偶极子型系统及其阻塞结构成因的数值试验*

徐祥德 赵天良

(中国气象科学研究院,北京 100081) (贵州省气象局,贵阳 550002)

Larsen, Redekopp 以及 Nogami, Yamagate, Yano[1,2], 我国气象学家巢纪平[3]等将 Rossby 孤立波与大气阻塞系统直接联系起来。此后,Larichev 和 Reznik[4](1976)求得了异性偶极子(Modon)精确解,且 Mc Williams[5]用偶极子具体解释了南低北高阻塞切断系统,将偶极子视为二维孤立波(Solitary eddy)。

观测资料表明,偶极子阻塞系统具有显著的区域性特征,从图 1b[6]可见,冬季偶极子阻塞在太平洋西部 120—180°E 频数最多;另外,由图 1a[6]可发现.偶极子阻塞主要产生于 50—70°N,并且在 60°N 附近为最多,有趋于(主要出现在)较高纬度的特征。

本文的目的在于进一步探讨在冬季西风基流与近似东亚实际大地形的背景下能否产生偶极子阻塞,考察偶极子阻塞现象是否可能发生在上述较高纬度的太平洋西部地区。从而通过数值试验进一步揭示冬季西风基流、东亚实际地形强迫的非线性动力效应与偶极子阻塞形成的区域性特征之间的相关关系。

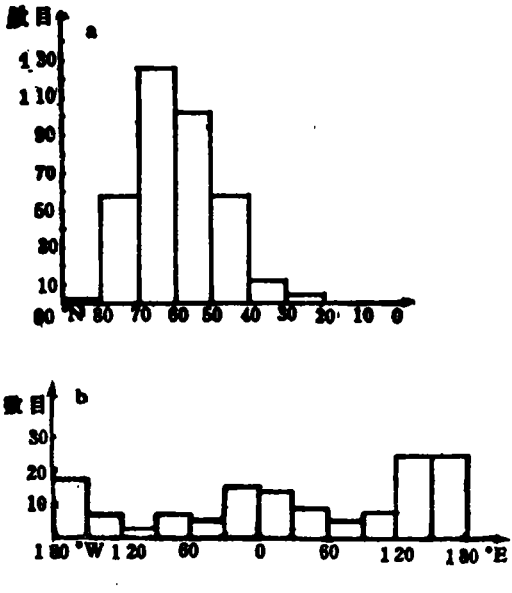


图 1 偶极子阻塞地理分布(1969—1984 年)[6]
(a 随纬度分布(冬季),b 随经度分布)

1 模式简介

本文采用 OSU－AGCM(1982)模式动力学框架,在热力学方程中引入了牛顿加热、冷却强迫项,构成了包括热力强迫、东亚大地形强迫及其耗散项的简化大气环流模式。考虑大气斜压热力结构的季节变化特征,本文试验方案将多年平均资料的 1 月份(400hPa,800hPa)的纬向平均温度作为牛顿强迫项的平衡温度(图 2a);纬向平均地转风场作为初始风场(图 2b),图 3 给出了试验方案中模式 4°×5°初始网格上大陆廓线及其东亚地形结构。

* 1991 年 2 月 5 日收到原稿,1992 年 12 月 17 日收到修改稿。

2 数值试验结果

2.1 大气环流对冬季斜压热力结构、东亚大地形强迫的响应特征

欧亚地区阻塞高压系统具有较强的季节性与区域性特点。阻塞系统包括单个非偶极子与偶极子阻塞之和，它们是整个大气环流发展演变中的一个特殊阶段。它们的建立，破坏了西风带移动性波动的活动，使环流具有一定稳定性，在不同地理区域，不同季节出现了持续性天气。因此，区域性、季节性是阻塞系统的共同特征。同时，上述特征也可启发我们思考这样的问题，即阻塞现象是否与斜压热力结构的季节特征及其某些固定地区大地形的强迫有关？

