第15卷第2期	气 候 与 环 境 研 究	Vol. 15	No. 2
2010 年 3 月	Climatic and Environmental Research	Mar.	2010

陈哲,李崇银. 2010. 海陆地形对阻塞活动的影响 [J]. 气候与环境研究, 15 (2): 113-119. Chen Zhe, Li Chongyin. 2010. The effect of land-sea topography on the blocking activity [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (2): 113-119.

海陆地形对阻塞活动的影响

陈哲^{1,2} 李崇银^{2,3}

- 1 国家气象信息中心,北京 100081
- 2 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学国家重点实验室,北京 100029
- 3 解放军理工大学气象学院,南京 211101

摘 要 利用法国动力学气象实验室开发的格点大气环流模式(LMDZ)考察了海陆地形高度对阻塞事件的 影响。结果表明,数值模式中地形高度的存在与否可以直接影响到阻塞事件的发生位置,使气候态的阻塞发生 区域产生调整。可以看出海陆地形在阻塞形成中起固定阻塞位置的作用,也可以加强阻塞的强度,增加阻塞发 生的频率。

关键词 阻塞 地形强迫 数值模拟

文章编号 1006-9585 (2010) 02-0113-07 中图分类号 P435 文献标识码 A

The Effect of Land – Sea Topography on the Blocking Activity

CHEN Zhe^{1,2} and LI Chongyin^{2,3}

- 1 National Meteorological Information Center, Beijing 100081
- 2 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Science and Geophysical Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029
- 3 Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101

Abstract With the Atmospheric General Grculation Model (AGCM) LMDZ, the authors investigate the influence of the land – sea topography height on the blocking events. The results show that the topography in the AGCM can modulate the position of blockings and the area of climatological blocking onset. Furthermore, the land – sea topography can increase the blocking intensity and make the blocking onset more frequent.

Key words blocking, topography forcing, numerical simulation

1 引言

在中高纬度西风带长波槽脊的发展演变过程 中,当脊北伸时,其南部与南方暖空气的联系被 冷空气所切断,同时脊的北部出现闭合环流,相 对于周围大气形成暖高压中心,即阻塞高压。由 于阻塞形势的建立、维持与破坏对周边地区天气 气候具有十分重大的影响,特别是与一系列的异 常天气(大范围持续干旱或阴雨)密切相关,因 此国内外气候学家已经对其形成机理和演变特征 进行了大量的研究工作。观测资料的分析表明,

收稿日期 2009-03-16 收到, 2009-07-20 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金 40705025, 中国气象局行业专项 GYHY200706010

作者简介 陈哲,女,1980年出生,博士,高级工程师,主要从事阻塞动力学方面研究。E-mail: chenzhe@mail. iap. ac. cn

大多数阳塞形势通常产生在大西洋和太平洋这两 大洋上,海陆地形对阻塞的影响不容忽视。Luo (2005) 指出大尺度的海陆地形并不能影响阻塞的 增长,但是可以决定阻塞的类型,也可以固定阻 寒的位置。而事实上另外一些研究表明, 地形对 阻塞的形成起着很重要的作用(Tsou and Smith, 1990; 朱正心, 1983), 可以加强阻塞的强度和固 定阻塞的位置(Kung et al., 1990)。Ji and Tibaldi (1983) 的数值试验也强调了大地形的主导作 用,特别是对制约瞬变波(天气尺度波)和定常 波的相互作用方面起着重要的作用。而 Luo and Chen (2006) 的理论结果指出相对于天气尺度波, 地形在阻塞的形成过程中起着第二位的作用。然 而海陆地形的存在对阻塞的形成和发展是否会起 作用呢?这个问题至今仍然没有完全解决。本文 将利用法国 LMDZ 全球大气环流模式考察海陆地 形高度对阻塞事件的影响。

2 模式概述及试验方案设计

2.1 模式概述

数值试验所用模式是法国动力气象实验室 (LMD)的LMDZ大气环流模式 V3.3,该模式水 平分辨率为 4°(纬度)×5°(经度),在垂直方向 上采用了 $p - \sigma$ 混合坐标系,共分为 19 层,在地 面至 1 km 高度分布了 4 层,在 20 km 以上分布了 4 层,在 2~20 km 之间的平均垂直分辨率为 2 km (Lott et al., 2005)。

