

# 1989.07.21 大暴雨的诊断分析与数值试验

沈建国

康玲

(内蒙古气象研究所, 呼和浩特 010051)

(内蒙古气象台)

## 提 要

对 1989 年 7 月 20—21 日内蒙古中西部的大暴雨, 进行了诊断分析和数值试验。分析表明, 南亚高压东北移在该地区对流层上部形成强辐散流场; 西来短波槽诱发切变线北抬, 使暖湿空气与干冷空气在该区上空交汇, 扰动不稳定发展; 暴雨落区与辐合线关系密切。数值试验表明, 地形的动力作用和热力作用, 是产生地面辐合的主要原因之一。

**关键词:** 大暴雨 诊断分析 数值试验 南亚高压 切变线

## 引言

1989 年 7 月 20—21 日, 内蒙古中西部地区出现了大暴雨 (图 1), 雨区呈东北—西南分布。此次暴雨来势猛, 雨量大且集中。暴雨中心在东胜, 过程降水量为 129mm, 另一次大中心在呼和浩特, 过程降水量为 60mm。为作好该类大暴雨的预报, 特对该次大暴雨过程作诊断分析和数值试验。

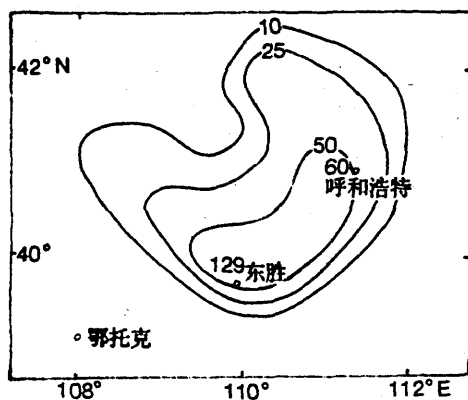


图 1 7 月 20 日 08 时—7 月 21 日 08 时雨量分布

## 1 诊断分析

### 1.1 天气尺度影响系统

#### 1.1.1 南亚高压

18—21 日, 南亚高压明显向东北方移

动, 且不断加强。19 日 20 时, 高压中心位于西藏杂多 (33°N, 95°E), 中心强度为 16960gpm, 20 日 20 时, 中心位于青海同仁 (36°N, 102°E), 强度增强到 16990gpm。南亚高压脊线较常年 7 月平均位置 32°N 附近<sup>[1]</sup>明显偏北。

由表 1 可见, 19 日 08 时—20 日 20

附表 南亚高压东北缘 100hPa 物理量分布

地点	时间	涡度 $\zeta / 10^{-5} s^{-1}$	涡度平流 $A_{\zeta} / 10^{-5} s^{-1}$	散度 $D / 10^{-5} s^{-1}$
兰州	19.08 <sup>h</sup>	-3.21	-3.68	-0.25
	20.08 <sup>h</sup>	-4.42	-2.46	-2.91
	20.20 <sup>h</sup>	-7.73	11.68	-0.65
	21.08 <sup>h</sup>	-6.08	-5.73	1.71
银川	19.08 <sup>h</sup>	-0.64	-35.65	-1.24
	20.08 <sup>h</sup>	-4.47	-15.81	1.89
	20.20 <sup>h</sup>	-3.72	-26.30	-3.22
	21.08 <sup>h</sup>	-3.77	-9.04	0.90
东胜	19.08 <sup>h</sup>	0.69	5.79	1.83
	20.08 <sup>h</sup>	-3.11	-15.22	0.54
	20.20 <sup>h</sup>	-10.58	-51.54	0.06
	21.08 <sup>h</sup>	-2.37	46.69	2.92
呼和浩特	19.08 <sup>h</sup>	0.25	7.13	2.46
	20.08 <sup>h</sup>	-2.66	-11.17	1.58
	20.20 <sup>h</sup>	-13.36	-10.79	1.63
	21.08 <sup>h</sup>	-4.73	33.28	-0.74

时, 兰州、银川、东胜和呼和浩特等站在对流层上部负涡度和负涡度平流逐日增强。20 日 20 时—21 日 08 时, 东胜和呼和浩特涡度平流有符号转换和显著的数值差异, 暴雨

就发生在此段时间内。南亚高压东北缘强负涡度平流所致的辐散流场，形成内蒙古中西部地区对流层上部的抽吸效应。东胜上空散度最大值滞后于呼和浩特，这与暴雨强中心的时空差相一致。

