

北半球中高纬月平均环流正压斜 压动能的年变化特征*

黄建平 丑纪范
(兰州大学大气科学系)

提 要

本文利用多年月平均资料计算了北半球中高纬月平均环流正压、斜压动能的年变化特征。结果表明无论正压、斜压动能都具有明显的年变化,而且两者的变化趋势也是一致的,但是正压动能要比斜压动能对总动能的贡献大得多。环流异常具有相当正压的垂直结构。有关结论可为长期数值预报模式的简化提供依据。

关键词 正压动能 斜压动能 年变化 相当正压

1. 引言

近年来,不少作者从不同角度说明大气环流异常是正压的,即正负距平区的中心并无随高度倾斜的情况^[1]。为了证实这一点,我们用近30年的资料分析了北半球冬季环流异常演变过程中的垂直结构特征^[2]。结果表明:距平场EOF分解的第一特征向量在对流层中表现为明显的正压性结构,并且在环流异常中占有最大权重,同时还发现正压性最强的区域不仅是距平方差的高值区也是环流异常的持续性中心。这一事实启发我们进一步分析环流异常正压性的产生机制及特点。

本文旨在利用实测资料,从动能变化的角度进一步说明这一问题。这是因为大气环流的动能变化是大气能量循环中的一个环节,它直接与有效位能的变化从而也与大气的不均匀加热有关。因而讨论动能的变化具有一定的物理意义。由于大气流场中包含了正压和斜压分量,所以有人在讨论大气环流能量循环时采用了把大气属性分解的方法^[3, 4],这对于认识平均环流维持与演变过程中,正压和斜压分量的贡献大小是有意义的。

我们亦采用Wiin-Nielsen^[5]的定义和分解办法,利用1956—1983年共28年的月平均资料,对月平均环流演变过程中正压斜压动能的各自贡献大小及其特征进行了动力统计分析。在本文中,我们主要讨论正压斜压动能的平均状况及年变化特征。更详细的讨论由于篇幅所限,我们将另文给出。

1987年9月1日收到,11月16日收到修改稿。

*本工作属《长期天气预报理论、方法和资料库的建立》课题。

2. 资料及分析方法

本文所用的资料是北京气象中心分析整理的1956—1983共28年的100hPa, 500hPa, 700hPa和1000hPa四层北半球20—80°N地区10°×10°网格月平均资料^[6]。利用上述地区四层的位势高度资料计算了30—70°N范围内各网格点上的地转风, 并以此作为本文分析的基础。

按Wiin-Nielsen^[3]的定义, 对一气象要素 χ 其正压分量和斜压分量可写为

$$\chi_M = \frac{1}{P_0} \int_0^{P_0} \chi dP$$

$$\chi_s = \chi - \chi_M$$

其中 P 为气压, P_0 为地面气压, χ_M 和 χ_s 分别为 χ 的正压和斜压分量。因此, 按其定义可将水平风场分解为

$$\vec{V} = \vec{V}_M + \vec{V}_s$$

其中 $\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j}$, $\vec{V}_M = u_M\vec{i} + v_M\vec{j}$, $\vec{V}_s = u_s\vec{i} + v_s\vec{j}$

则单位面积的动能亦可分解为

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{g_s} \int_0^{P_0} \int_s \frac{1}{2} (\vec{V} \cdot \vec{V}) ds dP \\ &= \frac{1}{g_s} \int_0^{P_0} \int_s \frac{1}{2} (\vec{V}_M \cdot \vec{V}_M) ds dP + \frac{1}{g_s} \int_0^{P_0} \int_s \frac{1}{2} (\vec{V}_s \cdot \vec{V}_s) ds dP \\ &= K_M + K_s \end{aligned}$$

其中 g 为重力加速度, S 为计算区域, K_M 和 K_s 分别为正压和斜压动能, 即

$$K_M = \frac{1}{g_s} \int_0^{P_0} \int_s \frac{1}{2} (\vec{V}_M \cdot \vec{V}_M) ds dP$$

$$K_s = \frac{1}{g_s} \int_0^{P_0} \int_s \frac{1}{2} (\vec{V}_s \cdot \vec{V}_s) ds dP$$

3. 计算结果分析

3.1. 月平均环流正压斜压动能的比较

现将本文计算出的月平均网格点上的正压动能和总动能之比(K_M/K)以及斜压动能和总动能之比(K_s/K)对28年共336个月求平均, 然后再沿纬圈求平均值, 结果见表1。

由以上比较, 可以得到一些有意义的结论。就平均而言, 正压动能约为斜压动能的两倍。这说明在月平均环流能量循环过程中正压动能起着重要作用。另外, 由表1还可以看出, K_M/K 和 K_s/K 随纬度有明显变化, 在中纬度正压动能占总动能的70%以上, 而在高纬和低纬斜压动能所占比重明显增加, 达40%以上。这与天气学认识是一致的。不过这些比值, 会随着地区和季节的不同而有所改变, 但定性的结果是一致的。

3.2. 月平均环流动能的季节变化

为了分析总动能(K)、正压(K_M)和斜压(K_s)动能的季节变化, 首先逐月计算了

表 1 月平均环流正压斜压动能的比较

Table 1

The contrast between the barotropic and baroclinic kinetic energy for monthly mean circulation.

