

瞬时经圈环流与西风带环流变化的关系*

王 为 德

(新疆自治区气象台)

提 要

用一九七六年冬半年八个个例,对纬圈平均非热成风,瞬时经圈环流和西风带环流变化的关系进行了个例分析和统计分析。指出:当纬圈平均非热成风产生率 $\left(\frac{\partial \bar{u}'_{\tau}}{\partial t}\right)$ 为较大的负值时,出现逆瞬时经圈环流,并有利于长波的阻尼和纬向环流的维持或加强;反之,当 $\frac{\partial \bar{u}'_{\tau}}{\partial t}$ 为正值时,出现正瞬时经圈环流,并有利于长波的发展和纬向环流的减弱或崩溃。对于上述关系,本文还从物理上进行了初步的讨论。

一、引 言

西风带环流的准周期变化,一直是大气环流的重要问题之一。过去,人们将经向环流建立的动力原因主要归结为斜压不稳定^[1]。近来,又有人^[2]将纬向环流的建立过程归结为旋转适应过程。这些结果对掌握西风带环流变化的本质是有重要意义的。但是,除此之外,是否还有其它因素,对西风带环流变化也有重要作用?

经圈环流和纬向风带,是大气环流的基本成员,它们二者的变化可能有一定的内在联系。其次,经圈环流本身的变化还受一些其它因素的制约。根据斜压大气中热成风的破坏和建立的论点^[3],可得出:平均经圈环流是由于水平大型涡旋对动量和热量输送的不平衡,产生纬圈平均非热成风,从而在发生适应的过程中,强迫形成的。因此,纬圈平均非热成风的状态,也可能同西风带环流的变化有一定的联系。

本文的目的在于分析研究影响西风带环流变化的一些因素。首先针对一九七七年二月下旬纬向环流先是发展而后又崩溃的过程,分析了环流发展不同阶段内的经圈环流,纬圈平均非热成风产生率(以下简称非热成风产生率)与西风带环流变化的对应关系。接着,又对一九七六年冬到一九七七年春的八个实例,就非热成风产生率与西风带环流变化的关系作了统计分析。最后,对非热成风产生率,瞬时经圈环流和西风带环流变化这三者的关系进行了综合的讨论。

二、资料与计算方法

本文所选个例的日期及计算非热成风产生率(以 $\frac{\partial \bar{u}'_{\tau}}{\partial t}$ 表示)的日期列于表 1 中

* 本文于 1980 年 3 月 21 日收到,1982 年 2 月 26 日收到修改稿。

表 1

个 例 日 期	计 算 $\frac{\partial \bar{u}'_{\tau}}{\partial t}$ 的 日 期
1976 年 9 月 5 日—11 日	9 月 6 日, 8 日。
1976 年 9 月 29 日—10 月 5 日	10 月 1 日, 3 日。
1976 年 11 月 5 日—9 日	11 月 6 日。
1976 年 12 月 16 日—25 日	12 月 18 日, 20 日, 22 日。
1977 年 1 月 10 日—18 日	1 月 12 日, 14 日。
1977 年 2 月 20 日—3 月 3 日	2 月 22 日, 23 日, 24 日, 25 日, 26 日, 27 日, 28 日, 3 月 1 日。
1977 年 3 月 27 日—4 月 3 日	3 月 29 日, 30 日, 31 日。
1977 年 4 月 15 日—24 日	4 月 16 日, 18 日, 20 日, 21 日。

现将文中所用各量的计算方法说明如下:

$\frac{\partial \bar{u}'_{\tau}}{\partial t}$ 值是根据如下公式^[3]计算, 即

$$\frac{\partial \bar{u}'_{\tau}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\partial \bar{u}' v'}{\partial y} \right) + \frac{g}{f} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} v' \frac{\partial \bar{H}'}{\partial p} \right) \quad (1)$$

其中

$$\bar{u}'_{\tau} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} + \frac{g}{f} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \bar{H}}{\partial p} \right) = \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} + \frac{g}{f} \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\partial \bar{H}}{\partial y} \right) \quad (2)$$

