

# 北半球 30hPa 环流春季转变过程的诊断研究

葛 玲      郭树军\*

(南京气象学院, 南京, 210035)

## 提 要

利用 1965—1986 年 30hPa 逐日高度、温度资料和月平均臭氧资料, 对环流的春季转变过程进行了诊断研究。结果表明: 50°N 以北极冠地区高度场涡动方差  $E$  指数小于  $4 \times 10^4$  ( $\text{dagpm}$ )<sup>2</sup> 的初日可以作为 30hPa 自然天气季节进入春季的近似度量; 冬末至早春环流在压、温和经、纬向风场方面均有显著变化; 定常和瞬变涡旋动量、热量通量和通量辐散(合)的时空变化特征明显; 春季转变早、迟两类情况下极区平流层热源——臭氧在经向、纬向和垂直分布方面呈现异常。

## 一、引 言

利用天气图资料划分自然天气季节已有半个世纪以上的历史。苏联穆尔坦诺夫斯基学派以天气过程的特点划分自然天气季节<sup>[1]</sup>。我国气象工作者 50 年代中期以来在季节变化方面做了大量的工作<sup>[2-6]</sup>。60 年代中期以来, 随着探测手段的改进和资料的进一步积累, 国内外气象工作者又对平流层环流的季节变化做了大量的工作<sup>[7-11]</sup>。平流层环流的春季转变问题由于成因复杂, 它的变化对其后各季中、低纬对流层环流过程的发展和我国大范围天气气候异常具有指示性而倍受重视。本文的目的在于探索 30hPa 环流春季开始期的一种客观划定方案, 讨论这一大型环流转变过程中, 环流型式及物理量输送的演变特征及外源强迫异常。

## 二、资料和方法

本文使用德国柏林自由大学整理的 1965—1986 年北半球 30hPa 逐日高度, 温度资料, 以及美国科罗拉多大学提供的北半球月平均臭氧总量和单站臭氧垂直分布资料。

### 1. 计算极冠地区 30hPa 高度场涡动方差 $E$ 指数

$$E = \sum_{\varphi} \sum_{\lambda} Z^{*2}(\varphi, \lambda, t) \quad (1)$$

1990 年 12 月 11 日收到, 1991 年 4 月 7 日收到修改稿。

\* 现在河北省气象台工作。

其中,  $Z^*(\varphi, \lambda, t) = Z(\varphi, \lambda, t) - [Z](\varphi, t)$  为纬偏值,  $\varphi = 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ\text{N}; \lambda = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, \dots, 170^\circ\text{E}, 180^\circ, 170^\circ\text{W}, \dots, 10^\circ\text{W}$ . 定义  $E$  值在冬半年衰减并小于界限值的初日作为自然天气季节春季开始期的近似度量.

2. 采用合成分析方法研究历年后冬末期和进入早春后等两时段 30hPa 十天平均环流高度、温度和经、纬向风场的大尺度特征.

3. 计算分析了春季转变前十天至后十天多年纬向平均动量通量  $[\overline{uv}]$ 、热量通量  $[\overline{vT}]$  诸分量

$$[\overline{uv}] = [\overline{u}][\overline{v}] + [\overline{u^* v^*}] + [\overline{u' v'}] \tag{2}$$

$$[\overline{vT}] = [\overline{v}][\overline{T}] + [\overline{v^* T^*}] + [\overline{v' T'}] \tag{3}$$

随时间的变化特征. 两式右端第一项为平均经圈环流输送项, 由于采用地转风计算, 该项可略. 故主要讨论右端第二、三项, 即定常涡旋输送项和瞬变涡旋输送项.

4. 按春季转变时间早迟选例分类, 采用合成分析方法讨论极区臭氧总量经向、纬向分布和臭氧分压垂直分布的异常.

### 三、用 30hPa 高度场涡动方差 $E$ 指数定春季开始期

平流层环流波动能量集中在高纬极圈附近, 它与行星波振幅的变化相应具有明显的季节循环. 当 30hPa 环流从冬季型向夏季型过渡时, 极地高压稳定建立是春季开始的标志, 此时极地低压退居中东, 高纬行星波振幅持续衰减. 我们以  $50^\circ\text{N}$  以北极冠地区涡动方差  $E$  指数稳定小于  $4 \times 10^4 (\text{dagpm})^2$  的初日作为 30hPa 自然天气季节进入春季的近似度量. 图 1 为以逐年春季开始期作为零日的  $E$  指数定常值的时间演变.

