

一次偶极型阻塞的研究

周学龙

(南京气象学院)

章基嘉 孙照渤

(国家气象局) (南京气象学院)

摘要 从准地转理论出发,对一次偶极型乌拉尔阻塞的维持阶段作了动力学诊断,得到了一些初步结果。

关键词 阻塞,位涡,动力学诊断

近年来,由于世界许多地区发生了大范围的干旱、洪涝、严寒和酷暑等异常天气,所以,人们越来越重视短期气候的研究。阻塞形势的持久维持是异常天气的成因之一,70年代后期,随着非线性动力学和瞬变波动力学的发展,对阻塞形势的理论研究有了重大突破。但在观察事实分析方面,人们对阻塞形势仍然缺乏足够的认识。

乌拉尔阻塞与我国天气密切相关,对它作些研究有着实际意义。章基嘉等^[1]对由几次阻塞过程组成的月平均阻塞作了分析。本文直接对一次偶极型乌拉尔阻塞的维持阶段作动力学诊断,得到一些初步结果,可供进一步研究参考。

1 诊断方程和资料处理

本文所采用的诊断方程、资料及其处理方法与文献[2]相同。为避免过多地重复,在此仅列出诊断方程。

准地转位涡方程为

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \vec{V}_g \cdot \nabla\right)q = S \quad (1)$$

其中

$$q = \zeta_g + f - f_0 \frac{\partial}{\partial p} (\delta T / S_0)$$

将物理量分解成时间平均和瞬变两部分易得

$$\overline{\vec{V}_g} \cdot \nabla \bar{q} + \nabla \cdot \overline{\vec{V}_g' q'} = \overline{S'} \quad (2)$$

$$\overline{\vec{V}_g} \cdot \nabla \overline{q'^2/2} + \overline{\vec{V}_g' q'} \cdot \nabla \bar{q} + \overline{\vec{V}_g' q'} \cdot \nabla q' = \overline{S' q'} \quad (3)$$

若平均位势和平均流函数之间有某种函数关系,即当

$$\bar{q} = \bar{q}(\bar{\psi}) \quad (4)$$

成立时,可将旋转通量 $(\vec{V}_g' q')_R$ 定义为

$$(\vec{V}_g' q')_R \triangleq \frac{1}{2} \vec{K} \times \nabla (q'^2 d\bar{\psi}/d\bar{q}) \quad (5)$$

而剩余通量 $(\vec{V}_g' q')_s$ 为

$$(\vec{V}_g' q')_s \triangleq \overline{(\vec{V}_g' q')} - (\vec{V}_g' q')_R \quad (6)$$

显然

$$\overline{\vec{V}_g' q'} = \overline{(\vec{V}_g' q')_R} + \overline{(\vec{V}_g' q')_s} \quad (7)$$

由此易得

$$\nabla \cdot \overline{(\vec{V}_g' q')_s} = \nabla \cdot \overline{(\vec{V}_g' q')} \quad (8)$$

$$\nabla \cdot \overline{(\vec{V}_g' q')_R} = 0 \quad (9)$$

$$\overline{(\vec{V}_g' q')_R} \cdot \nabla \bar{q} + \overline{\vec{V}_g} \cdot \nabla \overline{q'^2/2} = 0 \quad (10)$$

$$\overline{(\vec{V}_g' q')_s} \cdot \nabla \bar{q} + \overline{(\vec{V}_g' q')_s} \cdot \nabla q' = \overline{S' q'} \quad (11)$$

上述所用符号与文献[2]相同,不再赘述。

2 阻塞期间的天气形势

1984年3月2日20时(北京时),50°N以南45—70°E区域内为比较宽广的浅槽,在其北部有两个东西向配置的高、低中心:高中心在西,低中心在东。在此槽的上、下游各有一个弱脊。3日08时,槽中的两个小系统都有所发展,但位置无多大变化。20时在30—55°E,40—60°N范围内已形成一个较典型的Ω型阻塞,但位置偏西。随后该高值中心向东北移动,而原来的低中心向西南移动。到4日20时在乌拉尔山附近已形成偶极型阻塞。自此该阻塞一直比较稳定地维持着,直到3月10日以后西退为止。4至7日,阻塞偶极子象哑铃一样绕着重心在水平面内缓慢地作顺时针旋转,7至10日作逆时针旋转。11日起阻塞高压迅速西退并入上游的大西洋阻塞高压中。

