

冬季亚洲大陆冷高压形成和发展的物理机制研究

夏友龙

朱抱真

(北京气象学院)

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文根据一个两层全球大气环流的谱模式,对大陆冷高压的形成和发展过程的一些物理机制进行了分析探讨,并作了有无地形的对比试验。分析结果指出,对流层大气的辐射冷却和地面感热造成了对流层低层的大陆冷源,以及地形性动力下沉运动控制了高压中心的位置。分析还指出,大陆冷高压形成后,受平流作用向南侵袭,冷高压的移动路径和南侵入达到的纬度与地形作用有关;冬季海面的感热输送使大陆冷高压入海变性。

一、引 言

亚洲大陆冷高压一直是中外气象工作者重视的环流系统,因为它的形成和移动直接影响东亚大气环流和天气变化。

早在二十世纪四十年代, Wexler^[1]就强调指出,对流层上部的辐合作用、局地辐射冷却及冷平流是形成亚洲大陆冷高压的主要因素。五十年代, Bodurtha^[2]进一步指出, 200hPa的冷平流对亚洲大陆高压的形成起了主要作用。近年来, Ding 和 Krishnamurti^[3]研究了冬季风期间,加热因子在西伯利亚大陆高压的热量收支中的作用,指出辐射冷却和大尺度下沉运动对高压的形成有很大影响。Mintz^[4]使用数值模式,作了有无地形的对比实验,指出地形作用是亚洲大陆高压形成的决定因子。Marti^[5]还研究了大陆高压移入海后的变性过程,指出海面感热作用的重要性。Chang 和 Erichson, Lau^[6]研究了来自东北方向的冷涌发展及向东延伸与赤道对流的关系,并指出来自中纬的冷空气与热带系统相互作用的重要性。

本文采用一个大气环流球谱模式,对模拟的大陆冷高压的形成和发展过程中的一些重要特征,进行物理机制的分析。特别是通过:(1)包括大地形及非绝热物理过程的模式(M-模式);(2)不包含地形作用的模式(NM-模式)作对比实验,对亚洲大陆冷高压的形成和发展过程的物理机制进行分析探讨。

二、数值模式简介

本文的数值模式所采用的方程组包括 σ 坐标两层大气的涡度方程、散度方程、热力学方程、水汽方程、连续方程和静力方程。计算格式按照陈嘉宾、纪立人和吴万里(1987)的格式。球谱函数展谱采用三角截断,截断波数 $m = 21$ 。时间差分采用半隐式格式。然后将 OSU 大学(1982)两层格点全球大气环流模式的物理过程引入本文的球谱模式中。这些参数化方案包括辐射、感热、蒸发、凝结降水和地形、摩擦耗散等^[7]。初始场根据 GFDL 的气候资料,包括 1 月份纬向平均的速度 u 、温度 T 、高度 ϕ 及比湿 q 。

三、大陆冷高压的形成

大陆高压的加强与发展的物理因子,可由下列海平面的涡度局地变化公式讨论:

$$\frac{\partial \zeta_0}{\partial t} = A_\zeta - (R/f_0) \cdot \nabla^2 \{ \log(p_0/p) \cdot [c_p^{-1} (dH/dt) + \overline{\omega(p_0 - p)}] + g/R \cdot A_T \}$$

上式右端第 1 项为平均层的涡度平流和热成风涡度平流;第 2 项为非绝热加热过程的影响;第 3 项为垂直运动项的影响;第 4 项表示厚度平流的作用。

图 1 为第 5 天有无地形作用时所得的海平面气压场。在有地形作用时,东亚大陆有一个中心为 1032hPa 的强大反气旋。在它的下游是中心为 994hPa 的阿留伸低压。在无地形作用时,大陆冷高压很弱,中心强度为 1021.5hPa,阿留伸低压没有出现。

