

青藏高原对邻近地区天气系统影响的数值模拟研究

卿清涛 钟晓平 王春国

(四川省气象局,成都 610072)

提 要

利用 LASG η 坐标有限区域数值预报模式,模拟了 1998 年 4 月 28 日和 8 月 19 日四川盆地的两次暴雨过程中高原地形高度变化对 500hPa 和 200hPa 高度场、温度场和流场的影响。模拟结果表明:①高原地形高度的降低使本地的大尺度系统进一步加强,中小尺度的天气系统减弱或消失;②高原地形高度降低,本地温度升高,盆地的温度下降,而且春季的影响比夏季大得多;③高原地形对流场的影响与高度场相似,由于地形的“强迫”作用和背风坡气流的影响,流场变化最大的地方是高原东部和四川盆地西部,即地形高度骤变的地方。

关键词: 高原 地形影响 天气系统 η 坐标 数值模拟

引 言

青藏高原是世界上海拔最高和地形最复杂的高原。这一特殊的地形从动力和热力两方面对整个北半球的气候和天气状况产生重大影响^[1],尤其对其下游的四川盆地和长江流域地区的天气变化有着十分重要的作用。在高原东侧,虽然海拔高度降低,会导致下沉气流出现,但由于高原自身在大气中所起的动力作用,造成从春季开始,中纬度主要的西风环流在此区域会逐渐分为南北两支气流环绕高原,使得高原东部背风坡一侧出现环流交汇现象^[2]。同时其东南方中低层也常有天气系统活动,特别是夏季西太平洋副高的势力往往波及青藏高原东坡。多种复杂的热力和动力因子在高原东部相互作用,自然使得该地区尤其是四川盆地的天气变得异常复杂。

为进一步了解验证高原地形对下游地区天气的影响,我们利用中国科学院大气物理研究所的有限区域 LASG η 坐标数值模式,

对 1998 年 4 月 28 日和 8 月 19 日两次四川盆地的区域性暴雨过程进行了不同海拔高度下的数值模拟试验。模拟结果证实,青藏高原地形通过不同方式对邻近地区的天气产生重要影响。

1 模式概况

LASG η 坐标有限区域数值预报模式选用 η 坐标为垂直坐标,具有能量和质量守恒的动力框架,使用 E 网格作为变量的水平分布形式,对 E 网格的分离进行了特殊的处理,对两个子网格来说,模式的水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的经纬格点,模式实际的水平分辨率约为 $75\text{km}^{[3,4]}$ 。模式的水平范围 40×30 经纬度;垂直方向模式顶为 100hPa,从地面到模式顶根据 η 坐标等分为 8 层,每层的具体厚度从下往上约为 977m、2060m、3279m、4681m、6342m、8404m、11179m、15667m。

模式考虑了大尺度凝结降水、水平扩散、垂直通量输送、地面辐射收支和边界层参数化等物理过程;使用 Betts^[5] 的对流调整方案

计算对流降水。

本次研究中选定的模拟范围为:20~50°N、80~120°E。模式的初始场是把该范围内所有探空站的原始资料,用加权平均的客观分析方法,先将各站点的观测资料内插到等压面的水平网格点上,然后再把等压面上的要素值线性插值到模式层。地面要素的客观分析方案是将台站高度和气象要素值同时客观分析到各网格点,然后再订正到模式地形高度上。

LASG η 坐标有限区域数值预报模式考虑了我国复杂的地形作用。 η 坐标把地形设计为三维网格块构制的阶梯状。模式内部形成钢体的侧边界。使坐标面保持准水平状态,避免了陡峭情况下 σ 面过于倾斜的缺陷,同时保持了 σ 坐标较简单的下边界条件的优点,从而,极大地减少了计算误差和地形相关处理的难度^[4]。