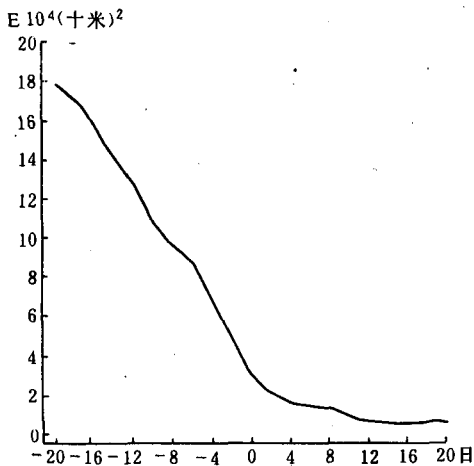


图 1 30hPa 春季开始期前后双日一次  $E$  指数定常值的时间演变(单位:  $10^4 (\text{dagpm})^2$ )

由图可见: 在后冬涡动能量随时间显著衰减, 其中尤以春季开始期前 6 天内衰减最为迅速. 入春后  $E$  指数衰减速率日趋缓慢, 10 天以后渐趋于一常值.

以  $E$  指数划定的 30hPa 逐年春季开始期如表 1. 在 22 年中, 春季开始最早在 3 月 13 日(1984 年), 最迟在 5 月 2 日(1968 年), 平均在 4 月 10 日, 极端早、迟相差达 50 天. 可见, 30hPa 环流春季开始期具有较大的年际变化.

表 1 30hPa 逐年春季开始期

| 年 | 1965 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 平均 |
|---|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 月 | 4    | 4  | 4  | 5  | 4  | 4  | 3  | 4  | 3  | 4  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  |
| 日 | 25   | 13 | 30 | 2  | 19 | 15 | 26 | 14 | 29 | 8  | 31 | 16 | 6  | 10 | 29 | 10 | 8  | 22 | 6  | 13 | 30 | 6  | 10 |

### 四、春季转变前后大尺度环流平均场特征演变

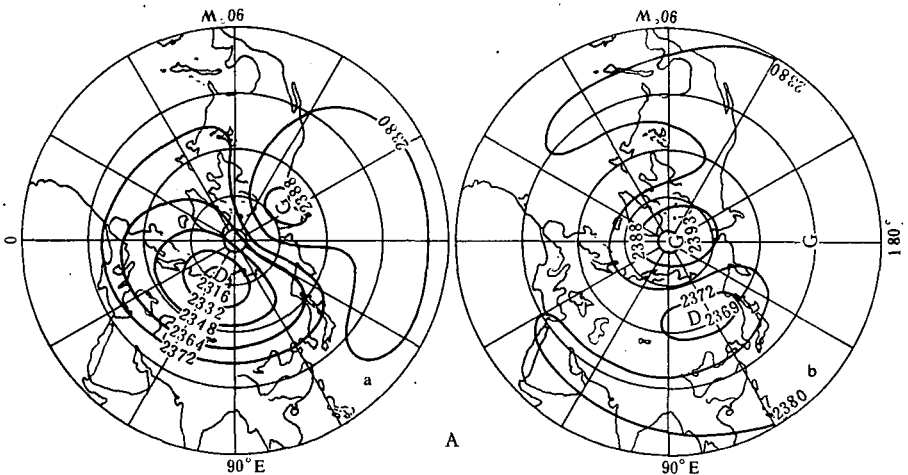
图 2 给出历年后冬末期和进入早春后两个不同时段 30hPa 大尺度环流平均场高度、温度和经、纬向风场的特征。

**高度场:**后冬末期(春季开始前 12 天至前 4 天平均)极区被强度为 2316 dagpm 的低涡控制,中心在新地岛附近,阿拉斯加上空有强度为 2388dagpm 的高压,这是典型的冬末形势。早春时期(春季开始后 4 天至第 12 天平均)阿拉斯加高压已进入极地上空并增强至 2393dagpm,北太平洋上还有一个副热带高压,中纬度为气旋性环流控制,极涡已向东南撤至贝加尔湖东南部,强度显著减弱(图 2A-a. b)。

