

夏季西风带定常扰动对东北亚 阻塞高压的影响*

陆日宇 黄荣辉

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 利用 ECMWF 1980~1988 年 9 年的格点资料, 分析了定常扰动与东北亚阻塞高压之间的关系。分析结果表明: 定常扰动的分布对阻塞高压维持日数有着重要的影响。定常扰动的季节变化可以很好地说明阻塞高压冬季多在太平洋和大西洋上发生和维持, 而夏季多在东北亚地区发生和维持的特征。此外, 从定常扰动的分布可以看到, 不仅中高纬地区上空的正距平强度可以影响着阻塞高压的发生和维持, 其南侧的负距平强度也同样重要地影响着阻塞高压。分析结果还表明: 不仅定常扰动的水平结构对阻塞高压有着重要影响, 其垂直结构亦有着重要影响。最后, 对夏季定常扰动进行了波数域分析, 表明在夏季定常扰动的作用主要通过其中所包含的行星波, 特别是行星波 1 波来实现, 定常扰动中行星波部分的振幅变化是影响阻塞高压发生和维持的重要物理机制。

关键词 定常扰动 阻塞高压 行星波

1 引言

阻塞高压的时间尺度为中期天气过程, 即 10 天左右。它的演变过程受到天气尺度波动的作用, 这方面已有了大量研究^[1~5]。目前, 已从研究具体阻塞过程扩展到对长时间内阻塞高压的变化特征及其数值模拟的研究^[6~8], 其目的是为了弄清阻塞高压的气候行为特征, 并改善模式对阻塞高压和气候的模拟能力。

作为一种中期天气过程, 阻塞高压与准定常行星波(波数小于 4)或低频波(时间周期大于 10 天)有着密切的关系。Austin^[9]利用行星波之间的相干对大西洋和太平洋上的阻塞高压进行了解释。黄荣辉和邹捍^[10]以及陆日宇和黄荣辉^[11]诊断分析了阻塞高压的演变过程, 发现在阻塞高压形成和维持期间行星波有异常增幅。此外, 还有研究表明阻塞高压与持续性环流异常都和低频波有着密切的联系^[12]。

低频波异常增幅发生和维持的能量要么来自准定常扰动, 要么来自天气尺度波。关于天气尺度波对低频波或阻塞高压的作用, 已有了大量的研究, 但关于准定常扰动与低频波或阻塞高压的关系的研究却不多^[13,14], 目前一般认为定常扰动的作用不足以引起低频波在短时间(几天)内迅速增幅。

1998-03-27 收到, 1998-10-14 收到再改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论的研究”、中国科学院重点项目“ENSO 对东亚气候异常的影响及其物理过程的研究”(KZ952-S1-401)以及国家自然科学基金资助项目 49605065 共同资助

一些研究^[10,11]发现,阻塞高压形成前,波动与平均流相互作用的结果使得平均流(西风)减弱,而这种减弱后的平均流给阻塞高压的建立和维持提供了一种先行条件。Kaas 和 Branstator^[15]利用观测资料及数值模拟结果,也表明冬季在大西洋和太平洋上阻塞过程发生频繁的时候,大体上在 30°N 为强的纬向平均气流,而在 $50\sim 60^{\circ}\text{N}$ 为弱的纬向平均气流。进一步的分析结果表明,是环流背景为阻塞高压的频繁出现提供了先行条件,而不是因为阻塞高压频繁出现造成某种特定的环流型,即大尺度环流背景在前,阻塞高压的频繁出现在后。

由此,我们可以认为大尺度的大气环流形势为阻塞高压提供一种先行条件,当这种环流形势对阻塞高压的建立有利时(如减弱的纬向平均流),低频波将从准定常扰动中得到能量并发展,而这种发展了的低频波可以与高频波(或天气尺度波)产生一种共生关系^[16,17],即低频波可以调制、引导高频波,而高频波则向低频波提供正压能量,阻塞高压也就得以建立和维持。

因此,有必要对阻塞高压能够频繁出现时的大尺度环流背景进行研究。这种大尺度环流背景包括两种较长的时间尺度,即定常扰动(多年平均)和准定常扰动的年际变化(如季节平均的年际异常)。在本文中,将着重研究定常扰动对东北亚阻塞高压的影响,这里的定常扰动是指多年平均的、去除了纬向平均后的大尺度扰动。关于准定常扰动的年际变化对东北亚阻塞高压的影响可参见文献[18]。

