



# 急流切变线暴雨的诊断分析

朱乾根 周军

(南京气象学院)

## 一、前言

通常，梅雨雨带位于低空700hPa江淮切变线及地面静止锋之间，如果切变线上有西南涡东移，在长江中下游地区往往有锋面气旋生成并伴有暴雨。此时雨带和暴雨区可用切变线和地面锋加以确定。当地面锋很弱甚至分析不出锋面时，雨带及暴雨区常位于低空西南风急流的左侧及700hPa切变线右侧。前一种形势下降水主要由锋面抬升形成和维持，后一种形势下降水则与低空急流和切变线的作用有关。但大尺度低空急流左侧雨带与急流轴间的距离因个例而异，仅用急流轴指示雨带南沿有时欠确切。另外，统计发现\*，暴雨并不都发生在低空急流风速中心左前侧，在低空急流风速中心左侧和左后侧甚至急流下方都可能产生暴雨，因而有必要进一步弄清楚急流切变线暴雨的物理机制，并找出更好的物理量以诊断雨带及暴雨的确切位置。

近年来我们对7次南方暴雨过程做了分析。本文试图结合一些急流切变线暴雨的实例，对雨带位置及暴雨落区进行诊断分析。

## 二、物理量分布特征与雨带位置

1978年6月9—12日，长江流域江南地区发生了一次暴雨天气过程。11日08时700hPa切变线在沿江一带，西南风急流轴位于桂林、邵武一线。地面冷空气很弱，仅在贵阳、汉口一线勉强可分析一段弱冷锋。总的来说雨带位于切变线与低空急流之间（见图1），但雨区南沿离急流轴较远，特别是西段急流左侧有相当大地区没有降水。因此单纯用切变线和急流轴来确定降水区位置，显

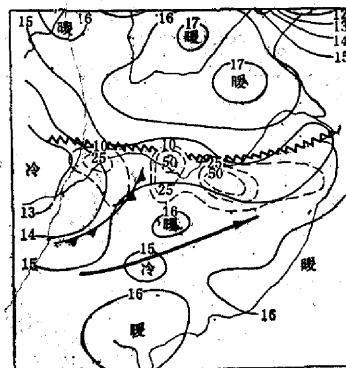


图1 1978年6月11日08时T场和暴雨天气形势概况

细实线为等T线，虚线为等雨量线（11日08时—12日08时），粗矢线为低空急流轴线，锯齿线为700hPa切变线

然是不够确切的。

为了了解低层温度场与雨带位置的关系，我们计算了T场， $T = (T_{700} + T_{850})/2$ 。由图1可见，整个江南雨带位于东西向的一狭窄冷舌中，冷舌轴线与雨量轴线基本重合，即在雨量轴线上 $\partial T / \partial y = 0$ 。冷舌南北侧温度梯度很弱，不存在锋区。这种冷舌与降水区的配置关系，在降水过程中一直存在。由于冷舌本身很可能就是降水的产物，显然与降水带的同时性关系较好，因此不能作为雨带预报的依据。

实践证明，总能量锋区或相当位温 $\bar{\theta}e$ 密集带与雨带或暴雨区有较好的配置关系。计算结果表明，该过程中雨带始终位于700和850hPa平均相当位温 $\bar{\theta}e$ 高值轴线以北的密集带上（见图2）。与图1相比， $\bar{\theta}e$ 高值轴线位于低空急流轴左侧，与雨带南缘更接近，因此比低空急流轴具有更好的指示关系。

据 $\bar{\theta}e = \theta e \exp[-Lq/cpT]$ 和雨带中 $\partial T /$

\* 南京气象学院实习台

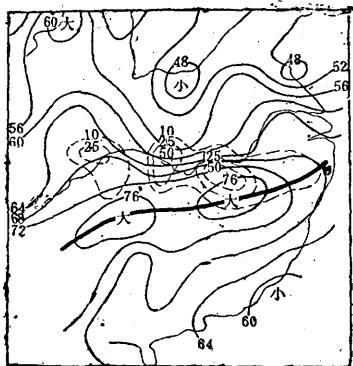


图 2 1978年6月11日08时  $\bar{\theta}e$  场和雨带位置  
细实线为等  $\bar{\theta}e$  线，粗实线为  $\bar{\theta}e$  极大值轴线，虚线为等雨量线