**温度场:**后冬末期暖中心在白令海峡上空,亚洲大陆东北部、北太平洋北部、北美大陆北部及极区大部为暖区控制,主要冷区已南退至 40°—55°N 纬带的北大西洋东海岸至里海—咸海一带。早春期间,暖区已控制整个极区,中心已进入极地,冷区已向东南退到 20°—45°N、0°—90°E 附近的北非大陆东北部、欧洲南部及亚洲西南部的高原或沙漠地区上空,中心略有减弱(图 2B-a. b)。

**纬向风场:**后冬末期,阿拉斯加高压向极一侧的西风区和极涡向极一侧的东风区象一对偶极子控制着极区。25°N 以北的中高纬大部地区为极涡底部的西风控制,强风速带在 50°—60°N 的西伯利亚地区,中心强度为 18m/s。阿拉斯加高压南侧东风控制着北太平洋东北部及北美西部上空,25°N 以南的低纬地区亦为东风环流。入春后随着极地高压发展,50°N 以北极冠地区全为东风,低纬东风亦明显加强,中纬西风带上已趋于纬向对称分布,中心减弱并东移至渤海湾上空(图 2C-a. b)。

**经向风场:**转春前(后),经向南、北风中心均位于极圈附近,强度显著减弱。后冬末期,阿拉斯加高压西侧为南风区,极涡后部、新地岛以西为北风区,强度分别达到 16m/s 和 -11m/s。入春后,经向风显著减弱,中心南退至极圈以南。可见,经向风强度和中心位置随着极区行星尺度波动振幅的衰减而减弱南退(图 2D-a. b)。



