

特殊地形及地形梯度对西昌 发射场暴雨的影响

汪正林^{1,2} 党建涛²

(1. 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871; 2. 西昌卫星发射中心气象室)

提 要: 研究了西昌发射场特殊地形及地形梯度对其暴雨天气的影响。对比分析表明: 2004年6月23日暴雨过程属于低涡切变型暴雨, 6月27日暴雨过程属于两高辐合型暴雨。利用MM5V3.7进行了多组地形敏感试验, 结果表明: 场区北侧山脉对场区降水量影响明显, 西昌东侧山脉对西昌降水量影响明显。地形梯度分析表明, 西昌地区所处的河谷地形和场区所处喇叭口小地形, 有利于中小尺度气压扰动的发生、发展和暴雨的产生, 当地形梯度减弱时, 降水量相应减弱。

关键词: 地形 暴雨 诊断分析 敏感试验

Effect of Terrain on the Heavy Rain of Xichang, Sichuan Province

Wang Zhenglin^{1,2} Dang Jiantao²

(1. Department of Atmospheric Science, the School of Physics, Peking University, Beijing 100871;
2. Meteorological Office, Xichang Satellite Launch Center)

Abstract: The effects of the terrain and terrain gradient on the heavy rain of Xichang are studied. It shows that the heavy rain on June 23, 2004 is a southwest vortex-shear pattern, and the heavy rain on June 27, 2004 is a two-high-convergence-pattern. With the mesoscale model (MM5V3.7) from PSU/NCAR, the two events are simulated. It is found that the mesoscale mountain has significant influence on the location and intensity of the heavy rain area, and the bell-mouthed area and the riverway area of Xichang are favorable to the occurrence and development of mesoscale disturbance and heavy rain.

Key Words: terrain heavy rain diagnostic analysis sensitivity experiment

引 言

地形在暴雨发生和发展中的作用已经得到广泛的认同^[1-4]。地形可以作为天气系统的触发机制和组织机制，同时也可以引起天气系统的增强、减弱以及影响天气系统的移动。翟国庆^[2]等研究表明中尺度地形对强降水区的分布和强度有重要影响，强降水中心位于山地附近；地形的动力及屏障作用对气流有明显影响；山区的水汽和热量对静力不稳定亦有相当作用。崔春光等^[5]利用 MM5 模式对三峡及其附近的低涡暴雨进行模拟，研究了四川盆地东侧山地对低涡暴雨的影响。谢静芳等^[6]对吉林省强对流天气和对流性天气活动与地形关系进行了分析，初步揭示出两类对流天气的影响机制，其结果对进一步分析研究和准确预报强对流天气具有重要意义。

西昌卫星发射场区（以下简称场区）大尺度地形^[7-9]处于青藏高原东部横断山脉东麓的山谷中，海拔高度 1890m，具备了大陆地貌的五种基本类型：高原、山地、丘陵、平原和盆地，是我国地形最为复杂的地区之一，同时也是我国中小尺度对流发展最为频繁旺盛的地区之一。其西部是青藏高原，北部是川西北高原，东部是四川盆地，东南接云贵高原、西南自雅布河谷到孟加拉湾海域。中尺度地形^[10,11]场区位于高原东南部横断山脉东麓的安宁河谷中，四面环山，东部为小相岭，西部为锦屏山，西北部为牦牛山，南部为螺髻山和百草岭，层层山脉构成了西部、北部及东部阻挡冷空气的屏障。再从小地形看，保障点处在乐翁沟和波罗沟的交汇处，三面环山，向东南开口，也是半封闭式“小盆地”状，面积不到 5km²。以往研究^[10]表明，这种小地形对局地对流性降

