球大气环流谱模式。该模式最初由 Bourke 等和 McAvaney 等设计, 后经 Simmonds 和林元弼进行改进, 是一个包含物理过程较为完善的原始方程模式, 其详细介绍可参阅上述文章。简言之, 模式包括涡度方程、散度方程、热力学方程、水汽方程、表面气压倾向方程和静力平衡关系; 水平方向采用球谐谱变换技术, 线性项精确地按球谐函数计算, 非线性项和物理过程在高斯格点空间计算, 然后按全变换法变到谱空间; 垂直方向采用 σ 坐标系, 共为九个 σ 层, 采用差分格式求解。模式的物理过程包括辐射传输过程、对流和凝结过程、边界层参数化以及水平和垂直扩散, 其中辐射过程考虑长波和短波辐射, 吸收气体包括 H_2O 、 CO_2 和 O_3 , 云考虑为三层, 下垫面考虑地形、潮湿度、粗糙度、极冰和雪盖等因素, 海温取为气候月平均值, 陆地、冰面和雪面温度按热平衡方程计算。本文运行的模式为永恒 7 月模式, 即太阳高度角、海温等气候外强迫均固定在 7 月份。

2. 试验简介

初始场取永恒 7 月模式从静止大气积分的第 432 天场, 由该初始场再积分 60 天的试验称为控制试验, 改变某些下垫面状况后平行于控制试验积分 60 天的试验称为异常试验, 然后用异常试验减去控制试验的差值表示由于下垫面异常引起的大气响应, 每个试验取后 30 天平均场进行分析。本文将利用四个数值试验结果来进行讨论, 前两个分别表示赤道中东太平洋海温增暖和热带大西洋海温增暖, 前者对应于 El Niño 成熟期位相^[1], 而后者和 Rowntree^[9] 冬季试验取法一致; 后两个试验分别对应于格陵兰海—巴伦支海极冰偏多和东西伯利亚海—波弗特海极冰偏少, 北极冰面积异常取为观测到的北极冰面积年际异常的极端值, 相关分析表明上述两区极冰面积距平确实呈反相关关系。

三、外强迫引起的夏季大气异常型

关于赤道中东太平洋海温偏暖和北大西洋极冰偏多及其共同作用对夏季北半球大气的详细影响过程已另文给出^[1], 这里不再重述。本文将重点研究上述四个数值试验中的外强迫源激发夏季全球大气异常特别是南北半球中高纬一些关键性区域环流异常的共同特征, 以及造成这种共同性环流异常的动力学机制。图 1a, b, c, d 分别给出了模式夏季全球大气 200hPa 位势高度场对赤道中东太平洋海温偏暖、热带大西洋海温偏暖、格陵兰海—巴伦支海极冰偏多、东西伯利亚海—波弗特海极冰偏少的响应, 比较这四种响

