

1980年夏季华北干旱时期东亚阻塞形势的位涡分析

毕慕莹 丁一汇

(中国气象科学研究院)

提 要

本文用准地转位涡对1980年夏季(7月1日—9月10日)华北干旱时期东亚阻塞形势的平均特征及其维持机制进行了诊断分析。发现东亚阻塞高压是一个具有异常低位涡的深厚暖性反气旋系统。它的维持一方面与上游乌拉尔长波槽的涡旋强迫输送有关,另一方面,更为重要的与来自青藏高原上空的低位涡空气输送有关。

准地转位涡的收支计算表明,涡动强迫作用与平均气流的平流作用基本上相平衡,因而涡动对位涡的输送是使阻塞区维持异常低的平均位涡,阻止阻塞高压向下游平流的重要机制。

一、引 言

东亚阻塞形势对我国大范围持续性异常天气有极其重要的影响。过去的研究已经指出,初夏鄂霍茨克海高压的维持往往使我国长江流域梅雨雨带稳定,出现大范围洪涝。夏季贝加尔湖地区阻塞高压的维持往往使华北地区产生持续干旱。因此认识和解释东亚地区阻塞形成和维持的机制问题是十分必要的。近年来国内外在这方面作了大量的工作^[1,2]。1977年Green^[3]在对1976年欧洲干旱的研究中指出,阻塞可能是由于天气尺度系统涡动输送的作用所引起。他指出,当低压移动到分裂急流的北面 and 南面时,在上层会产生异常的涡动强迫作用,把反气旋涡度抽吸到急流之间地区,并在那里向下输送,从而维持了那个地区的阻塞。1983年Shutts^[4]的工作发现阻塞反气旋中的低位涡空气是由一个正在发展的低压前部从副热带向东北输送来的,并注入到阻塞反气旋环流中,从而使阻塞区中低位涡空气得以维持;同时高位涡空气向南延伸并在阻塞反气旋南面切断,形成阻塞偶极子。这个工作进一步肯定了天气尺度涡动输送的作用。

最近,Iliari^[5]进一步指出了涡动输送对维持阻塞区低位涡场的重要性。发现位涡的涡动强迫输送在量值上完全可以与平均气流的平流项相当。上游位涡涡动强迫作用趋向于维持被吹到下游的平均位涡场(\bar{q})的变化。由于涡动强迫场具有南北向辐散辐合偶极分布,即北面产生低 \bar{q} 区,南面产生高 \bar{q} 区,因而天气尺度输送对阻塞高压的维持起相当重

要的作用。

本文对1980年7—9月上旬影响华北干旱的东亚阻塞形势进行了诊断,着重从位涡的变化及其输送以及次网格尺度天气系统的作用方面讨论阻塞的维持。

二、干旱期的大尺度持续性异常环流

1980年7—9月上旬在亚洲贝加尔湖和前苏联远东地区出现了稳定的阻塞高压(参看图1)。西风气流在90°E附近发生明显分支。北支绕过高压脊向东北方向伸长,南支从脊西侧的乌拉尔长波槽经青藏高原北部向东伸展到江淮地区。45°N以北110°—140°E地区平均为一高压脊控制,其南侧为一低压槽控制,是一种典型的阻塞形势。这一持续两个多月的阻塞形势也可以从1980年8月500hPa距平图清楚地反映出来(图1)。7月的情况是类似的(图略)。7—8月前苏联远东地区为强距平区,距平中心强度7月为6~7位势什米,8月为10~11位势什米,而45°N以南则是中心强度为-4~-6位势什米的负距平区。在这种阻塞形势下,受南支气流的影响,我国江淮流域出现持续降雨和洪涝天气,而华北地区处于两支急流之间的弱锋区,多高压活动,出现了建国以来少有的干热天气(图2)。降水负距平在50%左右,直到9月上旬末,由于乌拉尔长波槽更替东移,东亚环流形势调整,阻塞崩溃。

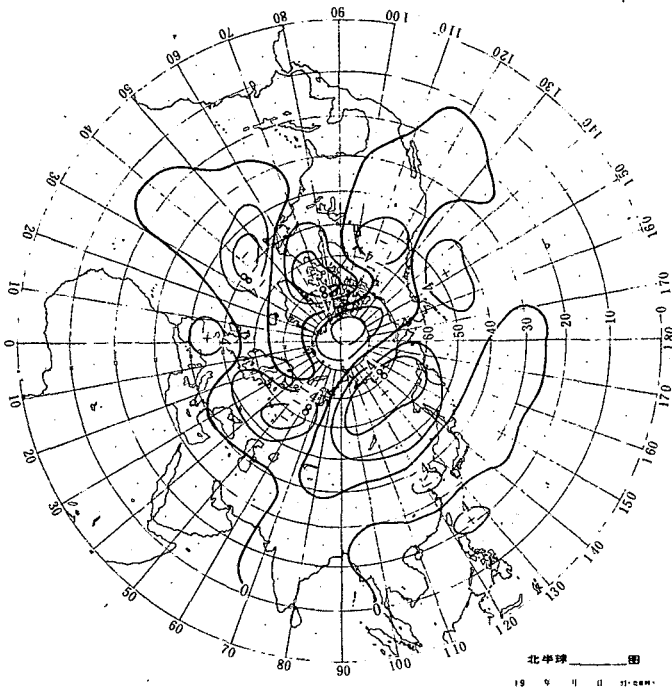


图1 1980年8月500hPa位势高度距平图

(单位:位势什米,粗实线是距平零线,正、负中心分别代表距平正中心和负中心)

