

青藏高原动力和热力作用对季节转换期 全球大气环流影响的数值研究^①

郑庆林

梁 丰

(中国气象科学研究院, 北京, 100081) (北京市气象科学研究所)

提 要

利用 CCM1 (R15L7) - LNWP 模式, 以 1996 年 3 月 17 日的国家气象中心客观分析资料为初始场, 分别采用有、无青藏高原两种方案, 数值研究了青藏高原对 5 月份全球大气环流季节转换的影响。试验结果表明: 北半球初夏, 青藏高原区域用同纬度地区的一个中空热源, 其作用可以在 200hPa 层形成一个 224K 的暖中心, 使大气增暖 7K 以上。高原地形的动力和非绝热作用使得南极大陆 200hPa 层大部分地区降温 6K 左右, 最大负中心可达 -8.28K, 这对于南半球由夏至冬过程中, 环极涡旋的强度加深和范围扩大是有利的。高原地形作用对北半球大气环流平均槽脊的形成和维持有十分重要的影响, 它加强了高原所在纬度带北侧 (减弱了南侧) 由南向北的正温度梯度, 同时也增强了 30°S 附近由北向南的正温度梯度, 从而有利于季节转换过程中全球中纬西风带的整体北移和初夏亚洲季风环流的形成。同时高原地形作用在赤道及低纬地区形成的位势增加区, 有利于南半球热带高压脊的北退和北半球副高增强北移。此外, 它还有利于南半球极地东风带的增强和 500hPa 层环极低压带的强度减弱, 同时增加了罗斯海附近的极涡强度, 对赤道的索马里急流的形成也有重要影响。

关键词 青藏高原 季节转换 急流

分类号 P434.1

1 引 言

青藏高原是世界上最高和地形最复杂的大高原, 它巨大的体积及其在西风带中的特殊位置对亚洲乃至全球大气环流都有重要影响。50 年代, 叶笃正、陶诗言、朱抱真等^[1,2]从观测研究和动力研究发现和证实了青藏高原对大气环流季节突变、西风急流分支、常定行星系统形成的影响等许多事实。随着数值模拟方法被应用于大气环流研究领域, 高

^① 1998-07-20 收到初稿, 1998-10-06 收到修改稿。本文得到攀登 B 项目“青藏高原地-气系统物理过程对全球大气环流影响的研究”的资助。

原影响作为大气环流形成的重要因子之一进行了许多有成效的试验。Manabe 和 Terpstra 的研究^[3]表明, 无山模式中贯穿整个中纬度的多雨带, 在有山模式中由于青藏高原和落基山的阻挡, 而被中亚和北美中部的少雨带所分割。进一步的, Hahn 和 Manabe 用一个 11 层的 GCM 模式^[4]研究了青藏高原在南亚季风环流中的作用。结果表明, 有高原时, 副热带西风急流的北跳和西南季风的模拟比较成功, 而去掉高原后, 副热带西风急流只是缓慢北移, 没有突然北跳的现象, 并且急流轴的位置比观测所得的西风位置偏南 10 个纬度。Zheng 和 Liou^[5]用一个 7 层原始方程谱模式, 研究高原的动力和热力作用对大气环流的影响, 结果表明, 要在模式中较好地反映非绝热加热、辐射、积云对流等的作用, 必须考虑地形所引起的动力和热力的耦合作用。Yan 和 Zheng^[6]利用 T42L9 谱模式研究 1979 年东亚夏季季风爆发期间青藏高原对降水的影响, 指出由于地形的引入使大尺度场的模拟更真实。Zheng 和 Wu^[7]对青藏高原在东亚初夏环流季节转换过程中的作用进行研究, 结果表明高原热力作用在初夏明显加速了南支西风急流的北跳, 而纯动力作用却显著减弱了南支西风急流的北跳, 甚至使北跳后的急流南退。

可以看出, 上述工作或集中于模拟某一季节的环流特征, 或着眼于与高原有关的中期天气过程, 而对高原在大气环流季节转换中的作用的研究又主要集中在对东亚季风的影响方面, 实际上大气环流的季节转换是一个全球范围内的现象, 因此本文利用 CCM1 (R15L7) - LNWP 模式, 较成功地模拟了 1996 年 5 月的全球大气环流, 对高原地形在全球大气环流冬夏流型转换中的作用进行研究。

2 模式简介

本文所使用的 CCM1 (R15L7) - LNWP 模式是在 NCAR 的 CCM1 (R15L12) 气候模式^[8]基础上改进发展起来的, 并已经成功地用于长期数值预报和大气环流数值模拟试验。本模式的主要改变和改进有: 将模式层次由不等距 12 层改变为等距 7 层, 并对云、辐射、对流调整及水平扩散过程等垂直结构方面做了相应的精细改变; 模式的初值由原来的用 NCAR 固定个例资料改变为能用任意的日常客观分析资料; 采用非线性平衡方程初值化方法^[9]以滤掉初值中的重力惯性波; 用 $p - \sigma$ 面迭代插值法提高了初值的精度。

