

青藏高原对东亚纬向型环流形成的动力作用

骆美霞 朱抱真 张学洪

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文用大气环流的气候资料,指出东亚地区纬向型环流较多。利用原始方程数值模拟和简单的理论分析讨论了形成区类环流特征的动力机制;并指出东亚纬向型环流比北美多,可能是与青藏高原和洛矶山高原的地形强迫性动力作用的特点不同有关。

一、前 言

从全球范围来看,东亚大气环流具有许多异常显著的特征,其中的一个就是纬向型环流较多,在这种纬向环流上叠加着短波槽。在天气实践经验中,很少有大振幅长波槽从欧洲和西亚能移进我国上空,当大振幅的长波槽接近青藏高原后,一般地立即减弱,大多只有到达海岸后才开始加深。

本文先用环流型的气候资料指出东亚纬向型环流较多,然后利用数值模拟和简单的理论分析加以进一步的讨论,目的是深入了解形成东亚大气环流这一特征的动力机制。

二、东亚地区的纬向型环流

Гирс^[1]对整个北半球大型过程划分为W、E、C三型。他所划分的W型和C型的特点是在东亚中纬地区盛行纬向型环流,而在北美盛行经向型环流;E型是在东亚和北美皆盛行经向型环流。为了考察E型和W、C型的对比,我们根据他应用1891—1966年资料所划分的每年各型日数,作出图1的频数分布。由图1可知W和C型出现最多的个别年份,它们的每年日数的总和可达300天以上,一般年份经常为180—270天,占60%。而E型的每年日数很少超过180天,一般年份经常在90—180天之间。由此可见,东亚地区的环流特征之一,是纬向型环流较多。

在这种纬向型环流的控制下,长波系统的振幅很弱,但有时却带来持续性的坏天气,例如冬半年华北地区持续性坏天气的二类环流^[2]就和图1中W、C型相似。C型环流的特点是欧洲出现阻塞形势,而亚洲处于平直的纬向环流,东亚大槽位于太平洋西岸。W型环流在欧洲有强振幅的西风槽,而东亚为振幅较弱的波动。

1981年3月3日收到,11月19日收到修改稿。

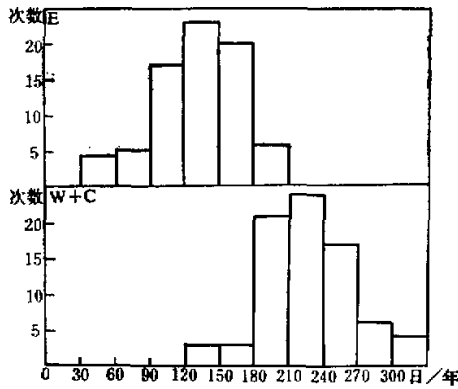


图1 E型和(W+C)型年日数的频数分布

这些环流特点是和青藏高原的大地形相关联的,早在50年代叶笃正^[3]和顾震潮^[4]即已指出,青藏高原对西风带大振幅长波的屏障作用和绕流作用,但考虑了地形作用的地转大气模式也不能解释这一事实,例如正压地转模式所算的地形对西风的扰动,在高原东侧有一个强的生槽区^[5],三层地转模式的地形作用往往使得低槽槽线在我国东部从东北向西南倾斜,并且很少移动,成为准静止性的经向度很强的大槽^[6],而实际观测到的情况则很少有强大的高空槽从西方移入我国,它们在移入青藏高原地区时,经常振幅减弱,在高原下坡也不大观测到加深现象,一般高空槽大多在入海后才得到加深。因此需要利用更近于模拟地形作用的大气模式研究这一问题。

