

北半球月平均环流正压斜压动能的 比重及各自特点的动力统计分析

黄建平 郭学良* 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月平均环流的正压动能、斜压动能在总动能中所占的比重以及它们的地理分布特征,季节变化和方差贡献等。最后根据月平均环流正压斜压动能的比重及各自特点对长期数值预报模式的设计提出了一些建议。

一、引 言

近年来,不少作者从不同角度说明大气环流异常以及低频变化是相当正压的^[1,2],但是造成这一现象的物理机制尚不清楚。本文旨在利用实测资料,从动能变化的角度进一步说明这个问题。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有关。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。由于大气环流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,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以及环流异常的正压性是有意义的。

Wiin-Neilsen(1962)^[3]首先计算了正压气流和斜压气流中动能的转换,他发现,能量首先从有效位能转换为斜压动能,然后再转换到正压动能。Wiin-Neilsen和Drake^[4,5](1965, 1966)进一步把这种转换作为波数的函数进行了研究,发现这种转换关系在中纬度是和大气斜压不稳定波相联系的。

但是上述研究都是利用个别年份的资料,是否具有普遍性尚值得怀疑,另外在计算时采用了变量沿纬圈的Fourier展开,但是一些异常天气现象往往并不是沿某一纬圈发生的,并且常有较大的经向分量,这样做势必会产生很多弊端,它忽略了同一纬圈中的能量交换,不利于局地范围内的异常天气的研究,而且他们仅仅考虑了大气自身的特点以及正压斜压动能在不同纬度的差异,而大气的异常变化是和下垫面冷热源分布及热力差异是分不开的,因此定量地研究不同地区正压斜压动能的比重分布特征以及和下垫面冷热源分布及热力差异的关系无疑是很有意义的。

基于上述原因,本文着重讨论局地气柱中的正压动能、斜压动能在总动能中所占的比重进一步分析了月平均环流正压斜压动能的地理分布特征,季节变化和方差贡献等。指出了正压斜压动能在月平均环流演变中的作用,同时对长期数值模式的设计提出了一些建议。

*本校 87 届毕业生,现在兰州高原大气物理研究所工作。

二、资料和分析方法

本文所用的资料是北京气象中心分析整理的1956—1983年共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。利用上述地区四层的位势高度资料计算了30°N—70°N范围内各网格点上的地转风, 并以此作为本文计算的基础。

按Wiin-Neilsen^[5](1962)的定义, 任一气象要素X, 其正压分量和斜压分量可写为:

$$X_M = \frac{1}{p_0} \int_0^{p_0} X dp \quad X_s = X - X_M$$

其中P为气压, P₀为地面气压, X_M和X_s分别为X的正压和斜压分量, 因此水平风场可写为: $\vec{V} = \vec{V}_M + \vec{V}_s$ 。

这里 $\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j}$, $\vec{V}_M = u_M\vec{i} + v_M\vec{j}$, $\vec{V}_s = u_s\vec{i} + v_s\vec{j}$ 。这样大气中单位面积的水平动能可写为:

$$K = \frac{1}{gS} \int_0^{p_0} \int_s 1/2 \vec{V} \cdot \vec{V} dS dP = \frac{1}{gS} \int_0^{p_0} \int_s 1/2 \vec{V}_M \cdot \vec{V}_M dS dP + \frac{1}{gS} \int_0^{p_0} \int_s 1/2 \vec{V}_s \cdot \vec{V}_s dS dP = K_M + K_s$$

其中s为计算区域的面积, g为重力加速度, K_M, K_s和K分别为正压动能, 斜压动能及总动能。计算正压分量时采用如下计算公式:

$$X_M = 0.17X(1000) + 0.28X(700) + 0.33X(500) + 0.22X(100)$$

每一层的斜压分量由下面公式决定:

$$X_s(P) = X(P) - X_M$$

三、计算结果分析

1. 月平均环流正压斜压动能的地理分布特征

为了能定量地表示正压斜压动能的平均纬向差异和文献[4],[6]的结果进行比较, 我们将正压动能与总动能之比(K_M/K)以及斜压动能与总动能之比(K_s/K), 斜压动能与正压动能之比(K_s/K_M)对28年共336个月求平均, 再沿纬圈求平均得到沿纬圈的平均值(见表1)

表1 K_M/K, K_s/K, K_s/K_M的纬向平均值

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	0.55	0.662
K _s /K	0.40	0.32	0.24	0.28	0.45	0.338
K _s /K _M	0.67	0.47	0.32	0.38	0.86	0.51