2.2 试验方案设计

参照试验(Control Run)利用 LMDZ 模式在 1月气候态海温强迫下,持续积分 50 个月。

0 m 试验 (0 m Run) 将模式地形改变为 0 m, 即去除所有地形,只保留海陆差异。在 1 月气候 态海温强迫下进行积分,共积分 50 个月。去除地 形的具体方法是:将原始的输入地形高度降低 100 m (对地形高度小于 100 m 的地区,只减去地形 的实际高度),然后将大气模式进行 3 天的积分, 使模式大气的基本状态与修改后地形相匹配;将 模式的输出场转变为初始场,再次把地形高度降 低 100 m,并进行 3 天的适应性积分。如此重复进 行了 55 次,使模式中的大地形差异基本清除,同 时保障了模式初始场的适用性。

3 两组试验模拟的阻塞环流

下面的工作将利用数值模式考察地形变化对 阻塞高压形成和演变特征的影响。接下来的分析 将分别关注参照试验与 0 m 试验对阻塞的模拟 情况。

3.1 地形高度对阻塞易发区域的影响

前人的研究工作已经指出,冬季北半球阻塞 易发区域主要有两个,分别位于北半球中高纬度 的北大西洋和北太平洋。本小节将利用参照试验 与0m试验的结果,考察地形高度对阻塞发生区 域的影响。

图1中给出了阻塞现象在不同区域的发生频次分布。该图所示结果为基于 TM 指数(Tibaldi and Molteni, 1990)针对每一个纬向格点进行运算后,符合前两个条件(Tibaldi and Molten, 1990)的天数。由于没有考虑纬向跨度(至少连续3个纬向格点)和维持时间(不少于5天),这里所指的频次并不是真实的阻塞发生频次,为了作一区别,下文中将这些频次称为符合阻塞初选条件的频次。

图 1 中虚线所示为参照试验的结果,可知在 参照试验中主要有两个峰值,一个位于北大西洋 东部和欧洲地区,30°W 附近的峰值达到359次, 整体范围涵盖了60°W~30°E之间的区域;另一 个峰值位于北太平洋中西部,170°E 的峰值达到 了248次,整体覆盖范围包括130°E~150°W的大 片区域。在60°E 左右还存在一个小的高值区,峰



图 1 阻塞现象在不同区域的发生频次分布。虚线为参照试验 结果,实线为0m试验结果

Fig. 1 The onset frequency distribution of blocking in difference areas. The dashed line is the result of Control Run and the real line is the result of 0 m Run 2期

No. 2

由以上结果可知,参照试验的结果与前人基 于观测资料的工作相比,其结论还是比较可信的 (Diao et al.,2006)。与观测资料的区别主要是两 个峰值的位置均略为偏西。至于观测中冬季 (DJF)欧亚大陆上方弱峰值的缺失,与试验方案 的设计有关。由于两组试验均为持续1月积分的 结果,而1月欧亚大陆上的峰值是不存在的 (D'Andrea et al.,1998),故模式参照试验的结果 呈现出典型的双峰型分布。

图1中的实线为0m试验的结果。显而易见, 两组试验对于阻塞过程的模拟存在很大的区别。 在0m试验中,北太平洋中西部的峰值消失了, 取而代之的是一个横跨 70°E~180°E 的高值区, 该高值区有较大的经向跨度,但是其峰值却很小, 仅为102次(位于120°E附近)。与参照试验相 比,0m试验中北大西洋东部的峰值亦发生了显 著变化,峰值次数下降为302次,且峰值位置东 移至10°W附近,但纬向范围却有大幅增加,大 致由 148°W 向东一直延伸至 60°E。60°E 的小峰值 区在0m试验中完全消失。整体来看,去除模式 地形后,LMDZ模式模拟的阳塞现象发生区域与 参照试验结果显著不同,主要差异体现在两方面, 一是峰值次数普遍减弱,二是峰值区经向跨度加 大。这种变化的实质是阻塞现象发生的地理局限 性减弱了,阻塞能够在很多以前不易于发生的区 域得到发展。这也恰恰反应出地形高度对模式中 阳塞现象的影响:锁定阳塞的发生区域,使阳塞 更易于在某些关键区域发生。在去除了地形高度 这一影响因素之后,阻塞的发生在地理分布上主 要依赖于海陆对比,从而在区域选择上有了更大 的自由度,具体反映在图1中实线所包括的很大 的经向跨度。