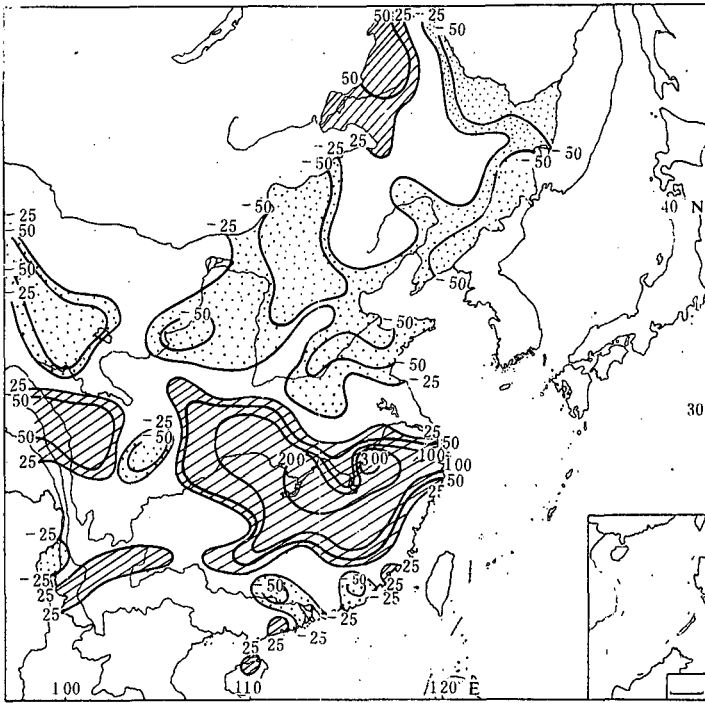


图2 1980年8月我国东部地区降水距平百分率图(单位:%)

三、资料及计算

采用1980年7月1日—9月10日(共72天)欧洲中期天气预报中心7层资料进行了计算,其水平分辨率是 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经度/纬度。所取的范围是 $60^{\circ} - 160^{\circ}E$ 、 $25^{\circ} - 80^{\circ}N$ 的东亚和西太平洋地区。

在等熵坐标系中 Ertel 位涡的表达式为

$$Q = -(\zeta_0 + f) \cdot \frac{1}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial p} \quad (1)$$

在绝热和无摩擦运动中, Q 是个守恒量。因而通过计算等熵面上 Q 的分布可以追踪系统的移动和演变。Shutts 曾用此法计算了1983年2月12—16日北大西洋东部阻塞期间 Q (实际上计算的是 Q_1^*)的分布和演变。为了便于在等压面上进行分析,可以用等压面上的准地转位涡 q 来代替 Q 。在这种情况下, q 具有准守恒性的特性。准地转位涡的表达式为:

$$q = \zeta + f - f_0 \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\delta T}{s(p)} \right) \quad (2)$$

其中

$$s(p) = -T_0(p) \frac{\partial}{\partial p} \ln \theta_0(p) \quad (3)$$

是静力稳定度。它是研究区域范围内基本状态温度廓线; f_0 为这一区域范围内的平均柯氏参数; T_0, θ_0 分别是研究时段内和研究区域内的平均温度和平均位温; δT 为对 T_0 的偏差; ζ 是等压面上的相对涡度; $f = 2\Omega \sin \phi$ 是柯氏地转参数。

在等压面上,如运动是绝热和无摩擦的,则量 q 是守恒的,即

$$\frac{\partial}{\partial t} q + \bar{v} \cdot \nabla q = 0 \tag{4}$$

对方程(4)进行时间平均后可得到

$$\bar{v} \cdot \nabla \bar{q} + \bar{v} \cdot \nabla q' \approx 0 \tag{5}$$

由方程(2)和(3)计算阻塞期 850—300hPa 各层逐日和 72 天平均的准地转位涡(q 和 \bar{q})以及 72 天平均的位势高度、温度和涡度。并由方程(5)计算平均气流引起的位涡输送($\bar{v} \cdot \nabla \bar{q}$)和涡动强迫引起的位涡输送($\bar{v} \cdot \nabla q'$)。

四、阻塞高压的形成和维持过程

1. 平均形势

图 3 是阻塞期间 300hPa 平均相对涡度(ξ)的分布。在 50°—75°N, 90°—150°E 大范围地区为反气旋涡度所控制, $-2.0 \times 10^{-5}/s$ 以上中心区有两个, 一个位于 120°—130°E 附近, 另一个位于 90°—100°E 附近。这是由于 8 月下旬以前阻塞区主要出现在 110°—130°E 附近, 而 8 月 22 日以后阻塞区明显西退到 100°E 附近的缘故。在 120°—130°E 反气旋涡

