

# 隆冬极地涡旋的崩溃过程\*

赵福吉 陆龙骅 钱翼梅 张卫国\*\*

(中央气象局气象科学研究所天气气候研究所) (北京大学)

## 提 要

本文利用波谱分析方法,研究了隆冬北半球极地涡旋的崩溃过程,指出极地涡旋的崩溃是中、高纬度环流相互作用的产物。当中纬度地区有长波脊向北发展时,有利于极地涡旋崩溃。当高纬度地区有西风角动量向南输送时,有利于极地高压的建立。

## 一、引 言

极地涡旋是冬半年北半球高空气压形势图上最显著的一个系统。它的活动和演变,常常对北半球天气过程的发展有直接影响。因此,多年来极地涡旋一直是人们研究的课题之一<sup>[1,2]</sup>。

天气分析实践<sup>[2]</sup>告诉我们,根据极地涡旋中心的分布情况,我们可以简单地归纳为四种环流型:绕极型、偏极型、偶极型和多极型。秋末冬初极地涡旋以 1 个中心占绝对优势,隆冬以后,2 个中心出现的天数猛增。偶极型成为北半球中、高纬度地区隆冬的主要环流形势之一。也就是说,隆冬以后,北半球中、高纬度的高空环流形势,常常伴随有一次极地涡旋的崩溃过程,极地涡旋从 1 个中心变为 2 个或多个中心。有时候在极区,甚至出现一个反气旋,称之为极地高压<sup>[3]</sup>。

本文利用北半球 100 毫巴和 500 毫巴高度场的资料进行波谱分析<sup>[4,5]</sup>,对几次极地涡旋的崩溃过程进行了研究。在此基础上,对隆冬极地涡旋崩溃过程的原因及其预报着眼点提出一些看法。

## 二、极地涡旋崩溃的波谱分析结果

### 1. 1971 年 1 月极地涡旋的崩溃过程

1971 年 1 月和 1969 年 1 月是我国较寒冷的月份,都出现甚强的寒潮天气。这两个月的大尺度环流特征是极地涡旋分裂为两个中心,以偶极型为主。图 1 是 1971 年 1 月 1—13 日 100 毫巴的高度廓线。 $60^{\circ}\text{N}$  高度廓线(图 1 a) 上,1—7 日在  $120^{\circ}\text{E}$  附近为一长波槽,7 日以后由 1 波转换成 2 波,两个长波槽分别位于  $90^{\circ}\text{E}$  和  $80^{\circ}\text{W}$  附近。与此同时,相应地在  $0^{\circ}$  附近逐渐突起一个高压脊。在这段时间内, $30^{\circ}\text{N}$  廓线图(图 1 b) 上一直维持四个波。在 4 日前后长波系统有一次调整过程,原先在  $0^{\circ}$  附近的长波槽逐渐为高压脊所代替,值得注意的是这个转换比  $60^{\circ}\text{N}$  提早 2—3 天。另外,从图上还可以