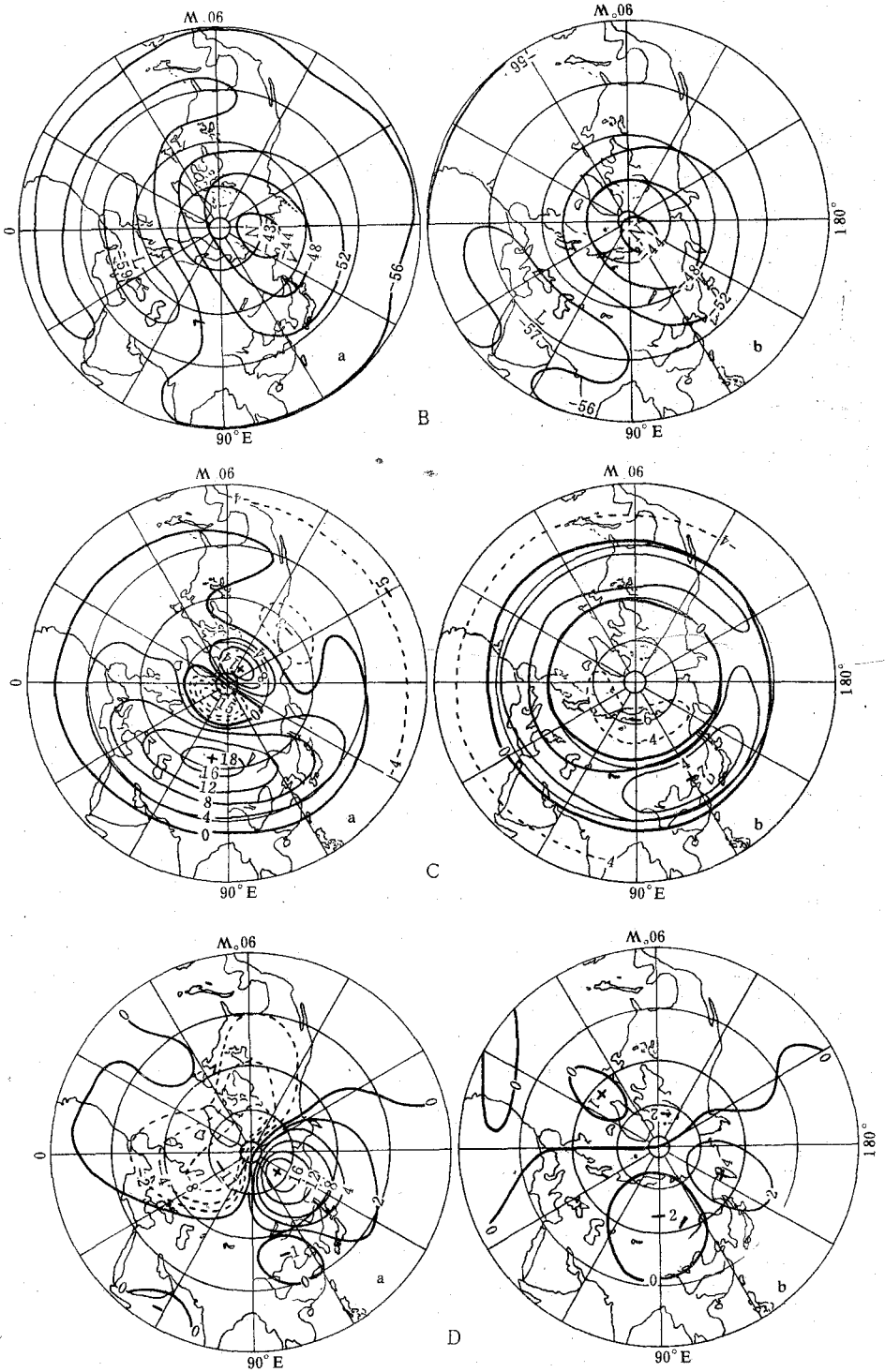


图 2 北半球 30hPa 环流多年平均场  
 (A)高度 (B)温度 (C)纬向风 (D)经向风 (a)冬末 (b)早春

### 五、春季转变前后定常与瞬变涡旋动量、热量通量和通量散度

依照式(2)、(3)(即环流分解式),选例(春季转变早、迟各7例)计算并讨论了10天前至10天后双日一次的定常与瞬变涡旋动量(热量)通量和通量散度分布与高纬纬向风(温度)变化的联系。

#### 1. 动量通量、通量散度与纬向风

**定常涡旋:**春季转变前后,60°N以北有定常涡旋动量的向南通量,而中低纬有较弱的向北通量。动量通量辐合区在50°—70°N,在此以北和中低纬有辐散区。以上诸量均在入春前10天最强,入春后迅速减弱(图3A-a. b)。

**瞬变涡旋:**在整个时段有瞬变涡旋动量向北通量,最大值带在极圈附近。因而,动量通量辐合区在极区,而强辐散带在30°—50°N。以上极值均出现在春季开始前6天,入春后迅速减弱(图3B-a. b)。

瞬变涡旋动量通量和通量散度与定常涡旋相比一般要大1—2个数量级。当高纬定常和瞬变动量通量辐合增强阶段,50°—80°N平均为西风;当春季开始、动量通量辐合显著减弱后,高纬西风迅速减弱并转向东风。