3 试验设计和预报结果的检验

3.1 试验设计

本文选用国家气象中心 1996 年 3 月 17 日的全球客观分析资料, 经过适用于模式的初值处理, 用于 75 天长期数值预报试验, 以研究青藏高原对全球大气环流的影响。采用以下试验方案:

(A) 模式考虑了完整物理过程和地形 (采用了 NCAR 和 CCM1 原地形), 简称控制试验。

(B) 将控制试验中的青藏高原地区的地形高度压低至 500 米, 简称无青藏高原试验。在上述试验中, σ 面上各要素的初值是通过迭代法从 p 面上插值得到的, 因为这种插值方法所产生的误差很小, 所以两个试验的要素场在初始时刻的差异可视为零; 积分 75

天后, 两试验的预报结果又从 σ 面插值回 p 面然后输出, 这时的差别主要是由是否考虑了青藏高原地形作用 (包括动力和非绝热加热两个方面) 对大气环流的影响。

3. 2 预报结果的检验

表 1 给出了试验 A 对北半球范围内 500hPa 月平均高度场检验结果, 由表 1 可知试验 A 具有较好的长期预报效果, 四个区域中的月距平相关系数都达 50% 以上, 均方根误差均在 5 个位势什米以下, 区域 3 模拟效果最好, r 值达到了 69%, ϵ 为 3. 8 位势什米, 其它区域的模拟结果也都较好地预报出槽脊线分布和高压中心位置及强度。对于试验 B 也作了相应的检验, 亚洲区域 (区域 4), r 值为 40%, ϵ 为 4. 2 位势什米, 预报效果比试验 A 差。以上检验结果表明, 本文将要进行的敏感性试验及其试验的对比, 以研究青藏高原地形作用对全球环流的影响是有意义的。

表 1 试验 A 500hPa 高度场距平相关系数 r 和均方根误差 ϵ

Table 1 Correlation coefficient r and R· M· S· error ϵ for monthly anomalies of 500hPa geopotential field in Expt· A

	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4
$r/\%$	50	67	69	53
ϵ/gpm	49	48	38	32

注: 区域 1 (北半球); 区域 2 (0—87. 5°N, 0—180°E); 区域 3 (0—87. 5°N, 90—180°E); 区域 4 (17. 5—60°N, 60—140°E)。

4 数值试验结果及讨论

4. 1 对温度场的影响

图 1 是试验 A 和 B 预报的 1996 年 5 月月平均 500hPa 温度场及其差值。对比图 1a 和 1b 可以看到, 试验 A 预报出的以青藏高原地区为中心, 覆盖阿拉伯半岛到菲律宾的广阔的暖区在试验 B 图上消失了, 这表明初夏季节青藏高原对低纬度大气的加热作用是与其高大的地形密切相关的, 没有地形, 该区域不可能成为同纬度地区的加热中心, 这也间接地说明 5 月份高原的加热形式以感热加热为主。在试验 A 减 B 的差值分布图 (图 1c), 青藏高原及其以南的低纬度地区上空为大的正值区, 正中心高达 10. 9K, 乌拉尔山一带是中心强度 - 1. 59K 的负值分布带, 说明高原地形引起的动力和非绝热作用, 有利于增强高原北侧 (减弱高原南侧) 由北向南的正温度梯度, 在同纬度的北美大陆上也有一个中心强度 10. 5K 的正差值区, 形成了对高纬来的冷空气的阻挡, 这是有利于北半球西风带的季节性北移的。去掉高原后, 南半球温度场也发生了一些变化: 中纬度大洋地区温度明显升高, 东南极洲上的冷涡也增强了。

在试验 A 的 200hPa 月平均温度场图 (图略) 上, 高原上空有一个 224K 的闭合暖中心, 表明初夏高原对大气的加热作用可一直延伸到对流层顶, 与 500hPa 层不同的是, 北半球 200hPa 上中纬度的绝对温度最高值并不在青藏高原上空, 而位于地中海东北的土耳其一带, 但从差值图上可以看到, 高原的土耳其上空的正差值中心分别为 7. 48K 和 7. 93K, 强度基本相当, 这说明高原对大气的加热作用在 200hPa 层依然十分重要。当去掉高原地形时, 整个亚非大陆上的加热明显减弱, 原来从北美到澳大利亚东侧的广阔的太平洋的暖区收缩到北半球副热带东太平洋上, 30°S 以南地区温度却升高。从差值图上 (图略)