三、数值模式简述

本文所利用的数值模式是作者等所设计的一个包括地形和非绝热加热作用的数值模式^[7],这个模式是下列的 σ 坐标原始方程组:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \frac{P_* u}{m} = & -m \left[\frac{\partial}{\partial x} \frac{P_* u}{m} u + \frac{\partial}{\partial y} \frac{P_* v}{m} u + \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{P_* \sigma}{m} u \right] \\ & + \frac{P_*}{m} f(v - v_g) + \frac{P_*}{m} F_u \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \frac{P_* v}{m} = & -m \left[\frac{\partial}{\partial x} \frac{P_* u}{m} v + \frac{\partial}{\partial y} \frac{P_* v}{m} v + \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{P_* \sigma}{m} v \right] \\ & - \frac{P_*}{m} f(u - u_g) + \frac{P_*}{m} F_v \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{P_* \sigma}{m} = -\frac{1}{m} \left[m^2 \left(\frac{\partial}{\partial x} \frac{P_* u}{m} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{P_* v}{m} \right) + \frac{\partial P_*}{\partial t} \right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial P_*}{\partial t} = - \int_0^1 m^2 \left(\frac{\partial P_* u}{\partial x} + \frac{\partial P_* v}{\partial y} \right) d\sigma \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \frac{c_p P_* T}{m} = & -m \left[\frac{\partial}{\partial x} \frac{P_* u}{m} (c_p T + \phi) + \frac{\partial}{\partial y} \frac{P_* v}{m} (c_p T + \phi) \right. \\ & \left. + \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{P_* \dot{\sigma}}{m} (c_p T + \phi) \right] - \frac{1}{m} \frac{\partial \sigma \phi}{\partial \sigma} \frac{\partial P_*}{\partial t} \\ & + \frac{P_*}{m} f(uv_s - vu_s) + \frac{P_*}{m} \dot{H} + \frac{P_*}{m} D_T. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \ln \sigma} = -RT. \quad (6)$$

其中 P_* 为地面气压, 而

$$u_s = -\frac{m}{f} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} + RT \frac{\partial \ln P_*}{\partial y} \right) \quad (7)$$

$$v_s = -\frac{m}{f} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} + RT \frac{\partial \ln P_*}{\partial x} \right) \quad (8)$$

其它符号与一般相同。

模式的差分方程组的空间差分保持大气的总质量、动量、动能和总能量守恒, 垂直差分将整个大气分为三层, 水平差分的格距取为 540km。

本文的数值模拟没有包括非绝热作用, 即 $\dot{H} = 0$, 只包括地形、摩擦和水平扩散作用。数值模式的详细情况请参看文献[7]。

四、大地形对平直西风环流的扰动

为了探讨高原地形对上述 C 型东亚纬圈环流形成的动力机制, 我们利用上述模式作了这样一个简单的数值实验: 以一个冬季平均纬圈环流作为初始场, 观察北半球的青藏高原和洛矶山对西风带的扰动。地形高度取自文献[8], 经过平滑, 青藏高原的最高高度为 4500 米, 为了减小(7)和(8)式的截断误差采取了扣除法^[7]。

起始是一个平直纬圈环流, 初始各层高度廓线如图 3。6 小时后地形对环流开始出

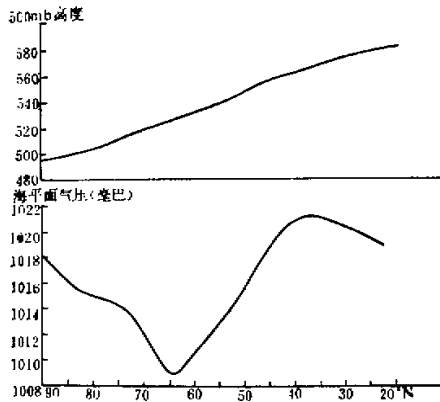


图 2 初始 500mb 高度(位势什米)和海平面气压(毫巴)的南北向廓线。

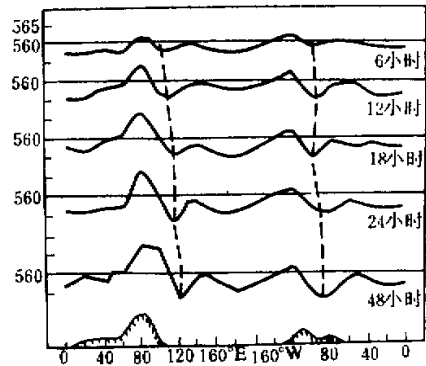


图 3 大地形对 500mb 纬圈环流的扰动
纵轴表示北纬 40 度的 500mb 高度(位势什米)

现微弱的扰动,到 48 小时已经影响到整个半球,图 4 给出沿北纬 40° 纬圈所得的高度廓线随时间的变化,可以看到,青藏高原上空在 6 小时开始有小槽脊生成于 $90-100^\circ\text{E}$ 高原区,以后高原上空的脊相对地比较稳定,移动很小,但槽大约以每天 10 个经度的速度东移,另一个很弱的槽位于里海附近。