根据文献[2]中的阻塞定义,得出这次阻塞的维持阶段为:1984年3月4日至3月10日,共7天。

阻塞维持期间500hPa平均位势高度场在乌拉尔山附近呈典型的阻塞偶极子结构,平均温度场也有相应的暖、冷偶极型分布,并且暖(冷)中心与高(低)中心同位相。300hPa平均高度场与500hPa相似且同相,但平均温度场表现为一弱脊。这种温压场平均分布说明该偶极型阻塞维持期间具有相当正压结构。

3 对偶极型阻塞个例的诊断分析

首先计算了平均位涡及其各部分。如图 1a 所示,平均相对涡度 $\bar{\zeta}$ 在乌拉尔北侧为负涡度,南侧为正涡度。基本反映了阻塞的平均状况。位涡 q 的第三部分均值即 $-f_0 \frac{\partial}{\partial p} (\overline{\delta T/S_0})$ 在阻塞高压内为负值,在低涡内为正值,也能反映出偶极型结构(图 1b)。 $\bar{\zeta}$ 和 $-f_0 \frac{\partial}{\partial p} (\overline{\delta T/S_0})$ 的一致性分布,使得平均位涡 \bar{q} (参见图 4b)更能清楚地反映出这种偶极型结构。

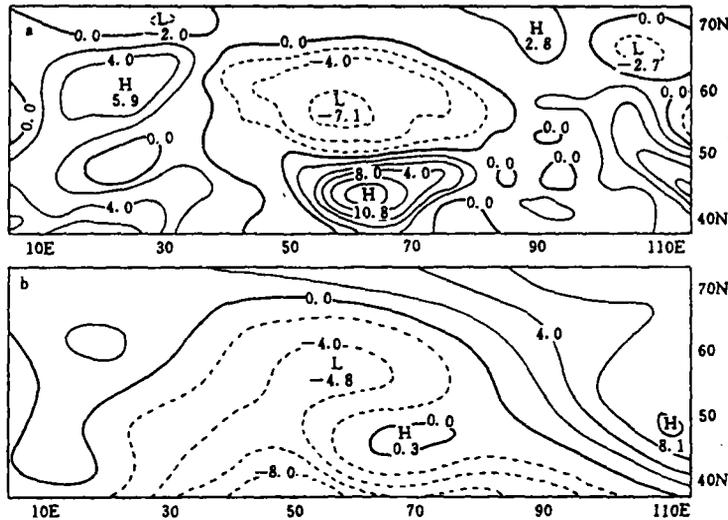


图 1 · 阻塞维持期间 $\bar{\zeta}$ (a) 和 $-f_0 \frac{d}{dp} (\overline{\delta T/S_0})$ (b) 的分布 (300hPa, C, I; $2 \times 10^{-3} s^{-1}$)

3.1 平均位涡方程和涡动位涡拟能方程中各项的分布

如图 2 所示,在阻塞高压的西半部, $\overline{V_e \cdot \nabla \bar{q}}$ 为负值(正平均位涡平流),在阻塞高压的东半部主要为正值。就低涡而言,其西北侧 $\overline{V_e \cdot \nabla \bar{q}}$ 为正值,东南侧为负值。因此,平均位涡平流具有使阻塞偶极子往下游移动的作用,并且使得阻塞偶极子高、低中心的经向距离变大,所以平均位涡平流不利于阻塞持续维持。

瞬变位涡的涡动通量散度 $\nabla \cdot \overline{V_e' q'}$ (图 2b) 在阻塞上游的分布基本与 $\overline{V_e \cdot \nabla \bar{q}}$ 相反,且量值大于后者。在阻塞区及其下游,它与 $\overline{V_e \cdot \nabla \bar{q}}$ 或同号或反号,且量值小于后者。总的说来,两者不能较好地平衡,余项 \bar{S} (图略) 较大,所以外强迫的贡献较大,对乌拉尔这一特定区域而言,地形效应可能是重要的因子。

由于本个例的实际平均流场与 Shutts⁽³⁾ 理论及数值分析中所采用的理想型分支流场差别较大,因此在流场分支处并没有完好的辐散—辐合偶极型瞬变涡动强迫。尽管如此, $\nabla \cdot \overline{V_e' q'}$ 在 17.5—35°E, 45—65°N 之间的分布仍有点象偶极型涡动强迫。

如图 3 所示, $\overline{V_e \cdot \nabla q'^2/2}$ 高值区主要分布在阻塞外围,这对应于这样一个天气现象:上游扰动因受稳定阻塞的阻挡而沿阻塞外缘绕过阻塞往下游移动。 $\overline{V_e' q' \cdot \nabla \bar{q}}$ 的分布总体上倾向于与 $\overline{V_e \cdot \nabla q'^2/2}$ 相抵消,只是数值上稍有差异。

