

月平均大气环流异常的垂直结构*

杨 成 彬

(科学院兰州高原大气所)

黄建平

(兰州大学大气科学系)

周琴芳

(北京气象中心数值室)

摘 要

本文利用多年月平均温度场和高度场资料,通过计算相关系数和个例分析,揭示了大气环流异常存在着地转风向热成风的适应。由于对流层低层的地转风和热成风有较好的适应关系,并且对流层低层的热成风上下又十分一致,这就造成了环流异常的相当正压性。

一、绪 言

近十年来,由于中期数值预报的飞速发展及各种 GCM 的问世,人们自然而然地把注意力方向长期数值预报的方法转移。特别是从1974年在斯德哥尔摩召开了“气候的物理基础及其模拟”国际讨论会以来,世界气象组织及许多国家都把解决月和季的长期预报问题作为重点研究对象,进而解决年际预报和超长期预报问题。所以,了解长期天气过程的空间结构和物理过程便变得十分迫切。

近十年来,对长期过程的空间结构的了解,是从水平的遥相关结构和垂直方向上的相当正压结构两方面而进行的。遥相关方面的研究可见 J. M. Wallace^[1] 的文章。垂直结构方面的研究在我们以前的工作中已有详细的总结^[2]。本文就是在该项工作的基础上,利用多层等压面上的高度和温度月平均资料,进一步分析了相当正压性的这一事实,试图揭示其中的物理机制。

二、计算方案的设计和资料情况

首先需要明确的是,相当正压性是指各等压而上的风矢量随高度只有风速的变化,风向不变。因为在中纬度的地转风是一个很好的近似关系,再结合静力方程可导出热成风关系^[3]。从热成风关系来看,出现相当正压性,需有以下两个条件:

1. 对流层低层的地转风和热成风近似于同向。
2. 热成风随高度只有风速变化,其方向不变或少变。

如果以上两个条件满足,就是相当正压的。由此可见,这种相当正压性是由于各层的流场向其下面的热成风场适应的结果。

由于在温度的和高度的距平场中出现有一些正、负中心,在高度场和温度场的正距平中心区,流线是反气旋的,负值中心区是气旋型的。因此,直接用温度场和高度场距平的正负

* 本工作属于“长期预报理论、方法和资料库建立”研究项目

便能反映异常的地转风和热成风的情况，用高度场和温度场的距平求相关便能统计出大气环流异常中地转风向热成风适应的情况。

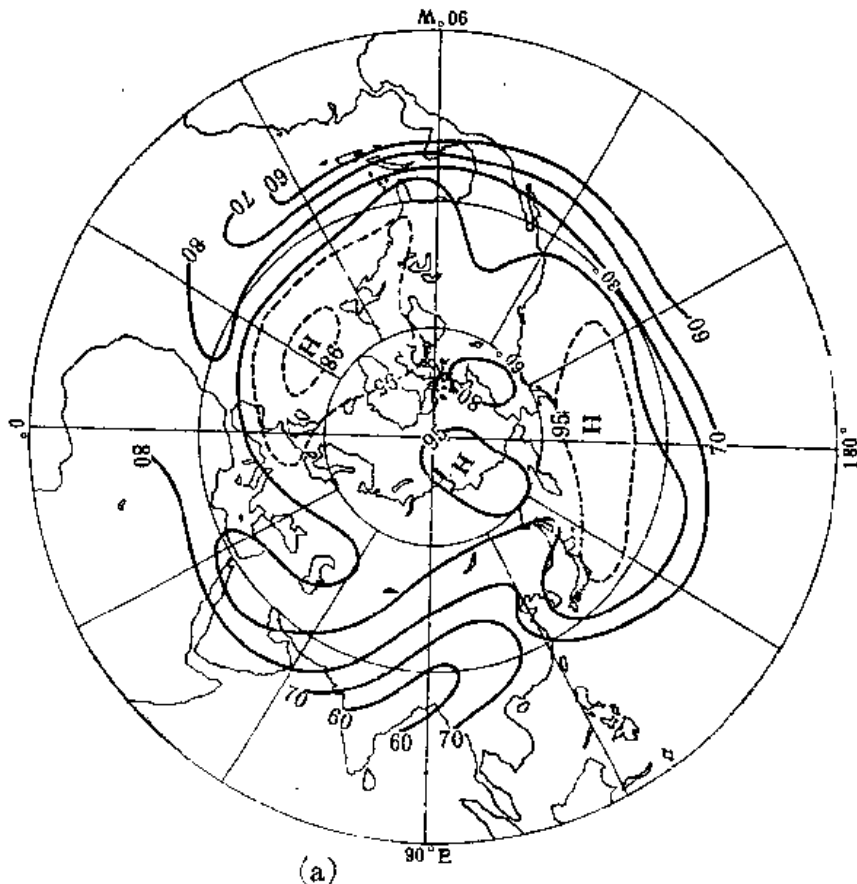
据此，我们计算了700hPa,500hPa和300hPa 三层的温度场和高度场之间的种种相关，论证了异常的地转风确实具有向异常的热成风适应的特性。计算中使用了美国NCAR的上述三层温度和高度的北半球 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬网格的资料。年代从1964年1月到1982年12月。为了扩大样本的数目，把12月、1月和2月合并为冬季进行了计算。气候平均取历年的冬季平均值。

