

周期性热力外强迫和地形强迫共同激发的 六月和十月的流型突变*

马镜娴** 罗哲贤

(甘肃省气象研究所)

提 要

本文用二层准地转模式,经低谱途径,数值地研究了周期性热力外强迫源和地形强迫源共同作用下斜压大气的流型突变问题。在一定的参数范围,季节转换期间的流型突变清楚地显示出来了,该突变恰好发生在模式大气的6月和10月。

一、引 言

叶笃正、陶诗言、李麦村^[1]早在五十年代首先提出了6月和10月大气环流的突变现象。他们认为,从高空的环流情况而论,在一年中只有两个自然季节,即冬季和夏季。从一个季节过渡到另一个季节的变化是相当剧骤的。而且冬季比夏季长得许多。这个环流突变的现象及其机制,引起了气象界广泛的注意。

近来,从非线性动力学的途径,对季节性环流突变的机制进行了一系列的研究^[2-6]。结果指出:当强迫参数越过临界点时,模式大气的行星波均发生急剧调整,据此可初步地解释实际大气的环流突变现象。

从纬向平均模式的途径,余志豪、葛孝贞成功地模拟了副高脊线的季节北跳。他们认为,副高脊线位置的突然变化与太阳辐射加热密切相关^[7],副高脊线位置的南、北距平,是其北侧降水带的旱涝反馈作用的结果^[8]。

文献^[2-6]全部引用了准静态近似的假设¹⁾,以不显含时间 t 的给定参数来描述热源强迫作用。在外源静态的条件下,分析流型的演变特点。由于准静态近似的局限性,上述研究都不能解释环流突变为什么几乎总是发生在6月、10月而不是发生在别的月份,也不能解释为什么冬季比夏季要长得许多。

本文不用准静态近似,令模式大气受到周期性热力强迫源的驱动,其周期长度与太阳辐射年变周期一致。我们试图在外源动态的条件下,分析流型演变的特点,进一步研究6月和10月大气环流突变的非线性机制。

* 本文于1986年2月25日收到,1986年8月1日收到修改稿。

** 现在南京气象学院气象系工作。

1) 关于该假设,可参见丑纪范“混沌——确定论系统中的内在随机性”,兰州大学讲义,1985。

二、模 式

将周期性热力外强迫源引入文献[6]的模式中,得到本文模式。文献[6]的模式是一个两层准地转有定常外强迫源的低谱模式。强迫项包括地形强迫和非绝热加热强迫。非绝热加热的强迫参数为 θ_A^* , θ_K^* 和 θ_C^* ,均系给定参数。 θ_A^* 代表赤道极地之间的热力强迫。 θ_K^* 近似描述包括海陆差异在内的沿纬圈方向的热力强迫。 θ_C^* 近似描述副热带大陆和高原与其南面海洋之间热力差异在内的沿经圈方向二波的热力强迫。经低谱展开,两层模式方程组转化为十二维强迫耗散的非线性自治系统。

此处,令 $\theta_i^* = \theta_{i0}^* + \theta_{i1}^* \cos \omega t$, ($i = A, K, C$), θ_{i0}^* , θ_{i1}^* 为给定参数。当周期性热力外强迫项的振幅 θ_{i1}^* 取零值时,退化为文献[6]的模式。本文限定 θ_{i1}^* 取非零值,因而,所用模式是十二维强迫耗散非线性的非自治系统。这里, ω 是年变周期的圆频率。 $\omega t = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ 分别代表冬至、春分、夏至和秋分。 $2.78199 \leq \omega t < 3.29386$, 以及 $4.86619 \leq \omega t < 5.40101$ 分别相应于模式大气第一个模式年的6月和10月。数值积分的时步为3h。

θ_{i0}^* , θ_{i1}^* 的取值范围与一般低谱途径相应的范围一致。 θ_{A0}^* , θ_{A1}^* 的取值使得冬至与夏至之间赤道极地的热力强迫值相差约一倍。下边界地形面在 β 平面内有两个地形脊和两个地形槽。假设地形脊处为模式大陆区,地形槽处为模式海洋区,在 θ_{K0}^* , θ_{K1}^* , θ_{C0}^* , θ_{C1}^* 的所有取值范围内,夏(冬)季大陆都为热(冷)源,海洋都为冷(热)源,并且,夏季高原热源作用比冬季相应冷源作用要强。另外,在数值积分的过程中,对流上层西风急流的强度及高原南侧东风的强度一般都是合理的。

