

一次西南低涡形成过程的数值 试验和诊断(一)

——地形动力作用和潜热作用对西南低涡影响的 数值试验对比分析

赵 平

(成都气象学院)

孙淑清

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文用中尺度有限区域模式对1981年7月11—14日的一次西南低涡暴雨过程进行数值试验,并讨论了地形动力作用和潜热加热对西南低涡形成的影响。

在基本试验中,较好地模拟了西南低涡的形成,其位置以及引起的降水量与实际情况比较一致。地形试验表明,地形动力作用对高原南侧的西南气流具有明显的阻挡作用,并决定着西南低涡的形成。潜热试验表明,潜热通过加强西南低涡上空高层辐散和低层辐合,使该低涡发展。

关键词: 西南低涡;数值试验;潜热加热;地形作用。

一、引 言

暴雨是我国主要的灾害性天气之一,而中尺度系统对暴雨的形成有决定性的意义^[1]。在这些影响系统中西南低涡具有独特的重要性,西南低涡形成之后东移常常造成我国大部分地区的暴雨天气,因此有必要研究西南低涡的形成。

最近几年,国内外一些学者逐步把数值预报方法用于研究西南低涡,讨论了它的东移和发展特点^[2,3,4],这些研究大多数采用水平分辨率较低的数值预报模式,有的还用理想地形和理想初始场,而且主要讨论了西南低涡形成后东移产生暴雨阶段的性质,对西南低涡的形成研究较少。本文采用水平分辨率较高的中尺度区域模式对西南低涡的形成过程进行数值试验,并讨论了地形和潜热加热在西南低涡形成阶段的作用。

二、模式简介和个例描述

本文采用沈如金^[5]六层 σ 坐标系中的中尺度有限区域模式进行数值试验。计算时

使用平滑后的实际地形和实际观测资料;该模式包括了控制中尺度系统发展的主要物理过程,其中有地形以及稳定性降水和对流性降水产生的凝结加热。

我们选择1981年7月11—14日的一次西南低涡引起的四川盆地及附近地区的特大暴雨过程作为试验个例。这次过程在700 hPa上表现为:从11日到12日早上在四川的九龙、巴塘和理塘一带受西南气流控制,到12日20时(北京时,以下文中和附图均为北京时)盆地西部 101°E , 30°N 附近出现闭合的气旋性环流,形成西南低涡,此时西南低涡位于暖区之中;这时在高原东北侧的西风带槽线南端(104°E , 34°N 附近)有一强辐合中心(图1),以后冷空气侵入西南低涡中心,且西南低涡向东北方向移动,与其北侧的辐合中心合并,从而得到发展。在500 hPa上,从7月10日到11日,青藏高原中部一直维持着暖性低压;11日20时,随着西亚低压槽东移加深,槽后的部分冷空气经新疆地区进入高原,12日20时在高原中部出现横槽,该槽在东移过程中促使高原中部低涡发展加深;同时,伊朗高压东移进入高原西部,使高原中部的低涡和横槽东移,从而对西南低涡的形成和发展产生影响。