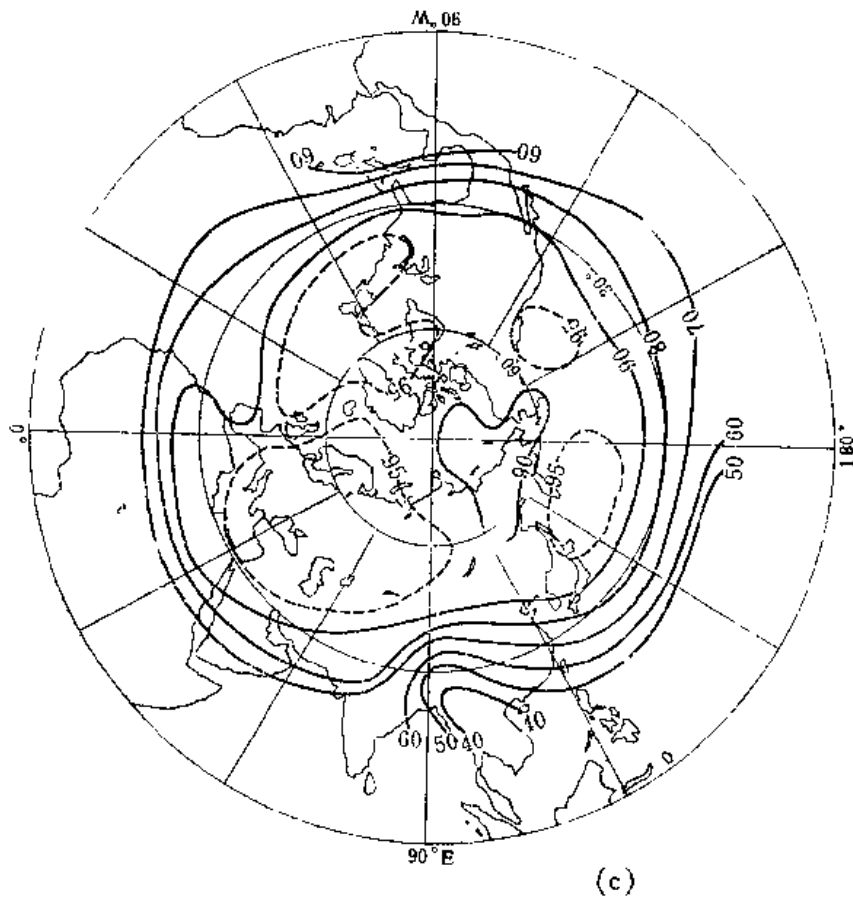
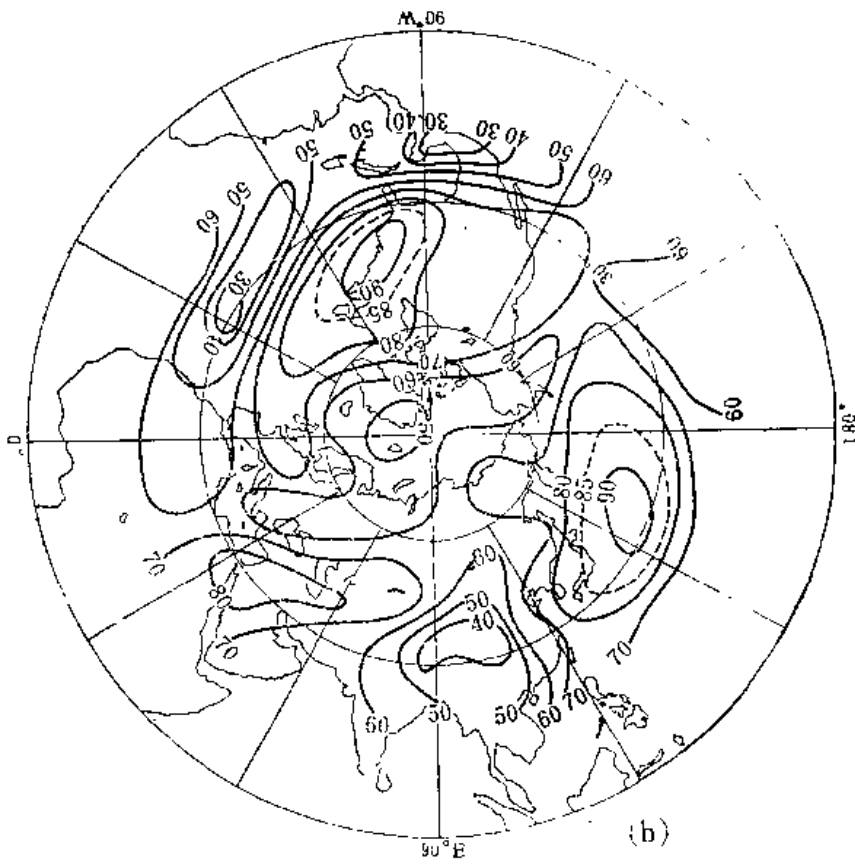
三、计算结果的分析

