

# 夏季乌拉尔地区环流持续异常及其背景流特征\*

李双林 纪立人

(中国科学院大气物理研究所, LASG, 北京, 100029)

## 摘 要

在 Dole 持续异常界定方法的基础上提出了一种适用于全球分析的界定方法, 并利用 NCEP/NCAR 1980~1998 年 6 月 1 日~8 月 31 日逐日再分析资料, 分析了全球大气环流持续异常的分布, 重点研究了乌拉尔地区反复出现的、维持较长时间的强环流异常的背景流及其演变特征, 得到以下结论: 1) 文中提出的界定方法能较好地识别全球地区持续异常分布; 2) 乌拉尔地区环流正、负持续异常形成时, 背景环流的发展不具有对称性, 负异常并不是正异常的简单相反过程。正异常的发展与位于西南方的正距平扰动向东北移动、及与位于中西伯利亚的正距平扰动西移有关, 这些扰动具有相当正压结构的, 而负异常则主要是局地发展而形成的; 3) 正压过程对乌拉尔持续异常的形成起着主要作用, 明显不同于北太平洋环流持续异常的发展; 4) 乌拉尔正、负持续异常期间的背景流不仅在北半球中高纬有明显差异, 而且在南、北半球其它地区也有明显差异, 热带的差异在低频环流上表现得更为清楚; 5) 在异常发生前, 中纬度急流已发生了有利于异常建立的改变。

关键词: 乌拉尔地区, 夏季, 环流持续异常, 背景环流。

## 1 引 言

中国夏季的旱涝与江淮梅雨异常有关, 而梅雨异常与乌拉尔地区大气环流的持续性异常关系密切。乌拉尔地区阻塞高压(以下简称阻高)是东亚夏季风的重要成员之一, 它与东北亚阻高及贝加尔低压槽共同构成了“双阻型”梅雨形势。“双阻型”是梅雨中后期的、也是造成梅雨异常的主要环流形势<sup>[1]</sup>。如 1998 年夏季, 长江流域发生了自 1954 年以来全流域性的特大洪水, 东北嫩江、松花江流域发生了百年不遇的特大洪水, 大气环流的一个重要特征就是乌拉尔经常维持异常稳定的阻塞形势<sup>[2,3]</sup>。又如 1991 年夏季发生在江淮流域的特大洪涝也与乌拉尔大气环流的持续异常有关<sup>[4]</sup>。陆日宇、黄荣辉<sup>[5,6]</sup>对东北亚阻高的形成和维持进行了系统的研究, 庄世宇、纪立人<sup>[7]</sup>研究了夏季副热带地区大气环流(副高)的持续异常。而目前对于乌拉尔地区的持续异常研究相对较少。

另一方面, 无论冬季<sup>[8]</sup>还是夏季<sup>[9]</sup>乌拉尔地区是北半球大气环流最易发生持续异常

\* 初稿时间: 1999 年 8 月 17 日; 修改稿时间: 2000 年 7 月 5 日。

资助课题: 国家自然科学基金(49775261)、优秀国家重点实验室研究项目(49823002)和 国家重大基础研究发展规划 G1998040900 项目第一部分共同资助。

的 3 个地区之一, 另 2 个地区分别为北太平洋 (PAC) 和北大西洋 (ATL)。Dole<sup>[10]</sup> 研究了冬季北太平洋上空持续异常的发展演变, 并与北大西洋进行了对比。刘辉、吴国雄<sup>[11]</sup> 研究了北半球不同区域阻高中心低位涡的维持机制, 发现太平洋阻塞低位涡的维持不同于大西洋及阿拉斯加阻塞。Dole 等<sup>[8]</sup> 指出, 冬季乌拉尔持续异常型 (其文中记为 NSU, 意为原苏联北部) 具有不同于北太平洋及北大西洋的一些特征。例如乌拉尔更倾向于发生强度中等但持续更长时间的异常过程; 正、负持续异常过程发生的可能性与持续时间的关系, 二者相似, 而不像 PAC 型及 ATL 型那样对于相同强度的异常, 正异常比负异常更易于持续。在后来的又一工作<sup>[12]</sup> 中, 又发现冬季 NSU 持续异常型高度场的发展也具有不同于 PAC 型及 ATL 型的一些特征, 并指出瞬变波对 NSU 发展的作用更大。李金龙、纪立人<sup>[13]</sup> 在研究夏季北半球持续异常分布及形成时, 也提到 NSU 型也具有不同于 PAC 型与 ATL 型的特征。但是他们的研究不是专门针对乌拉尔环流持续异常的。

本文的研究对象是乌拉尔地区持续时间长、反复出现的大气环流强异常过程的发展演变, 主要研究这些异常过程发展演变期间大气的缓变背景流的特征。因为造成梅雨异常不是乌拉尔地区出现阻塞, 而是阻塞的异常维持, 因而这种长持续、反复出现的大气环流强异常过程与梅雨异常关系最为重要。本文首先提出一种适于此分析的持续异常过程的界定方法, 再利用合成分析等方法, 分析夏季乌拉尔地区这种反复出现的、长持续异常 (包括正异常和负异常) 过程的缓变背景流的特征。

## 2 持续异常分布与乌拉尔持续异常过程

### 2.1 持续异常的定义

Dole<sup>[8]</sup> 在研究北半球冬季热带外大气环流持续异常时, 提出了一种持续异常的界定方法。首先计算某一格点处高度对多年平均季节气候趋势的距平  $h$ , 季节气候趋势序列是由多年平均序列经最小二乘法拟合得到的。再对距平  $h$  采用类似求地转流函数的方法进行纬向标准化

$$z = h \sin 45^\circ (\sin \varphi) \quad (1)$$

式中  $\varphi$  表示纬度, 得到纬向标准化距平  $z$ 。给定异常的强度标准  $M$  和持续时间尺度  $T$ , 对于正 (负) 异常  $M > 0 (M < 0)$ 。对于正 (负) 异常, 当  $z > M (z < -M)$  并持续至少  $T$ , 便称为该点发生了一次正 (负) 持续异常过程。

Dole 的方法对于热带外大气尚可, 但对于全球持续异常过程的研究不适用。当  $\varphi > 0$ ,  $\sin \varphi > 0$ ,  $z > 0$ , 对距平纬度标准化求流函数的方法在低纬和赤道附近不适用。下面我们对 Dole 的方法进行了改进, 采用高度距平与多年平均均方差的比较来判断异常与否。具体做法如下:

(1) 求出各个格点逐年逐日高度场对气候趋势值的距平  $h(i, j, k_a, k_y)$ , 做法完全同 Dole,  $i, j$  为格点序数,  $k_y, k_a$  分别代表年、日序数 (夏季  $k_a = 1, 2, \dots, 92$  对应 6 月 1 日至 8 月 31 日), 总年数:  $n_y$ 。