2 阻塞高压的定义和资料

迄今为止,对阻塞高压的定义有许多种。我们采用孙墨国^[19]的阻塞高压定义。他的阻塞高压定义如下:(1)要有高压中心存在;(2)高压中心位于 50°N 到 75°N 之间;(3)高压中心移动速度在一天里沿纬圈方向不超过 $7\sim 8$ 个经度;(4)高压中心持续至少 5 天。

孙墨国将这些标准进行量化,整个量化过程考虑了阻塞高压的天气学特征。这种量化过程与 Tibaldi 和 Molteni^[20]客观识别方法具有较大的差别。孙墨国利用 ECMWF 1979 年 12 月 1 日至 1988 年 11 月 30 日 12 时 500 hPa 的分析资料识别出北半球的阻塞高压。

本文之所以利用孙墨国的定义及识别结果,而不用 Tibaldi 和 Molteni 的定义的原因在于:前者明显地更为重视阻塞高压的天气学特征,而后者因利用位势高度的南北差异来判定阻塞高压,所以判定出的阻塞高压频度与定常扰动的分布可能会有人为的联系。

资料采用 ECMWF 1980 年到 1988 年的 7 层网格资料,这 7 层为 1000、850、700、500、300、200 以及 100 hPa,要素为位势高度,时次为 12 时。之所以选取 1980 年到 1988 年这 9 年的时段,一方面是因为已有识别好的阻塞高压,另一方面还便于与 WCRP 报告书中的结果^[8]相比较。在这里,值得一提的是,该报告书中采用的阻塞高压定义与 Tibaldi 和 Molteni 的定义极为相似。

3 定常扰动对阻塞高压的影响

阻塞高压的发生和维持具有十分明显的季节变化(参见文献[8]中图 6a)。在冬季,

阻塞高压多发生在大西洋和太平洋上空,而到了夏季,阻高多发地区由太平洋分裂为两个,即东北亚地区和阿拉斯加。在一年四季中,秋季阻塞高压发生的频率(以阻塞日数计,下同)最少。

在本文中,将着重讨论定常扰动对夏季东北亚阻高的影响。但本文的大部分结果对其他季节、其他地区应该也是适用的。这里,东北亚地区是指 $110^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 的中高纬地区,即包括俄罗斯滨海地区和鄂霍次克海。在夏季,整个北半球中阻塞日数最多的地区正是这一地区。正因为如此,东北亚阻塞高压可以对我国东部地区夏季气候异常产生重要的影响。

图 1 为 1980 年到 1988 年平均的夏季(6~8 月)定常扰动在 500 hPa 的分布。可以看到在东北亚地区和阿拉斯加上空为正距平,而在它们的南部为负距平。这种北正南负的距平分布说明这些地区上空纬向平均气流较弱。正如在引言中所指出的那样,这种平均气流(西风)的减弱可以为阻塞高压的发生和维持提供先行条件。

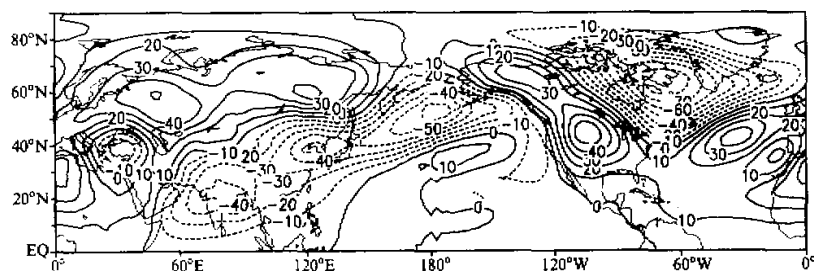


图 1 1980~1988 年平均的夏季(6~8 月)定常扰动在 500 hPa 的分布

图 2 为 500 hPa 上 60°N 和 40°N 之间的定常扰动之差,这两个纬度是根据图 1 的定常扰动分布而定的。在冬季,定常扰动之差在大西洋和太平洋上空为正,即 60°N 上定常扰动部分的位势高度的距平大于 40°N 上的距平。到了夏季,太平洋上的正中心分裂为两个,一个位于东北亚地区,另一个位于阿拉斯加上空。图 2 中的正值区大致对应着北半球阻塞高压的频发地区和季节(参见文献[8]图 6a),不大吻合的原因可能是因为图 2 中限定了纬度,而实际上阻塞高压不只是发生在 60°N 附近。因此,我们可以说阻塞高压维持日数和地理位置的季节变化与定常扰动有着密切的

