

青藏高原上空大气低频波的振荡 及其经向传播

孙国武 陈葆德

(甘肃省气象局科研所)

提 要

本文得出的初步结论是:在青藏高原所在的经度范围内,从低纬到高纬的各纬带上,大气低频波存在30—40天的周期振荡现象。500 hPa等压面上,青藏高原地区生成的气旋、反气旋切变可以向南、向北传播到低纬、高纬地区。200 hPa等压面上,中纬度地区生成的气旋、反气旋切变也可以向南、向北传播到低纬、高纬地区。对流层中层,青藏高原是大气低频波振荡源地,可能与青藏高原的热力、动力作用有关;对流层上层中纬度地区是大气低频波的振荡源地,可能是西风急流的作用。

由于大气低频波的振荡和传播与低值系统有关,与急流相联系,因而具有现实的预报意义。

一、引 言

近年来,在热带大气低频波的研究方面,发现了一些有趣的事实,取得了一些有意义的结果。例如, Yasunari^[1]对夏季风期间印度及其附近地区的风和位势高度的分析,证实了40天左右的振荡同印度夏季风的活跃和中断现象紧密联系, Krishnamurti等^[2,3]从分析1978年12月1日到1979年11月30日850 hPa等压面上的纬向风中,发现了一系列槽脊从赤道向北传播和30—50天周期振荡的事实。何金海等^[4]分析了1979年夏季亚洲季风区域40—50天周期振荡的环流演变和水汽输送,指出40—50天周期振荡的位相向北、向东传播与南亚夏季风的活跃和中断的位相转变有关,等等。

但上述研究工作大多限于赤道低纬地区范围内(30°N—30°S),而且对于大气低频波振荡和传播的天气学意义也涉及不多。因而,下述问题自然会被提出,即:位于亚洲大陆南部青藏高原上空的大气物理特性与赤道低纬地区的大气物理特性有许多相似之处,是否也有低频波的振荡和传播,而且也是产生波的经向运动的源地呢?本文将着重讨论这个问题。当然,其目的仍在于观测事实的分析和揭露。

二、资料和计算方法

本文使用1983年1月1日到6月30日逐日20时500 hPa、200 hPa等压面上的纬

1985年12月10日收到,1986年7月14日收到再改稿。

向风(u 分量)资料, 这些资料取自 ECMWF 的格点资料。计算范围从 $0-80^{\circ}\text{N}$, $50-120^{\circ}\text{E}$, 格距 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 。

计算方法参照文献[2—4]所引用的 Butterworth 带通滤波器过滤各网格点上的 u , 以滤出我们感兴趣的低频波段。

设

$$u = \bar{u} + u^*$$

式中, $\bar{u}$ 为平均值, u^* 为对 $\bar{u}$ 的偏差。

$$u^* = a + b(t - t_0) + c(t - t_0)^2 + u'$$

式中, t_0 对应于 6 个月的中间日期, 系数 a, b, c 由最小二乘法确定。上式右边前三项的和表示 u^* 的季节趋势, u' 为对季节趋势的偏离, 其值在 $0.0 - \pm 10.0$ 米/秒之间。

将 u' 进行滤波, 滤波后的值为 $\tilde{u}_n$, 则

$$\begin{aligned} \tilde{u}_n &= a_0(u'_n - u'_{n-1}) - b_1\tilde{u}_{n-1} - b_2\tilde{u}_{n-2} \\ (n &= 1, 2, \dots, N) \end{aligned}$$

式中

$$a_0 = \frac{2\Delta Q}{4 + 2\Delta Q + Q_0^2}$$

$$b_1 = \frac{2(Q_0^2 - 4)}{4 + 2\Delta Q + Q_0^2}$$

$$b_2 = \frac{4 - 2\Delta Q + Q_0^2}{4 + 2\Delta Q + Q_0^2}$$

$$\Delta Q = \left| \frac{\sin(\omega_1 \Delta t)}{1 + \cos(\omega_1 \Delta t)} - \frac{\sin(\omega_2 \Delta t)}{1 + \cos(\omega_2 \Delta t)} \right|$$

$$Q_0^2 = \frac{4 \sin(\omega_1 \Delta t) \sin(\omega_2 \Delta t)}{[1 + \cos(\omega_1 \Delta t)][1 + \cos(\omega_2 \Delta t)]}$$