\* 本文于 1979 年 2 月 23 日收到。

\*\* 参加部份工作的还有薛明、武英、果迎先。

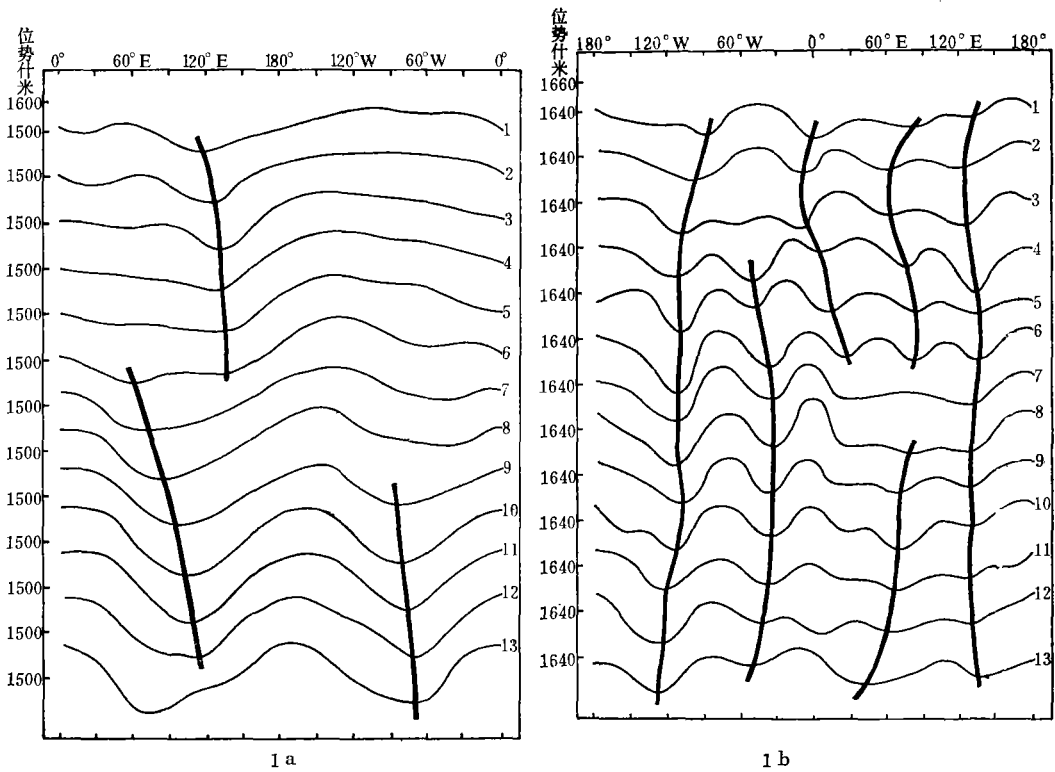


图 1 1971 年 1 月 1—13 日 100 毫巴高度廓线图

看到，4 日以后四个波的振幅明显加大。

我们从波谱分析中，得到了和实况相类似的结果。1971 年 1 月初，北半球 100 毫巴等压面上  $60^{\circ}\text{N}$  以第 1 波为主，这样的形势从 6 日开始发生迅速变化，9 日以后形势调整为以第 2 波为主，见图 2。

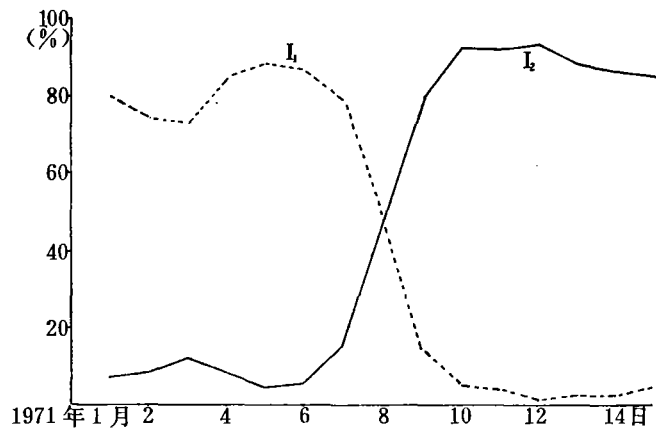


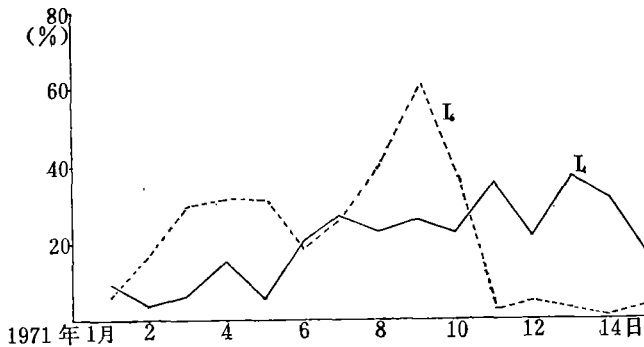
图 2 1971 年 1 月 1—15 日 100 毫巴  $60^{\circ}\text{N}$  上  $I_1$  (第 1 波的百分率) 和  $I_2$  (第 2 波的百分率) 的逐日变化

表 1 是 100 毫巴等压面上  $30^{\circ}\text{N}$  各个波的百分率 ( $I$ ) 的变化。由表可见，6 日以

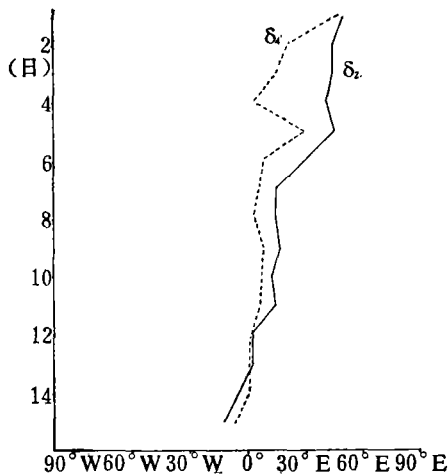
表 1 1971 年 1 月 1—15 日 100 毫巴 30°N 上各波的百分率( $I$ )的变化情况

	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$
1—5 日	9	34	16	8	12	15
6—15 日	7	17	13	25	11	11

后除第 4 波是增强以外, 其余各波都是减弱的。第 4 波的增强过程在  $I_4$  的逐日变化图(图 3) 上也是明显的, 6 日以后第 4 波有逐渐增幅的发展趋势。

图 3 1971 年 1 月 1—15 日 100 毫巴 30°N 上  $I_4$  和 500 毫巴 30°N 上  $I_6$  的逐日变化

我们同时分析了高、低纬度波谱位相角( $\delta$ )的变化情况。发现 30°N 上的第 4 波位相角( $\delta_4$ ) 6 日以后稳定在 0° 经线附近, 而 60°N 上的第 2 波位相角( $\delta_2$ ) 逐渐西退, 7 日以后也稳定在 0° 经线附近(图 4)。也就是说, 7 日以后在 0° 经线附近高低纬度长波脊的位相基本上是一致的。综合图 2, 3 和 4 的分析, 就可看到 30°N 上第 4 波振幅的增强过程, 可能对这次极地涡旋的崩溃起了很重要的作用。

图 4 1971 年 1 月 1—15 日 100 毫巴 60°N 上  $\delta_2$  和 30°N 上  $\delta_4$  的逐日变化

通过对 100 毫巴高度场的波谱分析, 清楚地反映出极地涡旋崩溃过程内, 中高纬度槽脊分布的演变情况。那么 500 毫巴上又有什么反映呢?