用本文非自治系统实施多组数值积分,发现:在一定的外强迫参数空间,模式大气的行星波分别在5月底至7月上旬及10月各有一次急剧的调整。就模式大气对流上层环流的情形而论,一年之中只有两个自然季节,即冬季和夏季。在整个冬季和夏季,流型是相对稳定的。这样的积分个例计有11组,积分时间均在两至三个模式年以上。下面给出一组试验的结果作为代表。该组试验的参数取值为 $\theta_{A0}^* = 0.05$, $\theta_{A1}^* = 0.02$, $\theta_{K0}^* = 0$, $\theta_{K1}^* = -0.025$, $\theta_{C0}^* = -0.015$, $\theta_{C1}^* = 0.03$ 。其余模式参数的取值同文献[6]。初条件为 $\varphi = \varphi_{01} = (0.06760, 0.00001, 0.00000, -0.02000, 0.00000, 0.00000, 0.06760, 0.00001, 0.00000, -0.02000, 0.00000, 0.00000)$ 。这里,已令 $\varphi = (\psi_A, \psi_K, \psi_L, \psi_C, \psi_M, \psi_N, \theta_A, \theta_K, \theta_L, \theta_C, \theta_M, \theta_N)$ 。按照这组参数取值,冬至时, $\cos \omega t = 1$, $\theta_A^* = 0.07$, $\theta_K^* = -0.025$, $\theta_C^* = 0.015$;夏至时, $\cos \omega t = -1$, $\theta_A^* = 0.03$, $\theta_K^* = 0.025$, $\theta_C^* = -0.045$;春秋分时, $\cos \omega t = 0$, $\theta_A^* = 0.05$, $\theta_K^* = 0$, $\theta_C^* = -0.015$ 。

三、周期性热力外强迫源激发的突变现象

1. 6月和10月对流层上层副热带高压位置的突然变化

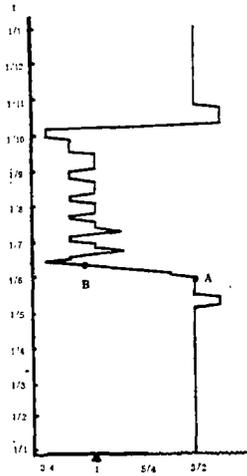


图 1 对流层上层副热带高压中心位置随时间的演变 (粗实线(波纹线)表示模式大陆(海洋), ▲表示高原脊位置, 横坐标单位为 π)

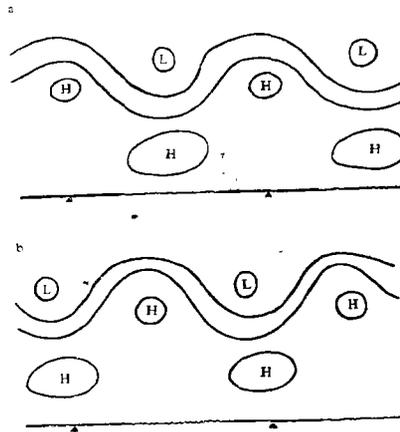


图 2 由冬季至夏季转换前后对流层上层流函数场 (横坐标单位为 π 。(a)转换前, (b)转换后)

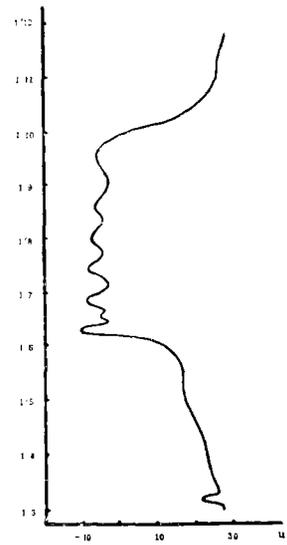


图 3 高原南侧纬向风速随时间的演变(风速单位 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

作为一个重要的观测事实,冬半年对流层上层副热带高压的中心位于西太平洋上空,夏半年位于青藏高原经度附近或东亚大陆上空。由冬(夏)至夏(冬)转换时,副热带高压从海洋(大陆)区域急速地移至大陆(海洋)区域(见文献[6]图2)。