水有明显增幅作用。30 年气候统计也显示，场区是安宁河谷内降水大值点。

周率^[12]将场区周围中尺度山脉分西北、北、东、东南、南五个方位，通过系列敏感性数值试验进行讨论。结果显示地形动力作用在场区的强对流过程中起着重要作用，直接影响了过程的落区和强度。其中，西北部、北部和东部山脉主要反映为对冷空气及南支气流的阻挡及动力抬升作用，东南和南部地形则主要通过影响南支水汽而影响过程。

在上述研究的基础上，针对 2004 年两次连续影响西昌地区的暴雨过程，研究场区附近特殊地形，尤其是地形梯度对暴雨落区的影响。

1 个例对比分析

1.1 雨情分析

2004 年 6 月 23 日 18—24 时，西昌市出现一次暴雨过程，降水量为 52.7mm，而在其北部，相隔约 40km 的场区降水量仅为 13mm。2004 年 6 月 27 日 5—12 时，场区出现暴雨，过程降水量达 65.6mm，而西昌市的降水量仅为 21.1mm。

1.2 形势分析

2004 年 6 月 23 日 08 时 500hPa 形势图（图 1a）上，低涡中心位于内蒙古中部一带，横槽位于 30°N，冷空气南压，锋区南压至 30°N 以南，属于典型的 500hPa 低涡切变型^[13]暴雨（以下简称 6.23 暴雨），2004 年 6 月 27 日 08 时 500hPa 形势图（图 1b）上，场区位于脊后两高辐合区，属于两高辐合型暴雨^[13]（以下简称 6.27 暴雨）。

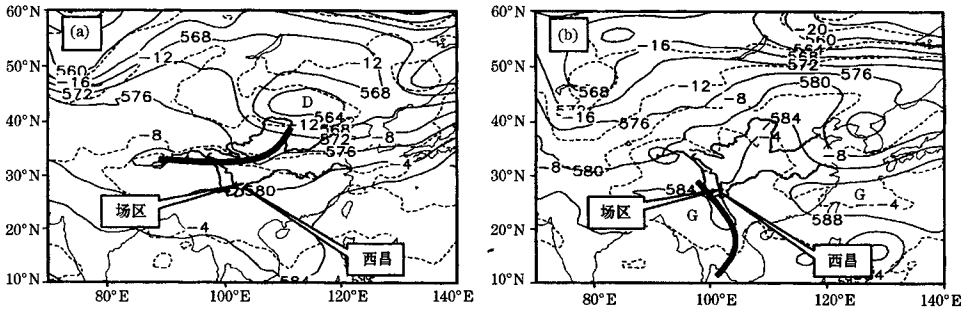


图 1 2004 年 6 月 23 日 08 时 (a) 和 6 月 27 日 08 时 (b) 500hPa 形势图

2 地形敏感试验

2.1 方案设计

2.1.1 模式格距及计算区域

采用中尺度模式 MM5V3.7, 选用双向三重嵌套网格对两次暴雨过程进行数值模拟研究。模式区域中心位置 28°N、102°E, 在垂直方向分 23 个 σ 层, 分别为 $\sigma=1.00, 0.98, 0.96, 0.94, 0.92, 0.89, 0.85, 0.80, 0.75, 0.70, 0.65, 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.40, 0.35, 0.30, 0.25, 0.20, 0.15, 0.10, 0.05, 0.00$ 。三重区域的水平格点数均为 91×91 ; 相应的水平格

距分别为: 45km、15km、5km。

2.1.2 初始场及侧边界

采用分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$, 时间间隔为 6 小时的 NCEP 分析资料作为背景场, 用 Little_r 将每隔 12 小时的常规探空资料和每隔 3 小时的常规地面资料吸收到背景场中, 形成模式的初值和侧边界条件。

2.1.3 模式物理过程

模拟试验采用了非静力平衡方案: 模式层顶采用海绵边界条件, 侧边界利用时变流入流出方案。各区域所使用的其他参数化方案见表 1。

文中设计了 3 组敏感试验, 重点研究场区中尺度地形在场区暴雨中的作用, 方案见表 2。

表 1 模式物理过程方案表

区域	格距	显式水汽方案	积云参数化	行星边界层	大气辐射	地表温度方案
Domain1	45km	mix phase	Anthes-Kuo	MRF	cloud	5 层土壤模式
Domain2	15km	simple ice	Grell	MRF	cloud	5 层土壤模式
Domain3	5km	simple ice	none	Blackadar	cloud	5 层土壤模式

