

30—50天振荡动能特性及其与平均气流 正压不稳定能的转换

徐建军 朱 刚

(南京气象学院, 南京 210035)

提 要

该文利用冬季500hPa的欧洲中心(ECMWF)网格点逐日资料,分析了30—50天振荡的 \bar{E} 矢量分布、动能特性及平均气流的正压不稳定能转换特征,从而得到:30—50天振荡的能量传播与西风急流的位置有密切的关系,在西风大风速区作纬向能量传播,在小风速区作指向赤道的经向传播;在急流的出口区有较强的正压能转换,低频振荡从基本流中获得能量,使这里的低频动能最大,并表现出较强的正压特性,与低纬度的斜压特性形成鲜明对照。

关键词: 30—50天振荡; \bar{E} 矢量; 动能; 正压不稳定。

1 引 言

近年来,大气环流的遥相关与低频振荡已成为国际气象界非常关注的研究课题^[1]。发现30—50天振荡同样表现出遥相关的二维罗斯贝波列特征^[2],并且指出30—50天振荡存在着两个主要的遥相关型,即EUP型和PNA型,通过它们将中低纬振荡联系起来^[3]。

对于波能的传播,过去多运用纬向平均的E-P通量诊断量进行研究^[4],但由于低频振荡的纬向非均匀性,这种诊断量对低频振荡就不合适了。Hoskins等人^[5]在准地转无辐散的条件下,得到了能近似表征水平面上波能传播的诊断量 \bar{E} 矢量,为研究低频振荡的波能水平传播提供了有效的诊断工具。Simons等人^[6]将 \bar{E} 矢量和时间平均气流结合,认为大气环流的遥相关型是由于纬向非均匀气流上的正压不稳定产生的。本文将其运用到30—50天周期振荡的研究中,讨论30—50天振荡的波能传播动能特性及其与平均气流正压不稳定能转换的关系,以期对30—50天振荡有更全面的认识。

2 30—50天振荡的 \bar{E} 分布和平均气流

根据 Hoskins 等人^[5]的研究, \bar{E} 矢量可表征为:

$$\bar{E} = (\overline{v'^2 - u'^2}, -\overline{u'v'})$$

其中 u' 、 v' 为对时间平均气流的瞬变扰动,这里 u' 、 v' 是 30—50 天的低频带通滤波分量(下同),滤波方法参考文献[7]。 \bar{E} 矢量在准地转无辐散的条件下,其方向可近似的表示为波能的传播方向,为了使 \bar{E} 矢量分析符合条件,这里选取大尺度近无辐散层 500hPa 上的气象要素进行研究。图 1 给出了冬季 1984 年 11 月—1985 年 2 月的 \bar{E} 矢量和时间平均气流的水平分布,从图中可以看到,在西风大风速中心附近存在着显著的纬向的自东向西的 \bar{E} 矢量分布,表明在这些位置的波能传播是自西向东的,并且具有纬向伸长的结构特征,纬向传播大于经向传播。同时可以看到,在欧亚大陆东部的西风大风速的出口区,副热带太平洋中部地区纬向向西的波能传播最强烈,在北美东部的西风大风速气流出口区向赤道一侧也有较强的向西波能传播,但与前一地区相比要弱一些。另外,在三个较强的西风大风速中心的间断区域(即风速较小的区域)——北美西部沿海、欧亚大陆西部沿海以及伊朗高原和青藏高原之间,存在较显著的经向的 \bar{E} 矢量分布,波能从中纬度向低纬度传播。

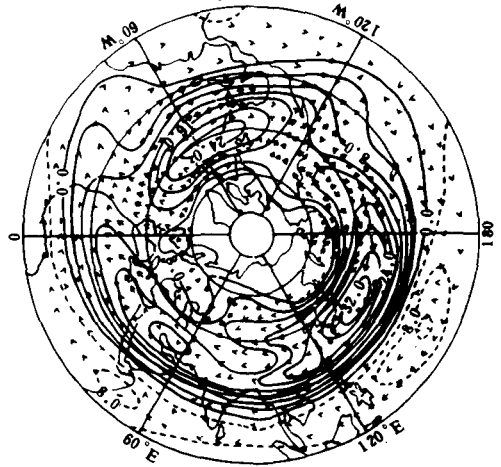


图 1 1984 年 11 月—1985 年 2 月 500hPa \bar{E} 与时间平均气流的水平分布(箭头为 \bar{E} ,等值线为平均气流,间隔为 4m/s)