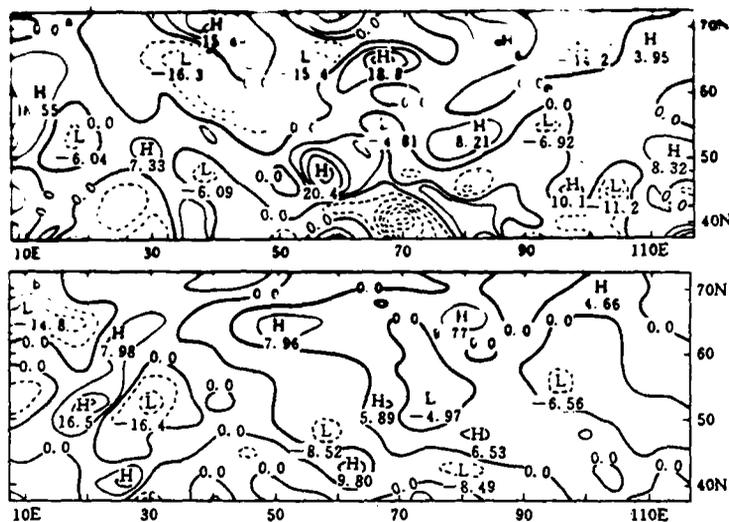


图 2 阻塞维持阶段 $\overline{V_s' \cdot \nabla \bar{q}}$ (a) 和 $\nabla \cdot \overline{V_s' q'}$ (b) 的分布 (300hPa, C, I: $5 \times 10^{-10} s^{-2}$)

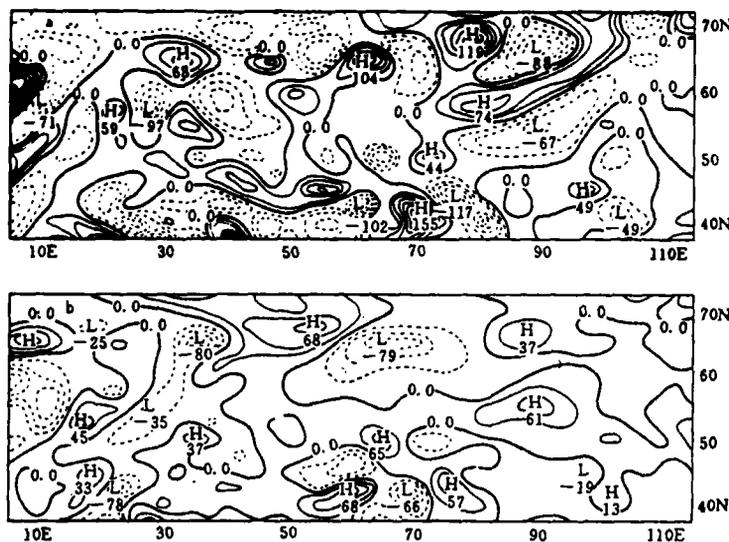


图 3 阻塞维持期间 $\overline{V_s' \cdot \nabla \bar{q}^2}/2$ (a) 和 $\overline{V_s' q'} \cdot \nabla \bar{q}$ (b) 的分布 (300hPa, C, I: $20 \times 10^{-15} S^{-3}$)

三阶矩 $\overline{V_s' q'} \cdot \nabla \bar{q}$ 在欧洲槽所在位置较大,这是因为在阻塞维持期间,上游欧洲槽的变化较剧,其中不断有小扰动生成并往下游移动。而在 30°E 以东,三阶矩则相当小,因而 $\overline{S' q'}$ 主要由 $\overline{V_s' \cdot \nabla \bar{q}^2}/2$ 与 $\overline{V_s' q'} \cdot \nabla \bar{q}$ 之和决定。由于 $\overline{V_s' \cdot \nabla \bar{q}^2}/2$ 一般较 $\overline{V_s' q'} \cdot \nabla \bar{q}$ 强,所以涡动位涡拟能源汇分布仍较明显(图略)。

在低涡周围, $\overline{V_s' \cdot \nabla \bar{q}^2}/2$ 和 $\overline{V_s' q'} \cdot \nabla \bar{q}$ 正负相间呈环形分布,并且在此范围内,两者具有严格的相反性。它们正负中心的连线几乎与低涡外围等平均位涡线相重合,而在低涡中心区