表 2 1971 年 1 月 1—15 日 500 毫巴 60°N 上  $I_1$  和  $I_2$  的变化情况

	1—8 日	9—15 日
$I_1$	40	6
$I_2$	24	75

波谱分析的结果指出: 在 500 毫巴等压面上  $60^{\circ}\text{N}$  也存在着明显的 1 波转 2 波的过程。表 2 给出 1—8 日、9—15 日 1 波和 2 波百分率 ( $I$ ) 增强和减弱的情况。从表中可以看出, 1—8 日以第 1 波为主, 9—15 日转为以第 2 波为主。 $30^{\circ}\text{N}$  上的变化与 100 毫巴  $30^{\circ}\text{N}$  上的变化不一样, 以第 6 波振幅的增长最显著 (图 3)。这个波的增强过程实际上是反映了大西洋东部上空长波脊的向北发展, 如图 12 所示。这个问题我们将留在下一节中详细讨论。

1969 年 1 月份也有一次极地涡旋崩溃过程。虽然  $60^{\circ}\text{N}$  上 1 波转 2 波的变化没有 1971 年 1 月份那样明显, 但是在  $30^{\circ}\text{N}$  上的波谱分析结果与 1971 年 1 月份相同。图 5 分别是 100 毫巴和 500 毫巴  $30^{\circ}\text{N}$  上的波谱分析结果。当 16 日极地涡旋从一个中心分裂成两个中心的时候, 100 毫巴上第 4 波和 500 毫巴上第 6 波的增强过程都是很明显的。

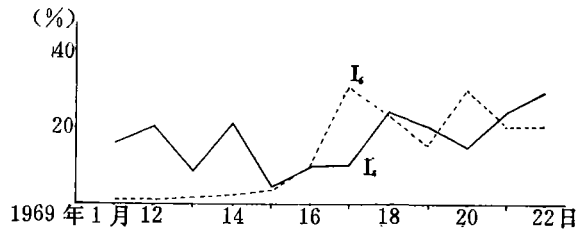


图 5 1969 年 1 月 11—22 日 100 毫巴  $30^{\circ}\text{N}$  上  $I_4$  和 500 毫巴  $30^{\circ}\text{N}$  上  $I_6$  的逐日变化

那末, 当极地涡旋从 2 波转 1 波时,  $30^{\circ}\text{N}$  上的波谱分析结果又是什么样呢? 是否与上述 1 波转 2 波有明显的不同呢?

1973 年 1 月就有一次从 2 波转为 1 波的过程。图 6 是 100 毫巴  $60^{\circ}\text{N}$  上第 1 波和第 2 波的百分率逐日变化图, 22 日以前 100 毫巴  $60^{\circ}\text{N}$  上以第 2 波为主, 22 日以后转为以第 1 波为主。与之相对应的在  $30^{\circ}\text{N}$  上第 4 波的变化恰好与 1971 年的个例相反,  $I_4$  的变化是逐日减小的。500 毫巴  $30^{\circ}\text{N}$  上的第 6 波百分率同样也是逐日减小的 (图 7)。

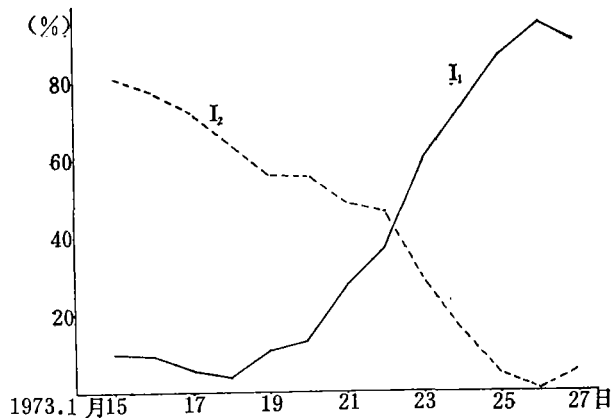


图 6 1973 年 1 月 15—27 日 100 毫巴  $60^{\circ}\text{N}$  上  $I_1$  和  $I_2$  的逐日变化

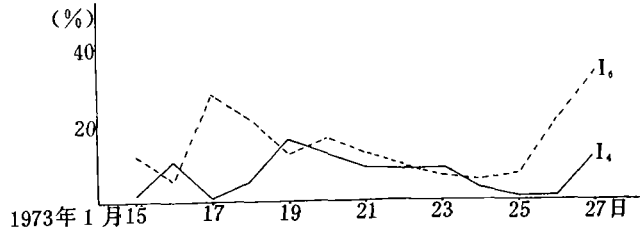


图 7 1973 年 1 月 15—27 日 100 毫巴  $30^{\circ}\text{N}$  上  $I_4$  和 500 毫巴  $30^{\circ}\text{N}$  上  $I_6$  的逐日变化

