

北半球冬季中高纬 30~60 天振荡动能源、汇的特征*

朱乾根 智协飞**

(南京气象学院气象系, 南京, 210044)

摘要 利用 ECMWF/WMO 资料, 计算了 1985 年 11 月~1986 年 3 月的大气低频动能、低频动能通量散度, 详细讨论其冬季平均的水平分布特征, 并揭示大气低频动能源和汇的水平传播特征。结果表明: 大气低频动能的大值中心正好对应于持续性异常的活动中心, 且主要位于大气环流遥相关型 PNA 和 EU 波列路径附近, 大气低频动能的强源(汇)主要位于西风急流的出口(入口)区; 在中高纬地区, 大气低频动能源和汇主要呈现向西的纬向传播特征和向北的经向传播特征。

关键词 动能, 源和汇, 低频振荡

分类号 P448

Madden 和 Julian^[1,2]在对坎顿岛 10 年观测资料的谱分析中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 天周期的低频振荡。Yasunari^[3,4]指出印度季风区云量也有 30~40 天周期变化。此后, 又有一系列的研究揭示了热带大气 30~60 天振荡的活动规律^[5~10]。Anderson 等^[11]对大气角动量输送的研究揭示出中高纬度大气的 30~60 天振荡。Krishnamurti 等^[12]指出 30~60 天振荡是一种全球大气变化现象。目前, 大气低频振荡机制的理论研究为数不少。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^[13], 移动性波动-CISK^[14], CISK-Rossby 波等^[15]。而中高纬度大气低频振荡的激发机制仍然是一个有待探讨的问题。

本文通过对中高纬度大气低频振荡动能源和汇的研究, 揭示其分布、结构特征和传播规律, 对于了解中高纬度大气低频振荡的机制无疑是十分重要的。

1 资料和计算方法

利用 ECMWF/WMO 1985 年 11 月 1 日~1986 年 3 月 31 日 u, v, w 在 1000, 850, 700, 500, 300, 200, 100hPa 7 个层次的数据, 分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。

首先采用最小二乘法拟合除去资料的季节变化趋势, 然后用 Murakami^[16]构造的基于一级 Butter-Worth 函数的带通滤波器对 u, v 作 30~60 天带通滤波。

大气低频动能计算式为
$$\bar{E}_i = 1/2(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)$$

其中 \bar{E}_i 是大气低频动能, \bar{u}, \bar{v} 分别是 u, v 的 30~60 天滤波值。

* 受国家自然科学基金资助
** 张程炜同志参加部分计算工作
收稿日期: 1993-04-28; 改回日期: 1993-11-05

大气低频动能通量散度表示成

$$\frac{\partial}{\partial x}(u\bar{E}_k) + \frac{\partial}{\partial y}(v\bar{E}_k) + \frac{\partial}{\partial p}(w\bar{E}_k)$$

其中前两项构成低频动能通量的水平散度,第 3 项为低频动能垂直通量散度。如果考虑冬季平均情况,当低频动能通量散度为辐散时,表示有低频动能流出,我们称之为低频动能源;反之,当低频动能通量散度为辐合时,表示有低频动能汇。低频动能通量水平散度用球坐标下的中央差分方案运算,具有二阶精度。低频动能垂直通量散度所用的垂直差分方案采用二次曲线拟合方法求解^[17],并对各量在对流层作整层积分。

2 大气低频动能的水平分布

为了讨论北半球冬季 30~60 天振荡的活动中心,计算了冬季平均大气低频动能在对流层整层积分值。从图 1 中不难看出北半球冬季对流层大气低频动能的大值区主要位于中、东太平洋,北大西洋中部及欧洲大陆西部以及前苏联北部地区。其中北大西洋中部低频动能值最大。从总体上来看,大洋上的低频动能值要比大陆上的大。这个结果同文献[18]基本一致,但低频动能的大值中心在位置上有一些细微的差别,这可能是所用资料年份不同,且文献[18]是 500hPa 的情况,而我们的是对流层整层积分的结果。

仔细分析,还发现两大洋上低频动能大值区主要位于中纬度西风急流的出口区。而且在中、东太平洋上低频动能大值中心的连线主要位于 PNA 波列路径附近,欧洲大陆西部至亚洲东南部地区,低频动能

