

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

李金龙 纪立人

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

本文利用 23 年夏季 3 个月的 500 hPa 位势高度场, 对 20°N 以北的热带以外地区的位势高度异常进行了分析, 着重研究了持续时间超过天气尺度扰动时间 (大约 1 周) 的持续异常。结果表明: 500 hPa 高度场上持续异常的产生具有很大的地理依赖性, 在以下几个地区最容易产生持续异常: (1) 北太平洋中东部到阿拉斯加南部 (NEP)。 (2) 北大西洋东部到欧洲大陆西海岸 (EAT)。 (3) 前苏联西北部的新地岛附近 (WNSU)。 (4) 加拿大北部的哈得逊湾附近 (NCA)。 (5) 白令海峡以北的北冰洋地区 (ARC)。进一步对异常关键区统计分析得到: 异常多发区特征显著地不同于异常少发区, 正异常与负异常也有所差别。

关键词: 地理分布; 持续异常; 持续性区域特征

一、引 言

持续异常的天气气候经常给人类的生活带来极大的危害, 长期以来气象学家就坚持不懈地对持续异常天气形势进行了研究, 近 20 年来由于气象科学的不断发展及观测资料的逐步积累, 关于这方面的许多研究提供了大量的观测事实, 主要体现在遥相关、阻塞等方面的研究工作。Wallace 等^[1]系统地分析了海平面气压和 500 hPa 位势高度场的月平均资料, 计算了北半球热带以外地区的遥相关, 他们发现大气环流的异常变化存在 5 种遥相关: 即 PNA 型、EA 型、WA 型、EU 型以及 WP 型; Gamba 和 Kudo^[2]利用纬向非对称的扰动高度场进一步计算了北半球的三维遥相关, 发现扰动高度场能更加清楚的描述大气环流的三维遥相关; Blackman^[3,4]分析了不同尺度的遥相关结构及演变; Dole^[5]在分析了北半球冬季的资料之后得到了持续性异常的一些特征, 发现在 PAC、ATL、NSU 三个地区容易产生较稳定的持续异常, 同时指出这些持续异常的结构与遥相关有着惊人的相似之处; Horel^[6]则在研究 500 hPa 高度场的持续性时得到了一些准静止的天气流型。

上述分析结果多数是针对冬季而言, 对夏季的观测研究目前还较少, 进一步开展夏季环流的异常研究是大气环流研究中不可缺少的。在常规的天气图分析中, 我们会发现

一些维持时间很长的天气系统, 这些环流系统的异常必然会导致整个大气环流发生变化, 了解这些长生命史的环流异常对弄清大气中低频变化的成因及改进中期数值预报都有很大的意义。从这些角度出发, 本文研究了夏季北半球热带以外地区 500 hPa 位势高度场持续异常的地理分布及一般特性, 以便能进一步深入认识夏季持续异常的演变规律。

二、资料及分析方法

1. 基本资料及标准化异常值

本文集中研究的是夏季北半球热带以外地区 500 hPa 的位势高度场, 使用的基本资料是 NMC1957 年到 1979 年夏季 500 hPa 的位势高度场, 夏季定义为 6 月 1 日到 8 月 31 日, 在分析资料之前, 我们首先将 NMC 的八边形网格资料转换成 $5^\circ \times 5^\circ$ 的经纬网格, 资料的范围为 20°N 到 90°N , 对于缺测的时次在时间上采用线性插值, 从而形成 23 年的完整资料, 每年包括 184 个观测时次。

由基本的观测资料出发, 我们首先求出 23 年的时间平均序列, 在此基础上使用最小二乘法拟合出适合于时间平均序列的季节气候倾向序列, 然后用观测分析得到的基本资料减去该季节气候倾向就得到原始的位势高度场的异常值 h' 。为了能够有效地把异常值与风场及涡度场联系起来, 我们采用类似求地转流函数的方法, 对原始高度场异常值进行纬向标准化

$$z' = \left(\frac{\sin 45^\circ}{\sin \theta} \right) h', \quad (1)$$

其中 z' 是纬向标准化的异常值, h' 是原始的高度异常值, θ 是纬度。 z' 场与 h' 场相比, 只是将高纬的值略微降低, 低纬的值略微提高, 分布形式大致相同, 因此下文提到的异常值均指纬向标准化的异常值 z' 。