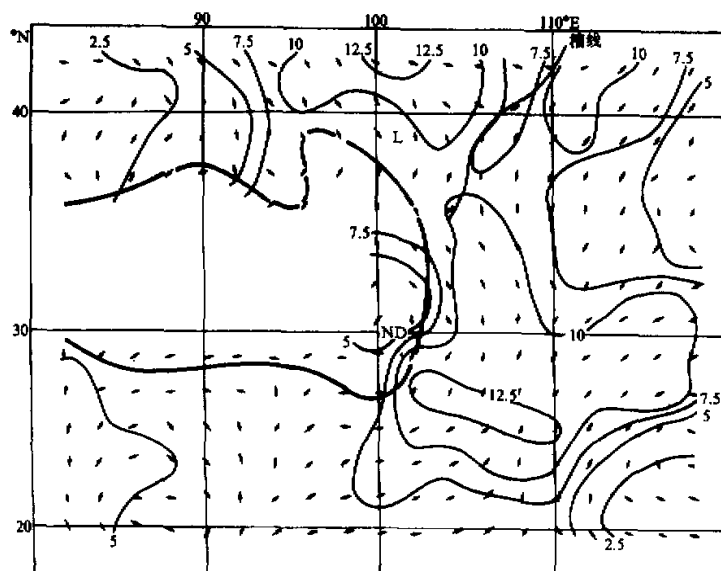


图1 1981年7月12日20时700 hPa客观分析的实测风场

粗实线为3000 m地形等高线;细实线为等风速线,单位:m/s;箭头为风向;

D为低压中心;N为暖中心;L为冷中心。

本文只讨论到12日20时为止的西南低涡形成初期的特征。

三、数值试验

我们以7月11日08时的实际资料作为试验的初始值,在初始的500 hPa上,从高原中部到四川盆地为气流辐合区;在高原中部和高原东侧分别存在着气旋性环流;在高

原东北侧边缘有一个反气旋环流;高原西北侧(40°N 以北)则处于西风带低压槽南端位置.在初始的700 hPa上,高原北侧边缘附近处于暖区之中;四川盆地西部为气旋性环流,从实况可看到,该气旋性环流很快消亡,不是未来发展后引起暴雨的西南低涡.

为了讨论地形动力作用和潜热作用对西南低涡的影响,我们试验了几种方案(表1).

表1 模式试验方案

编 号	目 的	物 理 过 程	计算区内的地形高度
1	基本试验	包括所有物理过程	未降低高度
2	地形动力作用	包括所有物理过程	高度降低1/2
3	地形动力作用	包括所有物理过程	高度降低为零
4	潜热加热作用	干过程(无潜热加热)	未降低高度

1. 基本试验方案结果

从方案1预报的500 hPa结果可看到,初始时刻高原西北侧的西风带低压槽东移并发展加深,到12日20时已移到高原东北侧 100°E 附近,即将与高原低涡、槽线相连接;高原中部存在着一个低涡,位于 93°E 附近.在实际天气图上该低涡出现在13日08时(位于 96°E 附近),然而从12日18时的卫星云图上可看到在 31°N , 92°E 附近存在一个明亮的云团,与我们所预报的12日20时高原低涡位置很接近.这说明我们所预报的高原低涡比实况早出现.

在700hPa上,从方案1预报结果可看到,初始场西南地区的低压环流很快消失,到11日20时该地区受西南气流控制.随着500 hPa 西风带低压槽东移加深,700 hPa 与之相对应的低压槽也不断东移发展.到12日20时,在 32°N , 101°E 附近700 hPa

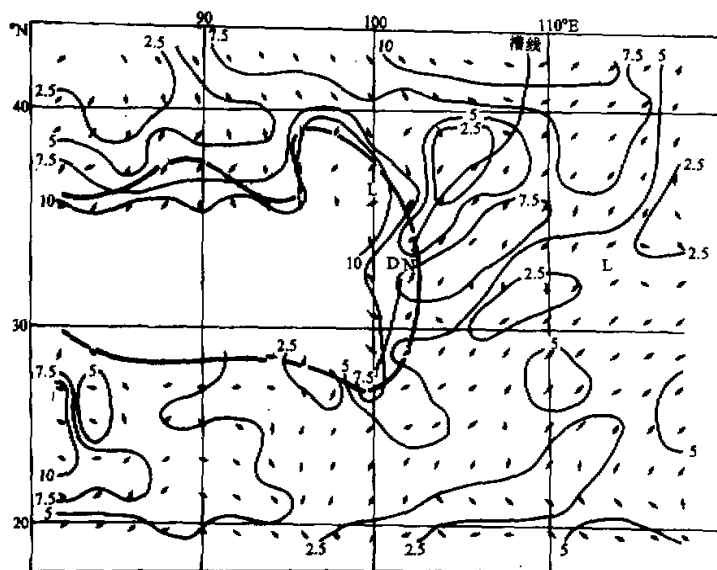


图2 基本试验方案预报的12日20时700 hPa 风场(说明同图1)