1) 杨修群等, 夏季赤道中东太平洋海温和北极海冰对大气影响的数值模拟研究, 待发表。

应图不难发现, 夏季模式大气在南北半球中高纬的响应在一些地区十分相似, 尽管在活动中心的振幅上有所差异。由图 1a 可见, 赤道中东太平洋海温偏暖首先在赤道两侧的太平洋上激发出一对反气旋响应, 事实上这一响应是热带大气的斜压 Rossby 波, 和 Gill^[10] 解析解基本一致, 然后在南北半球各激发出一支波列, 南半球的一支由东南太平洋、南美、大西洋, 然后指向印度洋, 这一波列主要具有纬向 3 波的特征, 它和 Mo^[11] 根据观测资料揭示的南半球冬季遥相关型相对应, 它使得 200hPa 高度场在南美西部为正异常、南大西洋为负异常、南非南部海洋为正异常、西南印度洋为负异常、澳洲西部为正异常。北半球的一支波列发源于东亚沿海, 然后沿鄂海、东西伯利亚、阿拉斯加影响到美国东南部, 它主要使得东西伯利亚为负中心、阿拉斯加为正中心、美国东南部为负中心, 这一波列型(以下简称为东亚/北美型)和 Nitta^[12]、黄荣辉^[13] 揭示的北半球夏季遥相关型十分一致。另外我们也注意到横跨欧亚事实上也有一波列激发产生, 由图 1b 可见, 热带大西洋海温偏暖在南北半球中高纬激发的异常环流型在一些主要区域和图 1a 十分类似, 如在南半球的纬向 3 波型波列分布在南美、南大西洋、印度洋及澳洲西部的正负活动中心和地理位置均和图 1a 类似, 而北半球的东亚/北美型也十分明显, 特别是阿拉斯加附近的正中心具有较大的振幅, 另外, 由于热带大西洋海温异常的直接热力强迫, 由大西洋穿越欧亚大陆指向东亚低纬的欧亚型波列也被激发产生, 图 1c 给出了格陵兰海—巴伦支海极冰偏多引起的全球大气响应, 可见, 除由源区激发出指向东亚低纬的欧亚型波列外, 极冰的偏多也可在北半球产生东亚/北美型响应和在南半球产生纬向 3 波型响应, 图 1d 给出了东西伯利亚海—波弗特海极冰偏少引起的全球大气响应, 由图可见, 这一区域的极冰偏少, 在阿拉斯加附近的局地区域上空产生一明显的正高度场异常响应, 而在鄂海东北部和北美西海岸各产生一负中心, 这一分布也基本类似于东亚/北美型, 另外, 在欧亚地区以及南半球的响应也和图 1b、1c 十分类似, 由此我们可以清楚地看到, 不同区域的热带海温或北极冰异常均可以激发出相同的大气环流异常型, 即夏季大气的东亚/北美型、欧亚型和南半球的纬向 3 波型, 而这三种异常型和实际大气中观测到的遥相关型十分一致。

四、外强迫引起夏季大气异常的机制讨论

上述数值试验的结果表明了一种现象: 尽管外强迫的形式特别是地理位置不同, 但南北半球温带大尺度大气环流在一些关键区域的响应型却十分类似, 只不过振幅上有所差异, 因此, 这意味着夏季大气响应对外强迫源的地理位置也不很敏感, 大气响应型(或遥相关型)可以认为是气候背景态的一种固有的本征模态, 其空间上的地理位置分布和时间发展及维持主要取决于大气基本态的结构, 因此, 外强迫作用在大气或短期气候异常中究竟起着什么样的作用是值得深入讨论的, 简单地利用二维 Rossby 波频散理论来解释外强迫的作用机制看来并不全面, 我们知道外强迫在初始阶段确实可以通过激发波列的能量频散产生大气的扰动, 但这种扰动能否维持和发展将取决于大气基本态的结构和稳定性, 而这种结构和稳定性又决定了大气异常分布具有强烈的地理位置上的依赖性, 只有在合适的区域即基本态可以转换能量给扰动动能的区域, 扰动(或大气异常的活动中心)才能得以维持和发展, 否则, 即使有能量频散过来, 但若扰动动能迅速衰减