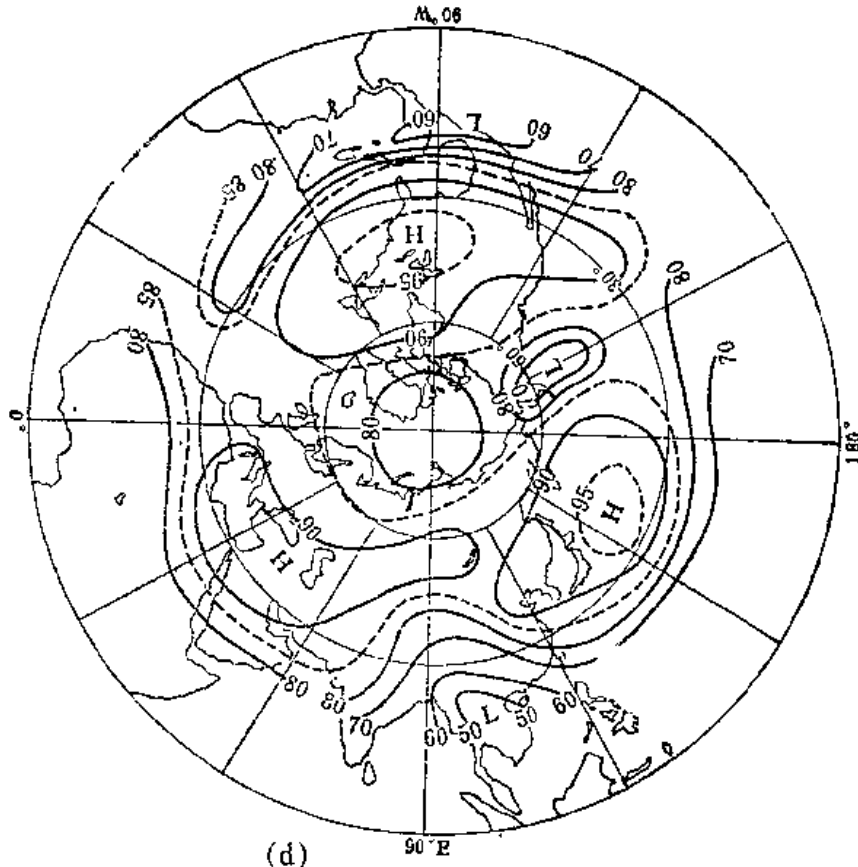
(一) 相关系数计算结果的分析

图1a是冬季的300hPa和700hPa月平均高度距平的相关，图1b是冬季的700hPa月平均高度距平和温度距平的相关，图1c是700hPa和500hPa温度距平的相关，图1d是冬季的300hPa的高度距平和700hPa温度距平的相关。

从图1(a)来看，相关最大的区域有两个。一个在北太平洋中部，一个在北大西洋中部，相关分别达97%和98%。这正是Blackmon^[4]等人指出的相当正压性的区域。相关低值区集中在青藏高原山体上空和 $30^{\circ}N$ 以南的低纬区域。