

KY85—10—2

论文汇编

项目领导小组

时变涡动输送和阻高形成 ——1980年夏中国的持续异常天气*

吴国雄 刘辉 陈飞 赵宇澄

(LASG, 中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080)

卢莹

(河南省气象局, 郑州, 450003)

提 要

1980年6至8月发生在中国的持续时间长、强度大的南方低温洪涝及北方高温干旱天气与中高纬地区阻塞高压在东北亚持续发展维持有关。本文研究了时变天气系统的输送过程在强迫阻高形成中的作用。结果表明,源于欧洲强斜压带上的天气尺度扰动在东传过程中出现动能转化。这种转化满足双向法则:在向小尺度系统转化的同时,还向时间平均西风急流及大尺度的阻塞系统输送能量。位涡分析也表明,天气尺度系统维持着急流轴南侧的反气旋式平均位涡和北侧的气旋式平均位涡,并在急流分流区下游激发出高纬强烈的反气旋性涡度增长和相应的正变高。

研究表明,这种波流相互作用激发阻高增长的过程比著名的1976年夏西欧阻高的发展还强烈得多。因此,在研究中国北方的持续异常天气形势时,除了注意热带、副热带系统的动态外,还必须注意欧洲及西亚地区强斜压带的发展及其上天气尺度系统的传播和输送特征。

关键词: 时变涡动, 涡动输送, 阻高形成, 异常天气。

1 引 言

1980年6至8月,中国出现了历史上罕见的“南涝北旱”天气(图1)。黄河以南长江以北地区经历了奇特的低温和暴雨。6、7月份,江淮、黄淮和汉水气温偏低 2°C ,降水偏多近一倍^[1,2]。8月形势继续发展^[3],上海、南京、武汉陆续出现创记录低温,降水偏多1至3倍。整个长江流域出现了1949年以后仅次于1954年的特大洪水。与此同时,黄河以北地区持续高温干旱。6月,东北、内蒙古出现 $35-39^{\circ}\text{C}$ 高温^[1]。7月,内蒙古广大地区月平均气温偏高 $2-3^{\circ}\text{C}$ ^[2]。在此期间,黄河中下游和东北雨量偏少20%—50%,华北和西北雨量仅有10—40mm,偏少50%—80%,为五六十年间少见。北京雨量(31mm)为有记录(1895年)以来的最少值。8月,北方干旱继续发展,广大区域上异常天气的持续及强度均为有史

* 1993年元月16日收到原稿,1993年4月3日收到修改稿。本研究得到中国科学院“我国长江黄河流域旱涝规律成因与预测研究”、“灾害性气候预测及其对农业年景和水资源调配的影响”项目,以及国家基础性研究重大关键项目“气候动力学和气候预测理论研究”的支持。

附表 1993 年第 4 季度北半球 500hPa 高度场统计检验

检验项目		D+1	D+2	D+3	预报天数			
					D+4	D+5	D+6	D+7
RMSE	T42	22.8	38.1	53.4	66.7	82.0		
	T63	25.9	37.3	49.4	63.4	75.2	80.8	88.7
A. COR	T42	0.947	0.881	0.788	0.677	0.558		
	T63	0.937	0.877	0.821	0.731	0.635	0.547	0.468

参考文献

- [1] 李泽椿, 梁孟铎, 王祖林, 王春虎等. 中期数值天气预报系统工程工艺扩大初步设计.
- [2] 李泽椿. “七五”国家重点科技攻关中期数值天气预报研究课题总结报告.
- [3] Lorenc A C. A global three-dimensional multivariate statistical interpolation scheme. *Mon Wea Rev.* 1981. 109: 701—721.
- [4] McPherson R D, Bergman K H, Kisilevich R E, Rash G F and Gordon D S. The NMC operational global data assimilation system. *Mon Wea Rev.* 1979. 107: 1445—1461.
- [5] 全球气象资料预处理和质量控制方案的实施. 《中期数值天气预报研究》成果汇编 (一), 气象出版社, 1990 年 2 月.
- [6] ECMWF. ECMWF data assimilation scientific documentation. Research Manual 1. ECMWF. 1986. Reading.
- [7] ECMWF. ECMWF forecast model. Adiabatic part. Research Manual 2. ECMWF. 1987. Reading.
- [8] ECMWF. ECMWF forecast model. Physical Parameterization Research Manual 3. ECMWF. 1988. Reading.

MEDIUM-RANGE NUMERICAL WEATHER PREDICTION SYSTEM AT THE NATIONAL METEOROLOGICAL CENTER OF CHINA

Li Zechun

(National Meteorological Center, Beijing, 100081)

Abstract

The operational run of the medium-range Numerical Weather Prediction system requires not only to solve meteorological issues but also to deal with many engineering and technical problems associated with it.

This paper intends to describe the achievements in the research efforts and engineering construction of the system as well as its operational performance and verification outcomes in the process of its construction and installation at the National Meteorological Center.

Key words: Medium-range numerical weather prediction. Operational system. National Meteorological Center.

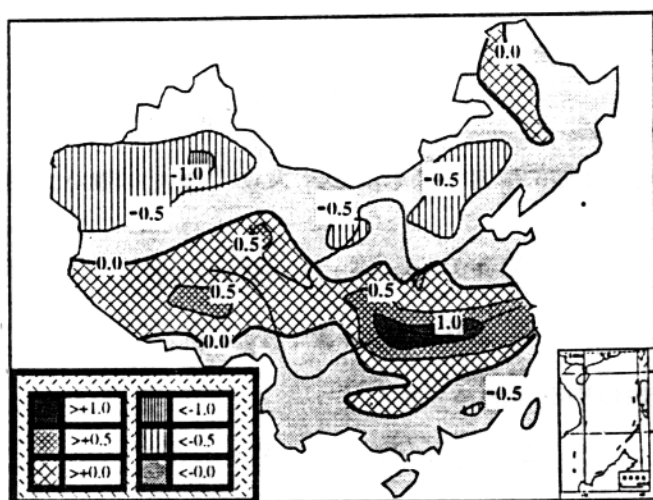


图1 1980年6至8月降水距平百分率的分布。
(粗实线为零线,等值线间隔为0.5。格子区为正距平区,其它为负距平区)