2. 异常数的定义

设

$$z' = f(x, y, t), \quad (2)$$

其中 z' 是某点的异常值, x, y 为经纬度坐标, t 代表时间

(1) 确定异常的振幅值 M 和异常的时间尺度 T , 对于正 (负) 异常 $M \geq 0$ ($M < 0$)。

(2) 在空间某点上正 (负) 异常值首先超过 (低于) 临界振幅 M 的时间为 t_1 , 紧接着第一次低于 (超过) 临界振幅 M 的时间为 t_2 , 两者之差 $D = t_2 - t_1$ 称为持续时间。

如 $t_1 \leq t \leq t_2$ 时, $z' \geq M$ ($M \geq 0$), 且 $D = t_2 - t_1 \geq T$, 则定义该点发生正异常。

如 $t_1 \leq t \leq t_2$ 时, $z' \leq M$ ($M < 0$), 且 $D = t_2 - t_1 \geq T$, 则定义该点发生负异常。

鉴于低纬度与中高度场的变化幅度有所差别, 对于 23 个夏季每个点的持续异常数, 我们针对下列尺度进行了计算:

$$\begin{cases} M = \pm 0 \text{ m}, \pm 20 \text{ m}, \pm 40 \text{ m}, \pm 60 \text{ m}, \pm 80 \text{ m}, \\ T = 2\text{d}, 4\text{d}, 6\text{d}, \dots, 14\text{d}. \end{cases} \quad (3)$$

本文的重点在于研究时间尺度超过天气尺度扰动时间的持续性异常 (大约一周以上)。上述尺度的选择带有人为性, 但是它们具有代表性, 计算的结果并不会因这些尺度的改变而发生质的变化。在下面的内容里, 我们将展示 500 hPa 位势高度场持续性异常地理分布中最有代表性的结论。在绘图之前我们对异常数的分布进行了平滑, 以便能够清楚地显示主要特征。