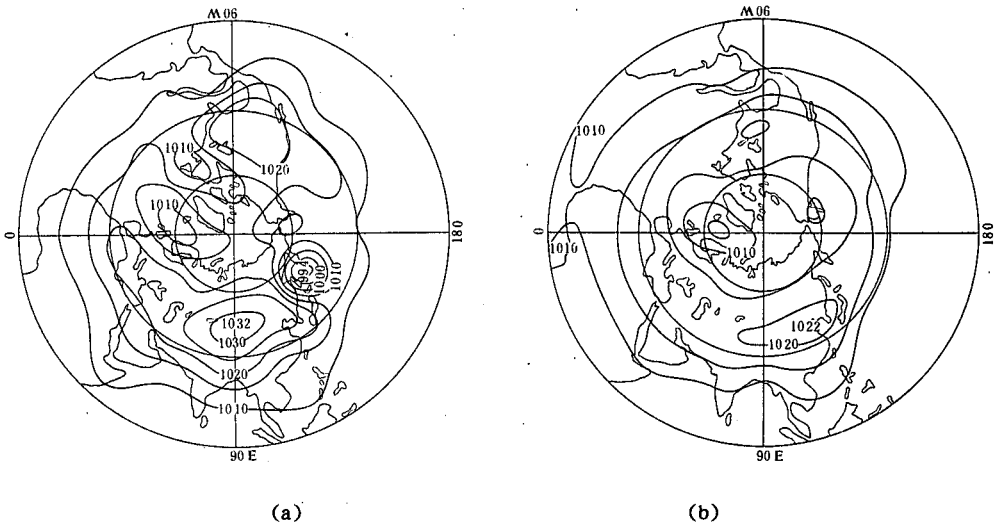


图 1 第 5 天的海平面气压场
(a)有地形(M) (b)无地形(NM) (单位:hPa)

(1)热力因子

我们首先对热力因子的影响进行具体分析。大陆冷却作用主要是由长波辐射和地面感热交换而形成的。辐射冷却在大陆上的分布基本上是纬向的。近地层的感热分布是非

纬向的。图2为第5天的地面感热分布。从图2可以看出,最大的冷却中心在极地,它有一个 -25Ly/d 的冷却区向高压形成区延伸。注意大陆高压中心区并不与感热的冷却中心区相合,说明大陆高压的形成还有其它重要的动力因子。

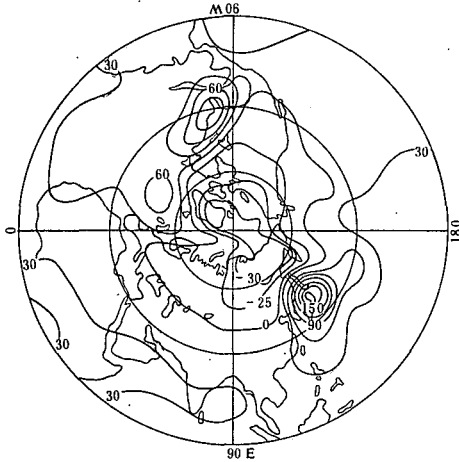


图2 第5天的地面感热分布
(单位为 Ly/d)

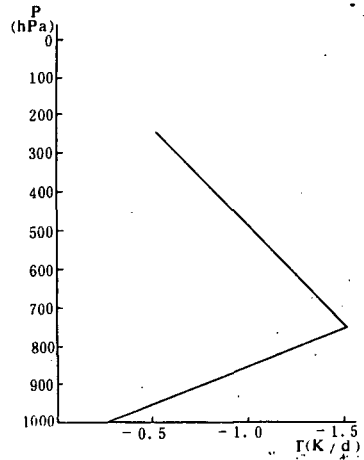


图3 区域平均的大气总加热率随高度的变化
(单位为 K/d)

图3给出大陆冷高压区域平均的冷却作用随高度的变化。由图3可知在对流层低层冷却较强,在 750hPa 为 -1.5K/d ,而地表面和对流层高层的冷却作用均较弱。这一结果和丁一汇与Krishnamurti(1986)的诊断结果基本一致。同时,可以推论大气的冷却是辐射冷却的结果。