罕见。毕慕莹和丁一汇^[19]曾对该夏季形势进行分析,指出上述持续异常天气与东北亚阻塞高压稳定维持有关。本文目的则在于分析该阻塞高压形成的机制。

关于阻塞高压形成的可能机制,一直存在着两种不同的观点。一种是全球强迫共振观点;另一种是邻域强迫响应观点^[4]。后一观点正在得到越来越多的重视。其实,早在四五十年代, Berggren, Bolin 和 Rossby (1949)^[5], 顾震潮等 (1957)^[6], 叶笃正等 (1962)^[7], 和 Namias (1964)^[8] 等就注意到上游斜压不稳定扰动的发展与下游阻高形成有关。一般说来,地形强迫扰动具有随高度增加而西倾的结构;外热源强迫的扰动则具有上、下层反位相的结构。而暖性、低位涡的阻高系统与此不同,通常为相当正压结构。其形成的一种合理的解释是 (Green, 1977)^[9], 时变波在高层不断向高压中心输送负涡度,在几天之内激发出反气旋环流。这时,绕越阻高北部的偏西气流在科氏力作用下辐合,气柱下沉增暖。下层大气因辐散而出现反气旋式环流。暖性的相当正压的阻高因而形成。这一观点在 Austin (1980)^[10], Illari (1984)^[11] 的分析中也得到证实。Shutts^[12] 进一步用相当正压模式,使用“天气波制造器”成功地强迫出阻塞高压。

本文将应用邻域强迫的观点去研究 1980 年夏东北亚阻高的形成。首先,第二节扼要地从理论上说明邻域位涡强迫在阻高形成中的作用。第三节对 1980 年夏季的环流形势作简要介绍。在第四至第六节中将分别分析相当正压层上天气尺度系统的能量源汇的空间分布;能量的串级及向阻高系统的转化;及其对急流维持和阻高形成的贡献。若干讨论和结论将在第七节给出。

2 基本原理

相当正压位涡方程可写为

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla q = F \quad (1)$$

其中 F 为强迫项, q 为位涡

$$q = \nabla^2 \psi + f - \gamma^2 \psi$$

γ 为变形曲率, 满足 $\gamma^2 = f^2 (gH)^{-1}$.

把式(1)分离为时间平均(用“ $\bar{\cdot}$ ”表示)及时变(用“ $\cdot$ ”表示)两部分, 并略去高阶小项, 得

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla \bar{q} = -\nabla \cdot (\bar{v}' q') + \bar{F} \quad (2)$$

$$\frac{\partial q'}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla q' + \bar{v}' \cdot \nabla \bar{q} = F' \quad (3)$$

令时变拟能 E_t 及时间平均拟能 $\bar{E}$ 各为

$$E_t = \frac{1}{2} \overline{(q')^2}, \quad \bar{E} = \frac{1}{2} \overline{(\bar{q})^2} \quad (4)$$

由式(3)可得

$$\frac{\partial E_t}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla E_t + \overline{v' q'} \cdot \nabla \bar{q} = \overline{F' q'} \quad (5)$$

令 $\bar{\psi} = \bar{\psi}(\bar{q})$, 并定义余差扰动位涡通量^[12]

$$(\bar{v}' q') \cdot = \bar{v}' q' - k \times \nabla \left(\frac{d\bar{\psi}}{d\bar{q}} E_t \right) \quad (6)$$

于是我们得到一组关于时间平均位涡 $\bar{q}$ 和时变拟能的变化方程

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla \bar{q} = -\nabla \cdot (\bar{v}' q') + \bar{F} \quad (7)$$

$$\frac{\partial E_t}{\partial t} + (\bar{v}' q') \cdot \nabla \bar{q} = \overline{F' q'} \quad (8)$$

上式中包含有时变项 $(-\nabla \cdot \bar{v}' q')$ 对平均场的作用, 也包含有时变场和时间平均场的配置项 $((\bar{v}' q') \cdot \nabla \bar{q})$ 对时变拟能的影响, 因此可用来研究时变涡度输送过程对持续性环流的发展和维持的贡献。

3 大气环流形势

1980年6月9日, 随着西太平洋副高脊线从 18°N 北跳至 22°N , 以及孟加拉湾低压迅速发展, 中国华南前汛期结束, 江淮梅雨期开始。自此以后, 副高位置稳定少动, 直至8月仍盘踞在 22°N 左右, 加之孟加拉湾低压继续偏强, 导致雨带一直滞留在江淮地区。这种异常天气的发生除了副热带异常环流的因素外, 还与中高纬阻高的长期稳定维持有关。从毕慕莹等^[13]的分析(其图5和图6)可看出, 东北亚的阻高在7月上中旬经历着发展建立的过程, 从7月中以后至8月大致稳定在 110°E — 150°E 之间。图2a和2b分别是7月15—25日平均00时(世界时, 下同)500hPa和700hPa形势。它们与整个夏季的平均状况^[1, 2]相似。该期间中高纬西亚槽位于 60°E — 80°E , 比平均位置偏西; 东亚槽则偏东(图2a)。两槽之间, 在东北亚有稳定的阻高维持。强西风斜压带自欧洲西岸向东伸展至贝加尔湖西面,