从表 1 可以看出：就平均而言，斜压动能仅占正压动能的一半，正压动能占总动能的 66.2%。可见大气的正压动能在月平均环流演变过程中起着重要的作用。

从表 1 中的 K_s/K_M 随纬度的变化可知：斜压动能和正压动能之比存在着明显的纬度变化，斜压动能在 50°N 所占的比重最小，而在 70°N 和 30°N 都相应增大。这与 Wiin-Neilsen 和 Drake (1965)^[11] 以及 Tsing-chang chen (1982)^[16] 对个别年份的计算结果是一致的。

另外正压斜压动能不仅存在着纬向差异，而且在同一纬圈的不同地区也存在着明显的差异，图 1 给出了 K_M/K 1—12 月共 28 年的平均图。

从图 1 可以看出，就整个大气平均而言，正压斜压动能有明显的地理分布特征。在两大洋的中部（非洋流区）正压动能所占比重大，范围也大，有两个明显的正压活动中心占据着两大洋的中部。而斜压动能仅在某些地区所占的比重较大，一个是 50°N 以北欧亚大陆东岸到阿拉斯加，中心位置位于鄂霍茨克海域，为斜压活动最强的区域。另一个比较明显地区是 55°N 以北的北美洲东岸到格陵兰一带。

综上所述，就年平均而言，大气的正压性在整个大气环流的维持与演变中起着重要的作用。

2. 正压斜压动能的季节变化特征

上面我们仅仅讨论的是正压斜压动能的年平均特征，下面我们着重讨论正压斜压动能的冬夏分布情况及季节变化特征。为了能直观地看出总动能 (K)，正压动能 (K_M)，斜压动能 (K_s) 的年变化特征及其季节转换情况，我们绘制了 28 年月平均 K ， K_M ， K_s 的年变化曲线（见图 2）及 K_M/K ， K_s/K 的年变化曲线（见图 3）。

从图 2 可以看出：正压动能在年变化中均大于斜压动能，且正压动能与总动能的变化趋势相似。可见正压动能在月平均环流中占有相当重要的地位。

从图 3 可知： K_M/K 在 4 月，10 月达到极大值在 7 月达到极小值， K_s/K 正好相反。也就是说在由冬到夏和由夏到冬的季节转换过程中正压动能达最大值，这种增加是和大型环流的转换相联系的。在夏季由于局地不稳定天气活动频繁造成斜压动能的增加。