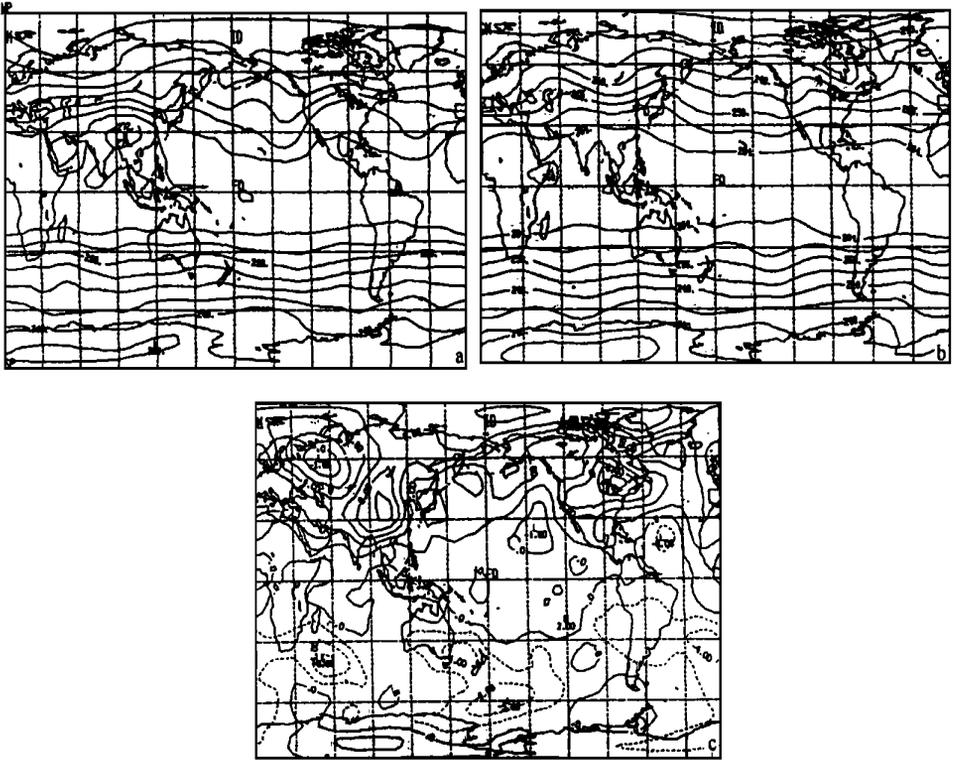


图1 1996年5月月平均500hPa温度场(单位: K)

a. 试验 A 的预报场; b. 试验 B 的预报场; c. 试验 A - B 的差值分布。

Fig. 1 Monthly mean temperature field at 500hPa in May 1996 (unit: K). Predicted field of Expt. A (a) and Expt. B (b) and distribution of difference between Expt. A and B (c).

我们可以看到, 青藏高原地形作用使南极大陆大部分地区 200hPa 层温度降低, 这对于南半球由夏至冬过程中环极涡旋的强度加深和范围扩大也是有利的。同时, 高原区域地形作用在南半球低纬形成大面积的正值区, 这种北正南负的差值分布加强了 30°S 附近由北向南的正温度梯度, 有利于南半球副热带高压脊和西风急流的季节性北移。

4.2 对高度场的影响

与温度场相对应, 高原地形作用对高度场的影响也很大。在 500hPa 层, 去掉高原后新地岛至巴尔喀什湖之间的低压槽变成一片脊区, 贝加尔湖以北出现了一个闭合低压, 青藏高原两侧西风分支现象消失, 堪察加半岛东侧的槽区减弱明显, 副热带高压带的强度也降低了。总的来说, 没有青藏高原, 北半球西风带的扰动明显减弱, 等高线变得比较平直, 南半球中纬度长波扰动也减弱了。

在试验 A - B 的 500hPa (图 2a) 和 200hPa (图 2b) 月平均高度场差值图上, 差值区的分布基本一致: 北半球有两个比较强的低中心, 分别位于乌拉尔山和北美大陆的东北

