

1990年京津冀三次暴雨的分析

刘延英 许晨海 吴宝俊

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

本文分析了1990年京津冀地区三次暴雨过程,结果发现:(1)三次暴雨是属于相伴有冷锋的高空槽影响的暴雨;(2)暴雨开始前约10小时雨区的西南方存在湿有效能量高能舌,高能舌的西方和北方有能量和水汽的积聚;(3)对流层低层的锋生和地形对气流的抬升作用是触发暴雨开始的直接原因。

关键词:暴雨;高空槽;湿有效能量。

1 三次暴雨的概况

七月下旬和八月上旬是华北地区夏季暴雨出现的最主要时段。1990年在这个时段里,京津冀地区(本文特指 38° — 42° N, 114° — 120° E 区域)共有三次暴雨过程,两次(8月1日和8月7日)暴雨中心在北京市,另一次(7月26日)暴雨中心在河北省东北部。三次暴雨都在傍晚前后开始降水,历时约5个小时。暴雨中心24小时最大雨量在100毫米上下。暴雨区成带状东北—西南走向,50毫米的降水区水平尺度约200公里(见图1)。我们利用京津冀强风暴实验室提供的资料对三次暴雨进行分析,以便得出一些结果供今后预报时参考。图1给出了三次暴雨24小时雨量的合成图。合成方法是,7月26日数值向西平移150公里后再与8月1日、8月7日数值相加求平均。以下合成图合成方法相同。

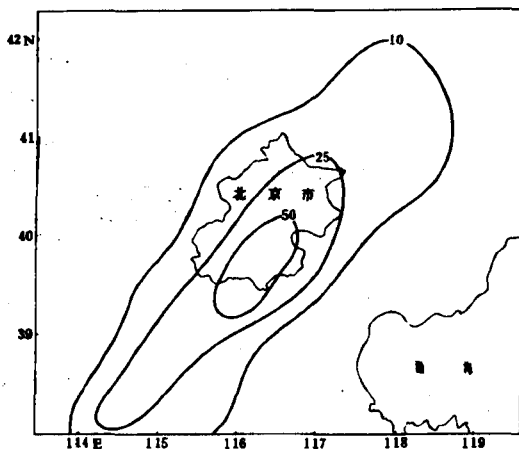


图1 三次暴雨24小时雨量合成图
(24小时雨量是当日08时至次日08时的雨量,单位为mm)

1991年12月18日收到,1992年2月10日收到修改稿。

• 本文由京津冀强风暴实验室提供资助。

2 高空槽及槽前云带对暴雨的影响

已往的研究指出^[1],影响夏季华北暴雨的天气形势有多种类型,最常见的类型之一是相伴有冷锋的高空槽。1990年京津冀这三次暴雨,降水时(北京时20时,下同)500hPa上河套地区有NE—SW向的高空槽,槽线与40°N线平均交于110°E,700hPa上槽线交于113°E。三次暴雨开始降水时有两次(8月1日,8月7日)并非槽前云系产生的,例如8月1日20时北京降水时槽前云带东部边缘离雨区约100km。暴雨降水开始前(08时)的形势如图2所示,700hPa上槽线与40°N线交于111°E,500hPa上槽线位于河套以西,槽前有NE—SW向的云带相配合,内蒙南部、山西省西部和陕北已有降水。从暴雨前后高空形势看,这三次暴雨都属于高空槽影响的暴雨。

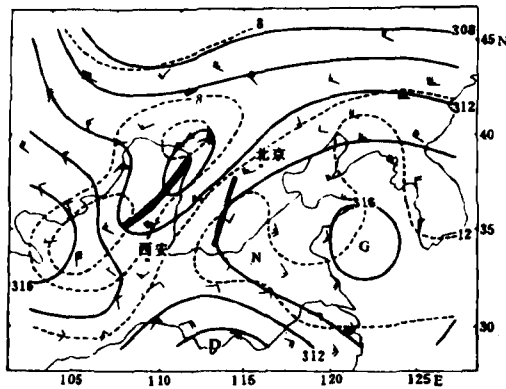


图2 1990年8月1日08时700hPa形势图

(图中单粗线为太行山脉所在位置)

历史资料统计表明,华北地区高空槽影响的暴雨,雨区多成带状。雨区的位置与高空槽的停滞位置有关,高空槽停滞位置偏西,暴雨区落在山西省和内蒙古,500hPa槽线位于105°—110°E时暴雨区落在河北省。预报京津冀地区未来是否有高空槽影响的暴雨,一般经验是看西来高空槽如何变化,何时影响该地区。1990年这三次暴雨的高空槽不易用天气图方法预报它的未来变化和移动。从8月1日和8月7日中午前后卫星云图(图略)的连续演变看,槽前云带的东部边缘既没有发展又没有向东移动,它只是沿着500hPa上槽前西南气流向东北方向滑去。这种情况一直维持到下午5时,而且云带已在陕西北部 and 内蒙古南部产生较大降水。因此,槽前云带能否影响京津冀地区产生暴雨,不能确定。

