

# 华南前汛期低空西南急流-锋面暴雨过程初期的中—中间尺度波状降水过程

庄荫模 徐玉貌 程箴荣

(南京大学气象系)

## 提 要

在华南前汛期低空西南急流-锋面暴雨过程的初期,存在着一种自西南向东北方向传播的中尺度波状雨带或中到中间尺度的波状雨区。波状雨区的波长为20—100公里左右,传播速度为20—45公里/小时,对应的降水周期为1—4小时。波状雨区出现在500百帕槽前、850百帕冷切变线南面和地面锋面的暖区,以及850百帕冷切变南侧低空西南急流移近、加强的过程中。估计这种波状降水可能是暴雨过程中1—4小时的周期性强非地转西南风速脉动造成的辐合或重力波触发生成的。中尺度波状雨区的持续旺盛发展可能产生新的中到中间尺度雨成冷性切变线雨带,形成强降水和第一个暴雨区。

在我国华南、华东和华北等地夏半年锋面暴雨过程的初期,天气雷达常常在锋前暖区观测到自西南向东北方向移动的零散的非热对流降水回波。广西地区一些雷达站观测1978年5次暴雨过程时,都发现暴雨过程初期锋前暖区存在着向东北方向移动的零散对流降水回波<sup>[1,2]</sup>,对1979年5月15—18日的暴雨过程,桂林雷达站在5月15日08时观测到对流降水回波排列成西北-东南走向的几条带<sup>[3]</sup>;在6月5—8日的暴雨过程中,广东佛山雷达站在锋前暖区低空西南风建立过程中也观测到一条向东北方向移动、呈西北-东南走向的对流降水回波带<sup>[4]</sup>。这些观测事实一方面反映暴雨过程初期暖区对流降水回波的普遍性,另一方面向我们提出了一系列问题:这些对流降水回波的出现和活动是否有一定规律?它们在暴雨过程中起什么作用?形成条件是什么?这就是本文的出发点。

根据1978、1979年几次华南前汛期暴雨实验天气雷达网观测资料的分析,我们发现,在低空西南急流-锋面暴雨过程初期,这种来自西南方向的非热对流性的对流降水回波不但普遍存在,而且,它们常常有组织地以“波”状雨带的形式出现。这种来自西南方的波状雨带的存在和传播,直观地显示出在低空西南急流-锋面暴雨过程初期暖区存在着一种波动降水过程。它是这类暴雨过程中最早出现的一种中—中间尺度降水过程。波状雨带在其形成、移动和演变等方面具有与其它中尺度雨带不同的特点。

## 一、波状降水过程的存在

波状降水过程在雷达降水回波图上常表现得比较清楚,有时在华南小天气图的降水

1983年1月14日收到,9月30日收到再改稿。

分布图上也能反映出来。

### 1. 雷达回波图上的波状降水过程

我们首先在实验期间的雷达网回波综合图上发现这类波状雨带结构。图 1a 阴影部分是 1975 年 5 月 11 日 17 时雷达回波综合图\*上的波状降水回波。图 1b 是图 1a 中回波带 B 的动态图。由图可以看出：①在 1979 年 5 月 11—15 日的暴雨过程中，11 日 05 时到 12 日 08 时出现的来自西南的对流降水回波不是无组织的热对流回波，而是平行地存在 8 条对流回波带，它们是一种波状降水过程。② 这种波状降水过程的传播过程和常见的暖区