下面我们再来看正压斜压动能的比重在冬季（1 月）和夏季（7 月）及其在 4 月和 10 月的分布情况（见图 4(a, b, c, d)）。

比较图 4a，我们看到，冬季（1 月）正压斜压动能的分布情况与我们前面讨论的年平均情

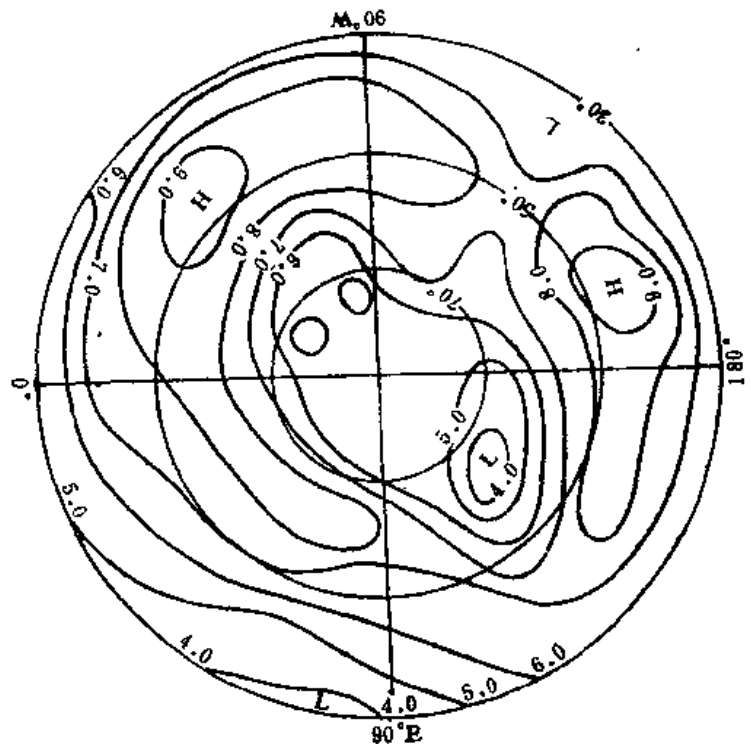


图 1 K_M/K 的年平均分布图
单位：10¹

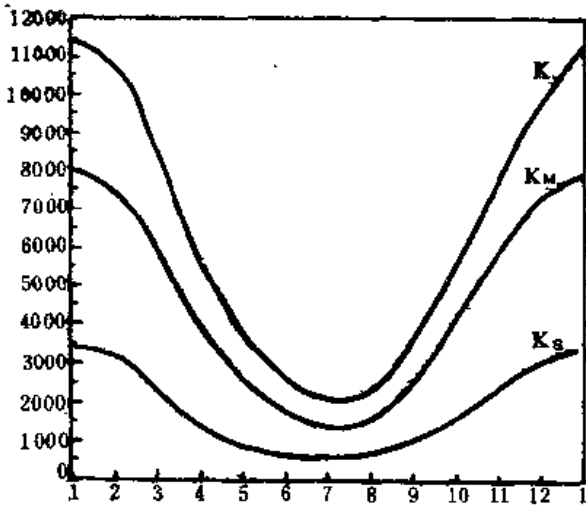


图2 K, K_M , K_s 的年变化曲线
单位: J/m^2

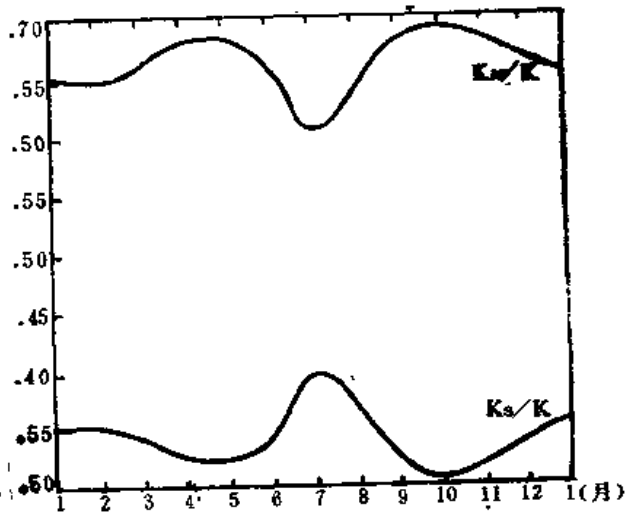


图3 K_M/K , K_s/K 的年变化曲线
单位: J/m^2

况很相似,但夏季(7月)(图4c)与冬季有着明显的差异,高纬地区的斜压活动区在夏季变得很不明显。中低纬地区斜压活动明显增强。如果我们将 $30^\circ N$ 和 $70^\circ N$ 的 K_M/K 沿纬圈平均发现:冬季(1月) $30^\circ N$ 的 K_M/K 的值为67.2%, $70^\circ N$ 的 K_M/K 的值为55.21%,到了夏季(7月)时, $30^\circ N$ 的值变为26.36%而 $70^\circ N$ 的值变为64.10%,即由冬到夏 $30^\circ N$ 的 K_M/K 减少了40.93%, $70^\circ N$ 的 K_M/K 增加8.8%。

另外从图4a,b,c,d可以看出:正压动能所占比重的大小和位置冬夏有明显的不同,太平洋在由1月到4月的变化中, K_M/K 的中心值由83.8%增加到90.3%,而且范围也大,几乎占据着 $40^\circ N-50^\circ N$ 的太平洋中部。由4月到7月的变化中 K_M/K 的中心值由90.3%减小到87.9%,高值区范围也相应缩小了。中心位置有从中低纬向高纬移动的趋势。在由7月到10月的转换中,太平洋 K_M/K 的中心值由87.9%增加到88.6%,高值区范围也相应增大。大西洋中部 K_M/K 的中心值由88.7%增加到89.6%,范围也相应增大。