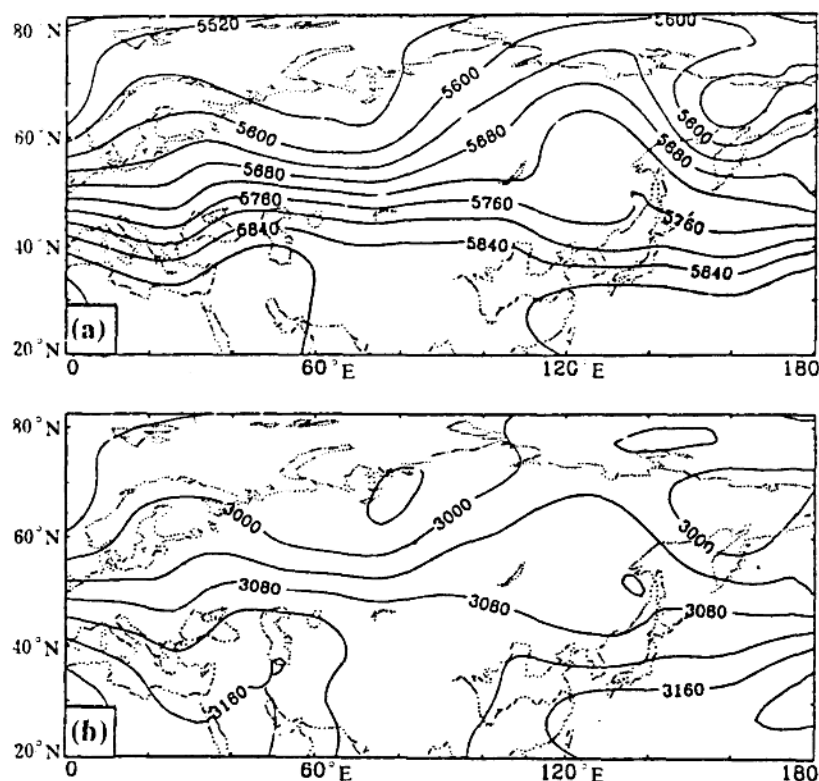


图2 1980年7月15—25日(a)500hPa, (b)700hPa 平均00时位势高度图
(等值线间隔为10gpm)

然后出现分流。北支绕越阻高后流向库页岛。南支在蒙古至河套地区形成反气旋式流场,使中国北方出现持续高温干旱天气。在700hPa(图2b),沿南支西风斜压带上的小扰动经河西走廊向东南移动,不断带来冷空气,并与来自孟加拉湾的西南气流汇合,使江淮地区出现低温洪涝。

毕慕莹和丁一汇^[19]在研究该夏季的形势时,曾通过对长时间(7月1日至9月10日)平均的位涡方程进行平衡分析去考察时变波的贡献。为研究天气尺度系统在阻高发展形成中的作用,本文选取7月7—15日一段时间作为分析对象。之所以选取该时段(9d),是由于

(1)该段逐日形势演变(图3)表明,东北亚经历着一次完整的阻高形成和加强的过程;

(2)在欧洲至中亚的斜压带上不断有天气系统发展东移。在贝加尔湖以东,它们分别沿分流区移向东北和东南方向。

(3)在此以后,阻塞形势稳定少动^[19],7,8月份平均形势特征与图2相似。

下面将利用中科院大气所资料中心(DCIAP)存档的ECMWF资料进行分析。我们将

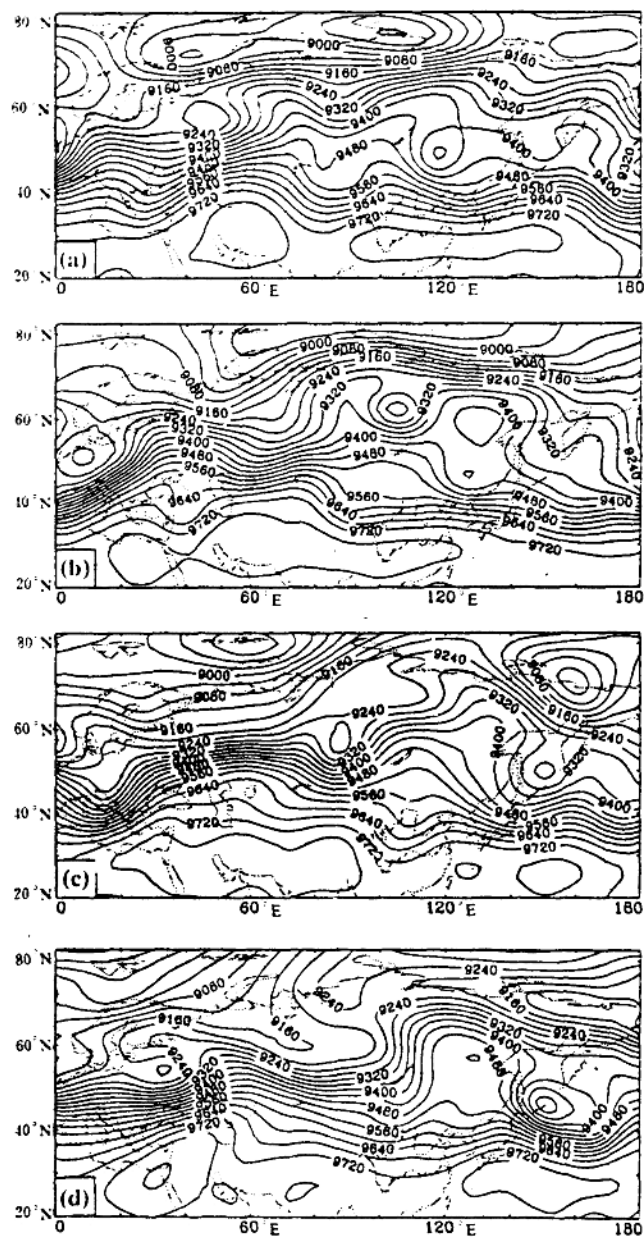


图3 1980年7月8日(a),10日(b),12日(c),
14日(d)00时300hPa位势高度
(等值线间隔80gpm)

取 300hPa 为相当正压层,应用方程(7)、(8)进行诊断。为研究天气波的贡献,所有时变资料都经过带通(2.5—6d)滤波处理^[1]。因此,下文所提“扰动”均指周期为 2.5 至 6d 的波动。

4 天气尺度系统能量的制造和耗散

图 4 是 1980 年 7 月 7—15 日时间平均 300hPa 时变扰动拟能 E' (图 4a)和动能 $(\frac{1}{2}(\overline{V'q'})^2)$,图 4b)的分布。由此可看出下列的显著特征:

(1)在欧洲至西亚的强斜压带上,以及西太平洋的强斜压带上,扰动拟能和动能均具有最大值。在华北至东北亚的阻高区,扰动能量具有最小值。

(2)在天气尺度扰动东移的路径上,扰动拟能和动能具有相对大的值。大值区的南北向尺度自西向东逐渐加大。在流场的分流点(90°E,50°N)附近,扰动拟能和动能的大值区也分为南北两支。这意味着沿变形场东移的天气系统南北方向的尺度伸长,输送增长。

