

# 区域性暴雨落区甚短期预报的诊断分析方法

符长锋

廉德华\*

(河南省气象科学研究所)

(河南省气象台)

## 提 要

本文阐明了华中区域性暴雨落区甚短期预报的预报方案概要及其建立的依据。借助于湿位势倾向方程制作次天气尺度的暴雨影响系统未来12小时动态的预报。根据各类系统特性,对方程有关事项进行经验加权,可取得较好效果。方案绕过形成暴雨的复杂机制和若干因果关系,主要利用非暴雨的预报指标,剔除非暴雨区域,从而得出暴雨落区。

## 一、前 言

气象科学研究所与河南、湖北两省气象台和科研所,组成华中区域性暴雨落区甚短期预报应用研究课题组,以静力能量和动力因子诊断为主,卫星、雷达资料为辅,通过1982—1985年四年汛期业务试验,探讨区域性暴雨落区甚短期(12小时)预报的客观方法,以弥补当前常规天气图分析和数值预报之不足。1984年秋,河南试验小组在前三年试验的基础上,对原试验方案进行了部分补充、修正和调整,并把在TQ-16机上用ALGOL-60语言的程序移植于IBM-PC/XT微机上,用FORTRAN-77语言实现。4年汛期试验期间,我省暴雨落区预报准确率稳定于60—70%,较试验前显著提高。

## 二、暴雨的影响系统

我们规定,凡河南省出现5站或5站以上成片的12小时 $\geq 30\text{mm}$ 的降水,算一次区域性暴雨,在试验的前三年里有区域性暴雨44次,其中白天24次(占54.5%),夜间20次(占45.5%)。产生暴雨的700hPa影响系统基本上可以归纳为六类八型(见附表)。

附表 河南省暴雨700hPa影响系统

系 统 名 称	短 波 槽	东西向切变线			南北向 切变线	东风 波	台风 倒槽	台风 低压
		冷切 变	暖切 变	冷暖交替				
出现次数	2	17	10	3	2	5	3	2
百分比	4.6	38.6	22.7	6.8	4.6	11.4	6.8	4.6

### 1. 短波槽

这种系统多发生在初夏,副高位置偏南,120°E上副高脊线位于22°N以南,副热带锋区位于江淮流域一带,当短波槽沿锋区东移时,槽前可产生近南北向的暴雨带,暴雨区西界与槽前的高能轴线位置相近,距槽线约2—5经距,暴雨区宽度约为1—3经距。

### 2. 东西向切变线

#### (1) 冷式切变线

冷式切变线一般是向南移动或静止少动,暴雨区位于700hPa切变线以北约半纬距(11/17),南界与切变线南侧的高能轴线位置相近,距切变线约2—3纬距(15/17)。冷式切变线上的次天气尺度低涡往往不发展,当冷式切变线转为暖式切变线时,低涡才发展起来。

#### (2) 暖式切变线

暖式切变线一般静止少动或北移,暴雨通常位于切变线以南,但也有一些位于切变线以北。当850hPa能量锋(大多以64°C线为代表)位于切变线以北一个纬距以上时,暴雨落区在切变线以北。例如,1983年8月10日05—17时的一次暖式切变线暴雨(见图1a)。当850hPa能量锋区和切变线位置大致吻合(64°C线和切变线间距离小于1纬距),或者位于切变线以南时,暴雨落区位于

\* 参加此工作的还有李刚、何艳玲、王银民、胡鹏等同志。

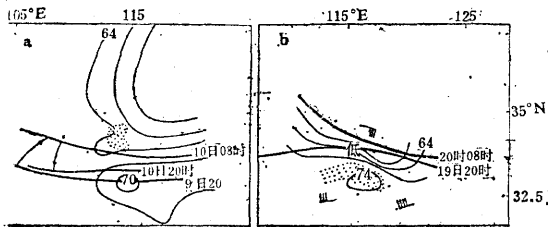


图1 暖式切变线暴雨特征

a. 1983年8月9日20时(切变线北侧暴雨)

b. 1982年7月19日20时(切变线南侧暴雨)