这个例子的波谱分析结果作为一个反例,进一步证实了,隆冬北半球极地涡旋的崩溃过程可能是与中低纬度 100 毫巴上第 4 波和 500 毫巴上第 6 波的增强过程相联系着的。

## 2. 1977 年 1 月极地高压的建立过程

1977 年 1 月北半球出现了大范围异常天气,东亚和北美出现严寒,我国大部份地区 1 月份平均气温比常年同期偏低  $3-4^{\circ}\text{C}$ ,美国遭受到几十年来少有的强寒潮袭击,而阿拉斯加、冰岛及格陵兰南部温度异常。这种半球性的大范围天气变化,是由北半球大型环流异常所决定的<sup>[6]</sup>。

这个月大尺度环流最显著的特征是极地为高压所控制,这个系统从地面一直伸展到 10 毫巴,冬季高纬度地区的绕极西风气流被平均纬向东风所取代(见图 8)。这个高压从 1 月 9 日一直维持到 2 月 13 日,强度大、范围广,均为少见。

为了研究极地高压的建立过程,我们对这次极地高压建立前后的 500 毫巴高度场资料进行了波谱分析。图 9 是 1977 年 1 月 1—15 日各纬圈上的 1—3 波振幅的变化情况。1 月 8 日以前中高纬度上以 1—2 波为主。例如图 10 a 是 1 月 4 日 500 毫巴超长波(0—3 波)形势图,极地涡旋的两个中心分别位于格陵兰和堪察加半岛附近,以偶极型为主。而在极地高压建立过程中第 3 波振幅明显加大。有趣的是第 3 波的振幅,  $40^{\circ}\text{N}$  上 6 日达到最大,  $50^{\circ}\text{N}$  上 8 日达到最大,  $60^{\circ}\text{N}$  上 9 日达到最大,  $70^{\circ}\text{N}$  上 10 日达到最大。这说明这次极地高压建立过程中增长最显著的是第 3 波,它似乎是从中低纬度逐渐向北推进的。Quioz<sup>[7]</sup>曾计算过同时间各纬圈上的 10 毫巴高度场的波谱分析,从他所列出的图上可见,1 月 9 日以后 1—2 波也是明显减弱的,可惜他没有列出第 3 波的变化情况,无法进一步讨论平流层与对流层之间的关系。

图 11 是第 3 波位相角(波脊)的逐日变化图。在  $40^{\circ}\text{N}$  上第 3 波的波脊一直维持在  $20^{\circ}\text{W}$  附近,而  $60^{\circ}\text{N}$  上的波脊有明显的西退现象,当第 3 波的振幅明显增长后,  $60^{\circ}\text{N}$

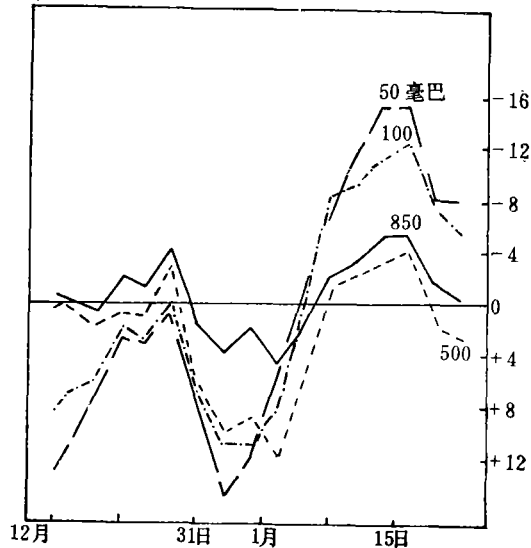


图 8 1976 年 12 月到 1977 年 1 月  $65^{\circ}\text{N}$  上 850—50 毫巴等压面高度平均纬向风(西风为正,取自文献[7])