从阻塞发生总天数的角度来看,0m试验结 果较参照试验有所增加。但是在考虑了完整的阻 塞判断标准之后(同时考虑经向跨度和持续时 间),总的来说去除地形之后阻塞次数是减少的。 在参照试验中,北大西洋发生了59次阻塞,北太 平洋发生了32次阻塞,总共有91次;在0m试 验中,北大西洋41次,北太平洋17次,总共有 58次阻塞事件发生。总天数的增多和总次数的减 少恰恰体现出地形对阻塞发生影响的另一方面: 缺少地形的锁定作用之后,每个通过阻塞初选标 准的事件距实际阻塞标准的差距加大,表现为大 部分事件的经向跨度偏小、持续时间偏短。

综上所述,地形高度对阻塞发生的影响主要 体现在发生区域和强度上,地形分布会使阻塞现 象集中在某一区域,而在去除地形高度的0m试 验中,阻塞发生的区域限制明显减小。地形的锁 定作用在一定程度上也有利于阻塞事件的发生。

3.2 阻塞发生时背景环流场的区别

为了考察不同试验阻塞发生时背景环流场的区别,在这一小节中对两组试验中的所有阻塞事件的 第一天环流场进行了合成。考虑到阻塞事件主要发 生在北大西洋和北太平洋两个区域,在进行合成分 析时对这两个区域的阻塞事件进行了区分。

首先考察北大西洋地区的背景环流场状况。 图 2a 中给出了参照试验中所有北大西洋地区阻塞 过程(共59次)合成后,第一天的500 hPa 纬向 风相对于参照试验气候态的偏差。由该图可以发 现在北大西洋东岸存在显著的纬向风经向切变, 高纬度地区西风风速增大,而 30°N~60°N 的中纬 度地区盛行较强的异常东风,低纬度地区(北非 及其西部洋面) 西风分量增强。这种异常纬向风 的分布形态是典型的阻塞背景环流场。考察 0 m 试验的结果(图 2b)(所有北大西洋地区阻塞过 程与0m试验气候态之差),可以发现风场异常的 位置发生了显著变化。风速经向切变区不再偏向 大洋东部, 而是较均匀的横跨整个大洋, 从北美 东岸沿伸至欧洲、北非西岸。这种纬向位置上的 偏差恰恰反映出地形高度对阻塞位置锁定的重要 作用。这与图1所示结果是一致的,由于受到欧 亚大陆西部地形的影响,参照试验中阻塞多集中 于北大西洋东部; 而 0 m 试验中的阻塞仅仅受到 北大西洋与北美大陆、欧洲和北非等陆地区域的 海陆热力对比,因而更倾向于发生在大洋中部。 另外,从经向位置来看风速变化中心发生了整体 北移,风速减弱区移到了 45°N 以北,意味着阻塞 发生位置向高纬移动。

下面分析北太平洋地区阻塞事件发生时的背景环流场状况。图 3a 中给出了参照试验中伴随阻 塞事件出现的 500 hPa 纬向风异常。图中可以看 到显著的经向异常切变,在 150°E 附近纬向风出 现了显著的南北向"正一负一正"异常分布:65°N





30°W

30°E

30°Е

30°W

Fig. 2 500-hPa zonal wind abnormity $(m \cdot s^{-1})$ during blocking onset in the North Atlantic in (a) Control Run and (b) 0 m Run. Shaded areas are statistically significant at the 5% significance level



图 3 同图 2, 但为北太平洋地区阻塞事件发生时的情况 Fig. 3 Same as Fig. 2, but for the blocking onset in the North Pacific

