

# 一次中尺度天气过程中<sup>1)</sup> 湍流特征分析

蒋瑞宾 朱 平 王邦中 杨志勇

(北京气象学院, 100081)

## 提 要

对1990年8月7日在北京通县地区所发生的一次中尺度天气过程中湍流场的变化进行了分析。结果表明,在中尺度天气发展过程中,近地层的湍流参数有明显的变化,从而证明了局地的输送对强对流天气的发生有促进作用。同时看出,中尺度天气过程的侵入会使局地湍谱发生明显的改变。

**关键词:** 中尺度过程 潜热 显热 湍谱

暴雨是一种中小尺度天气现象,其降水集中,强度大。短时的大风、阵雨往往会造成严重的灾害,危及人们的生命财产安全,所以对中小尺度天气过程发生发展的研究人们十分重视。

70年代以来,随着各类遥感气象观测仪器的发展与应用,不仅能测得大气中风、温、湿的垂直结构,而且可以得知云中粒子的运动状态,提供中尺度系统时空结构特征。近十几年来,随着各种中尺度观测实验的开展及各个中尺度天气基地的建设,不仅在中尺度天气的动力学理论及动力分析方面取得了很大的成就,而且在中尺度数值模拟及预报方面也有了相当大的进展。但由于对边界层现场探测资料的缺乏,对于中小尺度天气发展机制中的湍流特征及近地层的输送作用研究很少。本文根据1990年8月7日在北京地区所发生的一次强对流天气过程,结合当时在通县气象站设点探测所取得的近地层湍流场

资料和本站常规气象观测资料,对该过程中的湍流方差、湍谱及通量等变化进行了计算与分析,为对中小尺度天气的结构研究、数值模拟边界层参数化及农业生产等提供参考。

## 1 资料来源与处理

本文所用资料取自1990年8月在通县气象站设点探测所测得的强对流天气过程中的现场观测资料。通县气象站位于北京市东部约25km处,四周较平坦,测点的东、南、西面为农田,北面有一两层楼的工作室。地形为平坦的平原地形。湍流场的探测采用日产超声风温仪和国产三轴风速仪,分别安装在30m、20m和10m高度的铁塔上。每间隔3小时采样一次,采样时间为1小时。当有天气系统过境时则连续采样。由计算机控制采样系统,并将原始电压信号转换成 $u$ 、 $v$ 、 $w$ 和 $T$ 值。资料处理中开始对原始数据剔除野点,再进行坐标转换,计算出主导风向和风速,求取 $\bar{u}$ 、 $\bar{w}$ 和 $\bar{T}$ ,从而求得 $u'$ 、 $v'$ 、 $w'$ 和 $T'$ 。

1) 中科院大气边界层物理和大气化学国家重点实验室资助项目

依上述资料计算以下参量<sup>[1]</sup>;

湍流分量方差:

$$\begin{cases} \sigma_u = (\overline{u'^2})^{1/2} \\ \sigma_v = (\overline{v'^2})^{1/2} \\ \sigma_w = (\overline{w'^2})^{1/2} \end{cases} \quad (1)$$

湍流强度:

$$\begin{cases} i_u = \frac{(\overline{u'^2})^{1/2}}{\bar{u}} \\ i_v = \frac{(\overline{v'^2})^{1/2}}{\bar{u}} \\ i_w = \frac{(\overline{w'^2})^{1/2}}{\bar{u}} \end{cases} \quad (2)$$

湍流动量通量,采用涡旋相关法:

$$\begin{cases} \overline{w'v'} = \frac{1}{t} \int_0^t w'(t)v'(t)dt \\ \overline{w'u'} = \frac{1}{t} \int_0^t w'(t)u'(t)dt \end{cases} \quad (3)$$

