

北半球冬半年平流层大气低频振荡特征的研究

程 胜^{1, 2, 3} 李崇银^{1, 4}

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100039

3 浙江省湖州市气象局, 湖州 313000

4 解放军理工大学气象学院, 南京 211101

摘 要 利用 NCEP/NCAR(1970~1999 年)位势高度场和风场再分析资料, 通过小波分析的方法, 研究并揭示了北半球冬半年平流层大气低频振荡的周期, 然后通过滤波等方法, 揭示了冬半年平流层大气低频振荡的空间结构、传播规律、地域分布特征及北半球低频遥相关的一些分布特征, 并且与对流层大气低频振荡作比较。作者对北半球平流层大气低频振荡进行的系统分析研究结果表明: 在北半球冬半年平流层, 大气低频振荡十分显著, 其振荡周期以 60 天最为显著, 在垂直方向上表现出正压结构特征, 在水平方向上表现为一致西传, 并且以北极涛动 (the arctic oscillation) 占据主导地位。北半球冬半年平流层大气低频振荡主要活动区域为北极地区, 并且在 45°N 附近还存在 3 个活动中心, 即欧亚大陆、北太平洋和北大西洋中心。

关键词 平流层 大气低频振荡 北极涛动

文章编号 1006-9895(2006)04-0660-11

中图分类号 P433

文献标识码 A

The Features of the Wintertime Stratospheric Atmospheric Low-Frequency Oscillation in the Northern Hemisphere

CHENG Sheng^{1, 2, 3} and LI Chong-Yin^{1, 4}

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

3 *Huzhou Meteorological Bureau in Zhejiang Province, Huzhou 313000*

4 *Meteorological College, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101*

Abstract Based on the NCEP/NCAR reanalysis data (geopotential height field and wind field data from 1970 to 1999), the dominant period of the low-frequency oscillation in the wintertime stratospheric atmosphere of the Northern Hemisphere is examined distinctly by using morlet wave analysis. In the wintertime stratospheric atmosphere of the Northern Hemisphere, the vertical structure, the direction of the horizontal propagation and the most active areas of the low-frequency oscillation are related in detail. At last the spatial patterns of the low-frequency oscillation are also showed in the paper.

By using the daily data at many levels, the wavelet analysis suggests that there is a remarkable low-frequency oscillation (a dominant period of 60 days) existing in the wintertime stratospheric atmosphere of the Northern Hemisphere. By the way, the results show that there is another period of 20 days, but the period of 60 days is more distinct. So the period of the band-pass filter in the text is 15 to 90 days. The low-frequency oscillation has a barotropic

收稿日期 2005-03-24, 2005-09-06 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40233033, 中国科学院创新项目 ZKCX2-SW-210

作者简介 程胜, 男, 1979 年出生, 理学硕士, 目前主要研究平流层大气低频振荡。E-mail: souledge@mail.iap.ac.cn

structure on the vertical plane and a westward propagation on the horizontal plane by using the daily data at many levels. And the Arctic oscillation (AO) is in particular dominant, three active centers are located in the Eurasia, the northern Pacific, the northern Atlantic.

Results show the spatial patterns of the low-frequency oscillation by using the singular value decomposition (SVD) of the geopotential height fields at many levels. The leading mode is AO. By calculating the correlation coefficients of the geopotential height fields at many levels, the figures show the same result as the figures of SVD. In the wintertime stratospheric atmosphere of the Northern Hemisphere, there exists the negative correlation between AO and the other fields. And the figures also show some characters of PNA (Pacific-North American Pattern) and EUP (Eurasia-Pacific Pattern) in the stratospheric atmosphere of the Northern Hemisphere.

Compared with those of the troposphere atmosphere, the spatial structure, propagation and regional distribution of the low frequency oscillation of the stratospheric atmosphere are different but related.

Key words stratosphere, atmospheric low-frequency oscillation, the Arctic oscillation

1 引言

大气中的季节内振荡 (intraseasonal oscillation, 简称 ISO) 最先是在热带发现的^[1, 2]。Madden 和 Julian^[1] 在对坎顿岛 10 年观测资料做谱分析, 首先发现热带大气在风场和地面气压场的变化中存在 40~50 d 周期的低频振荡。Blackmon 等^[3, 4] 对北半球冬半年对流层作低通及带通滤波的方差研究表明, 低频振荡的振幅有明显的地理分布, 高值中心一般分布在两大洋的东北部(阻塞高压频发区)。Wallace 遥相关型, 即西太平洋型 (the West Pacific Pattern, 简称 WP)、太平洋北美型 (Pacific-North American Pattern, 简称 PNA)、西大西洋型 (the West Atlantic Pattern, 简称 WA)、东大西洋型 (the East Atlantic Pattern, 简称 EA) 和欧亚型 (the Eurasia Pattern, 简称 EU), 它们是作为低频振荡的主要表征^[5]。Lorenz^[6] 分析 200 hPa 辐散场发现有纬向波数为 1, 周期为 30~60 d 的振荡向东传播。Krishnamuri 等^[7] 指出 30~60 d 振荡是一种全球大气变化现象。目前, 大气低频振荡机制的研究很多, 能够较好地解释热带大气低频振荡活动规律的工作主要有 CISK 振荡型模^[8]、移动性波动 CISK^[9]、CISK-Rossby 波^[10] 等。对于中高纬大气低频振荡的机制, 已有研究^[11~13] 表明, 大气对外强迫的低频响应、波-流相互作用, 以及波共振相互作用等非线形过程对激发产生中高纬度大气 ISO 有重要作用。近年来, 李崇银等的研究^[14, 15] 还指出热带大气 ISO 的活动对亚洲季风的建立和异常都有重要的作用。另外, 大气 ISO 活动的异常同厄尔尼诺有着明显的相互作用关系, 而且这种相互作

用关系还有着随时间变化(尤其是年代际变化)的特征^[16~18]。

由于种种技术上的原因, 使得平流层大气的各种气象要素资料不完整或缺乏。这对研究平流层大气造成了极大的困难。随着“平流层过程及其在气候中的应用”(SPARC)计划的开展, 从各方面极大丰富了我们对于平流层的了解, 同时也得到了一些更全面、更准确的资料。其实早在 1961 年 Charny 和 Drazin^[19] 就提出了著名的行星波理论, 即行星波在对流层产生, 在特定的条件下, 可向上传播到平流层, 并在那里消散。Holton^[20] 进一步提出是行星波驱动平流层大气环流。同时, 也有部分学者认为, 纬向风扰动的低频振荡是由高层平流层大气向下传播到低层对流层大气^[21~25]。因此, 不仅对流层大气可影响平流层大气, 平流层大气也会影响对流层大气, 尤其是对于大气低频变化来讲。这就需要进一步研究平流层大气低频振荡, 尤其是平流层大气低频振荡的结构特征、传播规律和物理机制, 这都是我们需要解决的问题。

