

冬季乌拉尔山月平均阻塞形势 的统计分析和数值试验

章基嘉 叶正青* 雷兆崇 孙照渤

(中国气象科学研究院)

(南京气象学院)

摘要 根据冬季(12、1、2月)乌拉尔山地区月平均阻塞形势集中出现的范围和强度定义了一个阻塞指数。相关分析表明:乌拉尔山月平均阻塞与中国月平均气温有较大的负相关关系;它和全球海表温度之间存在三个明显的高相关海区:北太平洋热带东部海区、北大西洋热带和中纬度海区以及阿留申群岛西南方的海区。应用两层原始方程谱模式,在以上3个海区上空加入理想的非绝热孤立热源强迫分别做数值试验。结果表明:3个海区上空的非绝热孤立热源强迫通过激发准定常的 Rossby 波列而影响乌拉尔山阻塞。数值试验的动力学诊断结果显示:孤立热源强迫加强了乌拉尔山阻塞区上游槽和下游切断低压;阻塞区的低频涡度拟能主要来源于低频涡动自身的相互作用。

关键词 阻塞,海表温度,数值试验,动力诊断

自 Wallace 和 Gutzler^[1]利用多年观测资料计算北半球遥相关发现大气环流的变化与异常存在5种遥相关型以来,人们对遥相关的物理机制做了较为深入的研究。Shukla 和 Wallace^[2]利用数值模式说明了赤道太平洋 SST 异常会引起北半球 PNA 型的大气环流异常。根据 Bjerknes 的研究^[3],SST 的异常不仅可以影响它对大气的感热作用,而且在海洋对大气的潜热贡献方面也存在很大的影响。因而,由 SST 异常引起的凝结潜热异常强迫产生的遥相关型可能也是阻塞形成和维持的一种机制。

北半球有两个主要阻塞区,分别位于大西洋东部和太平洋东部。另外,冬季还有一次级阻塞区(该区阻塞发生的频率比两个主要阻塞区低,但又比其他地区要高得多),位于乌拉尔山附近,这就是冬季乌拉尔山阻塞区。本文研究该地区的阻塞现象。

1 资料来源和分析方法

使用的 500hPa 月平均高度场资料是 1956—1986 年北半球 $5^{\circ} \times 10^{\circ}$ 的网格点资料;气温资料是中国 160 个标准站 1956—1986 年月平均气温资料,均来源于北京国家气象中心。海表温度资料是 1956—1986 年 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 的全球月平均网格点资料,取自美国全球综合海气资料集(COADS)。

* 南京气象学院研究生
收稿日期 1992-09-12

设 j 月的月平均海温场或中国气温场为 $y_j(t, s)$, i 月乌拉尔山月平均阻塞指数为 $x_i(t)$, 其中 t 为年序号, s 为海温或气温场空间格点序号。

对应某一个月, 计算海温(或气温)与乌拉尔山阻塞指数的相关系数的公式为

$$l_{i,j}(S) = \frac{\sum_{t=1}^T (x_i(t) - \bar{x}_i)(y_j(t, s) - \overline{y_j(s)})}{[\sum_{t=1}^T (x_i(t) - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{t=1}^T (y_j(t, s) - \overline{y_j(s)})^2]^{1/2}} \quad (1)$$

(1)式中, 取 $T=30$ 年, $\bar{x}_i$ 为第 i 月 30 年阻塞指数的平均值, $\overline{y_j(s)}$ 为 s 格点第 j 月的海温(或中国气温)的 30 年平均值。 $i=12, 1, 2, j=6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 1, 2$ (对中国气温, $j=12, 1, 2, 3, 4, 5, 6$)。

2 冬季乌拉尔山月平均阻塞指数与中国气温的关系

2.1 月平均阻塞指数的定义

本文讨论的乌拉尔山阻塞区是 $50^{\circ}\text{--}80^{\circ}\text{E}, 45^{\circ}\text{--}65^{\circ}\text{N}$ 之间北半球冬季阻塞频率高发区。查阅历史天气图可知, 冬季乌拉尔山阻塞个例的高压中心绝大部分位于 $60^{\circ}\text{--}70^{\circ}\text{E}, 55^{\circ}\text{--}60^{\circ}\text{N}$ 这一范围之内。因此, 我们定义月平均乌拉尔山阻塞指数为

$$WB = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 H'_{\lambda_i, \varphi_j} \quad (2)$$

其中 $H'_{\lambda_i, \varphi_j}$ 表示 500hPa 等压面上相对于长时间平均的月平均位势高度的纬偏值。 $\varphi_1=55^{\circ}\text{N}$, $\varphi_2=60^{\circ}\text{N}$, $\lambda_1=60^{\circ}\text{E}$, $\lambda_2=70^{\circ}\text{E}$ 。计算所得的月平均乌拉尔山阻塞指数与历史天气图对照可知, 该指数能较好地反映冬季乌拉尔山地区月平均阻塞的强弱。