总动量通量:

$$\overline{W'V'} = \sqrt{(\overline{w'u'})^2 + (\overline{w'v'})^2} \quad (4)$$

用快速付里叶变换(FFT)计算功率谱<sup>[2]</sup>。

根据地面能量平衡方程及所取得的辐射和土壤温度资料,采用 Penman-Monteith 方法计算潜热(EL)和显热(EH)通量<sup>[3]</sup>,其计算公式为:

$$\begin{cases} EL = \frac{\gamma S_{cc}(-R_n + E_g) + F_w}{x_G S_{cc} + \gamma} \\ EH = \frac{\gamma(-R_n + E_g) - F_w}{x_G S_{cc} + \gamma} \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $R_n$  为地面向上净辐射,  $E_g$  为土壤热通量,  $S_{cc} = dq_s/dT$  即饱和比湿随温度的变化,  $\gamma = Cp/L$ ,  $x_G$  取 10m 高度处的相对湿度,  $F_w = C_E \bar{M}(x_G - x_g)q_s$ , 其中  $x_g$  为 30m 高度处的相对湿度,  $\bar{M}$  为平均风速,  $C_E = 0.02$ 。

## 2 中尺度天气过程中湍流场特征

1990年8月7日上午为晴天,11时本站上空开始有积雨云发展,12时25分开始有

小阵雨,时降时停。15时35分出现强雷暴并伴有大风和阵雨,至18时50分阵雨停,而后有零星小雨。从14时至20时降水量为40.7mm。北京地区24小时雨量分布如图1所示。由图1看出,本次降水过程主要分布在北京的东北和东部,通县为一降水中心。本次降水时间主要集中在下午至傍晚,降水持续了3个多小时。在强雷暴并伴有阵雨的半小时左右的时间内,气温下降3℃,气压没有突变,最为明显的是风向的切变和风速的突然增大。该日强降水前一直为东南偏东风,15时10分转为偏北风,10分钟平均风速达  $8m \cdot s^{-1}$ ,大风持续了半小时以后减弱。由以上特征表明本次过程为一次中尺度天气系统活动。同时,诊断分析也表明本次强对流天气产生的机制是低空切变线活动,由于气流辐合,低空的增暖增湿,能量累积,形成中尺度云团而产生降水。

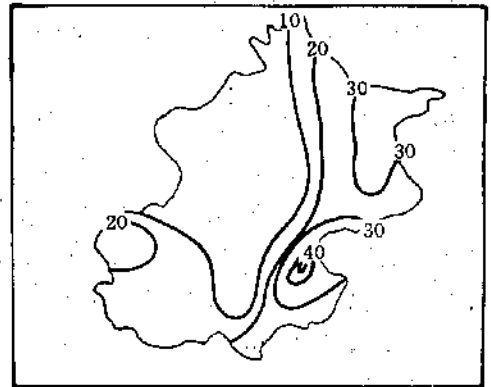


图1 1990年8月7日08时至8日08时北京地区雨量分布图(mm)

为了揭示中尺度天气过程中近地面湍流场结构特征,我们对雷雨前后有关湍流参数及输送情况进行了分析,从而看出,中尺度过程中湍流场的变化及近地面层的输送对云团发展的促进作用。

### 2.1 近地层的潜热和显热

图2描绘了8月7日通县地区潜热和显热的日变化情况(实线)及本月上旬平均日变化(虚线)。由图看出该日白天(6时至18时之前)潜热大于显热,尤其是中午前后两者差距很大。同时看出,不论是潜热或是显热该日白天的值均大于旬平均值。

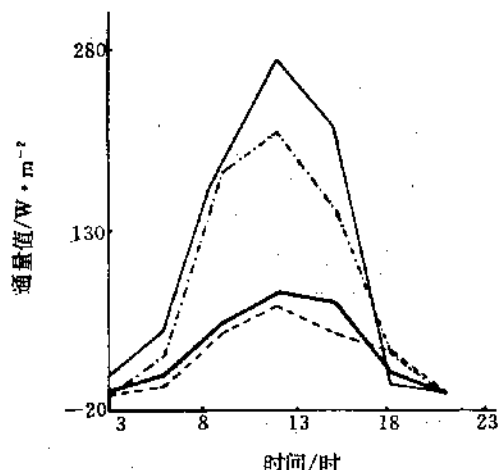


图2 1990年8月7日潜热通量和显热通量的日变化及上旬平均  
 细实线、粗实线分别为潜热通量、感热通量日变化,点划线、断线分别为潜热通量、感热通量上旬平均

附表列出了潜热和显热旬平均值的标准差与该日9、12、15时的距平值。由表也看出,该日中午前后潜热和显热距平值大于旬标准差的平均值,表明该日中午前后,雷雨之前,近地层有大量的水汽和热量向上输送,这一作用不仅为对流云的发展提供了水汽和能量,而且使低层空气增暖、增湿,使不稳定能量增加,是产生或加强强对流天气的重要因素。