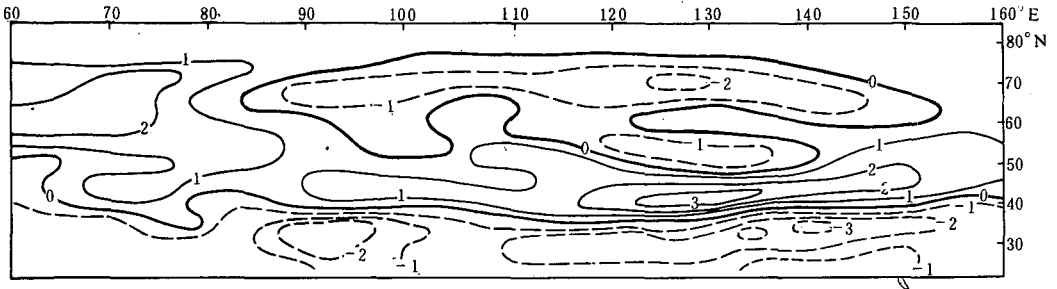


图 3 1980 年 7 月 1 日—9 月 7 日 300hPa 平均相对涡度分布
(单位: $10^{-5}/s$, 粗实线: 涡度零线, 虚线: 负涡度线, 实线: 正涡度线)

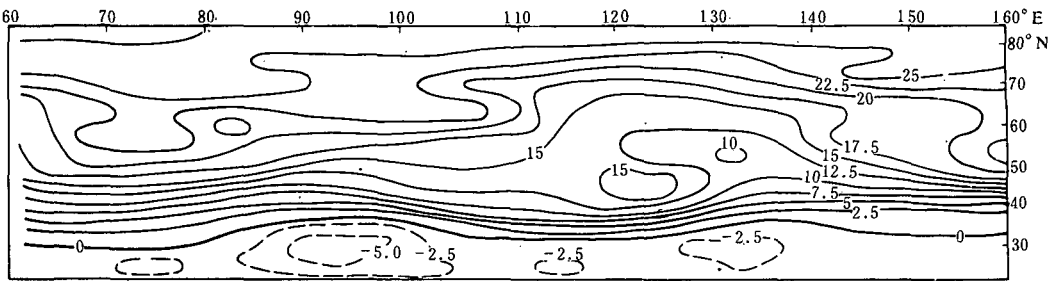


图 4 1980 年 7 月 1 日—9 月 10 日 300hPa 平均准地转位涡分布
(单位: $10^{-5}/s$, 粗实线: 位涡零线, 实线: 正位涡线, 虚线: 负位涡线)

度区又分裂为南北两个中心。在上述反气旋的东西两侧为气旋性涡度区,其西侧为乌拉尔长波槽的活动区,中心强度为 $3.0 \times 10^{-5}/s$ 。正涡度区向东南伸展,在阻塞反气旋的南侧被切断。可见涡度场的分布形势与上述高度场和温度场的分布形势是一致的。在 $40^{\circ}N$ 以南的副热带地区是很强的反气旋涡度区,其中心有二个,一个在青藏高原上空($90^{\circ}E$),中心强度为 $-3.3 \times 10^{-5}/s$,与青藏高原高压相对应,另一个在太平洋上($140^{\circ}E$),中心强度为 $-3.1 \times 10^{-5}/s$ 。

图 4 是阻塞期间 300hPa 准地转位涡的平均分布。在 $50^{\circ}N$ 以北, $110^{\circ}-140^{\circ}E$ 的阻塞地区为低位涡区,在其东西两侧均为高位涡区。西侧乌拉尔长波槽的高位涡区向东南伸展,插入阻塞区南侧 $40^{\circ}-45^{\circ}N$ 附近,形成了北低南高的平均位涡分布。上述位涡分布表明,在阻塞期应有大量低位涡的空气从热带向北输送,并被切断和停留在北方的阻塞高压区;另一方面,北面高位涡的空气向南输送,并停留在阻塞高压以南的低压区,从而形成与气候平均相反的梯度。

以上分析表明,阻塞区是一个暖性高压脊区,具有较强的反气旋涡度以及异常低的均匀的位涡。但是在阻塞区的东西两侧为冷低压槽、气旋性涡度及高位涡区。西侧的高位涡区向东南伸展,在阻塞区南侧被切断形成位涡的偶极型分布。

2. 乌拉尔长波槽活动与阻塞形势

在逐日天气图上,阻塞形势表现出明显的变化。从 1980 年 7 月 1 日—9 月 18 日 $60^{\circ}N$ 500hPa 逐日位势高度的变化看(图 5),从 7 月初(1—6 日),高压脊在乌拉尔山以东 $70^{\circ}-80^{\circ}E$ 地区发展以后迅速东移。乌拉尔长波槽的活动一次次地明显加强并向东扩展(图中粗黑线所示),并几乎每次都对应着下游有一次阻塞高压脊的增强。这表明上游涡动强迫作用对东亚阻塞形势的维持起着明显的作用。在这 72 天的阻塞时段中,乌拉尔长波槽有 9—10 次加强过程,其中较明显的有 7—8 次。8 月下旬初,乌拉尔长波槽的中心位置突然西退到乌拉尔山以西 $35^{\circ}E$ 附近,同时阻塞高压的位置也西退了大约 10 个经度,中心位置在 $100^{\circ}-120^{\circ}E$ 地区。8 月底到 9 月中,乌拉尔长波槽经历了三次较明显的加强和东移的过程以后,在 9 月 12 日突然东移,完全替代了阻塞高压的位置,环流形势发生调整,阻塞崩溃。