当研究时段的尺度远大于气旋的生命史或等于求时间平均的时段时, E' 的倾向很小,方程(8)可写成:

$$(\overline{V'q'}) \cdot \nabla \bar{q} \approx \overline{F'q'} \quad (9)$$

于是,在平均余差扰动位涡通量与平均位涡梯度(升度)同向的地方,即在 $(\overline{V'q'}) \cdot \nabla \bar{q} > 0$ 的地方,位涡强迫源 F' 和位涡 q' 同号相关,为扰动拟能的源。反之,在 $(\overline{V'q'}) \cdot \nabla \bar{q} < 0$ 的地方为扰动拟能的汇。在图 5 中,我们给出了 $\overline{V'q'}$ 和 $\bar{q}$ 的相对配置。从图中看出,在(20—50°E,50—60°N)区域,在巴尔喀什湖附近,以及在贝加尔湖西北面为中纬西风带中三个主要源区。在这些源区下游,扰动拟能 E' (图 4a)和动能 K' (图 4b)也出现了局地最大值。逐日天气图上,天气系统在经威海、巴尔克什湖及贝加尔湖西部时或增强,或尺度减小,与上述源区的分布大致吻合。

西风带上扰动拟能的汇则出现在 60°E,90°E,尤其是 110°E 附近。在其附近,扰动拟能(图 4a)和动能(图 4b)均显著减小。换言之,当扰动自欧洲及中亚的强斜压带生成后,在其东传中也不断有能量耗散。尤其在变形场附近,扰动的拟能耗散更为明显。

5 天气系统的能量串级和阻塞的形成

$$\text{令} \quad \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla \quad (10)$$

代表个别变化,在无耗散场合,由式(5)和(7)可得

$$\begin{cases} \frac{dE'}{dt} + \overline{V'q'} \cdot \nabla \bar{q} = 0 \end{cases} \quad (11a)$$

$$\begin{cases} \frac{d\bar{E}}{dt} - \overline{V'q'} \cdot \nabla \bar{q} + \nabla \cdot (\bar{q} \overline{V'q'}) = 0 \end{cases} \quad (11b)$$

由此可见,式(11a)中项 $(\overline{V'q'} \cdot \nabla \bar{q})$ 表示扰动拟能向时间平均拟能的转化。又由于图 4 所示的,时间平均流场主要是大尺度系统,尤以阻塞尺度为显著,如以下标“ l ”表示大尺度,则可记 E_l 向大尺度扰动的转化为

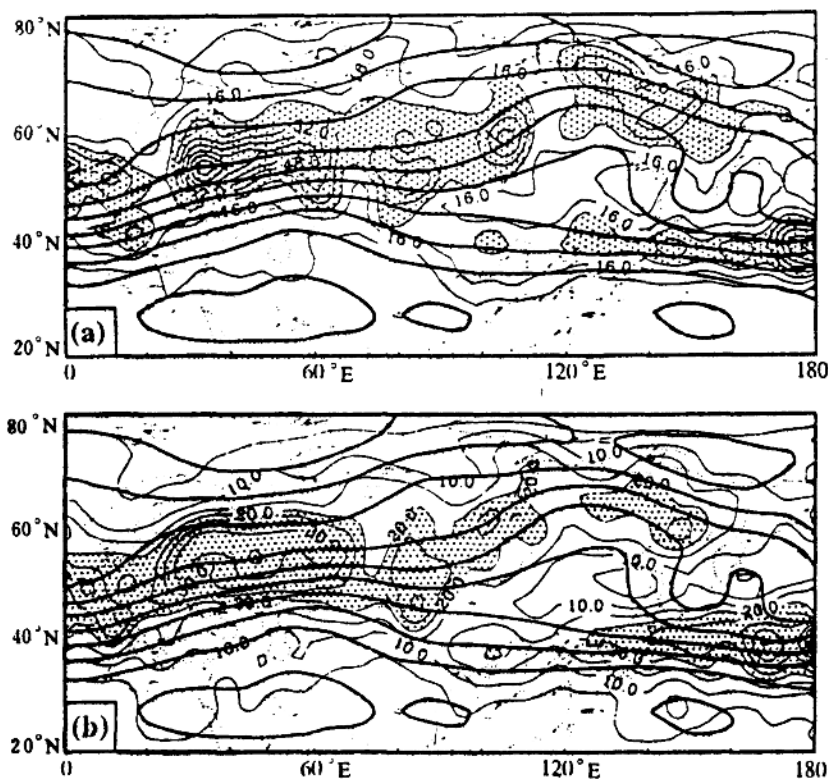


图4 1980年7月7—15日300hPa时间平均位势高度(粗实线)及扰动的位势拟能(图a,细实线)和动能(图b,细实线)的相对配置
(等高线间隔为80gpm,拟能等值线间隔为 $8 \times 10^{-11} \text{ s}^{-2}$,动能等值线间隔为 $5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$.阴影区分别表示大于 $2.4 \times 10^{-11} \text{ s}^{-2}$ (a)和 $20 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ (b)的区域)

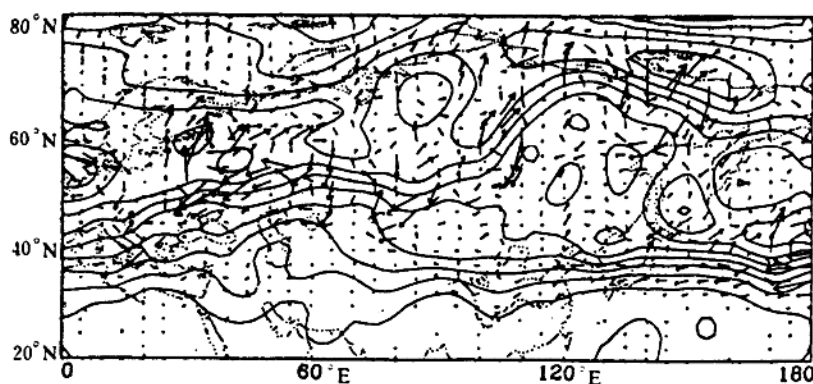


图5 1980年7月7—15日300hPa平均位势 q (等值线间隔为 $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)和余差扰动位势通量 $(\bar{V}'q')$ 。(箭头)的相对分布

$$\frac{dE_i}{dt} = \overline{\vec{V}'q'} \cdot \nabla \bar{q} = C(E_r - E_i) \quad (12)$$