这里, $N = |8|$, $\Delta t = 1$ (天), $\omega_1 = \frac{2\pi}{30}$, $\omega_2 = \frac{2\pi}{40}$, $\omega_0^2 = \omega_1 \omega_2$, (园频率 $\omega = \frac{2\pi}{T}$)。

响应函数为

$$W(z) = \frac{a_0(1 - z^2)}{1 + b_1 z + b_2 z^2}$$

其中 $z = e^{-i\omega\Delta t}$

我们对 1983 年 1—6 月青藏高原上空各格点逐日纬向风进行了功率谱分析, 从谱密度图(图略)可以看出, 有 3 个明显的峰值, 这些峰值表明青藏高原纬向风存在 15 天、30—40 天、60 天的周期振荡。为此我们取 $T_1 = 30$, $T_2 = 40$ 。这样, 在滤过波的资料中主要保留了 30—40 天的周期振荡。

三、大气低频波的振荡与传播

下面以 1983 年 5、6 月的逐日滤波纬向风场为例, 着重分析青藏高原所在经度范围 ($80-100^{\circ}\text{E}$) 大气低频波的振荡和传播。

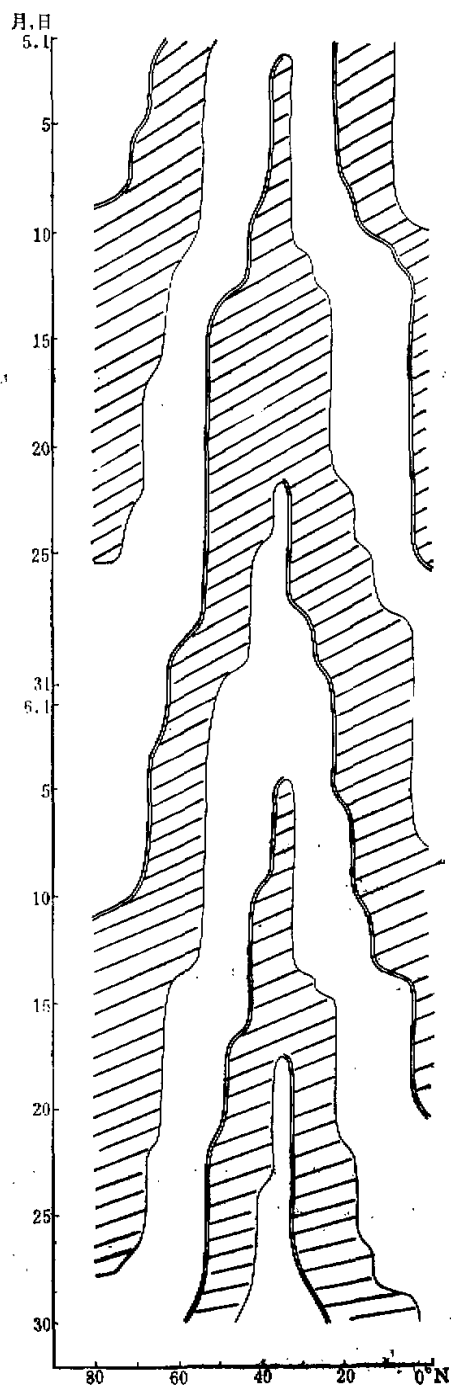


图 1 90°E 500 hPa 等压面上 30—40 天过滤纬向风的时间-纬度剖面图
图中阴影区为西风分量,空白区为东风分量

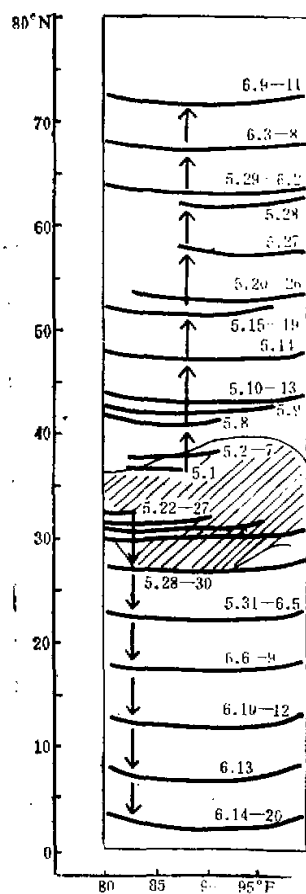


图 2 500 hPa 等压面上气旋切变动态图
图中箭头表示移动方向,粗实线表示气旋切变,阴影区为青藏高原地形

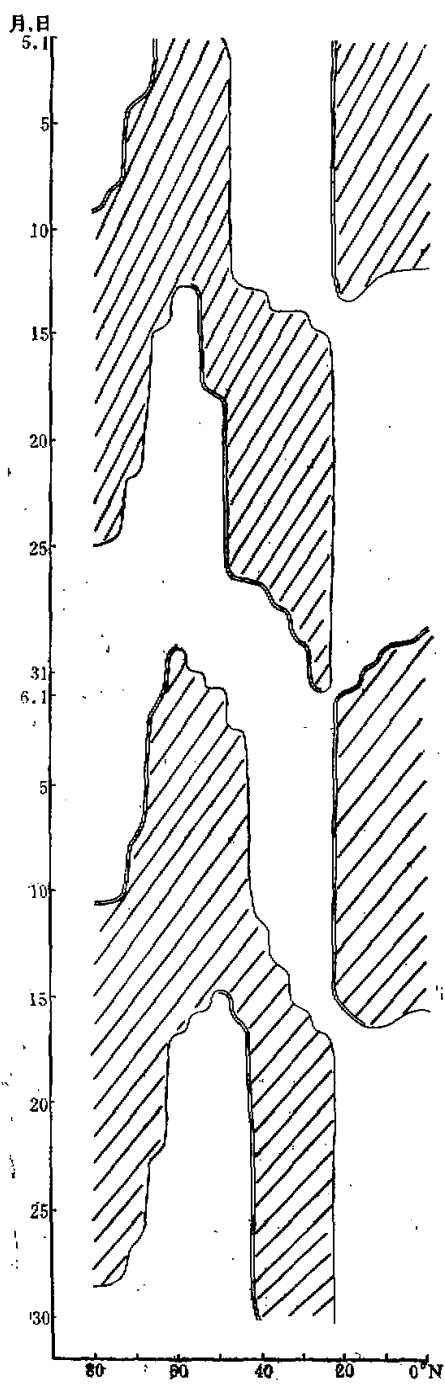