3. 位涡演变与阻塞形势的维持

对 850hPa 至 300hPa 各层逐日准地转位涡的计算表明,其分布形势基本一致,而 300hPa 上的强度最大,变化也最显著,因此以下着重对 300hPa 上的位涡逐日变化及其与阻塞维持的关系进行讨论。

$60^{\circ}N$ 上 $60^{\circ}-160^{\circ}E$ 范围内 300hPa 位涡的逐日变化图(图 6)表明,在 $115^{\circ}-135^{\circ}E$ 阻塞区内,始终为低位涡所控制,而 $100^{\circ}-110^{\circ}E$ 以西及 $140^{\circ}-150^{\circ}E$ 以东地区主要为高位涡控制区。它与图 5 中 $60^{\circ}N$ 的 500hPa 位势高度变化非常相似。在阻塞时段内,阻塞区上游的高位涡区出现 11—12 次加强并向东伸展的过程(见图中粗黑线),而每一次(或二至三次)高位涡的加强东伸,都导致低位涡区的加强。在 7 月中旬末至 7 月底,低位涡区有一次非常明显的加强过程。图 7 给出逐日位涡分布形势的演变。7 月 17 日(图 7a) $50^{\circ}N$ 以北

的高位涡区在 70°E 和 105°E 附近各有一个中心,18日这两个高位涡中心加强并东移。青藏高原上空的低位涡区开始向北伸展。19日(图 7b)低位涡区继续向北伸展并东移,原在 105°E 的高位涡区已东移到 115°E 并向东南伸展到 45°N 。20日向南伸展到 40°N 的高位涡区在 $110^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$ 被切断,青藏高原上空的低位涡区继续东移并向北伸展。22日(图 7c)低位涡区已北伸到 60°N 以北,并停留在 $110^{\circ}-140^{\circ}\text{E}$ 广阔地区上空。此时原在 70°E 的高位涡中心已东移到 $95-100^{\circ}\text{E}$,并再次加强。此后这一高位涡中心又向东南方向伸展,插入阻塞区的南侧,阻塞区内的低位涡空气继续维持并加强。26日(图 7d)向东南伸展的高位涡区在 120°E 附近被切断,阻塞区上空的低位涡也被切断,形成了比较典型的阻塞偶极形势。27日 $120^{\circ}-130^{\circ}\text{E}$ 的低位涡强度明显减弱,其南侧的高位涡区也由于与低位涡的暖空气混合而减弱,阻塞形势处于消亡阶段。

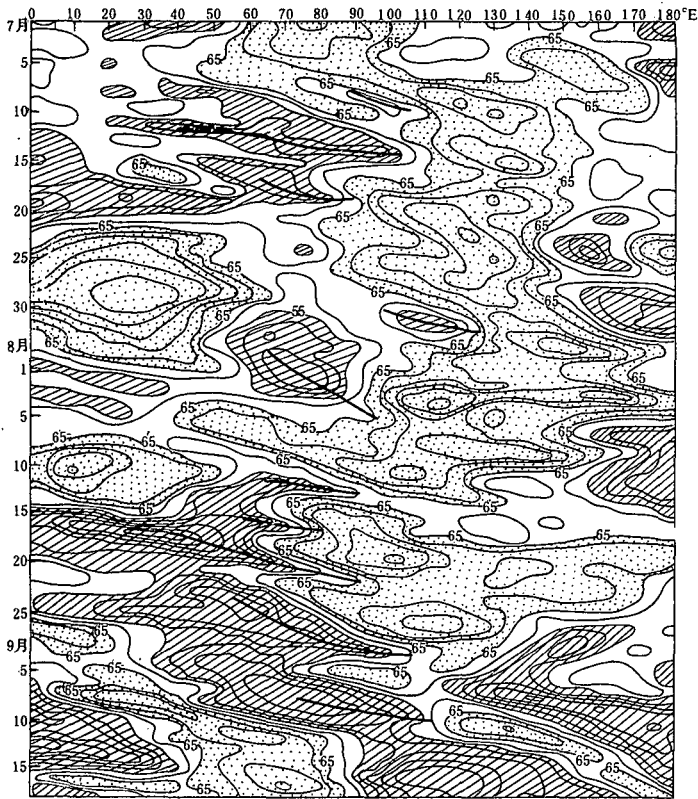


图 5 1980年7月11—9月10日 $60^{\circ}\text{N}500\text{hPa}$ 位势高度时间-经度剖面图
(单位:位势什米。斜线阴影区为小于 555 位势什米地区,点阴影区为大于 565 位势什米地区)