很明显,低频波能的传播与时间平均气流有密切的位置关系。在西风大风速区波能沿纬圈向西传播,并且大风速气流的出口区波能传播最大,这与 Wallace 等人^[8]得到的 10 天以上的低频波动的传播特征相类似;在西风大风速间断的小风速区波能有明显的指向赤道的经向传播,通过这些地区的波能传播,中纬度振荡对低纬度振荡产生影响。

3 平均气流的正压不稳定能与低频振荡动能

3.1 正压不稳定能的二维转换

采用 Simons 等人^[6]的讨论方法,低频波动动能和 \bar{E} 矢量具有如下的关系:

$$\frac{\partial K_E}{\partial t} = \bar{E} \cdot \nabla u_s$$

展开为

$$\frac{\partial K_E}{\partial t} = \overline{(v'^2 - u'^2)} \cdot \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial \bar{u}_b}{\partial \lambda} - \overline{u'v'} \left(\frac{\partial \bar{u}_b}{\partial \varphi} + \frac{\bar{u}_b \tan \varphi}{a} \right)$$

$$CK_x = - \overline{(u'^2 - v'^2)} \cdot \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial \bar{u}_b}{\partial \lambda}$$

$$CK_y = - \overline{(u'v')} \left(\frac{\partial \bar{u}_b}{\partial \varphi} + \frac{\bar{u}_b \tan \varphi}{a} \right)$$

其中 $K_E = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2})$, \bar{u}_b 为时间平均气流, a 为地球半径, λ, φ 分别为经、纬度、 CK_x 为正压不稳定能转换的纬向分量, 反映出纬向非均匀气流的正压不稳定作用, CK_y 为正压不稳定能转换的经向分量, 反映了纬向对称气流的正压不稳定作用。

图 2a 表明, 正压不稳定能转换的纬向非对称分量 CK_x 在北半球中纬度地区有两个最为明显的正中心, 分别位于 $25^\circ - 40^\circ N$ 之间的太平洋中部地区和 $20^\circ - 30^\circ N$ 之间的北美东部的西大西洋地区, 且前区比后区大得多, 对照图 1 发现, 这个中心刚好位于东亚西风大风速气流的出口区和北美西风大风速气流的向赤道一侧。正压不稳定能转换的经向分量