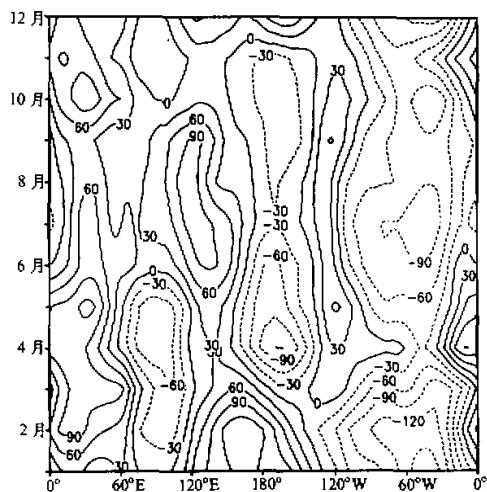


图 2 500 hPa 上夏季定常扰动在 60°N 和 40°N 之间的差值

联系。

虽然以上结果表明定常扰动与阻塞高压有着密切的关系，但我们尚不能说明是不是定常扰动影响阻塞高压，因为阻塞高压在某一个季节、某一地区经常发生并得以维持的话，该季节、该地区也会出现北正南负的距平分布。下面，我们将分析一下非阻塞期间定常扰动的分布，来研究定常扰动是否能够影响阻塞高压。

图 3 为夏季东北亚非阻塞期间（即东北亚地区无阻塞高压发生的时候）平均的定常扰动分布，可以看到它与图 1 中所显示的夏季平均定常扰动在分布和强度上十分相近。从非阻塞期间在东北亚也有明显的北正南负的距平分布这一事实，我们可以说明夏季的定常扰动分布不受阻塞高压的支配，而定常扰动确实能够影响阻塞高压。

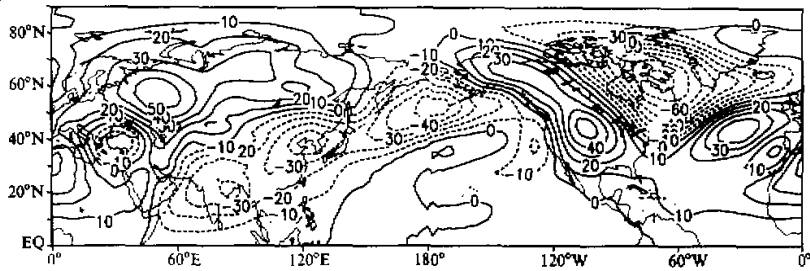


图 3 500 hPa 上夏季东北亚非阻塞期间平均的定常扰动分布

4 定常扰动的垂直结构对阻塞高压的影响

首先，考察一下东北亚阻塞日数在夏季不同月份当中所表现出来的不同特点。表 1 列出了 1980 年到 1988 年夏季各月东北亚阻塞高压维持的日数，可以看到阻塞日数在 6 月和 7 月差不多，但在 8 月明显少于 6、7 月。

表 1 夏季各月东北亚阻塞日数

| | 1980 年 | 1981 年 | 1982 年 | 1983 年 | 1984 年 | 1985 年 | 1986 年 | 1987 年 | 1988 年 | 平均 | 方差 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|-----|
| 6 月 | 4 | 4 | 12 | 23 | 5 | 0 | 15 | 13 | 10 | 9.6 | 6.9 |
| 7 月 | 14 | 7 | 20 | 10 | 6 | 0 | 21 | 13 | 15 | 11.8 | 6.4 |
| 8 月 | 13 | 0 | 6 | 6 | 5 | 0 | 7 | 7 | 0 | 4.9 | 3.7 |