3 水汽能量条件

这三次暴雨,在降水前暴雨中心的西南方850和700hPa上都有一个高湿区(图略)。700hPa上的高湿区的比湿平均为8g/kg,此高湿区的下风方(即暴雨中心附近)有水汽辐合。水汽辐合主要出现在对流层的下层850—600hPa这个层次上。若将对流层水汽积累量累加起来,再换算成液态水,上述水汽辐合中心每小时有9mm厚的液态水积累量。

按照有效能量的观点,较大范围暴雨天气过程应是有效能量的积聚和释放过程。有关京津冀暴雨的有效能量情况,分析的还比较少。我们运用文献[2]给出的公式,计算了降水前和降水时的湿有效能量及其水平积累量。所用的公式如下:

$$A_{mk} = \frac{c_p}{g} NT_c, \quad (MAE)_1 = \int_{200}^{1000} A_{mk} dp$$

$$H_A = -\frac{c_p}{g} \nabla_p \cdot (NT_c \vec{V}), \quad N = 1 - \left(\frac{p_r}{p}\right)^{R/c_p}$$

$$T_c = T + \frac{L}{c_p} q$$

A_{mk} 称单位面积、单位厚度气块内的湿有效能量,简称湿-比有效能量。 $(MAE)_1$ 称单位面积气柱里的湿有效能量。 H_A 称湿有效能量的水平积累量。 N 为效率因子, p_r 为参考气压,其它为惯用符号。计算 A_{mk} 用的参考气压 p_r 是以北京为代表站计算出来的。

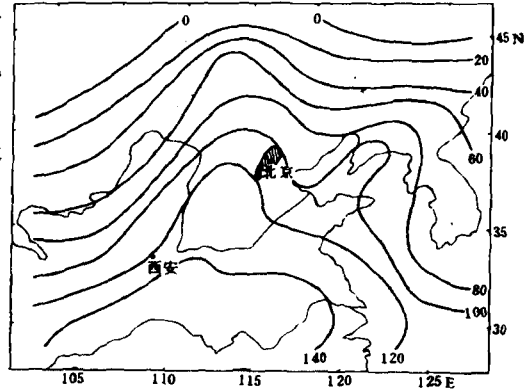


图 3 三次暴雨开始前(08时) $(MAE)_1$ 合成图
($(MAE)_1$ 单位为 $10^6 \text{J} \cdot \text{m}^{-2}$,图中阴影区为暴雨区)

图 3、4 给出了三次暴雨开始前(08时)湿有效能量分布情况和高低空偏南风急流的配置。从图 3 可见,京津冀高空槽暴雨降水开始前在雨区的西南方有高能舌存在。高能舌的西北方有能量锋区。能量锋在垂直方向上主要位于 800—400hPa 的对流层中层(见图 4a)。槽前云带和偏南风高空急流位于锋面之上(见图 4b)。高能舌所在位置有深厚正值能量层。正值能量层从地面向上伸展到 200hPa,在 高能舌 低层(能量最大的地方)有低空偏南风急流。

图 5 给出了 1990 年 8 月 1 日 08 时 $(MAE)_1$ 的水平积累量分布。从图可见,华北地区是能量的积聚区。在 高能舌 附近(参见图 3)有两个能量积聚中心,一个在暴雨区附近,另一个在暴雨区的上风方山西省中部。从 20 时的 $(MAE)_1$ 图(图略)可见,正是在这两个积聚中心处能量增加最显著。

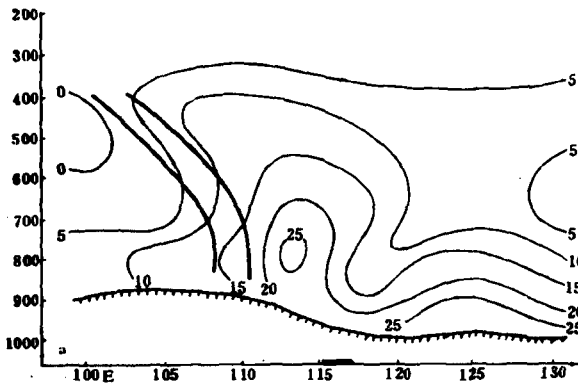
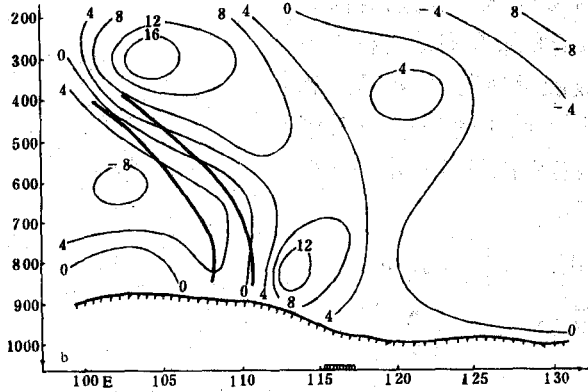