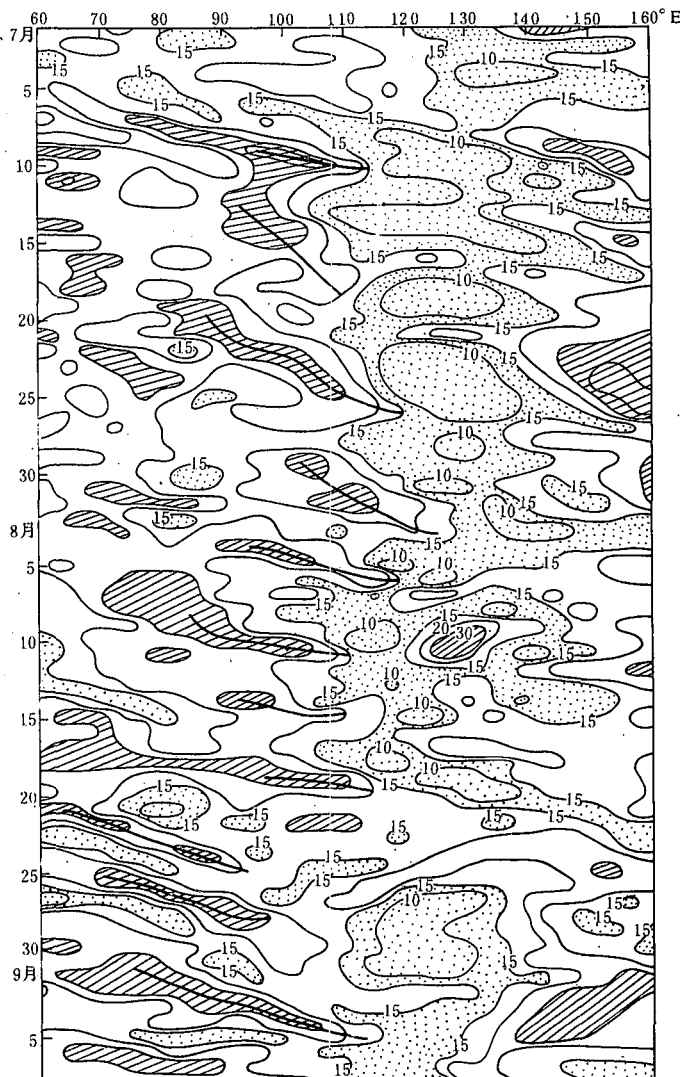


图 6 1980年7月1日—9月10日60°N300hPa准地转位涡(\bar{q})时间-经度剖面图
(单位: $10^{-5}/s$, 斜线阴影区代表 $\bar{q} > 25 \times 10^{-5}/s$ 的地区; 点阴影区代表 $\bar{q} < 15 \times 10^{-5}/s$ 的地区)

自七月初至九月上旬的阻塞时段内,这种类似的明显的位涡演变过程共有7次,每一次过程约有10天,并大致经历相同的四个阶段:初始、发展、成熟和消亡阶段。图8给出位涡演变与阻塞形势维持关系的平均图像。(1)初始阶段:青藏高原的低位涡区向北伸展,其北方的高位涡加强(图8a);(2)发展阶段:低位涡已向北伸展到60°N,并滞留在120°—130°E地区,其上游的高位涡区向东南方伸展,并开始切断北方的低位涡区(图8b);(3)成熟阶段:阻塞区的位涡出现北低南高的偶极形势(图8c);(4)消亡阶段:阻塞区低位涡强度明显减弱,其南侧的高位涡强度也明显减弱,趋于相互混合(图8d)。