(2) 求出各个格点逐日的多年平均均方差

$$\sigma(i, j, k_a) = \frac{1}{n_y} \sum_{k_y=1}^{n_y} (h(i, j, k_a, k_y) - \bar{h}(i, j, k_a))^2 \quad (2)$$

其中  $\bar{h}$  是  $h_{ny}(=19)$  a 的平均值。

(3) 求出逐日不同纬度上的纬向平均均方差

$$[\sigma](j, k^d) = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} \sigma(i, j, k^d) \quad (3)$$

其中  $n_i$  是纬向总格点数;

(4) 定义持续时间标准为  $T$ , 强度异常标准为  $[\sigma]$  的  $c$  倍。对于点  $(i, j)$ , 当  $h(i, j, k^d, k^y) > c \times [\sigma]$ , 且持续时间  $T$  时, 则该点发生正持续异常; 当  $h(i, j, k^d, k^y) < -c \times [\sigma]$ , 且持续时间  $T$  时, 则该点发生负持续异常;  $c$  及  $T$  因研究问题的不同而异。

## 2.2 持续异常过程的全球分布

本文所用基本资料为 NCEP/NCAR 1980~1998 年 6 月 1 日~8 月 31 日逐日再分析资料  $h, u, v, \psi$  等, 其中 1980~1997 年资料网格为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ , 1998 年网格为  $1^\circ \times 1^\circ$ 。因获取资料的时效问题, 进行合成分析的异常过程仅包括 1980~1996 年。流函数由 NCEP 风场计算而来, 距平定义为对气候平均的距平, 而气候平均流函数由 NCEP 月平均流函数计算得到。相比由逐日平均值来计算, 可以减少计算量。500 hPa 高度场距平及季节气候趋势值的计算见上部分, 其它层次高度场的季节气候趋势值由其多年平均的月平均高度场经最小二乘法拟合得到。受天气尺度瞬变扰动的影响, 持续了一段时间的异常往往会发生间断 1~2 d 紧接着持续的情况。对于这种情况, 按照以上的定义, 如果紧接着持续的时间  $< T$ , 则被排除在持续异常过程之外, 如果紧接持续的时间  $\geq T$ , 则被当作又一次持续异常过程。为了研究乌拉尔地区 500 hPa 上这种反复出现的、持续时间较长的背景流异常特征, 采用 5 d 时间平滑低通滤波的方法来滤去天气尺度瞬变扰动。在计算距平序列时首先对高度场序列进行 5 d 平滑滤波, 选择持续时间及异常强度标准  $T=6$  d,  $c=0.9$ 。图 1 为计算得到的持续异常发生频数的全球分布。

由图 1a 可见, 北半球在以下几个区域易于发生持续异常: (1) 北太平洋至西太平洋的广大区域; (2) 北大西洋至欧洲西岸; (3) 乌拉尔山地区至新地岛; (4) 北极附近。南半球: 南极附近易于发生持续异常, 最容易发生持续异常的区域位于罗斯海及以东的南太平洋沿岸。在南太平洋的中纬度地区 ( $30^\circ\text{S}$ ), 有一个几乎与北太平洋持续异常多发区关于赤道对称的持续异常多发区存在, 但其发生频数明显低于北半球。低纬热带地区: 赤道印度洋存在范围较小的持续异常多发区。从南、北半球的对比来看, 持续异常过程的频数分布不具有对称性。例如在中低纬, 南半球异常频数明显少于北半球; 在中高纬, 北半球存在前述沿纬圈分布的 3 个异常频数的大值区, 而南半球仅有范围较大的 1 个大值区, 主要在南太平洋。这一特征与南、北半球具有不同的海陆及地形分布有关, 这也说明乌拉尔持续异常的形成与地形作用是分不开的。

李金龙、纪立人<sup>[9]</sup>用 Dole 等的方法研究了北半球夏季热带外持续异常的地理分布, 在中高纬度地区与这里所得结果基本一致。但从他们的结果看来, 在副热带西太平洋区持续异常的发生频数不高。事实上, 夏季控制这一地区的西太平洋副热带高压往往发生持续性异常, 造成中国经常发生持续异常天气和气候。这暴露出 Dole 持续异常界定方法的不足。低纬印度洋的持续异常多发区可能与该地区越赤道气流易于发生持续异常有关。

比较正、负持续异常发生频数的分布(图 1b, c), 在上面提到的几个多发区, 除乌拉尔

地区外差别不大。这与 Dole 冬季的结果——正持续异常频数多于负异常并不矛盾, 因为此处初始资料已进行了 5 d 时间平滑, 相当于 Dole 等低通滤波的情况。在乌拉尔地区, 负持续异常频数稍高于正异常。

从异常发生的总频数分布看(非持续异常, 相当于  $T = 1$  d, 图略), 大值中心与持续异常基本对应。与其它区域相比, 极地的持续异常频数较多, 但总异常频数却相对少, 说明发生在极地的异常更易于持续。乌拉尔的情况与极地相似, 这与 Dole 冬季的结果一致。

### 2.3 乌拉尔持续异常过程

由上述结果可知, 夏季乌拉尔是持续异常发生的高频区之一, 下面以(60°N, 60°E)作为乌拉尔地区的关键点。从计算得到的纬向均方差的分布来看(图略),  $c = 0.9$  对于乌拉尔约相当于 82 gpm。图 2 是计算得到的持续 6 d 以上的异常过程, 可见: 在大多数年份, 发生正持续异常过程多时, 一般不发生或少发生负持续异常过程; 反之, 发生负异常过程多时一般不发生或少发生正持续异常过程。从不同年份看, 发生正、负持续异常总数最多的有 5 次(1982, 1991), 最少的 1 次, 发生正、负持续异常最多的有 3 次, 最少的 0 次。在 1987~1990 均只发生了正异常过程, 在 1984~1986, 1992, 1994~1995 年均只发生了负异常过程。由此看来, 乌拉尔持续异常的发生可能还有一定的年际变化规律, 联系 1987~1990 年为非 ENSO 年, 1992~1995 年为赤道东太平洋暖水年, 乌拉尔持续异常的发生可能还与 ENSO 有关, 但这不是本文所要讨论的。