2 天气概况

1998年4月28~29日,四川盆地大部分地区降了大雨,盆地南部和北部部分地区还降了暴雨。造成这次降水的直接影响系统主要为高原上东移和新生的短波小槽。4月28日00UTC的500hPa上,格尔木经玉树到拉萨有一低槽,槽线附近有-1~-9℃的变温区,形成冷平流和正涡度输送,槽前为负变高区,有利于低槽东移影响四川盆地。29日原格尔木的低槽东移进入四川盆地,主要槽区位于成都、宜宾一线,槽前区域正是这次暴雨的主要产生地;同时高原上托托河经申扎到定日一线又生成一低槽,此槽与高原西侧的长波槽形成了一个疏散性结构的阶梯槽局势,有利于中高纬的冷平流正涡度输入四川盆地,造成大强度的降水。

1998年8月19~20日,四川盆地北部出现了区域性的大暴雨天气。此次个例的大尺度环流背景与上述个例有明显区别,主要由欧亚两槽一脊形势起控制作用,中低纬伊

朗高压和青藏高原高压两高对峙,使得巴尔喀什湖一带的冷平流沿新疆南部高脊前方的偏北气流输送到高原东侧的低槽内,使槽区前部的辐合上升运动得以维持和发展。8月19日00UTC到20日00UTC,80°E附近和我国东南沿海经河套直到蒙古国各有一高压区,只是后一时刻两者相距更近,从而在民勤、武都至西昌一带构成了窄而强的低压槽,在四川盆地形成了较强的辐合区,从而造成了较强的降水。

3 青藏高原影响的数值实验

在本项研究中,设计了二种地形进行试验:(1)保持原有的基本地形高度(最高达7000余米);(2)在100°E以西取基本地形高度的一半。在以下的分析中分别将其称为试验一、试验二。试验一代表一种正常状况,试验二代表青藏高原地形高度部分降低后可能产生的影响。

3.1 青藏高原对周围地区高度场和温度场的影响

图1a和图1b分别是在试验一和试验二的条件下根据1998年4月28日00UTC的探测资料获得的500hPa高度场与温度场的24小时预报图。在两种不同的地形高度下,预报出的位势高度场的分布都反映出了春末夏初北半球大气环流的基本特征:在高纬(45°N附近)和低纬(25°N以南)地区等位势高度线较为平直,而且梯度较大,代表西风环流已分离为南北两支。这实际上代表着夏季环流已经基本形成,这是在这么早的季节产生如此高强度降水的必要背景条件。这两个区域正是地形高度相对较为平坦的地区。在青藏高原所在的30°N附近,位势高度场的分布则表现出了不同的分布形式。试验一中这种分布显得更复杂一些,即使在高原下游较为平坦的地区也是如此,这也就证明高原地形既对当地的天气系统有影响,也对下游的天气系统有影响。考虑全部地形时,整个四

川盆地从南到北受一个底部较宽的短波低压槽控制,紧随其后在高原中部又有一个低涡,它们正是造成这次过程在绵阳和内江附近强降雨的主要影响系统。在试验二中,这两个系统几乎全被抹杀掉了,只在高原上出现了一个尺度较大的浅槽,盆地内完全受脊前西南气流控制,辐散较强,实际上是不利于四川盆地产生高强度降水的形势。同时,青藏高原地形高度的减低会导致四川盆地及其周围地区的位势高度升高。

同样,我们也分析了全地形和 100°E 以西半地形时,1998 年 4 月 28 日 200hPa 的 24 小时预报高度场的差距(图略)。在这两种情况下,高原西部 20~30°N、87°E 附近都维持有一低槽,只是其精确位置略有差异,且槽的强度随高原地形的降低而增大。在试验一中,该槽的东南面,还有一个低槽,其强度比前一个低槽要大,但尺度要小得多。试验二中,该槽也还存在,但强度减弱。地形高度的降低主要使等高线的曲率变大。