域,它们的值都相当小。图 2 中亦有类似现象,但不甚明显。这种特殊分布的成因尚不清楚。

3.2 瞬变位涡涡动通量的有关讨论

由瞬变位涡的涡动通量 $\overline{V_e'q'}$ 的分布(图略)可以看出, $\overline{V_e'q'}$ 具有明显的顺、逆平均位涡 \bar{q} 梯度分量;同时 $\overline{V_e'q'}$ 围绕高位涡方差 $\overline{q'^2}$ 中心作逆时针旋转,绕低位涡方差中心作顺时针旋转。

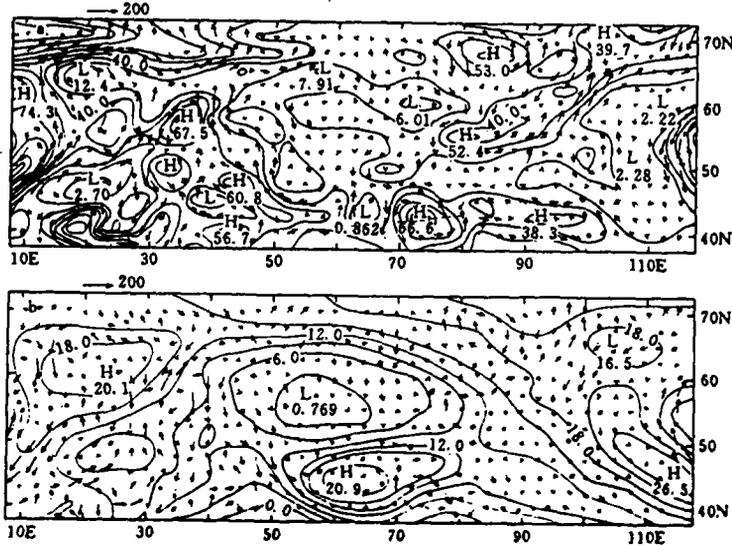


图 4 阻塞维持期间 300hPa $\overline{(V_e'q')_R}$ (a) 和 $\overline{(V_e'q')_G}$ (b) 的分布
(单位: 10^{-5}ms^{-2} , a, b 图中等值线分别为 $\overline{q'^2}$ 和 \bar{q})

以平均位涡 \bar{q} 为横坐标,以平均流函数 $\bar{\psi}$ 为纵坐标,点绘阻塞维持期间 $\bar{q}-\bar{\psi}$ 关系图,可以发现,在 500hPa 和 300hPa 上 \bar{q} 和 $\bar{\psi}$ 之间有准线性函数关系。因此,可以按(5)–(7)式分解 $\overline{V_e'q'}$ 。旋转部分 $\overline{(V_e'q')_R}$ 的分布与 $\overline{V_e'q'}$ 极为相似,进一步说明 $\overline{V_e'q'}$ 具有较强的旋转特性。而剩余部分 $\overline{(V_e'q')_G}$,则以顺、逆平均位涡梯度分量为(图 4)。

$\overline{(V_e'q')_R} \cdot \nabla \bar{q}$ 的分布与 $\overline{V_e} \cdot \nabla \overline{q'^2}/2$ 相反,且基本满足关系式(10);而 $\overline{(V_e'q')_G} \cdot \nabla \bar{q}$ 则反映了源汇 $\overline{S'q'}$ 的分布(图略)。

500hPa 的分析结果与 300hPa 类似,不再重复。

4 讨论

4.1 关于地形效应的讨论

Illari 等^(4,5)用类似方法分析了持续一个多月的阻塞后指出 $\overline{V_e} \cdot \nabla \bar{q}$ 和 $\nabla \cdot \overline{V_e'q'}$ 以及 $\overline{(V_e'q')_R} \cdot \nabla \bar{q}$ 与 $\overline{V_e} \cdot \nabla \overline{q'^2}/2$ 能较好平衡,余项 \overline{S} 和 $\overline{S'q'}$ 都较小。但据我们的分析结果,余项 \overline{S} 和 $\overline{S'q'}$ 都较大。本文阻塞个例维持时间为一周左右,与一个月相比要短得多,这可能是大余项的成因之一。

\bar{S} 和 $\overline{S'q'}$ 是外强迫作用的反映,对具有复杂地形的乌拉尔地区来说,地形效应值得重视。但文中 \bar{S} 和 $\overline{S'q'}$ 是作为余项推算出来的,所以无法确定地形作用究竟有多大,值得进一步研究。

