

阻塞过程中大气运动不同时间 尺度分量的演变及其相互作用*

陈久康 银 燕**

(南京气象学院)

摘要 对阻塞过程中的大气运动进行5天高通和低通滤波分析,发现大气阻塞形势的建立、维持和崩溃主要是由时间尺度大于5天的慢变波决定的。在阻塞建立和维持阶段,时间尺度小于5天的高频波向东传播进入急流分支处时被东西向压缩、南北向拉长。通过计算不同时间尺度分量之间的能量输送,发现慢变波与高频波的相互作用是阻塞形势建立和崩溃的重要机制。另外,阻塞过程的时间尺度也受大气准两周振荡控制。

关键词 阻塞,慢变波,高频波,准双周振荡

在以前的工作中^[1],作者对阻塞过程中波数域动能和有效位能的分析是将大气运动的空间尺度用不同的空间波数来描述,发现阻塞活动的特征可用超长波1~3波来很好地表示。阻塞生命史同时是一个时间上的长过程。以前人们研究阻塞期间不同时间尺度分量的贡献时,常将大气运动分解为定常和瞬变两部分,然后讨论这两个部分之间能量的相互转换,如缪锦海^[2]等人的工作。我们这里将阻塞过程考虑为时间尺度大于5天的慢变过程,这是与Rex等^[3]对阻塞高压的定义相一致的。用低通和高通滤波方法将大气运动分解为时间尺度大于5天的慢变波和时间尺度小于5天的高频波,然后讨论这两部分在阻塞过程不同阶段能量转换及其对阻塞形势的影响。