(2)动力因子

由 500hPa 的温压场分布,可以考查涡度平流和温度平流的作用。我们从M实验中

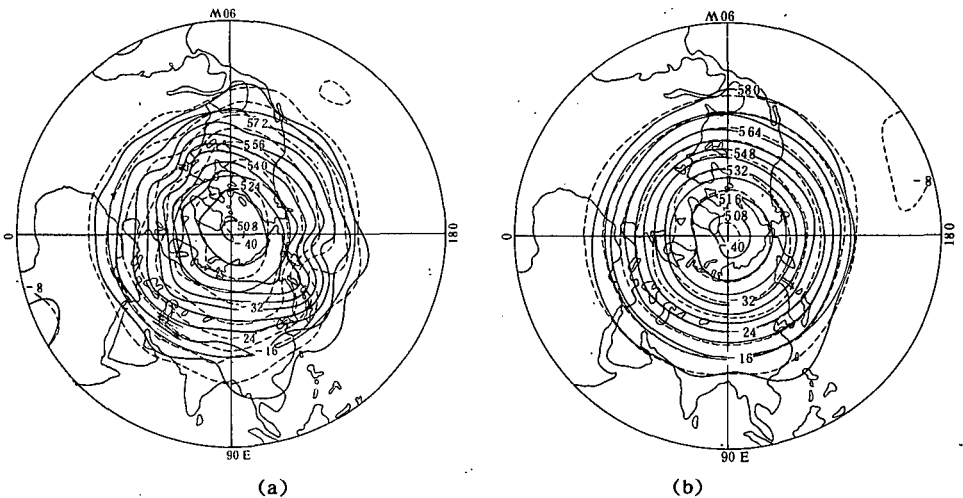


图4 第5天的 500hPa 温压场 (a) 有地形(M) (b) 无地形(NM)
(实线为等高线,单位为 10gpm ,虚线为等温线,单位为 $^{\circ}\text{C}$)

(图4a)可以看到,强冷平流位于冷高压的东部,在大陆高压中心区,冷平流很弱。在大陆

高压的西部,有反气旋涡度平流和热成风涡度平流。在 NM 实验中(图 4b),亚洲大陆上等温线与等高线几乎平行,温度平流和反气旋涡度平流都很小。

由此可见,在大陆高压的形成阶段,从对流层中层的冷平流和反气旋涡度和热成风涡度平流作用的动力因子看,大地形比单独海陆加热对比作用更为迅速地建立了大陆冷高压。

我们再考查垂直运动的作用。在 M 实验中,第 5 天 ($\sigma = 1/2$) 的垂直运动场(见图 5a),在东亚大陆地区,有一范围广大的下沉运动区,这个下沉运动区位于高压东部。但最大下沉区并不与大陆高压中心重合,而是位于高压中心以东。在 NM 实验中,第 5 天的垂直运动场分布(见图 5b),最大的垂直运动位于热带及副热带区域,强度要比 M 实验小得多。

上述两个实验对比可知,在大陆高压的形成区,大尺度下沉运动主要是大地形作用的结果。注意到反气旋涡度的局地变化是和 $-\nabla^2\omega$ 成正比,由图 5a 可以看到,正是地面高压的中心区有着强大的 $-\nabla^2\omega$,因此,大地形的动力作用引起的下沉运动对大陆冷高压的形成起了主导作用,它是大陆高压加强的主要动力因素。