如把位涡拟能 E_i 分为尺度较大的系统和尺度较小的系统两大类, 并以下标“ m ”和“ s ”分别表示之, 即

$$\frac{dE_i}{dt} = \frac{dE_m}{dt} + \frac{dE_s}{dt} \quad (13)$$

于是式(11a)可简写成

$$\frac{dE_i}{dt} + \frac{dE_m}{dt} + \frac{dE_s}{dt} = 0 \quad (14)$$

Fjortoft(1953)^[14]曾证明, 在无辐散正压大气中, 必须至少有三种尺度的波动参与, 能量的转化才可实现。吴国雄^[18]进一步证明, 在有辐散的斜压大气中, 这种能量转化的多尺度参与原则依然成立; 在弱辐散相当正压的大气中, 能量转化还服从双向原则: 中间尺度系统能量的减少(增加)必有较小尺度和较大尺度系统能量的同时增加(减少)来补偿, 其量值满足下述关系:

$$dE_i/dE_r \approx \frac{L_m^2/L_i^2 - 1}{1 - L_m^2/L_i^2} \quad (15)$$

式中 L 表示波长。

图 6 示出 1980 年 7 月 7—15 日 300hPa 图上 9360gpm 等高线(位于 50°N 附近)的逐日变化。在此期间, 从欧洲沿斜压带东传的天气系统具有一个共同特征: 它们的水平尺度均显著减小。在此期间向东传播的三个天气尺度槽在靠近贝加尔湖时尺度都大致减半, 出现了向较小尺度转化能量的串级现象。根据上述能量双向转化原则, 将会有更多的能量向更大尺度的系统转化。从图 3 和图 6 可以看出, 在 9 日以前, 东北亚只有一个弱脊存在。随着天气尺度系统一次次自欧洲向该高压脊移动, 从 10 日起, 该脊逐渐加强, 尺度加大。最后在 13 日形成阻塞势态。

时间平均阻高的尺度约为天气系统原来尺度的一倍。根据式(15), 80% 的天气尺度能量将向时间平均阻塞高压系统转化。为检验天气尺度系统和阻塞尺度系统之间的能量转化关系, 我们利用下式

$$\begin{cases} \frac{d\bar{K}}{dt} = -C(\bar{K} \rightarrow K_s) + \text{其它项} \\ \frac{dK_s}{dt} = C(\bar{K} \rightarrow K_s) + \text{其它项} \end{cases} \quad (16)$$

以及

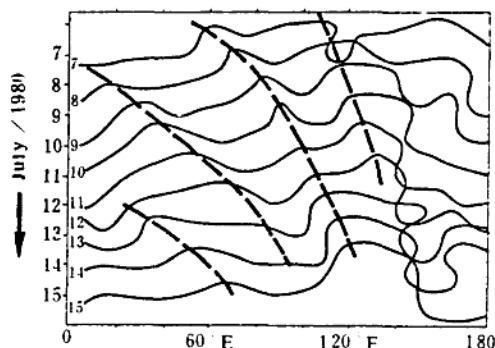


图 6 1980 年 7 月 7—15 日 300hPa 高空沿 50°N 9360gpm 等高线逐日演变图
(粗断线表示脊线)

$$C(\bar{K} \rightarrow K_s) = \frac{\overline{u'v'}}{a} \left[\cos\varphi \frac{\partial}{\partial\varphi} \left(\frac{\bar{u}}{\cos\varphi} + \frac{1}{\cos\varphi} \frac{\partial\bar{v}}{\partial\lambda} \right) - \frac{1}{a} [(\overline{v'})^2 - (\overline{u'})^2] \left[\frac{1}{\cos\varphi} \frac{\partial\bar{u}}{\partial\lambda} - \tan\varphi \cdot \bar{v} \right] \right] \quad (17)$$

去计算时间平均动能 $\bar{K}$ 向天气扰动动能的转化 $C(\bar{K} \rightarrow K_s)$ 的空间分布, 结果如图 7 所示。沿着急流分流区及阻高主体部分, 均有天气系统的时变动能向阻塞系统的平均动能转化。这与式(15)及图 6 中所示的结果是一致的。其实从 300hPa 逐日形势图(图 3)可见, 导式槽主要出现在北欧及西西伯利亚高纬地区, 在西风分流区附近及环绕阻高北部边缘, 天气系统多呈“香蕉型”结构。根据曾庆存的理论^[15], 这种电式结构的系统的能量将为平均流所吸收。这与上述能量转化的计算结果是一致的。

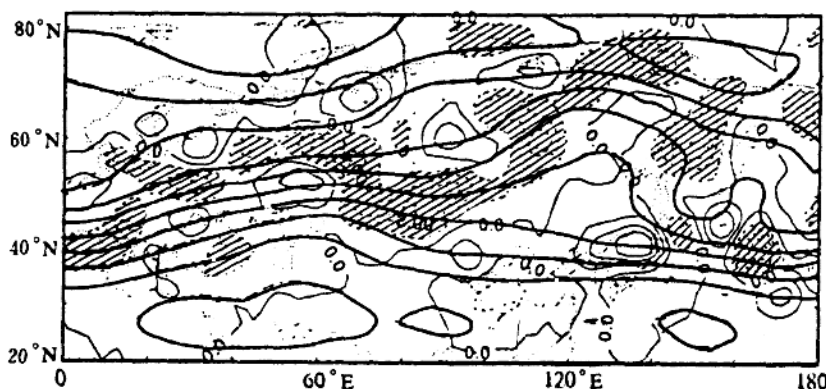


图 7 1980 年 7 月 7—15 日 300hPa 高空时间平均动能 $\bar{K}$ 向时变动能 K_s 转化 $C(\bar{K} \rightarrow K_s)$ 的空间分布

(实线和虚线分别表示正、负值区, 等值线间隔为 $1 \times 10^{-4} \text{m}^2 \text{s}^{-3}$, 粗实线为等高线。

斜线区表示小于 $(-1 \times 10^{-4} \text{m}^2 \text{s}^{-3})$ 的区域)

6 时变位涡输送和急流维持及阻高形成

利用个别微商的定义, 在不考虑源汇时, 时间平均位涡方程^[7]可写成

$$\begin{cases} \frac{d\bar{q}}{dt} = -D \\ D = \nabla \cdot \bar{\vec{v}'} \vec{q}' \end{cases} \quad (18)$$