$\partial y \approx 0$  的事实，可以推知  $\partial \bar{\theta}e / \partial y \approx \partial \bar{q} / \partial y$ ，此式说明雨带上的  $\bar{\theta}e$  密集带实质上是由水汽经向梯度造成的。对比图 1 和图 2 可见，雨带北侧的  $\bar{\theta}e$  低值区正好是  $T$  的高值区，说明这里是一个高温干燥区；华南沿海的另一个  $T$  高值、 $\bar{\theta}e$  低值区，则是副热带高压下沉运动所形成的。雨带南侧的  $\bar{\theta}e$  高值带，是一条以高湿为特点的暖湿空气带。所以与雨带配合的  $\bar{\theta}e$  密集带，实质上是大尺度的南方暖湿季风气团与北方变性的干热大陆气团之间的界面，它对雨带有指示性是可以理解的。

风速垂直切变  $(\partial v / \partial z)^2$  与中尺度扰动的发展有密切的关系，一般来说切变愈强中尺度扰动愈易发展。但在本例中，发现低空急流轴附近风速垂直切变最大（图略），雨带并不发生在急流轴上，而是出现在切变值的极大轴与极小轴之间的过渡区中。这可能说明低层动力性扰动必须在大范围上升运动区中才能起作用， $(\partial v / \partial z)^2$  极大值轴线上如果无上升运动，则虽有强的低层动力性扰动生成，也不能得到充分发展。

把  $\partial \theta / \partial z$  与  $(\partial v / \partial z)^2$  结合，可以得里恰逊数  $Ri$ 。计算表明，雨带及暴雨区一直位于  $Ri$  数极大值轴线与最小值轴线之间，图 3 为 11 日 08 时  $Ri$  数的分布。一般认为  $Ri \leq$

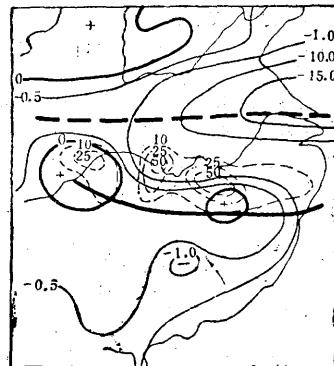


图 3 11日08时  $Ri$  数分布和雨带位置  
细实线为  $Ri$  等值线（单位  $10^2$ ），粗实线（虚线）为  $Ri$  数极大值（极小值）轴线

0.25 时极易产生中尺度扰动，形成暴雨，而实际上图 3 中绝大部分地区均为  $Ri < 0$ ，结果并没有处处生成暴雨。这说明用  $Ri$  数做判据必须结合大尺度背景场的特点。但从图中可见  $Ri$  数极大值轴线可以作为大尺度雨带南部边缘的参考指标。

与低空急流相联系的另一个重要现象是压能 ( $E_p$ ) 密集带对雨带的指示意义。我们曾经指出<sup>[1]</sup>，压能密集带与暴雨落区的关系甚至比低空急流轴线更好。本次过程中前期压能密集带与暴雨关系较好，后期较差，但仍比低空急流好。11 日 08 时 700hPa 压能密集带位于江南，东面两个暴雨中心位于东西向压能密集带上，西面一个雨量中心在南

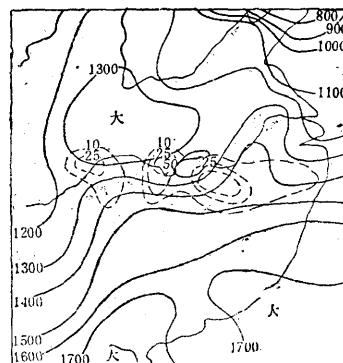


图 4 11日08时 700hPa 压能场与雨带位置  
细实线为等压能线（单位  $3000 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ）

北向压能密集带的出口区，这与我们所揭示的规律是一致的（见图4）。

由此可见，在冷空气很不明显的急流切变线形势之下，雨带北缘可以用700hPa切变线位置，或者压能场密集带北沿的位置来指示。雨带南缘的位置可以用压能密集带南沿、 $Ri$ 数的极大值轴线位置，或者700和850hPa两等压面的平均相当位温场 $\theta_e$ 的极大值轴线位置来指示。各物理量场的特征线与雨带的相对位置如图5所示。