2.2 冬季乌拉尔山月平均阻塞指数同中国气温的关系

冬季乌拉尔山各月的阻塞指数与中国 160 个标准站的月平均气温的相关分析表明: 月平均阻塞指数与中国月平均气温之间存在明显的同期负相关, 而滞后相关不如同期相关明显。

由图 1 可知, 中国绝大部分地区的负相关系数都在 -0.5 以下。从整体上看, 中国北部的负相关系数的绝对值较大, 华南地区的负相关性较弱, 而且, 相关系数场呈南北向分布, 与北方冷空气逐渐南下的影响程度有关。图中, 粗实线表示 -0.36 和 -0.46 的相关系数等值线, 分别代表通过了 0.05 和 0.01 信度检验的临界线。

以上分析表明, 冬季乌拉尔山的月平均阻塞是影响我国冬季气温变化的一个重要因素。故进一步研究其形成和维持的机制, 对我国冬季气温变化的预报无疑是很有意义的。

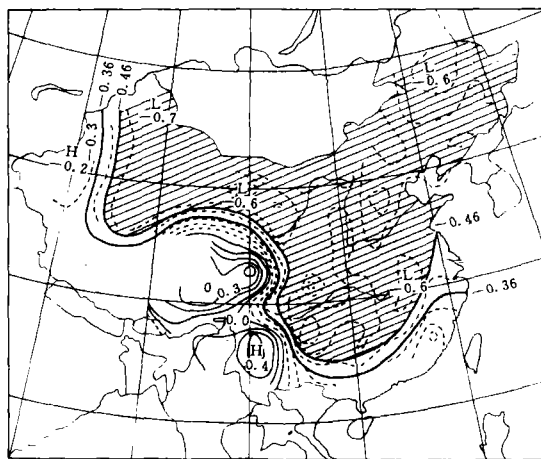


图 1 冬季乌拉尔山 12 月的月平均阻塞指数与中国 12 月份气温的相关系数分布(等值线间隔为 0.1, 细实线为零和正值, 虚线为负值)

3 乌拉尔山冬季月平均阻塞指数与全球海表温度的相关分析

海洋,历来被人们认为是冬季大气的重要热源,它在夏季贮存太阳辐射能,在冬季不断地向大气释放。象海洋如此巨大的季节性热源,对冬季大气的准静止超长波及阻塞形势的形成和维持会有较大的影响。

冬季各月的 SST 与冬季乌拉尔山各月平均阻塞指数的同时相关分析及夏半年各月 SST 与冬季乌拉尔山月平均阻塞指数的滞后相关分析表明,不同的月份对应的相关系数场虽然各具特点,但也存在几个明显的共同区域:北太平洋东部热带海区、北大西洋海区和阿留申群岛西南海区(图略)。这 3 个相关中心密集区在各相关场中相关系数绝对值较大、区域较广,因而,它所表现的相关性具有一定的物理意义。北太平洋东部热带海区的相关显著区与该区 SST 异常有关;北大西洋的相关显著海区与墨西哥湾暖流和北大西洋暖流以及赤道北大西洋暖流流经的区域相一致^[5]。由于北大西洋整个赤道以北几乎都是相关系数较大的正相关区,因而按地理和洋流特征,可分成两部分:北大西洋中高纬度海区和热带大西洋海区;阿留申群岛西南海区的相关显著区域基本上与千岛群岛的冷流区相一致。

由此可见,冬季乌拉尔山阻塞的变化与北太平洋东部热带海区 SST 的异常、墨西哥湾暖流和北大西洋暖流、赤道北大西洋暖流以及千岛寒流的强弱有密切的关系。

4 热源强迫对乌拉尔山月平均阻塞影响的数值试验

4.1 模式介绍

用复杂的大气环流模式来研究乌拉尔山阻塞无疑是一有力的工具,但费时很多,因此人们常用结构简单的模式来进行大气对单一外源强迫的敏感性试验。

本文运用一个考虑了 Rayleigh 摩擦、Newton 冷却的纬向对称的非绝热加热和 $\Delta^2 h$ 的水平耗散的全球两层干动力的原始方程谱模式。该模式是在文献[4]模式的基础上加进孤立热源强迫项,并在其他几处做适当改进而成。

4.2 数值试验及其结果分析

由第三部分的分析结果可知,在北太平洋东部热带地区和整个北大西洋存在两个与冬季乌拉尔山月平均阻塞指数呈较大正相关的海洋区域。另外,在阿留申群岛西南还有一负相关区。受到这些结果的启示,分别在 these 地区加入非绝热孤立热源强迫来分析模式对其响应的结果。下面就数值试验的结果进行分析讨论。