这些区域正是Wallace^[5]强调的大气环流异常的斜压性区域。但是，这里并未出现明显的负相关。值得注意的是，Wallace的工作是用500hPa和1000hPa的高度距平相关反映斜压性的，由于高原上的海平面高度资料是外插得出，这个结论的可靠性是值得怀疑的，所用斜压性一词也不十分确切。图1(a)上还有一个特点是90%的相关系数等值线几乎与 $30^{\circ}N$ 的纬线重合，在这个纬度附近也是相关系数的等值线最密集的地区。







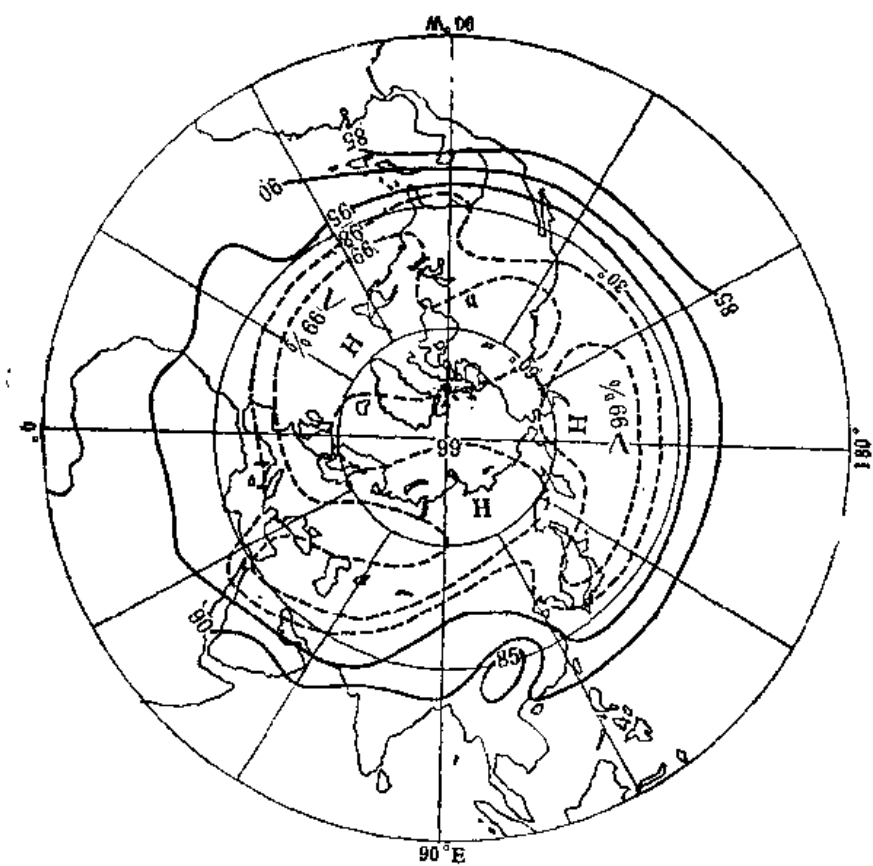
(d)