表 2 敏感性试验设计表

名称	试验内容	试验目的
CTRL	控制试验	再现天气过程
TER1	将 101.5~102.5°E、27.5~28.5°N 地形高度设为 1000m	检验场区中尺度地形作用
TER2	将 101.5~102.5°E、27.5~28.5°N 地形高度设为 2500m	
TER3	将 101.5~102.5°E、27.5~28.5°N 地形高度设为 1890m, 不改变场区地形高度, 将场区地形梯度减弱为 0	检验地形梯度作用

2.2 中尺度地形对场区暴雨的影响

对控制试验地形及雨量图进行分析（图 2），发现第一（domain1）、第二层嵌套（domain2）模拟降水量与实况偏差较大，第三层嵌套（domain3）较好地再现了两次

暴雨过程，6 月 23 日过程，在西昌模拟出了 30mm 以上的降雨中心，尽管降水量偏小，但是落区非常准确，6 月 27 日，在场区模拟出了 35mm 的降水中心，落区也比较准确。

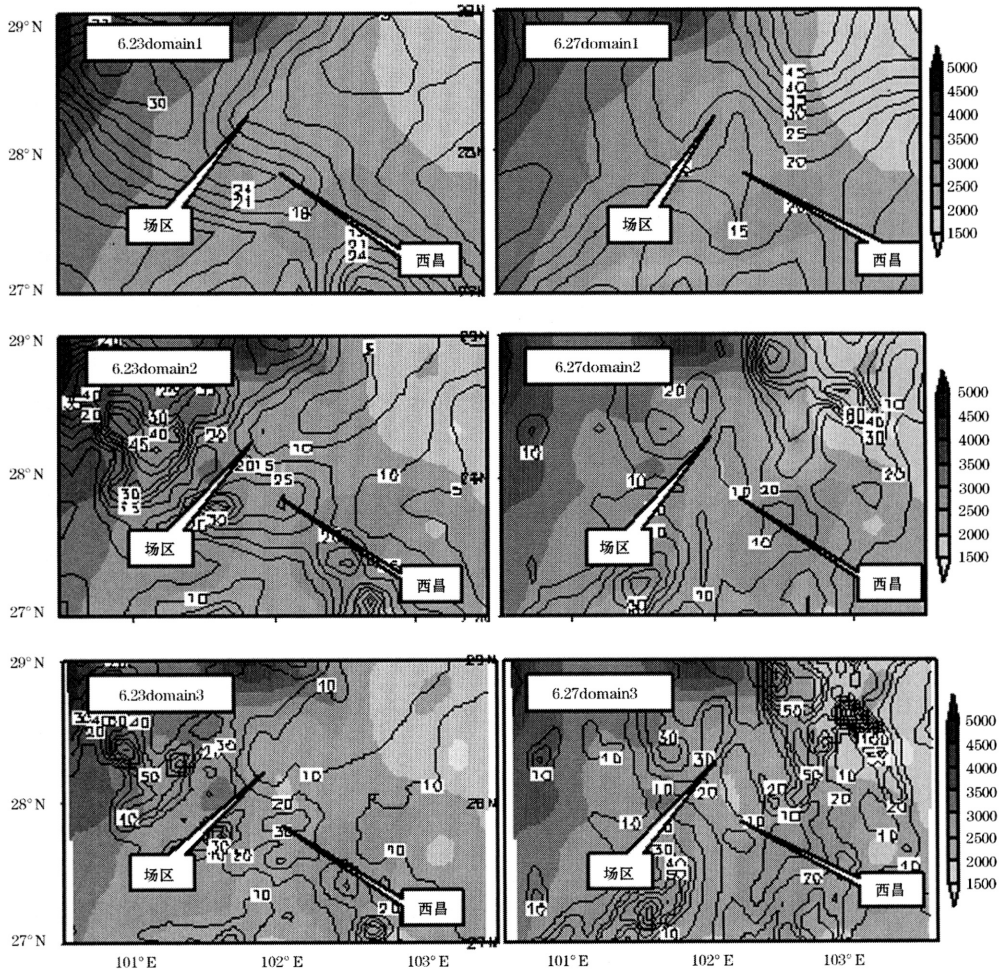


图 2 CTRL 试验地形 (m) 及雨量 (mm) 图
其中阴影区域代表地形高度，线条代表降水量

在 TER1 试验中（图 3a、b），将 101.5 ~102.5°E、27.5 ~28.5°N 地形高度设为 1000m，23 日（图 3a）位于西昌的降雨中

心偏南，并且降水量级增大，而 27 日（图 3b）位于场区西北方向的降水中心降水量增大为 140mm。分析原因如下：降低地形

高度，在场区北侧和西侧加大了迎风坡，从而增强水平方向的中尺度辐合线和垂直方向的次级环流，造成降水增大。23 日过程场区附近中低层为偏西气流，由于东侧没有阻挡，气流从牦牛山冲下后直接流入四川盆