### 1.1.2 乌拉尔山阻高与西太平洋副高

这次暴雨发生在乌拉尔山地区为阻塞高压、中西伯利亚至巴尔喀什湖一带为低槽的高纬度相对稳定的环流背景下。在此背景下，贝加尔湖以南为稳定的弱高压脊区，西太平洋副高强烈西伸北抬，位于副高西北边缘的西北地区东部至内蒙古中西部一带盛行西南暖湿气流。中亚太槽中有短波槽移出。

## 1.2 次天气尺度影响系统

### 1.2.1 暖湿切变线<sup>(2)</sup>

19日20时，700hPa上已建立起一支偏南气流带。20日08时，这支气流继续加强，平凉偏南风达 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，并在兰州、延安附近出现一条切变线。它将水汽输送阻断，使暖湿空气在其南侧堆积。此时，500hPa为副高控制，盛行下沉气流，不稳定能量在此积聚，形成高能中心。计算表明，20日08时在平凉西北有水汽通量辐合中心，强度为 $-6.49\times 10^{-6}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。暖湿切变在850hPa亦很清楚。

### 1.2.2 锋区、干线

20日850hPa图上，在 $100\text{--}110^\circ\text{E}$ ， $45\text{--}50^\circ\text{N}$ 范围内有一支纬向锋区。08时锋区强度为 $12^\circ\text{C}/400\text{km}$ ，20时加强到 $16^\circ\text{C}/400\text{km}$ 。在蒙古西部山地及其北侧，力管和冷平流甚强。切变线与锋区之间存在一条干线，到20时干线已有相当强度。当西来短波槽移来时，诱发低层切变线北抬，暖湿空气与干冷空气突然交绥，造成扰动不稳定的发展。

### 1.3 地面系统及要素的若干特征

20日21—22时，达茂旗降水 $30.1\text{mm}$ 。此雨峰与干线、辐合线关系密切。干线在地面天气图上也很清楚。如20日20时，在干线南北两侧相距约 $40\text{km}$ 的百灵庙和白云鄂博两站，其温度分别为

$27.7^\circ\text{C}$ 和 $27.8^\circ\text{C}$ ，只相差 $0.1^\circ\text{C}$ ；而露点则分别为 $16.9^\circ\text{C}$ 和 $14.7^\circ\text{C}$ ，相差 $2.2^\circ\text{C}$ 。由图2可见，20日20时，在 $109\text{--}110^\circ\text{E}$ ， $42^\circ\text{N}$ 附近有一水平尺度为 $160\text{km}$ 的辐合线，其两侧吹对口风。计算表明，该处存在中心强度为 $-1.64\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ 的辐合区（图略），20日23时—21日04时，东胜每小时降水量 $<4\text{mm}$ ，21日04—07时，次天气尺度气旋呈准静止状态，风场辐合线不断增强，东胜每小时降水量均 $>36\text{mm}$ 。降水强度的突然加大，可能与密度流有关。

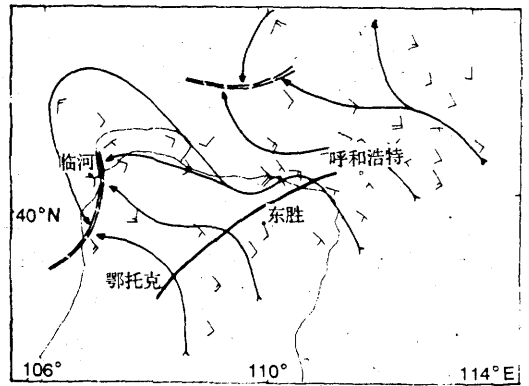


图2 7月20日20时区域流场实况图

### 1.4 暴雨产生的环境条件

高低层系统垂直配置（图略）显示，暴雨落区位于地面倒槽前部并与辐合线相对应。高、中、低层系统的配置是：高空急流入口区右后方，500hPa短波槽前，低空急流左前方。可见，在半干旱地区，要形成大暴雨，需要各方面系统的相互配置。由图3可见，20日08—20时，呼和浩特和东胜上空各层垂直速度有符号转换和明显的数值差异，具有突变的性质。在各层系统尚未出现最佳配置时，呼和浩特和东胜由于中层存在“梗阻”，以下沉运动为主，天气晴好，降水先兆不明显。20时各层均转为上升运动。由图4可见，暴雨前期各层湿度变化明显，300hPa以下显著变湿，以上相对变干，这对潜在不稳定能量充分释放有重要意义。20日20时，在盐池、鄂托克等地存在湿中心，这对暴雨形成有贡献。在850hPa附