应该指出,位涡变化过程有时是交错进行的,即前过程尚未结束,后一过程已经开始,其间有些天是重复的,并且每一次过程间也有一些差别。

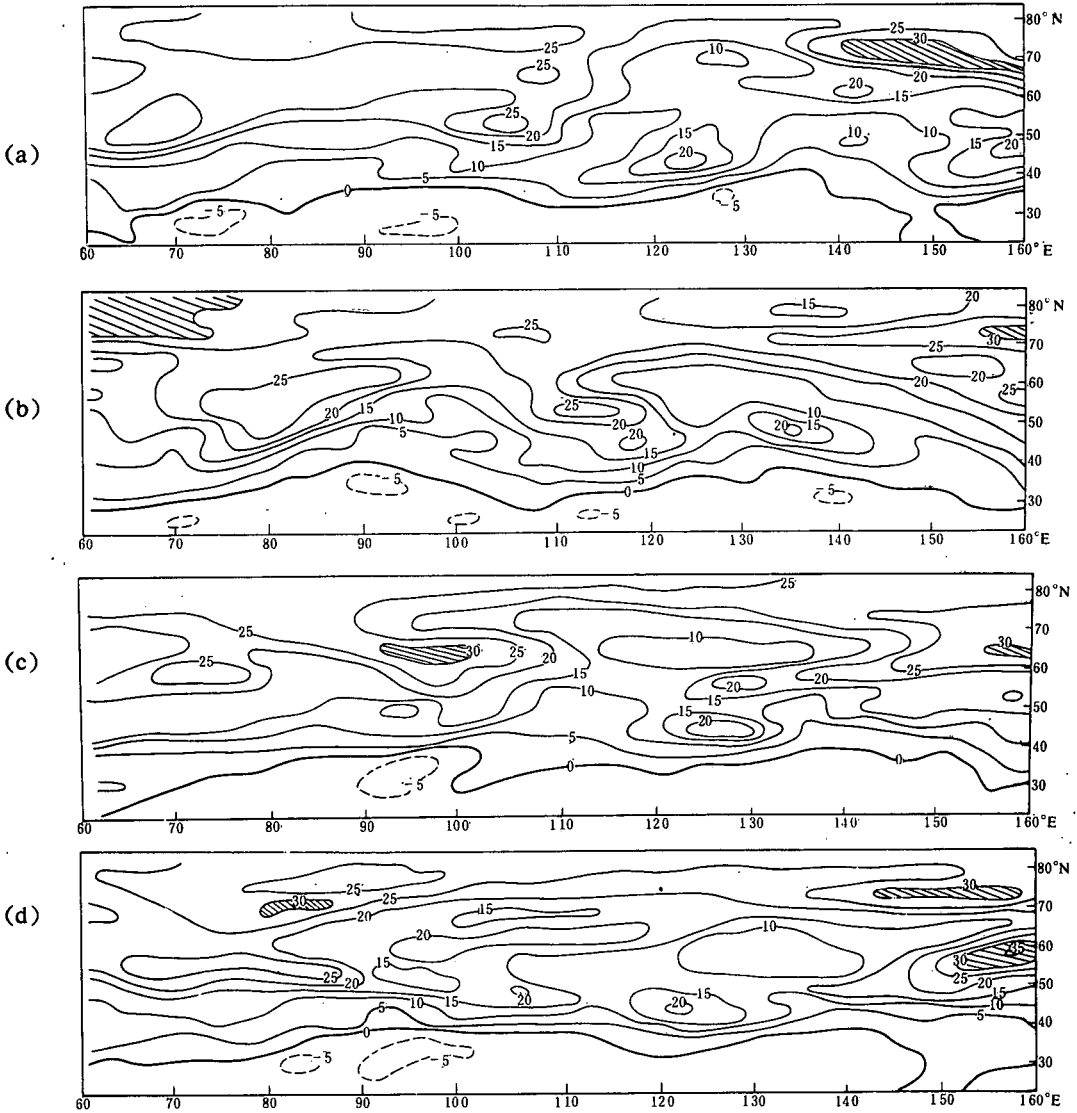


图7 一次阻塞高压发展过程中300hPa位涡场演变图

(a)7月17日(b)7月19日(c)7月22日(d)7月26日

(单位:10⁻⁵/s,斜线阴影区代表 $\bar{q} > 30 \times 10^{-5}/s$ 的地区)

由前面位涡的逐日演变可以清楚地注意到,阻塞区的低位涡空气来自青藏高原上空,它是在其北面的高位涡空气向南扩展和东移过程中迅速地被输入到阻塞区的。而阻塞区南侧的高位涡空气则是来自其上游的高位涡区,当它向东南伸展到阻塞区南侧时,被来自青藏高原的低位涡空气切断而滞留在那里。阻塞形势的维持是由于其上游的高位涡空气一次次加强向东南方向伸展,同时青藏高原上的低位涡空气不断地向东北输入阻塞区,以使阻塞系统的南北高低位涡空气得到补充和维持,以抵消阻塞系统的空气与环境空气的混合作用所造成的系统的减弱(环境空气位涡的分布与阻塞系统分布相反),从而使阻塞系统能长期维持。