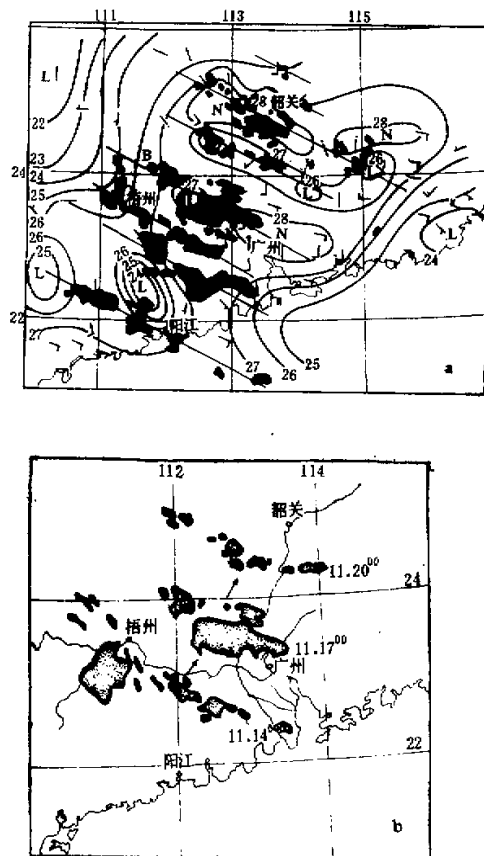


图 1 雷达回波综合图上的波状对流降水回波带(阴影区)和地面风场、温度场  
a: 1979 年 5 月 11 日 17 时波状降水回波带和 16 时地面风场、温度场。  
b: a 中 B 回波带的动态图。

\* 由梧州、肇庆、佛山、韶关四个雷达站的回波资料组成。

中尺度飢线不同。常见的飢线中尺度冷空气堆前沿的暖区飢线对流回波带,在短时间内可能存在两条,它们以前生后消\*的方式向前跳跃传播。而发生在暖区气团内的平行对流回波带不但条数多,而且它们以后生前消\*的方式(由图 1a、b 可见)向东北方向传播。在传播过程中,这些平行的降水回波带能在比较长的时间内同时并存。它直观而清楚地显示了暴雨过程初期华南地区暖气团内存在着一种波动降水过程,其波源在西南方,波源产生的扰动周期性地向东北方向传播。

在单部雷达观测中,有时也能看到波状降水过程。图 2 是 1978 年 5 月 15—18 日暴雨过程中 15 日 05 时(a)和 08 时(b)桂林雷达站的 PPI 照片(每圈 50 公里)。在 05 时观测到来自西南的零散对流回波,而 08 时十分清楚地显示出它是有组织的波状雨带。

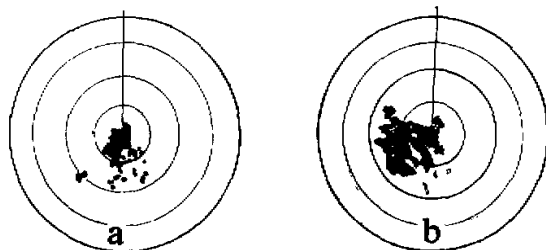


图 2 桂林雷达站测到的波状降水回波带

## 2. 华南地区小天气图上的波状雨区

由于华南地区小天气图上的站点间隔一般为二、三十到七、八十公里,图上的降水记录为一小时雨量,而有些波状雨带造成的降水周期也约为 1 小时左右,因此,在这种图上一般不易看出雨带的波状降水结构。但是,在波状雨带的波长比较长、降水回波带发展比较旺盛的情况下,小天气图上 1 小时降水量有时也能显示出和波状降水回波带基本一致的波状雨区(图略)。在 1979 年前汛期华南暴雨实验加密观测的所有三次暴雨过程和 1978 年 5 月 15—18 日暴雨过程的雷达资料中,都出现了这种向东北方向传播的波状雨带。由此可见,暴雨初期波状降水过程看来是一个比较普遍的现象。

## 二、波状雨带的一些时空特征

根据上述四次华南前汛期暴雨过程的雷达网观测资料,暴雨过程初期西南来波状雨带在同一时刻可存在 2—8 条雨带,波状雨带中个别降水回波带的长度为四、五十公里(如 1979 年 5 月 26—28 日暴雨过程中的波状回波带<sup>[3]</sup>)到二、三百公里(如图 1),宽度从几公里(如图 2)到 50 公里左右(如图 1),属于中尺度雨带。但是,整个波状降水区或波状降水系统整体的法向宽度约 100 公里(参见文献[7])到 500 公里(如图 1a),它既可能是中尺度的,也可能是中间尺度的。波状雨带之间的距离(即波长)(见表 1)为 30 公里(如图

\* 这里的“前”“后”是相对于回波带的传播方向而言。

2b) 到100公里(如图1)。有时同一暴雨过程中某地区的波状降水包含两种波长(表1中 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 所示),其中较长的波往往对应较强的降水(回波)。