图 4 三次暴雨开始前 A_{mk} (a)和 v 分量(b)合成剖面图
(A_{mk} 单位为 $10^4 \text{J} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, v 单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,垂直剖面为 40°N)



续图 4

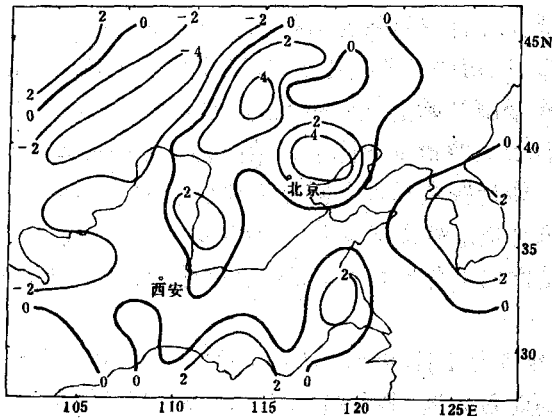


图 5 1990年8月1日08时(MAE)₁水平积累量图
(单位为 $10^4 \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)

4 暴雨的触发条件

从上面的分析可见,暴雨开始前京津冀地区水汽条件已具备,并出现了深厚的正值能量层。以往的研究表明,深厚正值能量层的出现是产生暴雨的重要条件^[3,4]。这时候能否产生降水,关键是有无触发条件。触发暴雨产生可以有很多种因素。由第二节分析表明,不能认为高空槽是降水的直接触发条件。我们认为下面这些因素可以说明暴雨产生的原因。

(1) 流场和温度场的适当配置产生锋生

三次暴雨过程开始前对流层中下层都存在锋生条件,其中有两处(8月1日、8月7日)华北地区是一个鞍型流场(见图2),700hPa上的鞍型场的中性点在豫陕交界处(西安附近),山西省到北京市处在一支出流轴上。此出流轴上气流辐合等温线密集具有很好的锋生条件。从能量的水平积累量图(图5)也可见,从西安到北京一线会有能量锋生。实际情况确实如此(见图6)。

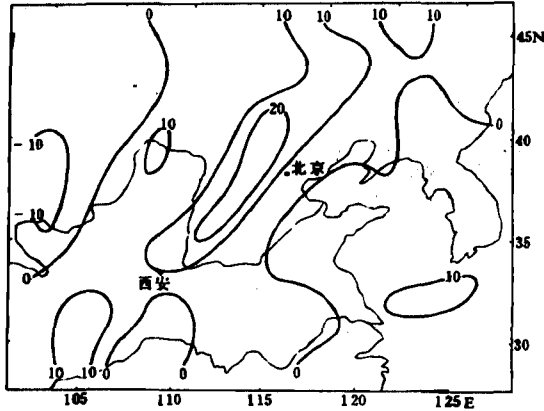


图6 1990年8月1日20时(MAE)₁ 纬向梯度图
(单位为 $10\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$)

(2) 太阳辐射使局地增温

山西省中部到北京市降水开始前有近 10 小时晴空时间,地表接收到的短波辐射比它西部槽前云带底下接收的辐射多,造成近地层东西温差加大,亦起到锋生作用。

此外,从卫星云图可见,西部槽前云带主要是层状云,并有较长时间降水。云下雨滴蒸发和地面雨水蒸发冷却也增加了东西方向的温差。现在已有人用数值方法证明了层状云下的雨滴蒸发冷却产生明显的锋生作用^[5]。

上述这两种非绝热加热的不均匀性会造成很大的水平温差。例如,8月1日14时,云带下地面温度一般比晴空地区低 10 度。两地间温度梯度超过了每百公里 5 度(图略)。这样强的温度对比,很容易形成中尺度垂直环流。晴空区的上升运动可以触发有效能量释放,产生积雨云和雷暴。

(3) 地形的抬升作用

从图 2 可见,在京津冀东南方的对流层低层流场是以黄海为中心的反气旋环流,环流的西南部的偏东气流几乎与太行山山脉正交。从三次暴雨开始前东西风分量合成图(略)亦可清楚看到,在太行山南部东侧对流层低层有较强的偏东风。

上述三种触发条件最强的地方与 08 时能量舌和 20 时能量锋区相叠置,并位于 08 时南部能量积聚高值中心附近。从卫星云图的连续演变看,正是在南部能量积聚高值中心附近首先出现了对流云团。此对流性云团在高空槽前云带之东约 100km 处。云团一旦产生便在高能舌中发展,在西南气流引导下向东北方移动到北部能量积聚高值中心附近,从而在那里产生了暴雨。