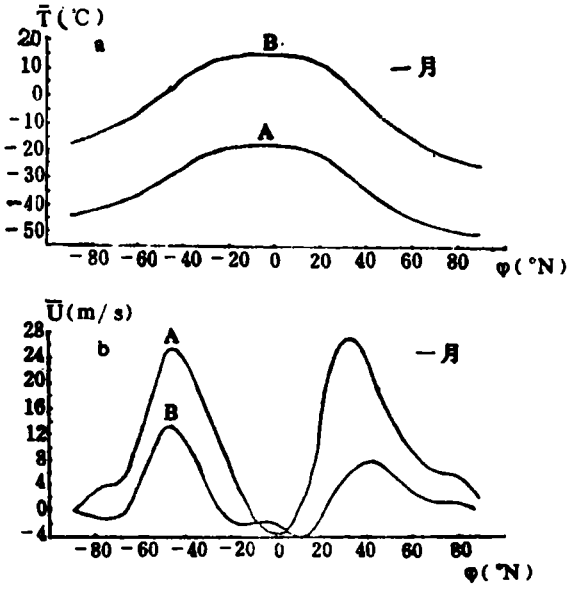


图2 (a)多年平均1月温度T(℃)
(b) u 分量经向分布廓线 $\bar{u}$(m/s)(A:400hPa, B:800hPa)

从动力学观点来认识大地形强迫效应，可认为地形西侧为反气旋系统的加强区，其东侧则有利于气旋系统的发展，且随着冬、夏西风基流的季节性位移，这类大地形强迫的动力效应亦会有显著差异。Frenzen(1955)[7]曾讨论了一有趣的现象，即一个圆型障碍物放在转动的半球形壳体中，流型振幅与障碍物所在纬度有关。冬、夏西风急流带相对于大地形的季节性位移亦影响着大地形强迫产生的动力效应。

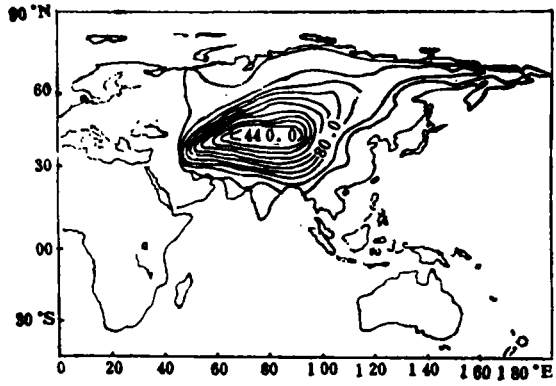


图3 东亚大地形结构(10m)

图4给出了冬季斜压热力结构背景下东亚大地形影响引起北半球环流型变化的模拟流场。模式积分20天，模拟流场(图5)上乌拉尔山高压脊与东亚大槽十分显著，且下游槽脊扰动明显。另外，若模式中采用夏季斜压热力结构作为牛顿强迫项的平衡温度，则同样在东亚大地形影响的条件下，模拟流场与图5有明显差异，上、下游波动振幅明显减弱，且乌拉尔山区域高压脊与东亚地区低槽均不明显，且槽脊位相出现相反趋势(图略)。这说明由于冬、夏斜压热力结构的变化，

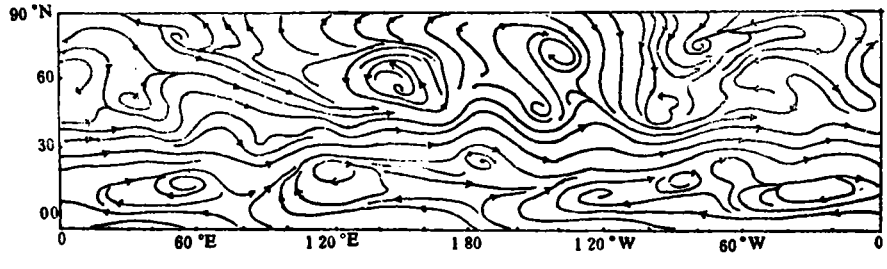


图4 模式积分20天，冬季模拟流场(400hPa)