图1是模式大气第三个模式年副热带高压中心位置的演变图。可见,从1月初至4月底,高压中心稳定在大洋上空;5月份,高压在大洋上有些摆动。从6月初起,不到10天,即完成了高压中心从大洋经度向高原经度的转换过程。从6月中旬到9月底,高压中心始终位于高原经度附近和大陆上空。10月初,高压中心又急速地返回大洋上空并稳定地持续着。这些清楚地显示了季节转换期间副热带高压中心位置突然变化的现象。图1上点A(突变前)与点B(突变后)的时间间隔不到10天。与点A、点B相应的对流层上层的流函数场(图2a,2b)同样清楚地表明,在季节转换时,高空行星波发生了一次急剧的调整。行星波的调整必然会引起转风场的明显变化。

2. 高原南侧东、西风带的突然变化

本文模式地形的脊点位于 $x = \pi$, $y = \frac{\pi}{2}$ ($\varphi = 40^\circ\text{N}$)。沿 21°N 取 $x = \frac{7}{8}\pi$, π , $\frac{9}{8}\pi$ 三个格点的平均地转风速代表高原南侧风场。由冬至夏季节转换前,高原南侧为西风,3月份平均风速为 $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。6月上旬突然转为东风,直至9月底高原南侧均为东风控制。10月上旬起又转为西风急流并在整个冬季持续(图3)。

为了认识对流层上层副热带高压中心位置和高原南侧纬向风场在季节转换期间突然变化的原因,我们仔细分析了所有谱系数 ψ_i, θ_i ($i = A, K, L, C, M, N$) 随时间的变化。季

节转换时,部分谱系数的变化仍然是平缓的,但部分谱系数的变化却十分急剧,这导致了流型的突然变化。

3. 谱系数 $\psi_M + \theta_M$ 的突然变化

图 4 给出了谱系数 $\psi_M + \theta_M$ 从第 1 个模式年 8 月至第五个模式年 1 月随时间的演变。现以第 3 个模式年的情况为例说明。从第 3 个模式年的 1 月初至 5 月底, $\psi_M + \theta_M$ 始终取负值。6 月初, $\psi_M + \theta_M$ 陡然上升越过零线转而稳定地取正值,直至 9 月底。10 月上旬, 又有一次陡然下降越过零线转而取负值的过程。这两次突然变化正好相应于流型由冬至夏及由夏至冬的季节性突变。在第 4 个模式年, 这个演变特点继续表现得十分清楚。作为本文模式引进的周期性外强迫源随时间演变的示意图, 图 4 上还画出了一根平滑演变的简谐振动曲线。该振动曲线和 $\psi_M + \theta_M$ 的演变曲线分别表征 12 维非线性系统的输入特征和输出特征。对比两者, 可见, 尽管输入的变化那样光滑平缓, 但是, 经过系统的非线性相互作用, 输出 $\psi_M + \theta_M$ 的演变竟然那样奇异独特。似乎说明, 一个强非线性的系统往往能够激发出某些难以预料的特殊的演变形式。

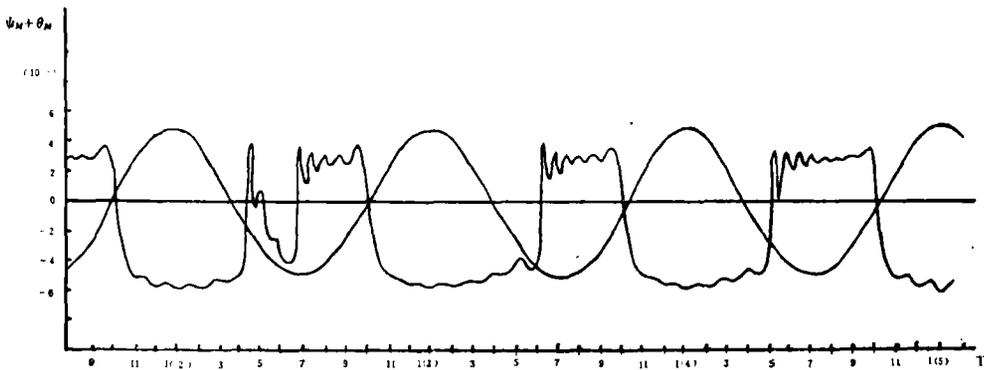


图 4 谱系数 $\psi_M + \theta_M$ 随时间的演变
(横坐标数字表示模式月, 圆括号内数字表示模式年)

