

# 1998年8月嫩江流域一次 大暴雨的成因分析

张 玲 李泽椿

(国家气象中心,北京 100081)

## 提 要

利用中尺度滤波、高分辨率数值模拟和诊断分析对1998年8月9~11日嫩江流域的甘南和白城大暴雨的成因进行了初步探讨。结果表明:中 $\beta$ 尺度天气系统是大暴雨的主要影响系统。地形抬升、纬向次级环流和小股弱冷空气共同作用是大暴雨产生的重要因素。敏感试验结果表明:凝结潜热释放对中 $\beta$ 尺度天气系统的形成起决定作用。中尺度地形对中 $\beta$ 尺度天气系统维持和发展也起作用,影响暴雨落区、强度,且有增幅作用。改变初始湿度场对雨区和雨量的模拟影响随积分时间增长逐渐减小,东北地区水汽不是完全由初始时刻大气中的水汽含量所决定的,而是不断地来自低纬向东北地区的水汽输送。

**关键词:** 东北冷涡 诊断分析 中 $\beta$ 尺度天气系统 高分辨率数值模拟

## 引 言

1998年夏季我国嫩江和松花江流域出现了百年不遇的特大洪水,给黑龙江、吉林、内蒙古造成了严重的洪涝灾害。白人海<sup>[1]</sup>、杨贤为<sup>[2]</sup>、孙立<sup>[3]</sup>等曾对松嫩流域大暴雨的大尺度环流形势及天气学条件进行过较深入的分析,但对大暴雨形成的机理,特别是对直接造成暴雨的中、小尺度天气系统的研究涉及得较少。本文利用中尺度滤波、数值模拟及诊断分析方法对1998年8月9~11日嫩江流域发生的一次大暴雨天气过程进行分析研究,探讨暴雨的中尺度天气系统活动规律及其发生发展的机制,以利做好暴雨预报。

### 1 雨情和大尺度环流形势

1998年8月9日08时至11日08时,嫩江流域、松花江上游出现了入汛以来最强的一次大暴雨过程,降雨量有50~70mm,其中黑龙江西部、吉林西部和内蒙古东部部分地区有80~130mm,两个强降雨中心黑龙江甘

南达260mm、吉林白城152mm。9日20时至10日20时的24小时甘南降雨量为202mm,10日19~20时的1小时白城降雨量达82mm。强降雨区呈南北向,与大兴安岭走向一致,并分布在其东侧。

本次大暴雨过程发生在亚欧中高纬度为稳定的经向环流形势下。从8月9~11日500hPa平均高度场(图略)可见,亚欧中高纬呈两脊一槽型。贝加尔湖到我国东北地区为低槽区,槽区中我国东北地区上空有一庞大冷涡;两阻高分别位于中亚和鄂霍次克海,同时,西太平洋副高呈块状分布,并与鄂霍次克海阻高连体。至此,极地冷空气沿中亚阻高脊前西北气流南下至贝加尔湖低槽中,有利于东北冷涡维持和发展。而西太平洋副高与鄂霍次克海阻高这种配置,有利于副高西北侧西南暖湿气流向北输送,为东北地区暴雨提供充沛的水汽条件;同时对东北冷涡东移起阻挡作用。这样冷暖空气得以较长时间交

汇于松花江和嫩江流域,致使该地强降雨频发,致洪成灾。

## 2 中尺度滤波分析

中尺度系统是叠加在大尺度系统上的扰

$$\begin{aligned} \bar{f}_0 = & \left[ (1-s_1)(1-s_2) - \frac{s_1s_2}{2} \right]^2 f_0 + \frac{1}{2} [s_1(1-s_2) + s_2(1-s_1)] \left[ (1-s_1)(1-s_2) + \frac{s_1s_2}{2} \right] \sum_{i=1}^4 f_i \\ & + \frac{1}{4} [s_1(1-s_2) + s_2(1-s_1)]^2 \sum_{i=5}^8 f_i + \frac{s_1s_2}{4} \left[ (1-s_1)(1-s_2) + \frac{s_1s_2}{2} \right] \sum_{i=9}^{12} f_i \\ & + \frac{s_1s_2}{8} [s_1(1-s_2) + s_2(1-s_1)] \sum_{i=13}^{20} f_i + \left( \frac{s_1s_2}{4} \right)^2 \sum_{i=21}^{24} f_i \end{aligned}$$