以北的高纬地区受纬向风正异常控制,45°N~60°N 的中纬度地区则出现了西风带强度的大幅减弱, 其南部地区亦受纬向风正异常的控制。这种以经 向风切变为主要特征的环流场配置是阻塞事件发 生的重要条件。在0m试验的结果中(图3b), 也可以发现这种三核型的带状纬向风异常分布。 0m试验中的纬向风异常在东西方向上相对较均匀 的分布于北太平洋上,充分体现出海陆热力对比 对阻塞发生位置的决定性作用。而参照试验中风 切变集中在北太平洋的中西部,这种位置上的偏 差很大程度上与地形分布有关。另外,从经向位 置来看风速变化中心也整体北移,阻塞发生位置 向高纬移动。

3.3 阻塞形态的区别

本小节对两组试验中数值模式模拟的北大西 洋、北太平洋两个区域的阻塞事件分别进行合成, 然后考察阻塞形势的区别,通过直观了解阻塞的 水平分布特征来深入地认识地形对阻塞形成的 影响。

图 4 中给出了参照试验中北大西洋地区阻塞 环流发生时的 500 hPa 位势高度场特征。在参照 试验的结果中,合成后的 500 hPa 位势高度场呈 现出三波型分布,其中北美东部和欧亚大陆西部 的低压槽强度较大,而东亚大槽相对较弱,北美 西部和欧亚大陆中段的高压脊也较为平缓,最强 的脊区出现在西欧地区,也就是阻塞高压的所在 地。对比参照试验第一天和第三天的结果,可以 发现阻塞发展成熟后脊区的纬向跨度加大,并在 大洋东部、西欧沿岸出现了闭合的高压中心。由 于该结果是 59 次阻塞事件的合成,而每次阻塞发 生时其具体位置均会有些差异,故合成结果中的 阻塞强度会略显偏弱,但从高压脊的位置和形态



图 4 参照试验中北大西洋地区阻塞环流发生的(a)第一天和(b)第三天的 500 hPa 位势高度场(单位:gpm)。阴影区为地图上的 陆地部分,下同

Fig. 4 500-hPa geopotential height (gpm) in (a) the first day and (b) the third day of the North Atlantic blocking onset in Control Run. Shaded areas are the continent



图 5 同图 4,但为 0 m 试验中的情况

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for the geopotential height in 0 m Run

可以大致了解各次阻塞事件的平均状况。

在去除模式地形高度之后(图 5),长波槽脊的整体分布形态没有发生本质变化,但其强度明显减弱,只保留了由海陆热力对比直接导致的波形分布。位于欧亚大陆中段的长波脊完全消失,其位置由一个弱槽代替。在阻塞发生的第一天,北大西洋中部出现一较强的长波脊,第三天阻塞形态更加明显。比较两组试验中阻塞发生的位置,可以发现去除地形之后阻塞明显向西北方向移动,

西向位移达到 30°,向北的移动距离达到 20°。同时,长波脊线的走向也发生了明显偏转,由参照试验中的东北一西南向变为西北一东南向。相应的急流分支状况也有明显差异。

对太平洋地区的各次阻塞事件也按同样方法 进行分析,关注阻塞事件的直观形态。北太平洋 地区阻塞环流发生时的 500 hPa 位势高度场如图 6 所示。总体来看纬向三波型的长波分布结构十分 明显,在北美北部、欧亚大陆西北部和日本北部



图 6 参照试验中北太平洋地区阻塞环流发生的(a)第一天和(b)第三天的 500 hPa 位势高度场

Fig. 6 500-hPa geopotential height in (a) the first day and (b) the third day of the North Pacific blocking onset in Control Run



图 7 同图 6,但为 0 m 试验中的情况

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for the geopotential height in 0 m Run

存在三个较强的低压中心,其南部分别对应着各 自的槽区。欧亚大陆东北端出现了一个脊区,该 高压脊游离于欧亚大陆中部、大西洋东部和北美 西部这三个显著脊区之外,随纬度升高向西北延 伸,与其南部的低压中心遥相呼应。在图 6b 所示 的阻塞发生第三天的结果中,欧亚大陆东北端的 脊区进一步向西北伸展,且其东南部与北美大陆 西部的脊区连接在一起。