为考察产生阻塞日数这种月际变化的原因，首先给出 500 hPa 上各个月平均的定常扰动分布（图 4）。首先，在 6 月份，定常扰动正距平中心位于乌拉尔地区和北美地区。虽然在乌拉尔地区有最为强大的正距平中心，但阻塞日数最多的地区却是东北亚地区。这说明影响阻塞高压发生和维持频率的是定常扰动的北正南负的距平分布，而不仅仅是定常扰动的正距平强度，这一点在 7、8 月的定常扰动分布中也同样可以显现出来。但是，从图 4 中却不能找出 8 月东北亚阻塞日数少的原因。事实上，在东北亚地区，定常扰动在 8 月份的分布也同样具有北正南负的特点，即东北亚为正距平，其南部为负距平，而且距平强度较 6、7 月更大些。

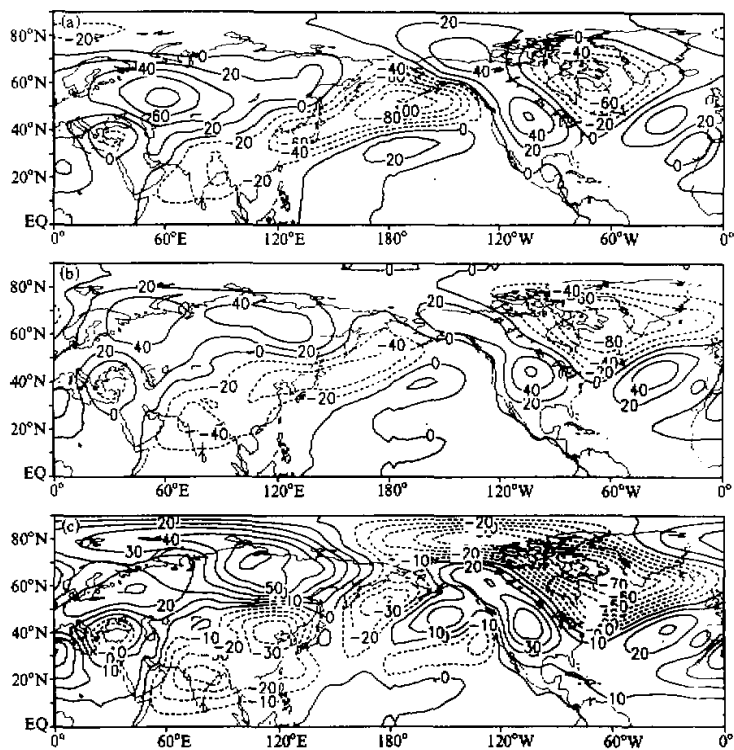


图4 500 hPa 上夏季各个月平均的定常扰动分布
(a) 6月; (b) 7月; (c) 8月

从表1中可以看出东北亚阻高具有十分明显的年际变化, 各月阻塞日数方差值均超过平均阻塞日数的一半。因而, 环流的年际变化(即准定常扰动的年际变化)或许是8月份东北亚阻塞日数少的原因。事实上, 夏季东亚/太平洋型遥相关波列可以影响东北亚阻高的年际变化^[18]。为考察准定常扰动的年际变化在6、7、8月可能有的不同作用, 我们计算了这三个月500 hPa月平均位势高度场的方差值, 但从中未能看出东北亚地区的方差值在不同月份表现出什么明显的差别(图略)。因此可以认为准定常扰动的年际变化在不同月份的作用也不会有很大的差别, 因而也不会是8月份东北亚阻塞日数少的原因。

下面再对定常扰动进行进一步的分析, 分析定常扰动在6、7、8月的垂直结构。图5和图6分别为夏季各月定常扰动沿120°E和135°E的垂直分布。在图5中, 定常扰动表现出相当好的正压性, 在6、7、8月中均为中高纬正距平、中纬负距平的分布, 没有表现出8月份有什么明显的差别。但在图6中, 即沿135°E, 可以看到8月份定常扰动的垂直分布发生了明显的变化, 此时, 中纬地区的定常扰动明显具有斜压性的分布, 正是这种分布可以造成8月东北亚阻塞日数少。实际上, 8月份的阻塞高压多发生在东北