波状雨带中个别雨带的生命期可以是6到10小时以上,而整个波状降水过程的生命期为十几到二十几小时(见表1)。

表1 波状降水过程的一些时空特征

| 暴雨过程         | 波状回波<br>出现时间        | 生命期<br>(小时) | 活动范围<br>或地点    | 波 长<br>(公里)                                | 传播速度<br>(公里/小时) | 周 期<br>(小时)    |
|--------------|---------------------|-------------|----------------|--------------------------------------------|-----------------|----------------|
| 1978.5.15—18 | 15.05°°<br>—23°°    | 18          | 桂 林            | $\lambda_1 = 70-90$<br>$\lambda_2 = 25-30$ | 20—30           | 3—3.5<br>1—1.2 |
|              |                     |             | 梧 州            | $\lambda_1 = 100$<br>$\lambda_2 = 50$      | 25—30           | 3—4<br>1.5—2   |
| 1979.5.11—15 | 11.05°°<br>—12.08°° | 27          | 粤西沿海<br>到粤中地区  | $\lambda_1 = 100$<br>$\lambda_2 = 50$      | 30—35           | ≈3<br>≈1.5     |
| 1979.5.26—29 | 26.17°°<br>—27.11°° | 18          | 恩平到佛风、<br>龙门附近 | 30—60                                      | 30—45           | 1.5—2          |
| 1979.6.9—11  | 10.04°°<br>—10.17°° | 13          | 粤中地区           | 50—60                                      | 25—30           | ≈2             |

注:  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  是同一暴雨过程中某地区波状降水所包含的两种波长

波状降水区内,个别中尺度对流回波带向东北方向传播的速度或波的相速,一般为25—50公里,它与850—700百帕高空风的方向和速率大体一致。如1979年5月26日17时到27日11时出现在粤西沿海至粤中地区波状降水回波区中的对流回波带的移向为35°—70°,移速为30—45公里/小时,这时阳江和广州850—700百帕高空风的风向为215°—257°,风速为7—14米/秒。和波状降水区的波长、相速相对应的降水过程的周期为1—4小时(见表1)。

波状雨带中的降水为对流性降水。降水回波的高度一般比较低,为4—8公里,午后发展强盛时,少数对流回波最高可达12公里。在暴雨过程中,波状降水过程使地面在一、两天中频繁地出现阵性降水。但是,除少数情况外,一般由它直接造成的降水强度和降水量不大。1小时降水量常常在几毫米以内,少数情况可达二、三十毫米。但是从下节可以看到,由它引起的新生降水系统可能产生比较强的降水,在波状降水和新生降水系统的共同作用下可能造成局地暴雨。

波状降水过程在县站小地面天气图上通常无明显的气压系统和流场系统相对应。对少数发展旺盛的波状降水区内比较强的波状雨带,即使有时能分析出对应的切变线或辐合线,但由于强度弱,很难对它进行系统的跟踪。

### 三、波状降水过程的反馈作用

分析发现,1979年5月11—15日暴雨过程中出现的波状降水具有一定的反馈作用。5月11日11时开始出现在粤西沿海到粤中地面高温、高湿区的波状降水过程持续存在和较旺盛发展,使该地区首先在西南方形成低温区(图3a),然后逐渐向东北方向扩展和增