其中,  $i$  为格点坐标。资料采用 T106 分析场,水平分辨率为  $1.125^\circ \times 1.125^\circ$ 。一次同时滤去 2 倍和 3 倍格距的两个波动分量,但滤波后保留了原始气象场中  $\beta$  尺度波动。

### 2.1 甘南强降雨的中尺度流场

从大尺度流场的分布特征来看(图略),从对流层低层 925hPa 到高层 300hPa 东北地区被上千公里的东北冷涡所控制,气旋环流中心向西北方倾斜,温度槽落后于高度槽,表明东北冷涡是一个深厚的天气尺度系统,并具有一定的斜压性。图 1 给出了 1998 年 8 月 9 日 20 时甘南强降雨经尺度分离后的

动,对于任一气象要素  $f$  可看成是由大尺度部分  $\bar{f}$  和扰动部分  $f'$  的合成:

$$f = \bar{f} + f'$$

采用 25 点低通滤波算子:

925hPa 和 300hPa 中尺度流场。在图中,中尺度系统是镶嵌在大尺度环流背景下,在 925hPa 上除大尺度冷涡气旋性环流外,其东侧还有一个尺度约 200km 的中尺度气旋性环流,对应 300hPa 上在中尺度气旋性环流北侧还有一个中尺度反气旋性环流。这种低层气旋性辐合,高层反气旋性辐散有利于对流层中低层上升运动发展,利于强降水产生。甘南即位于 925hPa 中尺度气旋性环流北侧,故低层的中尺度低涡和高层的中尺度高压是甘南大暴雨的主要影响系统。

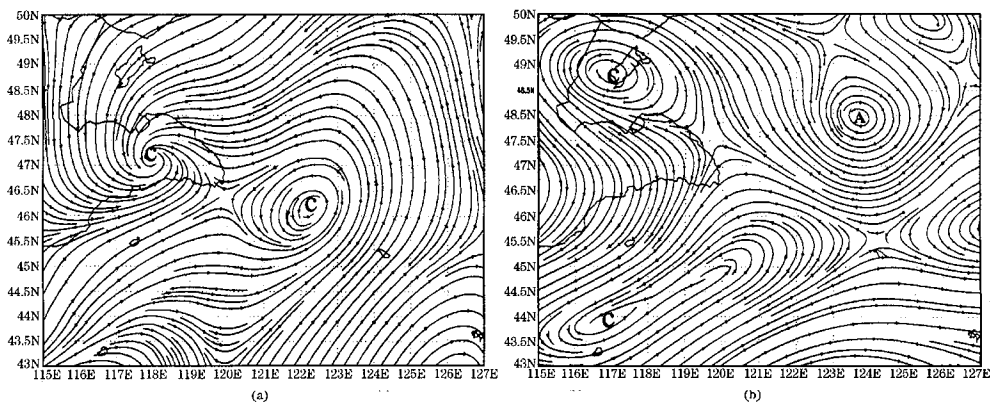


图 1 1998 年 8 月 9 日 20 时尺度分离后 925hPa(a)和 300hPa(b)中尺度流场

### 2.2 白城强降雨的中尺度流场

较之 8 月 10 日 20 时 500hPa 和 850hPa 上的大尺度流场(图略),所不同的是东北冷涡变成南北走向,在冷涡南侧  $120^\circ\text{E}$  附近有冷槽配合。经尺度分离后的 500hPa 和 850hPa 的中尺度流场(图略)可见,500hPa

上在  $42^\circ\text{N}$ 、 $121^\circ\text{E}$  附近有一个南北向的中尺度低涡,低涡环流向北伸展达  $47^\circ\text{N}$ 。其东北方在  $46^\circ\text{N}$ 、 $122^\circ\sim 124^\circ\text{E}$  有一条中尺度暖切变线,850hPa 上对应是一条冷切变线,白城市位于该切变线附近,它们是强降雨主要影响者。