为纬圈平均非热成风; 而 $\overline{u'v'}$ 和 $v' \frac{\partial \bar{H}'}{\partial p}$ 分别表示大型涡旋对动量和热量的输送。 $u' = u - \bar{u}$, $v' = v - \bar{v}$ 。计算时, u, v 均用地转风代替。

$\frac{\partial \bar{u}'_{\tau}}{\partial t}$ 是用 300 和 850 毫巴两层北半球资料分别对 35° — 50° N 和 50° — 65° N 两个纬度带进行计算的。此外, 还根据 500 毫巴半球资料计算了上述两个纬度带的平均西风强度。

垂直运动(以 ω 表示)根据 850, 500, 300, 100 毫巴两个高度的北半球资料应用涡度法计算, 格距取 10 个经纬度。算得的结果再用修正法进行修正^[4]。平均经向风速是应用对纬圈平均的连续方程求得, 边界条件取 $\bar{v}_{72.5^{\circ}\text{N}} = -\bar{v}_{67.5^{\circ}\text{N}}$, 而后再与对纬圈平均的垂直运动, 制作经向垂直剖面, 得到经圈环流的符号与强度。

三、选例分析瞬时经圈环流与西风带环流变化的关系

1. 1977 年 2 月 21 日到 3 月 3 日的例子

这一时期, 主要西风带在 35° — 50° N 活动, 其变化特点大体可分为两段: 21 日至 26 日, 为长波减弱纬向环流加强; 26 日至 3 月 3 日为长波发展纬向环流减弱时期。图 1 是这一时期 500 毫巴上 35° — 50° N 长波连续变化图。可以看出: 21—24 日, 亚洲、美洲东岸和欧洲西岸各有一个长波槽, 可是总的趋势是减弱的。到了 25—26 日期间, 环流变得相当平直。26 日以后, 长波又迅速发展起来, 到 3 月 3 日分别在 40°E , 140°E , 170°W , 100°W

和 50°W 形成五个长波槽。

图 2 为这例西风带环流变化的情况, 从 $\bar{u}$ 曲线可以看到: 21—25 日中纬西风指数的趋势是上升的, 由 19.4 米/秒上升到 21.2 米/秒。而在 25 日以后, 西风指数明显下降, 到 3 月 3 日下降到 16.9 米/秒。为了说明长波增衰情况, 我们采用解高度场纬圈谱的办法, 选取波数 4, 5, 6 三个波的振幅总值来表示长波强弱。自 21 日至 26 日振幅总值由 173 位势米下降到 104 位势米。而 26 日至 3 月 3 日期间, 振幅总值又增长, 由 104 位势米上升到 238 位势米。因此, 可以看到, 在 26 日以前, 长波是明显减弱的; 26 日以后, 又显著发展。