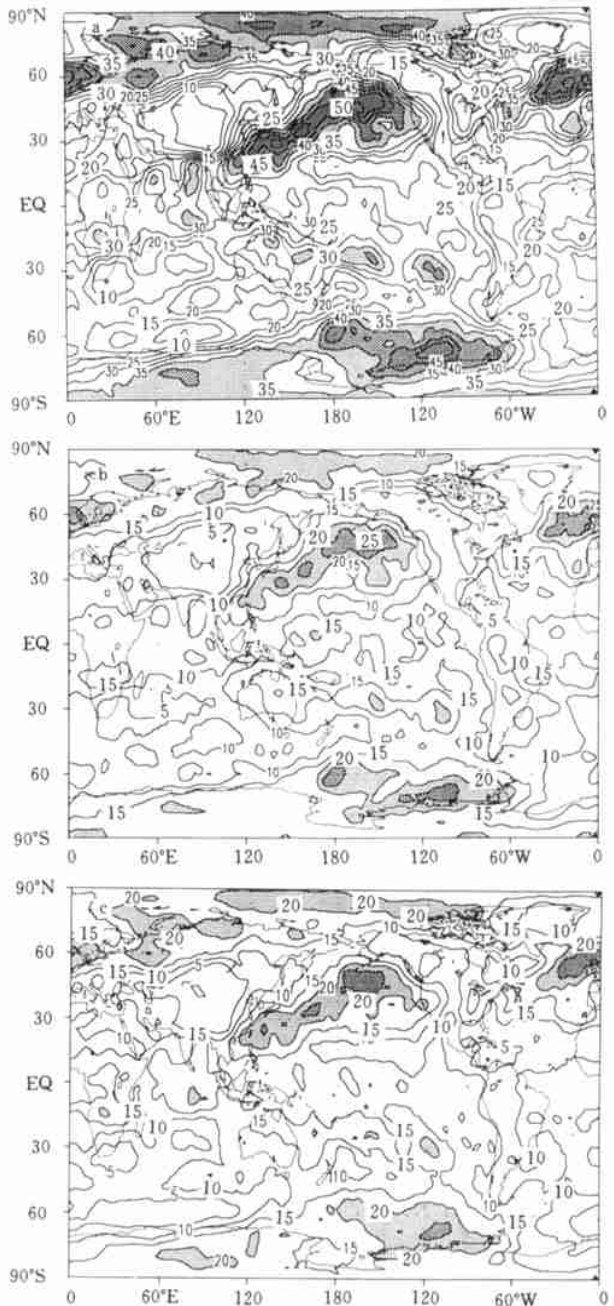


图 1 1980~1996 年夏季 500 hPa 距平持续异常频数的全球分布

(a. 正负持续异常之和, b. 正持续异常, c. 负持续异常; 单位: gpm)

由此看来, 乌拉尔持续异常的发生可能还有一定的年际变化规律, 联系 1987~1990 年为非 ENSO 年, 1992~1995 年为赤道东太平洋暖水年, 乌拉尔持续异常的发生可能还与 ENSO 有关, 但这不是本文所要讨论的。

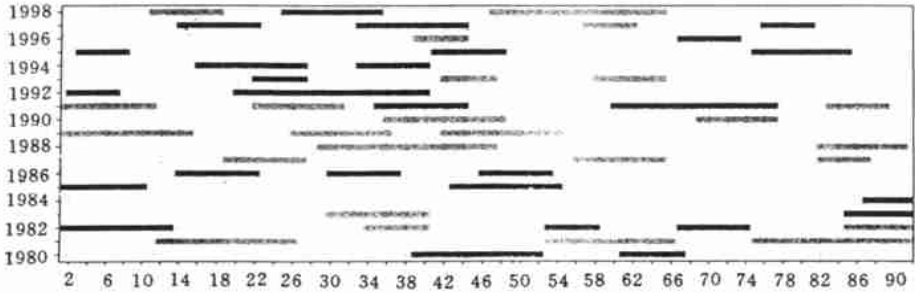


图2 1980~1998年夏季乌拉尔地区持续异常过程

(横坐标表示6月1日至8月31日共92d,浓(淡)阴影表示负(正)持续异常过程)

这里对 Dole 等<sup>[8]</sup>的方法提出了改进性的选择,但也带来了明显不足。Dole 针对热带外地区对高度场距平进行纬度标准化订正,使得高度距平场在中高纬度类似于流函数,因此通过分析其分布可以看出能量传播。而现在的方法直接针对高度场,能量传播的图象将不再清楚。如果将定义方法应用于流函数,可以克服这种不足。

持续异常的定义还有其它方法,这里以关键点来代表关键区的异常情况,而且所指的异常是与多年同期平均相比较的结果。对于像乌拉尔阻塞高压这样的持续异常,国内也有其它的界定方法。国家气候中心杨义文等从阻塞高压的环流特点出发,提出了从阻塞高压区及南侧浅槽区高度场标准化纬偏( $z = (H - [H]) / \sigma$ , 其中  $H$  为高度,  $[H]$  为纬向平均高度,  $H - [H]$  为纬偏,  $\sigma$  为纬向平均纬偏的均方根)相比较来界定阻高的方法\*。我们根据该方法(称为方法二)选择区域(45~70°N, 45~75°E)代表乌拉尔山阻塞高压区,区域(30~45°N, 30~90°E)代表高压南侧浅槽区。这样,高压区中共有 13×11 个格点,浅槽区有 25×7 个格点,分别计算 2 个区域各格点标准化纬偏之和,再计算二者之差,与我们的定义强度大致相当,选择二者之差 > 5.5 并持续 6 d 以上时定义为正持续异常(阻高),二者之差 < -1.0 并持续 6 d 以上时定义为负持续异常。按照方法二对本文资料进行计算,将结果(图略)与本文定义方法(称为方法一)的结果进行对比,并认为只要某一定义方法得到的异常过程时段包含另一方法得到的过程,便认为两种方法结果是一致的,发现方法一、二得到的持续正异常过程总次数分别为 25, 28, 其中一致的过程 21 次;持续负异常过程次数分别为 28, 29, 其中一致的过程 24 次,可见,对于大多数异常过程两种定义方法基本一致。还可发现,对于长持续异常过程两种定义方法的差别更小。

### 3 乌拉尔地区持续异常的合成分析

为了解夏季乌拉尔地区长持续异常的基本特征,选择持续 10 d 以上的异常过程进行合成分析,用于合成的过程见表 1。合成分析方法是这样的:首先是对某一持续异常过程进行合成,得到该过程的合成图。然后,分别对所有正、负持续异常过程进行合成得到正、负持续异常过程的合成图。

\* 气象学报,待发表

表 1 用于合成分析的乌拉尔持续异常过程

正持续异常过程			负持续异常过程		
年	月	日	年	月	日
1981	6.12	~ 26	1980	7.9	~ 22
	7.23	~ 8.5	1982	6.1	~ 13
	8.14	~ 31	1985	6.1	~ 10
1983	6.30	~ 7.10		7.13	~ 24
1987	7.26	~ 8.4	1991	7.5	~ 14
1988	6.29	~ 7.17		7.30	~ 8.16
	8.21	~ 30	1992	6.20	~ 7.10
1989	6.1	~ 15	1993	6.16	~ 27
	6.26	~ 7.6	1995	8.14	~ 24
	7.12	~ 24			
1990	7.6	~ 18			
1991	6.1	~ 11			
	6.22	~ 7.1			