出现闭合气旋性环流, 即形成了西南低涡 (图 2), 这时该低涡位于暖区边缘, 并有一弱的暖中心与之伴随。

比较图 1 和图 2 可看到, 我们预报的冷空气向南移动比实况快, 冷空气中心偏南约 200 km; 而且西南低涡的移动和发展过程也加快, 西南低涡位置偏北 200 km。尽管如此, 西南低涡的形成是被预报出来了, 700 hPa 西风槽的移动发展与实况也比较一致。

在高空 200 hPa 预报图上, 高原北侧的强偏西风区不断东移, 到 12 日 20 时最大风速轴线前部呈东北—西南走向, 同时高原南侧的东风急流也得到加强, 这个过程与实况比较一致。可见, 南北两支高空急流的存在和加强对高原东侧上空的辐散气流起增强作用。此时西南低涡形成位置在 200 hPa 偏西风急流的出口区右侧下方, 有利于低涡的发展。

图 3 为 11 日 20 时到 12 日 20 时的 24 小时实际的和预报的降水量, 这时西南低涡刚形成不久, 降水量尚未达到最大。总体上看, 降水区域预报较好, 主要降水中心与实况比较一致, 位于 12 日 20 时西南低涡的东侧 104°E , 32°N 附近, 其最大降水量约为实况的 74%; 偏北的降水中心强度与实况也比较一致, 只是位置稍偏东北; 同时在 105°E 以东出现一个虚假的降水中心。

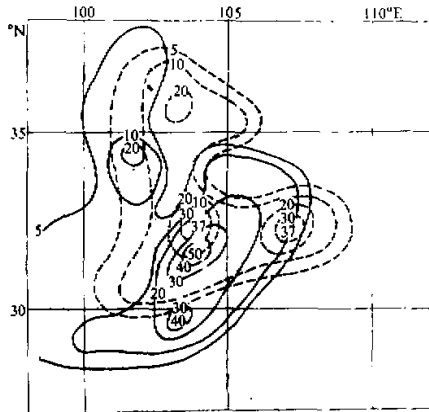


图 3 1981 年 7 月 11 日 20 时到 12 日 20 时的 24 小时实况 (实线) 和预报 (虚线) 的降水量 (单位: mm)

2. 地形动力作用的数值试验

比较方案 2 (地形高度降低一半) 和方案 1 的 36 小时预报结果可看到, 在 500 hPa 上方案 2 预报的高原南侧西南气流区域向西和向北扩展, 并且与高原北侧的西北气流交汇位置也偏西和偏北, 从而使方案 1 中的西风带槽及高原低涡位置偏西北; 在 700 hPa 上, 方案 1 中的高原南侧的西南气流和北侧的西北气流此时不再绕过高原东侧, 而是直接进入高原区域, 并在高原区域东部发生交汇, 此时西南气流区域北界与 100°E 经线的交点比方案 1 的偏北约 5 个纬度, 抵达 33°N 附近 (图 4); 上述说明高原地形对中低层西南暖湿气流的阻挡作用更明显, 这可能是由于高原南侧坡度更陡的原因所致。从图 4 中还可看到, 在方案 1 中西南低涡形成区位置这时处于西南气流之中, 没有西南低涡出现, 而在高原位置的东北侧有一个气旋性环流存在。值得注意, 在方案 2 的 850 hPa 上四川西部不再象方案 1 中那样在高原地形以下, 此时是在 1500 m 地形等高线边缘, 在此位置有低涡形成, 与方案 1 中 700 hPa 上的西南低涡位置相近。

为了更清楚地看到地形动力作用对西南低涡形成的影响, 我们进一步作了方案 3 (地形高度为零) 的试验。在方案 3 中, 500、700 和 850 hPa 高原区域南侧的西南气流位置比方案 2 更向西向北扩展, 方案 2 中 850 hPa 上出现在西南地区的低涡此时完全消失, 而在高原区域位置东北侧上空低层 700 和 850 hPa 均有一个强的低压发展。可见,