我们注意到青藏高原的脊逐渐变宽,下游槽位于高原以东 $40-50$ 个经距处的我国海岸,而洛矶山的槽位于山顶以东 $30-40$ 个经距处的背风坡地,也就是说青藏高原产生的强迫波波长比洛矶山的波长要长些。

我们知道冬季 500mb 的三个平均槽脊,东亚大槽位于北太平洋西岸,而北美大槽位于美洲大陆东部,本文所作的西风带扰动当然远没有达到平均状态,但已可窥见两个高原的不同影响。

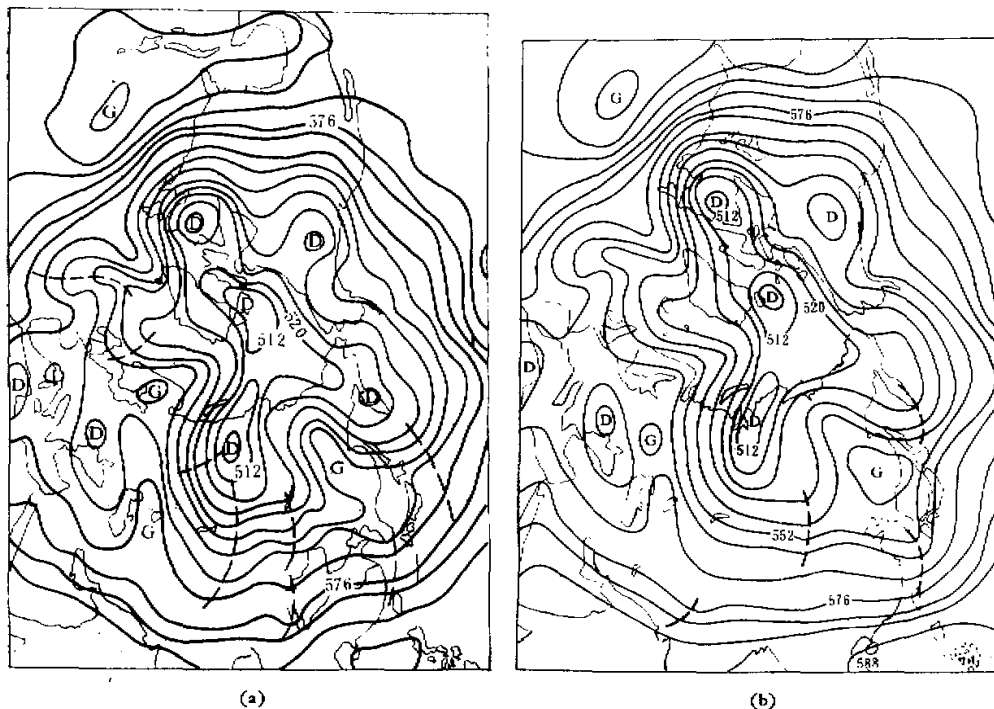


图 4 48 小时 500mb 高度预报图

(a) 无地形作用, (b) 有地形作用。

五、青藏高原对长波槽的机械作用

为了识别青藏高原对长波槽的影响和纬圈环流的形成,本文选取 1975 年 4 月 19—21 日由经向环流转变为纬向环流的过程,用上述模式模拟这一过程,地形高度经过平滑,气压梯度项的计算格式为

$$f v_g = m [\bar{\phi}_x^* + RT (\ln P_*)^*]$$

在初始场 19 日的 500mb 高度图上^[9], 东亚环流是经向型的, 由新地岛经西伯利亚, 到我国黄河河套地区大气环流的经向度发展很强, 乌拉尔一带为阻塞高压控制。48 小时后, 东亚的经向度减弱, 在一个大涡旋的纬向气流下, 小槽不断东移, 我国北部上空转变为显著的纬向环流^[9]。