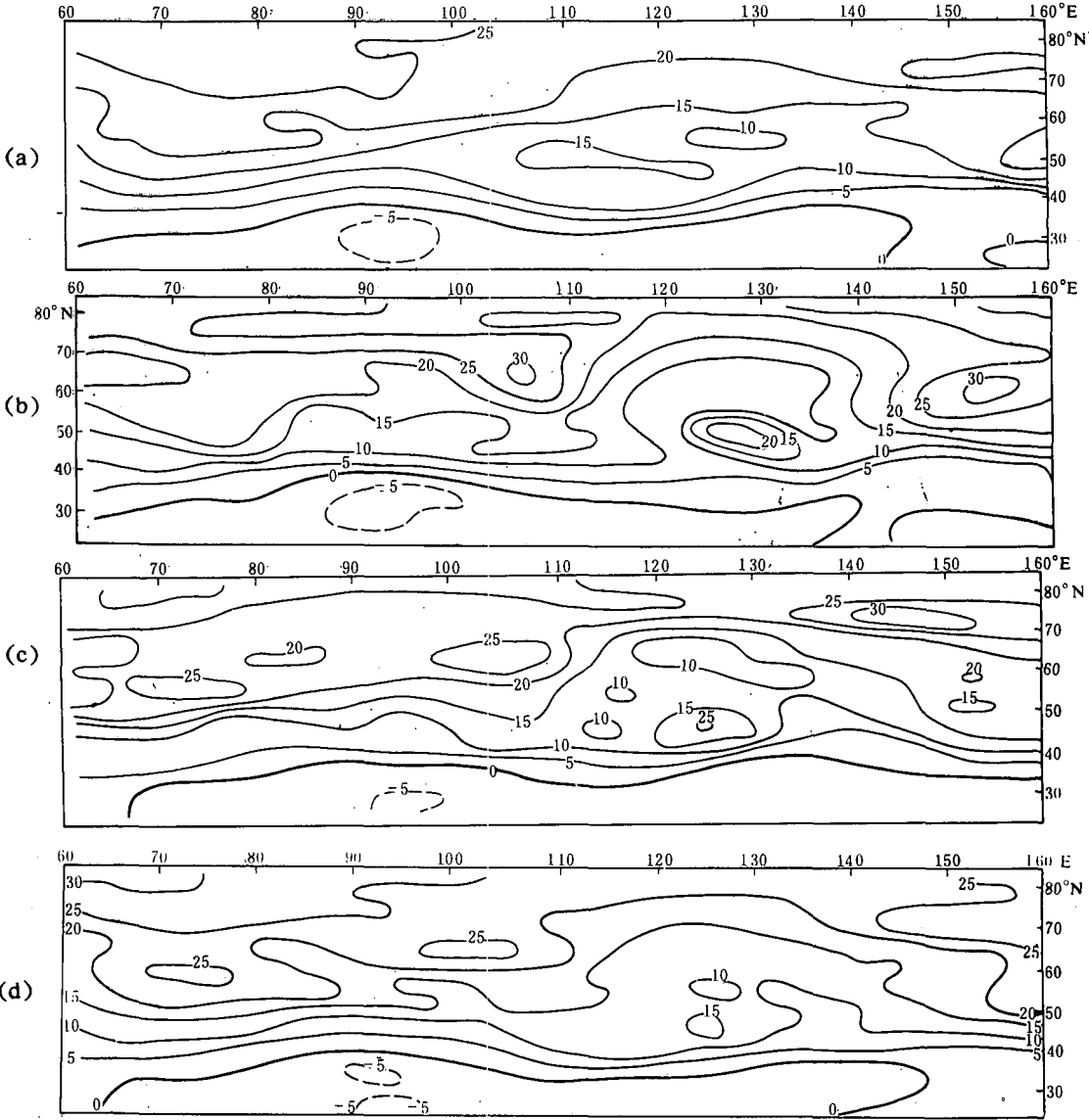


图 8 阻塞高压形成期不同阶段位涡场的平均演变过程

(a)初始阶段,(b)发展阶段,(c)成熟阶段,(d)消亡阶段。(单位:10⁻⁵/s)

五、阻塞时期准地转位涡的收支

对方程(5)中的两项进行了计算,共计算了72天(7月1日—9月10日),然后对这两项分别进行72天的平均,得到阻塞期300hPa平均的 $(\bar{\vec{v}} \cdot \nabla \bar{q})$ (平均气流对平均位涡的输送)(图9)和平均的 $\bar{\vec{v}}' \cdot \nabla \bar{q}'$ (涡动强迫对位涡的输送)(图10)。

从图9可以看到,在前面讨论的阻塞区后部(100°—125°E),45°N以北是负的位涡输送区,表示这里由于平均气流的平流作用将输入高的位涡,而45°N以南为正区,表示将有低的位涡输入,这种情况使原来阻塞区北面的平均低位涡区和南侧的平均高位涡区的强

度趋于减弱,不利于阻塞的维持;在阻塞区的前部(125°—140°E)情况则相反。因而,总的来看,平均气流平流引起的位涡输送将使阻塞形势向下游平流去,而不能在原地得到维持。但实际上,阻塞形势近于在同一地区维持了二个多月,这意味着必然存在着另外的强迫作用以抵消这种平均场的平流作用。从方程(5)中可以看到,涡动强迫引起的位涡输送是唯一能抵消平均气流平流作用的机制。

从涡动强迫输送看(图10),它的分布基本上与图9相反,因此涡动强迫引起的位涡输送可以基本上抵消平均气流引起的位涡输送,使阻塞得以维持。但是应该指出,这里我们假设了绝热无摩擦运动的大气,在实际大气中,尤其在长达72天的时段内,这种条件不可能完全成立(有时有一定的降水)。从我们的计算结果看,涡动输送在量值上比平均气流的输送也确实小很多。比较图9和图10中的平流项量级可知,涡动输送一般可以抵消平均输送的30—40%。因此它对阻塞形势的维持是有明显的作用。