近，呼和浩特与二连之间的湿度梯度很大，其位置正是前述干线之所在。这说明此次暴雨与干线关系密切。

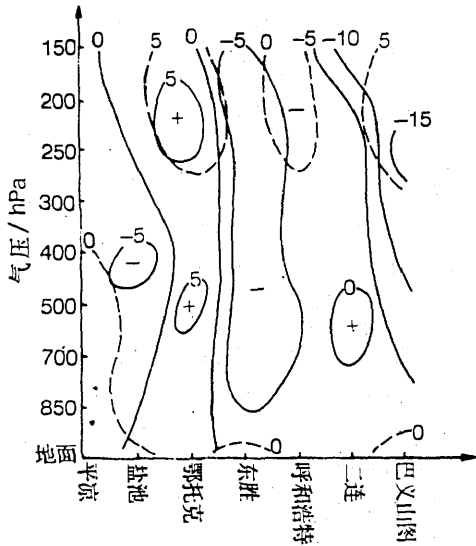


图3  $\omega / 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$  垂直剖面图  
虚线 20 日 08 时，实线 20 日 20 时

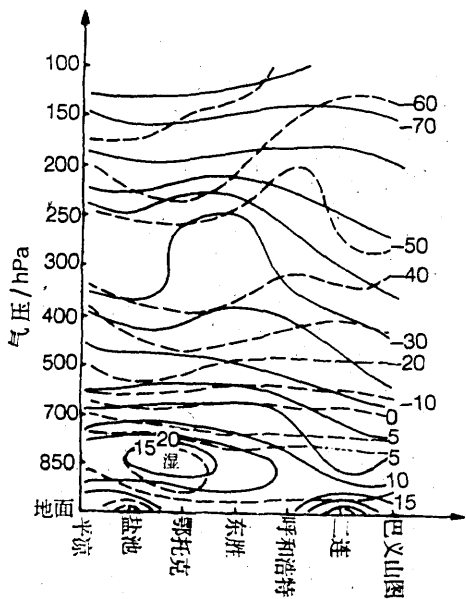


图4  $T_d / ^\circ\text{C}$  垂直剖面图  
虚线 19 日 08 时，实线 20 日 20 时

## 2 数值试验

采用美国华盛顿大学 Mass 等人的复杂

地形下诊断地面风场的一层中尺度模式，结合内蒙古中西部的实际地形，对这次大暴雨过程的地形作用，进行控制性试验和敏感性试验。

### 2.1 模式简介

Mass 模式是一层  $\sigma$  坐标模式，它适用于诊断复杂地形和陆地与水域对照区域内的地面风。运行该模式只要求适度的计算机资源和少量的原始资料，该模式能诊断出受大尺度作用力、地形以及合理非绝热加热与冷却率所制约的中尺度系统的许多细节。其基本方程组为：

$$\frac{\partial \vec{V}_s}{\partial t} = -\vec{V}_s \cdot \nabla_\sigma \vec{V}_s - f \vec{K} \wedge \vec{V}_s - (g \nabla_\sigma Z_s + RT_s \nabla_\sigma \ln P_s) + \vec{F} + K_m \nabla_\sigma^2 \vec{V}_s \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = -\vec{V}_s \cdot \nabla_\sigma T_s + \frac{RT_s}{c_p} \left( \frac{\partial \ln P_s}{\partial t} + \vec{V}_s \cdot \nabla_\sigma \ln P_s \right) + \frac{Q}{C_p} + K_T \nabla_H^2 T \quad (2)$$

式中  $\vec{V}_s$ ,  $T_s$ ,  $P_s$  和  $Z_s$  分别为地面上风矢量、温度、气压和地形高度， $Q$  为非绝热加热率， $H$  为地形影响厚度。有关模式的细节请参见文献 (3)。