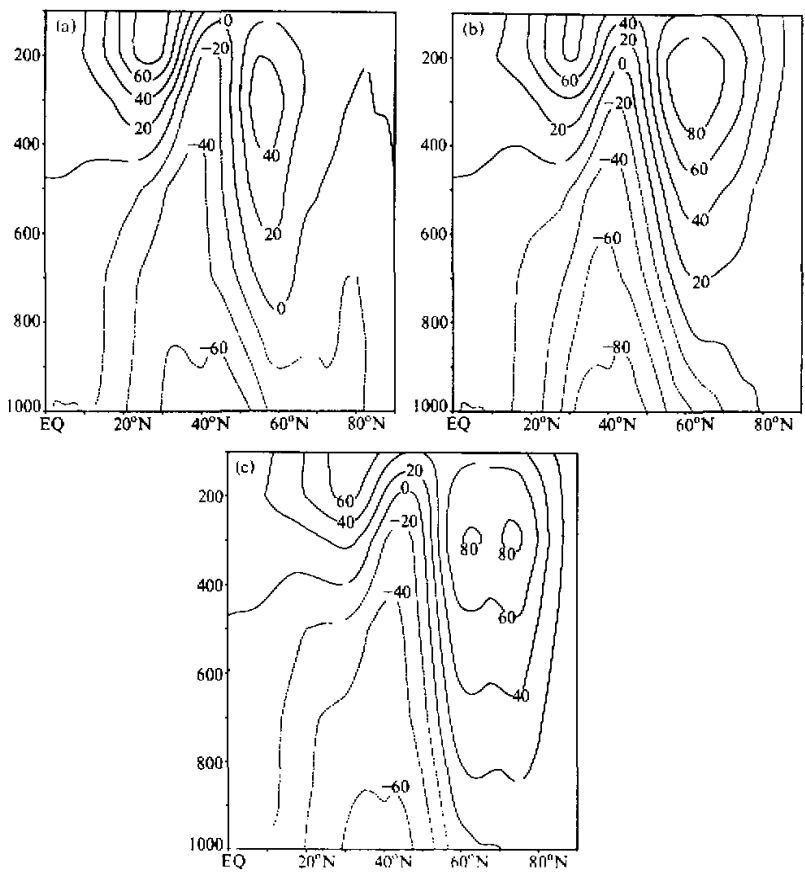


图5 夏季各月定常扰动沿120°E的垂直分布
(a) 6月; (b) 7月; (c) 8月

亚地区的西部。因此，虽然定常扰动在6、7、8三个月在500 hPa上差不多，但其垂直分布在8月份发生了突然的变化。由此，我们可以认为作为阻塞高压频发的先行条件，定常扰动不仅要具有北正南负的距平分布，而且还应具有正压结构，即不同等压面上都应具有北正南负的距平分布。

5 对定常扰动的波数域分析

在前两节（第3节和第4节）中，我们诊断分析了夏季定常扰动和夏季东北亚阻塞高压之间的关系，发现定常扰动的水平结构和垂直结构决定了东北亚阻塞高压发生和维持的频度。在本节中，将利用波数域分析的方法继续研究定常扰动在夏季不同月份中所表现的不同特点，以及与阻塞高压发生频率的关系。