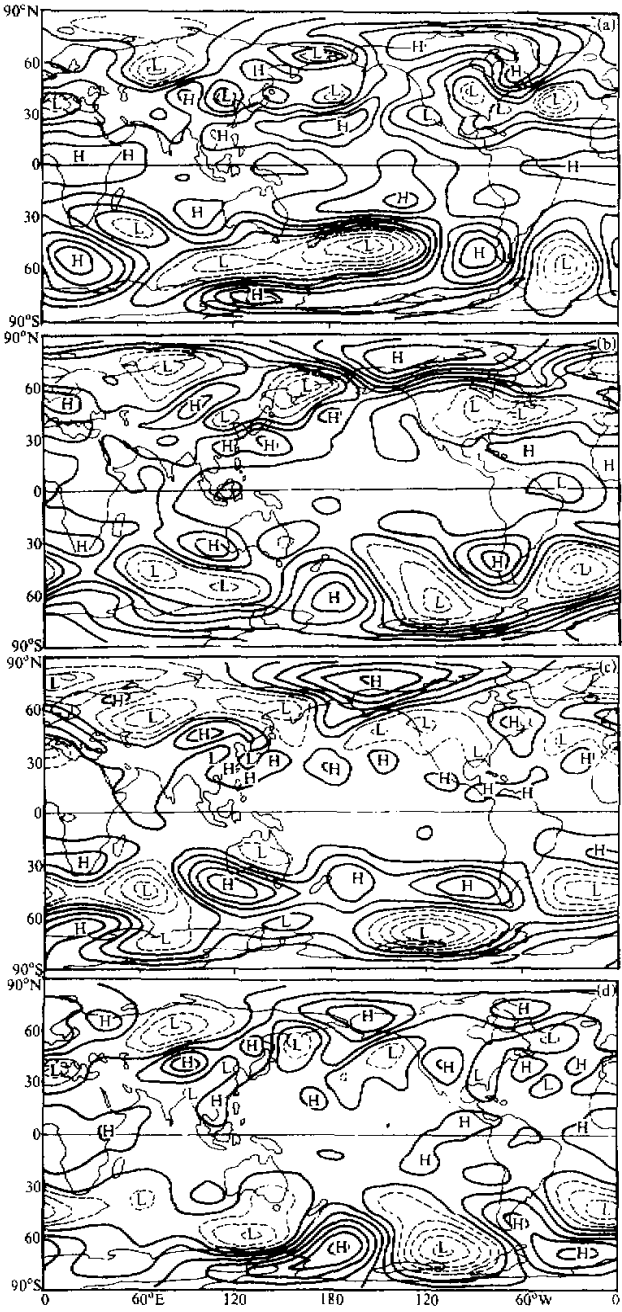


图 1 200hPa 位势高度场异常

(a) 赤道中东太平洋海温偏暖; (b) 热带大西洋海温偏暖; (c) 格陵兰海 - 巴伦支海极冰偏多; (d) 东西伯利亚海 - 波弗特海极冰偏少. 图中实线表示正, 虚线表示负, 等值线间隔为 40m

或均转换成基本态能量,则活动中心难以维持。事实上,动力学分析已经表明:大气扰动的维持总是和扰动从基本气流中吸取能量的正压能量转换过程相联系的^[14]。由此看来,大气内部动力学过程在决定大气环流或短期气候异常中起重要作用,短期气候异常确实是外强迫作用和大气内部动力学过程相互作用的结果。

根据本文的结果我们提出外强迫作用对于大气异常型(或遥相关型)的产生存在两类机制。一是直接热力强迫机制,其作用过程如下:热力强迫→局地区域响应→二维 Rossby 波频散并和基本气流相互作用→产生波列型。例如,赤道中东太平洋海温增暖时,大气的局地响应是斜压 Rossby 波响应,然后分别在南北半球各激发一支波列就是直接热力强迫所致;高纬极冰的偏多(偏少)首先是降低(增高)局地空气温度,降低(抬高)局地高层等压面高度,然后向下游产生一波列,也是直接热力强迫的结果。另一是间接强迫机制,这一过程十分复杂,根据近年来的研究结果它涉及到大气内部潜热源(特别是低纬对流性潜热释放)异常、正压和斜压不稳定、高频扰动对低频扰动的强迫、旋转流产生的有效 Rossby 波源^[15]、基本流的变化以及非线性相互作用等等动力学过程。换言之,即外强迫作用通过直接热力强迫机制引起全球大气环流异常,同时会促使大气中产生新的强迫源,而新的强迫源又可以重新激发大气异常,经过如此反复相互作用之后,大气最终异常分布将取决于大气基本态中的优势模态(尤其是不稳定模态),并且这种相互作用使得大气中固有模态均被激发了出来,但由于能量获得方式不同,各种模态的振幅也不同,越是不稳定模态则振幅越大。

在外强迫引起大气异常的上述两类机制中,第一类已为人们所熟知,而第二类仍值得深入研究,特别是大气内部动力学过程和外强迫是如何相互作用的问题更是气候动力学研究乃至长期天气或短期气候预报理论研究的一个不可忽视的重点领域。