1 高、低通滤波方案

对原始时间序列进行9点5天低通滤波,滤波后的低通分量和高通分量用下式求得。

$$x_l(t_i) = a_0 x_0(t_i) + \sum_{p=1}^4 a_p (x_0(t_i + p) + x_0(t_i - p))$$

$$x_h(t_i) = x_0(t_i) - x_l(t_i)$$

其中 x_0 为原始值, x_l 和 x_h 分别为低通和高通滤波值, a_p 的值由下表给出。响应函数为

* 国家七·五攻关资助项目
** 现在内蒙古气象局工作
收稿日期:1992-02-20

$$R = a_0 + 2 \sum_{p=1}^4 a_p \cos(p \times \frac{2\pi}{T} \Delta t)$$

Δt 为资料时间间隔, $\Delta t=1$ 天。

a_0	0.45881510
a_1	0.29384178
a_2	0.03042869
a_3	-0.04617287
a_4	-0.00760721

2 低通滤波后的结果分析

2.1 低通分量(慢变波)对阻塞高压的贡献

图1是北半球1980年10月29日12时(世界时,下同)500hPa高度场低通滤波值的时间

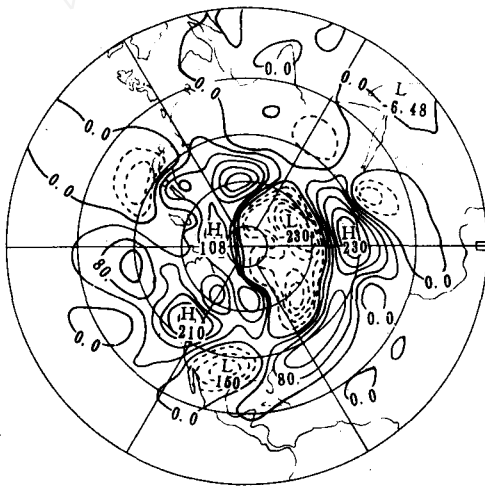


图1 1980年10月29日500hPa高度场5天低通滤波距平值分布

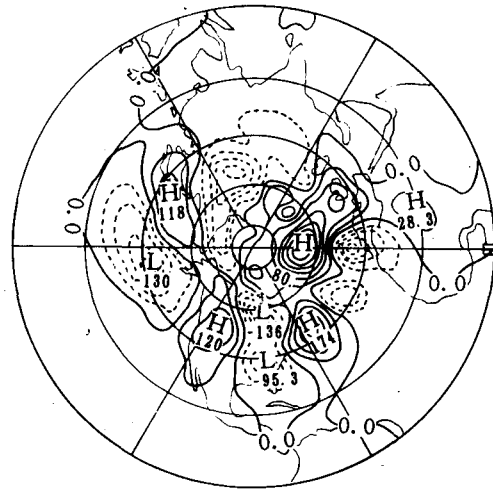


图2 同图1,但为11月5日

距平结果。由图可见,这天从大西洋到欧洲大陆西北部的广大区域内为负距平,50°N以南为正距平区,30日(图略)在这个负距平中位于(0°E,75°N)附近出现一个小的正距平中心。31日这个正距平中心强烈发展,并和50°N以南的正距平区连起来,而位于格陵兰附近的负距平区却大为加强,11月1日发展到最强。同时,太平洋区域出现一负距平区,并逐渐加强。北半球的正负距平区由原来的近于纬向逐渐演变为经向分布。5日(图2)在欧洲西海岸的正距平中心南侧出现负距平区,这与天气图^[1]上的切断低压有关。10日后位于欧洲西岸的正距平区开始减弱,并逐渐被负距平区所取代,这就是阻塞的崩溃阶段。把10月30日至11月13日低通距平值分布图与相应时刻的等压面图作比较,我们可发现,位于大西洋——欧洲西岸的正距平区的时间演变与等压面图上的阻塞脊发展有很好的一致性,说明阻塞过程主要是由时间尺度大于5天的低通值决定的。把这些图与同时刻的温度场低通距平(图略)相比较,可发现温度的正距平区对应着高度场的正距平区,而且两者的变化是同步的。再与相应时刻200hPa高度场的低

通距平图作比较可发现,200hPa 上正负距平与 500hPa 的正负距平分布也基本一致,只不过 200hPa 上位于大西洋——欧洲西岸的正距平中心是在 31 日才出现的,比 500hPa 上滞后 1 天,说明阻塞形成时超长波向平流层传播。1 日后,200hPa 上大西洋——欧洲沿岸的正距平区与 500hPa 上的高度和温度正距平区完全重合,具有相当正压结构。

因此,我们可以认为阻塞过程主要是由时间尺度大于 5 天的慢变分量决定的。为了充分说明这一点,我们计算了低通分量的谱能量方程,与以前工作中未经滤波的谱能量结果^[1]相比较发现,1—3 波动能和有效位能在两组图上的形状几乎是一致的,只是量上稍小于未滤波结果。方程中其它项的情况也是如此。(图略)

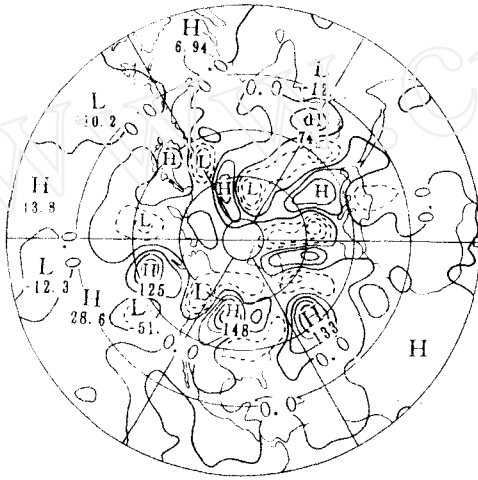


图 3 1980 年 10 月 29 日 200hPa 5 天高通滤波值



图 4 1980 年 10 月 31 日 200hPa 5 天高通滤波值

2.2 阻塞形势下高频波的传播特征

图 3 是 10 月 29 日 200hPa 上时间尺度小于 5 天的高通滤波值分布。从图中可见,整个北半球都是沿纬圈正负相间排列的闭合中心。我们再看一下阻塞高压形成和维持期间的情况。图 4 和图 5 分别是 10 月 31 日和 11 月 1 日的高通滤波值(称为高频波)分布图。考查阻塞高压所在区域(60°W~40°E)任一个闭合中心的连续时间演变,我们会发现,这些闭合环流圈在沿着急流向东快速移动过程中,在阻高上游急流分支处被经向拉长,纬向压缩,然后分裂为两个中心,并各自继续在两支急流中向东传播。阻塞衰退阶段(图略),高频波的这种传播现象消失。500hPa 上也有类似的结果。这种现象是 Shutts^[4]在理论研究中提出的,并在数值模拟中加以验证。我们用实际资料分析证实了这一假设,高频波的传播与 Shutts 给出的示意图(图 6)有很好的—致性。