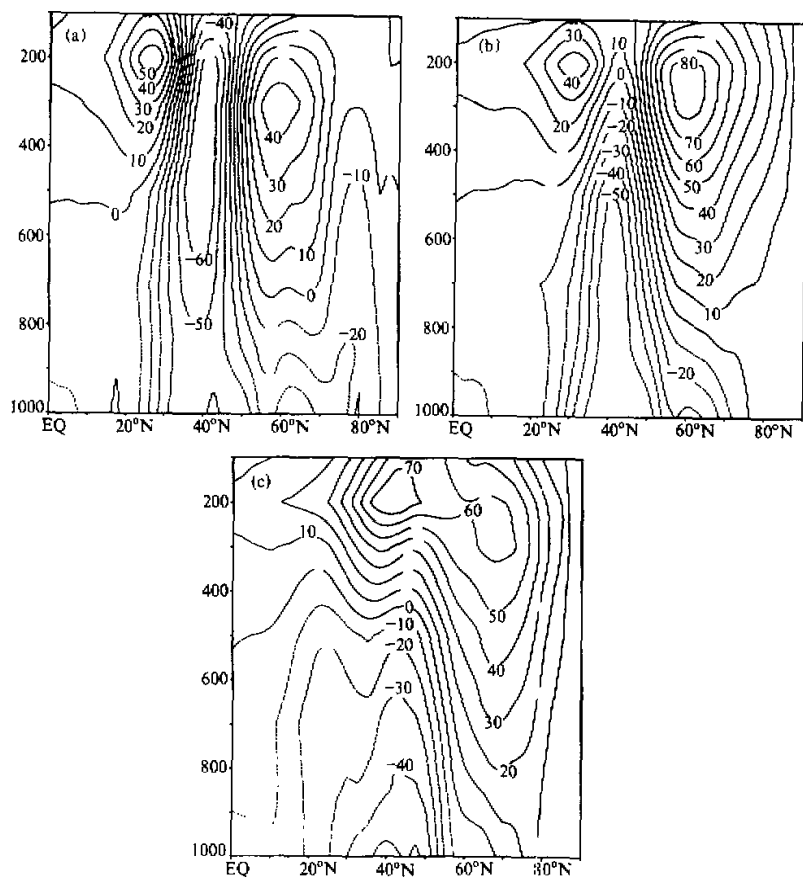


图6 夏季各月定常扰动沿135°E的垂直分布, 其余同图5

图7为夏季中、高纬(30°N~70°N之间平均的)定常扰动1到4波动能之和以及1波动能随时间的变化, 单位为 10^4 J m^{-2} 。虽然这里的数值只是由500 hPa等压面上的资料计算得出的, 但单位已经换算成相当于单位面积上气柱内的动能。该图表明, 在夏季中、高纬地区, 定常扰动当中行星波的成分总的来说6月最大, 在7月当中逐渐减小, 8月最小。6月份行星波的增幅主要表现在中旬有一个十分明显的高峰。与冬季相比, 在夏季, 因海陆热力分布差异比较弱, 行星波的强度较弱, 空间尺度也变得复杂, 除了1~2波, 行星波3~4波也相对比较强。但我们还是可以看到, 行星波1波动能的变化趋势与1到4波动能之和十分类似。事实上, 1波的成分大于其余各波(2到4波)。虽然其余各波也有类似的变化趋势, 但不如1波的变化趋势明显, 而且数值也小得多。这说明行星波1波在定常扰动行星波成分的变化之中占有主导地位。波数更大的波, 如5波、6波等, 不但其动能数值小得多, 而且没有这样的变化趋势(图略)。

夏季定常扰动1波动能最大这一点也可以从图1和图4之中看得出来。在夏季, 定

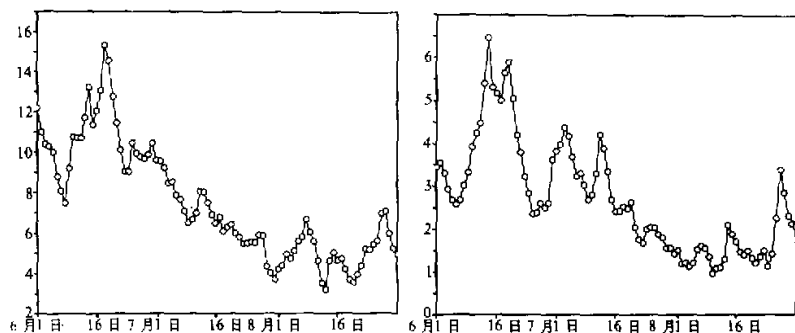


图7 为夏季中、高纬(30~70°N平均)定常扰动1到4波动能之和(左图)以及1波动能(右图)随时间的变化。单位: 10^4 J m^{-2}

常扰动大致在东西半球表现出不同的符号。我们曾指出,正是因为定常扰动的这种水平结构,造成了夏季在东半球阻塞高压多于西半球,尤其是在东北亚地区阻塞高压发生和维持得最多。