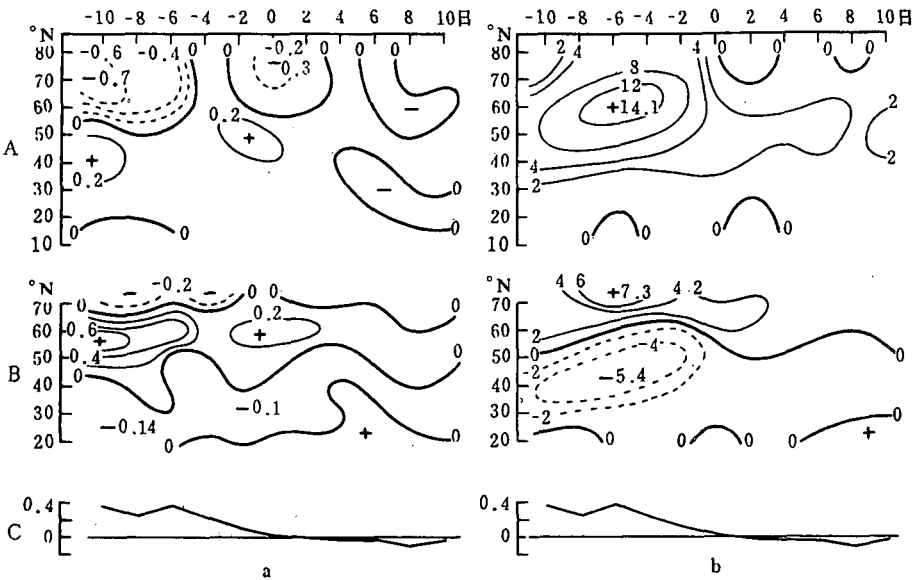


图3 动量通量(A)、动量通量散度(B)、50°—80°N 纬向风(C)  
(a)定常涡旋 (b)瞬变涡旋

(单位:  $[\overline{u^*v^*}]$ 、 $[\overline{u'v'}]$ :  $m^2/s^2$ ,  $-\frac{[\overline{u^*v^*}]}{\partial y}$ 、 $\frac{[\overline{u'v'}]}{\partial y}$ :  $\times 10^{-7}m/s^2$ ,  $[\overline{u}]$ :  $m/s$ )

#### 2. 热量通量、通量散度与温度

**定常涡旋:**中高纬定常涡旋向北输送热量,冬末,通过极圈附近有较强的热量通量向

极地辐合,50°—60°N 有较强的热量通量辐散。入春后,随着极地定常涡旋热量向南输送区的出现,热量向北输送最大值带及热量通量辐合区均显著减弱南移。整个阶段,低纬定常涡旋向南输送热量(图 4A-a. b)。

瞬变涡旋:大部分纬带有热量向北输送。最大输送带在 50°—60°N 附近。入春前 4 天开始极区出现热量向南输送且范围向极圈以南扩展。最大向北输送带以北的整个高纬地区为瞬变涡旋热量通量辐合区,热量强烈地向极圈附近辐合。中低纬为热量通量辐散区。高(中)纬带最强的热量通量辐合(散)均出现在临近春季开始期之前(图 4B-a. b)。

瞬变涡旋热量通量及通量散度值一般均比定常涡旋大 1 个数量级。冬末,随着瞬变热量通量辐合的增强,极区温度(以 $[\overline{T}]_{70^{\circ}\text{N}}$ 表示)日渐增暖,入春后随着极区热量通量辐合减弱, $[\overline{T}]_{70^{\circ}\text{N}}$ 值有所下降。

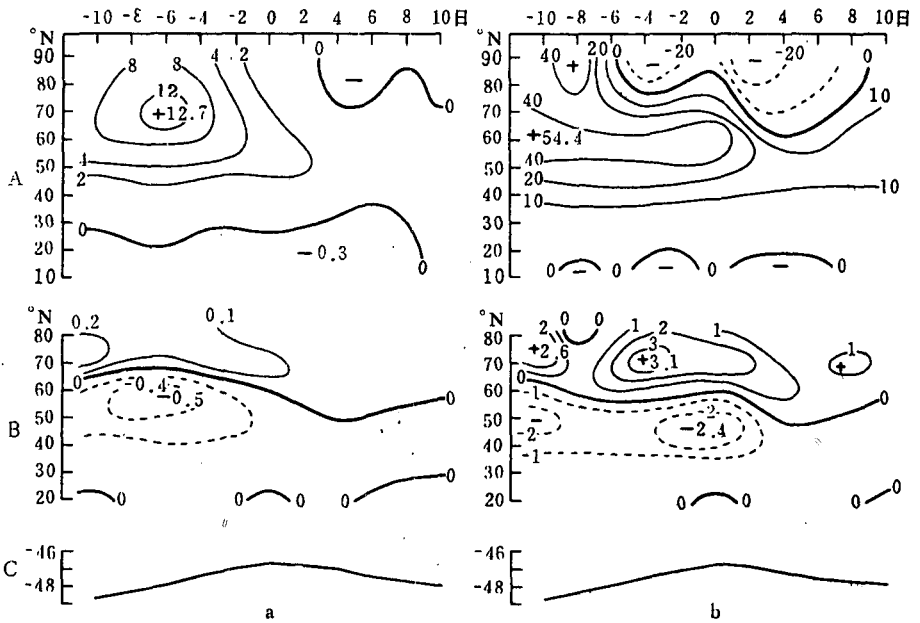


图 4 热量通量(A)、热量通量散度(B)、 $[\overline{T}]_{70^{\circ}\text{N}}$ 温度(C) (a)定常涡旋 (b)瞬变涡旋

