

# “94·7”北京大暴雨的能量锋及能量锋生

周文吉 李青春 陆 晨

(北京市气象科学研究所, 100081)

## 提 要

首先利用湿静力温度  $T_s$  分析了 1994 年 7 月 12—13 日北京地区台风低压和西来槽共同影响的强降水过程的能量场, 其次利用能量锋锋生方程组, 并进行能量锋锋生分析。结果表明: 此次降水过程对流层低层对应有明显的  $T_s$  水平能量锋区, 且  $T_s$  能量锋区与同时次 6 小时降水相对应。能量锋生方程组计算出的  $T_s$  水平锋生是地转变形项和倾斜项共同作用的结果, 而  $T_s$  垂直锋生主要是倾斜项的作用。同时, 水平锋生对降水具有指示意义。

关键词: 暴雨 能量锋 动力锋生

## 引 言

1994 年 7 月 12—13 日, 北京及河北普降大雨, 这次过程主要是北上的台风低压及西来槽共同作用的结果, 7 月 12 日 20 时—13 日 08 时雨量达最大。我们将湿湿特征量  $T_s$  作为诊断量, 同时根据能量天气学中“在暴雨区及其邻近地区, 对流层中低层存在明显的能量锋区”和强风暴天气系统中低层一般存在有湿舌或强水汽辐合等发生天气的条件<sup>[1]</sup>, 我们用改进的能量锋生方程组作这次台风降水过程的动力分析<sup>[2]</sup>。

## 1 台风降水过程的能量诊断

### 1.1 能量锋的湿湿特征

利用 1994 年 7 月 12 日 08 时、20 时和 13 日 08 时三个时次的资料, 计算了湿湿特征量  $T_s$ , 资料取自 MM4 的客观分析场, 水平网格  $31 \times 31$ , 格距 45km, 垂直 10 层。

在 850hPa  $T_s$  图上, 能量锋区在 12 日 20 时增强, 13 日 08 时又减弱。同时存在高能舌, 中心最大值 12 日 08 时为  $72^\circ\text{C}$ , 且偏南在滁县、南京附近; 到了 12 日 20 时高能舌范围向北扩展, 中心最大值达  $76^\circ\text{C}$ , 在徐州附近; 13 日 08 时, 中心最大值减小到  $72^\circ\text{C}$ , 位

置不变。为了进一步了解  $T_s$  能量锋区在分析中的意义, 将 850hPa 位温场  $\theta$  与  $T_s$  场比较 (见图 1) 可见:  $\theta$  场分布均匀, 没有等  $\theta$  密集带, 因此  $T_s$  高能舌主要是湿舌, 能量锋区的位置主要是水汽辐合的位置。另外, 图 1 中阴影部分是同时次前 6 个小时的降水区位置。由图可见: 降水区的位置与高能舌前方能量密集区相对应, 因此可以说能量锋区可近似表示同时次降水区的大致位置。

### 1.2 低空急流的作用

在计算区域中, 850hPa 风场上前两个时次均存在低空急流 (图略), 12 日 08 时急流中心在上海附近, 12 日 20 时急流中心在南京附近, 中心风速最大值  $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由图 1 湿湿特征场可见: 低空急流可通过低层暖湿平流的输送产生位势不稳定层结, 与图 1 比较, 在急流最大风速的前方及气旋中心有明显的能量聚集。同时, 急流造成的低空辐合区又是已存在的不稳定释放的机制, 而且上升运动也使位势不稳定得以释放, 因此急流与降水也有对应关系。

### 2 动力锋生方程组

用  $T_s$  代替经典动力锋生方程组中的  $\theta$ ,

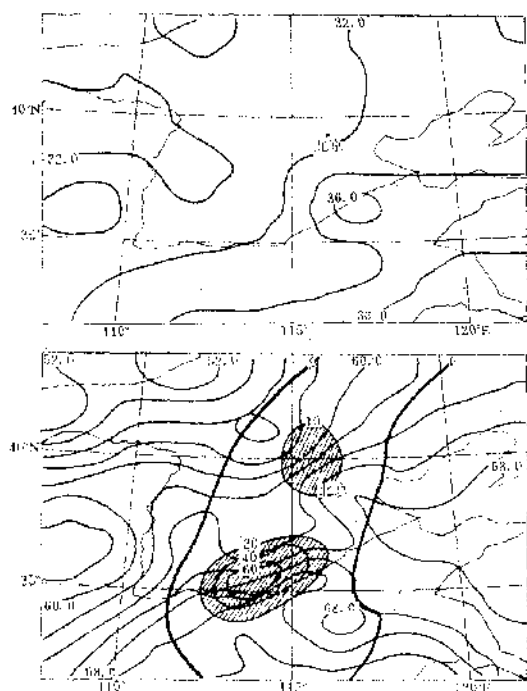


图1 1994年7月12日08时850hPa  $\theta$ (上)和  $T_e$ (下)分布图

按湿静力温度守恒,推导出:

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{\partial m}{\partial y} \right) = -J_{yp}(m, \omega) - \frac{\partial^2}{\partial y \partial p} (\overline{u' v' \omega'})$$

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{\partial m}{\partial p} \right) = J_{xp}(u_k, v_g)$$

$$+ J_{yp}(m, v_a) - \frac{\partial^2}{\partial p^2} (\overline{u' v' \omega'})$$

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{\partial T_e}{\partial y} \right) = -J_{ey}(u_k, T_e)$$

$$- J_{yp}(T_e, \omega) - \frac{\partial^2}{\partial y \partial p} (\overline{T_e' \omega'})$$