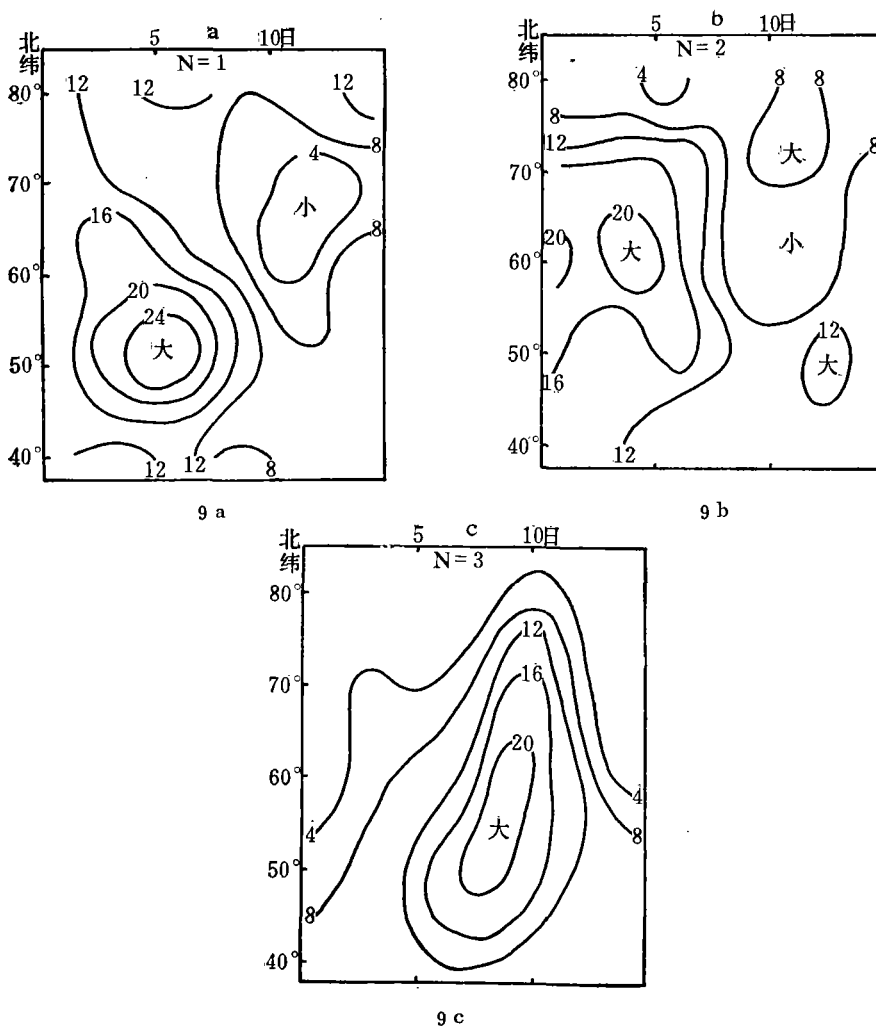


图 9 1977 年 1 月 1—15 日各纬圈上的 1—3 波振幅的变化情况

上的波脊与  $40^{\circ}\text{N}$  上的波脊同位相，其中有一个波脊位于大西洋东部上空。因此，波谱分析的结果也表明了大西洋上空暖高压脊的发展。钟玉<sup>[8]</sup>认为：极地高压形成过程是通过大西洋上空斜压不稳定波的急剧发展，使暖高压脊一直伸向极地而形成的。

### 三、一点看法

根据上述分析结果，我们认为在探讨极地涡旋的崩溃原因中，必须要考虑到中高纬度的相互作用问题。对此，我们作了下面的讨论。

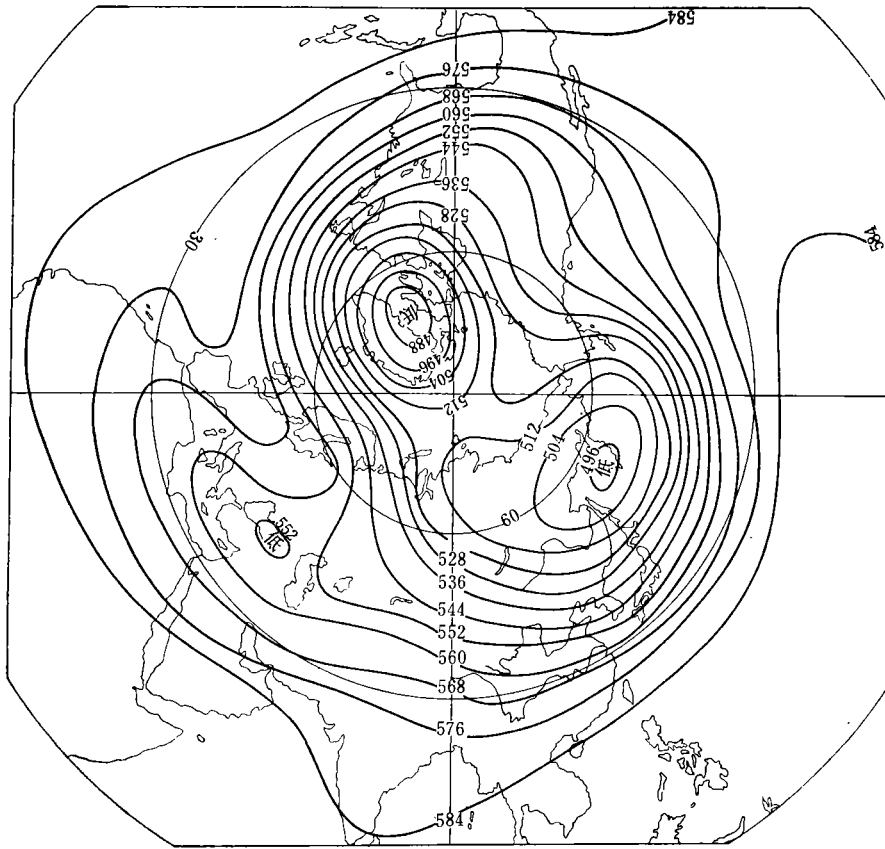
我们从 1971 年 1 月的例子看出，极地涡旋的崩溃过程常常与中低纬度的长波脊的发展过程相联系的。这不仅在 500 毫巴和 100 毫巴上是如此，Byraeva 等人<sup>[9]</sup>在研究平流层爆发性增温时，也早已指出，平流层中的增温中心首先在中纬度形成，然后移向高纬度的。在我们这个例子中，中高纬度的联系表现为 500 毫巴上  $30^{\circ}\text{N}$  附近第 6 波振幅的增长，与这一个波相对应的天气系统就是大西洋上空长波脊的发展。图 12 是 1971 年 1