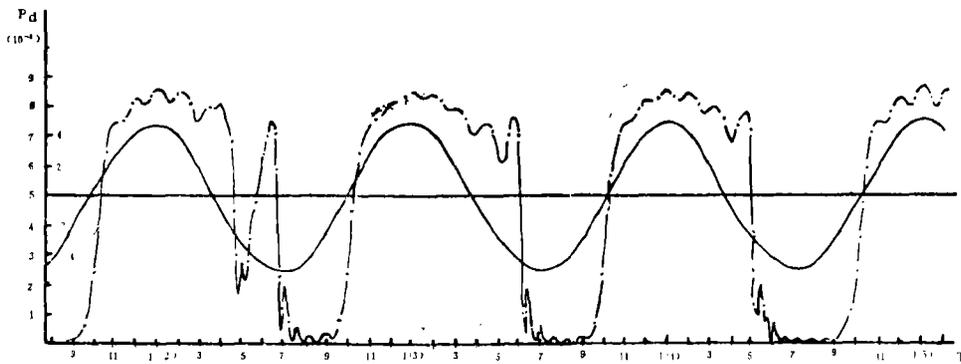


图 5 距离函数 P_d 随时间的演变(说明同图 4)

为了解本文模式 12 个谱系数演变的共同效应, 计算了流型的距离函数 P_d 。定义

$$P_d = \sum_{i=A, K, L, C, M, N} [(\psi_i + \theta_i) - (\psi_{i,0} + \theta_{i,0})]^2$$

此处 ψ_{i0}, θ_{i0} 为 1520 步长的谱系数值, 相应于第一年夏季的取值。

显然, 距离函数 P_d 的演变同样清楚地显示出在季节转换期间急剧变化的运动形态(图 5)。如上所述, 这里给出的结果不仅是一个个例。在数值积分中, 已得到了 11 组与之类似的结果。即在一定的参数空间, 都存在季节转换期间的突变现象。

四、突变现象随参数空间的依赖性

季节转换期间流型的突变现象随强迫参数空间的依赖性表现在两个方面。一是在可以激发流型突变的参数范围内, 强迫参数不同, 突变的时间和突变的方式有所不同。一是流型突变现象只限于一定的参数范围, 在其它参数范围, 突变形态即不再显现。

令 $\theta_{A0}^* = 0.05$, $\theta_{A1}^* = 0.02$, $\theta_{x0}^* = 0$, $\theta_{x1}^* = -0.025$, $\theta_{c0}^* = -0.015$, 在 $0.025 \leq \theta_{c1}^* \leq 0.034$ 的区间, 均匀选取 10 组 θ_{c1}^* 的值, 数值积分的结果都显示出季节性的突变现象。但是, θ_{c1}^* 取值不同, 季节转换的时间可以不同。如 $\theta_{c1}^* = 0.030$ 时, 在第二个模式年, 由冬至夏的季节转换发生在 6 月下旬(图 4)。但 $\theta_{c1}^* = 0.031$ 时, 相应的季节转换发生在 7 月上旬(图略)。从图 4 可见, 季节转换期间的突变现象存在着年际变化。同样地, 不同的强迫参数也可以引起不同的年际变化形式。

对应于不同的强迫参数取值, 我们还实施了 14 组数值积分, 都不存在上述季节性环流突变的现象。文献[2]曾指出, 随着模式参数的变化, 流型突变可以被渐变所代替。另一方面, 实际大气中, 有的年份季节性的突变明显, 有的年份季节性的突变似乎不太明显, 这些与本文的结果有相似之处。关于二次突变, 在文献[2]中, 并没有这个现象。但是, 对正压涡度方程取更多的谱分量展开后, 却得到了二次突变的结果^[4]。从观测事实看, 有的年份由冬至夏季节转换期间, 副热带高压经历了北移—南退—北移的过程才完成季节转换的。另外, 在 11 组有季节突变的数值积分中, 由夏至冬的季节转换全部发生在 9 月底至 10 月上旬, 与由冬至夏的转换相比, 转换的突然性更加明显。季节转换都是一次完成, 不存在任何二次突变的现象。