图3 90°E 200 hPa 等压面上 30—40 天过滤纬向风的时间-纬度剖面图
说明同图1

1. 500 hPa 等压面

图 1 是通过青藏高原主体的 90°E 过滤纬向风时间-纬度剖面图。图中纬向风场的周期振荡和经向传播都表现得极为清楚。

从纬向风场看,低纬到高纬 ($0-80^{\circ}\text{N}$) 的各纬度上,东风(图 1 中的空白区)和西风(图 1 中的阴影区)随时间的振荡周期为 30—40 天。

为了追踪波在二维平面上的经向传播,我们按照天气学定义气旋切变(北边东风,南边西风,图 1 中的双实线)和反气旋切变(北边西风,南边东风,图 1 中的单实线)。气旋、反气旋切变逐日有规律地向南、向北传播,其振荡周期为 30—40 天。

有趣的是,一系列气旋切变和反气旋切变生成于青藏高原地区。在青藏高原北部 ($35-40^{\circ}\text{N}$) 生成的气旋、反气旋切变向北传播到高纬地区消失(如 5 月 2 日在 $35-40^{\circ}\text{N}$ 生成的气旋切变向北传播到 6 月 11 日在 75°N 消失;5 月 22 日在 $35-40^{\circ}\text{N}$ 生成的反气旋切变向北传播到 6 月 27 日在 75°N 消失)。在青藏高原南部 ($30-35^{\circ}\text{N}$) 生成的气旋、反气旋切变向南传播到赤道附近消失(如:5 月 2 日在 $30-35^{\circ}\text{N}$ 生成的反气旋切变向南传播到 6 月 7 日在赤道消失;5 月 22 日在 $30-35^{\circ}\text{N}$ 生成的气旋切变向南传播到 6 月 20 日在赤道消失)。图 1 中,气旋和反气旋切变在青藏高原地区生成,呈倒“V”形向北、向南传播,似乎显示出青藏高原是产生大气低频波经向运动的源地。