图 7 中给出了 0 m 试验模拟出的阻塞事件合成在 0 m 试验的结果中,北部极区仅存在一个闭合的低压中心,偏向于欧亚大陆一侧。中纬度地区没有明显的槽脊分布,位势高度等值线几乎与纬圈平行。北太平洋地区的阻塞形势出现在大洋东部,与参照试验相比偏东了约 30 个经度。阻塞发生的第一天中,阻塞对应的高压脊向东北延伸、直至极区,与偏向于欧亚大陆一侧的低压中心相对应。在阻塞发展到第三天后,北大西洋北部的脊区随纬度增大向西北延伸,亦直抵极区。与参照试验进行对比可知阻塞发生位置对于地形高度的变化十分敏感,去除地形高度后阻塞位置大幅东移。相应的急流分支状况也有明显不同。

4 结论

在文中,利用 LMDZ 全球大气环流模式考察 了地形变化对阻塞高压形成和演变特征的影响。 通过分别进行参照试验和去除地形后的0m 试验、 并对两组试验的结果进行了分析。得出以下结论:

(1) LMDZ 模式能够较合理地模拟出冬季(1月)的大气环流状况,再现出一些关键物理量的基本气候态。

(2)从阻塞在不同区域发生的频次来看,去除地形作用后,峰值次数普遍减小、峰值区经向跨度加大。地形分布会使阻塞现象集中在某一区域,而在去除地形高度的0m试验中,阻塞发生的区域限制明显减小。地形的锁定作用在一定程度上也有利于阻塞事件的发生。

(3) 地形高度的分布影响阻塞纬向风场的分 布。去除地形作用后,500 hPa 纬向风场异常的位 置也发生了显著变化,不再集中在大西洋的东部 和太平洋的西部,而是均匀的横跨两大洋。另外, 从经向位置来看 500 hPa 风速变化中心发生了整 体北移,风速减弱区移到了 45°N 以北,阻塞发生 位置向高纬移动。

(4) 从两大洋 500 hPa 位势高度场的合成分 析可以看出,两组试验在阻塞的轴向、强度、相 应的急流分支状况有明显差异。

综上所述,海陆地形的存在与否,可以直接 影响到阻塞事件的发生位置,使气候态的阻塞发 生区域产生调整。海陆地形高度在阻塞形成中起 固定阻塞位置、加强阻塞的强度,增加阻塞发生 的频率的作用。

参考文献 (References)

- D'Andrea F, Tibaldi S, Blackburn M, et al. 1998. Northern Hemisphere atmospheric blocking as simulated by 15 atmospheric general circulation models in the period 1979 – 1998 [J]. Climate Dyn., 14: 385 – 407.
- Diao Y, Li J, Luo D. 2006. A new blocking index and its application: Blocking action in the Northern Hemisphere [J]. J. Climate, 19: 4819-4839.
- Ji L R, Tibaldi S. 1983. Numerical simulations of a case of blocking: The effects of orography and land-sea contrast [J]. Mon. Wea. Rev., 111: 2068-2086.
- Kung E C, Dacamara C C, Baker W E. 1990. Simulations of winter blocking episodes using observed sea surface temperatures [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 116: 1053-1070.
- Lott F, Fairhead L, Hourdin F, et al. 2005. The stratospheric version of LMDz: Dynamical climatologies, arctic oscillation, and impact on the surface climate [J]. Climate Dyn., 25: 851-868.
- Luo D. 2005. A barotropic envelope Rossby soliton model for block-eddy interaction. Part I: Effect of topography [J]. J. Atmos. Sci., 62: 5-21.
- Luo D, Chen Z. 2006. The role of land-sea topography in blocking formation in a block-eddy interaction model [J]. J. Atmos. Sci. , 63: 3056 3065.
- Tibaldi S, Molteni F. 1990. On the operational predictability of blocking [J]. Tellus, 42A: 343-365.
- Tsou C H, Smith P J. 1990. The role of synoptic planetary-scale interactions during the development of a blocking anticyclone [J]. Tellus, 42A: 174-193.
- 朱正心. 1983. 地形与热力共同作用下超长波的非线形平衡态与阻 塞形势 [J]. 大气科学, 7 (1): 13-22. Zhu Zhengxin. 1983. Equilibrium states of ultra long waves forced by perturbation heating and topography and blocking situation [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 7 (1): 13-22.