附表 旬平均标准差(a)与日距平(b)对比

时间/时		9	12	15
潜热	a	42.7	37.3	28.4
	b	48.6	82.6	53.2
显热	a	9.2	11.9	15.7
	b	13.5	14.9	19.5

## 2.2 湍流分量方差

图3描绘了雷雨前后湍流分量方差和总动量通量随时间的变化。由图看出,3个方向的方差和动量通量在降水之前半小时左右突然增大,从14时45分至15时30分达最大值(一般日变化为12时至14时左右达最大值),在降水开始一段时间后各量均又减小。表明雷雨开始之前系统侵入本区,使湍流加强。从而可以根据湍流场的加强,方差的突然增大来判定系统侵入的时间。同时可知,湍流输送的增加会使局地对流加强。阵雨开始一段时间后该系统减弱,相应地表现出湍流场也随之减弱。由图同时看出,水平方向的方差大于垂直向方差,且u方向方差减小比v和w方向落后。表明该系统并非各向同性,水平向湍能比垂直向大,在系统减弱时,顺风向相应的要慢一些。根据计算,湍流强度的变化趋势与方差大体一致,但其量值变化小于方差。

## 2.3 湍谱分析

为了从湍能分布中看出中尺度天气过程中湍谱特征,分别对过程中不同时间的湍谱进行了分析。图4a、b、c分别描绘了13时、15时和18时的u、v、w谱曲线。由图看出,不论是u、v或w15时的谱线均在13时和18时的上面;u、v谱曲线在低频端峰值明显增大;垂直方向谱曲线的能量面积明显大于水平方向。以上特征表明,系统过境时,总湍能增大。同时说明过程对水平方向湍能的贡献大于垂直方向。以上对方差和湍强的分析也说明了这一特点。图4d为8月7日13—22时连续10小时的功率谱分布,由图看出,在频率为 $10^{-4}$ — $10^{-3}$ 之间水平谱线出现了峰值,该频段能量增大,这表明有一经历3小时左右尺度的系统活动,这正好与当天下午的强对流天气过程相对应。