三、500 hPa 位势高度场持续异常的地理分布

图 1a 显示了满足尺度为 (80 m, 6 d) 的 500 hPa 高度场持续性正异常数的地理分

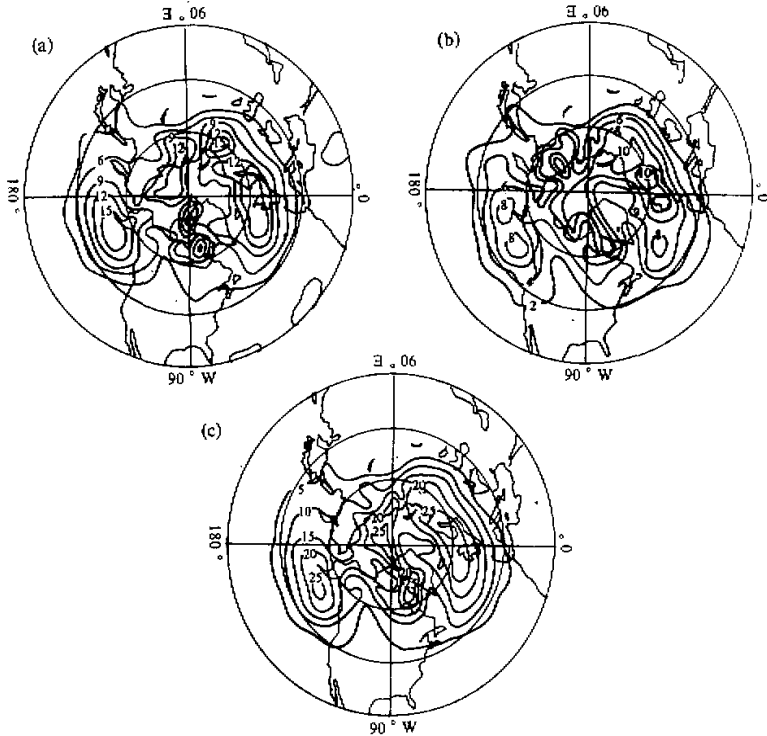


图 1 500 hPa 高度场持续异常的地理分布

$|M| = 80 \text{ m}$, $T = 6 \text{ d}$ (a) 正异常; (b) 负异常; (c) 正负异常数之和

布。由图可以清楚地看到存在以下几个最大频数中心：(1) 北太平洋中东部到阿拉斯加南部；(2) 北大西洋东部到欧洲大陆西海岸，纬度约在 55°N 附近；(3) 前苏联西北部的新地岛附近；(4) 加拿大北部的哈得逊湾附近；(5) 北冰洋中部大部分地区。从这些频数分布最大中心可以看出，大振幅 ($z' \geq 80 \text{ m}$) 的持续性异常发生地区具有很大的纬度依赖性，这些中心多位于高纬地区，太平洋、大西洋地区的中心在 50°N 以北地区，而前苏联、加拿大、北冰洋的中心则在 60°N 以北地区；在 40°N 以南的大部分副热带区则几乎没有满足这种尺度的持续异常。

图 1b 给出了对应的 (-80 m , 6 d) 持续性负异常数的地理分布。与图 1a 相对比，这两张图的分布中心有着很大的相似之处，上述几个地区仍为频数最大中心，只是地理位置稍有偏移，北太平洋、北大西洋的中心都分裂成两个，在原中心的东部各产生一新的中心；北冰洋地区的位置与正异常发生区产生了较大的差异，但是白令海峡以北的地区仍为高频数区。同时与正异常相比，各个频数中心负异常比正异常数明显减少。正、负异常数之和的分布图 (图 1c) 进一步体现了上述几个中心，在大西洋、新地岛的中心联成一体，这几个中心异常的数目在 23 个夏季中都超过 25 次，但在两大洋，北美的中低纬以及亚洲的大部分地区异常数几乎为零。

