

中尺度暴雨云团发生发展前的一些征兆¹⁾

许晨海 吴宝俊 刘廷英

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

利用湿有效能量方法找出了盛夏午后北京地区中尺度暴雨云团发生发展的一些征兆:(a)北京地区已贮存着大量能量;(b)湿有效能量正在北京地区积聚;(c)低层流场结构有利于出现强迫抬升;(d)北京地区与河套地区之间午后将出现非绝热加热形成的巨大水平温差。

关键词: 中尺度云团 暴雨 湿有效能量

引 言

1990年8月1日17—22时(北京时,下同)北京地区出现过一次暴雨过程(图1)。从卫星云图看,它是由出现在北京西南方的3块小云团发展、合并形成的中尺度暴雨云团所致。

见,但其中有些能发展成中尺度暴雨云团,有些则不能,显然,这是一个值得研究的问题。本文利用湿有效能量方法找出了暴雨云团发生发展前的一些征兆,旨在为中尺度云团分析预报增添一种新手段,并拓宽湿有效能量应用领域。

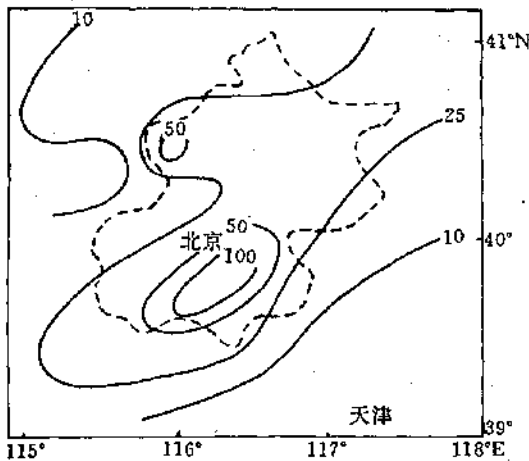


图1 8月1日08时—20日08时雨量图(单位: mm)

经验表明,在盛夏季节的午后,北京西南方出现几块回波或几块小云团的情况并不少

1 中尺度暴雨云团发生发展过程

在08时30分卫星云图上(图2a),河套地区有一条SW—NE走向的云带,而北京附近是晴空区。15时前后,虽然北京地区仍维持晴空,但在少动的河套云带前方山西省的五台山、和顺及长治出现了呈S—N向排列的3块小云团(图2b)。图1所示暴雨过程,就是它们发展合并移到北京地区后形成的。

由每小时一次的卫星云图(图略)及中尺度暴雨云团沿39°N的时-空演变(图3)看出:15时30分左右中尺度云团生成后,不断向东北移动,云罩面积逐渐扩大,大约在17时前后,云团东缘接近北京地区,19时30分—20时30分,云团中心位于北京地区上空,22时30分前后,中尺度云团消亡。