图1 利用月平均资料计算的相关系数场
 (a) 300hPa和700hPa高度相关;
 (b) 700hPa温度和高度相关;
 (c) 700hPa和500hPa温度相关;
 (d) 300hPa高度和700hPa温度相关

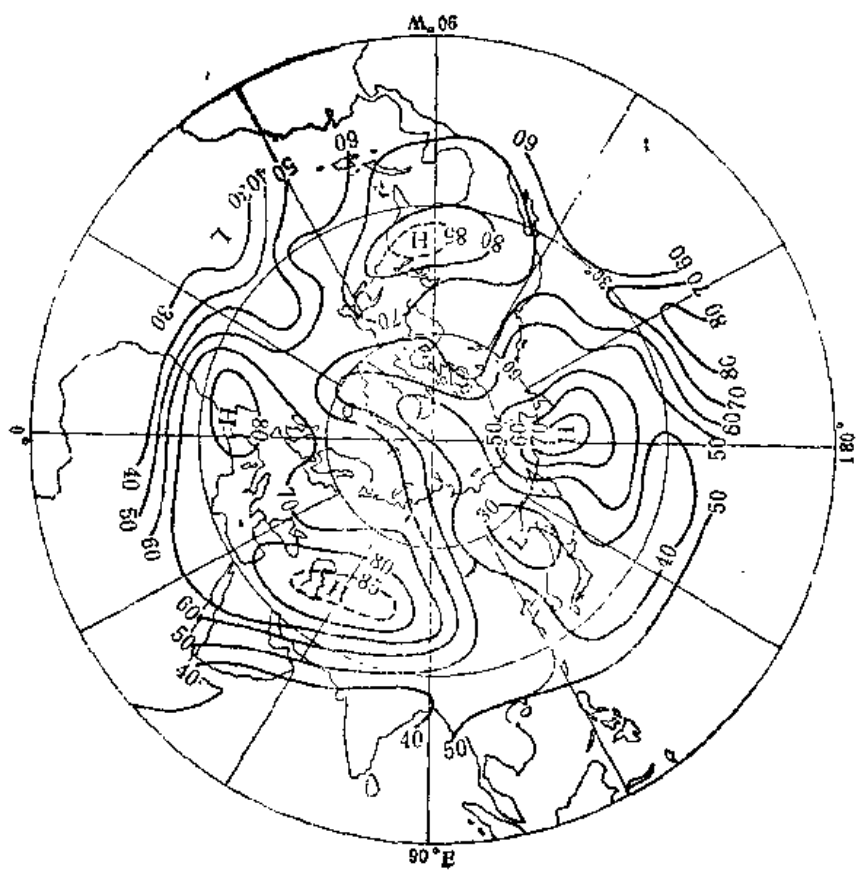
由图1b可看出异常地转风和热成风在对流层低层的适应情况。如图所示, 700hPa的温度和高度距平的相关具有和图1a相似的特征。在青藏高原和 30°N 以南都是一低值区, 两大洋上有两个高中心。不同之处是, 大西洋区域的高值中心移到北美大陆的东缘, 同时, 西面还出现一个次中心。欧亚大陆上, 青藏高原的西侧也有一明显的高中心。图1a上无此明显的中心。比较图1a和1(b)我们认为出现相当正压性的第一个条件是满足的。