本文通过对 NCEP/NCAR 冬半年平流层大气位势高度场和风场再分析资料的研究, 了解北半球冬半年平流层主要的低频模态, 并揭示北半球冬半年平流层大气低频振荡的结构特征、传播规律、地域分布特征等, 这些对于我们了解平流层大气低频振荡的机制以及与对流层大气低频振荡的关系无疑是很有意义的。

2 资料和计算方法

本文主要使用的是 NCEP/NCAR (1970~1999 年) 位势高度场和风场再分析资料, 其分辨率为

$2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 主要计算层次是 30 hPa、50 hPa、70 hPa、100 hPa。

首先, 由于平流层冬半年的低频变化更加显著, 故以下研究所用资料均为冬半年资料(即 11~4 月)。通过对位势高度 H 的距平值进行小波(MORLET)分析, 找出其主要的低频周期。同时, 我们还对其不同层次的风场也进行了同样的分析, 从而确定其低频振荡变化的主要周期。

其次, 我们采用带通滤波(15~90 d)方案(使用 Butterworth 滤波器)对其进行带通滤波, 从而揭示了北半球冬半年平流层大气低频振荡的垂直结构、水平传播规律等特征。同时, 使用风场的再分析数据计算了北半球冬半年平流层低频动能分布, 分析北半球冬半年平流层大气低频振荡的地域分布特征, 并且与对流层大气低频振荡作比较。

最后, 通过奇异值分解(the singular value decomposition 简称 SVD)等方法, 研究并揭示北半球

冬半年平流层大气环流变化的主要模态, 以及平流层大气低频振荡与主要环状模态的关系。

3 北半球冬半年平流层大气低频振荡周期

为了弄清楚北半球平流层大气的低频变化, 我们需要了解北半球冬半年平流层位势高度场和风场的时间变化特征。

我们对北半球冬半年平流层大气不同纬度地区的位势高度场和风场资料做 30 年平均, 并求得其位势高度场和风场距平, 选择特定区域(不同纬带地区)进行区域平均求得该区域的时间序列, 然后选择任意一段冬半年位势高度场和风场距平(区域平均后)的时间序列进行小波分析(使用 Morlet 连续小波变换), 可以得到其主要的低频振荡周期。通过对结果的分析, 我们可以发现它们都具有相近的周期, 即 15~90 d 的准周期变化。下面, 我们将

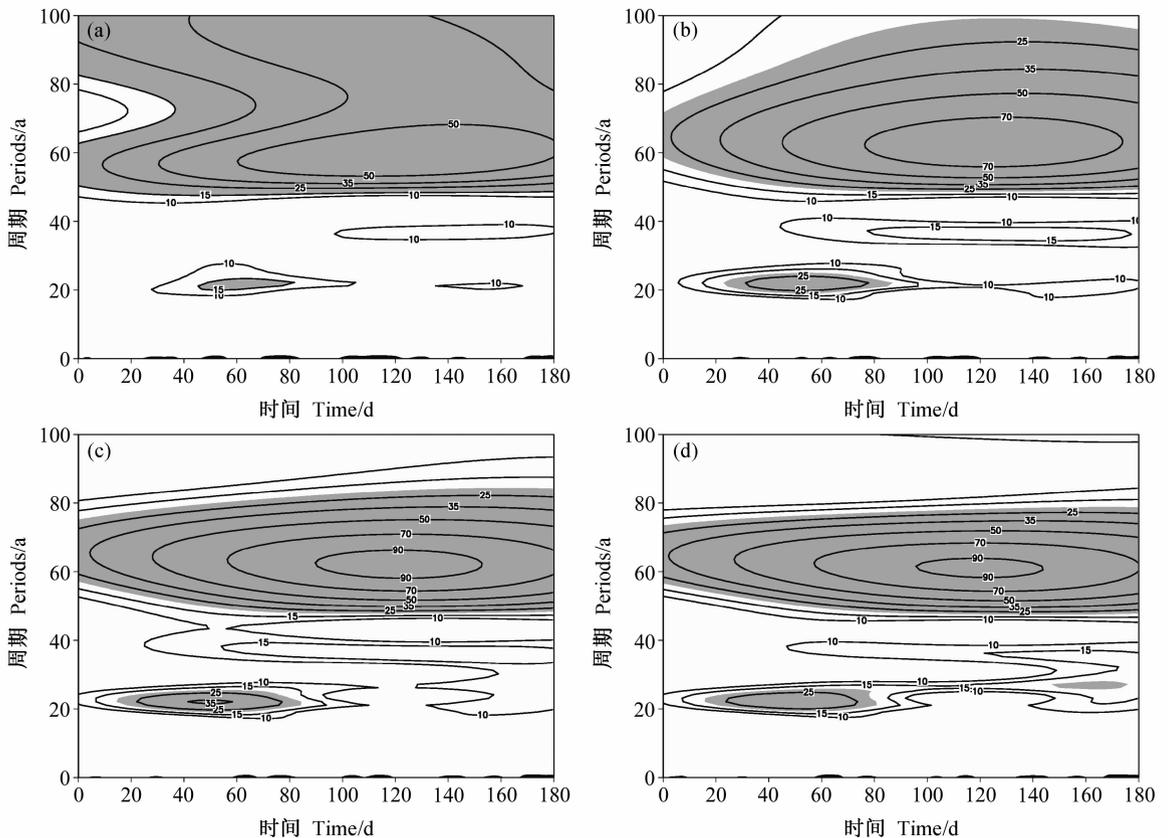


图1 1970/1971年北半球冬半年平流层不同等压面位势高度场的 Morlet 小波分析($55^{\circ}\text{N} \sim 65^{\circ}\text{N}$ 区域平均后的位势高度场时间序列): (a) 30 hPa; (b) 50 hPa; (c) 70 hPa; (d) 100 hPa。阴影为超过 95% 信度检验的区域

Fig. 1 The Morlet wavelet analysis of the geopotential height by area average along $55^{\circ}\text{N} \sim 65^{\circ}\text{N}$ latitude belt at 30 hPa (a), 50 hPa (b), 70 hPa (c) and 100 hPa (d) for the wintertime of 1970/71. Shading denotes the region above 95% significance level