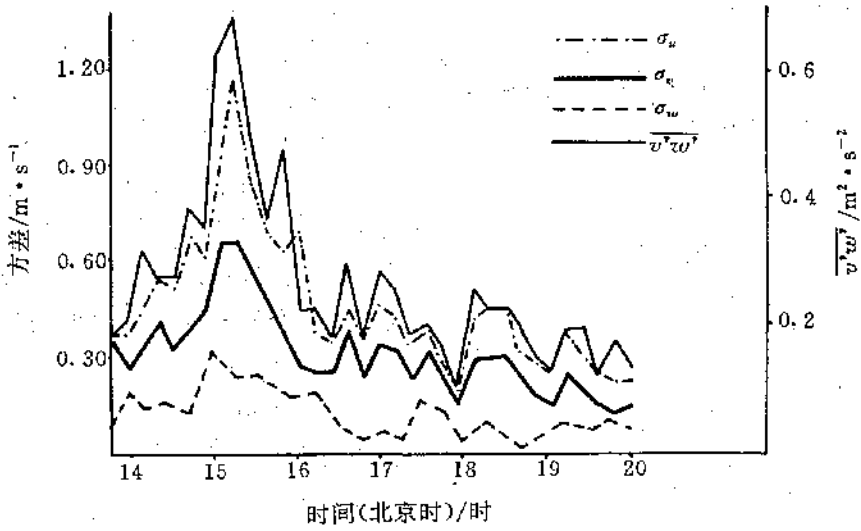


图3 1990年8月7日雷雨前后湍流方差和动量通量的演变

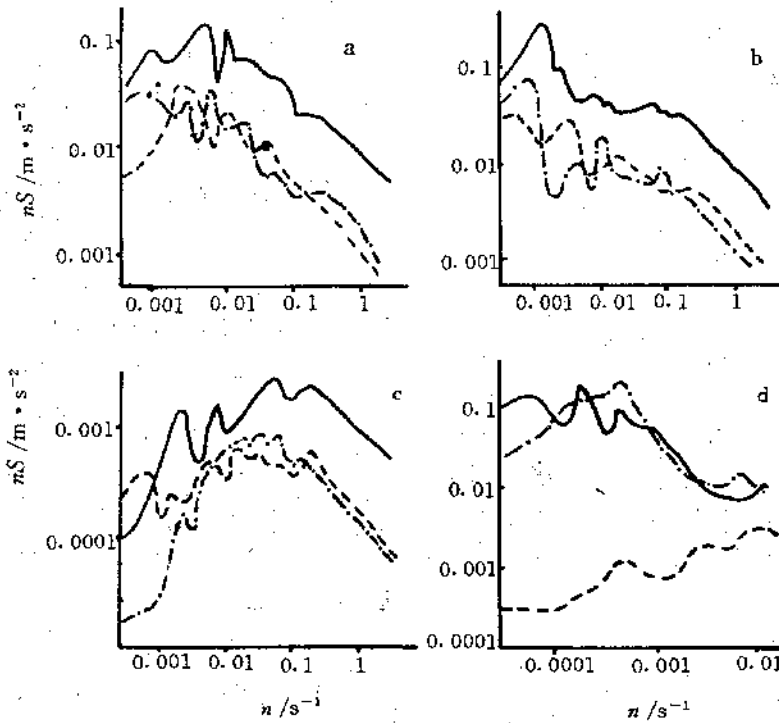


图4 不同时间  $u$ (a)、 $v$ (b)和  $w$ (c)的谱分布及13—22时的功率谱分布(d)

实线:15时 虚线:13时 点划线:18时

### 3 结论

1990年8月7日下午在北京通县地区由于切变线活动形成了强对流天气,伴有雷暴大风和降水。在此过程中湍流场也表现出明显的特征。

3.1 强对流天气发生之前,本地区的潜热和显热输送较大,为对流云的发展提供了水汽和能量,促使降水加大。

3.2 雷雨前半小时左右,本地区湍流明显加强,表现出湍流方差、湍流强度及湍流动量通量突然加大,雷雨开始一段时间后,以上湍流参数随之逐渐减小。

3.3 中尺度天气系统过境时,在湍谱曲线的

相应频段有明显的峰值出现。对比雷雨前后谱曲线的变化发现,系统活动时,水平及垂直向的谱曲线含能量大于系统入侵前和消散后的含能量。并且在雷雨时,垂直向的湍谱曲线含能量小于水平向的含能量。

### 参考文献

- 1 Arya, S. P. S, Parameter relations for the atmospheric boundary-layer, *Boundary-layer Metero*, 1984, 30, 57—73.
- 2 J. C. Kaimd et al. Spectral characteristics of surface layer turbulence. *Q. J. R. Met. Soc.* 1972, 98, 563—589.
- 3 王邦中, 蒋瑞宾. 北京通县地区夏季地面能量平衡计算. *北京气象学院学报*, 1993年, 第1期.

## Analyses of Turbulent Characteristics during the Process of a Mesoscale System

Jiang Ruibin Zhu Ping Wang Bangzhong Yang Zhiyong

(Open Laboratory of the Chinese Academy of Sciences, Beijing Meteorological Institute)

### Abstract

The change of the turbulent fields during a mesoscale system which occurred on August 7, 1990 in Tongxian, the suburb of Beijing is analyzed. The results show that during the development of mesoscale system the turbulent parameters in the surface layer changed significantly. The local turbulent transportation accelerates the development of mesoscale system in some respects, and besides the local turbulent spectra have some obvious variations during the incursion of mesoscale systems.

**Key Words:** mesoscale system latent heat sensible heat turbulence spectrum