上述结果与我们前而讨论的北半球平均 K_M/K 的年变化情况很相似,这说明两大洋正压活动中心的异常改变对半球范围的正压斜压动能的分布有很大影响。

3. 正压斜压动能的方差贡献

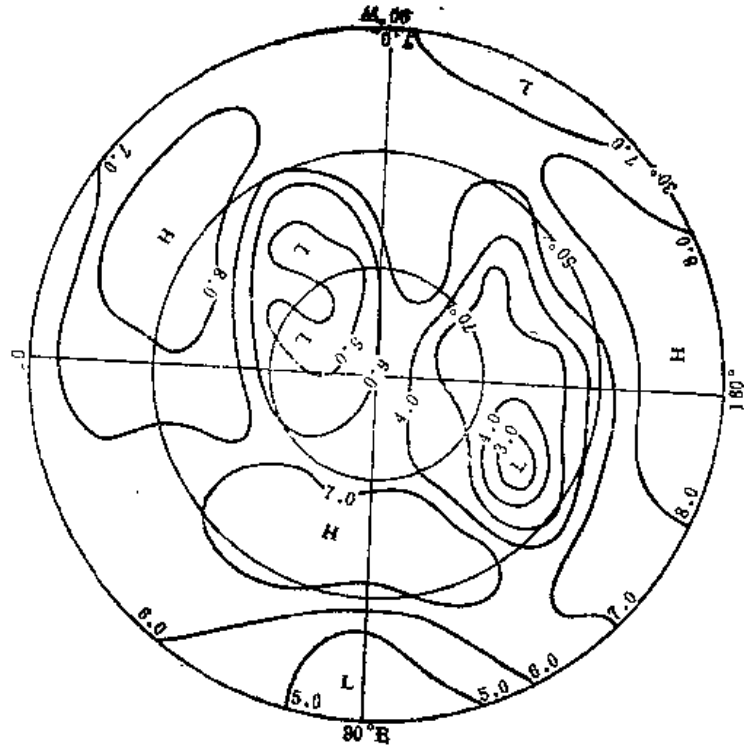
为了进一步观察正压斜压动能在月平均环流演变过程中的贡献大小,我们计算了月平均环流正压斜压动能的方差,计算公式为:

$$Q_M = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^{12} \Delta K_M^2} \quad Q_s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^{12} \Delta K_s^2}$$

其中 $\Delta K_M, \Delta K_s$ 分别为正压斜压动能的距平值。图5绘出了正压斜压动能的方差年变化曲线。

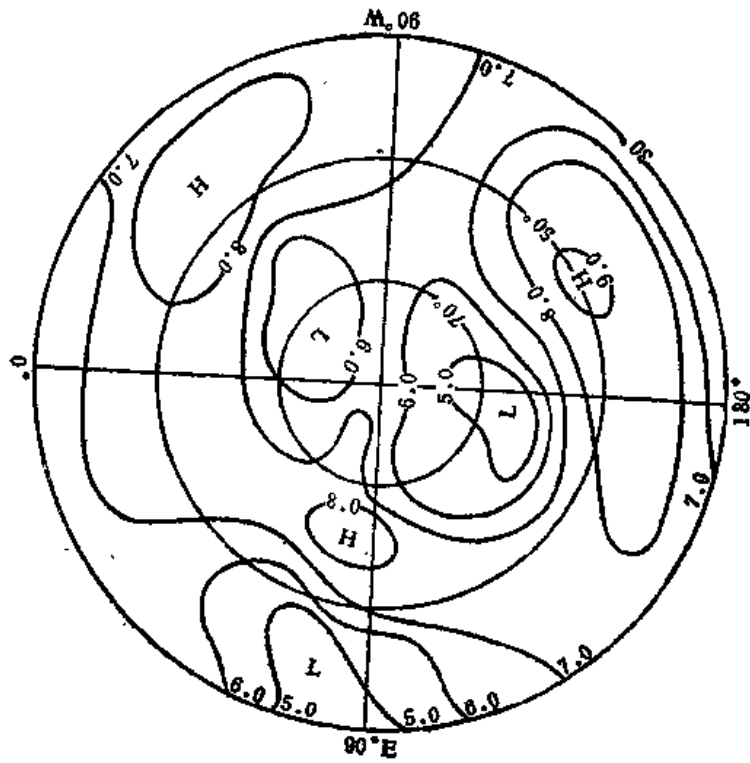
从图5可以看出:正压动能的变化幅度要比斜压动能大得多,特别在季节转换中尤为明显。但变化趋势是一致的,夏季变化小,冬季变化大。

但上面仅仅是平均的变化情况,正压斜压动能方差贡献在不同地区其大小也存在着很大差别,为了便于研究,我们做了正压动能方差 Q_M 与斜压动能方差 Q_s 的比值的地理分布图(见