给出 1970 年北半球冬半年不同等压面位势高度场的 Morlet 小波分析结果(图 1)。这里依次给出的是 30 hPa、50 hPa、70 hPa、100 hPa 的小波变换图, 所得计算结果是对 $55^{\circ}\text{N}\sim 65^{\circ}\text{N}$ 纬带平均的时间序列结果, 可以发现在 15~90 d 周期谱带内存在着显著的谱峰, 说明北半球冬半年平流层大气低频振荡在平流层是明显存在的。而且我们还可以看到在 25 d 和 60 d 附近存在着两个谱峰, 尤以 60 d 左右的准周期振荡更显著。并且这两个谱峰都通过了小波系数 95% 信度检验。同时从图 1 还可以看出 25 d 谱峰主要出现在初冬, 其后则基本上以 60 d 为中心的一个谱峰。

然后, 对同时期的风场资料作小波分析, 也得到了类似的结果。图 2 是 1970 年北半球冬半年平流层 $55^{\circ}\text{N}\sim 65^{\circ}\text{N}$ 纬带地区纬向风场(70 hPa)的小波分析结果, 从图中可以很明显地看出, 其显著的振荡周期是 35 d 左右, 与我们在位势高度场所得的结果基本一致, 并且这一结果同样通过了小波系数 95% 信度检验。我们对于其他层次的冬半年风场距平时间序列进行小波分析, 所得的结果也是一致的, 其主要振荡周期都分布在 20~60 d。

所以, 可以认为北半球冬半年平流层大气具有 15~90 d 的显著低频变化周期, 即北半球冬半年平流层大气有显著的低频振荡特征, 与北半球对流层

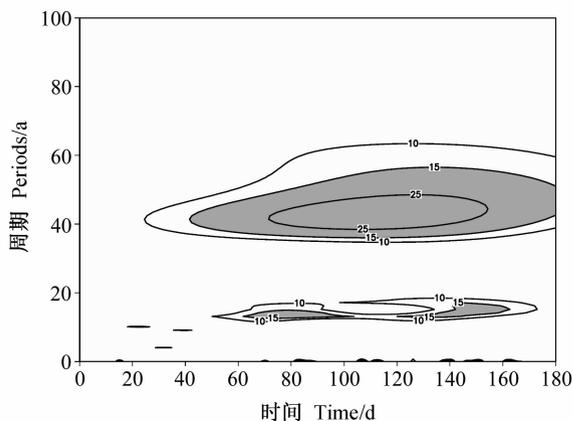


图 2 1970/71 年北半球冬半年平流层 70 hPa 等压面纬向风场的 Morlet 小波分析(小波分析对象为 $55^{\circ}\text{N}\sim 65^{\circ}\text{N}$ 纬度带区域平均后的纬向风场时间序列)。图中阴影区为超过 95% 信度检验的区域

Fig. 2 The Morlet wavelet analysis of the zonal wind by area average along $55^{\circ}\text{N}\sim 65^{\circ}\text{N}$ latitude belt at 70 hPa for the wintertime of 1970/71. Shading denotes the region above 95% significance level

的情况也是相似的。同时, 这些结果也为我们进行带通滤波(15~90 d)提供了科学依据。

4 北半球冬半年平流层大气低频振荡特征

4.1 北半球冬半年平流层大气低频振荡的垂直结构特征

对于北半球冬半年平流层大气低频振荡的垂直结构, 我们可以从图 3 清楚地看到它的正压结构特征。图 3 分别给出了冬半年(11~4 月)不同纬度带大气低频振荡(15~90 d)的位势高度扰动形势, 可以反映高纬度、中纬度和低纬度地区的北半球冬半年平流层大气低频振荡的特征。首先, 从图 3 的 30 hPa、50 hPa、70 hPa 和 100 hPa 位势高度振幅的纬向分布可以清楚地看到, 北半球冬半年平流层中层和下层的槽脊有着基本一致的分布, 表现了北半球冬半年平流层大气低频振荡的正压垂直结构特征。比较图 3a 与 c、或图 3b 与 c 可以发现, 北半球平流层大气的位势高度扰动振幅分布是高纬地区高于中纬地区, 中纬地区高于低纬地区, 这表明了其低频振荡在中高纬地区要比低纬地区更加显著。同时, 还可以看到北半球平流层大气低频振荡的正压特征在中高纬度比在低纬度更显著一些。无论是哪个等位势高度面上, 中高纬地区位势高度扰动有明显的一致性, 很好地说明了其正压特征。而低纬地区, 尤其是在低纬度地区的 100 hPa 等压面上, 低频振荡既有与高层的一致性, 也有一些差异, 表明了低纬度 100 hPa 还会受到下层的一定影响。

4.2 北半球冬半年平流层大气低频振荡的水平结构特征

对于北半球冬半年平流层大气低频振荡的水平结构, 从图 3(结合图 4 其他位相时刻的图)可以看出, 在高纬度地区, 北半球冬半年平流层大气低频振荡在位势高度场上主要表现为纬向 1~2 波型, 并且以纬向 1 波占优势。对于中纬度地区, 北半球冬半年平流层大气低频振荡在位势高度场上主要表现为纬向波数 2~3。而在低纬度地区, 北半球冬半年平流层大气低频振荡相对较弱, 主要表现为 3~5 波, 并且以纬向 3 波占优势。越往高纬地区, 北半球冬半年平流层大气低频扰动的尺度越大, 扰动振幅也越大, 而低纬地区扰动较为复杂。

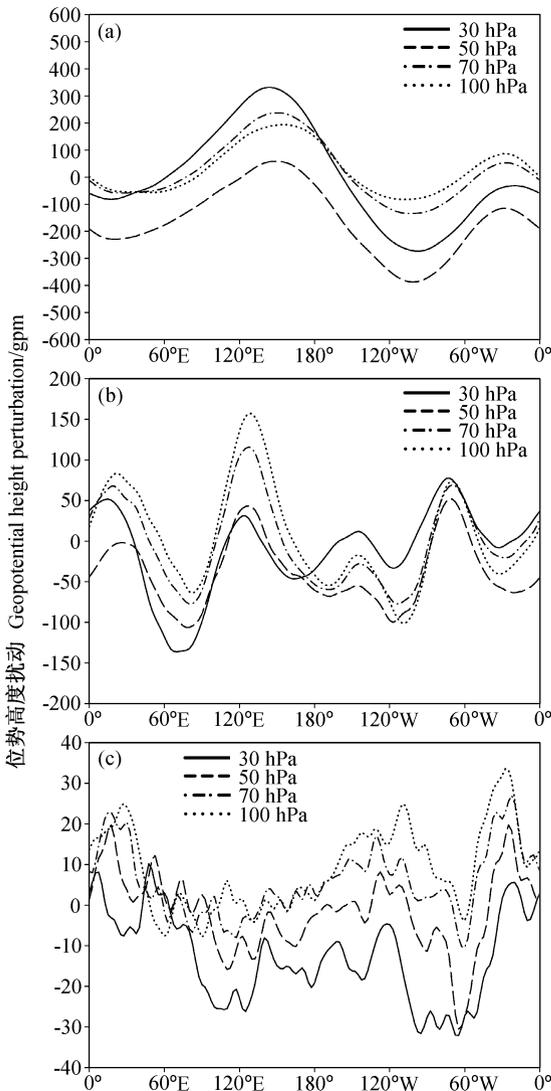


图3 北半球冬半年不同纬度地区15~90 d带通滤波的位势高度在某一振荡位相时刻的经度分布:(a) 55°N~65°N;(b) 25°N~35°N;(c) 5°N~15°N