当改变异常尺度标准为 ($\pm 40 \text{ m}$, 10 d) 时，由图 2 可以看出：在振幅变小 ($|M|$

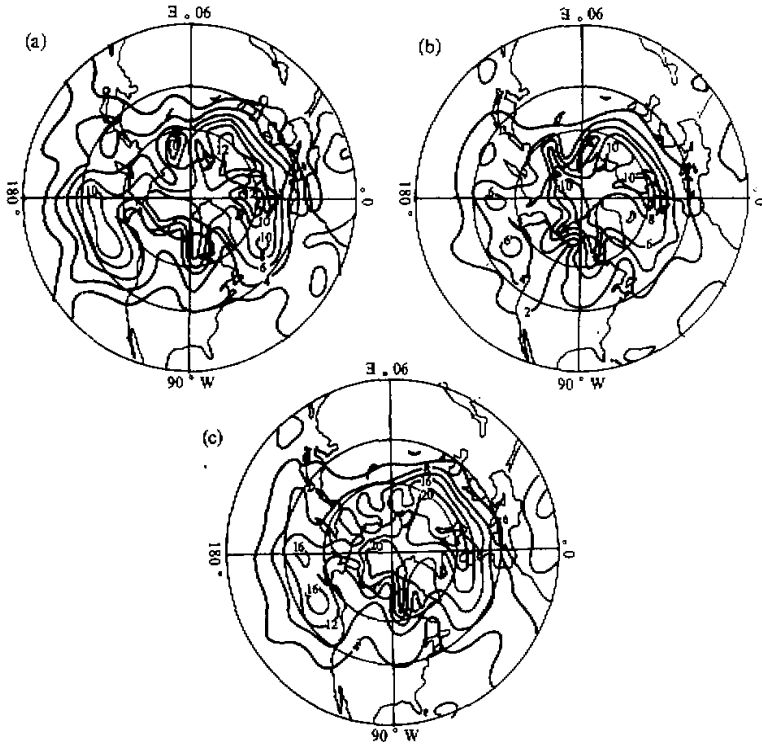


图 2 持续异常的地理分布

$|M|=40 \text{ m}$, $T=6 \text{ d}$ (a) 正异常; (b) 负异常; (c) 正负异常数之和

$= 40 \text{ m}$), 时间变长 ($T=10 \text{ d}$) 时的持续异常数中心仍位于上面阐述的几个地区, 位置变化最大的是北冰洋地区, 但白令海峡以北始终是高值区; 与大振幅 ($|M|=80 \text{ m}$) 短时间 ($T=6 \text{ d}$) 异常相比, 异常数目分别有一定程度的减少, 但分布形式基本类同。值得注意的是在低纬地区, 尤其是两大洋地区中低纬的异常数目有所增加, 进一步统计低振幅 ($|z'| \leq 40 \text{ m}$) 长时间 ($T=10 \text{ d}$) 的持续异常 (图 3) 发现除在北纬 60°N 以北

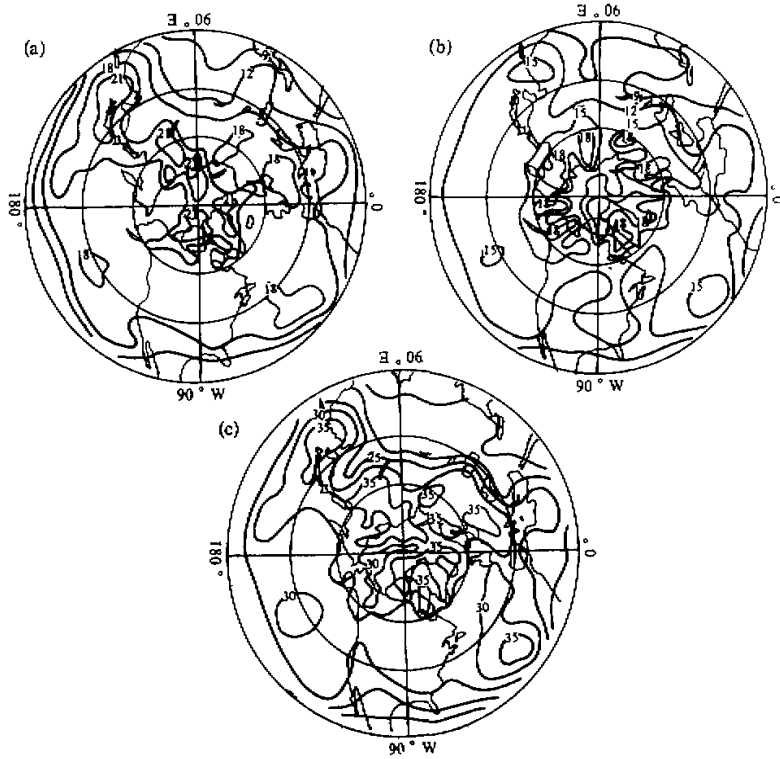


图 3 如图 1, 但 $|M| \leq 40 \text{ m}$, $T=10 \text{ d}$

地区有较高的异常数目外, 与前述结果最大的差异是在北太平洋中东部副热带区, 大西洋中部副热带区以及亚洲东海岸附近的副热带区存在 3 个高频数区。

对其它各种尺度分析 (图略) 也得到类似的结果。由此我们得到以下结论: 大振幅 ($|z'| \geq 40 \text{ m}$) 持续性异常的发生区具有很大的地理依赖性, 在以下几个地区最容易产生: (1) 北太平洋中东部到阿拉斯加南部地区 (简称 NEP); (2) 北大西洋东部到欧洲大陆西海岸 (简称 EAT); (3) 前苏联西北部的的新地岛附近 (简称 WNSU); (4) 加拿大北部的哈得逊湾附近 (简称 NCA); (5) 白海峡以北的北冰洋地区 (简称 ARC)。

小振幅的持续异常 ($|z'| \leq 40 \text{ m}$) 发生中心除在高纬度存在以外, 低纬副热带地区也存在 3 个中心, 最突出的两个是: (1) 亚洲东海岸到太平洋西部副热带区 (简称