(单位: $[\overline{v \cdot T^*}]$ 、 $[\overline{v' T''}]$ : $\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ,  $-\frac{\partial[\overline{v \cdot T^*}]}{\partial y}$ 、 $-\frac{\partial[\overline{v' T''}]}{\partial y}$ : $\times 10^{-7}^{\circ}\text{C}/\text{s}$ )

### 六、春季开始早、迟与臭氧的经、纬向和垂直分布异常

早春是北半球极区臭氧积聚最多的时期,此时太阳辐射引起的臭氧加热是平流层大气运动的重要强迫源。分析表明:30hPa 春季转变的早迟与北半球早春臭氧总量的经、纬向分布和垂直分布有关。

#### 1. 极区臭氧总量的纬向分布

多年平均图分析表明:北半球早春臭氧最大值纬带在极区 75°N,其上叠加着两个臭氧脊:一个在 80°—100°W 的北美上空,另一个在 120°—140°E 的东亚北部。

表 2 给出春季开始早 (I 类, 共 4 例), 迟 (II 类, 共 6 例) 情况下沿 75°N 纬圈臭氧总量平均值及两类的差值分布。平均而言, 该纬圈臭氧总量 I 类多于 II 类, 一个主要的差值区位于 80°W 附近的北美上空, 中心值达 46 Dobson 单位。从表中还可看到: I 类条件下北美臭氧脊比东亚的脊强, II 类则相反。

表 2 春季开始期与 3 月份沿 75°N 纬圈臭氧总量分布 (单位:  $\times 1 \text{ Dobson}$ )

| 经度<br>E-W | 0   | 20  | 40  | 60  | 80  | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 160 | 140 | 120 | 100 | 80  | 60  | 40  | 20  |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I         | 453 | 455 | 461 | 468 | 477 | 483 | 485 | 483 | 476 | 465 | 459 | 462 | 477 | 499 | 502 | 490 | 470 | 456 |
| II        | 431 | 429 | 435 | 443 | 453 | 462 | 468 | 470 | 463 | 458 | 453 | 453 | 457 | 458 | 456 | 446 | 438 | 435 |
| I - II    | 22  | 26  | 26  | 25  | 24  | 21  | 17  | 13  | 13  | 7   | 6   | 9   | 20  | 41  | 46  | 44  | 32  | 21  |

## 2. 臭氧总量的经向分布

表 3 所示为 3 月份上述两类臭氧总量的纬圈平均值及差值的经向分布, 结果表明: 50°N 以北极冠地区 I 类臭氧总量多于 II 类, 差值向极增加, 中纬度差异相反。表 3 还给出了臭氧经向分布差异最大的沿 80°W 的差值分布, 可见极圈以北的整个极区 I 类臭氧显著多于 II 类。

表 3 春季开始期与 3 月份臭氧总量经向分布 (单位:  $\times 1 \text{ Dobson}$ )

| 纬度(°N)        | 5 | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 | 65 | 75 | 85 |
|---------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| I - II (纬向平均) | 6 | 0  | -4 | -5 | 3  | 6  | 9  | 23 | 29 |
| I - II (80°W) | 1 | -1 | -1 | -6 | 0  | 11 | 37 | 46 | 35 |

## 3. 北美上空臭氧分压的垂直分布

表 4 给出北美臭氧脊附近 Resolute 站(74°43'N, 94°59'W) 3 月份从地面到平流层中部主要等压面上多年平均臭氧分压及两类差值分布, 可见: 差异主要出现在对流层上部, I 类臭氧分压显著大于 II 类。