月 3—11 日每隔一天 500 毫巴上特征等高线的演变图。大西洋上空  $20^{\circ}\text{W}$  附近长波脊的向北发展比较明显, 连贯性也是很好的。这个脊到 9 日发展得最强, 这一天也是极地涡旋崩溃之日,  $60^{\circ}\text{N}$  纬圈上从 1 个波转成 2 个波。1969 年 1 月极地涡旋崩溃过程前, 在中低纬度同样也有一次长波脊的向北发展过程 (图略)。所不同的是这次长波脊不是在大西洋上空, 而是在欧洲大陆上空。

因此, 极地涡旋崩溃的原因主要应着眼于在大西洋—欧洲地区内有没有脊的发展。这一点可以从这几方面来认识它。

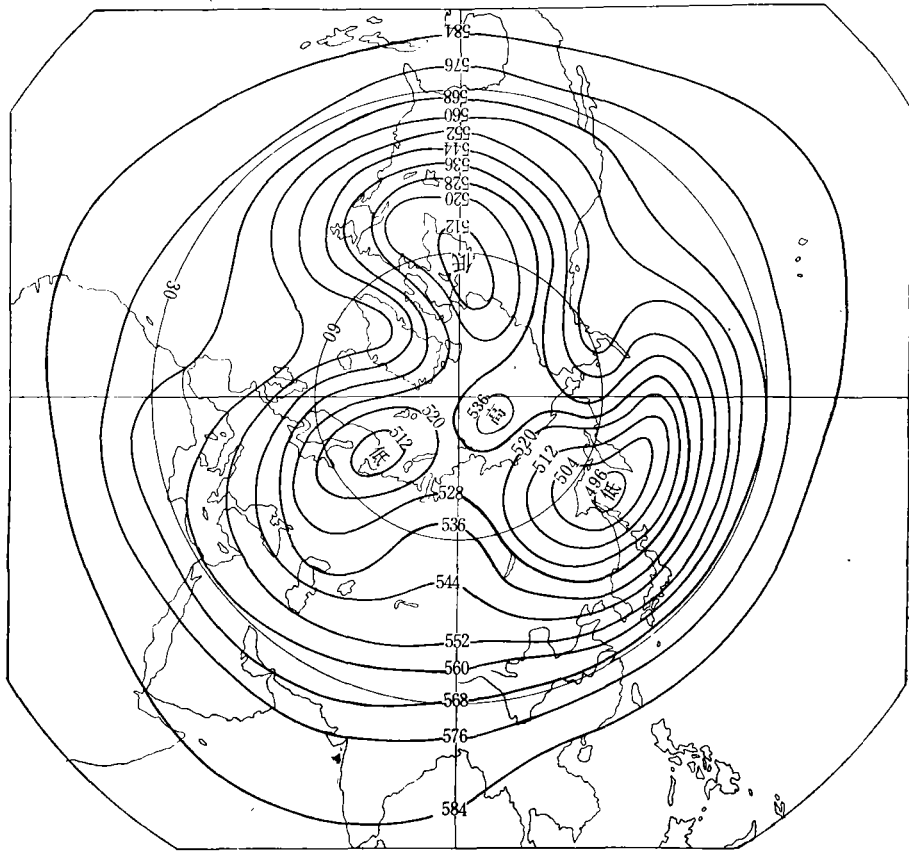
1. 在分析极地涡旋的崩溃过程中, 有人注意阿拉斯加长波脊的作用。当极地涡旋崩溃时, 阿拉斯加地区上空确实存在着一个强大的长波脊。但是从多年平均图来看, 冬季阿拉斯加附近是长波脊的常驻地区, 因此阿拉斯加长波脊的存在只能说是极地涡旋崩溃的必要条件之一, 而不是它的充分条件。