Fig. 3 Longitudinal distributions of the 15-90 d band-pass filtered geopotential height perturbations averaged over different latitude belts in wintertime for a certain phase: (a) 55°N-65°N, (b) 25°N-35°N and (c) 5°N-15°N

4.3 北半球冬半年平流层大气低频振荡的水平传播特征

为了研究北半球冬半年平流层大气低频振荡的水平传播特征,我们做了不同纬度带大气低频扰动的经度分布以及其随时间的演变,从而可以研究其低频扰动在一个振荡周期内的水平传播特征。图4分别给出了北半球冬半年(11~4月)不同纬度带大气低频振荡位势高度扰动的经度分布以及其随时间演变的情况。从图4可以看到,在高纬度地区,平

流层大气低频振荡的位势高度扰动在冬半年明显西移;在中纬度地区,平流层大气低频振荡的传播规律虽然不太明显,但还是以向西传播为主要特征;在低纬度地区,平流层大气低频振荡也主要为纬向缓慢西传。在不同纬度地区,北半球冬半年平流层大气低频振荡在水平传播方向上表现出一致西传的特征,其在高纬度地区西传速度较快;在低纬度地区则比较缓慢。并且在其一致向西传播地过程中,保持了很好的正压特征。

4.4 北半球冬半年平流层大气低频振荡的地域性特征

为了讨论北半球冬半年平流层大气低频振荡活动的地域特征,我们计算了冬季大气低频动能在不同层次上的水平分布。大气低频动能的计算公式为

$$\tilde{E}_k = \frac{1}{2}(\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2),$$

\tilde{u} 、 \tilde{v} 均为15~90 d滤波后的值。通过计算扰动动能的空间分布,可以确定北半球平流层大气低频主要变化的关键区域。扰动动能空间分布的高值区对应于低频变化大的区域,低值区对应于低频变化小的区域。显然高值区是变化的关键区域。对风场变量滤波之后的资料,按照大气低频动能的计算公式计算不同层次的大气低频动能的空间分布。由于平流层大气垂直速度极小,相对其水平速度可以忽略不计,所以我们只计算其二维扰动动能的水平分布。

图5分别给出了1970~1980年(冬半年)平均的70 hPa和100 hPa上大气低频动能的分布,图中阴影区为等值线大于30 m²/s²的区域,其中等值线间隔为10 m²/s²。从图5a不难看出,北半球冬半年平流层70 hPa大气低频动能的大值区主要位于50°N以北的北极极区,北极附近地区的低频动能值要比北半球其他地区大许多,而在低纬地区低频动能值接近零。这个结果说明北半球冬半年大气低频振荡的关键区域是北极地区以及50°N以北地区,这主要是由于北极涛动造成的。这与前面的分析结果是一致的,因为北极涛动是北半球冬半年环流的主要模态,北极涛动所包含的低频特性对整个北半球有非常重要的影响。图5中低频扰动动能的分布也很好解释了前文关于北半球平流层高纬地区位势高度扰动振幅高于中低纬地区的空间分布。