地，造成场区及西昌降水明显偏小；27 日过程场区附近为偏南气流，气流在场区北侧的迎风坡受阻，被迫抬升，产生强上升运动，造成场区西北方向降水量增大。

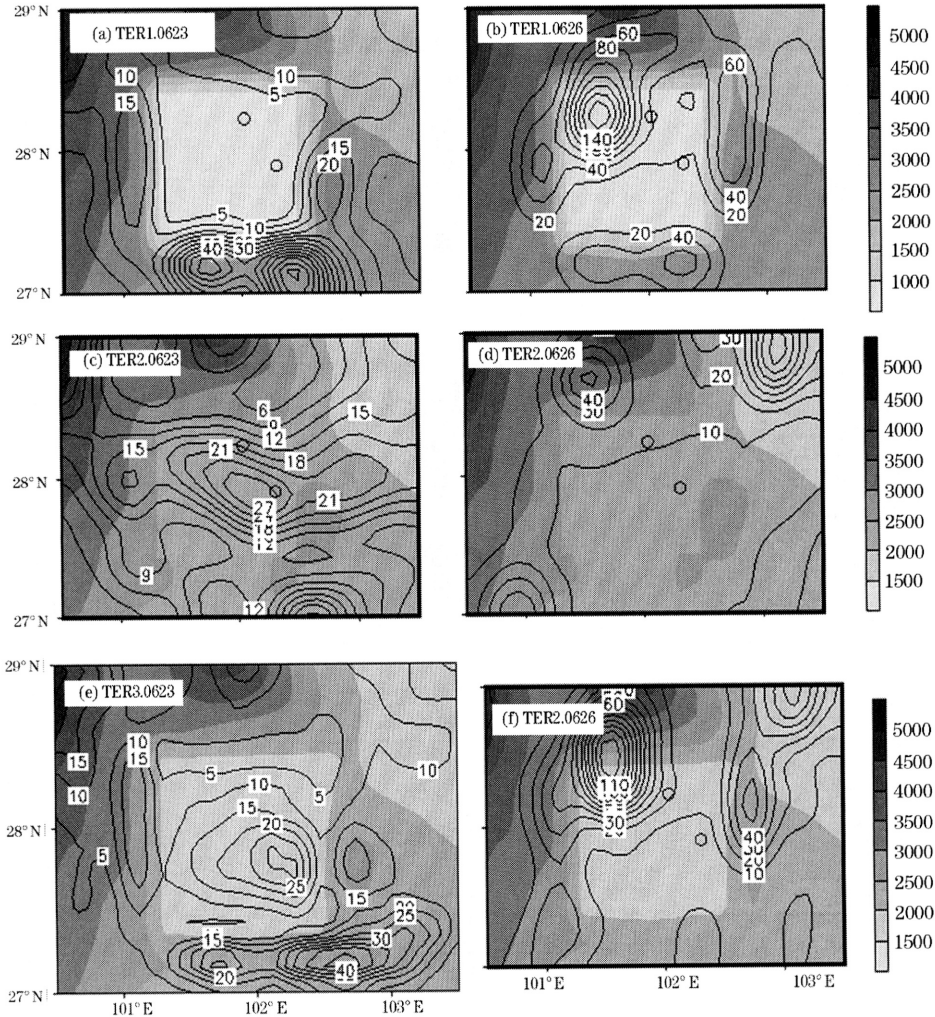


图 3 地形敏感试验地形 (m) 及雨量 (mm) 图
其中阴影区域代表地形高度，线条代表降水量

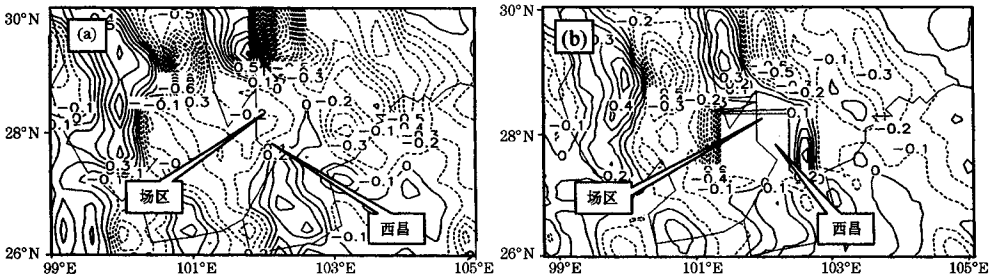


图 4 a 西昌地区地形梯度分布图；b TER3 试验地形梯度

在 TER2 试验中 (图 3c、d)，将 $101.5 \sim 102.5^{\circ}\text{E}$ 、 $27.5 \sim 28.5^{\circ}\text{N}$ 地形高度抬高，设为 2500m，23 日 (图 3c) 位于西昌的降水中心位置偏北，降水量级与控制试验相当，而 27 日 (图 3d) 位于场区的降水中心位置也偏北，降水量与控制试验相当。这说明当场区附近地形高度升高时，阻挡了冷空气南下，导致降水落区偏北。