大值中心的连线主要位于 EU 波列路径附近。Lau 等^[19]曾讨论了低频滤波资料的遥相关结构,结果表明大气低频振荡的遥相关波列路径主要表现为 EU 波列和 PNA 波列。这表明低频动能大值中心同上述两支波列路径的对应关系绝非偶然。

Dole^[20]指出持续性异常活动中心同低频活动中心有某种相似的分布型。我们发现低频动能的大值中心同阻塞发生频数最多的区域也有很好的对应关系。Wallace 等^[21]指出阻塞形势并不指单一的机制引起的单一清晰的图像,更确切地说是指原因不同但结构相似的不同低频变化现象的集合,这样,上述对应关系就不足为怪了。至于大气低频动能大值区同大气遥相关波列路径的对应关系也是易于理解的。因为大气遥相关波列反映了大气低频变化的能量频散特征,因此大气低频动能大值中心分布在大气低频波列路径附近也是十分自然的。

还计算了低频动能变化的方差(图略)。结果表明大气低频动能方差大值区同冬季平均大气低频动能大值区的水平分布基本一致,但大气低频动能的冬季平均值要比其变化幅度大得多。大气低频动能的变化以 20 天周期振荡为主^[22]。

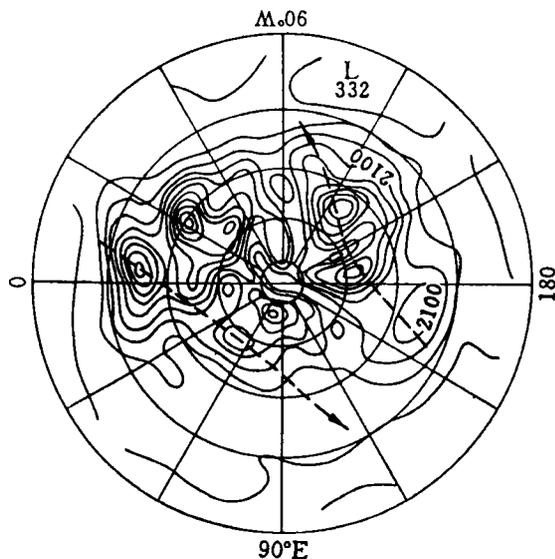


图 1 1985~1986 年冬季平均北半球对流层整层积分大气低频动能的水平分布特征(单位:J·m⁻²,等值线间隔是 600)

3 大气低频动能源和汇的分布特征

3.1 大气低频动能的水平通量散度

图 2 显示,在对流层高层(200hPa)和低层(850hPa),冬季平均大气低频动能通量的水平散度分布比较一致,对流层高、低层之间低频动能通量的辐散、辐合中心对应关系较好,低层中心比高层的偏西 10 个经度左右,但在量值上相差很大,高层低频动能通量的辐散、辐合强度比低层大一个量级左右。尽管大气风场的散度在对流层高、低层具有相同的量级,但低频动能在对流层高、低层却有很大的差异,高层比低层大得多。从公式 $\nabla \cdot (\bar{k} \vec{v}) = \bar{k} \nabla \cdot \vec{v} + \vec{v} \cdot \nabla \bar{k}$ 中可知右边第一项是比较重要的,在高层其量值比低层大一个量级,这就不难理解上述结果。