### 3 垂直环流特征

图2a是1998年8月9日20时沿47°N穿过强降雨区的大尺度纬向垂直环流剖面图。如图所示,来自较低纬度的气流沿东北冷涡环流几乎垂直上升,在850hPa层上升速度达最大,为 $2.5 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。当上升到500hPa以上层后向东流去,并在130°E及以东高层开始下沉至低层,出现较强下沉运动区。在125~130°E中低层形成一垂直反气旋环流圈,对应鄂霍茨克阻塞高压。该反环流圈850hPa以下低层下沉气流往西流与东北冷涡前部上升支汇合,形成上述垂直上升支。强降雨出现在两支不同性质气流的辐合区内垂直运动最强处的下方。

从8月9日20时沿47°N穿过强降雨区

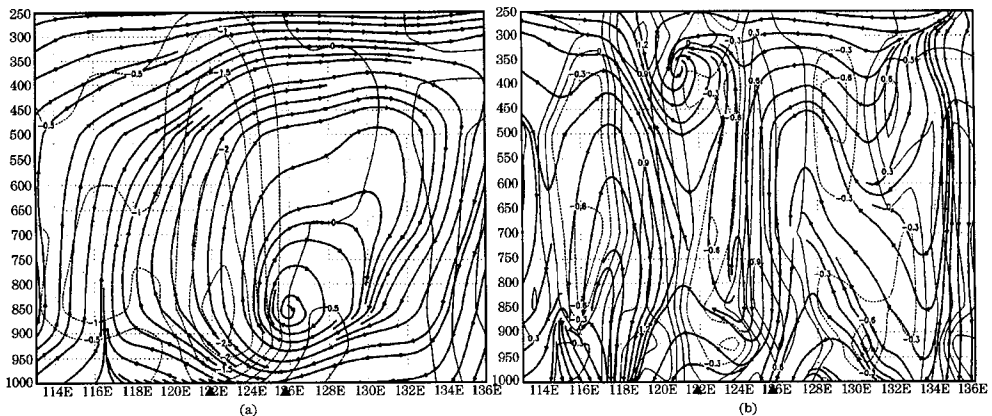


图2 1998年8月9日20时沿47°N的大尺度(a)和中尺度(b)纬向环流剖面图

粗线为流线,细线为垂直速度,三角处为大一暴雨区

由8月10日20时沿46°N暴雨区大尺度纬向环流剖面(图略)可知,10日20时的大尺度纬向垂直环流与9日20时的有很多相同之处,表明环流形势和影响天气系统变化不大,所不同的是西部垂直反气旋环流强度更强,东部伴随着东北冷涡东移出现了一个高空槽,槽前上升气流与反气旋环流低层西移的气流汇集,上升运动更为强烈,伴有一个范围广、垂直速度大的上升运动区,最大上升速度位于500hPa层上,达 $6.4 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。高空槽后盛行下沉气流。这样三种来

的中尺度纬向环流剖面(图2b)可见,中尺度垂直环流特征与大尺度显然不同,在120°E以西大尺度大范围的上升气流区的中层及低层各有一个中尺度反气旋环流,对应下沉运动区,但它们之间在900hPa以上层是上升气流,它到达500hPa及以上层开始下沉并与121~124°E之间的850hPa以下层的斜升气流相遇。这里正是NEN—SWS走向、东西跨度200km左右的大兴安岭山脉,对流层低层东风遇山被强迫抬升形成斜升气流,对应上升运动区。这支斜升气流继续上升与300~400hPa层间气旋性环流东部的上升支汇集,致使整层出现较强的上升运动,从而导致甘南等地强降雨发生。