从未滤波的 500 hPa 高度及其距平场的合成来看(图 3), 对于正持续异常过程(图 3a), 乌拉尔地区为一强大的高压脊控制, 北半球中纬度地区环流为 4 波型, 另外的 3 个高压脊分别位于东西伯利亚到鄂霍次克海、北美大陆、大西洋东部到西欧沿岸, 相应地在贝加尔湖地区、北太平洋中部、北美东岸及西欧为低压槽。对于负持续异常过程(图 3b), 乌拉尔为低槽控制, 北半球中纬度环流表现为 3 波型, 3 个高压脊分别位于贝加尔湖地区、北美大陆及欧洲上空, 另外的两个槽位于北太平洋中西部、北美东岸至大西洋中部。从正、负持续异常过程的比较来看, 负异常过程北极附近为一宽广的高压脊控制, 而正持续异常过程则为一浅槽。南半球中纬度环流平直, 差异也不明显, 但南极附近差异相对较大。

上述特点在距平图(图 3c、d)上表现得更加清楚。对于正、负持续异常过程, 除乌拉尔分别为强大的正、负距平中心外, 在上述北半球中纬度槽(脊)处, 分别有负(正)距平中心。在白令海以北, 对应负异常过程的宽广高压脊处为一强正距平中心。南半球: 南印度洋、南太平洋存在比高度场更为清楚的距平差异。

从图 3 来看, 上述正、负持续异常过程高度及其距平场在低纬热带地区差异不明显, 这与高度场在低纬热带的变化较小有关, 并不能说明二者环流差异不大。图 4 为正、负异常过程未滤波的合成流函数距平及二者均值差异的双侧  $t$ -检验结果, 图中  $t = 1.725$  及  $t = 2.528$  分别表示差异显著性水平为 95% 及 99%。可见, 前面高度场差异明显的地区在流函数场上表现得也很清楚, 在高度场差异不明显的低纬热带地区, 流函数场上也存在差异。正、负异常过程, 在澳大利亚北部及印度尼西亚附近至赤道印度洋的这一地区, 流场均存在显著差异, 尤其是赤道印度洋至阿拉伯海, 差异很明显, 超过了 99% 的显著水平。这也说明, 位于赤道附近的印度尼西亚地区、及赤道印度洋的异常可能以某种机制与乌拉尔地区的异常相联系。

从正、负异常合成流函数或高度距平的比较来看, 乌拉尔地区及上游的西欧及下游的贝加尔湖附近地区是相反的距平分布, 但在其它差异显著的区域却并不是相反的形势。

从正、负持续异常过程未滤波的合成纬向风  $u$  的分布来看, 负异常过程(图 5b)相比正持续异常过程(图 5a), 大西洋至欧亚的急流增强, 20 m/s 等风速线偏东 10 个经度以

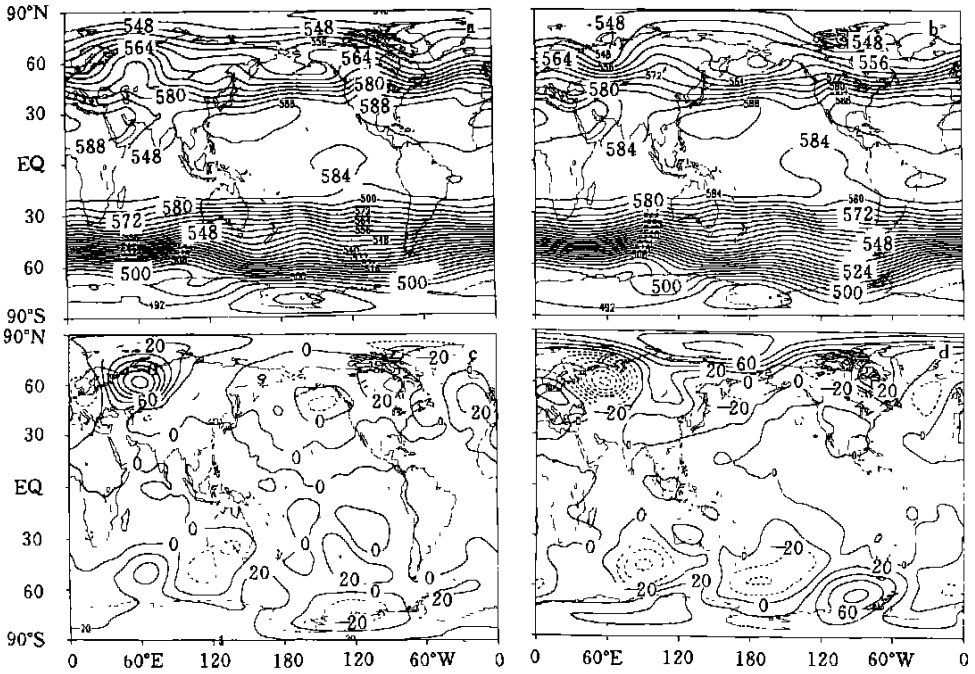


图3 500 hPa持续异常过程合成图

(a. 正异常合成高度场, b. 负异常合成高度场,  
c. 正异常合成高度距平场, d. 负异常合成高度距平场; 单位: gpm)

上, 25 m/s 的等风速线范围也大一些。太平洋急流增强偏东, 最大  $u$  中心为 25 m/s 以上, 而正持续异常过程没有 25 m/s 的大值中心, 20 m/s 等值线包含的范围狭长一些。

#### 4 乌拉尔地区持续异常的背景流演变

这里研究的是乌拉尔持续 10 d 以上的异常过程, 下面用 9 d 平滑低通滤波资料来分析其背景流演变。图 6 为正、负异常过程经过 9 d 平滑低通滤波的 500 hPa 高度的合成演变图, 正异常过程(图 6a ~ d), 在 - 4 d(前第 4 天, 图 6a), 关键区(60°N, 60°E)为 - 20(单位: gpm, 下同)左右的负距平。在 - 2 d(图 6b), 负距平消失, 成为弱的正距平。当天(图 6c), 距平发展到 60 左右。到 + 2 d(图 6d), 发展到 100 左右。可见, 异常的发展相当迅速, 在不到 4 d 的时间内增长幅度 100 左右。也可看到, 关键区异常的发展与地中海至欧洲大部的强正距平中心的向东北移动、及中西伯利亚的强正距平中心的西退有关。随着 2 个距平中心的移动、逐渐合并打通, 乌拉尔正异常发展加强。为了说明距平中心演变过程的信度, 作了相应的过程合成距平与 0 均值差异的双侧  $t$  显著性检验。结果表明(图略), 与这 2 个正距平中心对应的是 2 个信度超过 95% 的显著性区域。分析它们的演变, 随时间从 - 4 d 到 + 2 d, 2 个显著区域逐渐合并到乌拉尔地区, 乌拉尔发展成为距平显著性明显的区域。显著区域的演变过程与距平中心的移动、合并打通相一致。