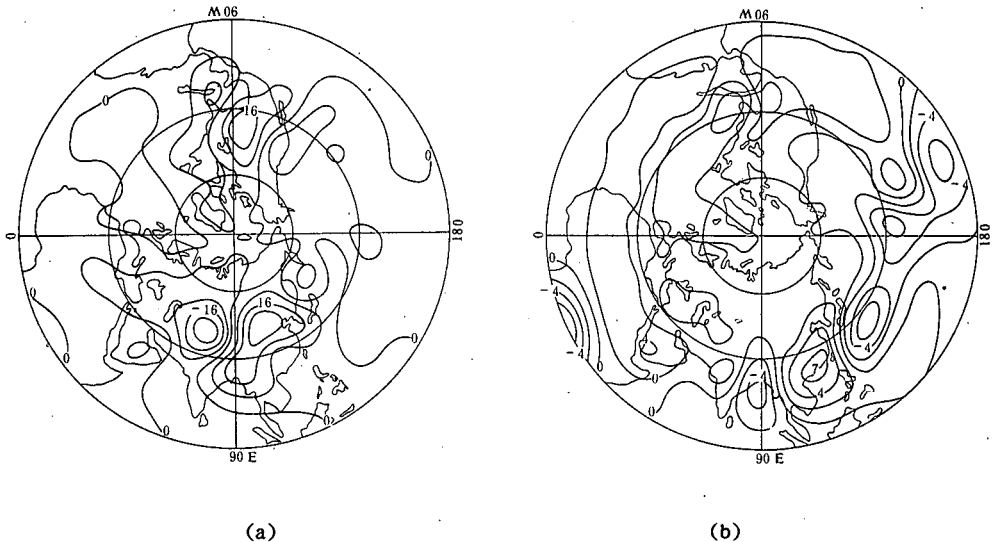


图 5 第 5 天的垂直运动场(单位: 10^{-5}s^{-1})
(a)有地形(M) (b)无地形(NM)

四、大陆高压的移动路径

大陆高压移动路径的不同,对东亚的天气过程和热带行星尺度环流都有很大的影响。图 6 给出有地形作用的 M 实验,无地形作用的 NM 实验的冷高压移动路径。在有地形作用时,高压在第 6 天开始南侵。由大陆高压分裂出的小冷高压,以 20 纬距/日的速度,向东南方向移动,可以侵袭到 25°N 附近。并由图 4a,b 可知冷高压的移动路径与 500hPa 温压场的配置有很大关系。冷高压的移动方向基本上和位于中国华北的强冷平流相吻合,这与

东亚天气实践经验一致。在无地形作用时,冷高压的移动路径偏南,到第6天,高压一直向东移动。入海后向东南移动到中国东部沿海,然后又向西南方低纬度移动,可以南侵到20°N地区。这样的路径在实际观测中是极少的。大陆冷高压的移动路径多在30°N附近入海东移,与高空南支急流的引导有关。根据本文的数值实验结果,可以认为大陆高压的这种移动路径主要是由于大地形的影响。

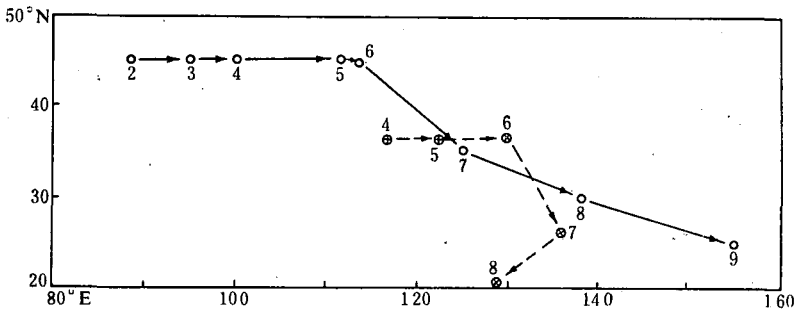


图6 大陆冷高压的移动路径
(实线:M模式,虚线:NM模式)(图中数字为模式日)

五、大陆高压的入海变性过程

当大陆高压分裂出的小冷高压向东南方向移动,到达海上时,发生变性过程。

图7给出无地形作用的实验第6—10天东亚海上区域平均加热率的垂直分布(有地形作用时类似)。与图3冷高压生成区的加热分布相比较可见,生成区对流层低层的冷却被加热所代替,在对流层高层仍为弱的冷却。对流层低层的加热主要是海面的感热输送。

不论有无地形作用,在日本海东南部的西太平洋上,均有一个正感热中心(图略)。但有地形时的感热分布范围更广,强度更大。说明了地形的动力作用加强了海洋不断地向大气输送热量过程。