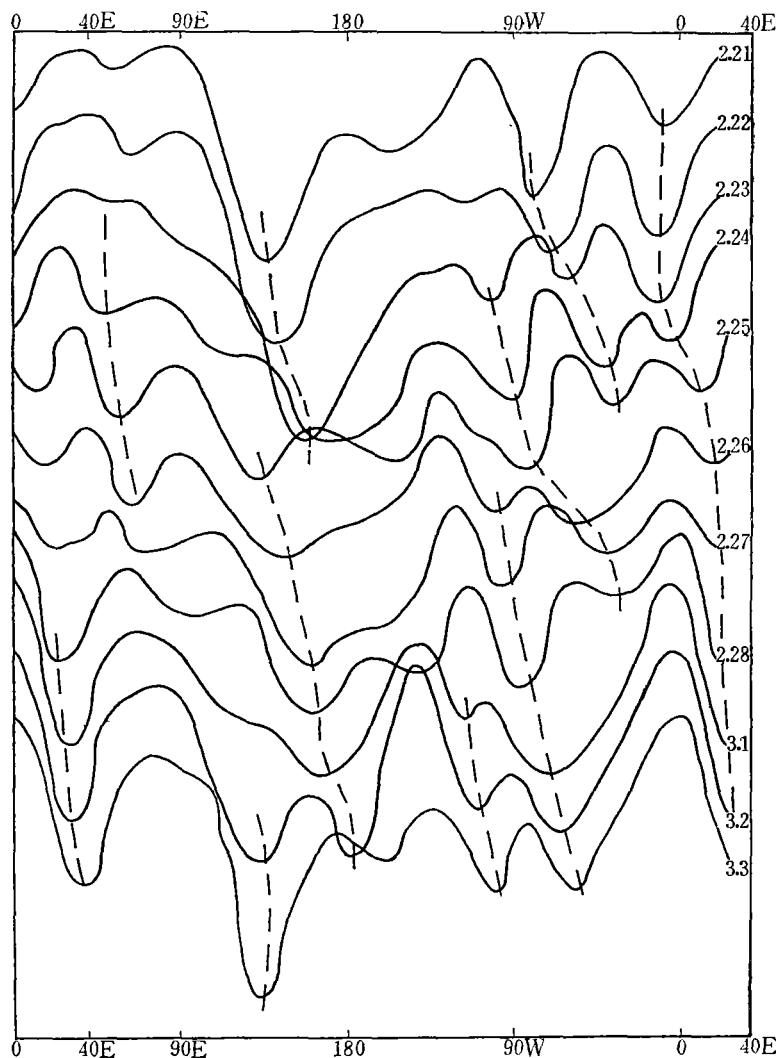


图 1 1977 年 2 月 21 日到 3 月 3 日 500 毫巴上 30° — 50°N
长波连续变化图

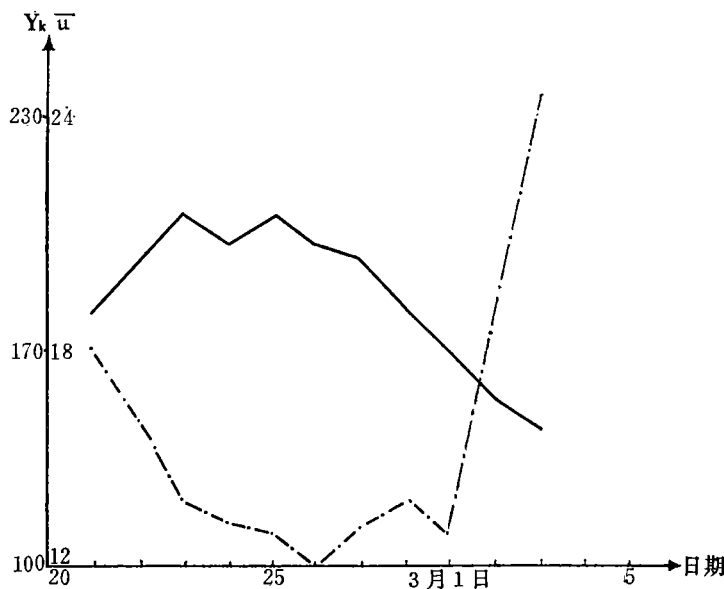


图 2 1977 年 2 月 21 日到 3 月 3 日 35° — 50° N 500 毫巴西风指数 $\bar{u}$ (实线, 单位为米/秒) 和第 4, 5, 6 波振幅总值 y_k (点断线, 单位位势米) 演变曲线图

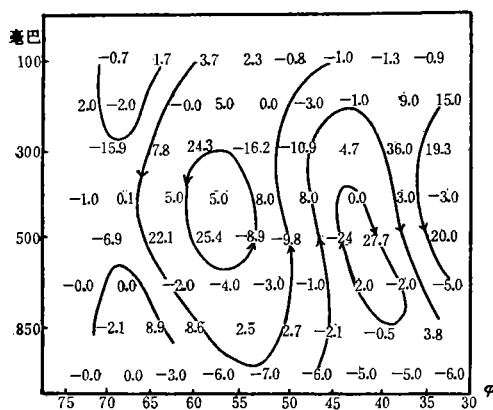


图 3 1977 年 2 月 23 日到 26 日平均经圈环流图

(100, 300, 500, 850 毫巴层上是 $\bar{u}$ 值, 单位为 10^{-8} 毫巴/秒。在这几层中间的是 $\bar{v}$ 值, 单位为厘米/秒。)