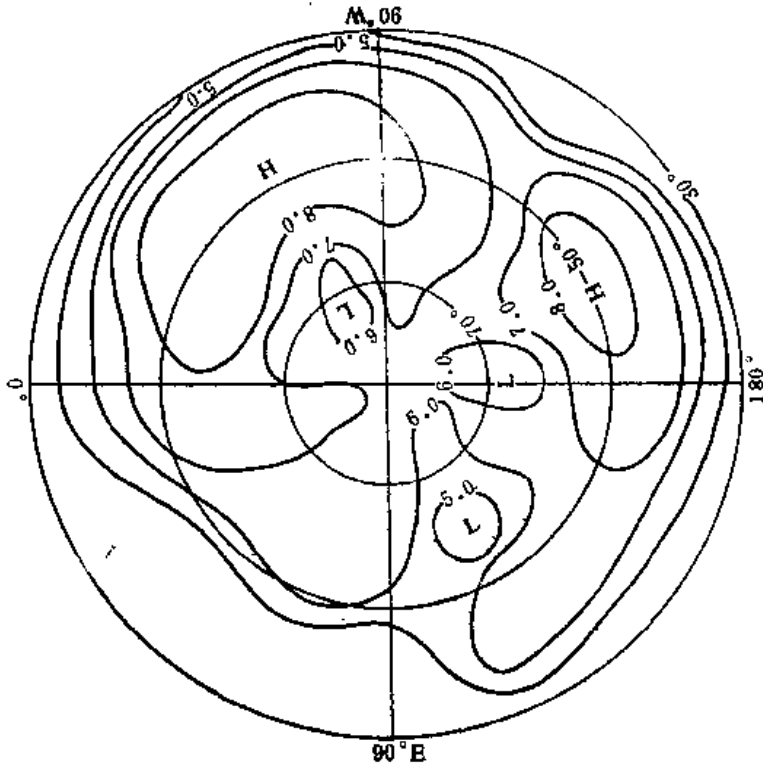
a

(a) 冬季1月 K_M/K 的分布图



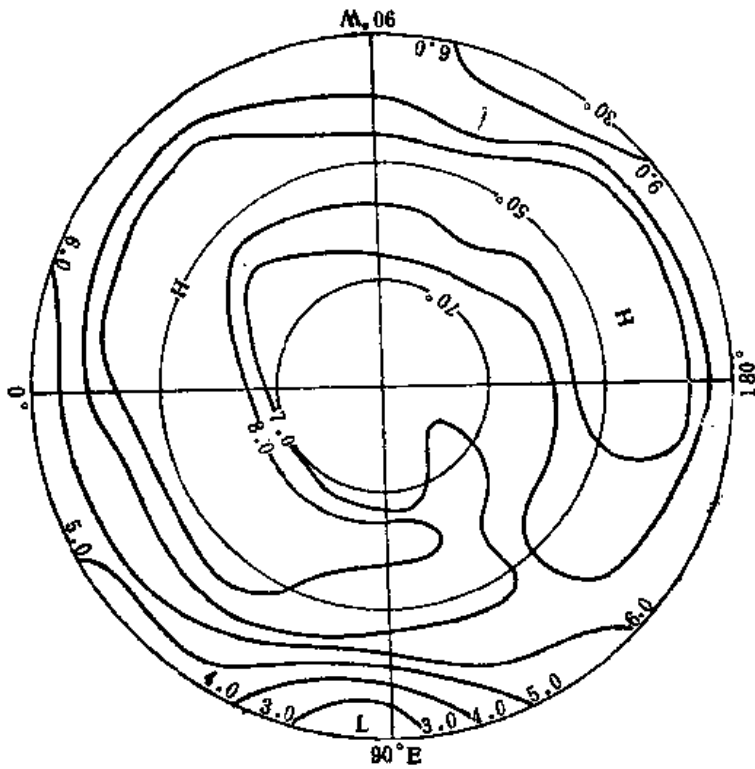
b

(b) 春季4月 K_M/K 的分布图



c

(c) 夏季7月 K_M/K 的分布图



d

(d) 秋季10月 K_M/K 的分布图

图4

单位: 10^3

图6a, b, c, d)。

从图6a, b, c, d可以看出：正压动能的方差在两大洋上要比斜压动能的方差贡献大得多，其中心值比其它地区要大一个量级，特别在季节转换中尤为明显。在冷暖洋流交汇处，斜压动能的方差在冬季比较明显，而在夏季及季节转换中基本和正压动能方差一个量级，在大陆的季风活动区，斜压动能的方差比正压动能的方差大一个量级。从而表明：正压动能的变化主要取决于大气环流的异常改变；斜压动能的变化是和局地大气斜压不稳定相关。