式(18)表示, 当质块流经扰动位涡通量的辐散(合)区时, 将有反气旋性(气旋性)位涡增长。根据逐日资料计得的 D 分布如图 8a 所示。从图中可以看出:

(1) 在位于欧洲的强拟能中心以东, 在强斜压带及西风分流区的中轴线及以南 D 为正, 以北 D 为负。因此, 质块在中轴线以南将取得负位涡, 在中轴线以北将取得正位涡。涡动强迫的作用使时间平均西风急流得以维持和加强。

(2) 在阻高脊线上及其西侧 $D > 0$ 。质块流经阻高西部及脊线时, 均得到反气旋性位

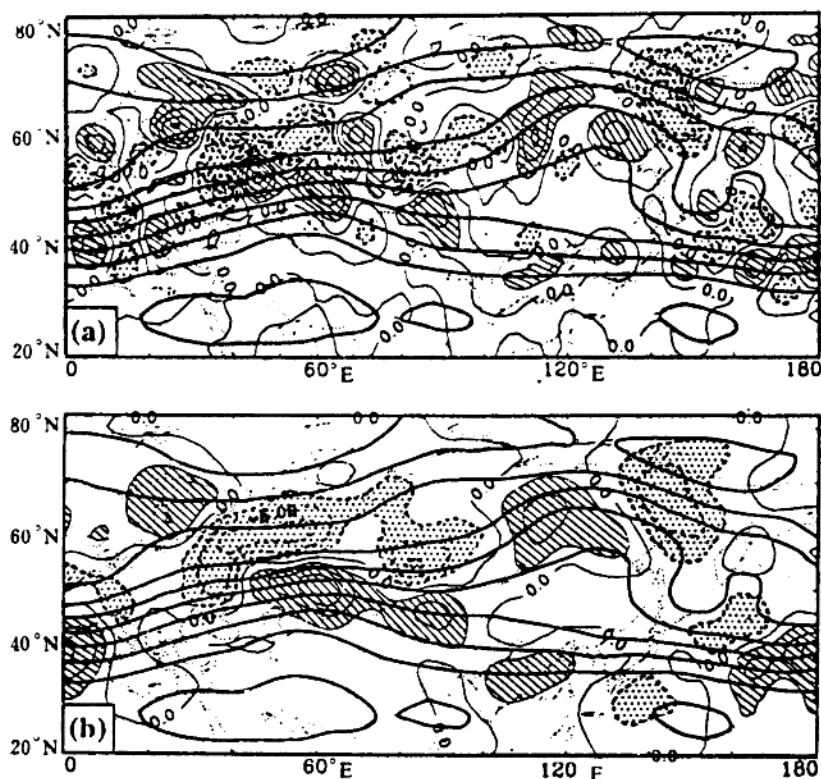


图 8 (a)1980 年 7 月 7—15 日 300hPa 时变涡动位涡通量的平均散度 D 的空间分布

(等值线间隔为 $3 \times 10^{-11} \text{s}^{-2}$, 斜线区表示大于 $3 \times 10^{-11} \text{s}^{-2}$ 的区域, 点区表示小于 $(-3 \times 10^{-11} \text{s}^{-2})$ 的区域, 粗实线为等高线);

(b) 由图 (8a) 计得的时均流函数的局地变化 $(\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t})$ 的空间分布

(等值线间隔为 $3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$, 斜线区为大于 $3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ 区域, 点区为小于 $(-3 \text{m}^2 \text{s}^{-2})$ 区域, 粗实线为等高线)

涡, 从而利于阻高发展。这与 Pierihumbert 等 (1984)^[16] 所证明的强斜压带下游的输送过程利于阻高发展的结论一致。值得注意的是在脊线附近 D 的强度达 $0.8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}/\text{d}$, 比著名的 1976 年欧洲阻高过程的最大 D 中心 ($0.5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}/\text{d}$)^[9] 还强 60%。设阻高的位涡可强达 $-2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 则时变涡动位涡输送过程的强迫作用在 3 至 4d 中即可使阻高形成。

式 (18) 还可写成

$$\frac{d}{dt}(\nabla^2 - \gamma^2)\bar{\psi} = -D \quad (19)$$

于是有

$$\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t} = (\nabla^2 - \gamma^2)^{-1}(-D) + \text{其它项} \quad (20)$$

对图 8a 给出的 D 场进行 Helmholtz 求逆,便可得到 $\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial x}$ 的分布,结果如图 8b 所示。在欧洲拟能源区以东,涡动输送造成的正变高强迫区出现在急流轴及以南地区,并在分流区分别向东北、东南方向伸展。负变高强迫区主要位于急流轴北侧。于是急流南侧高度增加,北侧高度下降,使沿急流带的南北位势梯度得以维持。在阻塞形势北面,扰动强迫使位势高度在脊线附近增加,在其上、下游下降。按图中 $\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial x}$ 的分布 ($-10, +8$ 和 $-8 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$),则该脊在 8d 中可升高 70 至 80gpm,其上、下游的高度可下降 100 及 80gpm。这些数值与阻塞形势在发展中的变化(参见图 3)颇接近。

本节分析从而证明时变涡动位势输送在本例中起着维持平均急流强度及促使阻高发生发展的作用。

7 讨论及结论

本文通过动力诊断证明,1980 年夏季阻高之所以能在东北亚发展、维持,很大的原因在于中纬度地区从欧洲至西亚不断有天气尺度系统发生、发展并东移。这种天气尺度的系统在沿分流区东移中,一方面自身尺度不断减小,出现向小尺度的能量串级;另一方面有更多的能量向大尺度的阻塞系统转化,遵循所谓“双向能量转化”法则。因此,源于欧洲强斜压区的天气系统在东移中起着维持中纬度西风带及东北亚阻高的作用。对时间平均位涡的分析也表明,时变涡动起着维持中亚急流的切变涡度和加强阻高的反气旋涡度的作用。它们在东移中使急流轴两侧的位势高度差得以维持,同时也使阻高的位势高度不断增高。本工作于是表明,时变天气涡动在东北亚阻高发展过程中的动力作用与典型的大西洋阻高维持的机制十分相似。不同的是,在大西洋阻高维持中,时变天气涡动的强迫源位于阻高上游;而在东北亚阻高的发展中,这种强迫源更靠近脊线。