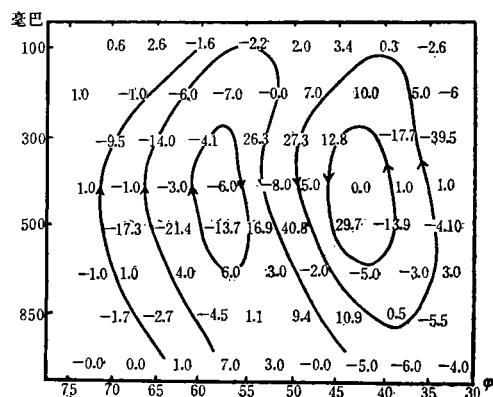


图 4 1977 年 2 月 27 日到 3 月 1 日平均经圈环流图

(说明同图 3)

图 3 和图 4 分别是 23 日到 26 日和 27 日到 3 月 1 日两个时段的平均经圈环流图。可以看到, 在这两段时期, 中纬度经圈环流形式完全相反。就以 35° — 50° N 纬度带而言, 在前一段时间, 存在一个明显的逆环流, 在后一段时间, 存在一个正环流圈。而且这一环流圈由 850 毫巴向上一一直伸展到 100 毫巴, 占据了整个对流层。

现在再来看 $\frac{\partial \bar{u}'}{\partial t}$ 在前后两个阶段的变化。图 5 为 $\frac{\partial \bar{u}'}{\partial t}$ 随时间变化, 可以清楚地看到,

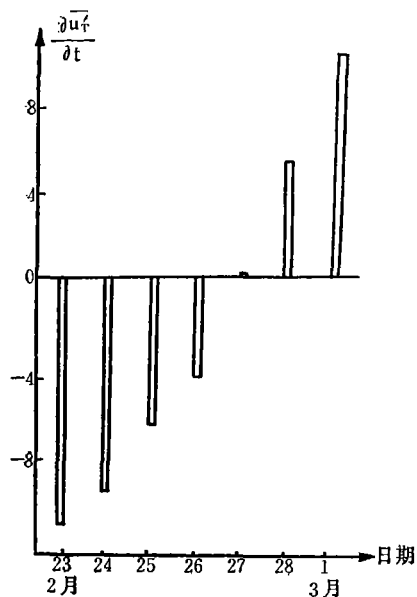


图5 1977年2月23日到3月1日 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 值变化图
(单位 10^{-13} 米²/克)

在2月26日以前, $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 均为负值, 平均值为 -8.0×10^{-13} 米²/克; 27日到3月1日, 情况反了过来, $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 均为正值, 平均值为 $+5.4 \times 10^{-13}$ 米²/克。

根据上面四个物理量的分析, 可以看到, 在26日前后, 有明显的不同。长波减弱, 纬向环流加强时期, 有逆环流, 负的 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 值相对应, 长波增长, 纬向环流减弱时期, 为正环流, 正的 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 值相对应。关于这些现象的物理关系, 将在后面讨论。

2. 1976年12月17日至25日的例子

这一时期的环流变化, 也可分为两个阶段。

第一段为17日到20日, 而后到25日为第二段。第一阶段的特点是, 中纬度西风环流平稳略增(见图6); 而长波总的来说是减弱的, 波数4, 5, 6三个波振幅之和的变化虽不甚规则, 但仍由17日的

174位势米下降到20日的55位势米; 在此期间的 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 值均为负值。在第二阶段中, 中纬度西风指数由19米/秒下降到16米/秒; 三个波的振幅和由55位势米上升到163位势