2. 从我们分析的个例来看, 极地涡旋崩溃前后高度场变化最大的地区, 不是在阿拉斯加地区上空, 而是在大西洋—欧洲地区上空。极地涡旋崩溃过程常常伴随着大西洋—欧洲地区上空一次长波槽转变为长波脊的过程。比较一下图 10 a 和图 10 b 也可以看出, 极地高压建立前后, 高度场变化最大的地区不是在阿拉斯加地区, 而是在大西洋



500 毫巴图  
1977 年 1 月 4 日 20 时 (北京时间)

图 10 a 500 毫巴超长波 (0—3 波) 形势图



500毫巴图  
1977年1月9日20时(北京时间)

图 10 b 500 毫巴超长波(0-3波)形势图

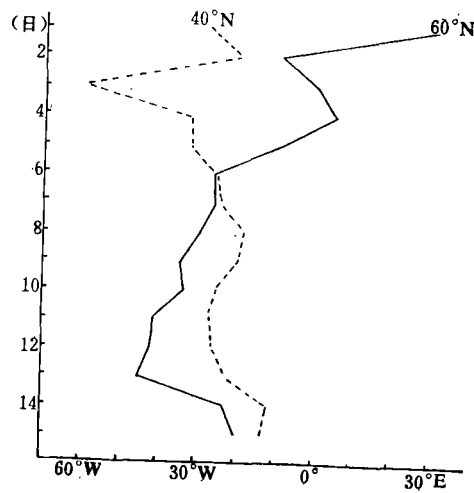


图 11 1977年1月1—15日第3波波脊的逐日变化



上空。

1977年1月极地高压建立时，第3波振幅的增长特别明显，而这种增长，首先也是从中纬度上开始的（图9）。更为有趣的是，在图11上，1月6日以前60°N的位相角位于40°N位相角的东面，高低纬度长波槽脊位置呈东北—西南走向，有利于西风角动量向北输送<sup>[10]</sup>。而6日以后，60°N的位相角转到40°N的西面，长波槽脊位置转为西北—东南走向。长波系统位相角的转向在超长波图（图10）上就可以清楚地看到这一点。在长波槽脊位置呈西北—东南走向的情况下，西风角动量不但不向北输送，反而是西风角动量从高纬度向南输送。这种西风角动量的向南输送，不利于高纬度西风的维持，这也可能就是为什么9日以后极地建立高压，绕极西风为东风所取代的原因之一。为了更清楚地表示出西风角动量输送的变化，我们分别计算了4日和9日这两天西风角动量涡动输送的情况（图13）。4日极地高压建立以前，北半球各纬度上西风角动量涡动输送向北为主，而其中以第3波的贡献最大。而9日极地高压建立之时，45°N以北地区西风角动量涡动输送向南为主，其中也是以第3波的贡献最显著。

蔡承侠<sup>[3]</sup>曾分析过500毫巴上72次极地高压建立过程，把极地高压建立过程分为经向发展型和低涡切断型两种过程。他认为极地高压建立过程往往是一次暖波北上发展生成的。他所给出的模式图表示了长波脊从东南向西北方向发展，这是有利于高纬度西风角动量向南输送的。至于这种暖波北上发展过程与高纬度西风角动量向南输送之间有什么关系，则尚需进一步研究。