### 2.2 试验设计

内蒙古中西部基本上是由山脉环绕的盆地 (图 5)，南有秦岭，北倚阴山山脉，西为贺兰山，东有蛮汉山和吕梁山。地表性质较复杂，黄河河套区植被较好，其余地区多为沙漠，昼夜热力差异显著，局地环流影响明显。为了解本次暴雨过程中地形的动力、热力作用，设计了以下试验。

#### 2.2.1 控制试验

(1) 试验时间：24 小时，即 7 月 20 日 08 时—21 日 08 时。

(2) 模式基本参量：积分区域为  $36.5 - 43.5^\circ \text{N}$ ,  $104.8 - 113.5^\circ \text{E}$ ，格点  $54 \times 54 \text{km}$ ，水平分辨率约为  $15 \text{km}$ ，时间积分

步长 300s, 加热率为  $3^{\circ}\text{C} / 6\text{h}$ 。其余同文献〔3〕。

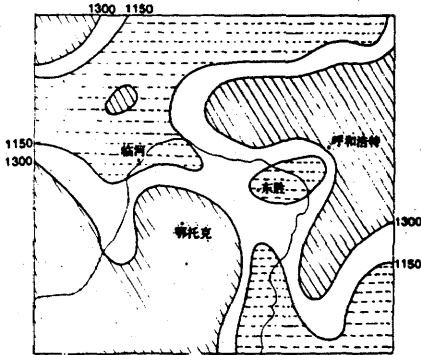


图5 内蒙古中西部地形高度分布图

(3) 初始条件: 700hPa 探空资料加客观分析。直减率  $\gamma = 0.55^{\circ}\text{C} / \text{hm}$ 。初始地面温度场由下式求得:

$$T_s = T_{700} + \gamma (Z_{700} - Z_s)$$

其中  $Z_s$ ,  $Z_{700}$ ,  $Z_s$  分别为地形高度、参考层格点上的位势高度和温度。初始地面风场由地面气压梯度力  $\vec{P}$ 、摩擦力和科氏力 3 力平衡求得。

$$\vec{P} = g \nabla_{\sigma} Z_{700} - \frac{g (Z_{700} - Z_s)}{T_{700}} \nabla_{\sigma} T_{700}$$

其中模式初始化详见文献〔3〕的附录 C。

(4) 地形: 用 NCAR 的 1 度地形资料, 客观分析到格点上。

(5) 控制试验方案 1: 包括上述全部条件和过程的试验 (No.1)。

### 2.2.2 对比试验

(1) 无热源作用试验 (No.2): 令非绝热加热为零, 其余条件同上。

(2) 削减地形试验 (No.3): 将模式地形高度削减, 其余同 No.1。其中: No.3 (a) 为  $Z_s / 2$  (原高度的 1/2, 以下类推); No.3 (b) 为  $Z_s / 5$ ; No.3 (c) 为  $Z_s / 10$ ; No.3 (d) 为  $Z_s / 50$ 。

### 2.2.3 参考层选取说明

Mass<sup>〔3〕</sup> 将参考层选在 850hPa, 并认为通过较强的平滑, 可以得到代表性好的天

气尺度场。我们对此有不同的看法。平滑将损失许多有价值的信息, 特别是中尺度模式。另外, 内蒙古中西部地区的海拔高度在 1065m (东胜) 至 1460m (呼和浩特) 之间, 由图 5 可见, 有相当一部分地区海拔在 1300m 以上。在此用 850hPa (处于大气边界层内) 作参考层不合适。因此本文将参考层选在 700hPa (距地面 1500m 以上), 可以较好地代表自由大气的状况。本试验不加任何平滑计算。

### 2.3 试验结果讨论

由控制方程组及有关参数方案知, 地形的改变导致下垫面对机械作用的不同和非绝热加热的差异。前者称为地形的动力作用, 后者称为地形的热力作用。以下讨论均为 12 小时积分输出结果。

#### 2.3.1 控制试验的结果

由图 2 可见, 过临河有一准南北向的辐合线, 东胜北侧到鄂托克附近有一 NNE—WSW 走向的辐合线, 后者与暴雨落区相对应。图 6 为方案 1 的试验结果, 与图 2 对比可见, No.1 诊断出第一条辐合线位于临河以东, 较实况略偏东; 第二条辐合线北端在东胜南侧 15km 左右, 中段在鄂托克正南, 较实况位置偏西、偏南, 辐合线南侧格点上风向风速与实况接近, 其北侧风矢量与实况略有出入。