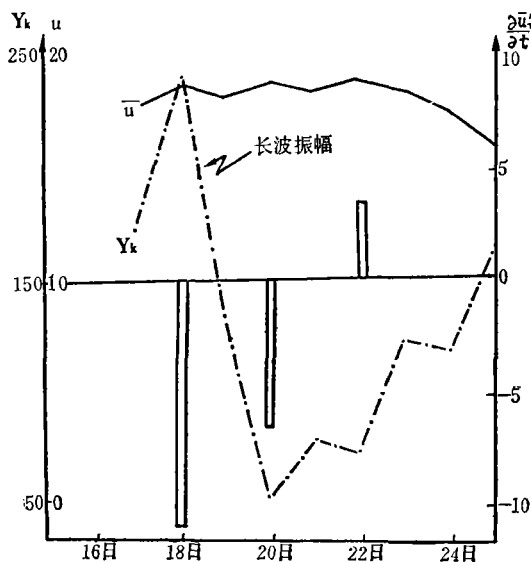


图6 1976年12月17日到25日 $35^{\circ}-50^{\circ}$ N 西风指数 $\bar{u}$; 4, 5, 6 三个波的振幅总值 Y_k 以及 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 值演变图

米,属于纬向环流减弱,长波发展的情况;同时,22日 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 值已为正值。

由此可见,长波减弱(增长),西风环流加强(减弱)和 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 为负值(正值)三者有较好的对应关系。

上面两例的分析结果很相似。只是在第一例中计算了经圈环流,而在第二例中,因为这类计算工作量太大,而没有进行。然而就纬向环流,长波,非热成风产生率 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 三者变化的关系来看是一致的。因此,第二例可以作为第一例的补充。

四、统计分析非热成风产生率与纬向环流变化的关系

现在,在上面两个个例分析的基础上,对于 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 和纬向环流变化之间的关系,进行统计分析。所统计的资料日期已在表1中给出。

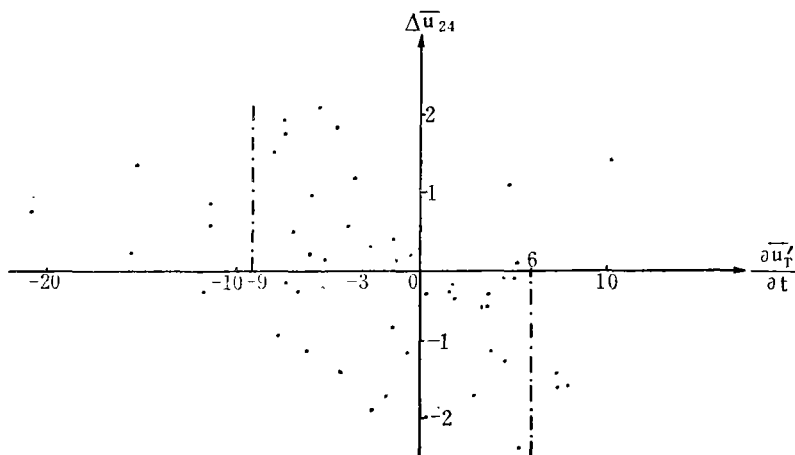


图7 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 与 $\Delta \bar{u}_{24}$ 相关图

(单位: $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$, 10^{-13} 米²/克, $\Delta \bar{u}_{24}$, 米/秒。)

为了分析 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 与未来24小时500毫巴西风指数变化的关系,绘制了 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 与 $\Delta \bar{u}_{24}$ 的相关图(图7)。图中除给出了中纬度 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 和 $\Delta \bar{u}_{24}$ 数值外,还包括了 $50^\circ-65^\circ\text{N}$ 的数值。可以看出:点子的分布还是很有规则的。当 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t} > 0$ 时, $\Delta \bar{u}_{24} < 0$ 的次数为18, $\Delta \bar{u}_{24} \geq 0$ 的只有2次,这表明 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 为正值时,西风环流减弱占绝对优势;当 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t} < 0$ 时, $\Delta \bar{u}_{24} \geq 0$ 的为20次, $\Delta \bar{u}_{24} < 0$ 的为10次,这表明 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 为负值时西风环流增强占优势。特别是当 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t} > 6 \times$