自不同地区、性质各异的气流相互交绥和作用,产生强降雨。

8月10日20时沿46°N暴雨区的尺度纬向环流剖面(图略)较9日20时119~123°E高空中尺度垂直气旋性环流明显发展加强,环流中心向中空伸展位于500~750hPa层,该环流东侧123~126°E附近的上升运动也明显加强,上升运动最大值也出现在500hPa层,在白城暴雨区上空,无论是大尺度还是中尺度环流都有强上升运动区,两者之间有较好的对应关系。

#### 4 大暴雨的数值模拟

采用非静力中尺度模式 MM5 对本次嫩江流域的大暴雨过程进行数值模拟。

##### 4.1 控制试验物理过程方案选择

数值模拟中的动力过程采用非静力平衡方案,积云对流参数化用 Anthes-kuo 方案,边界层用高分辨率的 Blackadar 行星边界层方案,可分辨尺度降水用 Budhia 的简单冰相显式水汽方案,侧边界用时变的和流入流出方案,上边界用高层辐射方案,大气辐射用云辐射方案,地面温度用 5 层土壤模式,四维同化方案采用向分析场的张弛逼近。

##### 4.2 控制试验模拟结果分析

从模式输出的 48 小时降水(图 3a)与实况(图 3b)对比可发现,模拟的雨区形状同实况相似,范围比实况偏小,模式在甘南附近报出一个 148mm 的中心,较实况偏弱,位置略偏西;在白城附近也报出一个 62mm 的次中心,但强度偏弱,位置略偏北。甘南强降水实况(图 3d)与模式输出(图 3c)相比,雨区形状和范围较为相似,但中心强度偏弱,位置略偏西;白城强降水实况(图 3f)对比模式输出(图 3e),雨区均为南北走向,但模拟降水量级较实况偏小,且位置略偏西北。控制实验基本上能模拟出这次暴雨过程,但降雨量较实况偏小,位置略有偏差。