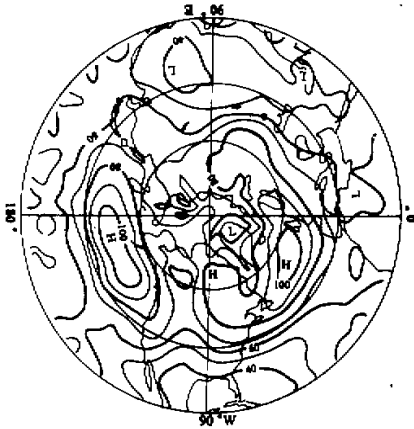


图4 夏季 500 hPa 总方差

LP); (2) 大西洋中部副热带区 (简称 LA)。

图4是23年夏季500 hPa每日两次的位势高度场的总方差。回顾上面持续异常的地理分布发现,这种方差的总体结构与持续异常的地理分布非常类似,具有最大频数的NEP、EAT、WNSU、NCA地区都对应着方差的较大位置,这种对应关系其实是很正常的,Blackman^[7]在研究位势高度场的气候谱时就发现,位势高度场的日变化主要由低频变化所控制,而持续异常乃是低频变化的主要成员,因而与持续异常伴随的低频变化必然对日方差的分布做出较大的贡献。但需要指明的是方

差的大小并不能说明持续性异常发生的多少。

四、500 hPa 高度场持续异常关键区的特征

在上节的分析中,我们得到了持续性异常发生频数较高的5个关键区,在本节中,我们将对关键区的异常持续性以及异常的统计特征进行初步的分析,为此对5个关键区各指定1个关键点,这些点的选择一般都是正、负异常数较高的点,它们分别是:(1) NEP地区为150°W, 50°N; (2) EAT地区为10°W, 55°N; (3) WNSU地区为50°E, 65°N; (4) NCA地区为80°W, 65°N; (5) ARC地区为150°W, 85°N。同时为了对比起见,我们又选择了两个异常少发点:(1) ASIN地区为100°E, 35°N和(2) AMER地区为105°W, 35°N。为了减少样本误差,我们计算了以关键点为中心的10°×10°九个格点综合结果,这种综合分布类似于单个点的分布,但是样本误差比单点小,除特别指出之外,本节都是给的九点区域的结果。

图5a-g给出了5个异常多发区和两个异常少发区的500 hPa高度场异常数随时间变化的半对数坐标图。图的上面两条线(一条实线,一条虚线)表示的是振幅值为(±0 m)的异常数变化,中间两条及下面两条对应的振幅值分别为(±40 m)和(±80 m),实线代表的是正异常数变化,虚线代表的负异常数变化。在这样的半对数坐标图上,异常数的持续性反比于曲线的斜率,即曲线越陡,持续性越差;曲线越平缓,持续性越好。从上述图中我们可以得到以下结论:

(1) 各地区的正、负异常随时间近似呈指数下降;持续时间相同时,振幅值越小,异常数越多;

(2) 在短时间尺度中,振幅值越小,持续性越好,振幅值越大,持续性越差。随着持续时间的增加,低振幅异常(±0 m)的持续性几乎没发生什么变化,而大振幅异常(±40 m, ±80 m)的持续性在不同的地区及各自的变化中都有所增加;