从同纬度其它地区环流来看, 北太平洋地区, - 4 d 为正距平区, 3 个正距平中心分

别位于北美西海岸、日界线附近及日本海附近, 随着乌拉尔持续正异常的建立, 距平合并, 于+ 2 d 在风暴轴区建立一强正距平中心, 北美西岸成为负距平。北大西洋到西欧, - 4 d 大洋中部为大的正距平中心, 东部为弱的负距平, 随着乌拉尔正距平的建立, 大洋中部的正距平中心稍减弱并东移, 原位于大西洋东部的负距平中心移到西欧大陆并发展加深, 至+ 2 d 形成大西洋(+ )——西欧(- )——乌拉尔(+ )的波列状距平分布。从相应的  $t$  分布来看, 这些区域的距平都与 0 均值有显著性的差异(信度 99%)。

对于负异常过程, 在- 4 d(图 6a) 关键区为+ 40 的正距平区, - 2 d 为弱的负距平(图 6b), 之后负距平开始发展, + 2 d 负距平接近 - 60(图 6d), 可见负距平的发展也是很迅速的。在- 4 d(图 6a), 地中海及西欧大部为较强的负距平中心, 但该中心相对稳定, 到+ 2 d(图 6d), 几乎维持- 4 d 的位置。这说明, 乌拉尔地区负距平的发展不是地中海及西欧大部较强负距平中心向东北发展的结果。从图 6a ~ d 的演变来看, 伴随负异常的建立, 白令海峡附近的极地正距平发展加深西伸, 100 E 以西泰米尔半岛附近负距平中心相应西退, 那么乌拉尔负异常的发展是否是此负距平中心西退的结果? 为了回答此问题, 与正常过程相同, 也计算了相应的过程合成距平与 0 均值差异的双侧  $t$  显著性检验。从显著域的演变来看(图略), 在- 4 d, 有 2 个信度超过 95% 的显著性区域分别位于地中海及

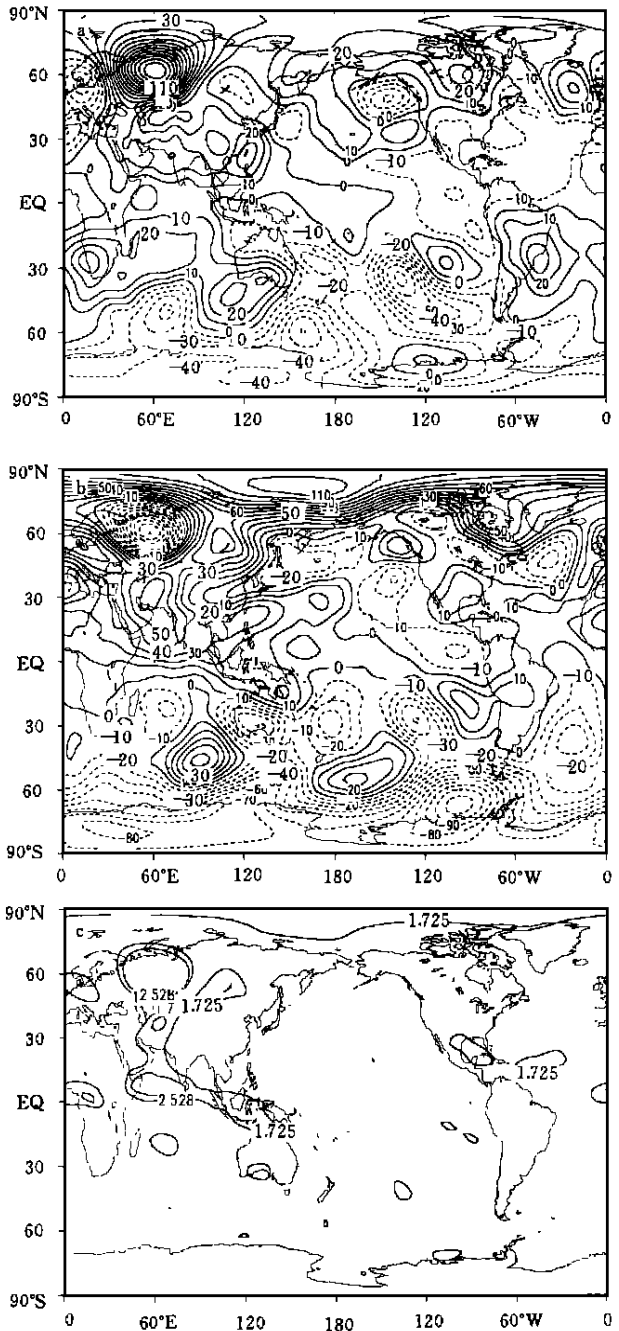


图 4 乌拉尔地区正负持续异常合成流函数距平及其均值差异的双侧  $t$  显著性检验 (a. 正持续异常合成流函数距平, b. 同 a 但为负持续异常, c. 双侧  $t$  检验的  $t$  分布; 单位:  $10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ )

显著域的演变来看(图略), 在- 4 d, 有 2 个信度超过 95% 的显著性区域分别位于地中海及



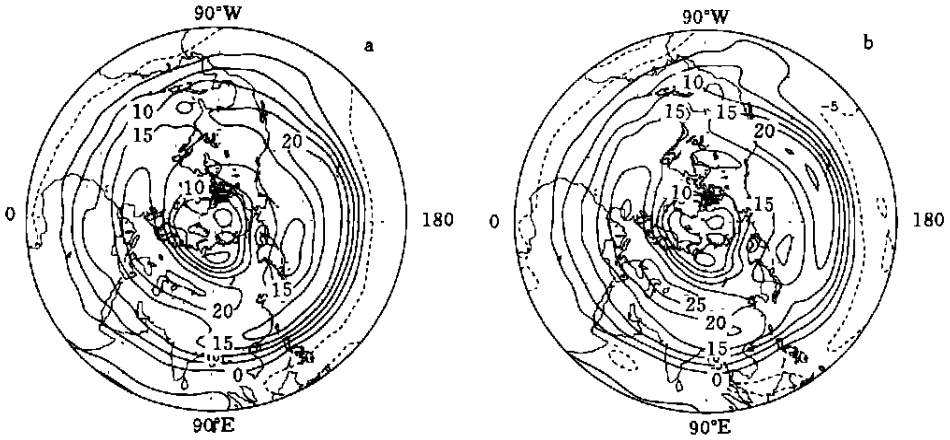


图 5 乌拉尔持续异常过程合成纬向风

(a. 正持续异常, b. 负持续异常; 单位: m/s)

西欧大部地区、及泰米尔半岛附近, 乌拉尔地区无显著区。随着时间从 $-4\text{ d}$ 到 $+2\text{ d}$ , 2个显著区域在原地逐渐减弱, 范围变小, 泰米尔半岛附近的甚至消失, 而在乌拉尔逐渐发展出一范围由小到大、由弱到强的显著区域。可见, 乌拉尔负距平的发展不是 $100\text{ E}$ 泰米尔半岛附近负距平中心西退的结果, 而主要是局地发展而形成的。从同纬度其它区域来看, 北太平洋地区, 与正异常过程相反为负距平区, 在 $-4\text{ d}$ , 2个负距平中心分别位于日本附近及北美西岸, 随着负距平的建立, 北美沿岸的负中心减弱, 日本附近的中心维持。北大西洋及西欧为大片正距平区域, 明显不同于正持续异常过程的波列状。