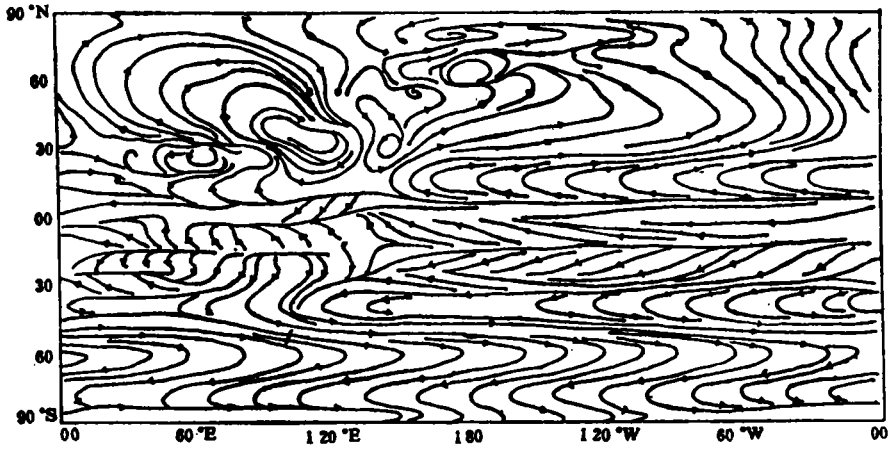


图 5　模式积分 7 天，有、无东亚地区模拟流场偏差分布

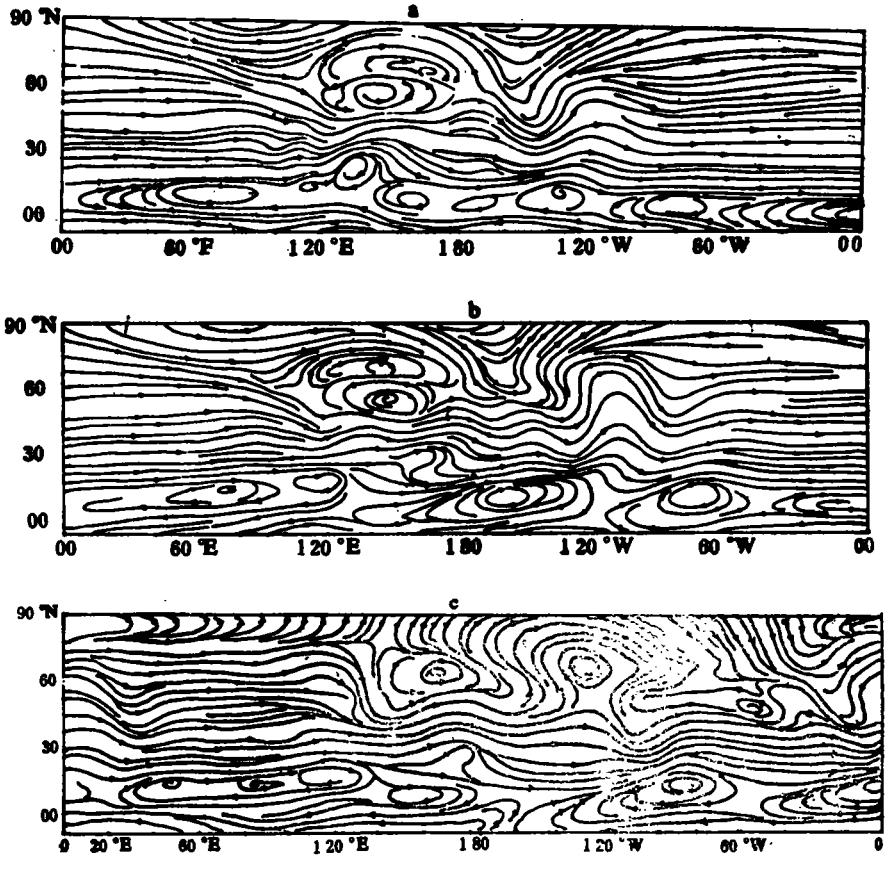


图 6　冬季东亚大地形、西风基流条件下模式计算所得模拟流场(a 积分 9 日，b 积分 11 日，c 积分 17 日)

导致东亚西风基流与大地形强迫的非线性作用效果发生了明显差异，因此，引起了环流型的季节性、区域性特征。

2.2 环流型演变的地形动力效应

大气环流持续性异常类似于阻塞流型等，可以认为是大气对局地强迫（包括热源或大地形）的非线性响应，是一种波动与局地外源非线性相互作用的结果。外源强迫的Rossby波可以传播得很远，也可能在某些背景条件下发生共振；然而这类扰动发生异常的区域不一定恰与外源位置相重合，因此，局地强迫构成扰动异常区究竟在何处？这是值得思考的关键问题。