为比较定常扰动当中行星波的变化与阻塞高压发生和维持的频率之间的关系,下面我们给出自6月1日到8月31日的92天里每天在1980年到1988年9年中存在阻塞高

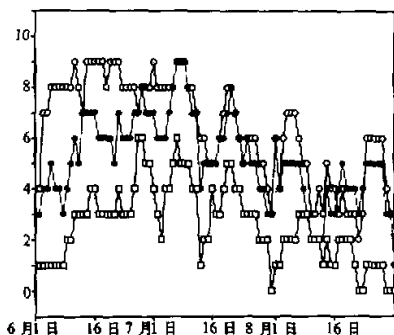


图8 夏季每天在1980到1988年9年中存在阻塞高压的次数,分整个北半球(空心圆圈)、东半球(实心圆圈)和东北亚(小方块)3种情况

压的次数(图8),这个次数最大可达到9,此时意味着该日9年之中每一年都有阻塞高压存在。分整个北半球阻高、东半球阻高和东北亚阻高三种情况。我们可以发现,在整个北半球的情况下,6月初开始阻塞高压频繁发生,维持,直到7月中旬开始阻塞高压的频度开始减少,8月份阻塞的频度最低,而东半球阻高的频度和东北亚阻高的频度具有十分相似变化趋势,只是东半球阻高的频度一直比东北亚阻高的频度多2次左右。大体上讲,这三者都是在6月份呈上升趋势,并具有较高的频度,在7月呈明显的下降趋势,8月份频度均较低。

如果撇开变化的细节,我们可以说阻高频度的变化(图8)与定常扰动中行星波(特别是行星波1波)的动能变化是一致的。这也就是说,在前三节中分析的夏季定常扰动对东北亚阻高的影响,在很大程度上是通过定常扰动中行星波部分、特别是行星波1波来实现的。

6 总结和讨论

本文利用ECMWF 1980~1988年9年的分析资料,分析了定常扰动和东北亚阻塞

高压之间的关系, 并对阻塞过程和定常扰动进行了波数域分析, 得到的主要结果有:

(1) 定常扰动的季节变化、地理分布与阻塞日数之间具有相当好的对应关系。

(2) 无东北亚阻塞高压时的定常扰动依然表现出明显的北正南负分布, 因而可以说定常扰动的分布不受阻塞高压的支配, 同时可以说定常扰动影响着阻塞高压。

(3) 东北亚阻塞高压在 8 月出现的频率明显少于 6、7 月。虽然在 500 hPa 等压面上, 8 月份的定常扰动没有表现出明显的变化, 但 8 月份定常扰动的垂直结构却有了明显的变化。由此, 我们可以认为, 阻塞高压频发的先行条件不仅要求定常扰动具有北正南负的距平分布, 而且还要求具有正压结构。

(4) 夏季定常扰动对阻高的影响也主要通过定常扰动中行星波 1 波来实现。

我们知道, 波数较小的行星波可以上传, 波数较大的波则不能上传, 而据前面的结果, 在定常扰动当中, 这些波数较小的行星波在 6、7 月比较强, 在 8 月则比较弱。这可能就是定常扰动在 6、7 月呈正压结构, 而到了 8 月容易产生斜压结构的原因。

因为定常扰动, 特别是其中的行星波部分对阻塞高压有着重要作用, 所以定常扰动以及其中行星波部分的形成原因就成了一个重要问题。关于夏季定常扰动的形成原因, 以前有过一些研究, 如黄荣辉^[21]的模拟研究指出只有地形强迫时所产生的夏季定常扰动与实际相差较大, 而当把地形和热源强迫结合考虑时, 则可以形成与实际相近的定常扰动, 从而说明了夏季青藏高原上空的非绝热加热之重要性。

因为大气(包括在大气环流模式中)中存在着各种各样强迫过程和反馈过程, 因此我们仅靠对观测到的或由大气环流模式模拟得到的结果的分析, 均无法排除瞬变扰动对定常扰动的强迫作用。只有通过理论研究才可以认识到没有瞬变扰动强迫作用时定常扰动的分布情况^[22], 目前大致认为地形和海陆热力差异是造成定常扰动大尺度分布的主要原因。

致谢: 吴国雄院士向我们提供了他与孙墨国关于北半球阻塞高压的识别结果, 我们深表谢意。此外, 根据审稿意见, 我们对原稿作了较大改动, 在此对审稿者和指出原稿中错误的编辑表示感谢。