同时,还可以从在图5a中看到在50°N以南还存在另外3个相对大值中心,分别位于乌拉尔山,

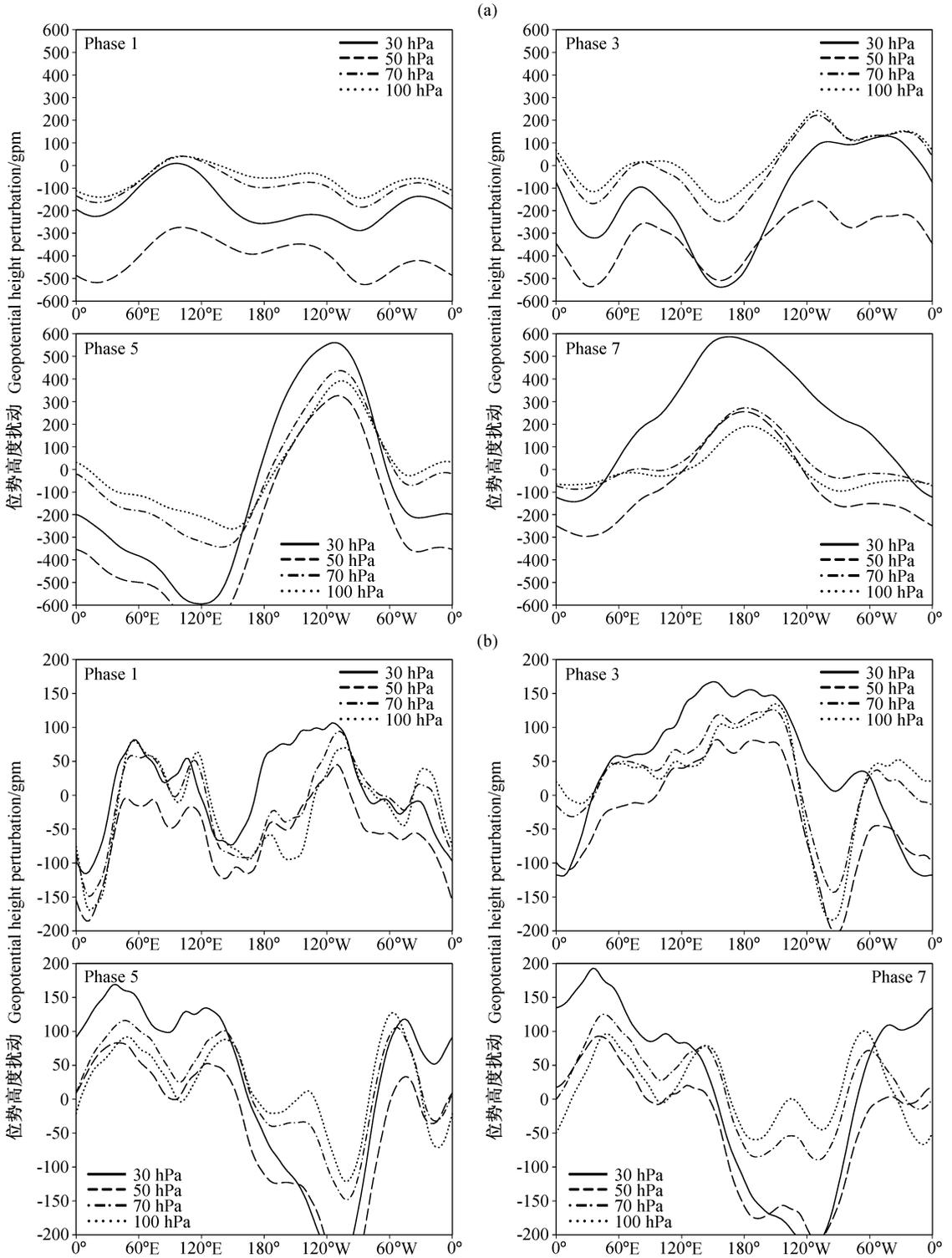


图 4 北半球冬半年不同纬度带平流层大气低频振荡位势高度扰动场的经度分布及演变：(a) 55°N~65°N；(b) 25°N~35°N；(c) 5°N~15°N
Fig. 4 Longitudinal variation of the stratospheric atmospheric low-frequency oscillation in the geopotential height field at different latitude belts in the wintertime; (a) 55°N-65°N; (b) 25°N-35°N; (c) 5°N-15°N

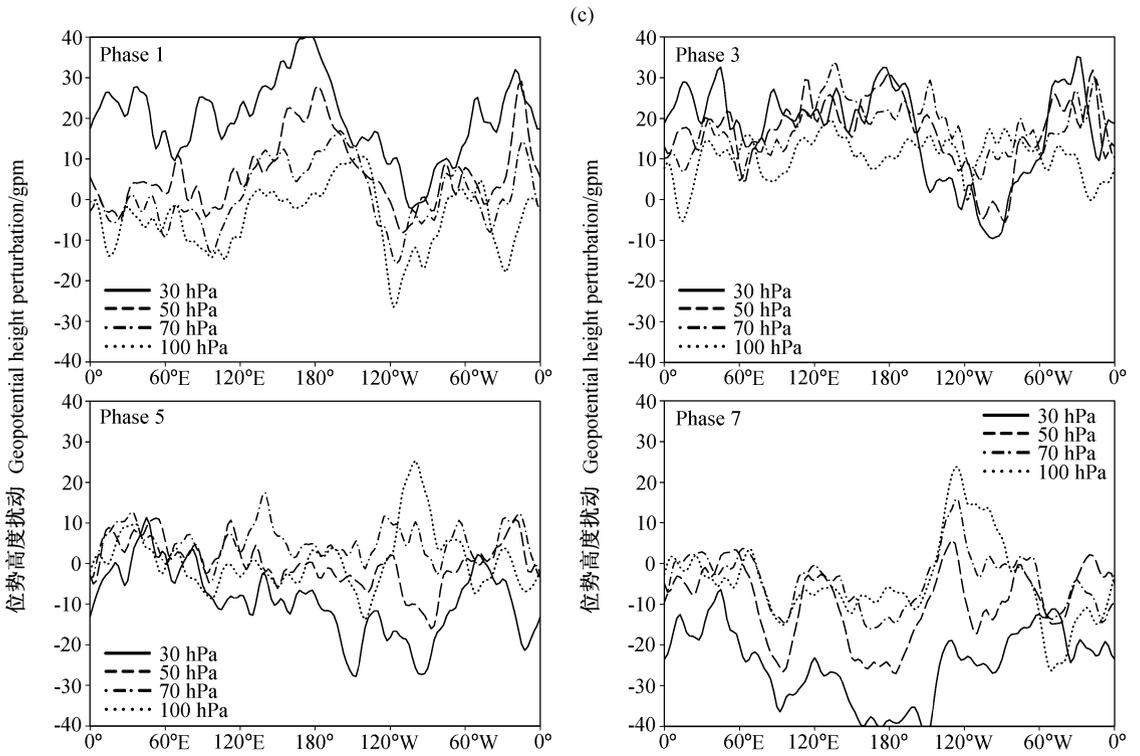


图 4 (续)
Fig. 4 (Continued)

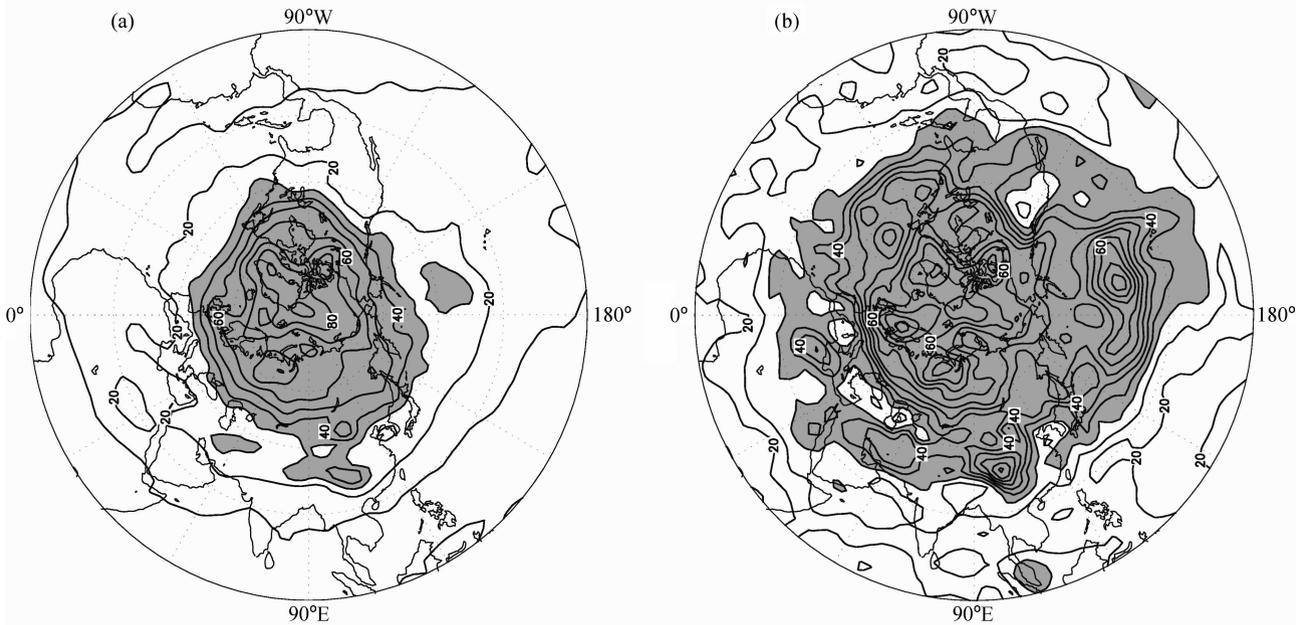


图 5 1970~1980 年北半球冬半年平流层 70 hPa (a) 和 100 hPa (b) 等压面上大气低频动能的水平分布特征 (单位: m^2/s^2)。阴影为等值线大于 $30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 的区域