前曾述及,这次暴雨出现在17—22时。

1) 本文由八五国家攻关项目“85-906-08”课题资助。

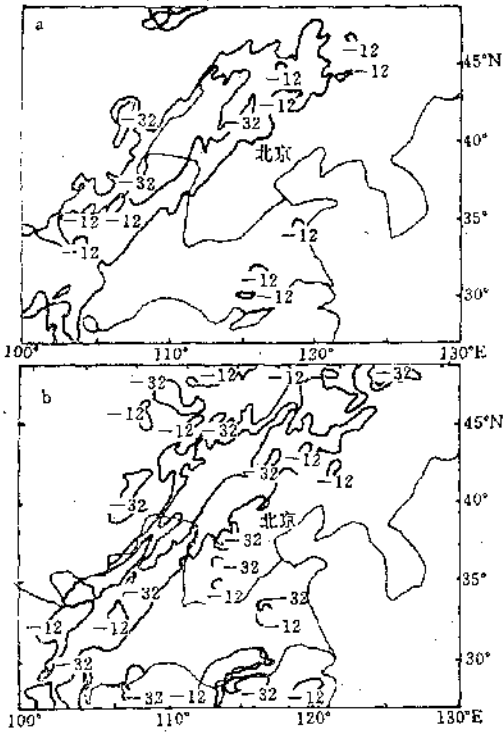


图2 红外卫星云图(单位:°C)
a:8月1日08时30分
b:8月1日15时30分

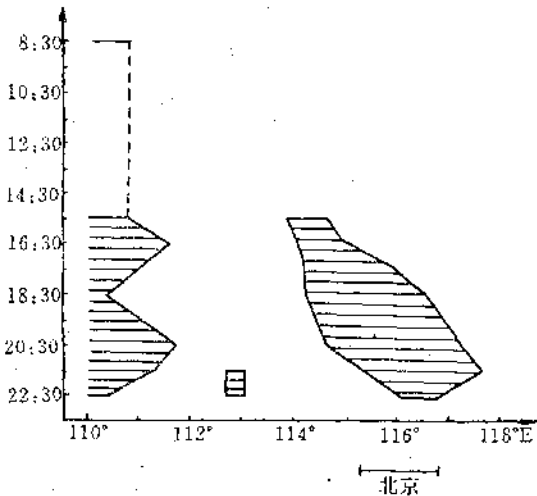


图3 中尺度云团移过北京前后沿 39°N 时空演变图
阴影区为云顶温度 < 32°C 的区域

对照图 3 发现,这恰是中尺度云团接近和位于北京地区上空的时段,这可被看作这次暴雨是由“中尺度云团引起”的论据。

2 云团产生前(08 时)湿有效能量贮存情况

正如文献[1]所指,在大面积降水中,尤其是暴雨区,最好用湿有效能量来研究。本文中尺度暴雨云团,故可照此思路进行。

已有的研究表明^[2],单位截面积气柱里的湿有效能量 $(MAE)_1$,可以表示能量贮存情况,其计算公式如下:

$$A_{ms} = \frac{c_p}{g} N T_e, (MAE)_1 = \int_{200}^{1000} A_{ms} dp,$$

$$N = 1 - \left(\frac{p_r}{p}\right)^{K/c_p}, T_e = T + \frac{L}{c_p} q \quad (1)$$

式中, A_{ms} 称湿比有效能量; $(MAE)_1$ 称单位气柱里的湿有效能量; N 为效率因子; p_r 为参考气压,余为惯用符号。

由 1990 年 8 月 1 日 08 时 $(MAE)_1$ 形势图(图 4)看出,有一条 $(MAE)_1 \geq 100 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 、近于 SW—NE 走向的高能带经过北京,北京附近有一个 $(MAE)_1 \geq 130 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 的高能中心。

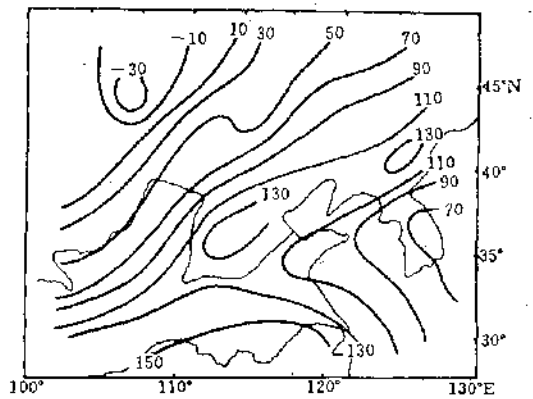


图4 8月1日08时 $(MAE)_1$ 形势图(单位: $10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$)

已有的研究表明^[2],绝大多数大面积暴雨,是在 $(MAE)_1 \geq 100 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 的情况下发生的。图 4 表明,1990 年 8 月 1 日 08 时北京地区具备该条件。

不难算出,上述 $(MAE)_1 \geq 100 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 相当于在 $100\text{km} \times 100\text{km}$ 面积上贮存着 $1.0 \times 10^{18} \text{ J}$ 的能量。由附表可见^[3], $1.0 \times 10^{18} \text{ J}$ 相当于一年的可利用的潮汐能,比1个巨型氢弹爆炸释放的能量大1个数量级,比全人类一年食物所含能量大9个数量级。

附表 能量数量级

形式	能量/J
超新星	10^{43}
太阳一年的辐射	10^{34}
地球的内部热	10^{31}
地球的自转	10^{29}
海洋中轴的裂变反应	10^{26}
太阳一年到达地球的辐射	10^{26}
所有的矿物燃料资源	10^{23}
一年海产生物量的增长	10^{21}
火山爆发	10^{19}
一年可利用的潮汐能	10^{18}
巨型氢弹	10^{17}
一千克 ²³⁵ U	10^{14}
闪电瞬间	10^{10}
一年人类的食物	10^5

由以上讨论可以认为,在中尺度暴雨云团即将发展地区贮存着大量湿有效能量。

3 云团产生前(08时)湿有效能量积聚情况

湿有效能量水平积聚量 H_A 的计算公式为

$$H_A = - \frac{c_p}{g} \nabla P \cdot (NT, \vec{V}) \quad (2)$$

表示单位时间、单位截面气柱中积聚的湿有效能量,故又称 $(MAE)_1$ 水平积聚量。

由1990年8月1日08时 $(MAE)_1$ 水平积聚量分布图(图5)看出,在图4高能带附近,有两个能量积聚中心,一个在北京市附近,一个在河套附近(图5)。将同时段500hPa流线图(图6)与图5对照后发现,高能带处于SW与SE两支气流汇合区中,能量积聚