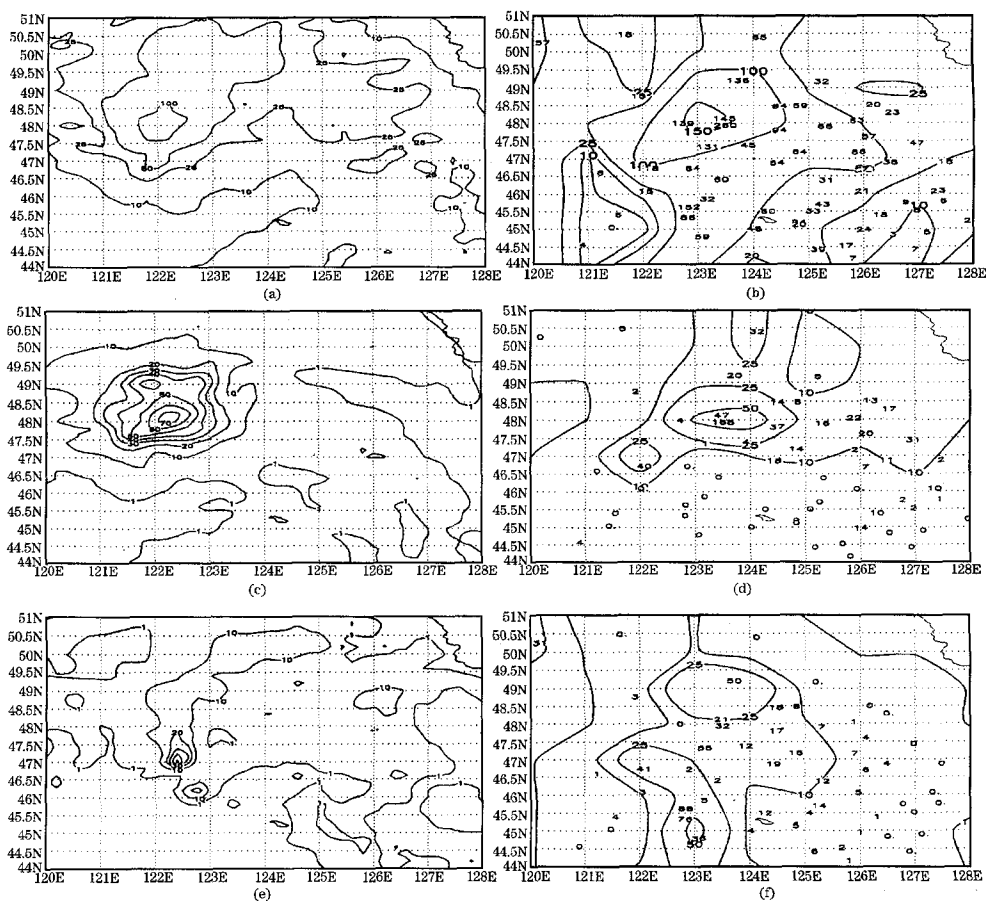


图 3 控制试验输出的降水量(a、c、e)和实况降水量(b、d、f)

a、b 为 9 日 08 时~11 日 08 时 48 小时降水量;c、d 为 9 日 20 时~10 日 08 时 12 小时降水量;  
e、f 为 10 日 14~20 时 6 小时降水量,单位:mm

## 5 敏感性试验

为了了解影响中 $\beta$ 尺度天气系统发生发展的因子,我们设计并做了无凝结潜热释放、削平大兴安岭和减弱700hPa及以下层的湿度3个敏感性试验。

### 5.1 潜热的作用

试验一在模拟中不考虑凝结潜热,但水汽的影响还存在。从模拟8月9日20时至10日08时的降水来看(图4a),雨带走向与控制试验明显不同,降水量比控制试验偏小。甘南48小时内750hPa以下水汽通量是辐散的(图略);白城也基本相同(图略),并且垂直上升运动速度小,10日20时对流层中低层还出现下沉运动。说明凝结潜热对强对流的启动十分重要,没有凝结潜热释放,对流是难以迅速发展起来的。

### 5.2 中尺度地形对中 $\beta$ 尺度系统发生发展的作用

大兴安岭南北跨度大,东西仅200~300km,属于中尺度地形。试验二将大兴安岭地形高度降为200m,与东北平原地形高度基本一样,相当于将东北平原向西扩展了

300~400km。模拟9日20时至10日08时降水(图4b)与控制试验(图3c)相比,在47.5~50.5°N、125°E以西有一条东西向雨带,雨区较控制试验明显西移,控制试验甘南附近有强降水中心,而试验二无强降水中心。说明地形的改变对暴雨的强度和落区有一定影响。大兴安岭对降雨有一定的增幅作用,有利于直接造成暴雨的中 $\beta$ 尺度系统的维持和发展。

### 5.3 初始湿度场的作用

试验三在40~52°N、118~130°E区域里将700hPa及以下层的初始相对湿度均减小20%,探讨初始湿度场对降水和中 $\beta$ 尺度系统的影响。试验三模拟的9日20时至10日08时降水分布(图略)与控制试验(图3c)对比可见,雨区的形状基本相同,但雨区范围和降水量比控制试验的明显偏小;模拟的10日14~20时降水分布(图4c)与控制试验(图3e)对比发现,雨区走向和范围两者都很接近,降水量较控制试验小,而白城强降雨中心强度与控制试验相差不大。

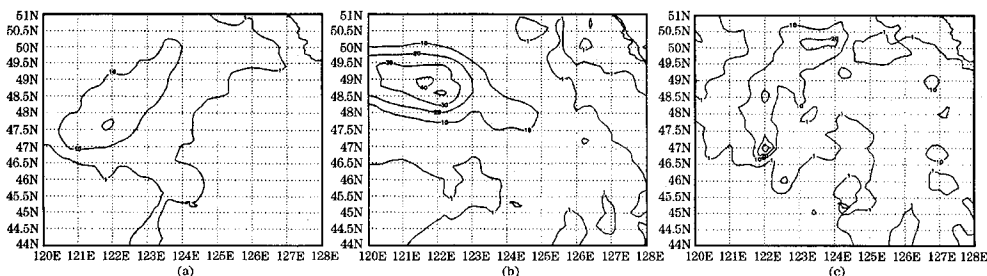


图4 模拟的降水量

a 为试验一9日20时~10日08时12小时降水量;b为试验二9日20时~10日08时12小时降水量;

c 为试验三10日14~20时6小时降水量,单位:mm

改变初始湿度场对模拟的雨区和雨强有影响,初始场湿度减小后降水量普遍较控制试验小。但为什么甘南降雨量明显减小,而白城却变化不大呢?这可能是甘南强降雨发生在开始积分后9小时左右,而白城的强降雨发生在开始积分后33小时左右,改变初始