Fig. 5 Distribution (m^2/s^2) of kinetic energy at (a) 70 hPa and (b) 100 hPa constant pressure surface in the wintertime from 1970 to 1980. Shaded areas indicate that the kinetic energy is greater than $35 \text{ m}^2/\text{s}^2$

青藏高原和北太平洋上空。这些结果说明北半球冬半年平流层大气低频振荡的活动主要在上述 4 个地区，而在其他的地区低频扰动动能较小，其活动也就相对较弱。在平流层 100 hPa 等压面上，也可以得到相似的结果，其主要分布特征和相对大值中心的分布都是一致的，只不过在西欧和北大西洋上空分别还存在一个相对大值中心。比较图 5a 和 b，不难发现不同层次(指等压面)上北半球平流层大气低频动能的水平分布也存在着一些差异。尤其是在中高纬度地区，70 hPa 等压面上的低频扰动动能值要比 100 hPa 等压面的高出许多。但是在许多中纬度地区，例如在北太平洋地区，70 hPa 等压面上的大气低频动能的最大值为 $30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ，而 100 hPa 等压面上的大气低频动能最大值为 $70 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 。造成这种分布上的差异可能是由于平流层低层大气低频扰动动能和北极涛动的垂直分布有关。通过对其他层次上平流层低频扰动动能分析的结果，也可看出这一差异。

图 5 很好地描述了北半球冬半年平流层大气低频振荡的地域性特征，它呈现出一种“环岛”型结构，即以北极地区为中心，低频变化的动能值向赤道地区递减，并且在 $40^\circ\text{N} \sim 60^\circ\text{N}$ 纬带还存在几个呈“岛”状分布的大值中心，大致可以归为三个中心，即欧亚大陆、北太平洋和北大西洋中心。而造成这种“环岛”型分布特征主要是由于北半球冬半年

平流层大气低频振荡受北极涛动的影响，同时也有对流层的一定作用。

5 北半球冬半年平流层大气主要低频模态

为了弄清楚北半球冬半年平流层大气环流主要低频模态，我们对北半球不同位势高度场(经过滤波后的资料)进行奇异值分解(SVD)。其结果都表明，北半球冬半年平流层主要的低频系统是北极涛动，在北半球冬半年平流层大气环流演变中，北极涛动占据了统治地位。

图 6 是 1970~1980 年北半球冬半年 50 hPa 和 100 hPa 位势高度场的奇异值分解，这里给出的是第一模态，其 SCF (squared covariance fraction) 值为 0.44。从图 6 可以明显地看出，在北半球冬半年平流层大气中层和下层是一致的，即它们之间是一种正相关的关系，这与前面分析平流层大气低频振荡的垂直结构所得的结果是一致的。首先，在同一位势高度场上，存在两条零线(相关系数值为零的等值线)，其所在纬度为 60°N 和 20°N 左右，并且以这两条零线将北半球分为三部分： 60°N 以北的高纬地区是一个以北极为中心的负值区； $20^\circ\text{N} \sim 60^\circ\text{N}$ 的带状区域是一个正值区，在 45°N 附近存在 3 个大值中心，分别位于欧亚大陆中部地区上空、北太平洋和北大西洋上空； 20°N 以南到赤道地区

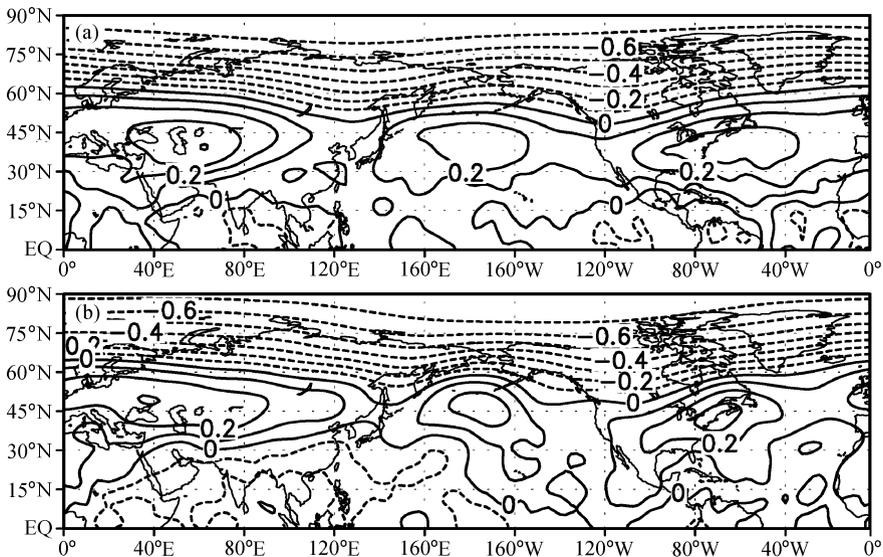


图 6 1970~1980 年冬半年 50 hPa (a) 和 100 hPa (b) 位势高度场的奇异值分解图(等值线间隔为 0.1, 左场为 50 hPa, 右场为 100 hPa)
 Fig. 6 The singular value decomposition of the geopotential height field at 50 hPa (a) and 100 hPa (b) in the wintertime from 1970 to 1980 (The contour intervals are 0.1. The 50 hPa is on the left field, and the 100 hPa on the right)

是一个负值区。并且, 欧亚大陆中心和北大西洋中心值高于北太平洋中心。图 6 表明了高纬地区的低频位势扰动变化和中纬地区是负相关, 和低纬地区则呈一种正相关的关系。并且在极区附近地区, 其协相关系数都非常大, 这说明平流层中层和下层位势扰动的低频变化趋于一致, 这可能是由于它们都是受北极涛动的影响所致。仔细观察图 6, 可以发现两张分图所表现出的主要结构是非常相似的, 这表明在整层平流层大气中, 大气低频振荡有很好的—致性, 同时也证明了平流层大气低频振荡的垂直结构是一种正压结构。

将图 5b 和图 6b 作比较, 不难发现两者的大值区有很好的对应关系, 同时, 在其他 3 个等压面上也可发现这种对应关系。这进一步说明了北半球冬半年平流层大气低频振荡有显著的地域性, 并且主要受北极涛动的影响。