表 4 春季开始期与 3 月份 Resolute 站臭氧分压垂直分布 (单位:  $10^{-6} \text{ hPa}$ )

| p (hPa) | 地面 | 700 | 500 | 300 | 200 | 100 | 70  | 50  | 30  | 20  | 10 |
|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 多年平均    | 23 | 29  | 26  | 67  | 143 | 213 | 232 | 218 | 162 | 114 | 57 |
| I - II  | 5  | 4   | 6   | 33  | 43  | 13  | -9  | -1  | 5   | -2  | 4  |

综上所述: 早春 3 月太阳辐射返回极区前后, 极区 (特别是北美极区) 的臭氧量值对平流层环流春季转变的早、迟有重要意义, 异常加热主要在对流层上部。

## 七、结 论

1. 50°N 以北极冠地区 30hPa 高度场涡动方差  $E$  指数在冬末稳定小于  $4 \times 10^4$  ( $\text{dagpm}$ )<sup>2</sup> 的初日可作为春季开始期的近似度量。春季平均开始期在 4 月 10 日, 但具有较大的年际变化。

2. 据此划分得到的冬末与早春 30hPa 平均环流在压、温和经、纬向风场方面具有显著特征, 而两者又有明显差异。

3. 冬末至早春 30hPa 瞬变涡旋动量、热量通量及通量散度值与定常涡旋相比, 均大

1—2 个数量级。涡旋动量、热量通量辐合(散)的空间分布及时间变化均有明显规律,与高纬向风和极区温度变化有密切联系。

4. 春季转变早类 3 月份北美极区臭氧总量显著多于转变迟类。异常加热主要在对流层上部。

### 参 考 文 献

- [1] Парава, С. Т., Естественный сионгический сезон, *Метеорология и Гидрология*, No. 5, 1949.
- [2] 刘匡南等,近五年来东亚自然季节的划分及夏季特征的初步探讨, *气象学报*, 27, 3, 219—242, 1956.
- [3] 叶笃正、陶诗言、李麦村,在六月和十月大气环流的突变现象, *气象学报*, 29, 4, 249—263, 1958.
- [4] 徐淑英、高由禧,东亚季风的若干问题, 88—103, 科学出版社, 1962 年。
- [5] 杨鉴初、徐群,长期天气预报的几个问题, 39—68, 农业出版社, 1963 年。
- [6] 陈其恭、陆菊中,从综合天气型演变定自然天气季节, *南京大学学报*, 1—2, 71—91, 1963.
- [7] 陶诗言,平流层大气环流及太阳活动对大气环流影响的研究, 27—45, 科学出版社, 1964 年。
- [8] Belmont, A. D., D. G. Dartt and G. D. Nastrom, Variation of stratospheric zonal winds 20—65km, 61—71, *J. Appl. Met.*, 14, 3, 595—602, 1975.
- [9] Ebdon, R. A., A note of equatorial stratospheric winds, *Met. Mag.*, 101, 1197, 110—117, 1972.
- [10] 黄士松、汤明敏,长期天气预报文集, 51—72, 气象出版社, 1982 年。
- [11] 翟章等,北半球 50hPa 多年月平均经向剖面上的季节变化, *高原气象*, 8, 4, 345—350, 1989.

## A DIAGNOSTIC STUDY OF THE TRANSITION OF THE 30 hPa CIRCULATION IN NORTHERN SPRING

Ge Ling      Guo Shujun

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing, 210035)

### Abstract

Based on the northern 30 hPa daily altitude and temperature data for 1965—1986 and monthly mean ozone observations for 1958—1976, studies are conducted on the natural transitional process of the circulation from winter to spring by means of dynamic approach and statistical diagnostic analysis. Results are obtained as follows: (1) the first day on which the  $E$  index of eddy variance of the height field in the polar-cap area north of  $50^{\circ}\text{N}$  is smaller than  $4 \times 10^4$  (dagpm)<sup>2</sup> can be taken as an approximate measure of the beginning of spring for the natural season; (2) the circulation in the period from late winter to early spring experiences significant changes in the pressure, temperature, and zonal-meridional wind fields; (3) stationary and transient vortex momentum, heat flux and flux convergence (divergence) undergo remarkable temporal-spatial variations; (4) in both the early and late transitions into spring, the heat source—ozone in the polar stratosphere shows zonal, meridional and vertical anomalies.