参 考 文 献

- 1 叶笃正等, 1962, 北半球冬季阻塞的研究, 北京: 科学出版社。
- 2 毕慕莹, 丁一汇, 1993, 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, 3, 145~156。
- 3 吴国雄, 刘辉, 陈飞, 赵宇澄, 卢莹, 1994, 时变涡动输送和阻塞形成——1980 年夏中国的持续异常天气, 气象学报, 52, 308~320。
- 4 Holopainen, E. and C. Fortelius, 1987, High-frequency transient eddies and blocking, *J. Atmos. Sci.*, 44, 1632~1645。
- 5 Shutts, G. J., 1983, The propagation of eddies in diffluent jet stream: Eddy vorticity forcing of blocking flow fields, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 109, 737~761。
- 6 Lejenas, H., 1995, Long term variations of atmospheric blocking in the Northern Hemisphere, *J. Meteor. Soc. Japan*, 73, 79~89。
- 7 Ferranti, L., F. Molteni and T. N. Palmer, 1994, Impact of localized tropical and extratropical SST anomalies in ensembles of seasonal GCM integrations, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 120, 1613~1645。
- 8 WCRP-96, 1996, Northern Hemisphere atmospheric blocking as simulated by 15 atmospheric general circulation models in the period 1979-1988 (Results from an AMIP Diagnostic Subproject) (WMO/TD-No. 784)。

- 9 Austin, T. J., 1980, The blocking of middle latitude westerly winds by planetary waves, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **106**, 327~350.
- 10 黄荣辉, 邹捍, 1989, 球面斜压大气中上传行星波与平均气流的相互作用, *大气科学*, **13**, 383~392.
- 11 陆日宇, 黄荣辉, 1996, 关于阻塞形势演变过程中波数域能量的诊断分析, *大气科学*, **20**, 269~278.
- 12 Dole, R. M., 1986, The life cycles of persistent anomalies and blocking over the North Pacific, *Advances in Geophysics*, **29**, Academic Press, 31~69.
- 13 Simmons, A. J., J. Wallace and G. Branstator, 1983, Barotropic wave propagation and instability and atmospheric teleconnection pattern, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1363~1392.
- 14 Lau, N.-C. and E. O. Holopainen, 1984, Transient eddy forcing of the time-mean flow as identified by quasi-geostrophic tendencies, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 2718~2843.
- 15 Kaas, E. and G. Branstator, 1993, The relationship between a zonal index and blocking activity, *J. Atmos. Sci.*, **50**, 3061~3077.
- 16 Cuff, T. J. and M. Cai, 1995, Interaction between the low- and high-frequency transients in the Southern Hemisphere winter circulation, *Tellus*, **47A**, 331~350.
- 17 Branstator, G., 1995, Organization of storm track anomalies by recurring low-frequency circulation anomalies, *J. Atmos. Sci.*, **52**, 207.
- 18 陆日宇, 黄荣辉, 1998, 东亚/太平洋型相关波列对夏季东北亚阻塞高压年际变化的影响, *大气科学*, **22**, 727~734.
- 19 孙墨国, 1995, 北半球阻塞高压的统计特征及东北亚阻塞高压的位涡诊断分析, 中国科学院大气物理研究所硕士学位论文.
- 20 Tibaldi, S. and F. Molteni, 1990, On the operational predictability of blocking, *Tellus*, **42 A**, 343~365.
- 21 黄荣辉, 1986, 夏季青藏高原对北半球定常扰动形成的热力作用, *大气科学*, **10**, 1~8.
- 22 Held, I. M., 1983, Stationary and quasi-stationary eddies in the extratropical troposphere: theory, in: *Large-scale Dynamical Processes in the Atmosphere* (B. J. Hoskins and R. Pearce eds.), Academic Press, New York, 127~168.

Influence of the Stationary Disturbance in the Westerlies on the Blocking Highs over the Northeastern Asia in Summer

Lu Riyu and Huang Ronghui

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

Abstract The relationship between the stationary disturbance and the blocking highs over the Northeastern Asia is analyzed by the use of ECMWF grid data from 1980 to 1988. The analyzed results show that the distribution of stationary disturbance influences greatly the number of blocked days, the seasonal variations of stationary disturbance are in a good agreement with the fact that blocking highs occur frequently over the Pacific and the Atlantic in winter, and frequently over the Northeastern Asia in summer. Furthermore, the distribution of the stationary disturbance shows that not only the strength of the positive anomaly over the mid-high latitudes, but also the strength of the negative anomaly in the south influences the frequency of the blocking highs. The analyzed results also show that both horizontal and vertical structures of the stationary disturbance play an important role in the frequency of the blocking highs. Finally, energetic examinations on the stationary disturbance in summer show that the roles of the stationary disturbance are mainly taken by the components of planetary waves, especially wavenumber 1. The variation in the amplitude of planetary waves is in agreement with the frequency of blocking highs.

Key words stationary disturbance blocking highs planetary waves