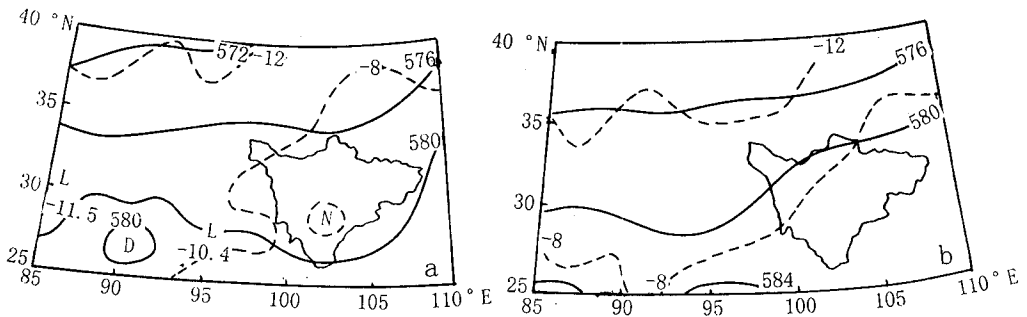


图1 1998年4月28日500hPa高度场和温度场预报图
a. 全地形 b. 100°E以西1/2地形

从温度场来看,地形的影响要大得多。试验一的结果中,在500hPa上高原东南部有两个冷中心,强度分别为-11.5°C和-10.4°C,四川盆地南部有一强度为-3.74°C的暖中心。试验二中,高原的冷中心和盆地的暖中心都没有了。与试验一比较,试验二的结果中,-8°C等值线在88°E以西平均往北移了2个经度;而四川盆地的情况正好相反,-8°C等值线平均往南移动了2个经度,同一地区的温度下降了。因此,对高原下游地区而言,高原是个“热源”,温度在试验一的情况下最高;对高原本地而言,如果高原高度降低,附近的温度将会升高。

高原地形的降低对200hPa温度场的影响比500hPa要小一些。当100°E以西的地形高度只有原来的1/2时,四川盆地及以东地

区同值等温线南移了不到1个纬度,而高原地区则北移了近1个纬度,高原南部的冷中心的值只上升了1.2°C,蒙古国的南部及我国内蒙古地区原来的一个冷中心分裂为两个,但强度变化不大。

图2a和2b分别是试验一、试验二1998年8月19日500hPa的高度场和温度场的24小时预报图。由图可知:试验一中,青藏高原东南部有一个大槽,青藏高原北部地区有一个小槽,川西高原有一底部较宽的深槽,四川盆地位于槽前,我国西北、内蒙古到蒙古国的南部地区为一高压脊。试验二中,高度场的基本形状依然维持,但高原南部的大槽变深变窄,而高原北部的槽已移至我国西北,且变宽变浅,高压区面积减少,强度增加。所不同的是,试验一中,25.5~27°N、85~87°E有一

个反气旋,高原地形降低时,该反气旋消失了。就四川盆地来说,试验一的高度场形势是最有利于降水的。试验二中高原北部的低槽过于平坦,不利于正涡度向南(四川盆地)输

送;不利于四川盆地北部产生降水。总的来说,高原地形的降低使得高原尺度相对大一些的天气系统有所加强,某些小尺度的天气系统消失。

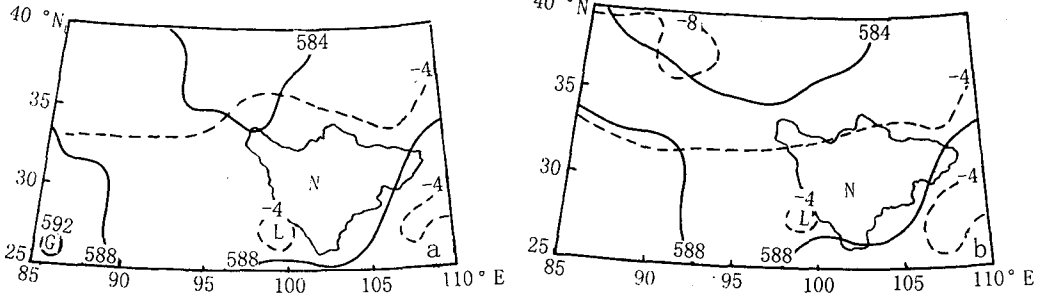


图2 1998年8月19日500hPa高度场和温度场预报图
a. 全地形 b. 100°E以西1/2地形

在8月19日的个例中,高原地形的降低对500hPa温度场的影响趋势与4月28日的个例基本一致。首先在高原内部,当地形高度只有原来的1/2时,温度上升了1.5℃左右;在四川盆地内温度降低了1.0℃左右。在我国东部地区,温度略有降低,变化幅度很小。