图 4 给出无地形作用和有地形作用的 48 小时 500mb 高度预报图, 图 5 给出 24 小时亚欧地区沿 55°N 纬圈的高度廓线和 48—72 小时沿 40°N 的廓线。从这些图上可以看到, 从初始时刻起, 24 小时后亚洲高纬 55° 的低槽还没有南伸到高原中心部位, 但低槽强度已开始受到地形影响, 在高原区 (80—100°E) (图 5) 有地形作用时预报的低槽强度和实况很相近, 但无地形作用时, 预报的低槽要低 50 位势米。到 48 小时低槽已进入高原区, 这种趋势尤为明显。无地形作用时在 40°N 纬圈预报的低槽要比实况低 110 位势米, 到 72 小时则已达 170 位势米, 有地形作用时低槽强度弱得多, 但仍比实况偏低, 然而环流趋于纬向型。从图 4 可以看到, 当没有地形作用时, 青藏高原上空为一向南伸展的深槽, 位置也偏东, 已到达新疆中部, 东亚上空的气流是西南-东北走向 (图 4a); 而有地形的低槽受高原的屏障作用强度变弱, 移速减慢, 位于巴尔喀什湖上空, 亚洲上空的环流呈现纬向型气流叠加着振幅很弱的小槽, 和实况相合, 这表明了青藏高原对东亚纬向型环流生成的作用。从图 4 还可以看到地形对强西风的分支现象, 印度南支槽的位置也与实况相合。

在北美流型上, 无地形作用时洛矶山背风侧有一明显的高脊; 有地形作用时, 这个高脊削弱了, 相应地经向型的环流加强了, 这和实况相符, 这正说明了洛矶山的机械作用和

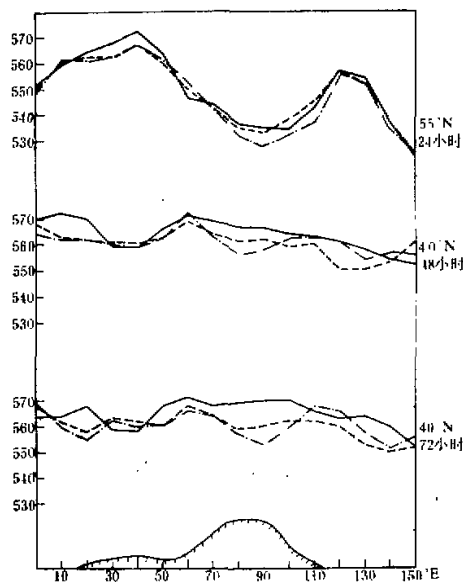


图 5 24、48、72 小时 500mb 高度廓线图

(实线为实况, 虚线为有地形作用, 点划线为无地形作用)

青藏高原的差异。

六、地形坡度对定常扰动的动力作用

我们认为东亚和北美盛行环流的差异是与青藏高原和洛矶山高原的地形分布特点有关,青藏高原是长轴为东西向的巨大椭圆形,南北向坡度显著,而洛矶山则是南北向山脉东西向坡度显著。为了讨论这一问题,我们分析一下地形坡度对定常扰动的影响。取简化的定常正压线性化涡度方程,并取地转近似,只考虑一维的大气扰动,则得

$$U \frac{\partial}{\partial x} \Delta \phi + \beta \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{f^2}{P_4} \omega_4 \quad (6.1)$$

地形所造成的垂直速度

$$\omega_4 = -\alpha \rho_4 g \left(U \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} \right) \quad (6.2)$$

其中 $\rho_4 g = \frac{P_4}{H_0}$, α 为小于 1 的经验系数, h 为地形高度, H_0 为标高, 本文取 H_0 为 7 公里,

右下角标 4 表示近地面量。

将(6.2)代入(6.1)得

$$U \frac{\partial}{\partial x} \Delta \phi + \beta \frac{\partial \phi}{\partial x} = -\frac{f\alpha}{H_0} \left(U \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} \right) \quad (6.3)$$

对青藏高原,作为第一近似,假设东西坡度为零,只考虑地形的南北坡度,并假定南北坡度为常数,即

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial h}{\partial y} = h' = \text{常数}$$

则由(6.3)式可得

$$U \frac{\partial}{\partial x} \Delta \phi + \beta \frac{\partial \phi}{\partial x} = -\frac{\alpha}{H_0} f h' \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (6.4)$$

设单波扰动

$$\phi = \tilde{\phi} e^{ikx}$$

则得定常波长

$$L_r = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{\beta}{U} + \frac{f\alpha}{H_0 U} h'}} \quad (6.5)$$

若不考虑地形坡度 ($h' = 0$), 则定常扰动的波长为定常 Rossby 波长。由此可知, 北坡 ($h' < 0$) 使定常扰动的波长比 Rossby 定常波长长 (图 6)。