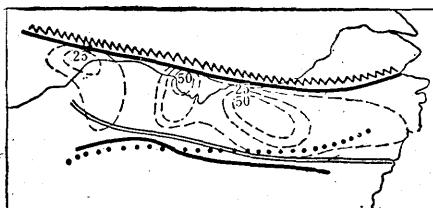


图5 雨带位置与各种特征线的位置示意图

锯齿线为700hPa切变线，粗实线为压能场密集带南北边缘，双细线为 $Ri$ 数极大值轴线，粗点线为 $\theta_e$ 极大值轴线

700和850hPa的平均温度场虽对雨带有较好的同时性关系，但不能用于预报。在系统性降水中， $\Delta\theta_e$ 的负值中心常常不在雨带上，反而有时指示着下沉增温区； $(\partial v / \partial z)^2$ 的最大值轴线总与低空急流轴线相吻合，当雨带距低空急流轴较远时， $(\partial v / \partial z)^2$ 也不能很好指示雨带南缘位置。所以最好不用这几个物理量作为降水带的指示依据。

### 三、暴雨落区与边界层急流轴

如上所述，急流切变线形势下雨带的位置可用某些系统或物理量场中的特征线来指示。但雨带中暴雨区的位置，不能仅用低空急流上的风速中心来指示，还须作进一步探索。

在我国南方暴雨区的南侧，500hPa以下会同时存在两个相对独立的大风层，彼此风向相差很大，且各具风速轴心。1978年5月中旬广西桂林地区发生了一场持续性大暴雨，当时雨区发生在850hPa切变线以南、低空急流轴线以北，是一次急流切变线形势

下的暴雨。图6是暴雨区西侧方向为NNW-SSE的高空风剖面图，从中可见高空风可以分为西—西北、西南、南—东南三个层次。每个层次都有一个急流轴心，最靠近地表的南—东南气流中心的急流轴心在海口上空600m高度上，我们称它为边界层偏南风急流，以区别于南宁上空2000m高处的西南风低空急流。

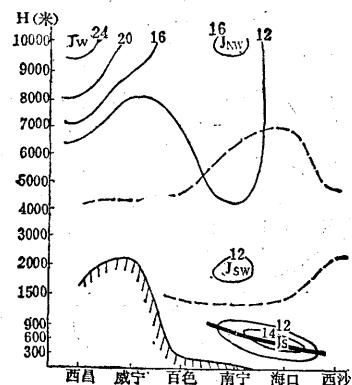


图6 1978年5月17日08时高空风剖面图

细实线为等风速线，粗实线为边界层急流轴，虚线为不同风层的分界面

边界层偏南风急流和低空急流在形态特征和所在处空气的温湿状况等方面有很大的区别。而且边界层偏南风急流是我国南方暴雨普遍伴随的次天气尺度系统。众所周知，暴雨强降水出现在雨带中水汽通量辐合最强的地方，而边界层偏南风急流和低空急流，对水汽的输送和辐合状况，起十分重要的作用，因此可以用它们的空间位置指示暴雨落区的位置。

我们已经指出<sup>[2]</sup>，暴雨的水汽主要靠其南侧的横向输送和西侧的纵向输送。这里的横向和纵向，指相对于低空急流轴的垂直方向和平行方向。由于低空急流轴一般近于WSW-ENE走向，所以横向近于南北向而纵向则近于东西向。纵向水汽输送主要集中在850hPa到500hPa之间，低层数值很小，因此主要是低空急流的贡献。横向输送主要集中在大气边界层中，是由近地层偏南风气

流提供的。图 7 是降水区西侧和南侧的水汽横向输送垂直分布情况。从图 7a 中可见，南北向上边界层偏南风急流所在的范围，就是水汽横向输送最强烈的地方，图中水汽输送等值线与边界层偏南风急流轴周围的等风速线走向一致，急流轴心也就是水汽输送轴心。在东西剖面(图7b)中情况也是一样，南宁上空600—900m 处既是边界层偏南风急流的极大风速中心，又是水汽横向输送中心。图 7 再次证明进入暴雨区的横向水汽输送主要集中在大气低层，其输送通道与边界层偏南风急流相吻合，水汽直接来源于南海北部海面<sup>[2]</sup>。此外也再次证实了围绕低空急流轴存在一个经向垂直环流圈的事实<sup>[3]</sup>。