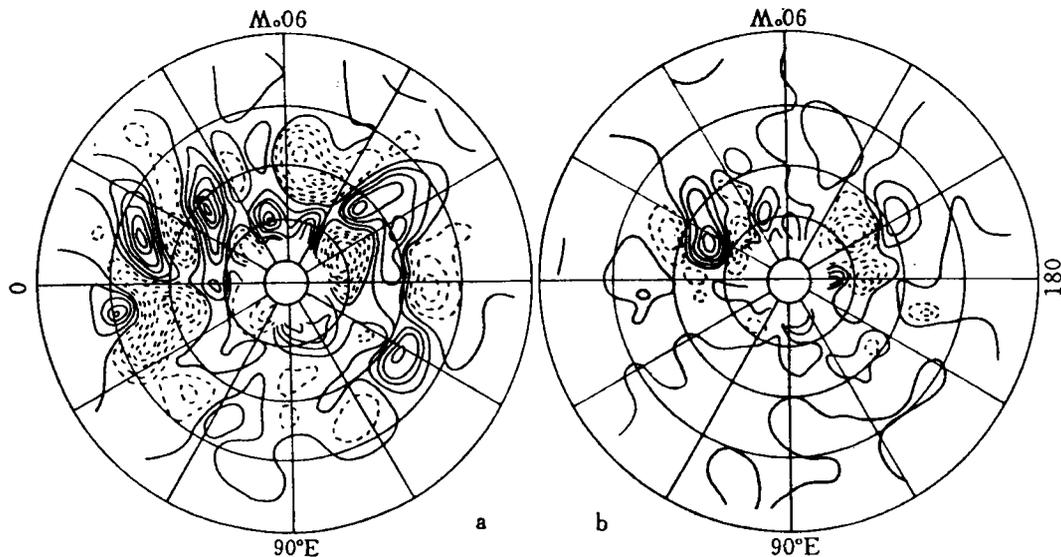


图 2 冬季平均大气低频动能水平通量散度分布特征 a. 200hPa, b. 850hPa (单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$
等值线间隔分别为 10、2, 实线表示正值, 虚线表示负值)

3.2 大气低频动能的垂直通量散度

从图 3 中不难看出,冬季平均大气低频动能的垂直通量散度在对流层高层和低层存有较大的差异。当对流层低层有低频动能的垂直通量辐散时,高层则有相应的垂直通量辐合;反之,低层有低频动能的垂直通量辐合,高层则有相应的垂直通量辐散。还发现对流层高层大气低频动能垂直通量散度量值比低层大一个量级。这一结果可以用类似于上节的讨论来解释。

比较图 2a 和图 3a 发现,在 200hPa,北太平洋、北美大陆和东亚大陆上低频动能通量的水平散度和垂直通量散度几乎呈相反的分形势。在大气低频动能水平通量辐散(辐合)地区,有垂直通量辐合(辐散)。在北大西洋地区和欧洲西部,中低纬度地区有垂直通量辐散,在其以北地区有垂直通量辐合。而在上述地区,则有大气低频动能水平通量散度呈西北—东南波列状分布,至 10°E 以东又呈西南—东南波状分布。考虑到大气低频动能垂直通量散度在 200hPa 上比水平通量散度小一个量级,因此,200hPa 大气低频动能源和汇主要由低频动能水平通量散度决定,低频动能垂直通量散度的作用是次要的。事实上,200hPa 大气动能源和汇的水平分布特征非常类似于大气低频动能的水平通量散度(图略)。