五、主要结论

本文利用大气环流模式研究了夏季大气对热带海温和北极海冰异常的外强迫响应及其机制问题,结果指出夏季模式大气在长时间积分后对外强迫源的地理位置不敏感,即不同的外强迫形式均可以激发出相同的夏季大气环流异常型,如北半球的东亚/北美型、欧亚型和南半球的纬向 3 波型;大气环流的异常很大程度上依赖于大气内部动力学过程,尤其是大气基本态的结构。

通过讨论,本文提出外强迫引起大气异常存在两类机制,其中一类是直接热力强迫机制,另一类是间接强迫机制,即外强迫和大气内部动力学相互作用机制,后者是产生大气异常的重要动力学过程。

参 考 文 献

- [1] Wallace, J. M. and M. L. Blackmon, 1983. Observations of low-frequency atmospheric variability. *Large-scale Dynamical Processes in the Atmosphere*, Ed. by B. J. Hoskins and R. Pearce. Academic press, 55—94.
- [2] Julian, P. R. and R. M. Chervin, 1978. A study of the Southern Oscillation and Walker circulation phenomenon. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1433—1451.

- [3] Keshavamurty, R. N., 1982, Response of the atmosphere to sea surface temperature anomalies over the equatorial Pacific and the teleconnections of the Southern Oscillation, *J. Atmos. Sci.*, **39**, 1241 -- 1259.
- [4] Shukla, J. and J. M. Wallace, 1983, Numerical simulation of the atmospheric response to equatorial Pacific sea surface temperature anomalies, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1613 -- 1630.
- [5] 谢 伟, 黄士松, 1990, 冬季赤道中东太平洋海温和北极海冰异常对大气环流影响的研究, *气象科学*, **10**, 325 -- 338.
- [6] Simmons, A. J. et al., 1983, Barotropic wave propagation, instability and atmospheric teleconnection patterns, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1363 -- 1392.
- [7] Geisler, J. E. et al., 1985, Sensitivity of January climate response to the magnitude and position of equatorial Pacific sea surface temperature anomalies, *J. Atmos. Sci.*, **42**, 1037 -- 1049.
- [8] Rasmusson, E. and T. Carpenter, 1982, Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 354 -- 384.
- [9] Rowntree, P. R., 1976, Response of the atmosphere to a tropical Atlantic Ocean temperature anomaly, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **102**, 607 -- 625.
- [10] Gill, A. E., 1980, Some simple solutions for a heat-induced tropical circulation, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **106**, 447 -- 462.
- [11] Mo, K. C. et al., 1985, Teleconnection in the Southern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 22 -- 35.
- [12] Nitta, T., 1987, Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 373 -- 390.
- [13] Huang, R. H. et al., 1987, Influence of the heat source anomaly over the western tropical Pacific on the subtropical high over east Asia, *Collected papers of international conference on the general circulation of east Asia, Chengdu, China*, 40 -- 45.
- [14] Wallace, J. M. and N. C. Lau, 1985, On the role of barotropic energy conversion in the general circulation, *Advances in Geophysics, Dynamics of Climate*, Ed. by S. Manabe, vol. 28, 33 -- 74.
- [15] Sardeshmukh, P. D. and B. J. Hoskins, 1988, The generation of global rotational flow by steady idealized tropical divergence, *J. Atmos. Sci.*, **45**, 1228 -- 1251.

On the Mechanism of Summertime Atmospheric Anomalies Induced by External Forcing

Yang Xiuqun Huang Shisong

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008)

Abstract

By using a perpetual July, nine level general circulation spectral model with rhomboidal truncation at wavenumber 15 incorporated a comprehensive set of physical processes, a series of numerical experiments have been conducted to determine the mechanism of atmospheric anomalies induced by external forcing such as anomalies of the sea surface temperature and Arctic sea ice cover during the Northern Hemisphere summer. It is shown that the leading anomaly patterns observed in real atmosphere can be produced by external forcing. However, the patterns are insensitive to the positions of external forcing, but depend strongly on the internal dynamics of the atmosphere especially on the structure of the basic flow. There exist two kinds of mechanisms to interpret the role of external forcing on the atmospheric anomalies, of which the interaction between external forcing and internal atmospheric dynamical processes is a very important aspect.

Key words: External forcing; Summertime atmospheric anomalies; Mechanism.