细实线为总温度, 粗线为切变线, 点区为暴雨区

切变线南侧。例如, 1982年7月20日05—17时的一次暖式切变线暴雨(见图1b)。

### (3) 冷、暖切变更替型

冷、暖切变更替是新旧切变线新陈代谢的表现。起初, 西风带短波槽沿副热带锋区东移, 在副高边缘形成冷式切变线, 随着冷空气的东南下, 切变线北侧的西风带小高压在切变线以北不断东移, 当小高压移过115°E或以东, 冷式切变线转为暖式切变线, 并逐渐减弱, 趋于消失, 气层平均气温开始回升, 降水减弱, 此切变线降水过程告一段落。此时若有新的短波槽移来, 与停留于江淮地区正在减弱消失的暖式切变线相遇时, 由于正涡度迭加, 新的暖空气加入, 低空急流加强, 在交绥处, 暖式切变线重新活跃加强。冷、暖切变线交接点处, 常伴有次天气尺度低涡, 相应地面图上, 有气旋波发展, 暴雨发生在700hPa低涡东南方1—2纬距处(3/3)。

### 3. 南北向切变线

$$\left(\nabla^2 + \frac{f_0^2}{\sigma_m^*} \frac{\partial^2}{\partial P^2}\right) \frac{\partial \phi}{\partial t} = -f_0^2 \nabla_{700} \cdot \nabla (\zeta_{700} + f) + \frac{f_0^2 \bar{P}}{\Delta T_s^*} \Delta \left(\frac{-\nabla \Delta T}{P}\right) \quad (I) \quad (A) \quad (B)$$

$$+ \beta \frac{f_0^2 \bar{P}}{\Delta T_s^*} \cdot \Delta \left[ \frac{-\nabla \cdot \nabla \frac{Lq_s}{c_p} (\frac{\overline{RH} - 0.5}{0.5})}{P} \right] \quad (C) \quad (1)$$

式中  $\zeta_{700}$  和  $\nabla_{700}$  分别为700hPa相对涡度和风速矢量,  $\bar{P}$  为850和500hPa的平均值。RH为850、700和500hPa上相对湿度的平均值。开关函数  $\beta$  定义为:

$$\beta = \begin{cases} 0 & (\text{当 } \omega_{700} \geq 0 \text{ 或 } \omega_{700} < 0 \text{ 且 } \overline{RH} < 0.5) \\ 1 & (\text{当 } \omega_{700} < 0 \text{ 且 } 0.5 \leq \overline{RH} \leq 1) \end{cases}$$

$\omega_{700}$  为700hPa上升速度。(1)式右端

盛夏期间, 120°E上副高脊线位于30°N以北, 我省处于副高西侧, 当西风带短波槽移近副高时, 在副高西侧停滞少动, 就形成了南北向切变线。这种系统经向度大, 是我省盛夏大暴雨的一种主要形式, 其降水位于切变线以东, 呈南北走向。暴雨区的西界在切变线附近, 有时距切变线达0.5—1经距, 暴雨区宽度约2—3经距。

### 4. 东风波

盛夏后期, 副高脊线位于35°N附近或以北, 当有台风北上时, 我省受偏东气流控制, 流场中往往有小的波动发展, 并沿东风气流西移。东风波在850hPa上表现较清楚, 而在500hPa上多半不明显。暴雨落区在波谷附近或东侧, 暴雨区宽度约为1—2经距。

### 5. 台风倒槽

指台风低压中心在31.5°N以南, 其北侧的倒槽。倒槽的东南急流常存在风速辐合。暴雨区一般出现在倒槽东侧, 距槽线0.5—2.5经距处。

### 6. 台风低压

指台风减弱为低气压后, 进入31.5°N以北的河南省境内。暴雨区一般出现在低压中心以北, 距低压中心约1—2纬距, 分布于台风低压倒槽的西侧或东侧, 宽度约3—5经距。

## 三、700hPa暴雨影响系统动态的诊断

700hPa暴雨影响系统属次天气尺度, 我们借助于湿位势倾向方程〔1〕, 对其未来12小时动态进行诊断。在我们的计算方案里, 湿位势倾向方程写成如下形式:

(A)、(B)、(C) 三项, 分别为绝对涡度平流、温度平流涵差, 潜热平流涵差。(A) 项可以分解为两部分, 即

$$-f_0 \nabla_{700} \cdot \nabla (\zeta_{700} + f) = -f_0 \nabla_{700} \cdot \zeta_{700} - f_0 v \frac{df}{dy} \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式右端第一项为相对涡度平流, 第二项为地转涡度平流。 $v$  为 700hPa 上风的经向分量。实践表明, (1) 式和 (2) 式的右端项, 对于不同的暴雨系统, 有不同的贡献, 因此诊断分析时, 应有不同的侧重点。

1. 南北向切变线和西风带短波槽

对这两种系统, 经向尺度都较大, (1) 式中 A 项的两部分作用相反, 有抵消, B 项数量级比 A、C 项小, C 项作用最明显, 可将 (1) 式改写为

$$I_1 = 2(C) + (A)$$

南北向切变线或短波槽未来 12 小时移至与它们大致平行的  $I_1$  场上两个正值中心的连线上。当南北向切变线某段位于明显的  $I_1$  场正值中心时, 表明该段移动缓慢或准静止。图 2 为 1983 年 7 月 31 日 08 时一次南北向切变线动态图。

2. 东西向切变线

对于东西向切变线系统, 气流的南北振幅较小, 地转涡度平流的作用可以不考虑, 相对涡度平流的作用则是十分重要的。根据自然坐标系的涡度平流表达式可见, 冷式切变线南侧有正涡度平流,  $-\nabla_{700} \cdot \nabla \zeta_{700} > 0$ , 位势高度将降低。而暖式切变线涡度平流正

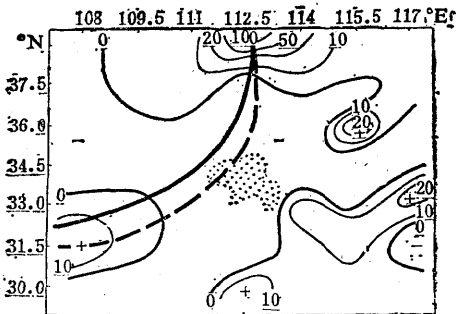


图 2 1983 年 7 月 31 日 08 时  $I_1$  场(南北向切变线)  
粗实线、粗虚线分别为当时和 12 小时后的切变线, 阴影区为暴雨区(下同)

值区一般出现在北侧。因此, 相对涡度平流能够较好地显示出冷、暖切变线的移动趋向。

潜热平流涵差项, 无论冷式或暖式切变线, 正值区大多出现在切变线南侧, 这和暴雨区通常位于切变线以南是一致的, 故一般不能反映切变线的少动或北移现象, 相对而言, 以绝对涡度平流指示切变线活动较好。为突出绝对涡度平流的作用, 对 (1) 式中 (A) 项加权, 于是有

$$I_2 = 2(A) + (C)$$

预报东西向切变线未来 12 小时位置时, 可在切变线的东、西方向上, 在冷式切变线以南或暖式切变线以北, 找出两个  $I_2$  场的正值中心, 其连线即未来 12 小时切变线预报位置(实例见图 3 和图 4)。当切变线某段位于明显的  $I_2$  场正值中心上, 意味着该段切变线将无明显位移。未来 12 小时切变线位置多半是暴雨落区的北界。特殊情况下, 当 850hPa 能量锋位于暖式切变线以北时, 切变线的预报位置为暴雨落区南界。

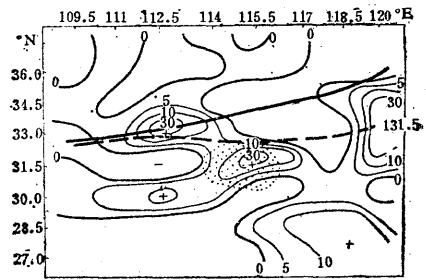


图 3 1982 年 7 月 13 日 20 时  $I_2$  场(冷式切变线)

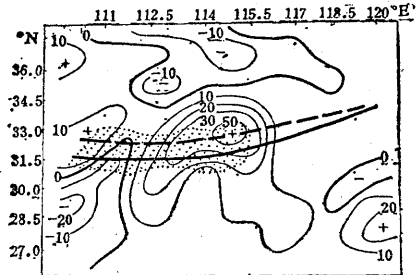


图 4 1982 年 7 月 21 日 08 时  $I_2$  场(暖式切变线)