4.2 关于偶极型阻塞中低涡的讨论

如前述 $\overline{V_s \cdot \nabla q'^2/2}$ 、 $\overline{V_s'q' \cdot \nabla \bar{q}}$ 等项具有沿低涡外围正负相间呈环形分布的特殊现象。这是否是偶然的?我们对北太平洋地区的一次偶极型阻塞(1980年12月5日至11日)作了分析,发现了类似结果。但这些正负区通常只有资料网格尺度的3倍左右,为进一步证实这种分布,有必要采用高分辨资料加以分析。同时为了合理解释这一现象,相应的理论探讨也是必要的。

这种特殊分布提醒我们研究偶极型阻塞时必须对低涡予以足够的重视。在偶极型阻塞中,低涡和高压密切相关,两者具有同等的重要性。通过对低涡的系统结构和动力性质的研究有助于加深对偶极型阻塞形成、维持和崩溃机制的认识。

5 结 论

a. 偶极型阻塞维持期间具有较强的相当正压性。

b. $\bar{\xi}$ 和 $-f_0 \frac{\partial}{\partial p} (\overline{\delta T/S_0})$ 的一致性偶极型分布使平均位涡 \bar{q} 能清楚地反映阻塞的平均状况。

c. 在阻塞上游,17.5—35°E,45—60°N 之间, $\nabla \cdot \overline{V_s'q'}$ 的分布似为偶极型涡动强迫。

d. 平均位涡平流倾向于使阻塞往下游移动,且使阻塞偶极子高、低中心经向距离变大。余项 \bar{S} 较大。

e. 三阶矩在 30°E 以东相当小; $\overline{V_s \cdot \nabla q'^2/2}$ 和 $\overline{V_s'q' \cdot \nabla \bar{q}}$ 贡献相反;余项 $\overline{S'q'}$ 也较大。

f. 阻塞维持期间,平均位涡和平均流函数之间有良好的线性关系。

g. 低涡周围, $\overline{V_s \cdot \nabla q'^2/2}$ 、 $\overline{V_s'q' \cdot \nabla \bar{q}}$ 等项正负相同呈环形分布,揭示出偶极型阻塞的一种特性。

至此,文献[2]和本文分析了两例有代表性的乌拉尔阻塞:一为 Ω 型,另一为偶极型。阻塞主体相对于乌拉尔山的位置的差异以及温压场配置等结构上的差异,势必导致它们的动力特性有些差别,尽管如此,它们仍有许多相似之处:

(1) 平均位涡平流不利于阻塞的持久维持;瞬变涡动强迫 $\nabla \cdot \overline{V_s'q'}$ 与阻塞之间有 $\pi/2$ 左右的位相差。在 Ω 型个例中,辐散区位于阻塞西半部,辐合区位于东半部,在偶极型个例中,阻塞上游气流分支点两侧似有一对偶极型强迫。这支持 Shutts⁽³⁾、Illari⁽⁵⁾、Austin⁽⁶⁾ 等人关于涡动强迫源位于阻塞上游 $\pi/2$ 位相处的观点。

(2) $\overline{V_s'q' \cdot \nabla \bar{q}}$ 与 $\overline{V_s \cdot \nabla q'^2/2}$ 的分布基本相反,它们具有相反的贡献。

(3) 余项 \bar{S} 和 $\overline{S'q'}$ 都较大,说明在乌拉尔阻塞维持期间外强迫(可能主要是地形强迫)的作用是很重要的。

(4) 无论是 Ω 型还是偶极型阻塞都有良好的线性关系 $\bar{q} - \bar{\psi}$, 因此可以将 $\overline{V_s'q'}$ 按(5)—(7)式进行分解,进而根据(8)—(11)式讨论问题。

阻塞形势是大气中一类复杂的天气过程,也是中期数值预报的难题之一。为了能深刻了解

它的演变规律,仍需做大量的工作。

参 考 文 献

- 1 章基嘉,徐 浩. 南京气象学院学报,1991,14(2),135—142
- 2 章基嘉,周学龙,孙照渤. 南京气象学院学报,1991,14(增刊),367—375
- 3 Shutts GJ. *Quart J R Met Soc*,1983,109:737—761
- 4 Illari L,Marshall JC. *J Atmos Sci*,1983,40:2232—2242
- 5 Illari L. *J Atmos Sci*,1984,41:3518—3526
- 6 Austin JF. *Quart J R Met Soc*,1980,106:327—350

A DIAGNOSTIC STUDY OF A DIPOLE BLOCK

Zhou Xuelong

(Nanjing Institute of Meteorology)

Zhang Jijia

(State Meteorological Administration)

Sun Zaobo

(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract Based on the quasi—geostrophic theory,dynamical diagnosis is made on a dipole Ural block during its persisting period and then some conclusions are drawn.

Key words blocking,potential vorticity,dynamical diagnosis