2.3 阻塞期间大气高、低频分量间的相互作用

上面我们的分析结果认为,大气中时间尺度大于 5 天的低通分量决定着阻塞期间大气的演变。这里我们计算了在阻塞高压发展的不同阶段高、低通滤波值,即大气高频波和慢变波分量的动能以及两者在阻塞过程中的相互转换。计算公式如下^[5]

$$K_l = \frac{1}{g} \int \frac{u_l^2 + v_l^2}{2} dp$$

$$K_h = \frac{1}{g} \int \frac{u_h^2 + v_h^2}{2} dp$$

$$C_K = \frac{1}{g} \int (u_h u_l \frac{\partial u_l}{\partial x} + v_h u_l \frac{\partial u_l}{\partial y} + v_h v_l \frac{\partial v_l}{\partial x} + v_h v_l \frac{\partial v_l}{\partial y}) dp$$

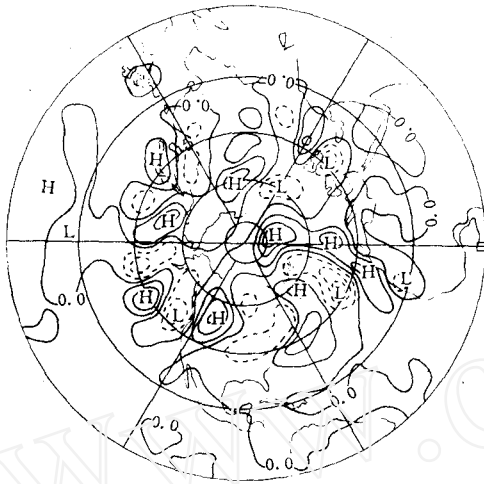


图5 1980年11月1日200hPa5天高通滤波值

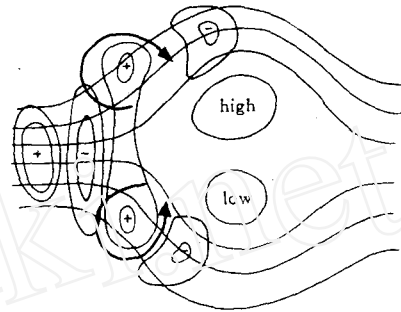


图6 当涡旋传播到阻塞偶极子急流分支区时, 涡旋经向拉长变形示意图(取自 Shutts, 1983)

其中, K_l 和 K_h 分别为垂直积分的大气低通和高通分量动能, C_K 为低通分量与高通分量非线性相互作用对低通分量动能的贡献, 式中其它量的下标 h 和 l 分别代表高、低通滤波值。计算时选取的资料范围与文献[6]中相同。图7(a)为区域平均的高、低通滤波值动能, 其中实线为低通值, 虚线为高通值。从图中可看出, 有限区域低通分量动能随时间演变趋势与文献[1]中1~3波动能的情况很类似, 也是在阻塞形成阶段迅速增大; 阻塞维持阶段稳定少变; 阻塞衰退阶段迅速下降。说明了时间尺度大于5天的慢变波对阻塞过程的决定作用。高通分量动能比低通分量小一个量级。图7(b)为高、低通分量非线性相互作用对低通分量贡献的区域平均值。从中可见, 在阻塞建立阶段(30日~1日), 低通分量从高通分量得到较多动能, 阻塞迅速建立; 阻塞高压维持阶段得到的动能比前一阶段少很多; 阻塞衰退阶段(9日以后)转换趋于零附近, 略有波动, 甚至变成小的反向转换。这些结果说明不同时间尺度分量之间的非线性相互作用也是阻塞高压建立、维持和崩溃的重要机制。