2.3 地形梯度对暴雨的影响

2.3.1 地形梯度场分析

从西昌地区的地形梯度图上 (图 4a)，可以看出梯度大值区与大的山脉走向基本一致。北部地形梯度大值区对应着大相岭和小相岭，在冬季阻挡着冷空气南下；西部大地形梯度大值区对应着锦屏山、牦牛山等山脉，组成西部屏障，使高原东移的冷空气势力减弱；而东部的地形梯度大值区对应着大凉山，形成东部屏障，四川盆地的冷空气只有堆积到相当厚度才能西推到发射场区。

计算表明，大的山峰南坡、河谷盆地，特别是喇叭口地形，往往是梯度值较大的地方，同时也是暴雨高频发生的所在地^[15]。可以看出 (图 4a)，西昌地区处于安宁河谷，地形梯度为 0.2，有利于暴雨产生。而场区所在位置地形梯度为 -0.2，处于喇叭口地域，这种地形更有利于暴雨产生。由于地形梯度大值区的固定存在，导致地面受热和水汽分布不均，上述地区经常处于正涡源

状态，有利于地面流场气旋性切变辐合线的产生，只要有天气尺度系统影响，就有利于中小尺度气压扰动的发生、发展。这也正是场区中小尺度系统较多，雷暴、暴雨等强对流天气较多的一个重要原因。