3.3 大气低频动能源和汇

对流层整层积分的大气低频动能源和汇的分布(图 4)同 200hPa 低频动能源和汇以及

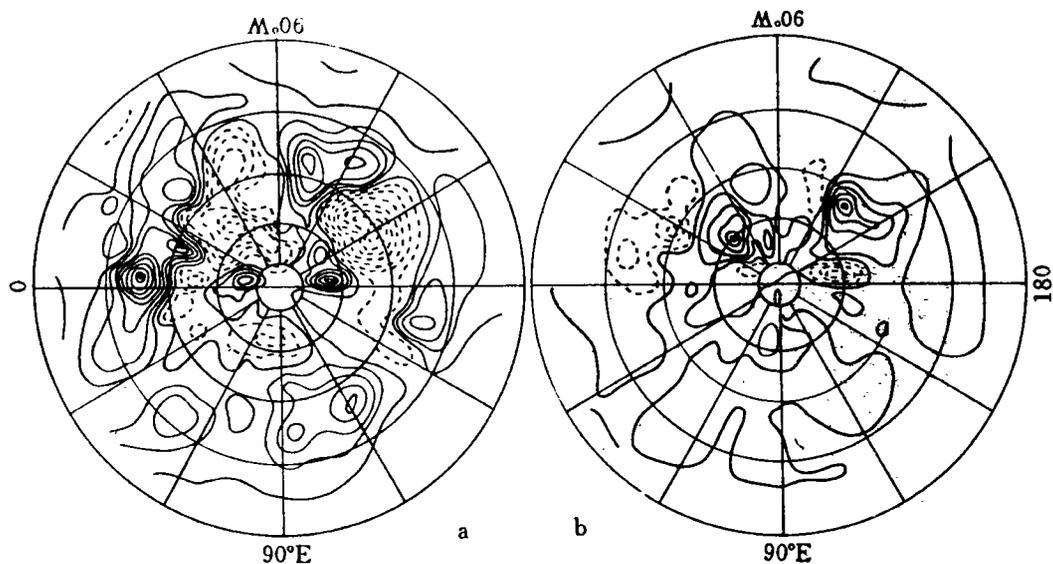


图3 冬季平均大气低频动能垂直通量散度的水平分布特征(说明同图2,a,b等值线间隔分别为1.0,0.5)

200hPa 大气低频动能水平通量散度分布特征相似。由图4还可看出,北大西洋和北太平洋都有强的低频动能源,在它们的南北两侧各有一个低频动能汇。在北美洲大陆上有一个低频动能汇,在亚洲大陆上主要是低频动能汇,但东亚大陆北部有低频动能源。欧洲南部和阿拉伯海—西亚一带也有两个弱源,且主要位于中低纬地区。最强的低频动能源位于北大西洋和北太平洋上的西风急流出口区,而在急流入口区则为低频动能汇。因为时间平均气流和瞬变扰动的正压动能转换式为 $C \doteq -\bar{E} \cdot \nabla \bar{u}$, 其相对误差小于 10%^[23]。文献[24]表明,低频扰动的 E 主要从东指向西,而急流出口区处 $\nabla \bar{u}$ 的方向也是自东向西,这样 $C < 0$, 时间平均气流向低频扰动转换动能,产生低频动能,对应为低频动能源。而在急流入口区, $C > 0$, 低频扰动向时间平均气流转换动能,使低频动能耗散,对应为低频动能汇。

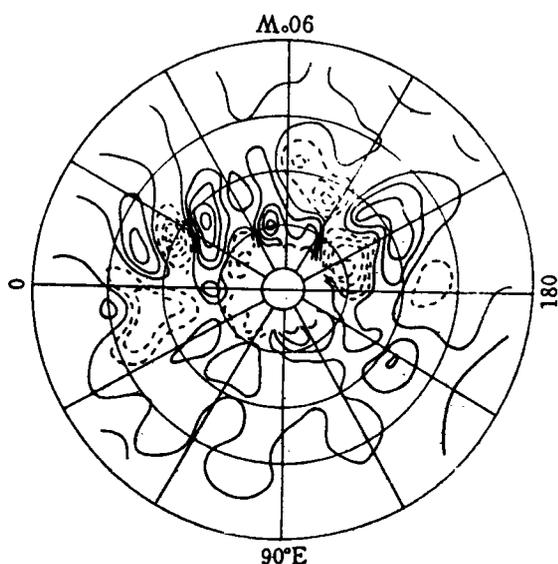


图4 冬季平均大气低频动能源和汇的分布特征
(单位: $W \cdot m^{-2}$, 实线表示源, 虚线表示汇, 等值线间隔为 100)

4 大气低频动能源和汇的传播

由于中高纬度对流层各层大气低频动能源和汇的传播具有类似的特征,故仅选取 200hPa 低频动能源(汇)随时间的变化,讨论对流层大气低频动能源(汇)的传播特征。

4.1 纬向传播

图5给出 65~80°N 纬带平均 200hPa 大气低频动能源和汇的时间—经度剖面。由图可以

看出,从2~3月中旬低频动能源和汇明显加强,最显著的特征是大气低频动能源和汇随时间向西倾斜,这表明在高纬地区大气低频动能源和汇向西传播的特征,但这种传播距离却并不远,表明冬季大气低频动能源和汇在纬向方向移动范围不大。事实上,在高纬度地区大气低频动能源和汇在纬向上呈3波分布,在同一地区,大气低频动能源和汇强度随时间变化很大,有时还能演变成相反的形势,即源(汇)转变成汇(源)。在大多数情况下,同一地区维持相同的形势。在中纬度地区(45~65°N),低频动能源和汇也有西传特征(图略)。