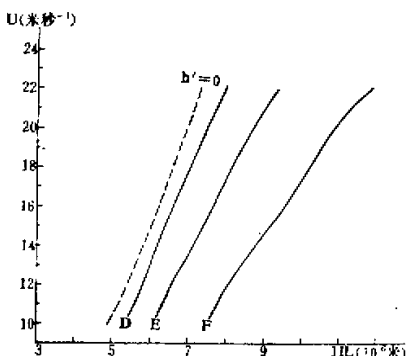


图 6 地形北坡坡度 h' 取不同值对波长的影响 (D 表示 $h' = -1.85 \times 10^{-4}$, E 示 -5.56×10^{-4} , F 示 -9.26×10^{-4} , 虚线示 $h' = 0$)

从前几节的讨论知道西藏高原的下游槽离山顶的距离较远, 高原下坡方向的气流比较平直, 而洛矶山脉下游槽离山顶的距离较短, 槽就位于背风坡。这可能是西藏高原和洛矶山脉地形形状不同所致, 洛矶山脉是一个东西向窄, 南北向长的窄长山地, 东西向坡度

大于南北向坡度。纬向气流遇到这样的山脉时,跨过东西向坡度的爬坡作用显著,根据涡度守恒,在背风坡,有利于低压槽发展。所以洛矶山下游槽离山顶距离较短,槽就位于背风坡。而青藏高原是一个巨大的椭圆形高地,南北向坡度特别显著。从(6.5)式知北坡使波长变长,坡度越陡。青藏高原的北坡坡度比洛矶山显著得多,地形的北坡作用可以部分地解释青藏高原产生的强迫波更长,下游低槽不是产生在背风坡而是更下游的我国沿海,低槽离山顶距离较远,在下坡方向的气流比较平直,有利于我国上空出现纬向型环流。洛矶山的强迫槽则位于背风坡,因而北美洲则比较容易出现经向型环流,东亚的纬向型环流比北美多。

七、结 语

从本文的研究,可知东亚大气环流的一个特点是纬向型环流较多,占 60%,一年中这类流型的日数经常为 180—270 天。地形的固定性强迫作用是形成这一特点的经常存在的因素。

青藏高原的特点是一个巨大的长轴为东西向椭圆形高原,南北向坡度更为明显。本文利用一个原始方程数值模式指出青藏高原的下游槽不在背风坡,而在更下游处形成;没有考虑地形的数值模式对高原上空低槽强度的预报偏深,而有地形作用的模式使高空槽变浅,环流趋向纬向型。本文利用简单的理论分析指出,由地形北坡作用所产生的定常扰动波长要比 Rossby 定常波长长,有利于纬向型环流的形成。

因此我们认为东亚大气环流出现纬向型环流较多的主要因素之一,是青藏高原的动力性机械作用。

参 考 文 献

- [1] Гирс, А. А. 著,章基嘉译,大气环流的多年振动及长期水文气象预报,科学出版社,6—7, 1976.
- [2] 朱永麟,气象学报, 26, 195—209, 1955.
- [3] 叶笃正,中国地球物理学报, 2, 231—254, 1951.
- [4] 顾震潮,中国科学, 2, 283—303, 1951.
- [5] 顾震潮、叶笃正,气象学报, 26, 167—182, 1955.
- [6] 陈秋士等,数值预报和数理统计预报会议论文集, 49—56, 1972.
- [7] 朱抱真等,气象学报, 38, 130—141, 1980.
- [8] Berkofsky, L., and BeRtont, E.A., Mean Topographic charts for the entire earth, Bulletin of the American Meteorological Society 36, 350—354, 1955.
- [9] 中国科学院大气物理所中期预报组,初始方程数值模式的一个计算格式及其预报的个例实验,大气科学, 39—51, 1977.

THE DYNAMIC EFFECT OF TIBET PLATEAU ON THE FORMATION OF ZONAL TYPE CIRCULATION OVER EAST ASIA

Luo Meixia Zhu Baozhen Zhang Xuehong

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

From a statistical study of the northern hemispheric circulation types of the atmosphere, it is found that the zonal type circulations prevail in East Asia. From a 3-layer primitive equation model in σ -coordinate the orographic effect on a westerly current over the northern hemisphere is studied. A distinguished deepening trough is obtained in the lee-side slope of the Rocky mountains, but a pronounced trough is in the East Asia coast far from the Tibet Plateau. In a case of 48-hour numerical forecasting, it is found that the effect of Tibet Plateau tends to build up a rather zonal type circulation, which is consistent with the observations. These may be partly explained by the topographic effect of the north slope of Tibet Plateau in a simple geostrophic theory.