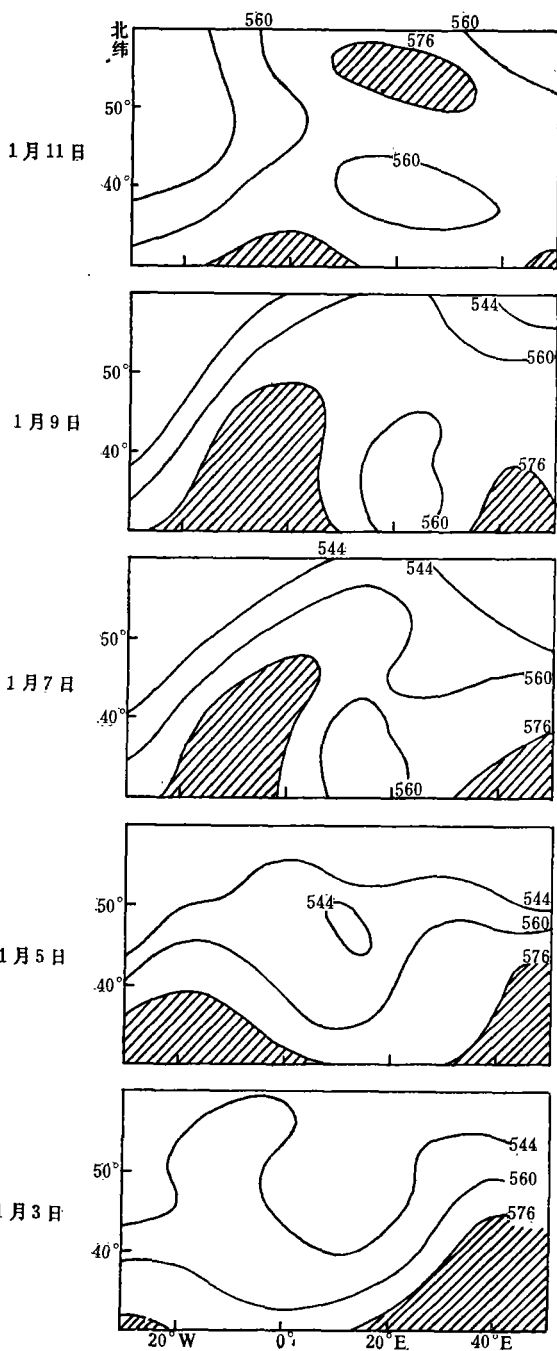


图 12 1971年1月3—11日500毫巴特征等高线的演变图。（斜线区为大于576位势什米的区域）

他所给出的模式图表示了长波脊从东南向西北方向发展，这是有利于高纬度西风角动量向南输送的。至于这种暖波北上发展过程与高纬度西风角动量向南输送之间有什么关系，则尚需进一步研究。

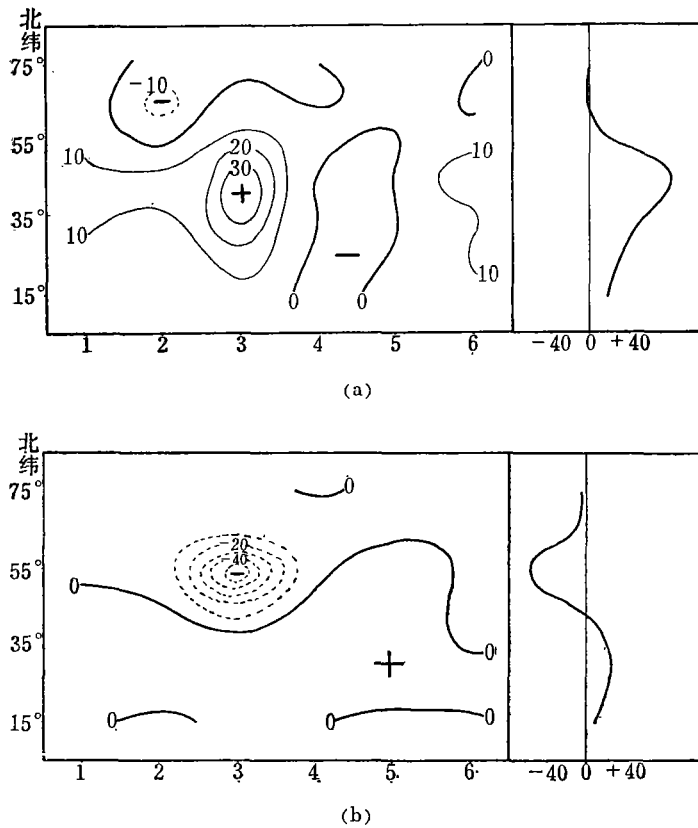


图 13 1977 年 1 月 4 日 (a) 和 9 日 (b) 西风角动量涡动输送的波谱随纬度的变化。右图为 6 个波之总和。正值为向北输送，负值为向南输送。  
(单位:  $10^{22}$  克·厘米<sup>2</sup>/秒<sup>2</sup>·毫巴)

### 参 考 文 献

- [1] В. Р. Дубенцов, Л. М. Наталенкова, Труды ЦИП, Вып. 137 (1964), 4—10.
- [2] 发原, 气象, 1977 年第 10 期, 3—5.
- [3] 蔡承侠, 气象, 1978 年第 12 期, 13—16.
- [4] 朱福康, 气象学报, 34 (1964), 31—40.
- [5] 陈受钧, 气象学报, 32 (1962), 308—321.
- [6] 徐夏因, 郭肖蓉, 大气科学, 2 (1978), 258—262.
- [7] R. S. Quiroz, Geophys. Res. letters, 4 (1977), 151—154.
- [8] 钟玉, 气象, 1977 年第 4 期, 29—32.
- [9] И. В. Бугаева, Л. А. Резанова, Д. А. Тарасенко, Метеор. и Гидро. 1973, 11, 90—93.
- [10] E. Palmén and C. W. Newton, Atmospheric Circulation Systems, Academic Press (大气环流系统第 7 页, 程纯枢等译, 科学出版社, 1978).

---

## ON THE COLLAPSE PROCESSES OF THE MIDWINTER POLAR VORTEX

Zhao Fu-ji et al.

*(Academy of Meteorological Science, Central Meteorological Service)*

Abstract

In this paper, by the method of power-spectra analysis, the collapse processes of the mid-winter polar vortex in the Northern Hemisphere are investigated. It is shown that they are the consequence of interactions between atmosphere circulations of higher and middle latitudes. The northward development of long-wave ridges of middle latitudes favors the collapsing and southward transport of positive angular momentum from higher latitudes favors the setting-up of the polar high.