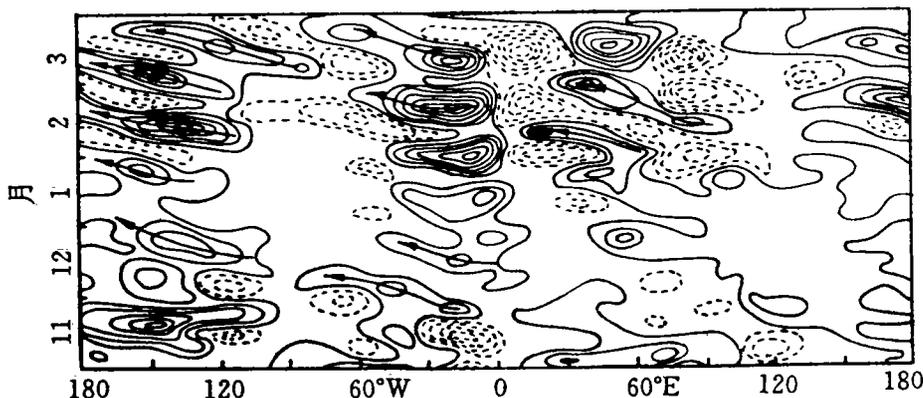


图5 200hPa 65~80°N 纬带平均大气低频动能源和汇的时间-经度剖面图
(实线表示源,虚线表示汇,单位: $m^2 \cdot s^{-2} \cdot d^{-1}$,等值线间隔为 10)

4.2 经向传播

选取 200hPa 10°W 大气低频动能源(汇)的时间-经度剖面(见图6),从图6看到在30°N附近低频动能源在强度上有较大变化,低频动能源传播特征不明显。60°N以北,大气低频动能源和汇主要有向北的传播特征。在30~50°N,有些月份也有向南传播的情况。在其他经度上也有类似的经向传播特征(图略)

5 结论

通过对冬季北半球中高纬度大气低频动能源和汇的讨论,得到一些初步结论:

(1)大气低频动能的大值中心主要位于北太平洋、北大西洋、欧洲大陆西部和前苏联北部地区,这同大气的持续异常中心有很好的对应关系,这些中心主要位于大气环流遥相关型PNA和EU波列路径附近。

(2)大气低频动能的水平通量散度在中高纬度地区对流层各层的水平分布基本一致,其垂直通量散度在对流层高层和低层呈现相反分布特征。在同一层次上,大气低频动能的垂直通量散度比水平散度小一个量级。因此,大气低频动能的源和汇主要由大气低频动能的水平辐散和辐合确定。大气低频动能源和汇强度在对流层高层比低层大一个量级。在北太平洋和北大西洋上西风急流出口区为强的低频动能源,低频扰动从时间平均流中获得动能,而在西风急流入口区,低频扰动动能向时间平均流转换,有低频动能耗散,主要对应为低频动能汇。

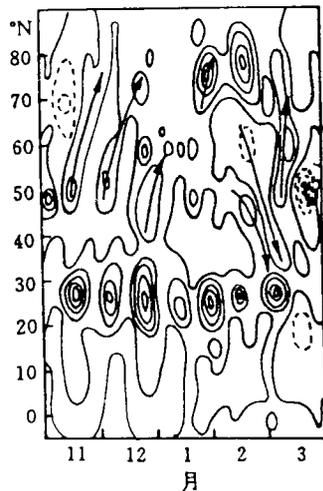


图6 200hPa 10°W 大气低频动能源和汇的时间-纬度剖面图
(说明同图5,等值线间隔为 30)