中心处于高能中心下风方。

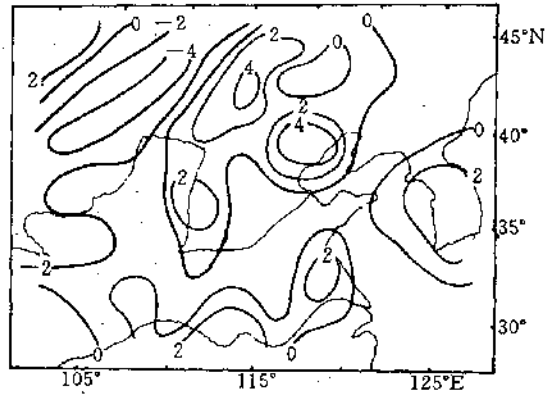


图5 8月1日08时 $(MAE)_1$ 水平积聚量图

以上讨论表明,在中尺度暴雨云团即将发展地区,能量正在积聚。

4 湿有效能量释放的触发条件

只有在一定的触发条件下,大气中贮存积聚的有效能量才能释放出来,形成中尺度暴雨云团等天气现象。这次暴雨云团触发条件有:强迫抬升与非绝热加热不均匀性造成的巨大水平温差。

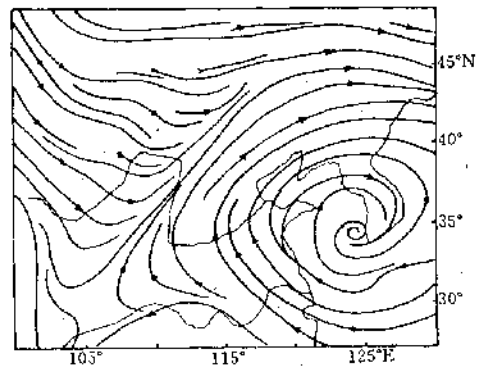


图6 8月1日08时500hPa流线图

4.1 强迫抬升

1990年8月1日08时700与850hPa形势图上(图略),在京津冀的东南方是以黄海为中心的反气旋环流。而在同时刻的 $\partial(MAE)_1/\partial y$ 形势图上(图略),北京西缘有

一条SW-NE走向的锋区,上述对流层低层气流,将被其强迫抬升。

4.2 非绝热加热不均匀性形成的水平温差

4.2.1 太阳短波辐射作用

从晋中—北京市的广大地区,暴雨云团产生前有近10小时为晴空时间,地表接受到的短波辐射比它西部槽前云带下面接受的辐射多,形成了东西方向上的巨大温差。

4.2.2 雨滴蒸发作用

从卫星云图可见,西部槽前主要是层状云,并有较长时间的降水,云下雨滴蒸发与地面雨水蒸发冷却也增大了东西方向上的温差,正如近年有人用数值方法证实的那样^[4]。

上述两种非绝热加热的不均匀性可造成很大的水平温差。8月1日14时前后,槽前云带下地面温度比东部晴空区一般低10℃左右。两地间水平温度梯度数值可达5℃/100km,如此强的水平温度对比,极易形成中尺度环流,触发有效能量释放,产生中尺度云团。

以此个例分析结果作为引导,在众例分析(合成分析)基础上^[6],并利用文献[2,5]的结果,我们归纳出了北京市高空槽概念模式,并于1991年7月20日—8月15日在京津冀强风暴试验室试报,取得了较好的效果^[6]。

参考文献

- 1 丁一汇. 天气动力学中的诊断分析方法. 北京: 科学出版社, 1989: 192.
- 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 M. 库尼汉. 能源辞典(王永发译). 北京: 冶金工业出版社, 1989: 55.
- 4 Nagata, M. and Ogura, Y., A modeling case of interaction between heavy precipitation and low-level jet over Japan in the Baiu season. Mon. Wea. Rev., 1991, 119: 1309—1336.
- 5 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.
- 6 刘延英, 许晨海, 吴宝俊. 1991年京津冀三次暴雨的分析. 应用气象学报, 1993, 4: 349—355.

A Few Signs of Occurrence and Development of Meso-scale Cloud Cluster Accompanied by Heavy Rainfall

Wu Baojun Xu Chenhai Liu Yanying

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

A few signs of occurrence and development of meso-scale cloud cluster accompanied by heavy rainfall during midsummer afternoon over Beijing area had been found by the use of the moist available energy method. They are as follows: a) a lot of moist available energy was already stored up over Beijing area; b) the moist available energy is being accumulated over Beijing area; c) the flow pattern in the lower troposphere is favourable for the occurrence of the forced lifting; d) there will be a larger temperature contrast, which results from diabatic heating process, in the area between Beijing area and the bend of the Yellow River in the afternoon.

Key Words: meso-scale cloud cluster heavy rainfall moist available energy