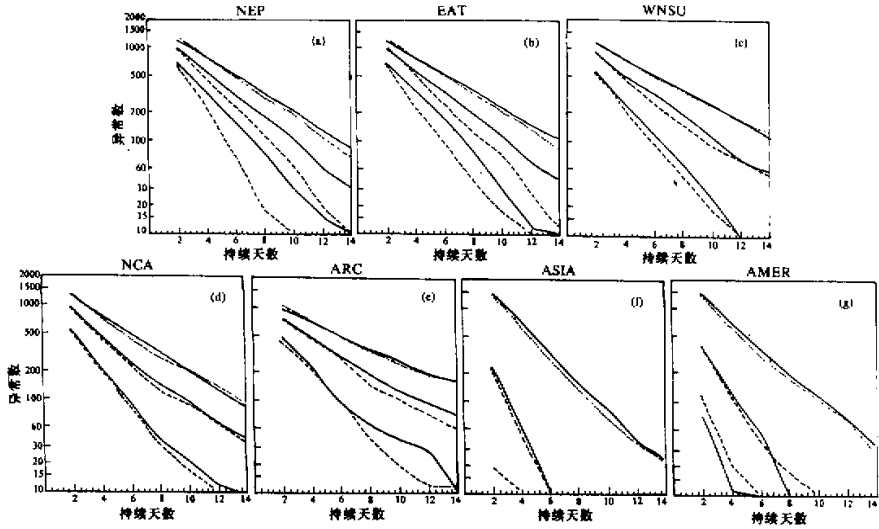


图5 异常数随时间变化的半对数图

(3) 把异常多发区和异常少发区的异常数变化对比, 在各种振幅标准下, 异常多发区的持续性明显好于异常少发区, 且振幅值越大越显著;

(4) 在低振幅 (± 0 m) 的异常中, 正、负异常数几乎差不多, 对大多数地区正异常稍多; 但是, 在大振幅 (± 40 m, ± 80 m) 的异常中, 正异常数明显多于负异常数, 并且随着时间的增加, 它们之间的差别也越来越大, 这样的现象在 NEP、EAT 地区尤其明显, 这可能与天气尺度的扰动有关。在另文的分析中我们发现: 在持续性负异常发生的地区常常有强烈的天气尺度扰动活动, 这样必然对大尺度的扰动有所影响, 减少负异常的产生; 而正异常的发生则经常会改变天气尺度扰动的路径, 使得天气尺度扰动常在异常关键区的北侧及下游地区发展, 避免了上述的影响。

为了进一步说明, 以 ($M = \pm 80$ m, $T = 6$ d) 和 ($M = \pm 40$ m, $T = 10$ d) 为例。由表 1 可以清楚地看出: 在 NEP、EAT 地区, 正异常的异常数和异常总时次远大于负异常的, WNSU、NCA 地区也是正异常发生时的数目大, 只是不如前两个地区明显。ARC 地区在 ($|M| = 80$ m, $T = 6$ d) 时, 负异常数较正异常数稍多, 这一差异可以从图 4e 上得到解释, 由图 4e 看出在时间尺度为一周以下时, ARC 地区的正、负异常数差不多, 有些时间尺度正异常多, 有些时间尺度负异常多; 但当时间尺度超过一周时, 正异常数明显地多于负异常数, 它与其它地区的差别在于正、负异常数在较大的时间尺度上才能分离开来, 其结果与前述特征是一致的。

此外, 由表 1 我们还可以发现: 当异常的振幅值变小, 时间尺度变长时, NEP、EAT 地区正、负异常的数目下降很快, 相对而言, WNSU、NCA、ARC 地区正负异常数变化就较小, 这说明后 3 个地区的持续异常稳定性比前两个地区要好。从各地区的

平均持续时间来看, WNSU、NCA、ARC 地区的持续时间较 NEP、EAT 地区持续时间长, 且时间尺度增大时更加明显, ARC 地区尤其突出, 这可能与它们所处的纬度有关系, 关键区的纬度越高, 该地区发生持续异常的持续时间越长, 即高纬的系统容易维持。

表 1 NEP、EAT、WNSU、NCA、ARC 地区的异常分布

		NEP		EAT		WNSU		NCA		ARC	
		正异常	负异常	正异常	负异常	正异常	负异常	正异常	负异常	正异常	负异常
M =40 m T=10 d	持续时间	13.18	11.92	13.69	12.75	14.26	15.00	13.97	14.73	16.23	16.28
	异常时次	2735	1379	3094	1912	3366	2760	2711	2593	3983	3419
	异常数	103	57	113	75	118	92	97	88	122	105
M =80 m T=6 d	持续时间	8.64	7.75	8.73	8.44	8.87	8.66	8.62	9.14	10.39	9.08
	异常时次	2800	1147	2845	1687	2217	1715	1603	1508	1911	1816
	异常数	162	74	163	100	125	99	93	83	92	100