图5给出了冬季斜压热力结构条件下有、无东亚大地形两类模拟流场的偏差分布，由图5可见，模式积分第7日偏差场上乌拉尔山反气旋与东亚大槽特征十分显著，这反映了冬季北半球环流型中，乌山高压脊、东亚大槽特征的形成与冬季西风基流、东亚大地形强迫作用密切相关，即在冬季基流、地形条件下大气环流型的响应具有显著的区域性特征。

2.3 “偶极子型”阻塞系统的形成

近年来，有关文献的研究认为上游气旋突然生成可促发下游阻高的迅速建立，这类促发机制可能与斜压有效位能的转换以及波与波之间非线性作用相关。东亚大地形强迫作用所激发的气旋系统能否也促使下游阻高的建立呢？

模式中若仅放入东亚大地形结构，且在冬季斜压热力状况背景下，数值试验结果表明，模式积分第7日东亚乌拉尔山高压隆起，高原东侧低槽显著，且其下游促发一脊线呈西北－东南走向的阻高型系统（图略），此类东亚环流特征与图5中有关东亚地形强迫的偏差场相对应。模式积分第9日（图6a），由模拟流场可发现一有趣的现象，伴随着地形东侧气旋性环流的强烈发展，在纬度60°N附近，经度120—180°E出现了一“南低北高”的偶极子系统，值得注意的是此偶极子系统位置恰与观测事实中冬季北半球太平洋西部偶极子阻塞频数最多区域相吻合。这现象并非偶然的巧合，因本文模式放入的是接近实际的东亚地形分布，且采用了冬季斜压热力结构作为牛顿冷却项的平衡温度。模式的上述条件及其模拟结果进一步揭示了季节背景与地形因素对偶极子阻塞系统形成的影响效应。另外此对偶极子阻塞系统一直维持到模式积分的第15日前，在积分第15日偶极子型阻塞趋于破坏，即原东西向脊线、槽线转为南北向；积分第17日偶极子型阻塞消失（图6c）。

3 结 论

本文数值试验表明，在冬季斜压热力结构条件下，东亚大地形强迫可能产生区域性动力“扰动”，对环流型叠加了强迫效应，它为东亚乌拉尔山高压脊或阻塞形成提供了环流背景，西风基流与东亚大地形因素的非线性相互作用亦可能构成东亚偶极子型阻塞系统，即大地形强迫也可作为气旋发展的关键因素和阻塞高压形成的促发机制之一。东亚地形东侧南低北高Modon的成因与东亚大地形的强迫作用有密切相关。

参考文献

[1] Larsen L H. Comments on “solitary waves in the westeries”. J Atmos Sci, 1965, 22: 222－224.

[2] Yano J. The north-south elongated solitary Rossby wave. Dyn Atmos Oceans, 1987, 11: 131－138.

[3] 巢纪平，黄瑞新. 旋转正压大气椭圆余弦波. 中国科学，1980，(7)：696—704.

[4] Larichev V, Reznik G. Rossby Wave Soliton. In Rep. USSR Academy. Sciences, 1976,321(5).

[5] Mc Williams J C. An application of equivalent modons to atmospheric blocking dynamics of atmospheres and oceans. 1980, 5: 43－66.

[6] 罗德海，纪立人. 大气中偶极子阻塞的观测研究. 大气科学，1991，15(4)：52—57.

[7] E. N. 洛伦茨著[美]. 大气环流的性质和理论. 北京大学地球物理系气象专业译. 科学出版社，1976，26—40.

NUMERICAL EXPERIMENT ON THE FORMATION OF THE DIPOLE SYSTEM AND BLOCKING STRUCTURE

Xu Xiangde

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing* 100081)

Zhao Tianliang

(*Guizhou Meteorological Bureau, Guiyang* 550002)

Abstract

In this paper, the dynamic effects of the westerlies basic flow in winter and Eastern Asia topography are emphasized, so as to investigate the seasonal and geographicl characters of the dipole blocking. The results of numerical experiment indicate that nonliner interaction between the westerlies basic flow and the topography forcing of Eastern Asia may not only result in a Asia circulation background, but also cause the formation of dipole blocking structure.