图1c给出了700hPa和500hPa的温度距平相关, 可看出它也具有和图1a、b相似的特征。因此, 冬季500hPa和700hPa的温度距平场上、下是相当一致的。所以可以认为出现相当正压性的第二个条件也是满足的。需要指出的是, 图1c和1a比较明显的差异是在图1c上, 青藏高原西侧是一个相关系数相对高的区, 但图1a上却是一个低值区。按道理, 既然低层的地转风和热成风在这个区域有较好的适应关系, 热成风在垂直方向上又有较好的一致性, 那么高、低层的地转风就应该比较一致, 这个区域在图1a应出现高相关。但事实不是这样。这个现象在北关大陆也有表现。

最后, 为了考察高层的流场是否向低层的热成风场适应, 还计算了300hPa高度和700hPa温度的相关, 见图1d。由图可见, 高层的流场向低层的热成风场适应最好的区域有三个, 分别在青藏高原西侧、北太平洋西部和北美大陆东海岸, 从此伸出的高舌区覆盖了大西洋。后



(c) 冬季500hPa和300hPa高度距平的相关



(b) 冬季500hPa和300hPa温度距平相关

图 2

两个中心和图1(a)的高中心相比明显西移了,比如,大西洋的中心在图1a上位于 30°W ,但在图1d上位于 80°W 。青藏高原西侧的这个中心在图1a上是没有的。不管怎样,我们可以认为高层的流场总是向低层的热成风场适应的。

综上所述,对冬季的大气环流异常来说,由于对流层低层的热成风场和地转风场有较好的适应关系,而对流层低层的热成风场上下又一致,造成了对流层中地转风场向低层的热成风场适应的特性,这样,大气环流异常当然具有相当正压性。

但是,我们前而已经指出了利用地转风向热成风的适应来解释相当正压性似乎有不甚妥当之处。这表现在大陆上空。我们猜想这可能是由于地形本身高度的原因,它把温度场对高度场的影响送到了比海洋高得多的层次。为了验证此想法,我们又计算了冬季500hPa高度和300hPa高度距平的相关,500hPa与300hPa温度距平的相关,500hPa温度和高度距平的相关,500hPa温度和300hPa高度距平的相关。由于这些图上有共同的特征,所以下面仅给出前面两个计算的结果。

从图2a可见,500hPa和300hPa的高度距平的相关在高原西侧和北美大陆上都达到了99%,青藏高原上空也大于80%。在500hPa和300hPa温度距平的相关图2b上,其它区域都成为小值区,在欧亚大陆和北美大陆上是比其它区域高得多的高中心。

因此,我们认为大气环流异常的相当正压性本质上是对流层内的异常地转风向对流层低层的异常热成风适应的结果。只是在陆地上,由于地面高度比海平面高度高,温度场对高度场的影响可以达到更高的层次。但地转风仍然是向热成风适应的,环流异常仍然是相当正压的。所以,Wallace等人根据500hPa和1000hPa高度距平的相关在陆地比较低,就称之为是斜压性的并不确切。

还要指出的一点是,我们这里的工作用的是统计分析方法,并且有的结果并未完全解释清楚。为此,我们又计算了各月、各层的地转风和热成风场。所采用的公式是:

$$\text{地转风: } u'_g = -\frac{1}{f_0} \frac{\partial \phi'}{\partial y} \quad v'_g = \frac{1}{f_0} \frac{\partial \phi'}{\partial x} \quad (1)$$

$$\text{热成风: } u'_t = -\frac{R}{f_0} \frac{\partial T'}{\partial y} \quad v'_t = \frac{R}{f_0} \frac{\partial T'}{\partial x} \quad (2)$$

带撇的量为距平。从(1)和(2)可见,异常地转风和热成风是满足“右手法则”的。计算中采用中央差分进行空间离散, f_0 取 45°N 处值。下面给出1968年12月的例子。