这次西南低涡形成完全是由高原地形形状造成的绕流所致,降低地形高度只是使西南地区的低涡出现在更低的层次,而不能消除地形影响;当完全去掉地形后,这种作用不再存在。

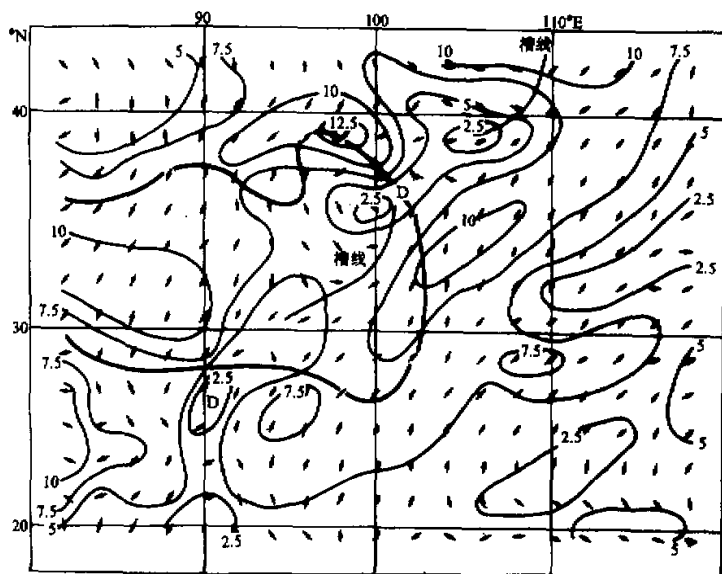


图 4 方案2 预报的 12 日 20 时 700 hPa 风场

粗实线为 1500 m 地形等高线,其余同图 1。

在方案 2 和方案 3 预报的 12 日 20 时 200 hPa 风场上,高原北侧的强西风气流东移比方案 1 的快,这时四川盆地附近位于该急流入口区右下方,其高层辐散减小,甚至出现辐合,从而不利于西南低涡形成和发展。

3. 潜热作用的数值试验

在 700 hPa 上,方案 4 (无潜热加热)类似方案 1 也能预报出西南低涡,并且其位置没有明显变化,说明潜热加热对这次西南低涡的形成不重要。尽管如此,潜热加热对西南低涡强度还是有影响。图 5 给出了 700 hPa 方案 1 和方案 4 预报的 12 日 20 时高度场差值和温度场差值,从图中可见,潜热作用使高原附近较大范围内都为负变高区,在西南低涡位置变高出现 -15 位势米的闭合等值线,说明如果去掉模式中的潜热加热,就会使西南低涡强度减弱;同时,在西南低涡北侧出现正变温区,说明潜热加热有使低涡北侧的冷空气强度减弱的作用,从而有利于低涡暖性结构的形成和维持以及积累湿静力能量。在分析中还可看到,潜热作用加强了西南低涡区域的气旋性辐合。

通过进一步分析方案 4 预报的中、高层结果看到,在 500 hPa 上,潜热加热有利于高原上空暖性低涡的形成,从而为西南低涡后期的发展提供了有利条件;在 200 hPa 上,潜热加热在高原东部上空高层产生一个反气旋辐散环流,该环流向东南方向移动,并不

断加强, 到 12 日 20 时, 环流中心移到高原北部 99°E , 34°N 附近. 西南低涡此时位于该环流中心东南侧的辐散区下方, 从而有利于低涡发展.