由于整个大气是一个统一的整体, 一个区域大气环流的异常可以引起另外一些区域大气环流的异常, 这种区域性环流异常以及它所引起的要素异常的相关性就称为遥相关 (Teleconnection)。全球大气具有其清楚的低频波列 (遥相关) 特征, 而且这种低频遥相关同一般的主要遥相关型 (如 PNA 和

EUP), 以及大气遥响应型, 都有着很类似的特征。下面, 我们将从遥相关的角度, 研究北半球平流层主要低频遥相关模态。

利用 15~90 d 带通滤波的位势高度场数据, 通过对北半球不同参考点进行低频遥相关系数的计算, 我们可以得到北半球冬半年平流层大气的主要低频相关模态。由于前文 EOF 的结果显示北极地区是平流层低频变化的显著区域。我们选取极区 (87.5°N , 160°E) 作为基点, 计算全球不同等压面位势高度场的低频遥相关。所得的结果都非常相似, 这里给出的是 1970~1980 北半球冬半年平流层 100 hPa 和 70 hPa 位势高度场低频遥相关图 (图 7)。由于样本数目较多, 所有正负中心都通过了 99% 的信度检验。总的来说, 北极地区 (概指 60°N 以北) 和北半球其他大部分地区呈负相关, 这可能是由于在北半球冬半年平流层大气中, 北极涛动扮演了非常重要的角色。同时, 从图 7 可以看到 PNA 和 EUP 两个遥相关波列的特征, 尤其是在 100 hPa 上。这在一定程度上反映了对流层低频行星波列的主要特征。

从图 7 中可以看出, 在低频变化上, 北极地区和北大西洋地区呈负相关, 北太平洋地区和北美地

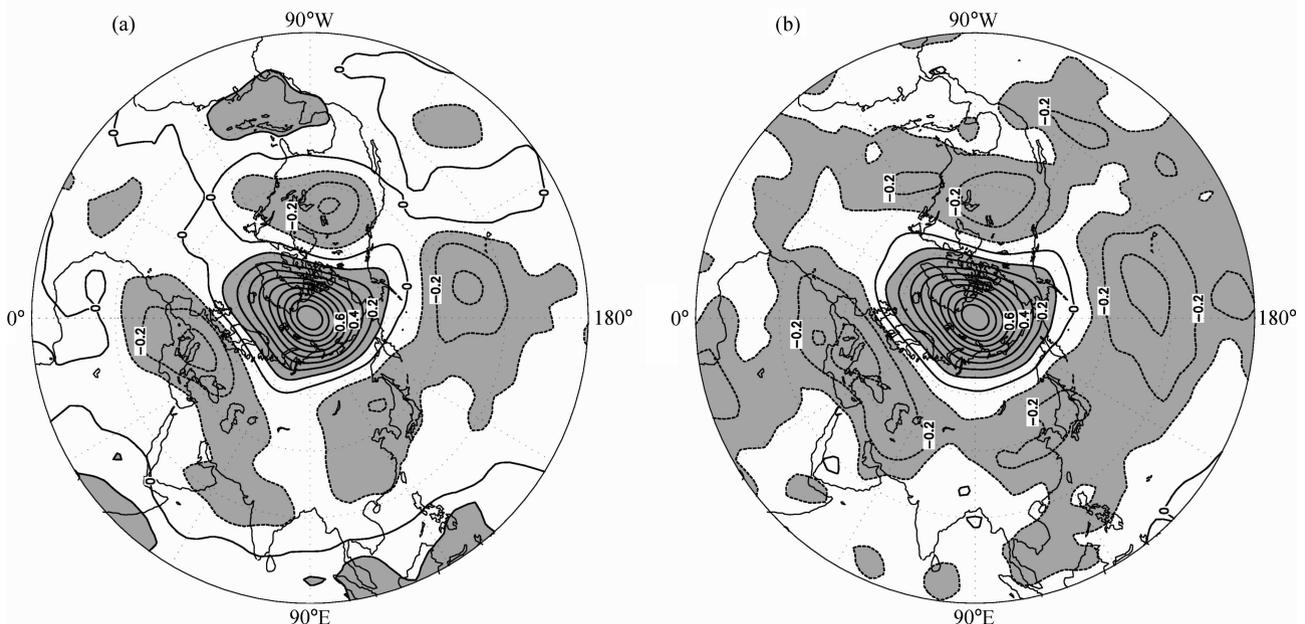


图 7 1970~1980 年北半球冬半年平流层 100 hPa (a) 和 70 hPa (b) 位势高度场的低频遥相关分布 [计算参考点为 (87.5°N , 160°E)]。阴影为超过 99% 信度检验的区域

Fig. 7 The correlation coefficients of the filtered geopotential height at (a) 100 hPa and (b) 70 hPa in the wintertime from 1970 to 1980. The contour intervals are 0.1, and the reference point is at (87.5°N , 160°E). Shading denotes the region above 95% significance level

区呈正相关。Hisanori Itoh 和 Ken-Ichi Harada 等^[26]所作的研究得到了这种低频相关模态, 并且对它们形成的机制也做了一定的讨论。他们利用平流层大气风场资料分解出来的 EOF 第一模态反演出对流层的 NAO 模 (the North Atlantic Oscillation mode) 和 PNA 模 (the Pacific-North American), 同样预示着平流层大气低频模与对流层大气低频模有着非常重要的关系。

6 结论

大气低频振荡是全球大气运动的基本特征之一, 它普遍存在于全球大气之中。已有的研究^[15, 17]对对流层大气低频振荡的空间结构、传播规律以及地域分布等都有详细深入的分析, 在此不再赘述。本文结果表明, 平流层大气低频振荡无论是在空间结构, 还是在传播规律上都与对流层大气低频振荡有一定的区别, 其主要是受到北极涛动的影响。并且, 平流层大气低频振荡有着明显的地域性特征, 不同纬度的大气低频振荡有着明显的区别。首先, 北半球冬半年平流层大气低频振荡在平流层是明显存在的, 其中尤以 60 d 左右的准周期振荡更显著。其次, 在垂直分布上, 它是一种正压结构。在高纬度地区, 北半球冬半年平流层大气低频振荡在位势高度场上主要表现为纬向 1~2 波型, 并且以纬向 1 波占优势。对于中纬度地区, 北半球冬半年平流层大气低频振荡在位势高度场上主要表现为纬向波数 3~4。而在低纬度地区, 北半球冬半年平流层大气低频振荡相对较弱, 主要表现为 3~5 波。北半球冬半年平流层大气低频振荡的水平传播特征是一致向西传播。北半球冬半年平流层大气低频的地域性特征: 北半球平流层大气普遍存在大气低频振荡, 只是高纬度地区更显著, 它呈现出一种“环岛”型结构, 即以北极地区为中心, 低频变化的动能值向赤道地区递减, 并且在 40°N~60°N 还存在几个呈“岛”状分布的大值中心, 大致可以归为三个中心, 即欧亚大陆、北太平洋和北大西洋中心。最后, 我们指出了北半球冬半年平流层主要的低频系统是北极涛动, 在北半球冬半年平流层大气环流演变中, 北极涛动占据了统治地位。