从全球其它区域正、负异常过程环流演变的比较来看, 在 $-4\text{ d}$ 及整个发展过程中, 高纬度地区至极地环流均存在明显差异。负异常过程,  $-4\text{ d}$ 南半球高纬及南极为2个强的正距平中心控制, 随着乌拉尔地区负距平的发展, 这2个中心强度有所减弱。北半球高纬度白令海及东西伯利亚海为正距平区, 随着乌拉尔地区负距平的发展, 该正距平值逐渐增强。正异常过程则明显不同。

低纬热带地区的高度场本身变化较小(对高度距平场未进行纬度订正), 尽管乌拉尔地区环流异常发展时, 低纬环流演变在高度距平变化相比中高纬差异不很明显, 但还是可以看到: 负距平发展时(图6a~d), 低纬热带主要为正距平; 该正距平发展时(图6a~d), 低纬热带主要为负距平。从距平与0均值差异的 $t$ -检验分布的显著域演变来看, 低纬环流的变化差异也是比较清楚的。正异常过程:  $-4\text{ d}$ , 在赤道及热带印度洋至热带东大西洋, 与负距平对应(图6a)是大片信度超过95%的显著区域。到 $-2\text{ d}$ , 显著区范围扩大到印度尼西亚及热带西太平洋。从 $0\text{ d}$ 到 $+4\text{ d}$ , 热带印度洋及大西洋的显著区逐渐消失, 但热带中太平洋逐渐发展出显著区。负异常过程: 从 $-2\text{ d}$ 到 $+4\text{ d}$ , 主要的显著区在热带西太平洋。这也说明, 从滤波后的低频流型来看, 乌拉尔正、负持续异常过程期间, 低纬热带环流型差异明显。

Dole<sup>[10]</sup>关于冬季持续异常及李金龙等<sup>[13]</sup>关于夏季持续异常的演变发展的研究中, 都仅研究了正持续异常的发展过程, 而对于负异常过程的发展都认为只是一个与正异常相

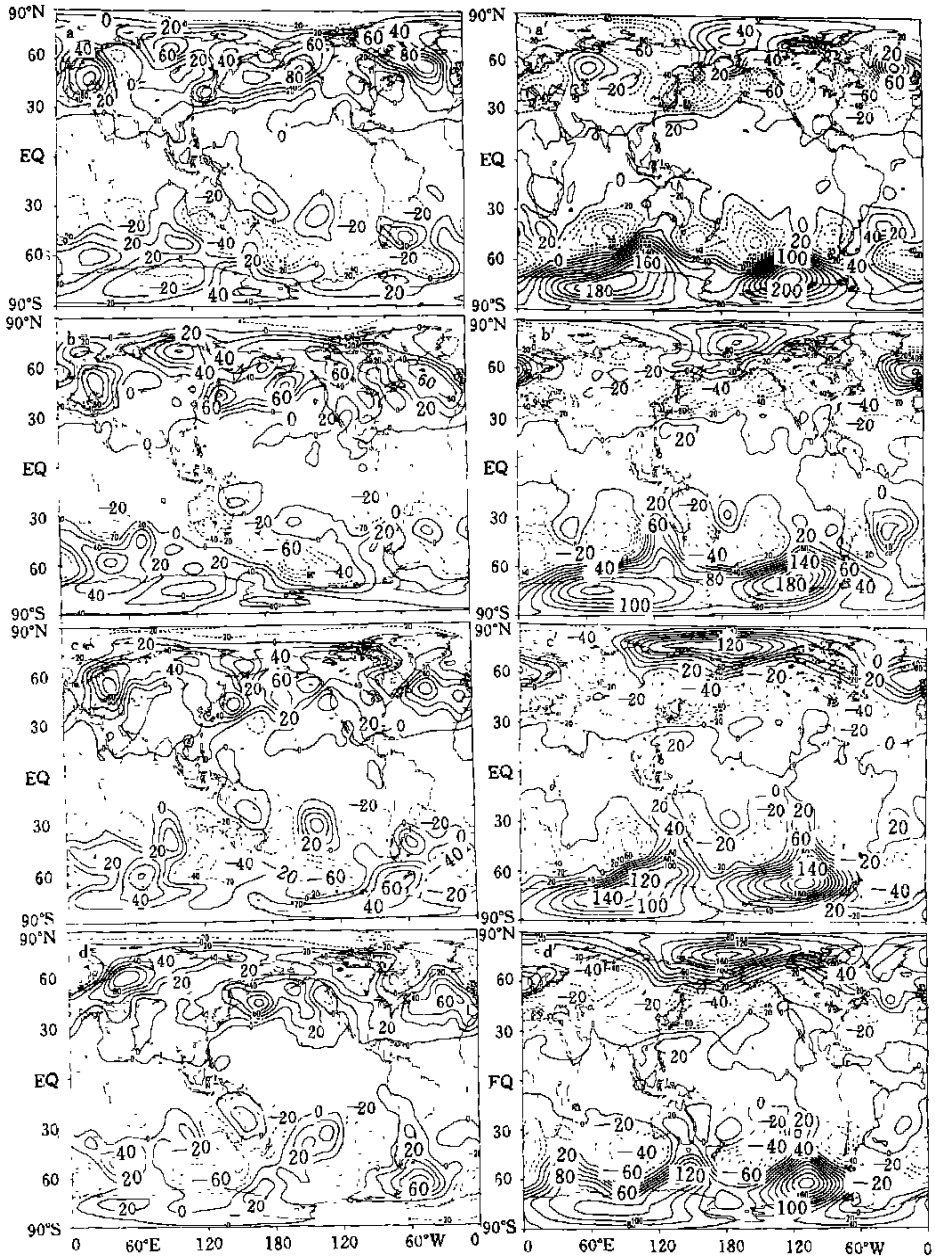


图 6 乌拉尔地区持续异常期间 9 d 平滑低通滤波的合成 500 hPa 合成距平场演变

(a ~ d: 正持续异常过程, 分别为 -4 d, -2 d, 0 d, +2 d;

a ~ d: 负持续异常过程, 分别为 -4 d, -2 d, 0 d, +2 d; 单位: gpm)

反的过程。而文中所得的结果并不是这样。

图 7 是乌拉尔正、负持续异常形成时, 从 -3 d 至 0 d 沿 60°N 纬圈低通滤波的高度距平垂直剖面图。对于正异常过程: 从 -3 d 至 0 d (图 7a ~ d), 乌拉尔附近对流层距平的符