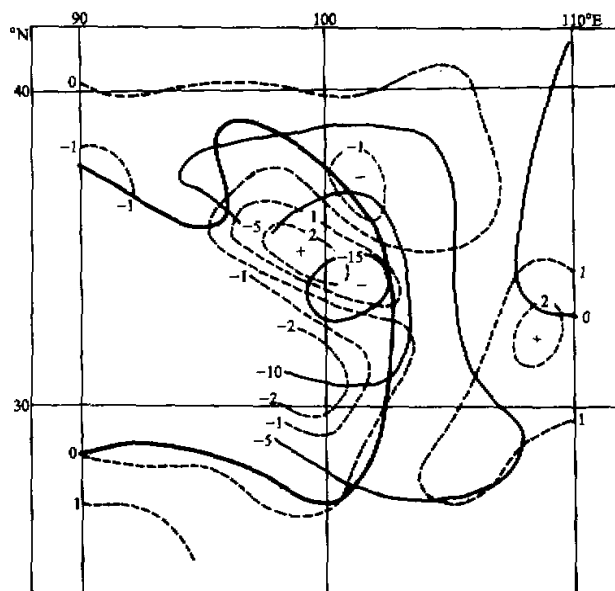


图 5 基本试验方案预报的 12 日 20 时 700 hPa 高度场和温度场与方案 4 的差值
粗实线为 3000 m 地形等高线, 细实线为位势高度差值 (单位: 位势米), 虚线为温度差值 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

四、结 论

本文利用中尺度有限区域模式对一次西南低涡形成过程进行了数值试验, 并讨论了青藏高原地形动力作用和潜热加热作用对西南低涡形成的影响, 结果主要有:

(1) 基本试验方案较好地模拟出了 700 hPa 西南低涡的形成及其引起的降水, 所预报的 500 hPa 西风带低压槽、高原低涡以及 200 hPa 高空急流等主要天气系统的演变过程均与实况比较一致.

(2) 青藏高原地形动力作用对西南低涡的形成具有决定性意义. 高原地形通过阻挡作用使高原南北两侧的低层气流绕过高原东侧边缘, 并在四川盆地汇合, 同时也使四川盆地处于高空急流的辐散区下方, 从而使西南低涡能够形成.

(3) 潜热加热不影响西南低涡的形成, 只对其起加强作用. 潜热加热通过使低涡区气压降低, 低层气旋性辐合以及高层反气旋性辐散加强, 从而使西南低涡进一步发展; 同时潜热作用还有利于西南低涡暖区的形成和维持.

致谢: 本文得到陶诗言教授的关怀和鼓励以及沈如金副研究员的大力帮助, 作者表示衷心感谢.

参 考 文 献

- [1] 陶诗言, 1977, 有关暴雨分析的一些问题, 大气科学, 1, No.1, 64 — 72.
- [2] 罗四维等, 1984, 夏季青藏高原对它附近流场影响的数值试验, 高原气象, 3, No.2, 19 — 29.
- [3] Anthes, R.A., and P.L., Haggenson, 1984, A comparative numerical simulation of the Sichuan flood catastrophe (11 — 15 July 1981), *Proc. First Sino-American Workshop on Mountain Meteorology, The Chinese Academy of Sciences and the U.S. National Academy of Science, Beijing, Amer. Meteor. Soc.*, 519 — 524.
- [4] Chen, S. J. and Lorenzo Dell' Osso, 1986, The effect of Qinghai-Tibet Plateau forcing on the mesoscale rain-bearing circulation systems over the eastern China during presummer rain season. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 64, 53 — 63.
- [5] Shen, R.J., E.R.Reiter, and J.F. Bresch, 1986, A simplified hydrodynamic mesoscale model suitable for use over high plateau regions. *Arch. Met. Geoph. Biol., Ser. A.*, 34, 251 — 296.

**Numerical Simulation and Diagnosis of the Formation of SW Vortex
I: An Analysis of Numerical Simulation of the Effects of Topography
and Latent Heat on SW Vortex**

Zhao Ping

(Chengdu Meteorological Institute)

Sun Shuqing

(Institute of Atmospheric physics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

In this paper, we have simulated the heavy rain process of the SW vortex in china, 11 — 17 July 1981 by a mesoscale limited-area model and have discussed the effects of topography and latent heat on SW vortex formation.

Key words : SW vortex; Numerical simulation; Topography; Latent heat.