我们制作了 5 月 16—17 日 和 5 月 26—27 日两个个例中边界层偏南风急流和低空急流水平伸展范围图(图略)。这里所说的边界层偏南风急流是按照如下标准选取的：①急流轴高度在 1000m 以内；②风速在  $11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  或以上；③急流轴以上再无其它大风层，或者虽有别的大风层但风向差在  $45^\circ$  以上且两轴间有  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上的风速递减。图上还绘出 1 小时暴雨区位置及低空急流轴上的最大风速中心。由图中可见，在 26—27 日的过程中，暴雨区都位于低空急流轴上风速中心的左前侧，这符合通常所说的暴雨落区和低空急流轴之间的配置关系。在 16—17 日的过程中，16 日 08 时暴雨区也在低空急流风速中心左前侧，但后两个时次暴雨区就分别出现在急流风速中心的左侧和左后侧。显然此时用低空急流轴和其上的风速中心就不能指示暴雨的确切位置了。但是如果用边界层偏南风急流轴和低空急流轴相交的方式来指示暴雨落区，则无一例外，所有的暴雨区全部出现在两轴相交后构成的第一象限内。由

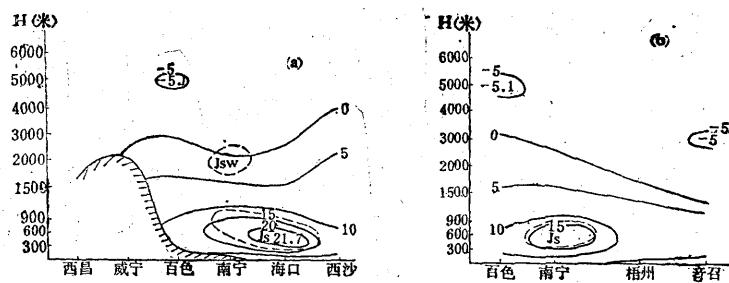


图 7 水汽横向输送值垂直分布图  
a. 南北向剖面, b. 东西向剖面, 实线为水汽横向输送等值线, 虚线为急流范围

于这里是用两条急流轴相交的形式指示暴雨落区的，我们称之为“两轴相交法”。

两轴相交法的基础是建立在水汽输送中心对暴雨落区有直接的指示意义之上的，而水汽的纵向输送中心又是与低空急流相对应，横向输送中心则与偏南风边界层急流相对应。用探空站资料难以准确反映横向水汽输送中心的详细位置，不如直接用测风资料寻找边界层偏南风急流轴的位置方便。多数情况下两种急流轴总会相交，但也有的时候边界层急流轴会在低空急流南侧不远处终止，此时边界层急流轴的延长线与低空急流所构成的相交图案仍对暴雨区有指示意义。如 16 日 20 时的情况即是如此。分析表明，如果两轴相交愈近于或大于  $90^\circ$ ，且边界层急流愈强，则暴雨也就愈强；如果两轴近于平行或趋于相切，则低空急流左侧也就无强降水发生。这是由于水汽横向输送太弱，水汽的通量辐合也因此太弱的缘故。

#### 四、小结

通过以上对无冷空气或冷空气较弱情况下，由急流切变线形成的雨带和暴雨落区的诊断分析，可以概括为如下几点：

1. 急流切变线形势下雨带与几种物理量场和天气系统的特征线间有好的对应关系。考虑到预报的时效，可以选取后延性较长的因素作为雨带位置的判据，它们是 700hPa 切变线位置， $Ri$  数极大值轴线位置， $\bar{\theta}e$  极大值轴线位置以及压能密集带位置。

2. 雨带中暴雨区的位置可以用低空急流轴和边界层偏南风急流轴（或其延长线）相交后组成的第一象限来指示。风速愈大，愈近正交，降水也愈强；两轴趋于相切，降水就很弱。

3. 急流切变线间的降水带是由这两个系统本身的动力结构造成的，当它们一起出现以后，围绕低空急流轴会形成两个次生垂直环流圈，它们都会使气流在急流左侧上升，右侧下沉，同时在急流轴下方形成附加的偏南风气流。偏南风附加气流会加强水汽的横向

输送，为急流左侧上升运动区低层提供大量的水汽，并使暴雨区内的层结不稳定重建，从而在低空急流和切变线之间形成雨带。

### 参考文献

- 〔1〕朱乾根、包澄澜，压能场用于暴雨分析，气象科学，1980年1、2期。
- 〔2〕朱乾根、周军，暴雨的水汽源地，华南前汛期暴雨文集，气象出版社，1981年。
- 〔3〕朱乾根、洪永庭、周军，大尺度低空急流附近的水汽输送和暴雨，南京气象学院学报，1985年校庆增刊。