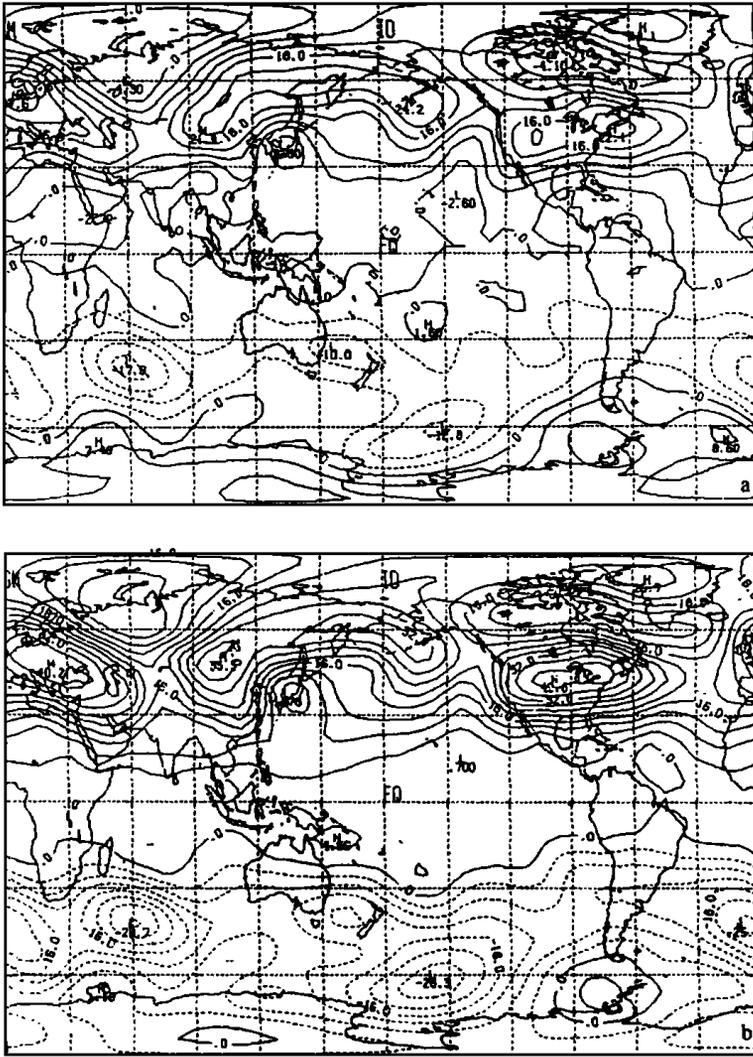


图2 1996年5月试验A - B的500hPa(a)、200hPa(b)月平均高度场差值(单位:位势什米)

Fig.2 Distribution of monthly mean geopotential field in May 1996 (unit: gpm).

Distribution of the difference between Expt. A and B at 500hPa (a) and at 200hPa (b).

部,与平均图上的两个长波槽相对应,而把两个负中心间隔开的正值区分别与脊区相对应。这表明高原地形的强迫作用对北半球大气环流平均槽脊的形成和维持有十分重要的影响。从差值图上我们还可以看到,南半球中纬度是强的负差值带,低、高纬则为弱的负值乃至正值区,这就形成高度场在高、低纬度增强或维持,在中纬度减弱的形势,这将有利于副热带高压带的北退。在500hPa层,高原地形作用使得南半球极地低压带强度减弱,而在200hPa层却有弱的增强,但对于位于罗斯海附近的低压中心两层均有明显的增强作用。此外,500hPa差值图上,青藏高原东南侧有一个弱的负值区,对应着位势高度的降低。这主要是由于高原对西风的绕流和背风坡效应共同作用的结果。而在200hPa层高原地

形的动力作用已经很小,非绝热加热作用占主要地位,因此高原及其临近地区均有位势高度的增加。

4.3 对流场的影响

4.3.1 水平流场

在试验 A 的 500hPa 流场图中(图略),中纬西风在青藏高原西侧分为北强南弱的两支,高原上空为弱风区,西风绕过高原后在我国东部重新汇合,于日本上空形成更强的急流。在高纬地区,从冰岛一带吹向欧亚大陆的西北气流,受到北支西风急流的阻挡,在天山以北转为西南风回流极地。南半球流场形势比较简单,中纬度地区波动很小,基本为平直西风,风速却比北半球大,急流轴位于 30°S 附近;高纬地区在罗斯海一带有一个比较强的气旋式环流与极涡相对应;在 45°E 附近已有越赤道的索马里急流形成,标志着大气环流季节转换的开始。当去掉高原后,西风分支现象消失,北部太平洋强的两脊一槽的环流形势被平直的西风所取代,气流翻越落基山后在大陆东岸形成的气旋性环流也减弱了,索马里急流几乎不存在了,南半球西风急流轴向南移至 45°S 附近,使得极涡的强度减弱了。

高原地形对 200hPa 流场的影响基本上与 500hPa 一致,不同的是 200hPa 层上,高原地区为一很强的反气旋环流(图 3a),这主要是由于地形引起的非绝热加热作用造成的。高大的地形使高原在初夏时节成为同纬度地区的一个中空的热源,它改变了其附近区域的经向温度分布,加之 200hPa 层高原的动力绕流作用很弱,由热成风关系可使高原上空的反气旋性增强。另一点值得注意的是:图 3a 中,在 30—60°E 之间有明显的从北半球到南半球的越赤道气流,它在 15°S 附近与西风带相遇,造成一定的质量堆积下沉,有利于低层索马里急流的形成,而在高原的图 3b 中,这种 200hPa 层由北向南的越赤道气流已经很弱了。