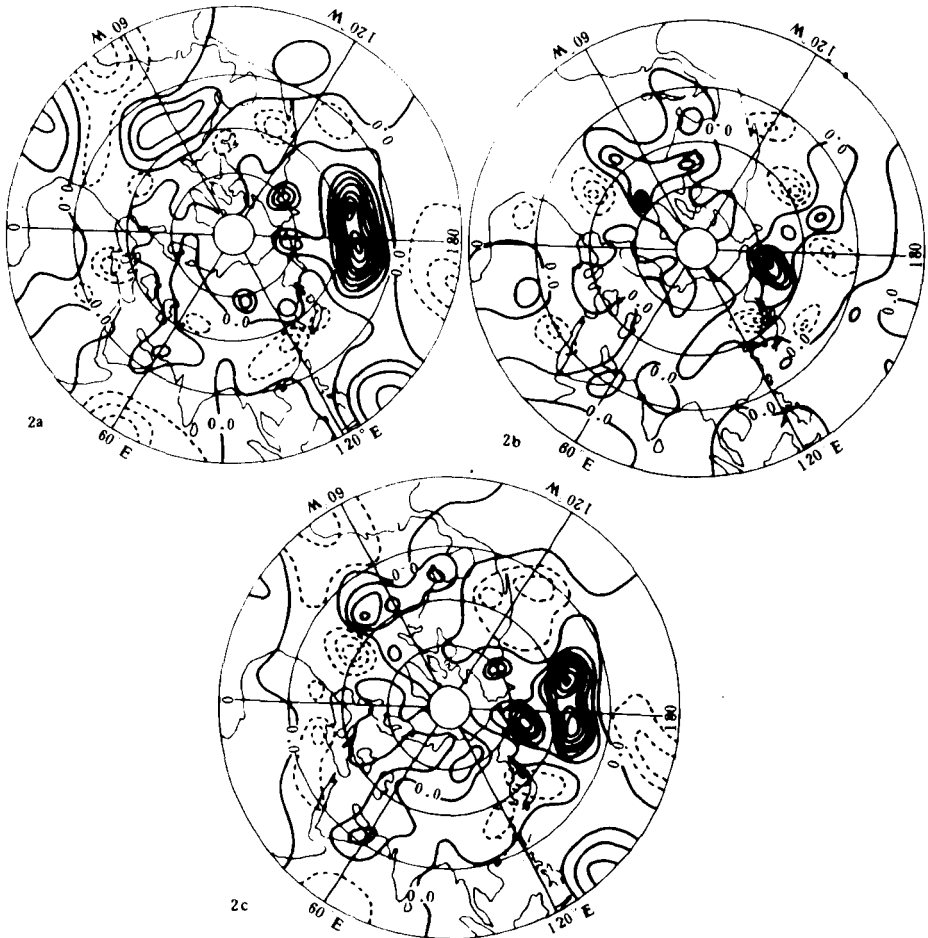


图 2 二维正压不稳定能转换的水平分布(间隔 $40m^2/s^3$)

(a) 纬向分量 CK_x , (b) 经向分量 CK_y , (c) $CK_x + CK_y$

CK_x 分布(图 2b) 表明,在东亚西风大风速中心轴附近向极一侧的阿留申地区和出口区夏威夷群岛附近存在正的不稳定能的转换,而在大风速中心轴出口区东部地区(140°E)附近有负的不稳定能的转换;在北美西风大风速中心轴的两侧存在正的不稳定能转换,出口区有负的能量转换。

在图 2c 中可以看到二维正压不稳定能转换的总效应,其极值中心以及转换的正负号性质与纬向非对称分量 CK_x 的分布基本重合,而与经向分量 CK_y 的分布存在较大差异,即中纬度地区纬向非对称正压不稳定能的转换在二维能量转换中占主导地位,表明基本流的纬向非对称性和低频波动的纬向伸长及纬向传播在低频振荡的维持中起着重要作用。

根据不稳定能转换的正负号可知,在北半球中纬度西风大风速气流的出口区正压不稳定能的转换最大,低频波动从基本气流中获得能量,从而使这里的低频波动得到发展。

3.2 低频振荡动能及其正压特性

由低频振荡动能的分布特征图(图 3) 可见,太平洋中部的夏威夷群岛、阿留申群岛和阿拉斯加湾地区是低频动能最大的中心,其中心最大值达 $44\text{m}^2/\text{s}^2$ 之多,北美东部的大西洋海域是低频动能活动的次大中心。对照前面的分析便可发现,低频动能的极值区是和西风大风速气流的出口区相对应的,这里的低频动能的产生与正压不稳定能转换密切相关。按照 Wiin-Neilsen^[9] 的定义,任一气象要素 x 的正压分量和斜压分量可表示为:

$$x_m = \frac{1}{p_0} \int_0^{p_0} x dp \quad x_s = x - x_m$$

其中 p 为气压, p_0 为地面气压, x_m 和 x_s 分别为 x 的正压和斜压分量,因此经过 30—50 天带通滤波的水平风场 \bar{V} 可写成

$$\bar{V} = \bar{V}_m + \bar{V}_s,$$

这里 $\bar{V} = u\vec{i} + v\vec{j}$, $\bar{V}_m = u_m\vec{i} + v_m\vec{j}$, $\bar{V}_s = u_s\vec{i} + v_s\vec{j}$ 。因此正压动能和斜压动能分量可以分别表示为

$$K_m = \frac{1}{2} \bar{V}_m \cdot \bar{V}_m \quad K_s = \frac{1}{2} \bar{V}_s \cdot \bar{V}_s,$$