项 目 \ 纬 度	70°N	60°N	50°N	40°N	30°N	平 均
K_M/K	0.60	0.68	0.76	0.72	0.56	0.662
K_S/K	0.40	0.32	0.24	0.28	0.45	0.338

K , K_M 和 K_S 30—70°N 的平均值, 然后对 28 年相同月取了平均, 绘制成 K , K_M 和 K_S 的年变化曲线 (图 1)。

由图 1 可知, K , K_M 和 K_S 最大值都在 1 月份, 最小值在 7 月份。全年 K_M 都大于 K_S 。另外, 由图 1 还可以看出, 正压动能和总动能的变化趋势非常一致, 特别是在季节转换期间正压动能和总动能都有迅速的增加或减小, 而斜压动能的变化要平缓得多。图 2 给出了 K_M/K 和 K_S/K 的年变化曲线。由图 2 不难看出, K_M/K 在全年中有两次明显的增加, 极大值分别出现在 4 月和 10 月, 而 K_S/K 在 7 月份达极大值。 K_M/K 和 K_S/K 的变化存在明显的半年周期。以上这些年变化特征与 Wiin-Nielsen 利用 1963 年 2 月到 1964 年 1 月逐日资料计算的结果是一致的 (6)。

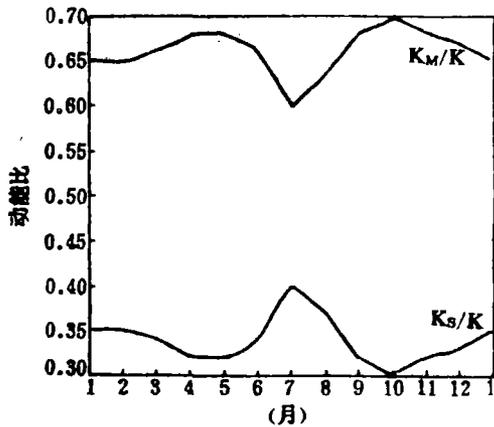


图 1 K , K_M 和 K_S 的年变曲线
Fig. 1 The annual variation curves of K , K_M and K_S .

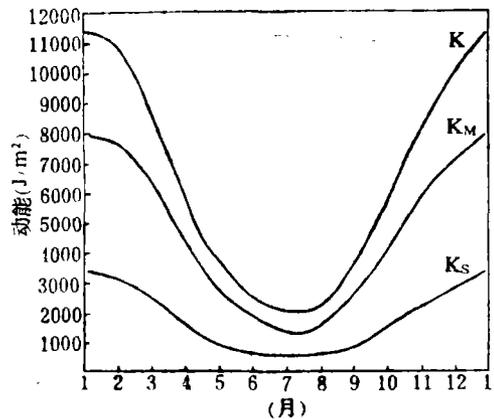


图 2 K_M/K 和 K_S/K 的年变化曲线
Fig. 2 The annual variation curves of K_M/K and K_S/K .

3.3. 正压斜压动能方差贡献的季节变化

为了讨论正压动能和斜压动能在月平均环流演变过程中的贡献大小, 我们计算了正压斜压动能的方差以及它们的比值, 计算公式为

$$Q_M = \sqrt{\frac{1}{28} \sum_1^{28} \Delta K_M^2} \quad Q_S = \sqrt{\frac{1}{28} \sum_1^{28} \Delta K_S^2}$$

$$Q = Q_M / Q_S$$

其中 ΔK_M 和 ΔK_S 分别为正压动能和斜压动能的距平值, Q_M 和 Q_S 分别为正压动能和斜压动能的均方差。图 3 a, b 分别给出了 Q_M 和 Q_S 以及 Q 的年变化曲线。在图 3 a 中 Q_M 和 Q_S 的最大

值都在 1 月, 最小值在 7 月, 但 Q_M 的变化要比 Q_S 的变化剧烈且大得多, 特别是在季节转换期间尤为迅速, 且比斜压动能超前一个月。在图 3 b 中 Q 存在两个极大值, 分别出现在 5 月和 10 月, 最小值出现在 3 月和 7 月。另外, 对格点上正压斜压动能的方差贡献分析发现 (图略), 在季节转换期间, 正压动能高值区, 特别是中纬度两大洋地区正压动能的方差要比斜压动能的方差大一个量级, 但在冷暖洋流的交汇区和季风活跃期斜压动能的方差和正压动能的方差相当。