为什么会出现能量串级?有些学者用波动沿分流变形场传播时,南北向尺度加大,从而东西向尺度减少加以解释^[12]。本例则不同,前期的分流气流较弱。而且天气波动东移时,其南北尺度和东西尺度均同时减少,为典型的能量串级现象(总波数增加)。利于加速天气系统能量向平均流转化^[15]。那么,天气尺度系统在东移中尺度为什么会变小呢?朱抱真^[17]曾用斜压不稳定理论证明,在大地形北侧,最不稳定波的波长会变短。本例中的能量串级的确发生在贝加尔湖以西、伊朗高原和青藏高原的北侧。看来,大地形北侧的强迫作用可能与天气波出现串级现象有关。这似乎也可解释夏季东北亚地区阻高频发的现象。这种理解还必须进一步用数值模拟验证。

在本研究中,我们还曾分别用斜压位涡及无辐散正压位涡(绝对涡度)去代替式(1)中的位涡定义,然后进行相同的计算。其结果与本文得到的一致。它似乎表明,斜压过程和辐散作用是次要的。不过,这与我们的分析集中在相当正压层有关。在其它层次上,能量双向转换原则不成立^[18],上述一致性是否还能存在?涡动的感热输送和位涡输送的相对贡献如何?这些均有待进一步研究。

可以肯定的一点是,在夏季东北亚阻高的形成过程中,天气尺度涡动的强迫作用是至关重要的。还由于东北亚阻高的维持与中国北方高空脊的持续维持密切相关,因此在北方干旱的预报中必须注意欧洲及西亚地区天气形势的演变。在今后的工作中,我们还应当进

一步研究欧洲稳定的斜压带的形成原因, 以期提高我们对短期灾害气候的预测水平。

致谢: 本工作在研究过程中曾蒙叶笃正先生和陶诗言先生指导。曾庆存先生阅读了初稿并给出指导性意见。在此一并予以感谢。

参考文献

- [1] 焦佩金, 王永祥. 东北江南气温高, 黄淮江淮暴雨多. 气象, 1980(9): 37—39.
- [2] 陈德霖, 徐夏因. 北旱南涝. 气象, 1980(10): 36—38.
- [3] 董立清, 徐夏因. 南方持续洪涝, 北方依然干旱. 气象, 1980(11): 37—39.
- [4] 吴国雄, 邹晓雷. 国外持续异常天气动力研究的进展. «旱涝气候研究进展», 1990, 71—77.
- [5] Berggren R. Bolin B and Rossby C G. An aerological study of local motion, its perturbations and break down. Tellus 1949(1): 14—37.
- [6] 顾震潮, 程章, 巢纪平. 准地转三层模式天气数值预报方法的试验研究. 气象学报, 1957, 28: 141—156.
- [7] 叶笃正, 陶诗言, 朱抱真, 杨鉴初, 陈隆勋. 北半球冬季阻塞形势的研究. 科学出版社, 1962.
- [8] Namias J. Seasonal persistence and recurrence of European blocking during 1958—1960. Tellus, 1964, 16: 394—407.
- [9] Green J S A. The weather during July 1976: Some dynamical consideration of the drought. Weather, 1977, 32: 120—126.
- [10] Austin J F. The blocking of middle latitude westerly winds by planetary waves. Quart J Roy Meteor Soc, 1980, 106: 327—350.
- [11] Illari L. Diagnostic study of the potential vorticity in a warm blocking anticyclone. J Atmos Sci 1984, 41: 3518—3526.
- [12] Shutts G J. The propagation of eddies in diffluent jet streams: eddy vorticity of blocking flow fields. Quart J Roy Meteor Soc 1983, 109: 737—762.
- [13] Blackmon M L. A climatological spectral study of the 500mb geopotential height of the Northern Hemisphere. J Atmos Sci, 1976, 33: 1607—1623.
- [14] Fjortoft R. On the changes in the spectral distribution of kinetic energy for two-dimensional, non-divergent flow. Tellus, 1953, 5: 225—230.
- [15] Zeng, Qingcun (曾庆存). The evolution of a Rossby-wave packet in a three-dimensional baroclinic atmosphere. J Atmos Sci, 1983, 40: 73—84.
- [16] Pierrehumbert R T. Local and global baroclinic instability of zonally varying flow. J Atmos Sci, 1984, 41(14): 2141—2162.
- [17] Zhu, Baozhen (朱抱真). Regional circulation anomaly characteristics over Eastern Asia in relation to the boundary forcing. «The Climate of China and Global Climate» Edited by Ye Duzheng et al. China Ocean Press, Springer-Verlag, 1987, 259—269.
- [18] 吴国雄. 大气中能量的双向和单向转换. 大气科学, 1994.
- [19] 毕慕莹, 丁一汇. 1980 年夏季华北干旱时期东亚阻塞形势的位涡分析. 应用气象学报, 1993, 3(2): 145—156.

TRANSIENT EDDY TRANSFER AND FORMATION OF BLOCKING HIGH — ON THE PERSISTENTLY ABNORMAL WEATHER IN THE SUMMER OF 1980

Wu Guoxiong Liu Hui Chen Fei Zhao Yucheng

(LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

Lu Ying

(Meteorological Administration of Henan Province, Zhengzhou, 450003)

Abstract

In the summer of 1980, serious persistently abnormal weather occurred over vast areas in China. The long-lasting of such disastrous weather is mainly due to the stable development and maintenance of blocking anticyclone over the northeastern Asia. This study aims at the understanding of the roles of transient eddy transfer in the formation of the blocking.

It was shown that during this period, there appeared continuous generation of synoptic-scale perturbations along the strong baroclinic zone over Europe and western Asia. While such perturbations propagated eastward, energy conversion occurred. At equivalent barotropic layer with weak dissipation, such energy conversion subjects to the so-called bidirectional principle: while the energy of the synoptic-scale system is cascaded to smaller scale system, a much larger portion is transferred to the blocking system with larger scale. Potential vorticity diagnoses also reveal that transient weather systems play the roles of maintaining the mean anticyclonic vorticity to the south, and mean cyclonic vorticity to the north, of the westerly jet, and exciting strong anticyclonic vorticity growth and corresponding altitude increase in the high latitude area located downstream of the westerly diffluence region.