4.3.2 纬向风场

在纬圈平均的纬向风垂直剖面图(图 4a)上,南北半球中纬度 200hPa 层各有一个西风极大值,北半球位于 45°N 左右;赤道及低纬地区和对流层顶为东风,强度较弱,对流层中部仍为西风带;南极大陆从地面到高空被东风带所控制,而北极地区只在近地面有很弱的东风存在。由试验 A - B 的差值图(图 4b)可知高原地形作用对纬向风的影响:(1) 22.5—47.5°N 区域内全部为负差值,以北则为正值区,分别对应着西风的减弱和增强区。这表明初夏高原区域地形的动力和非绝热加热作用使得其所在的西风带整体出现北侧加强、南侧减弱的现象,也就是说,高原对北半球整个中纬西风带的季节性北移都有促进作用。(2) 南半球中低纬是大片的正值区,正中心位于 30°S 附近,强度达 8m/s,40°S 以南全部为弱的负值区,说明高原地形作用有利于南半球中纬西风的北移和极地东风的增强。

由于纬向环流在不同经度上情况有所不同,为了更清楚地分析青藏高原对不同区域环流的影响,我们用欧亚和北美区域的垂直剖面图进行对比说明。图 4c—4f 是试验 A 和 B 的纬向风垂直剖面,其中 4c 和 4d 为 40—120°E 平均,代表欧亚大陆地区,4e 和 4f 为 150—15°W 平均,代表北美。对比图 4c 和 4e 我们发现,欧亚大陆及其对应的南半球区域,副热带西风急流中心分别为 30m/s 和 32m/s,均大于北美相应区域,两极的东风也略强些。图 4c 中赤道附近近地层东风较弱,范围小且偏向南半球一侧,而在图 4e 的对应地区却有着较为宽阔的热带东风带。另外,在 40—120°E 之间的副热带地区,400hPa 以上有中心风速 8m/s 的东风带,这也是图 4e 中不存在的。

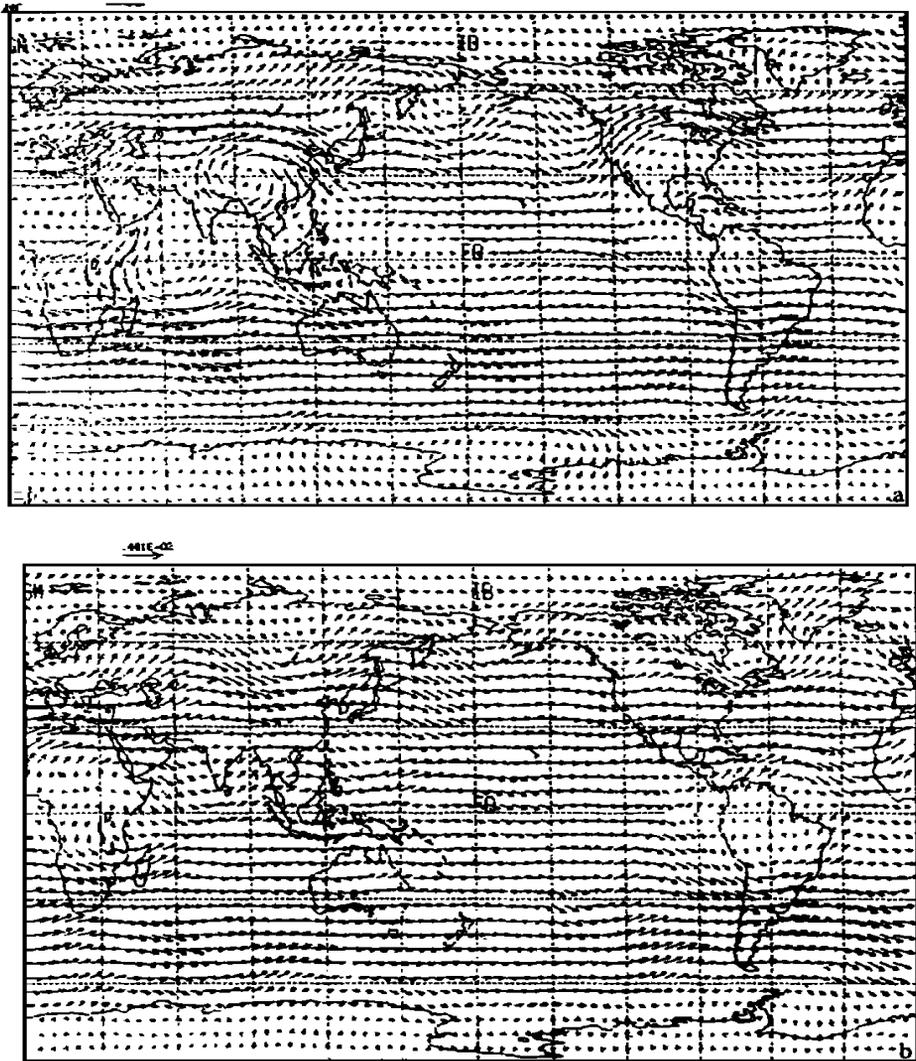


图3 1996年5月200hPa月平均流场 a. 试验A; b. 试验B。

Fig. 3 Monthly mean flow field at 200hPa in May 1996. a. Expt. A; b. Expt. B.