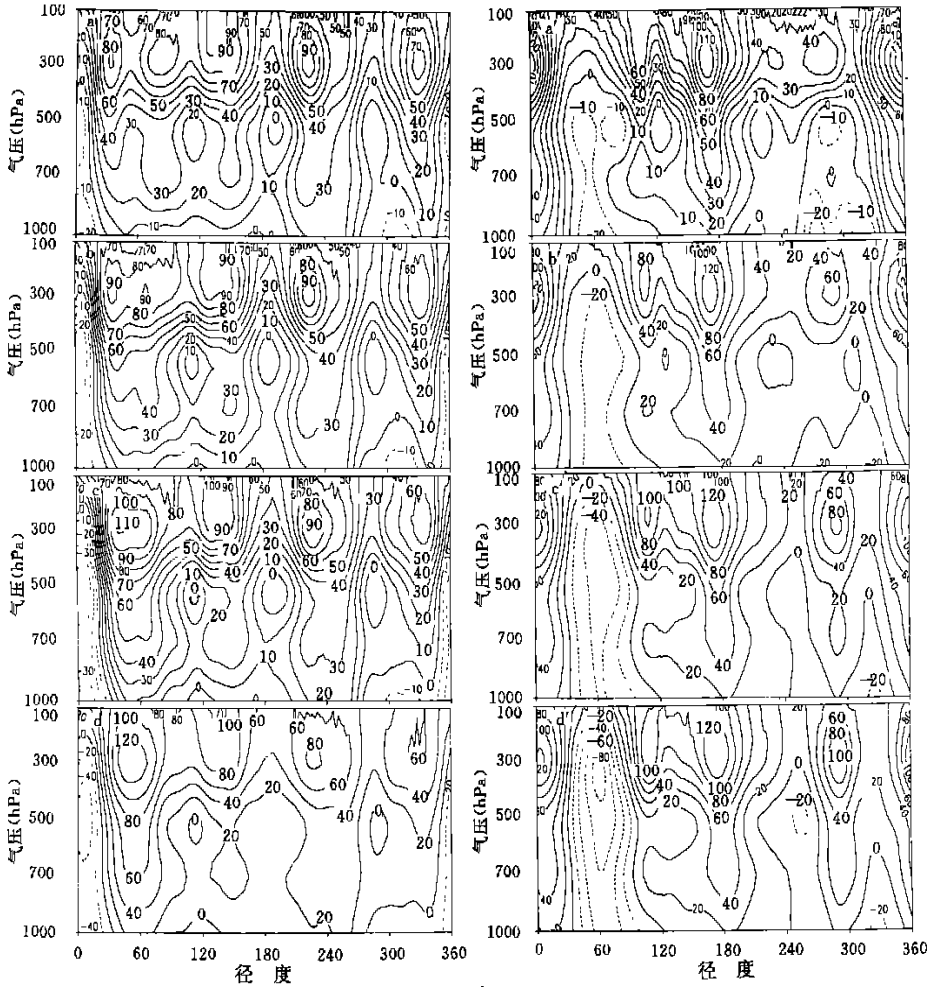


图7 乌拉尔地区正、负持续异常建立前沿 60°N 低通滤波的高度距平的垂直剖面图

(a~d: 正持续异常过程, 分别为-3 d, -2 d, -1 d, 0 d;

a~d: 负持续异常过程, 分别为-3 d, -2 d, -1 d, 0 d; 单位: gpm)

号上下一致, 呈相当正压结构, 最大距平位于 300 hPa 附近。-3 d (图 7a), 在 300 hPa, 有 2 个正距平大值中心分别位于 30°E 及 80°E。之后, 2 个中心向乌拉尔(60°E)汇合, 至 0 d, 发展成为一强正距平中心。可见, 异常的发展与位于乌拉尔西部的正距平中心的东移加强、及中西伯利亚的正距平中心西移有关。这 2 个距平中心合并打通, 乌拉尔正异常发展建立。与图 6a~d 所反映的一致。

对于负异常过程: -3 d (图 7a), 乌拉尔附近对流层距平的符号上正下负, 在对流层中层 500 hPa 附近及近地面层, 分别有负距平大值中心。之后负距平逐渐向上发展增强, 至 0 d, 乌拉尔附近整个对流层均为负距平, 相当于正压结构, 最大负距平中心位于 300 hPa 附近。可见, 负持续异常的形成主要是对流层中低层负距平在局地向上发展、并增强的结果。这是不同于正异常过程的。因此, 进一步说明了乌拉尔负持续异常的形成不是

正异常的简单相反过程, 不像文献[10, 13]所说的那么简单。

Dole<sup>[10]</sup>发现, 冬季太平洋持续异常的发展与随高度显著向西倾斜的扰动东移有关。垂直结构上, 距平分布有两个峰值, 分别在 300 hPa, 1000 hPa, 随着异常的逐步建立, 垂直倾斜逐渐减弱, 最后成为相当正压结构, 并由此认为北太平洋异常的增强包含着显著的斜压性。从这里的结果来看, 乌拉尔持续异常的发展过程明显不同于北太平洋, 正压过程起着更重要的作用, 而斜压作用却不明显。

为了说明上述结果是否因为滤波造成的, 也利用未滤波的资料计算了高度的垂直演变。结果表明, 距平的发展仍是相当正压的, 斜压性仍不明显。

图 8 是 -6d 至 +5d 沿 40~45°N 平均低通滤波的 500 hPa 纬向风  $u$  的逐日演变。可见, 从正异常发生的 -6d 开始, 乌拉尔以西(0~50°E)急流开始增强, 乌拉尔及以东(50~90°E)急流开始减弱, 随着正异常的建立, 西、东段急流的增强和减弱愈益明显, 负异常过程相反。急流的改变和持续异常建立是不可分的, 正异常建立之前, 西段急流的增强和乌拉尔及以东的减弱使乌拉尔地区成为急流的开口处, 这是正压不稳定区域, 有利于纬向伸长的涡旋从基本气流得到能量而发展, 从而有利正异常的建立。正异常的建立又迫使急流分支绕流, 使得西部急流继续增强, 乌拉尔地区本身及以东急流减弱, 负异常过程相反。可见先于异常建立之前, 急流已发生有利于持续异常建立的改变。

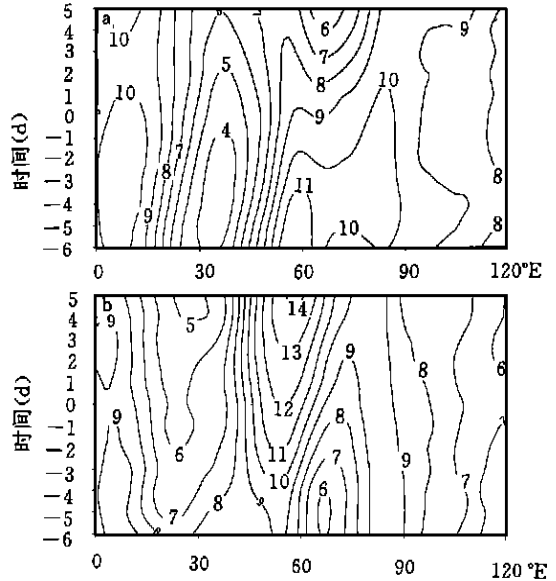


图 8 乌拉尔持续异常建立时沿 40~45°N 平均低通滤波的 500 hPa 纬向风时间-经度剖面

(a. 正持续异常, b. 负持续异常; 单位: m/s)