理论研究^[8]表明, 大气中可能存在不同的天气流型, 在一定的条件下, 大气可由一种流型转变为另一种流型, 这些不同的天气流型意味着大气中可能存在多重平衡。如果在大气环流统计结果中存在着双峰或多峰的频率分布, 则能进一步说明多种天气流型的存在。Sutera^[9]通过分析冬季超长波(2~4波)波幅的概率密度分布, 发现波幅分布中存在明显的双峰结构, 其中之一对应着太平洋东部的阻塞形势, 另一种体现出全球的纬向环流。在前一节的分析中我们看出, 在大振幅异常的地理分布中, 正、负异常的产生具有很大的地理依赖性, 虽然它们的分布形式类同, 但却是代表了大气中两种不同状态, 因而这种地理分布表明当地的大气中存在着不同的优势平衡, 那么正、负异常是否代表着两种不同的平衡态呢? 从这种角度出发, 我们分析了关键点位势高度场的频率分布。

由图 6 可以看出, 在高纬的 5 个异常多发区的频率分布与正态分布有着明显的偏差, 这些偏差主要体现在标准的正态分布上叠加了许多小的峰值, 这些峰值可以是多重峰值的体现, 但同时又可看出如果正负异常是大气的两种平衡态, 那么这种平衡态的均值从频率上又很难区分。这只能说明在高纬的异常多发区有不同于正态分布的多峰分布, 但可能由于这些峰值的维持时间相对于各峰值之间的转换时间较短, 从而各种峰值不能明显地被分离。White^[10]在研究大洋东部阻塞经常发生区的 500 hPa 位势高度场分布时也得到过类似的结论。对照上述异常多发区, 异常少发区的观测频率分布非常光滑, 与标准的正态分布几乎完全重合, 这说明异常少发区的异常值符合正态分布, 而异常多发区的异常值与正态分布有明显差异。

值得指出的是, 我们在进一步分析其它结果时发现本文提出的这种可能存在的多重平衡只具有局地的性质, 与 Charney^[8]和 Sutera^[9]等研究的全球多平衡态有所差别。对关键点周围其它点的分析也能得到类似的结果, 但如果对整个区域求频率分布, 上述特征虽然存在, 但峰值的振幅变小, 这可能与不同点之间大气状态相互抵消有关。

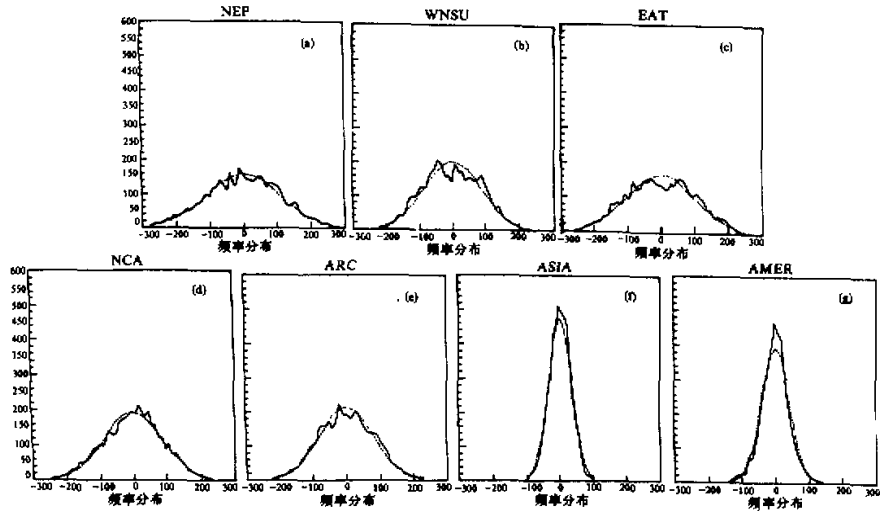


图 6 各地区位势高度场异常值的频率分布
实线代表观测样本, 虚线代表正态分布

五、结 束 语

通过上面几节的阐述和分析, 我们可以得到以下结论:

1) 夏季北半球热带以外地区 500 hPa 高度场持续性异常的发生具有很大的地理依赖性, 正、负异常数的分布有其相似性; 大振幅持续异常主要发生在中高纬地区, 各种尺度的分析表明异常数较高的关键区有 (1) 北太平洋中东部到阿拉加南部 (NEP); (2) 北大西洋东部到欧洲大陆西海岸 (EAT); (3) 前苏联西北部的新地岛附近 (WNSU); (4) 加拿大北部的哈得逊湾附近 (NCA); (5) 白令海峡以北的北冰洋地区 (ARC)。此外在低振幅异常中, 副热带地区有两个明显的中心: (1) 西太平洋与亚洲大陆东岸之间的副热带区和 (2) 北大西洋中部的副热带区。

2) 异常关键区的特性分析表明, 正、负异常数随时间近似呈指数衰减; 异常多发区的异常持续性比异常少发区的异常持续性好, 大振幅的异常比小振幅异常的持续性差, 但随着时间的增加, 大振幅异常的持续性有所增加。

3) 正异常数一般高于负异常数, 时间尺度越大, 两者差异越明显; 纬度较高的 WNSU、NCA、ARC 地区的异常较 NEP、EAT 地区的异常持续时间长。

4) 异常多发区的异常高度场频率分布有明显不同于正态分布的多峰分布, 而异常少发区的频率分布则满足正态分布。

上述结果都是在分析 500 hPa 位势高度场的基础上得到的, 这些特性都有待于合适的理论去解释, 关于持续性异常的理论至少应能解释它们的产生为什么有很大的地理依

赖性, 至于各关键区的特性及差别则期待着进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere Winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784-812.
- [2] Gambo, K. and K. Kudo, 1983, Three-dimensional teleconnection in the zonally asymmetric height field during the Northern Hemisphere Winter, *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, 829-838.
- [3] Blackman, M. L., Y-H. Lee and J. M. Wallace, 1984a, Horizontal structure of 500 hPa height fluctuations with long, intermediate and short time scales, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 961-979.
- [4] Blackman, M. L., Y-H. Lee, J. M. Wallace and H-H. Hsu, 1984b, Time variation of 500 hPa height fluctuations with long, intermediate and short time scales as deduced from lag correlation statistics, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 981-991.
- [5] Dole, R. M. and N. D. Gordon, 1983, Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: Geographical distribution and regional persistence characteristics, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1567-1586.
- [6] Horel, J. D., 1985, Persistence of the 500mb height field during Northern Hemisphere Winter, *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 2030-2048.
- [7] Blackman, M. L., 1976, A climatological spectral study of the geopotential height of the Northern Hemisphere, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 1607-1623.
- [8] Charney, J. G. and J. G. Devorte, 1979, Multiple flow equilibria in the atmosphere and blocking, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 1205-1216.
- [9] Sutera, A., 1986, Probability density distribution of large-scale flow, *Adv. Geophys.*, **29**, 227-249.
- [10] White, G. H., 1980, Skewness, kurtosis and extreme values of Northern Hemisphere geopotential heights, *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1446-1455.

Geographical Distribution and Regional Characteristics of 500 hPa Height Persistent Anomalies during Northern Hemisphere Summertime

Li Jinlong and Ji Liren

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

Abstract

In this paper, we use 500 hPa geopotential height to study the abnormal disturbance for the Northern Hemisphere poleward of 20°N summertime from 1957 to 1979, special focusing on persistent anomalies which persistent time are longer than that of synoptic scale variability. The results show that occurrences of persistent anomalies have their geographical dependence, and there are high numbers of persistent positive anomaly and persistent negative anomaly in the following areas: (1) the northeast of the northern Pacific Ocean to the south of Alaska (NEP); (2) the east of the northern Atlantic to the west coast of Europe (EAT); (3) the northwest of the former Soviet Union (WNSU); (4) the north of Canada (NCA); (5) the Arctic ocean of the north of Bering Strait (ARC). In addition, through analysing the key regional characteristics, we find that the characteristics is obvious different between the areas having high numbers of anomaly and the areas having low numbers of anomaly, the difference between the areas having low numbers of anomaly and persistent negative anomaly also exists.

Key words: geographical distribution; persistent anomaly; persistence; regional characteristics.