湿度场所造成的影响随积分时间增长而逐渐减小。另外我们还可以通过对水汽通量散度的分解得出另一种解释:水汽通量散度可分解为风场辐合和水平平流引起的水汽辐合两部分,在较低纬度,水汽的分布差异相对较小,水汽的辐合主要取决于风场,而在较高纬

度局地水汽较少,水汽平流在水汽辐合中所起的作用变得相当明显。可见,东北地区降水所需水汽并非完全由初始时刻大气中的水汽含量所决定,源源不断从低纬向东北地区输送的水汽是很重要的。

## 6 小结

(1)甘南和白城的大暴雨是在有利的大尺度经向环流形势下发生的,是大、中尺度天气系统相互作用的结果,直接影响天气系统是东北冷涡和中 $\beta$ 尺度涡旋。

(2)物理过程试验表明,凝结潜热在中 $\beta$ 尺度天气系统的形成过程中起了重要作用,不考虑潜热释放的影响,甘南和白城的中 $\beta$ 尺度天气系统难于形成。

(3)中尺度地形有利于中 $\beta$ 尺度天气系统的维持和发展,影响暴雨的落区和强度,对

甘南的降水有一定增幅作用。

(4)改变初始湿度场影响雨区和雨强的模拟,其影响随积分时间的增长而逐渐减小。东北地区降水的水汽不是完全由初始时刻大气中的水汽含量所决定,从低纬向东北地区不断输送水汽起重要作用。

## 参考文献

- 1 白人海,李帅,王明洁. 1998年夏季松花江、嫩江流域大暴雨的水汽输送. 气象, 2000, 26(10): 24~28.
- 2 杨贤为,张尚印等. 1998年嫩江、松花江洪涝气候背景及暴雨成因分析, 1998年特大暴雨(洪涝)学术研讨会论文摘要汇编, 1999.
- 3 孙立,安刚,沈柏竹,“98.8.9”嫩江流域东北冷涡局地特大暴雨过程的中尺度滤波分析, 1998年长江嫩江流域特大暴雨的成因及预报应用研究. 北京:气象出版社, 2001.

## The Reason of a Heavy Rain Event in Nenjiang Valley in August, 1998

Zhang Ling Li Zechun

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

A heavy rain event near Gannan and Baicheng of Nenjiang valley during 9—11 August in 1998 is investigated. Diagnostic analysis, mesoscale filter analysis and numerical simulation have been conducted to inquire into the physical mechanism responsible for the above heavy rainfall. It shows that the existence of meso- $\beta$  scale system is the direct reason of the event. A comparison of physical mechanism is made between Gannan and Baicheng. The results show that terrain elevation and latitudinal secondary circulation contribute to Gannan heavy rain, weak cold air and latitudinal secondary circulation and thermal effect in mid-low troposphere play important role in Baicheng heavy rainfall process. The MM5 model reproduces successfully the development of the two weather processes. Sensitive tests show that latent heat release acts a decisive role in the formation of the meso- $\beta$  scale systems. Mesoscale terrain affects obviously the location and intensity of precipitation cell, and it makes Gannan precipitation increase. At the same time, it favors the maintenance and development of meso- $\beta$  scale system. The effect caused by the variation of initial humidity field on simulation of rainfall area and intensity gradually decreases along with the increase of integration period. For Northeast China, the amount of water vapor which is necessary for the formation of precipitation is not only determined by the initial field, but also affected by the water vapor transportation from the tropical area to Northeast China.

**Key Words:** cold vortex diagnostic analysis meso- $\beta$  scale synoptic system fine resolution numerical simulation