2.3.2 地形梯度敏感试验

在 TER3 试验中 (图 3e、f)，将 $27.5 \sim 28.5^{\circ}\text{N}$ 、 $101.5 \sim 102.5^{\circ}\text{E}$ 地形高度设为场区地形高度 1890m，将场区和西昌附近地形梯度削为 0 (图 4b)，23 日 (图 3e) 位于西昌的降水中心位置较为准确，降水量级与控制试验相当，而 27 日 (图 3f) 位于场区降水中心位置偏北，场区降水量偏小为 20mm。说明地形高度不变，只减小场区地形梯度，会造成降水量减小。

3 结论

(1) 利用常规观测资料、NCEP 资料及卫星发射任务期间的非常规资料，对场区附近两次暴雨过程进行对比分析，结果表明：2004 年 6 月 23 日暴雨过程属于 500hPa 低涡切变型暴雨，6 月 27 日暴雨过程属于两高辐合型暴雨。

(2) 控制试验第三层嵌套区域能较好地模拟出场区附近降水的分布和暴雨的落区，但降水量略偏小。

(3) 地形敏感试验揭示场区西北部、北部和东部山脉主要反映为对冷空气及南支气

流的阻挡及动力抬升作用,东南和南部地形则主要通过影响南支水汽而影响过程,而场区附近的中尺度地形主要表现在对场区附近水汽厚度的影响,以及局地地形造成的动力抬升作用。

(4) 地形梯度分析表明,西昌地区所处的河谷地形及场区所处的喇叭口小地形,由于地形梯度大值区的固定存在,导致地面受热和水汽分布不均,上述地区经常处于正涡源状态,有利于地面流场气旋性切变辐合线的产生。只要有天气尺度系统影响,就有利于中小尺度气压扰动的发生、发展,导致大降水过程。

(5) 地形梯度敏感试验表明:地形梯度对场区降水量有较大影响,当地形梯度减小时,降水量相应减小。

(6) 山脉迎风坡的阻挡和抬升作用是地形影响降水的主要方式。对比发现:6月23日过程由于西昌东侧山脉对中低层偏西气流的阻挡和抬升作用造成西昌暴雨;6月27日过程由于场区北侧山脉对偏南气流的阻挡造成场区暴雨。

参考文献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 225.
- [2] 翟国庆, 高坤, 俞樟孝, 等. 暴雨过程中中尺度地形作用的数值试验 [J]. 大气科学, 1995, 19 (4): 475-480.
- [3] 薛纪善. 1994年华南夏季特大暴雨研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 185.
- [4] 黄土松, 李真光. 华南前汛期暴雨 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1986: 244.
- [5] 崔春光, 房春花, 胡伯威, 等. 地形对低涡大暴雨影响的数值模拟试验 [J]. 气象, 2000, 26 (8): 14-18.
- [6] 谢静芳, 王晓明. 吉林省对流性天气的分布特征及地形影响机制 [J]. 气象, 1994, 20 (8): 43-47.
- [7] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-278.
- [8] 袁福茂. 青藏高原及其邻近地区的天气现象的气候特征 [M]. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1979: 74-88.
- [9] 焦北辰主编. 中国自然地理图集 [M]. 北京: 地图出版社, 1984: 85-271.
- [10] 西昌卫星发射中心. 气象文选1-4. 西昌: 西昌卫星发射中心出版社 (内部出版), 1990-2003: 10-200.
- [11] 西昌卫星发射中心. 军事气候志. 西昌: 西昌卫星发射中心出版社 (内部出版), 1997: 6.
- [12] 周率. 西昌卫星发射场区中尺度强对流天气机制研究. 南京信息工程大学博士论文, 2005: 125-147.
- [13] 周率. 发射场区雨季大——暴雨分析预报 [J]. 航天器发射场, 1993 (4): 55-57.
- [14] 殷志有, 王俊, 孙军鹏. 秦岭山地暴雨与地形关系分析研究 [J]. 陕西气象, 2004, (1): 8-10.