3. 热带系统

台风低压、台风倒槽和东风波等热带系统影响时, 我省低层湿热, 总温度和饱和总温度较高, 一般满足

$$\Delta T_{S^*} = T_{S_{500}^*} - T_{S_{850}^*} < 0$$

亦即

$$\sigma_m^* = \frac{R}{P} \frac{\Delta T_{S^*}}{\Delta P} < 0$$

不能再沿用诊断副热带系统的原则了。文献〔1〕指出，在只讨论水平方向而又只有纬向波动的简单情况下，(1)式左端的位势倾向对于三维空间的二次微分与位势倾向 $\frac{\partial \phi}{\partial t}$ 的符号相同。实践发现，对于热带系统，(1)式左端项仍然和绝对涡度平流项符号相反，即绝对涡度平流正值可导致位势高度下降。不过温度平流涵差和左端项同号的规律较好，因 $\sigma_m^* < 0$ ，这实际上和干倾向方程内的相应项的作用是一致的，仍然是暖平流向上增大或冷平流向上减小的地区，出现负的位势倾向，有利于台风低压等热带系统向那里移动。潜热平流涵差项，虽然量值并不小，但它一般出现于当时暴雨区上空，与台风移动的关系不大，故舍去不用，重点放在温度平流涵差上，因此对(1)式(B)项加权，即

$$I_3 = 2(-B) + (A)$$

于是未来12小时台风低压将向台风倒槽附近的 $I_3$ 场正值中心移动(见图5)，其效果和干倾向方程相当接近。东风波将向西移至与该波谷谷线接近平行的 $I_3$ 场两个正值中心的连线上(见图6)。

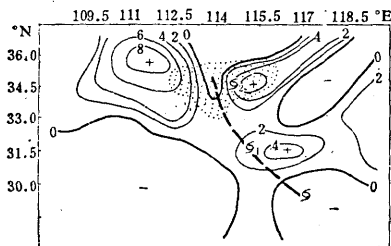


图5 1984年8月8日20时 $I_3$ 场(台风低压)

$S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 分别为当时、12小时后、24小时后台风低压位置，虚线为台风倒槽

上述诊断方法，在1985年试验期间应用，效果尚好。700hPa暴雨影响系统12小时预告位置与实况位置相差一般小于一网格距(1.5经、纬度，82.4%)。对西风带短波

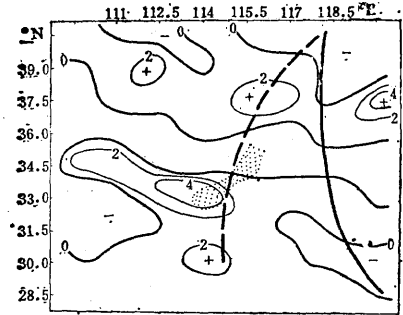


图6 1983年8月12日08时 $I_3$ 场(东风波)  
粗实线、粗虚线分别为当时、12小时后东风波

槽、切变线和台风倒槽等热带系统的预报信度，可满足预报需要，南北向切变线的预报效果较差。

#### 四、暴雨落区预报指标

预报出暴雨影响系统未来12小时的位置后，再使用若干静力能量和动力因子的暴雨指标，剔除非暴雨落区，就得到预报的暴雨落区。这些指标是：

1.暴雨发生在850hPa $T_{\sigma} = 56-80^{\circ}\text{C}$ 的能级范围内(43/44)。能量场形式主要有三种，一是 $\Omega$ 型(占13/44)。二是锋区型，锋区能级多数在58—64 $^{\circ}\text{C}$ 之间，暴雨产生在能量锋区上(占12/44)。三是暖区型，能级多数为66—70 $^{\circ}\text{C}$ ，暴雨产生在暖中心北到东北象限内(占18/44)。

2.暴雨(除冷式切变线和台风低压暴雨外)主要发生在850hPa能量平流 $\geq -1.0$ 的区域内(77%)。

3.初始暴雨，饱和能差小于15 $^{\circ}\text{C}$ (80%)，最大可达18 $^{\circ}\text{C}$ 。连续性暴雨，饱和能差小于10 $^{\circ}\text{C}$ (85%)，其中饱和能差小于8 $^{\circ}\text{C}$ 的占83%。