当去掉高原时(图4d、4f), 两区域中北半球西风急流轴位置都向南移至 35°N 附近, 在欧亚区域西风中心强度由 30m/s 减弱为 25m/s , 北美区域则由 20m/s 增强至 24m/s ; 欧亚区域的热带东风带范围扩大, 强度略有减弱, 北美区域变化不大, 位置略有南移; 南半球西风急流在两区域均有明显减弱, 伴随着高空西风的减弱, 高纬地区低层东风均有不同程度的加强。

4. 3. 3 经向风场

图5是 40°E — 120°E 平均的 V 场的垂直剖面图。有高原存在时(图5a), 风速的南北风在高原南部辐合, 高空辐散气流穿过赤道在南半球低纬下沉, 形成明显的季风环流圈。去掉高原后(图5b), 35°S — 47.5°N 的700hPa层以下全部被南风控制, 气流在赤道及副热

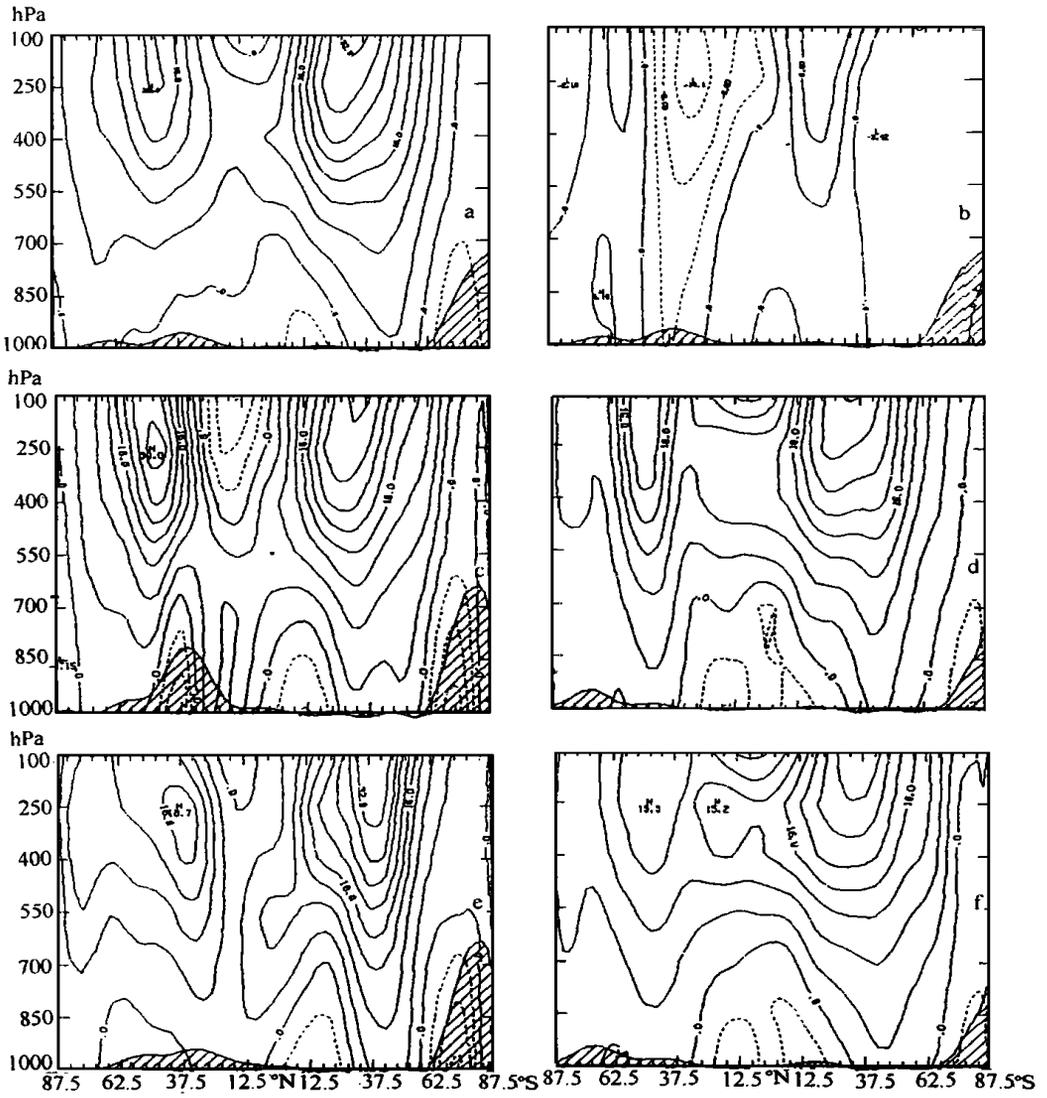


图4 1996年5月月平均纬向风垂直剖面(单位:m/s) a. 试验A沿纬圈平均的纬向风垂直剖面;
b. 同a., 但为试验A-B的差值; c. 试验A沿40—120°E平均的纬向风; d. 同c., 但为试验B;
e. 试验A沿150—15°W平均的纬向风; f. 同e., 但为试验B。