#### 2.3.2 热源影响的分析

图 6 中虚线为试验 2 诊断出的辐合线位置。与方案 1 相比, 其总体特征有明显差异。首先, No.2 只有一条辐合线, 而 No.1 有 3 条; 其次, 两者风速亦有差别, 所以辐合线的强度也不同。可见, 非绝热加热作用能造成辐合线形式、位置和强度的差异。

#### 2.3.3 小尺度地形影响的分析

图 6 中点划线为 No.3 (d) 所诊断的东胜、鄂托克附近的辐合线位置。它较 No.1 的位置明显偏南且略偏西。No.3 中的 (a)、(b)、(c) 所诊断出的该辐合线位置, 介于 No.1 和 No.3 (d) 的位置之间 (图略)。比较 No.1 与 No.3 可见, 不仅辐合线

位置不同,强度也有差异。削减地形后,风速明显增大。且风速增大与削减地形的倍数成正比。

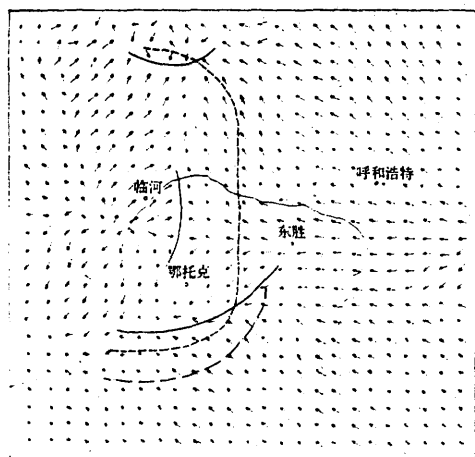


图6 7月20日20时有热源强迫模式地面风场  
实线、虚线、点划线分别为试验1、2、3(d)  
20时辐合线的位置

由上述试验可见,位于东胜、鄂托克间的地面风场辐合线,主要是由大气低层的切变线所诱发。地形作用越小它的位置越偏南,即越接近初始场中切变线的位置。试验结果表明,地形的动力、热力作用,是在该地区产生地面辐合线的主要原因之一;地形不同,可造成辐合线位置和强度的差异。

### 3 小结

3.1 南亚高压的突变与内蒙古中西部地区的突发性降水关系密切,其经向振荡对预报有指示意义。

3.2 暖湿切变是较“深厚”的系统,整个低层都有反映。干线是由于我国夏季风区中暖湿气流强盛,并突然北上与干冷空气交绥形成的。

3.3 在半干旱地区,形成大暴雨的条件相对“苛刻”,各系统须“最优组合”。预报应着眼于各系统在近期的调整,特别需注意各层控制性系统的突变。

3.4 地面辐合线主要由低层较“深厚”的切变线所诱发。地形的动力和热力作用,可造成辐合线位置、强度的明显差异。

### 参考文献

- 1 朱乾根等.天气学原理和方法.北京:气象出版社,1981.341.
- 2 刘景涛等.内蒙古自治区天气预报手册(下册).北京:气象出版社,1987.65.
- 3 C.F.Mass and D.P.Dempsey. A one-level, mesoscale model for diagnosing surface winds in mountainous and coastal region. M.W.R. 1985, Vol.113: 1121-1227.
- 4 H.Watanabe and Y.Ogura. Effects off orographically forced upstream lifting on mesoscale heavy precipitation: a case study. J.A.S. 1987, 44(4).661-675.

## Diagnosis and Simulation of Heavy Rainstorm 21, July 1989

Shen Jianguo

Kang Ling

(Inner Mongolia Research Institute of Meteorological Science) (Inner Mongolia Meteorological Observatory)

### Abstract

Diagnostic analysis and numerical simulation have been performed for a heavy rainstorm in July, 20-21, 1989 in the middle western part of the Inner Mongolia. The results show that South Asia high causes a strong divergence field in the upper layer of troposphere in this region, the short wave trough from west makes a shear line move northward, warm moisture air and cold dry air suddenly meet each other which produces the unstable wave, and the relationship between the rainfall position and the convergence line is close. The model experiment indicates that dynamic and thermal forcing of topography is one of main reasons for the convergence of the surface wind field to form. The difference caused by the orographic effect and the intensity of the convergence line is significant.

**Key words:** heavy rainstorm diagnosis numerical test South Asia high Shear line