另外，比较图6a, b, c, d两大洋的高值中心不仅和前面讨论的正压活动中心重合，而且它们的季节变化特征也是一致的。由此可见，两大洋的正压活动中心不仅主要决定了整个半球大气的正压斜压性质，而且对月平均环流的演变起着极为重要的作用，它的正压动能的方差贡献要比同地区斜压动能的方差贡献大一个量级。

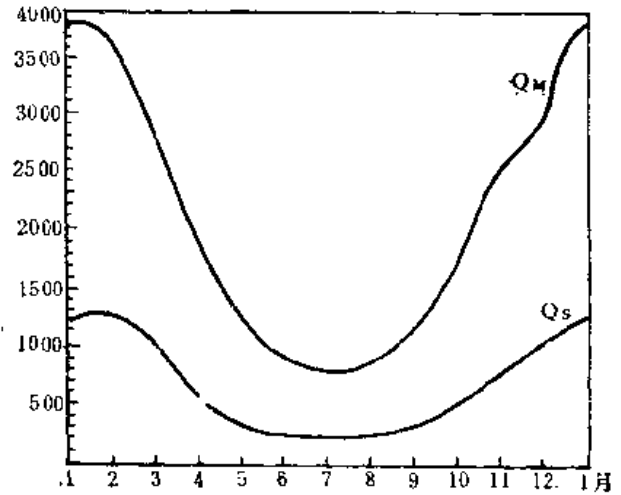
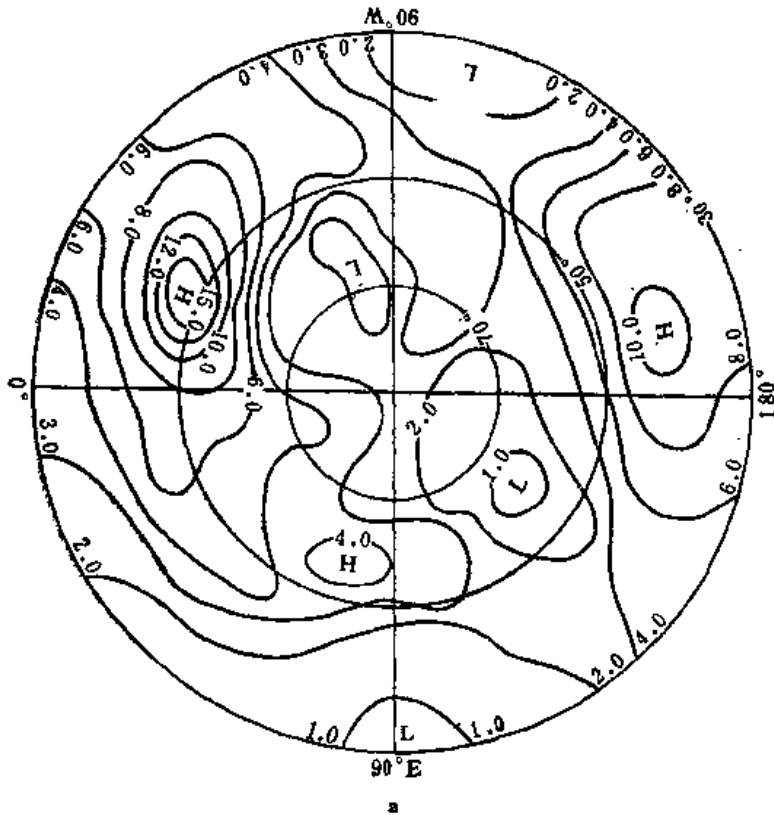
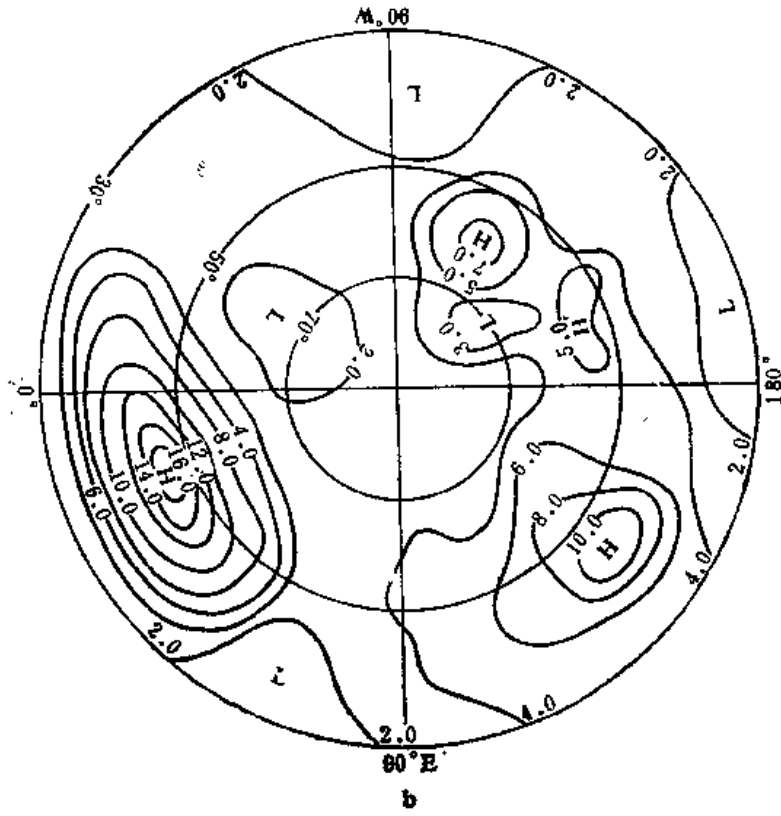