下面给出两次气旋切变向北、向南传播的实例(图 2)。

从图 2 并结合图 1 可以看出,5 月 1 日有气旋切变生成于 85°E 附近的青藏高原北部 ($35-40^{\circ}\text{N}$),然后向东扩展、向北传播,到 6 月 11 日传播到 $70-75^{\circ}\text{N}$ 附近时,极地西南风南下,切变消失,历时 42 天、平均移速约 1 纬距/日。在北移过程中, $45-50^{\circ}\text{N}$ 和 $55-60^{\circ}\text{N}$ 纬带内几乎没有停留,而 $50-55^{\circ}\text{N}$ 纬带内停留 10 天以上。

5 月 22 日有气旋切变生成于 80°E 附近的青藏高原南部 ($30-35^{\circ}\text{N}$),然后向东扩展、向南传播,到 6 月 20 日传播到赤道附近 ($0-5^{\circ}\text{N}$) 时,西风消失,切变也随之不存在,历时 30 天,平均移速约 1 纬距/日。

2. 200 hPa 等压面

图 3 是 90°E 过滤纬向风时间-纬度剖面图。图中同样表现出明显的周期振荡和经向传播。从低纬到高纬 ($0-80^{\circ}\text{N}$) 的各纬度上东风和西风的振荡周期为 30—40 天。

同样有趣的是,一系列气旋切变(图 3 中双实线)和反气旋切变(图 3 中单实线)生成于 $50-60^{\circ}\text{N}$ 纬带内,然后向南、向北传播,向南传播到 $20-25^{\circ}\text{N}$ 静止;向北传播到 75°N 附近消失,传播速度约 1.5 纬距/日。

另外,我们还可以看到,随着季节的推移,5 月 13 日的气旋切变生成于 $50-55^{\circ}\text{N}$,而 6 月 15 日的气旋切变生成于 $40-45^{\circ}\text{N}$ 。还有, $20-25^{\circ}\text{N}$ 是气旋、反气旋切变交替出现的区域。 20°N 以南地区,风场的周期振荡是最明显的特征。

四、大气低频波振荡和传播的天气学意义

在这一节里,主要讨论大气低频波的振荡和传播有什么天气学意义。

我们以两次(5月1日、6月6日)在青藏高原生成的气旋切变向北传播过程为例进行讨论。

从 500 hPa 等压面看, 青藏高原上空大气低频波的振荡和传播与低值系统的活动相联系(见表 1)。

表 1

类	日 期	气旋切变北移位置	低值系统出现次数
第一次振荡过程	5月1日—7日	35—40°N	12
	8日—13日	40—45°N	10
	14日	45—50°N	1
	15—26日	50—55°N	16
	27日	55—60°N	2
	5月28日—6月2日	60—65°N	12
	6月3日—8日	65—70°N	6
	9日—11日	70—75°N	3
	12日	消失	
第二次振荡过程	6月6日—10日	35—40°N	9
	11日—18日	40—45°N	11
	19日—23日	45—50°N	10
	24日—30日	50—55°N	14
	∴	∴	∴
	∴	∴	∴

表中低值系统包括低涡和低槽, 每日按两次(08、20时)统计。从表中可以看出, 当气旋切变向北传播到某一纬带时, 该纬带内就多低值系统活动。比如, 5月8—13日共6天12个时次中, 气旋切变向北传播到40—45°N时, 该纬带有10个时次出现低值系统。由于气旋切变振荡和传播的周期为30—40天, 因而对某一地区而言, 可以预先估算该地区哪些时段多低值系统活动, 而且根据低频波生成的源地和传播路径, 可以分析和解释不同地区、不同时段天气的遥相关现象。

从 200 hPa 等压面看, 大气低频波的振荡和传播与西风急流有联系。在西风急流北侧有气旋和反气旋切变生成, 然后向北传播; 在西风急流南侧也有气旋和反气旋切变生成, 然后向南传播。本文第三节曾经提到的问题都可以从我们计算、分析的5、6月逐日90°E纬向风剖面(图略)中得到证实。这些问题是:

(1) 20—25°N纬带内, 气旋和反气旋切变交替出现与急流有关。因为在20—30°N, 5、6月始终有一支急流存在, 5月有一支西风急流, 6月有一支东风急流。

(2) 气旋, 反气旋切变生成于50—60°N纬带内, 也与急流有关。从5、6月逐日90°E纬向风剖面(图略)可以看出, 50°N附近是西风急流停留、活动的地区。下面的例子可以进一步说明经向传播的气旋切变生成与西风急流的关系。

5月13日气旋切变生成于50—55°N, 此时西风急流的位置在55—60°N附近, 是温带西风急流。6月15日的气旋切变生成于45—50°N, 此时西风急流的位置在40°N附近, 是副热带西风急流。

五、小结与讨论

本文提出了如下的事实和讨论的问题:

在青藏高原所在的经度范围内,从赤道到高纬的各纬带内,对流层中层(500hPa)和上层(200hPa),大气低频波存在明显的30—40天的周期振荡现象,而不是仅仅限于赤道低纬地区才有这种现象。

一系列气旋、反气旋切变有规律地在30—40天周期范围内从青藏高原(500hPa)或中纬度地区(200hPa急流处)向北、向南传播,也不是仅仅限于在0—30°N纬带内传播。

500hPa等压面上,青藏高原可能是产生大气低频波周期振荡和经向运动的源地,而赤道低纬地区也是大气低频波产生的源地,那么赤道低纬地区产生大气低频波的物理原因是什么呢? Krishnamurti等提出一种假设,认为激发低频波活动可能是由于热带辐合带(ITCI)内能量输入而自身振荡的结果^[5]。Anderson等人又提出另一种假设,可能是低纬度切变流场正压不稳定性所致^[6]。李崇银认为,垂直切变基本气流通过CISK机制产生的CISK波可能是南亚夏季风系统振荡的重要驱动机制^[7]。5、6月青藏高原地区是低涡切变线产生的源地^[8],大气物理特性与赤道低纬地区有相似之处,而且高原地形南、北坡度的分布影响波的群速度的南、北传播。因此,青藏高原的热力、动力作用对于低频波的生成是有影响的。其物理机制有待于进一步探讨。

200hPa等压面上,大气低频波的产生与急流有关,在西风急流南、北两侧有气旋、反气旋切变生成向南、北传播。众所周知,急流与锋区有密切联系,急流是行星锋区在高层风场上的表现形式,是动能、热能、位能的集中区,锋区内常有扰动发生、发展,导致各种能量的南北交换。因此可以说,急流附近生成的大气低频波的经向传播,是锋区能量南、北输送的一种方式。并且在急流附近具有很强的垂直切变运动,这和李崇银提出的机制^[7]相一致。

还有,500hPa、200hPa等压面上大气低频波的振荡和传播分别反映出低值系统的活动和急流锋区的位移,因而对降水预报有十分现实的意义。

本文得到朱抱真先生的热情指导,谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Yasunari, T., 1981, Structure of an Indian summer Monsoon System with a Period around 40 days, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 59, p. 336—354.
- [2] Krishnamurti, T. N., Sulochana Gadgil, 1985, On the structure of the 30 to 50 day Mode over the Globe during FGGE, *Tellus*, Vol. 37A, No. 4, p. 336—360.
- [3] Krishnamurti, T. N., D. Subrahmanyam, 1982 The 30—50 day mode at 850 mb during MONEX, *J. Atmos. Sci.* Vol. 39, p. 2088—2095.
- [4] 何金海等, 1984, 1979年夏季亚洲季风区40—50天周期振荡的环流及其水汽输送场的变化, *南京气象学院学报*, 2期, p. 163—175.
- [5] Krishnamurti, T. N., and H. N. Bhalme, 1976, Oscillations of a Monsoon System. Part I. Observational aspects, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 33, p. 1937—1953.
- [6] Anderson, J. R., and R. D. Rosen, 1983, The latitude—height structure of 40—50 day Variations in atmospheric angular momentum, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 40.
- [7] 李崇银, 1985, 南亚夏季风槽脊和热带气旋的活动与移动性CISK波, *中国科学B辑*, No. 7, p. 668—675.
- [8] 青藏高原气象科学研究所拉萨会战组, 1981, 夏半年青藏高原500毫巴低涡切变线的研究, 科学出版社.