(3)在中高纬度,大气低频动能的源和汇主要呈向西的纬向传播特征,大气低频动能源和

汇在中低纬度经向传播不明显,只有强度上的变化,在中高纬度有向北的经向传播特征。在 30~50°N 之间有些月份也有南传特征。

参 考 文 献

- 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 global scale circulation cells in the tropics with a 40~50 day period. *J Atmos Sci*, 1972, 29, 1109~1123
- 3 Yasunari T. Cloudiness fluctuations associated with the Northern Hemisphere summer monsoon. *J Meteor Soc Japan*, 1979, 57, 227~242
- 4 Yasunari T. A quasi-stationary appearance of 30~40 day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India. *J Meteor Soc Japan*, 1980, 58, 225~229
- 5 Krishnamurti T N, Subrahmanyam D. The 30~50 day mode at 850mb during MONEX. *J Atmos Sci*, 1982, 39, 2088~2095
- 6 Murakami T, Nakazawa T. Tropical 40~50 day oscillations during the 1979 Northern Hemisphere summer. *J Atmos Sci*, 1985, 42, 1107~1122
- 7 Weickmann K M, Lussky G R, Kutzbach J E. Intraseasonal (30~60 day) fluctuations of outgoing longwave radiation and 250mb streamfunction during northern winter. *Mon Wea Rev*, 1985, 113, 941~961
- 8 Murakami T, Chen L X, Xie A. Relationship among seasonal cycles, low-frequency oscillations, and transient disturbances. *Mon Wea Rev*, 1986, 114, 1456~1465
- 9 He Jinhai. Discussion of meridional propagation mechanism of quasi-40-day oscillation. *A A S*, 1990, 7, 78~86
- 10 Zhu Qiangen, Zhi Xiefei, Lei Zhaochong. Low frequency summer monsoon in Indonesia—Northern Australia and its relation to circulation in both hemispheres. *A M S*, 1990, 4, 543~553
- 11 Anderson J R, Rosen R D. The latitude-height structure of 40~50 day variations in atmospheric angular momentum. *J Atmos Sci*, 1983, 40, 1584~1591
- 12 Krishnamurti T N, Gadgil S. On the structure of the 30 to 50 day mode over the globe during FGGE. *Tellus*, 1985, 37A, 336~360
- 13 李崇银. 第二类条件不稳定—振荡型对流. *中国科学(B)*, 1983a, 857~865
- 14 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
- 15 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
- 16 Murakami M. Large-scale aspects of deep convective activity over the GATE area. *Mon Wea Rev*, 1979, 107, 994~1013
- 17 林海. 夏季热带对流层上层超长波的维持和振荡机制. *南京气象学院学报*, 1987, 10, 297~309
- 18 李崇银. 大气低频振荡. 北京:气象出版社, 1991. 73~74
- 19 Lau K M, Chan P H. Aspects of the 40~50 day oscillation during the northern winter as inferred from outgoing longwave radiation. *Mon Wea Rev*, 1985, 113, 1889~1909
- 20 Dole R. 北半球热带外地区冬季环流的持续异常. In: Hoskins B, Pearce R, eds. 大气中大尺度动力过程(中译本). 北京:气象出版社, 1987. 97~98
- 21 Wallace J M, Blackman M L. 低频大气变化的观测研究. In: Hoskins B, Pearce R, eds. 大气中大尺度动力过程(中译本). 北京:气象出版社, 1987. 90~91
- 22 Zhu Qiangen, Zhi Xiefei. Maintenance and oscillation mechanism of summer tropical upper tropospheric easterlies. *A A S*, 1988, 5, 128~139
- 23 Hoskins B J, James I N, White G H. The shape, propagation and mean-flow interaction of large-scale weather system. *J Atmos Sci*, 1983, 40, 1595~1612
- 24 何金海, 徐建军, 张永新等. 北半球低频扰动能量结构特征及其与西风急流的关系. *热带气象学报*, 1993, 9, 28~35

SOME CHARACTERISTICS OF KINETIC ENERGY SOURCES/SINKS OF 30~60 DAY OSCILLATION IN WINTER NORTHERN HEMISPHERE EXTRATROPICS

Zhu Qiangen Zhi Xiefei

(Department of Meteorology, NIM, 210044, Nanjing, PRC)

Abstract Based on ECMWF/WMO data, the November 1985~March 1986 atmospheric low frequency kinetic energy and its flux divergence are computed and their horizontal distribution features of the winter averages documented in detail, together with the horizontal propagation characteristics of the energy sources/sinks revealed. Results show that the maximum kinetic energy centers are related to the persistent anomaly cores of action, usually adjacent to the wave tracks of the teleconnections PNA and EU; the robust low frequency kinetic energy sources (sinks) are located largely at the exit (entrance) of westerly jet; the sources/sinks move predominantly west-and northward at extratropical latitudes in winter.

Keywords kinetic energy, sources and sinks, low-frequency oscillation