$\times 10^{-13}$ 米²/克时, $\Delta \bar{u}_{24}$ 共 5 次全部小于零; 而 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t} < -9 \times 10^{-13}$ 米²/克时, $\Delta \bar{u}_{24} > 0$ 的为 5 次, $\Delta \bar{u}_{24} < 0$ 的仅一次。这表明 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 绝对值越大, 与 $\Delta \bar{u}_{24}$ 的对应关系越好。

我们计算了 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 与 $\Delta \bar{u}_{24}$ 的相关系数 (共 50 个样本) 为 -0.56 。

根据我们的预报实践, 在强锋区条件下, 有时平值环流可维持较久; 有时很快就有扰动强烈发展, 造成西风带的破坏, 这些经验是与上述统计结果相关联的。关于这个问题, 我们想留待以后用更多的实例来讨论。

五、讨 论

从以上的个例分析和统计分析中, 我们得到: 非热成风变化率, 中纬度瞬时平均经圈环流与西风带环流变化有密切的关系。初步结果是: 当 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 为较大的负值时, 出现逆环流, 并对应长波减弱, 纬向环流维持或加强; 反之, 当 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 为正值时, 出现正经圈环流, 并对应长波发展, 西风环流减弱或崩溃。这些结论, 有的是根据较多的资料, 有的是根据个别例子。今后, 还可应用更多的资料作进一步的分析研究。

以下, 我们就非热成风变化率, 瞬时平均经圈环流和西风带环流变化这三者之间具有怎样的物理关系, 作一尝试性讨论。

1. 为讨论 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 与经圈环流的关系, 设起始时刻流场和气压场是地转平衡或热成风平衡的, 即

$$\bar{u}'_T|_{t=0} = 0 \quad (3)$$

则当

$$\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t} > 0 \quad (4)$$

时, 就有

$$\bar{u}'_T > 0 \quad (5)$$

由公式(2), 就有

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial p} + \frac{g}{f} \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\partial \bar{H}}{\partial y} \right) > 0 \quad (6)$$

将 $\bar{u}_g = -\frac{g}{f} \frac{\partial \bar{H}}{\partial y}$ 代入(6)式, 得

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial p} > \frac{\partial u_g}{\partial p} \quad (7)$$

(4)和(7)式说明, 当 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t} > 0$ 时, 平均西风随气压 (高度) 的增加比地转风随气压 (高度) 的增加要大 (小)。这意味着: 或高层的西风气流小于地转风; 或者在低层的西风气流大于地转风。由于地转适应过程^[3], 高层必然产生南风分量, 低层产生北风分量, 因而出现正正经圈环流。同理, 当 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t} < 0$ 时, 会出现逆环流的物理过程。

本文由实例计算得到 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 为正值时, 对应正环流, 负值时对应逆环流, 这一结果同上述动力分析是一致的。基于此, 使我们有理由用 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 的正负值来代表经圈环流的状态。

2. 就瞬时情况来说, 如中纬度对流层内有逆环流, 北侧较冷的空气绝热上升, 南侧较

暖的空气下沉,当层结稳定时,就会加大南北的温差。而西风带大型过程往往是层结稳定的。因此按照静力学原理,南北温差加大,一般说来等压面坡度变陡,西风环流加强。反之,正经圈环流会使南北温差减小,西风环流减弱。因此本文所得到 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 为正(负)值时与西风环流减弱(增强)的对应关系,有可能是通过经圈环流对南北温度梯度的作用而联系起来的。

3. 文献^[1,3]讨论了斜压不稳定扰动发展的物理过程,指出:扰动发展时期,要求其北风伴随冷而下沉的气流,南风伴随暖而上升的气流,这样,扰动斜压位能才得以释放。在斜压西风带上,在长波发展的初期,这种气流结构能自动形成。

但是,如果有经圈环流存在,情况就有所不同。设在平直西风带上,存在着一个逆环流,并有扰动出现,则逆环流北(冷)支的上升气流对形成扰动后部冷而下沉的北风气流及逆环流南(暖)支的下沉气流对形成扰动前部暖而上升的南风气流,都是不利的。因此,也就不利于扰动的斜压位能释放,从而影响长波的发展。反过来,正的经圈环流将会有利于长波的不稳定发展。可以作为我们这一论据旁证的是,最近文献^[5]曾从理论上讨论了斜压不稳定波发展时出现正经圈环流的情况。因此,我们所得到的,正环流对应长波发展,逆环流对应长波减弱,或许是通过上面设想的物理过程相联系的。