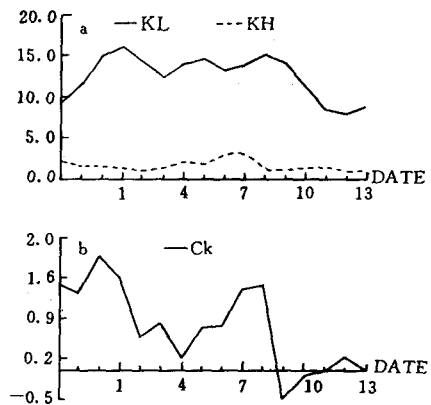


图7 (a)区域平均高通分量动能 K_h 和低通分量动能 K_l , 单位: $10^5 \text{J} \cdot \text{m}^{-2}$
(b)区域平均高、低通分量动能转换, 单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

2.4 阻塞过程与低频振荡的关系

我们上面的分析说明了阻塞过程中5天以上慢变分量的重要性。那么时间尺度在两周以上的低频振荡和阻塞过程有何联系呢?

我们对阻塞高压维持期间资料进行了时间为10天的低通分析(图略)。结果发现, 11月2日和9日的200hPa高度场低通距平值正负中心分布完全相反, 即2日的正(负)中心与9日的

负(正)中心重合,表现出准双周振荡的性质。500hPa 上也有类似的现象,而且 500hPa 与 200hPa 正负中心的地理位置完全一致,说明时间尺度大于 10 天的低频振荡具有相当正压结构。阻塞高压中心处于低频振荡正值中心的西侧。当阻塞区、低频振荡开始变成反位相时,意味着阻塞高压的解体。阻塞形势维持时间的长短,似乎受这种尺度的低频振荡时间尺度所控制。它们之间的动力关系,有待于进一步研究,是一个很有意义的现象。

3 结 论

通过对 1980 年 10 月末至 11 月中旬欧洲大西洋沿岸阻塞个例不同时间尺度演变特征的分析,可初步得到以下结论。

1 阻塞形势的形成和维持主要是由时间尺度大于 5 天的慢变波决定的。阻塞形势维持期间,高频波在沿急流向东传播过程中,在急流分支处确实有被经向拉长、纬向压缩,然后分裂传播的现象。

2 时间尺度小于 5 天的高频波与时间尺度大于 5 天的慢变波之间非线性相互作用是阻塞高压建立和维持的重要机制。

3 阻塞过程时间尺度受大气准双周振荡的控制。阻塞区位于这种低频振荡高值中心的西侧。

参 考 文 献

- 1 银 燕,陈久康. 南京气象学院学报,1992,15(1)
- 2 缪锦海. 气象学报,1984,42,35-44.
- 3 Rex DF. *Tellus*,1950,2,196-211.
- 4 Shutts GJ. *Quart J R Met Soc*,1983,109,737-761
- 5 Lau NC, Lau KM. *Mon Wea Rev*,1984,112,1309-1327.
- 6 银 燕. 1992,内蒙古气象

VARIATIONS OF THE DIFFERENT TIME—SCALE COMPONENTS OF THE ATMOSPHERIC MOTION DURING THE PROCESS OF A BLOCKING

Chen Jiukang Yin Yan
(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract The high and low pass filter analyses of the atmospheric motion in the process of a blocking for five days show that the genesis, maintenance and collapse of the atmospheric blocking depend chiefly upon the slow variable waves whose time scale is more than five days. At the stage of the genesis and maintenance of the blocking, the high—frequency waves which last less than 5 days show east—west contraction and north—south extension when they propagate eastward into the jet stream branch. Calculations of the energy transfer between different time—scale components indicate that the interaction between the slow variable waves and the high—frequency waves is the important mechanism of the genesis and collapse of the blocking pattern. And the time scale of the blocking is governed by the quasi—two—week oscillation of the atmosphere.

Key words blocking, slow variable wave, high—frequency waves, quasi—two—week oscillation