比较春夏两季青藏高原对周围地区等高线影响的变化可以看出:高原的存在使当地和其下游的天气系统变得更为复杂。在高原上,高原地形高度的降低使大尺度天气系统加强,槽来脊去的现象更明显,而使一些由地形引起的中小尺度天气系统减弱或消失。而这些小系统正是产生局地降水的重要原因。在四川盆地,高原地形的降低使原来的小波动得到加强。从整体上来看,高原地形的降低使大尺度系统的移动减慢。从影响的程度而言,春季稍强,夏季稍弱;而同一时间,地形对500hPa的影响比200hPa要强一些。高原对周围地区等温线的影响春夏两季也是基本一致的,高原的存在使高原本身的温度下降,周围地区的温度升高,高原高度的降低,使高原

地带的温度上升,周围地区的温度下降;就不同季节而言,春季的影响比夏季大得多。

3.2 青藏高原对周围地区流场的影响

数值模拟的结果表明:高原对周围地区500hPa流场有一定的影响。图3a和图3b分别是通过试验一和试验二获得的1998年4月28日500hPa流场的24小时预报图。在试验一中,500hPa高原西北和西部为西北气流控制,但风向有一些小的变化;高原中部为辐合区,高原东部为辐散区,四川盆地东北部为辐合区,盆地大部分地区盛行西南气流,流场的配置与当天的降水实况配合较好,4月28~29日,西藏的部分地区下了小雨,川西北高原基本无降水,四川盆地降了大到暴雨。试验二中,高原中西部地区的流场没有显著的变化,但四川盆地尤其是100°E附近的流场变化较大,原来一致的西南气流分裂出小股的西北西气流,显然对降水不利。同时,盆地周围的风速变小了。因此高原地形变化,周围地区500hPa的流场也有一定的变化,其中影响最大的地方就是地形突然变化的地方。

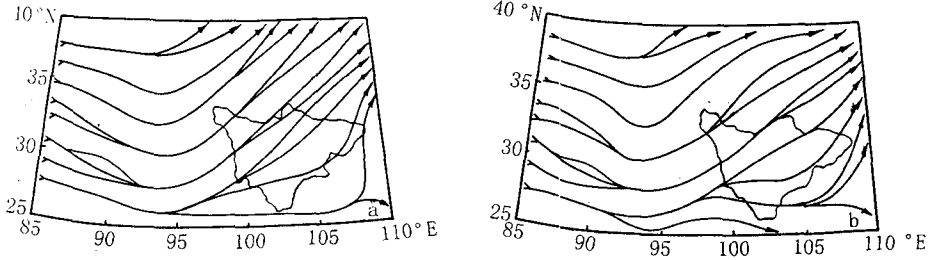


图3 1998年4月28日 500hPa 流场预报图

a. 全地形 b. 100°E以西1/2地形

同样,我们也模拟了高原对200hPa流场的影响。所不同的是,高原地形的变化对200hPa的流场的影响不大。流场的方向基本不变,风速也变化不大。全地形时,流场的强度稍强。

图4a和图4b分别是1998年8月19日试验一和试验二500hPa流场的24小时预报图。全地形时,500hPa流场的情况大致如下:西藏西北部为西北气流,高原东部为西南气流,高原中部有一大片弱辐合区,四川盆地全部为西南气流控制。这一天,四川盆地大部分地区降了中到大雨,个别地方降了暴雨甚

至特大暴雨。从流场上来看这次降水的水汽来源来自东南沿海。试验二与试验一相比,高原西部流场变化不大,高原东部风速变大了,变化最大的地方就是100°E附近,此地及盆地西部风速减小,风向也有一些变化,变为西西南向,盆地西部有一小范围的弱辐合区。地形的突然变化造成气流走向的改变,由于地形的“强迫”作用,出现某些特殊的、局部的流场特征。同时高原地形变化时,四川盆地的流场发生变化,这说明青藏高原背风坡的气流对四川盆地天气有一定的影响。