Fig. 4 Vertical profile of monthly mean zonal wind in May 1996 (unit: m/s). a. vertical profile of zonal wind averaged on the latitude circle in Expt. A; b. same as a. but for the difference between Expt. A and B; c. zonal wind averaged over 40—120°E in Expt. A; d. same as c. but for Expt. B; e. zonal wind averaged over 150—15°W in Expt. A; f. same as e. but for Expt. B.

带地区上升, 于47.5°N的南北风交界处下沉, 基本上仍维持着冬季的哈得来环流。另外, 无高原时南半球极地南风带和北半球高纬北风带也得到显著加强。

150—15°W 之间的平均经向风具有明显的南、北风相间分布的结构(见图 5a), 在赤道地区和南半球高纬有较强的南北风辐合。去掉高原后(图 5b), 北半球副热带地区北风强度由 1.6m/s 增至 4m/s, 使得赤道地区辐合明显增强, 有利于北半球哈得来环流的增强, 这是不利于环流形势从冬至夏的季节转换。

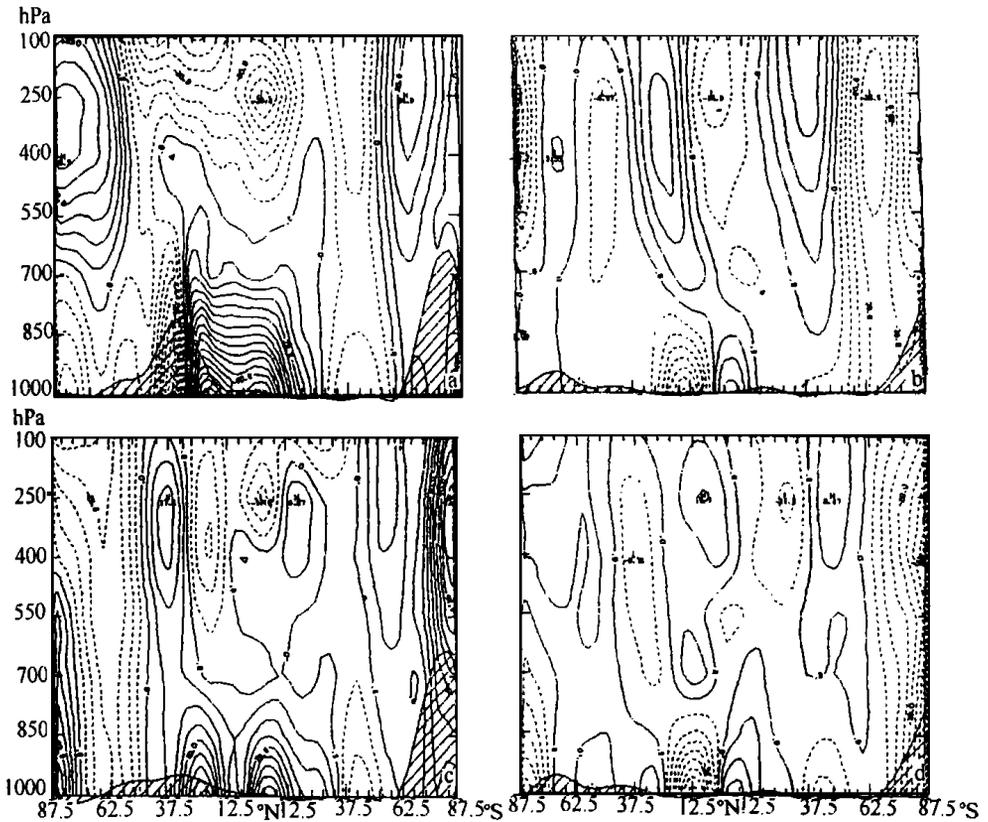


图 5 月平均 V 场垂直剖面(单位: 0.1m/s)

a. 试验 A 沿 40—120°E 平均的 V 场垂直剖面;

b. 同 a., 但为试验 B; c. 试验 A 沿 150—15°W 平均的 V 场垂直剖面;

d. 同 c., 但为试验 B。

Fig. 5 Vertical profile of monthly mean V field (unit: 0.1m/s).

a. vertical profile of V field

averaged over 40—120°E in Expt. A; b. same as a. but for Expt. B;

c. vertical profile of V field averaged over 150—15°W in Expt. A;

d. same as c. but for Expt. B.