已有研究提到平流层大气低频振荡先于对流层发生变化的观点^[21~25], 这不仅对研究对流层大气低频振荡有一定的指导意义, 还有实际应用前景。

在平流层, 各种气象要素的低频变化都很明显, 各个系统之间的相互影响关系也相对比较简单, 特别是在中高纬度地区。相对而言, 对流层大气低频振荡要复杂得多, 各个系统之间的相互影响关系错综复杂。对流层大气低频振荡相当部分 (尤其在中高纬度地区) 是由于平流层激发的, 是由于平流层通过某种机制自上而下传播到对流层, 并影响对流层大气低频振荡的发生和发展^[23~25]。这是对 Holton 提出的行星波驱动平流层大气环流^[20]的一大挑战。因此, 研究平流层大气低频振荡, 分析其物理机制及其与对流层的关系, 是十分有价值的事情。这也正是我们以后要进一步研究的问题。

参考文献 (References)

- [1] Madden R A, Julian P R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 1971, **28**: 702~708
- [2] Madden R A, Julian P R. Description of globe-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 1972, **29**: 1109~1123
- [3] Blackmon M L. A climatological spectral study of the 500 hPa geopotential height of the Northern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, 1976, **33**: 1607~1623
- [4] Blackmon M L, Wallace J M, Lau N-C, et al. An observational study of the Northern Hemisphere wintertime circulation. *J. Atmos. Sci.*, 1977, **34**: 1040~1053
- [5] Simmons A J, Wallace J M, Branstator G W. Barotropic wave propagation and instability, and atmospheric teleconnection patterns. *J. Atmos. Sci.*, 1983, **40**: 1363~1392
- [6] Lorenc A C. The evolution of planetary scale 200 mb divergence flow during the FGGE year. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1984, **110**: 427~441
- [7] Krishnamurti T N, Subrahmanyam D. The 30-50 day mode at 850 mb during MONEX. *J. Atmos. Sci.*, 1982, **39**: 2088~2095
- [8] 李崇银. 第二类条件不稳定-振荡型对流. *中国科学 (B 辑)*, 1983, 857~865
Li Chongyin. The conditional instability of the second kind-oscillated convection. *Science in China (Series B)* (in Chinese), 1983, 857~865
- [9] Lau K M, Peng L. Origin of low-frequency (intraseasonal) oscillations in the tropical atmosphere. Part I: Basic theory. *J. Atmos. Sci.*, 1987, **44**: 950~972
- [10] 李崇银. 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*, 1990, **14**: 83~92
Li Chongyin. Dynamic study on 30-50 day oscillation in the tropical atmosphere outside Equator. *Chinese Journal of At-*

- atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1990, **14**: 83~92
- [11] 罗德海, 李崇银. 地形强迫 Rossby 波的不稳定和中高纬度地区 30~60 低频振荡气候变化若干问题研究. 北京: 科学出版社, 1992. 82~86
Luo Dehai, Li Chongyin. *Studies on Instability of the Forced Rossby Wave by Topography and the 30-60 d Low-Frequency Variability in the Mid-High Latitude* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1992. 82~86
- [12] Luo Dehai, Li Chongyin. The resonant interaction of periodic external forced Rossby waves and low-frequency oscillations in the mid-high latitudes. *Climate, Environment and Geophysical Fluid Dynamics*. Beijing: China Meteorological Press, 1993. 111~122
- [13] 李崇银, 曹文忠, 李桂龙. 基本气流对中高纬度大气低频振荡的影响. 中国科学 (B), 1995, **25**: 979~985
Li Chongyin, Cao Wenzhong, Li Guilong. Influence of the basic flow on the atmospheric intraseasonal oscillation in the mid-high latitude. *Science in China (Series B)* (in Chinese), 1995, **25**: 979~985
- [14] 穆明权, 李崇银. 1998 年南海夏季风的爆发与大气季节内振荡的活动. 气候与环境研究, 2000, **5**: 375~387
Mu Mingquan, Li Chongyin. On the outbreak of South China Sea summer monsoon in 1998 and activity of atmospheric intraseasonal oscillation. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5**: 375~387
- [15] 李崇银, 龙振夏, 穆明权. 大气季节内振荡及其重要作用. 大气科学, 2003, **27**: 518~535
Li Chongyin, Long Zhenxia, Mu Mingquan. Atmospheric intraseasonal oscillation and its important effect. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27**: 518~535
- [16] 李崇银, 周亚萍. 热带大气季节内振荡和 ENSO 的相互关系. 地球物理学报, 1994, **37**: 17~26
Li Chongyin, Zhou Yaping. Relationship between the atmospheric intraseasonal oscillation and ENSO. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 1994, **37**: 17~26
- [17] 李崇银. 气候动力学引论 (第二版). 北京: 气象出版社, 2000. 287~297
Li Chongyin. *Introduction of the Climate Dynamics*. Beijing: China Meteorological Press, 2000. 287~297
- [18] Chen Xingyue, Wang Huijun, Xue Feng, et al. Intraseasonal oscillation: The global coincidence and its relationship with ENSO cycle. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18**: 445~453
- [19] Charney J G, Drazin P G. Propagation of planetary-scale disturbances from the lower into the upper atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 1961, **66**: 83~109
- [20] Holton J R. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 1992. 511pp
- [21] Kodera K, Yamazaki K, Chiba M, et al. Downward propagation of upper stratospheric mean zonal wind perturbation to the troposphere. *Geophys. Res. Lett.* 1990, **17**: 1263~1266
- [22] Baldwin M P, Dunkerton T J. Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere. *J. Geophys. Res.*, 1999, **104**: 30937~30946
- [23] Christiansen B. Downward propagation of zonal mean zonal wind anomalies from the stratosphere to the troposphere: Model and reanalysis. *J. Geophys. Res.*, 2001, **106**: 27307~27322
- [24] Baldwin M P, Stephenson D B, Thompson W J D, et al. Stratospheric memory and skill of extended-range weather forecasts. *Science*, 2003, **301**: 636~640
- [25] Baldwin M P, Thompson W J D, Shuckburgh E F, et al. Weather from the stratosphere. *Science*, 2003, **301**: 317~319
- [26] Itoh H, Harada K-ichi. Coupling between tropospheric and stratospheric leading modes. *Journal of Climate*, 2004, **17**: 320~336