## 5 结论和讨论

在 Dole<sup>[8]</sup>的持续异常界定方法的基础上提出了一种适于全球分析的持续异常的界定方法, 并利用 NCEP/NCAR 1980~1998 年 6 月 1 日~8 月 31 日逐日再分析资料, 研究了北半球夏季持续异常的分布, 重点研究了乌拉尔地区反复出现的、长持续异常的背景环流及其演变特征, 得到以下结论:

- (1) 本文的持续异常界定方法能较好地分析全球持续异常的分布;
- (2) 乌拉尔正、负持续异常过程形成时, 背景环流的演变不具有对称性, 负异常过程并不是正异常过程的简单相反过程; 正持续异常的发展与具有相当正压结构的位于西南方的扰动的向东北发展, 并与位于东北方向中西伯利亚扰动的西移二者合并打通有关, 而负异常过程主要是局地负距平向上发展并加强的结果;
- (3) 正压过程对乌拉尔持续异常的形成起着主要作用, 明显不同于北太平洋持续异常发展;

(4) 乌拉尔正、负持续异常期间不仅北半球中纬度环流有明显差异, 而且在南、北半球的其它地区也有明显差异, 热带的差异在滤波后的低频流型上反映得更加清楚;

(5) 在异常发生前, 中纬度急流已发生有利于持续异常的建立的变化。

乌拉尔地区位于中高纬度, 关于中高纬度地区的持续异常的形成有人强调大气内部动力过程的影响, 有人强调外源强迫的作用。从合成分析的结果来看, 在持续异常发生前期, 正异常过程与位于地中海的具有相当正压结构的强正距平中心的向东北移动、及与位于东北方向中西伯利亚扰动的西移有关, 负异常则主要是局地负距平的发展增强, 正、负异常过程都没有发现自热带向乌拉尔地区传播的波列, 可见, 乌拉尔异常的发展不是热带热源直接激发 Rossby 波传播的结果。但是, 当乌拉尔地区发生异常时, 不仅北半球中高纬有相应的距平分布, 而且南半球中高纬也有一定的距平分布形式。尽管高度场上低纬热带看不出明显差异, 但是从异常期间流函数合成图及滤波后的低频流型来看, 热带环流也发生了异常, 说明中高纬的异常以某种方式与低纬热带的环流异常相联系。本工作也发现, 在异常建立前高空急流已发生了有利于距平型建立的改变, 而低纬热带热源异常又是其上空环流异常的最直接接触源, 可以通过 Hadley 环流等影响高空急流。因此, 热带热源异常虽不是乌拉尔持续异常的直接激发源, 但对它的形成可能起着某种作用, 其中的机理有待深入研究。

## 参考文献

- 1 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理与方法. 北京: 气象出版社, 1981. 257 ~ 261
- 2 毕宝贵. 南方持续暴雨北方多雷阵雨- 1998 年 6 月. 气象, 1998, 24(9): 58 ~ 63
- 3 杨克明. 暴雨频繁全国大部雨量偏多- 1998 年 7 月. 气象, 1998, 24(10): 58 ~ 61
- 4 丁一汇主编. 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1993. 48 ~ 53
- 5 Lu Riyu, Huang Ronghui. Numerical simulation of effect of SST anomalies in the tropical western Pacific on the blocking highs over Northeastern Asia. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1996, 14(4): 411 ~ 424
- 6 陆日宇, 黄荣辉. 东亚- 太平洋遥相关波列对夏季东北亚阻高年际变化的影响. *大气科学*, 1998, 22(5): 725 ~ 734
- 7 庄世宇, 纪立人. 夏季副热带西太平洋大气环流持续异常. *科学通报*, 1997, 42: 2196 ~ 2199
- 8 Dole R M, Gordon N D. Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: geographical distribution and regional persistent Characteristics. *Mon Wea Rev*, 1983, 111: 1567 ~ 1586
- 9 李金龙, 纪立人. 夏季北半球 500 hPa 位势高度场持续性异常的地理分布及区域特征. *大气科学*, 1994, 18(2): 163 ~ 172
- 10 Dole R M. 北太平洋上空的持续异常和阻塞系统的生命周期. 见: 1986, Roberto Benzi 主编, 吴国雄等译. 异常环流与阻塞. 北京: 气象出版社, 1990. 1 ~ 30
- 11 刘辉, 吴国雄等. 北半球阻塞高压的维持 I: 准地转和 Ertel 位涡分析. *气象学报*, 1995, 53(2): 177 ~ 185
- 12 Dole R M. Life cycles of persistent anomalies. Part I: Evolution of 500 mb height fields. *Mon Wea Rev*, 1989, 117: 177 ~ 211
- 13 李金龙, 李志锦, 纪立人. 北半球夏季环流持续性异常及其发展特征. *大气科学*, 1998, 22(1): 58 ~ 67

# PERSISTENT ANOMALY IN URAL AREA IN SUMMER AND ITS BACKGROUND CIRCULATION CHARACTERISTICS

Li Shuanglin Ji Liren

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

## Abstract

A definition method of persistent anomaly (PA in brief) is proposed based on Dole (1983), and it can be used for global analysis of anomaly circulation. The global distribution of PA is calculated by use of Re-analysis data of NCEP/NCAR (Jun. 1 to Aug. 31, 1980–1998) and the characteristics and evolution of background circulation of the PA over Ural area, which have long duration and maybe emerge repeatedly, are studied specially. It is concluded: (1) The definition method of PA proposed in this paper is suitable to analyze global PA; (2) Positive/Negative PA background circulation and their development have no symmetry, the development process of negative PA is not contrary to positive PA simply. The development of + PA is related to the movement to northeast of perturbation and to the westward movement of positive anomaly over mid-Siberia, which have equivalent barotropic structure and will merge as to the setup of + PA over Ural, while– PA results mainly from the development of local negative anomaly over Ural; (3) Barotropic process may be plays an important role in formation of PA, as is evidently different from PA over north Pacific; (4) There exists obvious difference not only in mid-latitudes of Northern Hemisphere, but also in tropics, high-latitudes and polar area of bi-Hemisphere. (5) Upper-Jet in mid-latitudes is benefit to the setup of PA before PA begins.

**Key words:** Ural area, Summer, Circulation persistent anomaly, Background circulation.