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{\partial T_e}{\partial p} \right) = J_{xp}(T_e, v_a)$$

$$+ r J_{ey}(T_e, \theta) - \frac{\partial^2}{\partial p^2} (\overline{T_e' \omega'})$$

$$\text{其中: } r = \frac{R}{f p_0} \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\epsilon_1/\epsilon_2},$$

$$J_{xp}(\alpha, \beta) = \frac{\partial \alpha}{\partial y} \frac{\partial \beta}{\partial p} - \frac{\partial \alpha}{\partial p} \frac{\partial \beta}{\partial y}$$

### 3 1994年台风暴雨过程的动力分析

#### 3.1 锋面次级环流

锋面次级环流的研究是十分重要的,因为这种稳态的垂直环流不仅涉及到锋系的基本动力学问题,而且也是中尺度对流系统,尤其是中尺度雨带的一种启动机制。强烈的锋面天气并不是产生在锋面的所有部位上,而主要出现在垂直环流圈的上升支。因为水平无辐散的主环流可强迫出次级环流,即出现水平和垂直速度分量。又因次级环流可通过产生次级垂直变形  $J_{yp}(T_e, \omega)$  加快或降低锋生速度,因此次级环流问题与锋生动力学是密切联系在一起的。

由计算可见:在过北京的南北向垂直剖面上,锋面次级环流的上升支北部都有一个锋面次级环流,由于篇幅所限,仅给出13日08时剖面图(图2)。

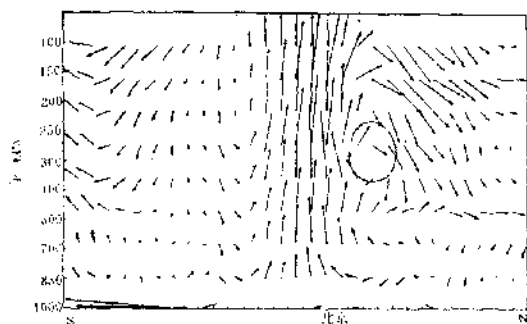


图2 1994年7月13日08时南北向二维环流图

#### 3.2 过程的锋生特征

##### 3.2.1 $T_e$ 水平锋生

图3给出了850hPa  $T_e$  水平锋生图。由图可见:  $\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_e}{\partial y} \right) < 0$  区为锋生区,与一般的锋生不同,  $T_e$  能量锋生在非常规锋面天气情况下,地转变形项有时与倾斜项具有同样重要的作用。同时与图3对比可见,锋生最大区均在上升区,说明地转变形项和倾斜项的叠加作用强迫了锋生环流,且上升运动的加强又反过来加大了锋生作用  $\left[ \left( \frac{\partial T_e}{\partial y} \right) \left( \frac{\partial \omega}{\partial p} \right) \right]$ 。

##### 3.2.2 水平锋生对降水的指示意义

由于降水与垂直运动有着密切关系,同时垂直运动也是不稳定释放的触发机制,因

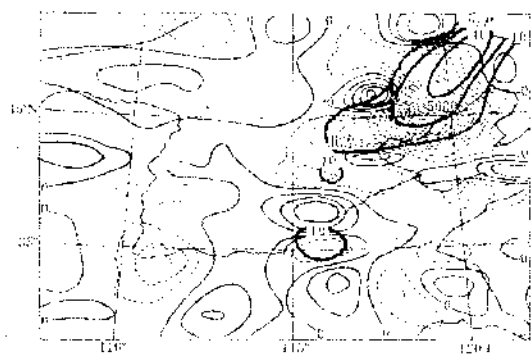


图3 1994年7月13日08时850hPa  $\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_e}{\partial y} \right)$  图

单位:  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

图中阴影部分为各时次未来6小时雨量

此与锋面次级环流有关的能量锋生也应与降水密切相关,由图4可见, $T_e$ 能量锋区

$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T_e}{\partial y} \right) < 0$  与未来6小时降水区位置大致一致。

为了更好地确定锋区与降水区的关系,我们可以用南北向和东西向两个剖面共同确定。

#### 4 结论

本文中  $T_e$  能量场分析表明: $T_e$  场可以作为常规天气分析的补充诊断量。对于没有明显的位温密集带,但有水汽聚集的天气情况, $T_e$  场可作为诊断量进行能量分析。本文用温湿特征量  $T_e$  作为锋生参数导出的方程组从理论上描述了一个能量锋的锋生过程。1) 能量锋生(消)是地转变形项与倾斜项叠加或中和作用的结果,非地转变形项在能量锋垂直锋生(消)中起主导作用。同时,辐合引起的上升运动与能量锋生有正反馈关系。2) 因锋生系统对天气的影响不仅表现在上升与下沉气流的直接影响而且表现在环流引起的锋生(消)效应,进而对天气变化的影响。因此,能量锋锋生对降水具有指示意义。这对更确切地认识具有特征意义的能量锋系统,改善天气预报手段也许有一定作用。

#### 参考文献

1. 丁一志, 高等天气学, 北京: 气象出版社, 1991.
2. 刘文吉, 高山锋动力锋生方程组及应用, 应用气象学报, 1991, 5(1).

## Energy Front and Energy Frontogenesis of "94.7" Torrential Rain in Beijing

Zhou Wenli Li Qingchun Lu Chen

(Beijing Institute of Meteorological Science, Beijing 102081)

#### Abstract

First, using diagnostic variable  $T_e$ , the energy field effected by typhoon and trough in July, 12-13, 1994 is analysed. Second, the energy frontogenetical analysis is given. The results indicate that there is an explicit  $T_e$  horizontal energy front in lower troposphere during this torrential rain with a duration of six hours. The vertical frontogenesis is mostly caused by ageostrophic metamorphosis term. The horizontal frontogenesis of  $T_e$ , mixing effects of geostrophic and ageostrophic metamorphosis terms, was a good indicator for future six hours precipitation.

**Key Words:** torrential rain energy front dynamical frontogenesis