计算正压分量时采用如下计算公式:

$$x_m = 0.17x(1000) + 0.28x(700) + 0.33x(500) + 0.22x(100)$$

实际运用了 1000、700、500、100hPa 的要素值。

每一层的斜压分量由下面公式决定:

$$x_s(p) = x(p) - x_m$$

由图可见,低频振荡的正压动能(图 4a) 与低频动能分布相似(如图 3),两个正压动能的极

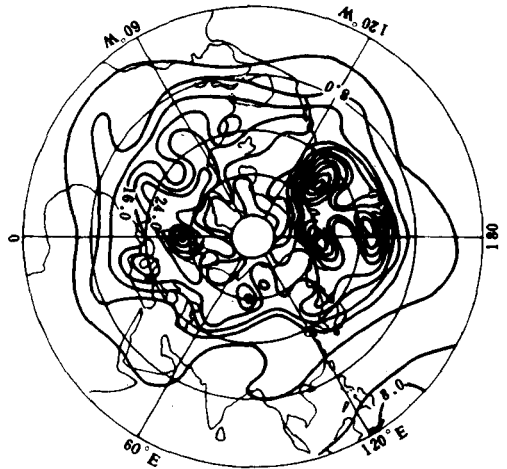


图 3 低频振荡动能的分布特征
(间隔为 $4\text{m}^2/\text{s}^2$)

大值区域分别对应低频振荡动能的极大值区,即北太平洋一些地区和大西洋北部的海域。由 500hPa 上正压动能和斜压动能之比(图 4b)可知:在热带,除了太平洋 110°W 以东和大西洋的部分地区,其它地区都是斜压动能大于正压动能(即 $K_m/K_s < 1$),表明低纬度对流层中层低频活动具有强的斜压活动特性,在中高纬除东亚部分地区斜压活动较强外,其它地区都是正压动能大于斜压动能(即 $K_m/K_s > 1$),特别是在低频动能较大的地方,正压动能是斜压动能的 4 倍以上。

由此不难发现,在中纬度低频动能具有显著的正压特性,这种正压特性在急流出口区表现得最为显著,在此地区通过时间平均气流的二维正压不稳定能的转换,使低频振荡的正压活动得到发展。另外还可看到,低纬度的低频活动具有显著的斜压特性,而中纬度的活动具有正压特性。图 4b 中用特征线($K_m/K_s = 1$)更清楚地说明了中、低纬低频活动的这种差异。

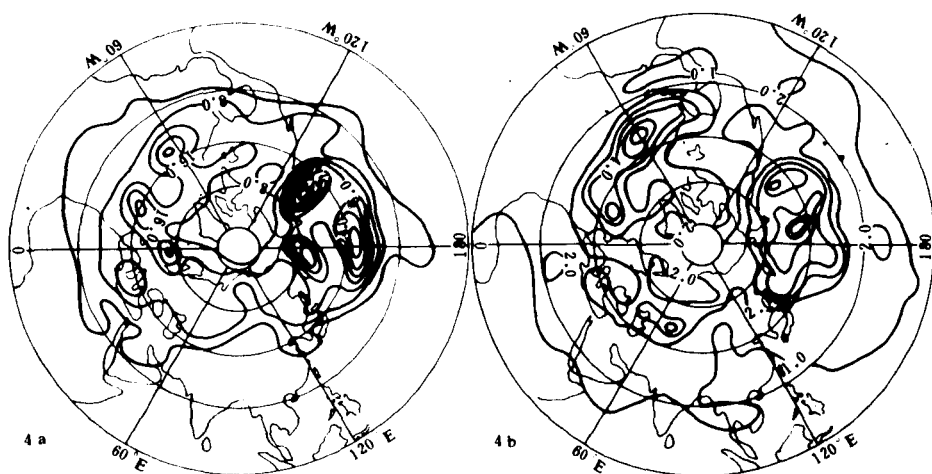


图 4 低频振荡动能的正压性质分布(a)正压动能的水平分布(间隔 $4\text{m}^2/\text{s}^2$)
(b)500hPa 正压动能与斜压动能比 K_m/K_s (间隔为 1)