4. 大气斜压性对西风带环流变化的重要性是众所周知的。但是,本文第四节中的统计分析表明,瞬时针圈环流或平均非热成风变化率对西风环流的变化起着很直接的作用。

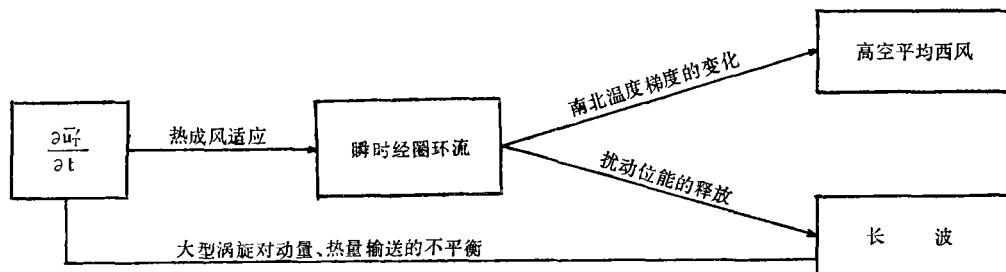


图 8

用。

因此,我们认为:大气斜压性的强弱,是影响西风带稳定性的一个基本因素,但不是充分条件,或许还要通过一些环节才起作用。根据我们前面讨论,瞬时针圈环流或许是这种环节之一。当正环流时,有利于这种转换。由此,我们可以理解,为什么在逐日高空图上,强的(斜压不稳定的)平直西风带能维持较长时间?其原因可能是在此西风带上存在着一个较强的逆环流。

5. 综上所述,可将 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$,瞬时针圈环流,高空平均西风和长波四者的变化关系归结为图 8。

该图表示:由于长波对动量、热量输送的不平衡,产生了纬圈平均非热成风;正负不同的 $\frac{\partial \bar{u}'_T}{\partial t}$ 值,通过热成风适应过程,形成了正反不同的经圈环流;经圈环流一方面通过对南

北温度梯度的作用而影响高空西风的变化, 另一面又通过对扰动位能释放的影响而制约着长波的生消。

致谢, 本文在工作过程中, 曾得到叶笃正, 陈秋士等同志的帮助和指导, 在此深表谢意!

参 考 文 献

- [1] 叶笃正, 大气环流若干基本问题。科学出版社, 1958 年。
- [2] 曾庆存, 中国科学, 1979 年第 10 期。
- [3] 陈秋士, 气象学报, 33 No 1—2, 1963。
- [4] O'Brien. J. J., *J. APP. Met.*, 9, pp, 197—203, 1970.
- [5] M:chira Uryu, *J. Met. Japan*, 57, No. 11, 1978.

ON THE RELATION BETWEEN THE MID-LATITUDE MERIDIONAL CELL AND THE CHANGE OF ZONAL CIRCULATION

Wang Weide

(*Meteorological Observatory of Xin Jiang Region*)

Abstract

The relation between the zonal averaged non-thermal wind, the instantaneous mean meridional cell and the change of zonal circulation is investigated synoptically and statistically for eight cases which are selected from the winter half year of 1976—77. Preliminary results are obtained. When the rate of change of zonal averaged non-thermal wind, denoted by $\frac{\partial \overline{u'_T}}{\partial t}$, is a large negative value there exists an indirect meridional circulation in middle latitudes. Under such situation, planetary waves tend to decay and zonal circulation tends to intensify. In contrast, when $\frac{\partial \overline{u'_T}}{\partial t}$ is a positive, there exists a direct meridional cell Under this condition, planetary waves will develop and zonal circulation decreases. Finally, the above results are discussed by making use of the conception of adjustment of thermal wind.