五、结果与讨论

关于 6 月和 10 月大气环流突变机制的研究, 似乎至少应该涉及两个观测事实。一是高空环流基本上只有冬夏两个自然季节, 其间的季节转换往往呈现突变的运动形态。一是季节转换的大致时间总是发生在 6 月和 10 月而不是在别的月份, 与之相应, 冬季比夏季要长了许多。近来, 关于环流突变机制的研究^[2-6]大多注意到了前一个观测事实, 对后者的分析是欠缺的。本文将一个带有周期性热力外强迫源和地形外强迫源的二层准地转模式转化为一个 12 维强迫、耗散、非线性的非自治系统, 11 组时间积分大于 2 个模式年的试验均显示出模式大气的流型突变现象, 结果与上述两个观测事实相当一致。

由于力图从解析的角度分析问题, 文献[2]对正压涡度方程低谱展开时只保留了 4 个谱系数, 这样就略去了 β 效应。后来, 缪锦海、丁敏芳^[4]低谱展开时保留了 6 个谱系数, β 效应随之引进谱展式。为了分析地形作用对突变的影响。文献[5]从带有地形强迫项

的正压涡度方程出发,研究了环流的突变。有的工作进一步将大气斜压性引进模式,探讨了流型的季节转换^[6]。文本又考虑了周期性热力外强迫源的作用。

自然, β 效应、地形项、斜压性、周期性热力外强迫源分别引进模式后,都得到了一些新的结果和认识。如在正压大气中,突变前后的流型限于平衡态,而在斜压大气中,突变前后的流型可以是平衡态,也可以是周期态^[6]。不过我们感到更重要的是,由于文献[2-6]都有能力在模式大气中显示出突变现象,因此, β 效应、地形项、斜压性、周期性热力外强迫源等在突变机制中都不起决定性的作用。这些模式中所共同具有的物理过程才应该是最主要的。这个最主要的物理过程就是这些强迫耗散系统之中的强非线性作用,即存在于基波与谐波之间和不同波数谐波之间的非线性相互作用。

由此推论,如从非线性大气动力学的角度考虑,由于问题复杂,我们不得不做若干简化,但是,系统的强非线性性质似乎应尽量保留。因为,系统的强非线性往往是产生一些奇特的然而十分重要的大气运动形态的一个根源。

本文低谱模式中,沿纬圈方向只存在相应于超长波尺度的波动,纬圈方向不同波数谐波之间的相互作用没有考虑,对流下层流型的季节性突变问题亦未涉及,这些问题均有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 叶笃正、陶诗言、李麦村,在六月和十月大气环流的突变现象,气象学报,29,4,249—263,1958。
- [2] 李麦村、罗哲贤,六月和十月大气环流突变的非线性机制,中国科学,B辑,187—192,1983。
- [3] 柳崇健、陶诗言,副高北跳与月尖突变,中国科学,B辑,474—480,1983。
- [4] 缪锦海、丁敏芳,热力强迫下大气平衡态的突变与季节变化、副高北跳,中国科学,B辑,87—96,1985。
- [5] 马镜娴,地形和非绝热加热共同强迫的流型突变,气象学报,44,4,395—402,1986。
- [6] 罗哲贤,非绝热加热和地形共同强迫下斜压大气的环流突变,大气科学,10,2,129—137,1986。
- [7] 余志豪、葛孝贞,副热带高压脊线季节活动的数值试验I,海洋学报,5,6,698—708,1983。
- [8] 余志豪、葛孝贞,副热带高压脊线季节活动的数值试验II,海洋学报,6,6,760—769,1984。

ABRUPT CHANGES OF FLOW PATTERNS IN ASIA DURING JUNE AND OCTOBER BY OROGRAPHY AND PERIODIC THERMAL FORCINGS

Ma Jingxian* Luo Zhexian

(Meteorological Research Institute, Gansu Province)

Abstract

A two-level quasi-geostrophic low-order spectral model by both the orography and the periodic thermal forcings is used to study the changes of flow patterns. In certain parametric combinations, the phenomena of the abrupt seasonal changes of flow patterns in June and October exhibit distinctly

* Present affiliation: Department of Meteorology, Nanjing Institute of Meteorology