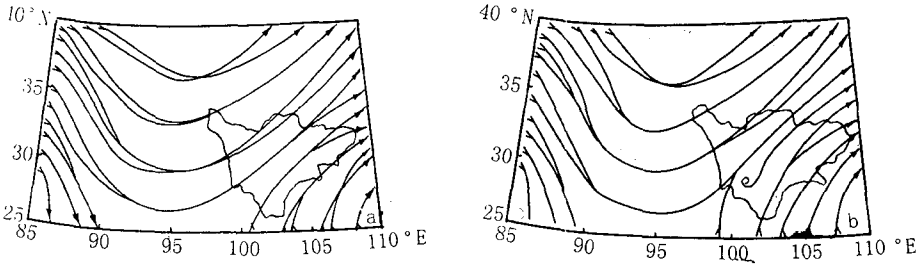


图4 1998年8月19日 500hPa 流场预报图

a. 全地形 b. 100°E以西1/2地形

4 结论与讨论

(1)高原地形的变化对本地及四川盆地的高度场影响有较大的差距。高原地形高度的降低使高原本地的大尺度系统进一步加强,中小尺度的天气系统减弱或消失,槽来脊去的现象更明显。

(2)高原地形的变化对温度场影响很大。

高原地形高度降低,本地温度升高,盆地的温度下降,而且春季的影响比夏季大得多。因此,对盆地而言,高原是个“热源”,“热源”的强度在春季得到加强。

(3)高原地形对流场的影响与温度场相似。高原地形高度降低时,流线也更光滑,高原本地的大波动进一步加强,小波动减弱或

消失。由于地形的“强迫”作用和背风坡气流的影响,流场变化最大的地方是高原东部和四川盆地西部,即地形高度骤变的地方。

参考文献

1 叶笃正,高由禧等. 青藏高原气象学,北京:科学出版社,1979:267~269.
 2 朱乾根等. 天气学原理和方法,北京:气象出版社,1981:

145~163.

3 宇如聪. 陡峭地形有限区域数值预报模式设计. 大气科学,1989,13(2),139~149.
 4 蔡则怡,宇如聪. LASG η 坐标有限区域数值预报模式对一次登陆台风特大暴雨的数值试验. 大气科学,1997,21(4).
 5 Betts, A K. A new convective adjustment scheme, Part 1: Observational and theoretical basis. Quat. J. Roy. Met. Soc. 1986,112(2),677~691.

Numerical Simulation of the Effect of the Tibetan Plateau on Weather System in the Neighborhood with LASG Mesoscale Model

Qing Qingtao Zhong Xiaoping Wang Chunguo
 (Provincial Meteorological Bureau of Sichuan, Chengdu 610072)

Abstract

A numerical simulation on the effect of the Tibetan Plateau on weather systems in the neighborhood area was carried out by LASG η -coordinate limited-area mesoscale model (LASG MM). Two cases of heavy rain storms on April 28 and August 19, 1998 were investigated under the topography with different relative heights. Study is mainly concentrated on the geopotential height fields, the temperature fields and streamline fields of 500hPa and 200hPa. Among the three kinds of fields, the temperature field suggests a large variation. When the relative height of the plateau is reduced, the temperature over the plateau goes up, and the temperature over the Sichuan Basin goes down. The magnitude of variation is larger in spring than that in summer. With lower relative heights, the large scale weather system over the plateau is strengthened, but the weather systems with middle or small scale are weakened over the plateau. On the other hand, the geopotential heights is reduced and the weather systems with small scale are strengthened over Sichuan Basin. Effect of the plateau with different relative heights on the streamline fields is similar to that of the geopotential field. With the influence of the forced wave and the lee wave, the streamline fields suggest the largest variation over the intersection area of the plateau and basin, which is exactly where the relative height changes most greatly.

Key Words: Tibetan plateau effect of topography weather system η -coordinate limited-area numerical forecast model