通过上面的分析,在暖洋面上,海面的感热输送作用是冷高压入海变性的主要因子,这与丁一汇和 Krishnamurti(1986)的观测事实诊断结果一致。

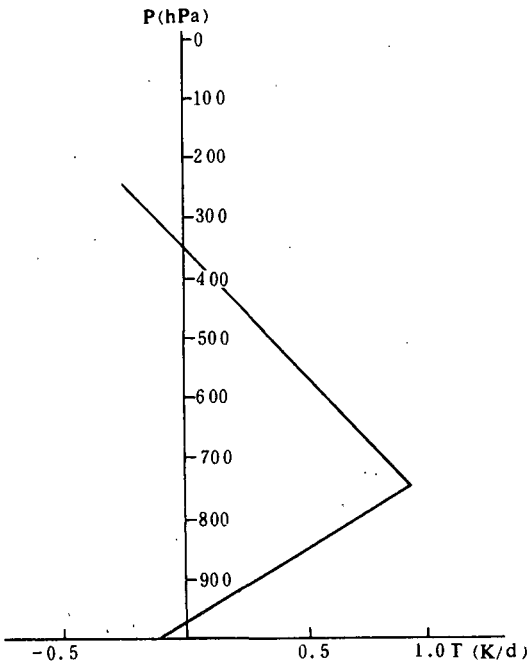


图7 6—10天区域平均加热率的垂直分布
(NM实验)(单位:K/d)

六、结 语

本文通过对大陆冷高压形成和发展机制的讨论,主要得到以下几点结论:

(1)大陆高压的形成是大尺度下沉运动、对流层的辐射冷却及地面感热的作用。由于热力因子提供了大陆高压形成的背景,地形作用的强迫下沉对高压中心区的形成起了重要的作用。

(2)地形作用明显地影响了大陆高压的移动路径。当没有地形作用时,冷高压可以南侵到 20°N ,有地形作用时,东亚急流加强,冷高压南侵到 30°N ,东移入海。海面的感热输送使大陆冷高压入海变性。

参 考 文 献

- [1] Wexler, H., Some aspects of dynamic anticyclogenesis, The University of Chicago Inst. Meteor. Misc. Rept. No. 8, 28pp. 1943.
- [2] Bodurtha, F. J., An investigation of an anticyclogenesis in Alaska, *J. Meteor.*, 8, 118—125, 1952.
- [3] Ding Yihui and Krisnamurti, Heat budget of the Siberian high and winter monsoon, Fsu. Report No. 8, 6—7, 1986.
- [4] Mintz, Y., Very long-term global intergration of the primitive equations of atmospheric motion, WMO-No., 162, TP79, 141—155, 1965.
- [5] Murti, L. K., Heat and moisture budgets over AMEX area during AMTEX' 75, *J. Meteor. Soc. of Japan*, 54, 370—381, 1976.
- [6] Chang, C. P., J. E. Erickson and K. M. Lau, Northeastly cold surges and near equatorial disturbances over the winter MON-EX area during December 1974, Part I, Synoptic aspects, *Mon. Wea. Rev.*, 107, 812—829, 1979.
- [7] 夏友龙, 黄伯银, 一个两层大气环流谱模式的参数化方案, 北京气象学院学报, 第一期, 1991年。

MECHANISM OF FORMATION AND EVOLUTION PROCESS OF THE ASIAN CONTINENTAL COLD HIGH IN WINTER

Xia Youlong

(Beijing Institute of Meteorology)

Zhu Baozhen

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

By using a two-level global spectral model, the mechanism of formation and evolution process of continental cold high and topographic action in the model are studied. We find that cold high positions are determined by the continental cooling source of lower troposphere resulting from radiative cooling in the atmosphere and sensitive heat of the earth surface, and by the topographic dynamic sink.

The results also show that (a) after cold high is formed, it moves southward owing to the action of cold advection in troposphere, its path and reaching latitude are related to the topographic action, (b) the heating sources formed by the sensitive heating transport on the sea-surface in winter play an important role for the variation of cold high movement.