4.暴雨落区主要在700hPa垂直速度负值区域或零值线附近(28/36)。绝大多数暴雨满足 $\omega < +2 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (43/44)，只有个别情况下， $\omega > +3 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

5.梅雨期K指数 $>25^{\circ}\text{C}$ ，盛夏K指数 $>27^{\circ}\text{C}$ (39/41)。暴雨中心K指数一般为34—38 $^{\circ}\text{C}$ 之间(35/39)。

6.暴雨中心理查逊数(Ri)几乎都在

0--25 之间 (96%)。

7. 暴雨落区通常潜在稳定度和对流稳定度之和  $LC = (T_{0500}^* + T_{0700}^* + T_{0850}) - 3T_{0600} + (T_{0500} - T_{0600}) < 0$ ,  $LC > 9$  可以作为暴雨的消空条件。

8. 梅雨期潜在稳定度 700hPa 风平流  $AL_{700} < 30 \times 10^{-5}$ 。盛夏潜在稳定度 500hPa 风平流  $AL_{500} < 35 \times 10^{-5}$ 。

### 五、预报实例与操作程序

1985 年试验期间, 天气偏旱, 暴雨少, 预报难度大, 河南省共有三场区域性暴雨, 数值预报均未报出来。利用本试验的方法, 报

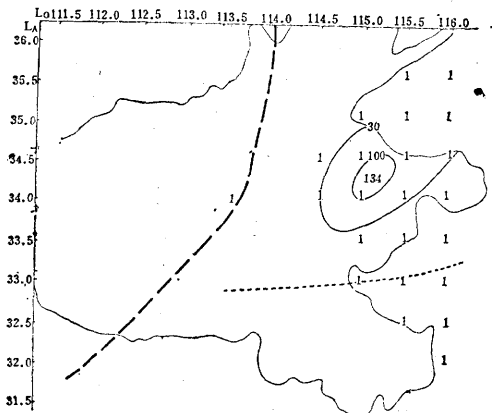


图 7 1985 年 7 月 8 日 08 时 12—24 小时暴雨落区预报图

粗断线为倾向方程预报 12 小时槽线, 点线为当时 850hPa 高能轴, “1” 为预报暴雨落区, 实线为 8 日 20 时—9 日 08 时雨量实况

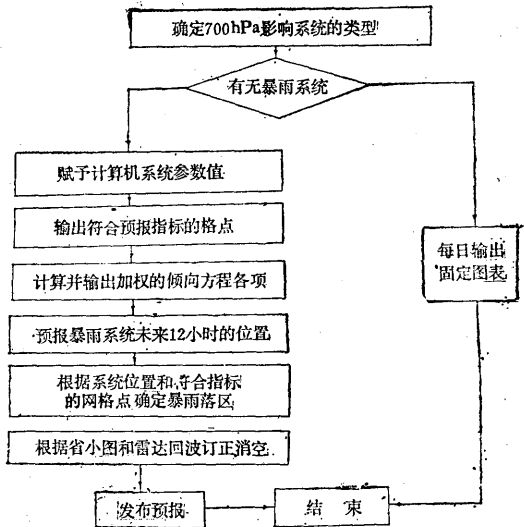


图 8 业务暴雨预报操作程序

出了两次。图 7 为 1985 年 7 月 8 日 08 时的暴雨落区预报与实况。由图可见, 主要暴雨区报出来了。但若仅使用上述指标易产生空报现象, 还需由系统动态预报、高能轴线位置并结合雷达回波等进行订正、消空。图 7 中, 槽后暴雨区可消空, 高能轴南侧 (低能平流一侧) 暴雨区可消空。

日常业务暴雨预报操作程序见图 8。

### 参考文献

[1] 吴正华等, 500 毫巴湿位势倾向诊断分析和应用, 气象学报, 41 卷, 2 期, 1983。

## A diagnosis scheme of very-short-range regional heavy rain

Fu Changfeng Lian Dehua  
(Meteorological Bureau, Henan Province)

### Abstract

A diagnosis scheme of very-short-range regional heavy rain in central China is clarified. In the scheme, each term of wet-potential tendency equation is given a weight according to the weather system, which may cause heavy rain. With the aid of the equation, forecast of the system behaviors can be made, and the area of heavy rain can be determined by use of no-heavy-rain index.