5 结束语

(1) 北半球初夏季节青藏高原对大气的加热作用是与其高大的地形密切相关的, 高原作为同纬度地区的一个中空的热源, 其作用可以在 200hPa 层形成一个 224K 的闭合暖中心, 使大气增暖 7K 以上。

(2) 青藏高原地形引起的动力和非绝热加热作用对北半球大气环流平均槽脊的形成和维持有十分重要的影响。没有青藏高原, 北半球中纬度西风带的扰动将明显减弱。

(3) 在 5 月, 青藏高原地形作用加强了其所在纬度带北侧(减弱了南侧)由南向北的正温度梯度, 同时也增强了 30°S 附近由北向南的正温度梯度, 使南半球中纬西风急流轴从

45 S 北退至 30 S 附近, 有利于全球大气环流的季节转换。

(4) 高原地形作用在赤道及低纬地区形成的位势增加区, 有利于南半球副热带高压脊的北退和北半球副高增强北移, 对亚洲夏季风环流圈的形成也有极为重要的作用。

(5) 青藏高原地形作用对于南半球由夏至冬过程中, 环极涡旋的强度加深和范围扩大是有利的。此外, 它对越赤道的索马里急流的形成也有很大影响。

参 考 文 献

- 1 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 在六月和十月大气环流的突变现象. 气象学报, 1958, **29**: 249—263.
- 2 朱抱真. 大尺度热源、热汇和地形对西风带的定常扰动. 气象学报, 1957, **28**: 122—140.
- 3 Manabe S, Terpstra T B. The effects of mountains on the general circulation of the atmosphere as identified by numerical experiments. *J. Atmos. Sci.*, 1974, **31**: 3—42.
- 4 Hohn D G, Manabe S. The role of mountains in the South Asian monsoon circulation. *J. Atmos. Sci.*, 1975, **32**: 1515—1541.
- 5 Zheng Q L, Liou K N. Dynamic and thermodynamic influences of the Tibetan Plateau on the atmosphere in a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 1984, **41**: 1340—1354.
- 6 Yan Q M, Zheng Q L. A numerical study on the effects of the Qinghai-xizang Plateau on the medium-range weather processes of the summer monsoon rain in East Asia. *Acta Meteor. Sinica*, 1991, **2**: 171—183.
- 7 Zheng Qinglin, Wu Jun. Numerical study on the dynamic and thermodynamic effects of the Qinghai-xizang Plateau on the seasonal transition in the early summer in East Asia. *Acta Meteor. Sinica*, 1995, **9**(1): 35—47.
- 8 Williamson D L, Kiehl J T, Ramanathan V, et al. Description of NCAR community climate model (CCM1). TCAR/TN-285+STR, NCAR TECHNICAL NOTE, 1987, 6—33.
- 9 郑庆林. 非线性平衡方程初值化方法及其在中期数值预报中的应用. 气象科学研究院院刊, 1987, **2**(2): 113—122.

NUMERICAL STUDY ON INFLUENCE OF THE QINGHAI- XIZANG TIBETAN PLATEAU ON THE SEASONAL TRANSITION OF THE GLOBE ATMOSPHERIC CIRCULATION

Zheng Qinglin

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

Liang Feng

(*Institut of Beijing Meteorological Reserch*)

Abstract

In this paper, by employing the CCM1 (R15L7) - LNWP spectral model, the influences of the Qinghai- Xizang Plateau on the seasonal transfer of the general circulation were studied. According to the initial of 17 March 1996, numerical experiments with and without orography are carried out respectively. The results show that the Qinghai- Xizang Plateau, as a heat source in middle of troposphere, produces a warm sector of 224K at 200hPa in May. The dynamic and diabatic heating effect caused by the plateau's huge orography decreases by 6K at 200hPa temperature in Antarctic. The biggest meions is - 8. 28K. This is favorable for the South Polar vortex to strengthen and widen from summer to winter. The orographic effect has a profound influence on the formation and maintenance of the northern hemispheric average trough and ridge. It makes the temperature gradient, near the plateau and 30 S, increase in the north and decrease in the south. It improves the northern shift of the mid- latitude westerly jet and subtropical high pressure belt, and plays an important role in the formation of meridional monsoon circulation in Asia. Moreover, the orographic effect strengthens the easterly wind belt over the Antarctic and polar cyclone near the Ross Sea, but weakens the South Polar low pressure belt at 500hPa. The appearance of cross - equatorial Somali jet relates to the effects of the Plateau, too.

Key words Qinghai- Xizang Plateau Seasonal transition Jet stream