数值试验中模式的各参数取法是 $k_d = 2.5 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $C_d = (10 \text{ 天})^{-1}$, $Q_0/c_p = 2.5 \text{ Kd}^{-1}$ 。

图 2 分别给出强迫中心位于热带东太平洋海区(15°N, 120°W)和中纬度北大西洋海区(40°N, 45°W)上空时,模式积分第 60—90 天上层平均的扰动流函数图(图中“X”为热源中心)。由图可见,孤立热源强迫的非线性响应是准定常的 Rossby 波列结构。孤立热源通过激发准定常的 Rossby 波列而在乌拉尔山阻塞区形成扰动流函数的正值中心(对应于反气旋涡度),从而有利于乌拉尔山阻塞的形成和维持。即这些地区的 SST 正距平对冬季乌拉尔山阻塞有增强的贡献。北大西洋热带海区上空的热源强迫也有类似的结果(图略),只是阿留申群岛西南海区的强迫通过激发准定常的 Rossby 波列在欧亚大陆中纬度地区的模式上层形成弱的扰动流函数的负值区,不利于乌拉尔山阻塞的形成和维持(图略)。这与第三部分得出的结果一致。

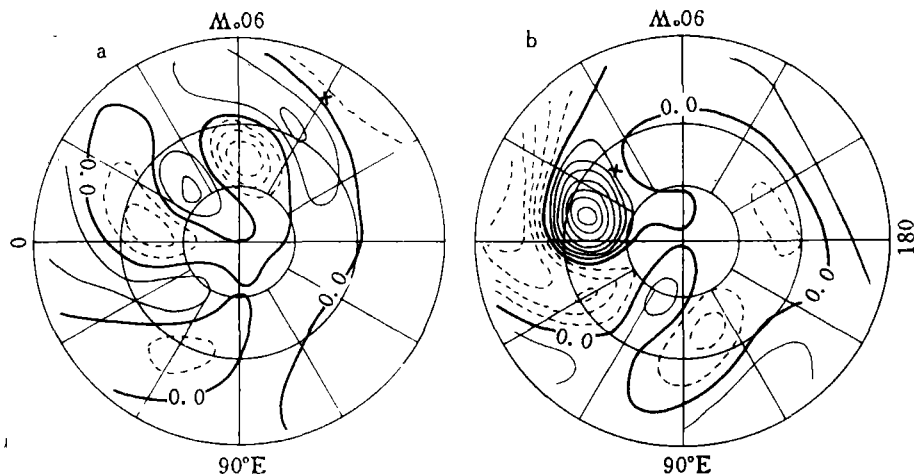


图2 孤立热源强迫中心位于不同地区的上层(250hPa)30天平均扰动流函数图

实线为零或正值,虚线为负值

(a)强迫中心位于(15°N,120°W),等值线间隔为 $0.5 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$

(b)强迫中心位于(40°N,45°W),等值线间隔为 $1.0 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$

5 数值试验结果的动力学诊断

在某段时间间隔 τ 内的低频涡度拟能在某一点的动力收支方程可写为

$$LF = -diss - res$$

这里, LF 表示低频之间及低频与时间平均流之间的相互作用对低频涡度拟能的贡献。 $diss$ 为低频涡度拟能的耗散项(包括线性拖曳和扩散项的作用), res 为除上述作用之外其他各项对低频涡度拟能的贡献。它们的表达式如下

$$LF = \int_0^{\tau} -[\nabla \cdot (\tilde{v}f + \tilde{v}\tilde{\xi})] \tilde{\xi} \cdot dt$$

$$diss = \int_0^{\tau} [-C_d \tilde{\xi} + k_d (\nabla^2 \tilde{\xi} + \frac{2}{a^2} \tilde{\xi})] \cdot \tilde{\xi} \cdot dt$$

$$res = -LF - diss$$

为了分析高频波相互作用对低频涡度拟能的贡献,还对 res 项中与高频波有关项的动力收支进行了计算

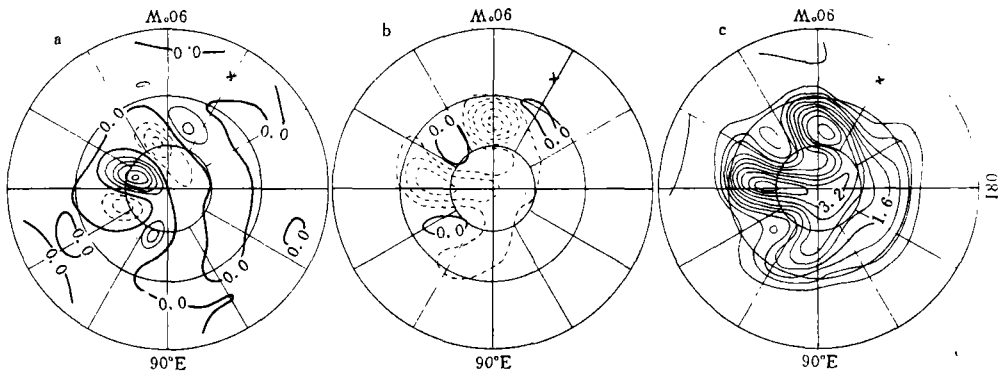
$$HF = \int_0^{\tau} [-\nabla \cdot \tilde{\xi} \tilde{v}] \cdot \tilde{\xi} \cdot dt$$