(二)个例的分析

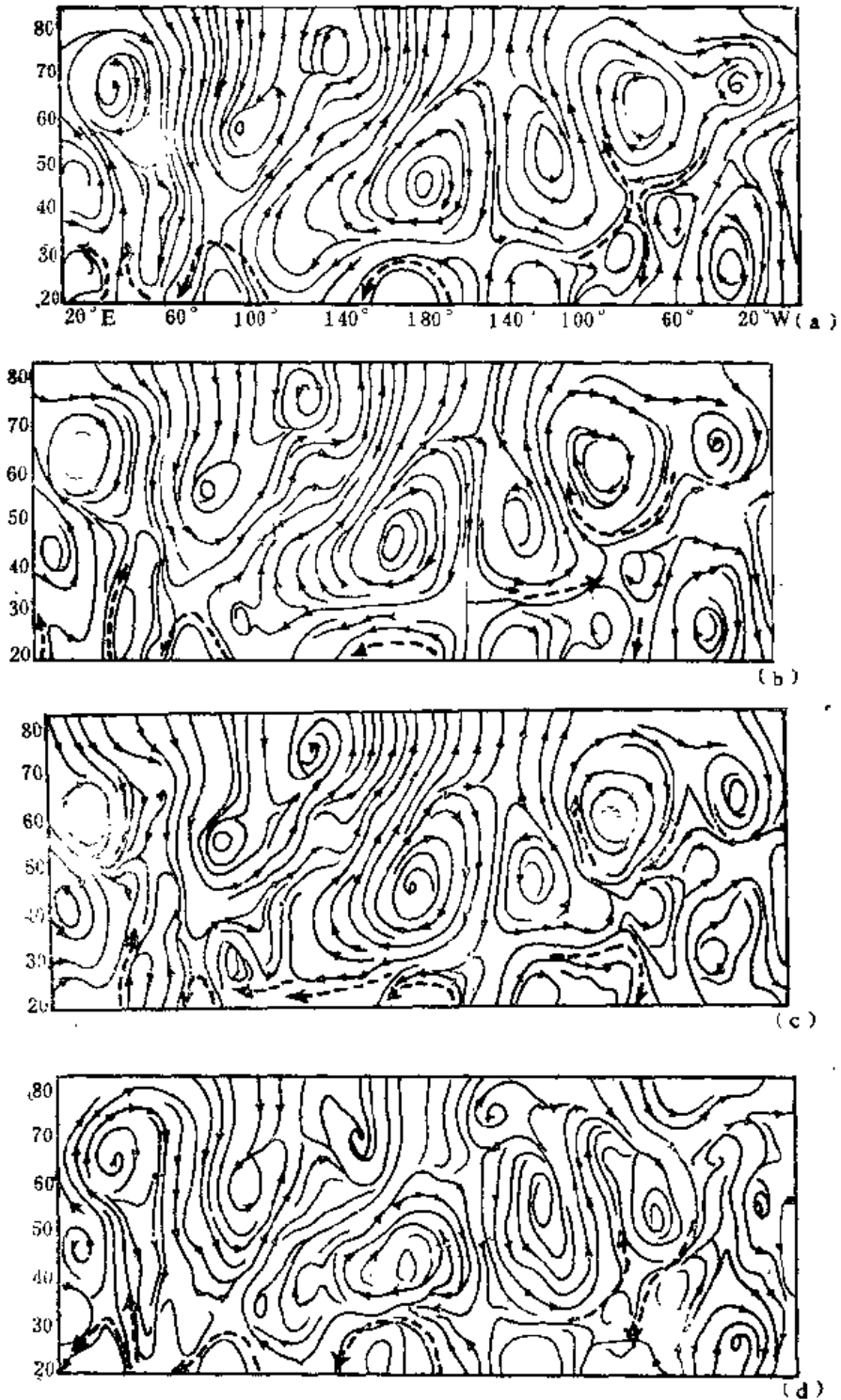
图3a—e是1968年12月的地转风和热成风场。从上到下依次是300,500和700hPa的地转风,500和700hPa的热成风场。图中所画虚线箭头是为了突出系统,手工加上去的,图3a—e中有下面几个重要的特征。