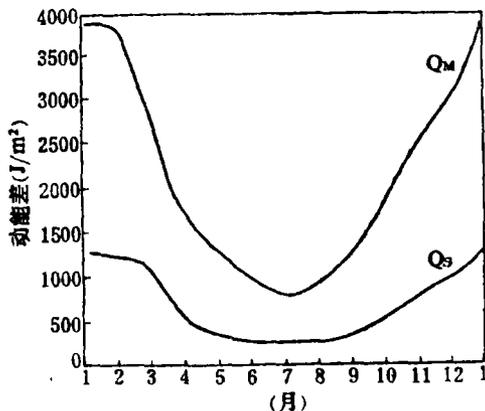


图 3 a Q_M 和 Q_S 的年变化曲线

Fig. 3 a The annual variation curves of Q_M and Q_S .

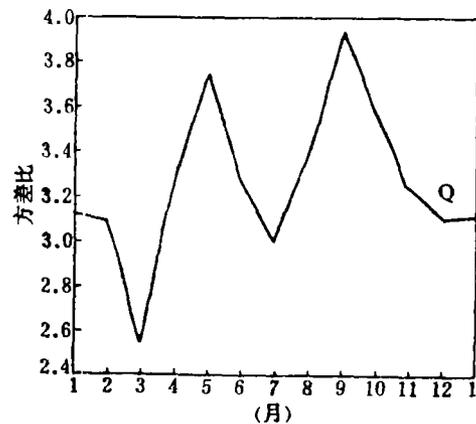


图 3 b Q 的年变化曲线

Fig. 3 b The annual variation curve of Q .

4. 结果与讨论

前面我们对正压斜压动能的相对大小及方差贡献做了一个粗略的估计, 得到以下几点定性结论:

1. 就平均而言月平均环流正压动能是斜压动能的 2 倍, 正压动能约占总动能的 66.2%。
2. 正压动能和斜压动能占总动能的比重有明显的纬度变化, 在中纬度正压动能占总动能的 70% 以上, 在两大洋地区甚至达 90% 以上 (图略), 斜压动能在高纬和低纬占 40% 以上, 在冷暖洋流交汇区 (如阿留申地区) 和季风活跃区甚至达 50% 以上。

3. 无论正压动能还是斜压动能都有明显的季节变化, K_M/K 和 K_S/K 具有半年周期的特点。

4. 就平均而言, 正压动能的方差比斜压动能的方差大得多, 在季节转换期间有些地区甚至大一个量级以上。

上述事实提示我们, 在设计长期预报模式时应抓住主要矛盾, 着重考虑正压分量的贡献, 把正压性的特点引入到长期模式中来, 对不同区域斜压分量的贡献也应分别予以考虑, 对斜压过程比较活跃的地区可采用正压斜压嵌套或采用高纬、中纬和低纬三个区域的纬向耦合模式, 在高纬和低纬要更多地考虑斜压过程的贡献。

需要指出的是, 上述结论只是统计平均的结果, 更详细的讨论以及正压斜压动能的产生及转换规律我们将在另文给出。

致谢: 周琴芳同志为本工作提供了所有资料, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1]王绍武. 美国的气候诊断会议. 气象科技, 1982年1期.
- [2]周琴芳, 黄建平. 北半球冬季月平均距平场垂直结构特征的初步分析. 气象学报即将发表.
- [3]Wiin-Nielsen A. On transformation of kinetic energy between the vertical shear flow and vertical mean flow in the atmosphere. *Mon. Wea. Rev.*, 1962; Vol.90: 311—323.
- [4]Chen T C. The energy exchange between the baroclinic and barotropic components of atmospheric flow in the tropic during the FGGE summer. *Mon. Wea. Rev.*, 1983; Vol.111, 1389—1394.
- [5]周琴芳. 几种历史资料磁带使用说明. 长期天气预报研究通讯, 8607号.
- [6]Wiin-Nielsen A. On the annual variation and spectral distribution of atmospheric energy. *Tellus*, 1966; Vol.19, 540—559.

ON THE ANNUAL VARIATION OF THE BAROTROPIC AND BAROCLINIC KINETIC ENERGY OF MONTHLY MEAN CIRCULATION OVER THE MID-HIGH LATITUDE OF THE NORTHERN HEMISPHERE

Huang Jianping Chou Jifan

(*Department of Atmospheric Science, Lanzhou University*)

Abstract

using secular monthly mean data, the annual variation of the barotropic and baroclinic kinetic energy for monthly mean circulation has been computed. It is showed that both barotropic and baroclinic kinetic energy have the obvious annual variation and the same tendency, but the contribution of barotropic kinetic energy to total kinetic energy is much more than that of baroclinic kinetic energy. The monthly mean circulation anomaly has the equivalent barotropic structure. These conclusions can be used to simplify the long-range numerical forecast model.

Key words: Barotropic kinetic energy, Baroclinic kinetic energy, Annual variation, Equivalent barotropic