4 结 论

(1)低频振荡的能量传播与时间平均气流有密切的位置关系,在西风大风速区域波能相对于西风气流有沿纬圈向西传播的特征,在大西风气流的出口区波能传播最强,在西风急流的间断区域(西风小风速区)波能有指向赤道的经向传播。

(2)在西风大风速气流的出口区具有最大的正压不稳定能的转换,低频波动从基本气流中获得能量而得到发展,在二维正压不稳定能的转换中,纬向非对称的正压能转换 CK_x 占主导地位。

(3)在西风急流的出口区具有较强的低频振荡动能,表现出显著的正压活动特征,特征线($K_m/K_s = 1$)能较好的反映出中、低纬振荡的差异,中纬度低频活动与基本流的正压不稳定能的转换密切相关。

参 考 文 献

- 1 Wallace J. M. and M. L. Blackman. Observations of low frequency atmospheric variability: Theory large scale dynamical processes in the atmosphere. Academic Press, 1983.
- 2 Lau, N. C. and K. M. Lau. The structure and propagation of intraseasonal oscillations appearing in a GFDL general circulation model. *J. Atmos. sci.*, 1986, **43**:2023—2047.
- 3 Lau, K. M. and T. J. Phillips. Coherent fluctuations of extratropical geopotential height and tropical convection in intraseasonal time scales. *J. Atmos. sci.*, 1986, **43**:1164—1181.
- 4 Edmon H. J., B. J. Hoskins and M. E. McIntyre. Eliassen—Palm cross sections for the troposphere. *J. Atmos. Sci.*, 1980, **37**:2600—2616.
- 5 Hoskins B. J., I. N. Jame and G. H. White. The shape, propagation and mean-flow interaction of large scale weather system. *J. Atmos. Sci.*, 1983, **40**:1595—1612.
- 6 Simons A. J., J. M. Wallace and G. W. Branstator. Barotropic wave propagation and instability and atmospheric teleconnection patterns. *J. Atmos. Sci.*, 1983, **40**:1363—1392.
- 7 Murakami M.. Large scale aspects of deep convective activity over the GATE area. *Mon. Wea. Rev.*, 1979, **107**:994—1013.
- 8 Wallace J. M. and N. C. Lau. On the role of barotropic energy conversions in the general circulation. *Adv. In Geo.*, 1985, 33—74.
- 9 Wiin—Neilson A.. On the transformation of kinetic energy between the vertical shear flow and the vertical mean flow in the atmosphere. *Mon. Wea. Rev.*, 1963, **90**:311—323.

**THE SPECIAL PROPERTY OF KINETIC ENERGY OF
30—50 DAY OSCILLATION AND ITS RELATIONSHIP TO
THE BAROTROPIC INSTABILITY OF BASIC FLOW**

Xu Jianjun Zhu Gang

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210035)

Abstract

By using ECMWF day—to—day grid data, the distribution of vector \vec{E} , the special property of kinetic energy and the features of the barotropic instability for 30—50 day oscillation are analyzed. It is found that the energy propagation of 30—50 day disturbance is closely related to the location of the west wind jet. The wave energy propagates zonally at the place where the west wind is stronger but meridionally at the place where that is weaker. Due to the stronger conversion of barotropic energy, the disturbance with low—frequency can get energy from basic flow, which causes the greatest kinetic energy of these disturbances in the jet exit region. The vertical distributions of kinetic energy here show us the fairly barotropic characteristics which strongly contrasted to the baroclinic over the area of low latitudes.

Key words: 30—50 day oscillation; Vector \vec{E} ; Kinetic energy; Barotropic instability.