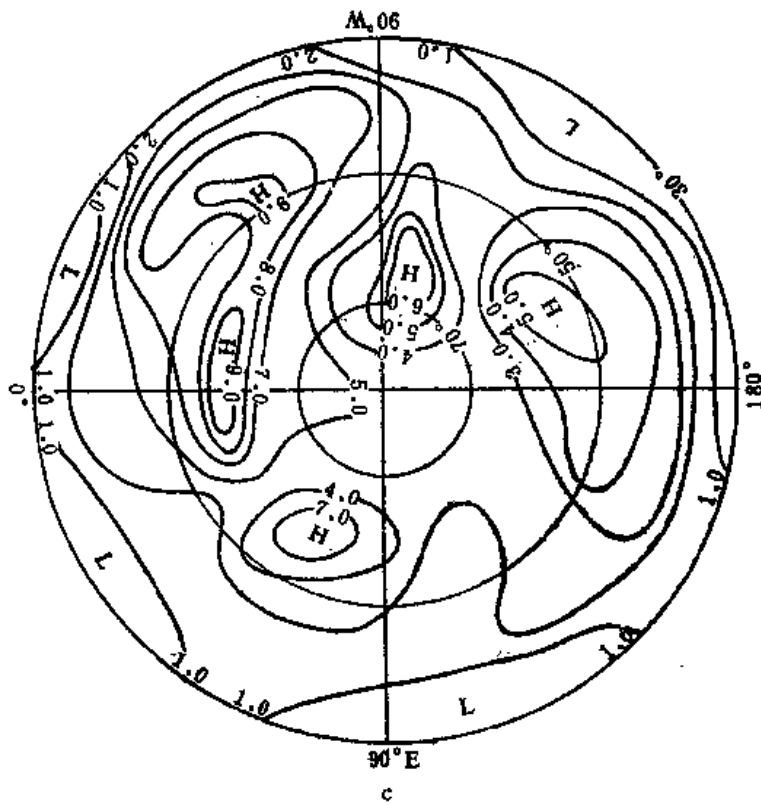
图5 正压动能方差 Q_M 和斜压动能方差 Q_S 的年变化曲线
单位： J/m^2