$$HLF = \int_0^{\tau} [-\nabla \cdot (\tilde{\xi} \tilde{v} + \tilde{\xi} \tilde{v})] \cdot \tilde{\xi} dt$$

HF 表示高频与高频之间的相互作用对低频涡度拟能的贡献, HLF 表示高频与低频(包括时间平均)之间的相互作用的低频涡度拟能分量, $\tilde{x}\tilde{x}$ 分别表示变量 x 的低频、高频部分。

将引点对称低通数字滤波器用于时间序列 x_n , 滤波后变为 $x_n = \sum_{n=-15}^{15} a_n x_n$, 定义如下的高通滤波序列: $x\hat{x}_n = x_n - x\tilde{x}_n$ 。滤波后的时间序列保存了周期大于10天的波动。由于是对称滤波器, 滤波器系数 $a_{-n} = a_n$ 。图3为北太平洋东部热带地区非绝热孤立热源强迫情况下 LF 、 $diss$

及低频涡度拟能的平均值图。图中最显著的特征是各项对低频涡度拟能的贡献呈正负中心相间的波列结构。在乌拉尔山阻塞区, LF 对低频涡度拟能的贡献有一正值区, 且量级较大 (10^{-15})。 LF 的分布与 $diss, res$ 的分布基本上保持反位相关系 (即被 $diss, res$ 所平衡 (res 分布图略))。 LF 贡献越大的地方, 耗散作用也表现得越强。 HF 的量级很小 (10^{-22}), 基本上与 res 同位相。 HLF (10^{-18}) 比 LF 的量级小得多, 但比高频之间引起的动力收支项 HF 要大好几个量级 (HF, HLF 分布图略)。事实上, res 项中除包含与高频作用有关的 HF, HLF 外, 还包含了倾斜项和垂直平流项的作用。通过以上的量级比较可知, 低频涡动 (包括与时间平均流) 之间的相互作用以及倾斜项和垂直平流项对阻塞区低频涡度拟能的影响是至关重要的。其中低频



山阻塞区低频涡度拟能主要来自于低频涡动自身之间的相互作用。热带非绝热强迫能引起中高纬度低频涡度拟能的较大变化,说明热带地区的加热作用可能是中高纬度低频变化的重要能源之一。

在模式的调试过程中袁建强同志提出了有益的建议,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 Wallace JM, Gutzler DS. *Mon Wea Rev*, 1981; 109: 784—812
- 2 Shukla J, Wallace JM. *J Atmos Sci*, 1983; 40: 1613—1630
- 3 Bjerknes J. *Mon Wea Rev*, 1969; 97: 163—173
- 4 Zhang Jijian et al. *Acta Meteor Sinica*, 1992; 6(3): 386—389
- 5 章基嘉, 葛玲. 中长期天气预报基础. 北京: 气象出版社, 1983: 257—262

NUMERICAL EXPERIMENTS ON AND STATISTICAL ANALYSIS OF MONTHLY MEAN BLOCKING OVER THE URALS IN WINTER

Zhang Jijia Ye Zhengqing

(China Academy of Meteorological Sciences)

Lei Zhaochong Sun Zhaobo

(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract The present paper has defined a blocking index in terms of the range and intensity of the monthly mean blocking over the Urals in winter (December, January and February). Correlation analysis indicates that monthly mean blocking over the Urals has a pretty large anticorrelation with the monthly mean temperature in China. Between the blocking index and the global SST there exist three significant correlation regions; eastern part of the Northern tropic Pacific, Northern tropic Atlantic and midlatitude sea region, and the South-west Aleutians. Using the spectral model of a two-level primitive equation, numerical experiments have been conducted on the above-three sea regions after steady diabatic isolated heatsource forcings have been added. Results show that the heatsource forcings in the three sea regions have an effect upon the Ural blocking through exciting the quasistationary Rossby wavetrain. The dynamic diagnosis of the numerical experiments indicates that the heatsource forcings have intensified the cut-off low in the upperstream and downstream doughs of the Ural blocking region; and the LF enstrophy of tam and downstream doughs of the Ural blocking region; and the LF enstrophy of the blocking region comes mainly from the interactions of the LF eddies themselves.

Key words blocking, SST, numerical experiment, dynamic diagnosis