1. 在中、高纬度各图都是十分相似的,系统都有良好的对应关系。例如在 160°E — 180° 处都是一个大尺度的反气旋式流型。只是热成风场上小波动较多,流线不光滑。其它的系统也都可找到较好的对应关系。这点正是大气环流异常具有异常地转风向热成风适应,导致大气环流异常具有相当正压性的反映。

2. 以 30°N 为界,系统的水平空间尺度南北两侧有明显差别,北边的系统水平尺度大,南边的系统水平尺度小。这可能是 30°N 附近相关系数等值线密集的原因。因为系统的尺度小可能削弱上下层的一致性。例如,可见 80°E 处。在 30°N 以南各风场上都有一气旋式流型,如

虚线箭头如示。但是700hPa上的地转风环流尺度较高空小，这样上、下层系统性质是一样的，但配置不好，计算相关就小了。80°E处是青藏高原所在的经度，这可能是造成高原上相关弱的原因之一。

3. 地转风场在高空是一个大的环流，但在低层大的环流中又可分裂出小的环流，这就破坏了高、低层的对应关系。这种现象多在大陆上发生。如图3(c)上在前面所提的反气旋式环流的左下端，就出现了在300hPa上所没有的小环流中心，中心位于100°E，它仍是反气旋的。



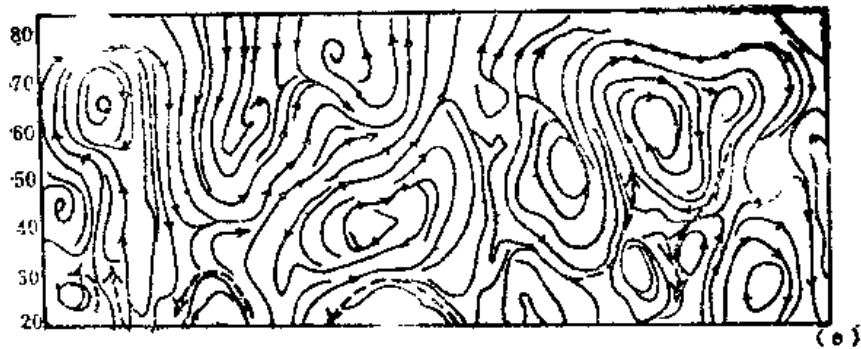


图3 1968年12月多层异常地转风与热成风

- (a) 300hPa地转风
- (b) 500hPa地转风
- (c) 700hPa地转风
- (d) 500hPa热成风
- (e) 700hPa热成风

这可能是陆地上上下层相关弱的另一原因。

但是，不管怎样，从图3a—e，高低层系统的性质都不变，在热成风的气旋（反气旋）处，地转风也是气旋（反气旋）性的。这充分体现了地转风向热成风的适应，使大气环流异常所具有的相当正压性。此外，从图3a—e可看出，在Wallace等人称为斜压性的陆地区域，系统在垂直方向上也是上下一致的。

因此，通过计算相关系数和个例分析，我们可以认为大气环流异常具有地转风向热成风适应的特性，它导致了大气环流异常的相当正压性。

四、结 论

通过以上的分析，我们可得出以下的结论：

1. 大气环流异常具有异常地转风向热成风适应的特性，相当正压性是其结果。
2. 由于我们分析采用的是月平均距平资料，因此，低频振荡也具有地转风向热成风适应的特性。

致谢：本工作得到丑纪范教授教导，特致谢意！

参 考 文 献

- [1] J. M. Wallace and L. J. Gutzler, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere Winter, M.W.R., 109, 784-812, 1981.
- [2] 周琴芳、黄建平等，北半球冬季环流异常演变过程中垂直结构特征的初步分析，（气象学报1988年即将发表）。
- [3] J. R. Holton, 动力气象学引论，科学出版社，48—52, (1980)。
- [4] Blackmon, M. I. and J. M. Wallace, Geographical Variation in the vertical structure of geopotential height fluctuations, J.A.S., 36, 2450-2466, 1979.
- [5] Huang-Hsiung Hsu and J. M. Wallace, Vertical structure of winter time teleconnections, J.A.S., 42, 1693-1710, 1985.