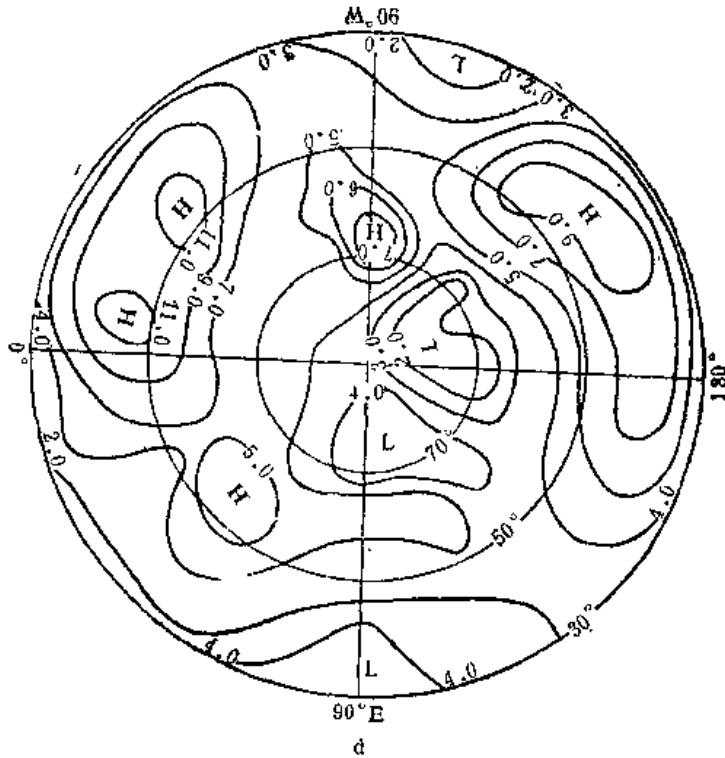
(a) 冬季1月 Q_M/Q_S 的分布



(b) 春季4月 Q_M/Q_S 的分布



(c) 夏季7月 Q_M/Q_S 的分布



(d) 秋季10月 Q_M/Q_S 的分布

图 6

单位:10°

四、结果与讨论

上面我们对1956—1983共28年的资料进行了正压斜压动能的一系列特征分析,得到如下的主要结论:

1. 在中纬度正压动能大于斜压动能,正压活动强;在高纬圈和中低纬度斜压动能明显增大。
2. 两大洋上部的大气正压活动中心的异常改变左右着整个北半球大气的正压斜压性质的变化而且在由冬到夏的季节转换中,两大洋的正压活动中心的变化成一定的相关关系。
3. 正压动能的方差贡献远大于斜压动能的方差贡献,在季节转换中尤为明显。在两大洋正压动能的方差比斜压动能的方差大得多;在冷暖洋流交汇处,斜压动能的方差在冬季比较明显而在夏季及季节转换中基本上和正压动能的方差一个量级。

基于上述结论,我们认为在设计长期数值预报模式时应抓住主要矛盾,将环流异常正压性的特点引入到长期预报模式中来,同时也要适当考虑斜压活动的影响。因此,我们在设计模式时希望寻找一组能反映距平场水平驻波结构以及垂直方向相当正压结构的一组正交基,垂直模的第一模态是正压模态,它的能量约占总能量的70%,其余各模态为斜压模态,对于那些正压性较好的区域可取一到二个模态,而对那些斜压活动较频繁的地区可取较高的垂直模态,即所谓正压斜压嵌套的方法,这样做即可抓住环流变化的主要特征,亦可反映系统的发展。

参 考 文 献

- [1] 王绍武, 美国的气候诊断会议, 气象科技, (1), (1982)。
- [2] 周琴芳, 黄建平等, 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, 74, 173—179(1989)。
- [3] Wiin-Neilsen, A., 1962: On the transformation of kinetic energy between the vertical shear flow and the vertical mean flow in the atmosphere, Mon. Wea. Rev., Vol. 90, 311-323.
- [4] Wiin-Neilsen, A. and M., Drake, 1965: On the energy exchange between the baroclinic and barotropic components of atmospheric flow, Mon. Wea. Rev., Vol. 93, 79-92.
- [5] Wiin-Neilsen, A. and M., Drake, 1966a: The contribution of divergent wind components to the energy exchange between the baroclinic and barotropic components, Mon. Wea. Rev., Vol. 94, 1-8.
- [6] Chen, T. C., 1983: The energy exchange between the baroclinic and barotropic components of atmospheric flow in the tropics during the FGOE summer, Mon. Wea. Rev., Vol. 111, 1389-1394.

THE DYNAMIC AND STATISTIC STUDY ON THE BAROTROPIC AND BAROCLINIC ENERGY OF THE NORTHERN HEMISPHERE MONTHLY MEAN CIRCULATION

Huang Jianping Guo Xueliang Chou Jifan
(*Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University*)

Abstract

By using monthly mean data for many years, the proportion of barotropic and baroclinic kinetic energy for monthly mean circulation in total kinetic energy are computed, and their geographical distribution, seasonal variation and the variance contribution are examined. Finally, some suggestion for designing long-range numerical forecast model are proposed based on the proportion of barotropic and baroclinic kinetic energy and respective characteristics.