5 京津冀高空槽暴雨预报条件

综合分析,并利用文献[2,3,4]的结果,归纳出京津冀高空槽暴雨预报条件。北京市高空槽暴雨概念预报模式如图 7 所示,具体条件主要有三条:

(1) 暴雨降水开始前 10 小时左右(以下简称降水前)河套地区有高空槽,500hPa 上的

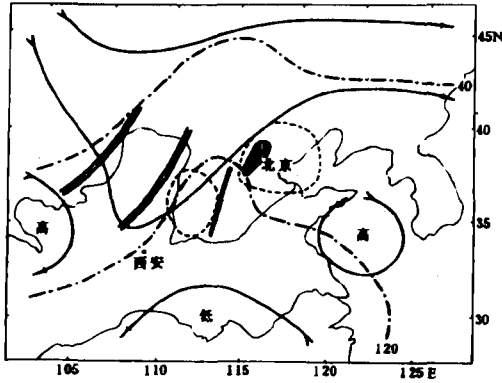


图7 北京暴雨预报模式之一

(阴影区为暴雨区,其余为降水开始前10小时的700hPa形势和物理量条件.双细线为500hPa槽线,点划线为等(MAE)₁线,点线内为(MAE)₁积聚区)

槽线约在106°E,槽前有大尺度上升运动区。地面有冷锋相配。

(2)降水前对流层低层华北东部属于黄渤海为中心的反气旋环流的外围区。黄渤海反气旋环流、兰州反气旋环流、河套高空槽和江南低压环流构成了鞍型流场。鞍型流场中的中性点在豫陕交界处。

(3)山西和河北省中南部,降水前有高能舌存在。高能舌的(MAE)₁数值大于 $120 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 。山西省西部有NE—SW向能量锋区。山西省中西部和北京市附近有(MAE)₁的水平积聚,能量积聚中心数值大于 $10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

符合上述条件者,约10小时后北京市开始降水,产生暴雨。暴雨中心在北京市。

上述三条,若(1)、(3)条满足,第(2)条中黄渤海地区不存在反气旋环流,而是大片西南风,约10小时后京津冀地区开始降水,暴雨中心位置偏东,暴雨区主要落在天津市和河北省的东北部(图略)。

1991年我们利用本文总结出的暴雨预报条件在京津冀强风暴实验室试验。在7月20日到8月15日值班期间共有三个时次资料符合预报条件,预报了暴雨。预报结论及实况请参见附表。整个值班期间没有空报和漏报,准确率为100%。

附表 1991年京津冀高空槽暴雨预报试验结果

主要资料 时间	预 报 结 论	预报结论 公布时间	实 况		
			最大降水量	暴雨站数*	降水主要时段
7月21日08时	京津冀地区 今夜有大一暴雨	16:30	118mm	17(4)	20:00 —08:00
7月27日08时	京津冀地区 今夜有大一暴雨	16:30	161mm	22(12)	02:00 —08:00
8月14日08时	北京地区 今夜有大一暴雨	16:30	149mm	8(7)	20:00 —02:00

*括弧里的数字为北京地区的站数

参 考 文 献

- 1 陶诗言等. 中国之暴雨. 北京:科学出版社,1980. 115—121.
- 2 吴宝俊. 湿有效能量概念和方法简介. 湿有效能量应用文集. 南宁:广西人民出版社,1985. 1—15.
- 3 吴宝俊. 湿有效位能及其在暴雨分析和预报中的应用,气象,1982,第11期,4—7.
- 4 刘延英,孙建. 一次暴雨过程的湿有效能量收支分析. 湿有效能量应用文集. 南宁:广西人民出版社,1985. 16—23.
- 5 Nagata, M., and Ogura, Y. A modeling case study of interaction between heavy precipitation and a low-level jet over Japan in the Baiu season. *Mon. Wen. Rev.*, 1991, **119**:1309—1336.

AN ANALYSIS OF THREE CASES OF HEAVY RAINS IN JING-JIN-JI AREA OF CHINA IN 1990

Liu Yanying Xu Chenhai Wu Baojun

(*Chinese Academy of Meterological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

In this article, three cases of heavy rains which occurred in the Jing-Jin-Ji area of China have been analysed. The results show: 1. These heavy rains are affected by the upper trough with cold front. 2. Ten hours before the rains there exist high energy tongues of moist available energy in the southwest of the rain area and the convergence of energy and vapor in the north and west of the high tongues. 3. The frontogenesis of the lower troposphere and the lifting role of the mountain are the direct triggering mechanisms.

Key words: Heavy rain; Upper trough; Moist available energy.