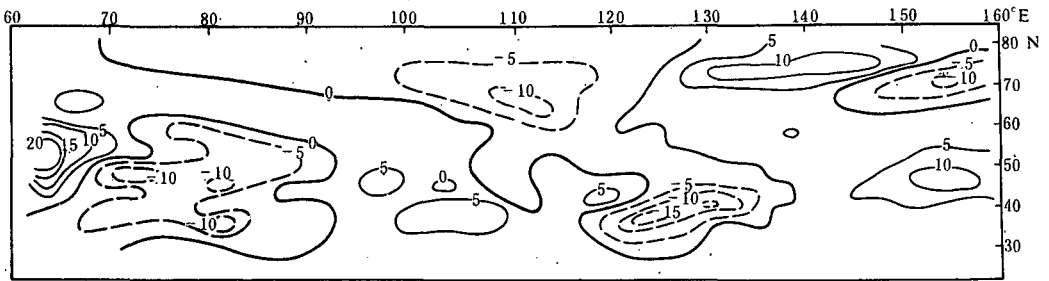


图9 1980年7月1日—9月10日72天平均的300hPa平均气流的位涡输送($\bar{V} \cdot \nabla \bar{q}$)
(单位: $10^{-10} \text{m}^2/\text{s}^2$)

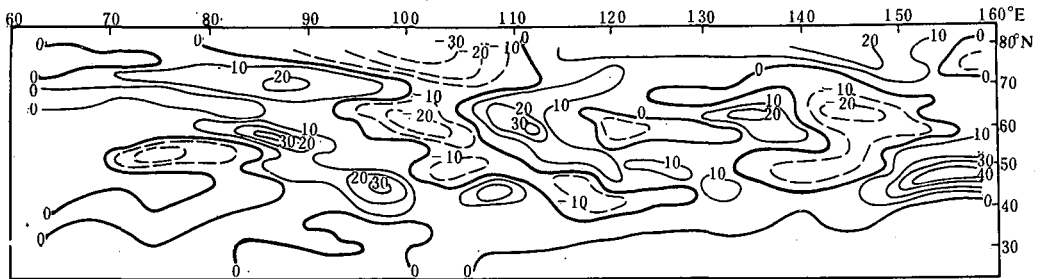


图10 对涡动强迫的位涡输送($\bar{V}' \cdot \nabla q'$),其它同图9(单位: $10^{-11} \text{m}^2/\text{s}^2$)

六、结 论

根据对准地转位涡的分析,我们得到了1980年7月1日—9月10日在贝加尔湖和前苏联远东地区维持的阻塞形势的平均特征及其维持的机制。这种长时期的阻塞形势是造成这一年华北夏季持续干旱的主要大尺度条件。分析的结果表明:

1. 东亚阻塞高压是一种上下层一致的暖性反气旋涡度区,也是异常低的,几乎是均匀的准地转位涡区;

2. 阻塞高压上游乌拉尔长波槽在 110°E 以西范围内的一次次加强并东传,有利于阻塞高压的加强和维持;

3. 阻塞区的低位涡空气来自青藏高原,在其北面的高位涡空气东移和向南扩展的过程中,这里的低位涡空气被输入入阻塞区,使阻塞高压得以维持;

4. 由于阻塞高压上游乌拉尔长波槽内的高位涡空气不断地向阻塞高压南侧输送,使阻塞高压南侧维持一个高位涡区,从而使位涡场出现北低南高的偶极分布;

5. 由平均气流平流引起的位涡输送使阻塞形势趋于向下游平流,导致阻塞崩溃。而由涡动强迫引起的位涡输送,则趋向于维持阻塞形势。在绝热无摩擦运动中,它们的量值有相当一部分是相互抵消的。这是阻塞形势维持的一个很重要的机制。

致谢:感谢张清芬同志为本文绘制了全部插图。

参 考 文 献

- [1] 朱正心,地形和热力共同作用下超长波的非线性平衡态与阻塞形势,大气科学,7,13—22,1983。
- [2] Luo Dehai and Ji Riren, Algebraic Rossby solitary wave and blocking in the atmosphere, *Advances in Atmos. Sciences*, 5, 445—454, 1988.
- [3] Green, J. S. A., The weather during July 1976; Some dynamical consideration of the drought. *Weather*, 32, 120—128, 1977.
- [4] Shutts, G. J., The propagation of eddies in different jet—streams eddy vorticity forcing of blocking flow fields, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 109, 737—761, 1983.
- [5] Iliari, L., A diagnostic study of the potential vorticity in a warm blocking anticyclone, *J. Atmos. Sci.*, 41, 3518—3526, 1984.

A STUDY OF BUDGET OF POTENTIAL VORTICITY OF BLOCKING HIGH DURING THE DROUGHT PERIOD IN SUMMER OF 1980

Bi Muyun Ding Yihui

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, SMA)

Abstract

A diagnostic study of the average characteristics and maintenance mechanism of the blocking situation in East Asia during the drought period in summer of 1980 (1 July—10 September) has been made by use of quasi-geostrophic potential vorticity equation. It has been shown that the blocking high in East Asia is a kind of deep and warm anticyclonic system of unusually low potential vorticity. On the one hand, its maintenance is related to the eddy transport resulting from the long wave trough in the Ural region upstream, on the other hand, and more importantly, it is associated with the transport of the air of low potential vorticity originating in the Tibetan

Plateau.

The estimate of budget of potential vorticity has further indicated that the eddy forcing term is nearly balanced out by the advection term of the mean flow. This fact implies that the eddy transport of potential vorticity may be an important factor responsible for maintenance of unusually low potential vorticity in the blocking area and prohibiting the blocking high from the downstream advection.