The research also shows that, the intensity of the forcing of blocking formation via wave-mean flow interaction in this Asian case is much stronger than that in western Europe occurred in the summer of 1976. It was therefore concluded that when persistently abnormal weather in the northern China is studied, in addition to the subtropical weather systems, attention should also be drawn to the development of baroclinic zone over Europe and western Asia, and the propagation and transfer properties of synoptic systems embedded in the baroclinic zone.

Key words: Transient eddy, Eddy transport, Formation of blocking high, Abnormal weather.

热带对流活动与低频波流相互作用^①

余斌 黄荣辉

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029)

提 要

利用 ECMWF 客观分析资料, 使用 Butterworth 带通滤波技术, 应用诊断分析的方法研究了 1983/1984 和 1986/1987 两年冬季中纬度地区低频波流间的相互作用特征, 强调了热带地区对流活动的差异对于这种相互作用的重要影响。

关键词 热带对流 低频扰动 波流相互作用

1 引 言

大量研究已指出, 热带对流的变化可以引起全球大气环流遥相关型的差异^[1]; 同时, 热带对流的变化还可造成季内热带内外地区的相互作用特征之不同^[2,3]。因此, 讨论热带对流变化及其对大气环流的强迫影响已成为研究全球大气环流变化的一个重要的着眼点。

有关大气低频振荡 (LFO) 研究显示, LFO 在全球大气中存在, 且在整个大气中占相当大的比重^[4]。因此, 了解低频波能的分布特征, 以及波能的聚集特点是重要的。研究已指出, 中纬度低频波能极值区的出现与低频波流作用间存在一定的关系^[5]。进一步的问题是, 这种低频波流间相互作用的年际变化怎样? 它是否也与热带对流的差异有关? 如果这种关系存在, 其影响主要反映在低频波流作用的强度还是作用特征上? 这些都是尚待研究的问题。

2 资料及方法

1983/1984 年冬季是继 1982/1983 年强 El Nino 循环之后的恢复阶段; 而 1986/1987 年冬季则处于另一次 El Nino 循环的发生期。分析向外长波辐射 (OLR) 资料以及东太平洋 Nino3 区 SST 的变化, 我们已指出^[6], 1983/1984 和 1986/1987 是对流变化极具差异的两个冬季年份, 在热带地区, 后者的对流活动明显较前者活跃, 特别是在隆冬季节。因此, 本文利用上述两年冬季的 ECMWF 客观分析资料, 选取的资料时段为当年 10 月至次年 3 月, 范围为 60°N—30°S 的球带, 网格距为 5°×5°, 使用 Butterworth 带通滤波技术^[7], 应用诊断分析的方法来研究上节提出的问题。

① 1994-09-21 收到初稿, 1995-01-25 收到修改稿。

3 东亚西风急流及低频波能演变特征

分析 1983/1984 和 1986/1987 两年冬季北半球西风急流以及 30—60 天低频扰动动能 (*LKE*) 演变得到, 强 *LKE* 中心几乎总是出现在强西风急流中心的下游^[6], 这与李崇银、何金海^[4,5]等已有的研究结果是一致的。进一步, 在文献 [6] 中, 我们已从上述两年冬季资料中选出了在隆冬季节里, 东亚西风急流及其下游 *LKE* 变化最显著的 1984 年 1 月下旬和 1987 年 1 月下旬两个时段, 并指出, 对应于前/后者东亚相对弱/强的西风急流极大值, 其下游有相对弱/强的 *LKE* 极大值中心出现。同时, 我们还注意到有趣的是, 在两年冬季里, 强 *LKE* 的出现均滞后于强西风急流的出现约 5—6 天。

上述个例时段的结果指出, 东亚急流强度及其下游的低频扰动动能 *LKE* 间存在时间上的滞后关系。这种时间上的联系无疑是很有意义的。那么这种关系是否在统计意义上也明确存在? 为此, 我们计算了这两年冬季东亚急流下游最强 *LKE* 中心值与东亚西风急流间的滞后相关, 图 1 是相关结果。

由图非常明显, 在 1986/1987 年冬季低频扰动动能的出现落后于急流 5—6 天。在 1983/1984 年冬季, 上述关系也存在, 只不过相关系数比 1986/1987 年的小。这可能是由于计算中将该年份西风急流中心取在 150°E (类似 1986/1987 年份) 所致, 而这一年份东亚西风急流是东移的。

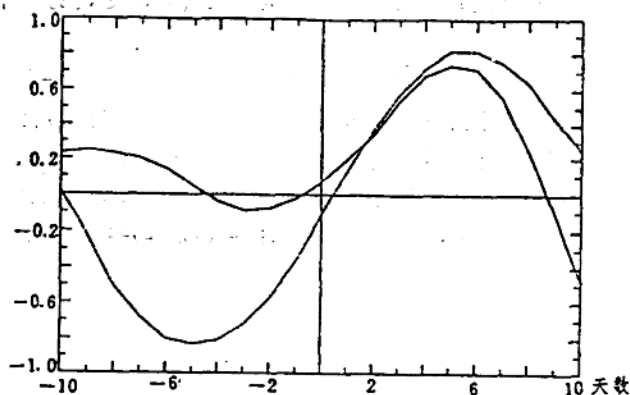


图 1 200hPa 中纬度区域 (30—35°N, 140—160°W) 平均 *LKE* 极值与东亚 (30°N, 145—155°E)

急流中心值间的滞后相关 图中实线和虚线分别对应于 1983/1984 和 1986/1987 年冬季的结果。

Fig. 1 Lagging correlation between *LKE* maxima averaged in the mid-latitude region of 30—35°N and 140—160°W at 200 hPa and central values of the easterly jet. The solid (broken) line corresponds to the result of the winter in 1983/1984 (1986/1987).

4 低频波能与纬向非对称基流正压不稳定

Simmons 等^[8]以及 Hoskins 等^[9]的研究已指出, 北半球冬季大气环流的大部分低频变化是与取自正压不稳定基态的能量的扰动相联系。因此, 讨论低频波能与纬向基流正压