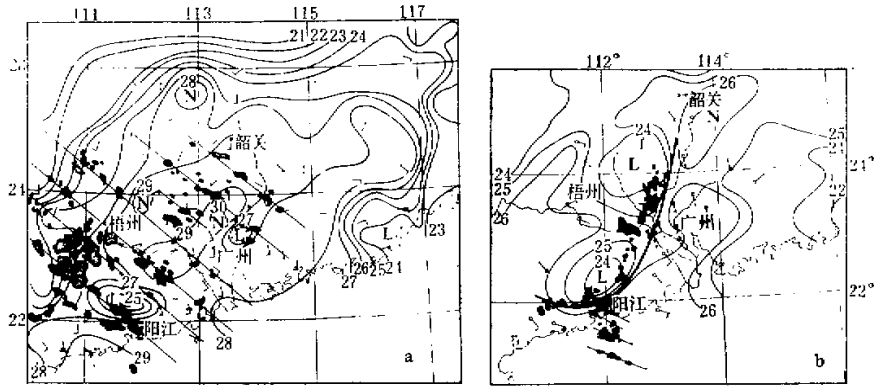


图3 地面温度场(细实线)、风场和雷达回波(阴影区)配置图

a: 1979年5月11日14时地面温度、风和波状降水回波,

b: 1979年5月11日19时地面温度场、雨成冷性切变线(粗实线)和23时雨成冷性切变线回波带及其南侧的波状回波。

强(图1a),从11日18时起,在波状降水较强的地区形成了一个范围较大的西南-东北向低温区(图3b)。以后该区内的波状降水区逐渐减弱、消失。波状降水对自身的存在起了抑制作用。23时以后波状降水回波只出现在该低温区的南侧(高温区)(图3b)。波状降水又使地面流场发生变化,当波状降水区变成冷区以后,在原来华南地区的一片东南气流中,冷空气堆的东侧和南侧前沿出现了偏西风和偏北风的辐散气流,它和冷空气堆外面东侧和南侧的环境东南风形成了一条从乳源经肇庆,阳春到粤西沿海长达400—500公里的中间尺度切变线(图3b),这种切变线可称作“雨成冷性切变线”。11日23时沿这条切变线出现了长达400—500公里位置相对稳定的对流降水回波带(图3b)。这条对流降水回波带从11日23时到12日08时共历时9个小时,其降水强度和降水量比波状降水过程大得多(如阳春降水为50.7毫米;恩平为43.2毫米;四会为38.5毫米)。此外,在它存在的时间内,其南侧继续存在和活动的波状降水回波带向它汇合、合并(南来波状降水回波带到此为止,不再向北移动)时,沿海雨成冷切变线降水回波得到加强。在两种降水回波带交叉汇合的共同作用下,11日23时到12日08时阳江降水128毫米,造成这次暴雨过程中的第一场局地暴雨。由上可见波状降水(触发)产生了新的中—中间尺度切变线及其降水系统,使降水得以持续和加强,对降水起了反馈作用。

#### 四、形成波状降水过程的天气背景

表2是1978、1979年四次暴雨过程中波状降水过程出现时的天气背景。由表2可见,这几次波状降水过程无例外地出现在500百帕槽前1000公里左右、850百帕切变线南侧400到1000公里、850百帕切变线南侧西南急流轴\*右侧100到400公里的地方。

\* 850百帕上空西南风速达12米/秒以上(至少有三个站)的最大风速轴线。华南暴雨实验和多年的历史资料发现,华南前汛期暴雨过程与低空急流的活动有着十分密切的关系。

波状降水过程出现在地面冷锋前 150—400 公里的暖区;或出现在与 850 百帕切变线相对应  
的地面锋面形成之前。此外,如上所述,暴雨过程初期的波状降水过程出现在地面小天  
气图上的高温、高湿区,并且波状降水区的位置随着这种高温、高湿区位置的变化而变化  
(图略)。由表 3 可以看到,波状降水过程也发生在 700 百帕以下潜在性不稳定的大气中。

表 2 波状降水与其它天气系统的关系

| 暴雨过程         | 波状降水<br>(回波)<br>活动时间 | 离 500 百帕槽<br>线的距离<br>(公里) | 在 850 百帕切<br>变线南面的距<br>离 (公里) | 与 850 百帕<br>西南风急流<br>的关系         | 与地面锋面<br>的关系                              | 提前于锋<br>面到达的<br>天数* |
|--------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|
| 1978.5.15—18 | 15.05°°<br>—23°°     | 1200—400                  | 500—100                       | 出现在急流轴<br>形成过程中,<br>消失在急流轴<br>附近 | 锋面于 16.08°°<br>出现在波状降<br>水北侧(柳州、<br>柳州附近) | 1—3                 |
| 1979.5.11—15 | 11.05°°<br>—12.08°°  | 1200—1000                 | 1000—800                      | 离急流轴<br>300—0 公里                 | 11.20°° 锋面<br>出现时距波状<br>降水 400 公里         | 3                   |
| 1979.5.26—29 | 26.17°°<br>—27.11°°  | 1000—500                  | 500—300                       | 离急流轴<br>200—0 公里                 | 离地面锋面<br>300—200 公里                       | 2                   |
| 1979.6.9—11  | 10.04°°<br>—10.17°°  | 900—700                   | 370—150                       | 离急流轴<br>370—50 公里                | 离地面锋面<br>370—150 公里                       | 1                   |

\* 对某地而言,出现波状回波比锋面到达所提前的天数

表 3 波状降水过程出现时所在地的  $\Delta\theta_{se}|_{700-850}$ 、 $\Delta\theta_{se}|_{850-地面}$ 

| 出现时间           | 出现地点     | $\Delta\theta_{se} _{700-850}$ | $\Delta\theta_{se} _{850-地面}$ |
|----------------|----------|--------------------------------|-------------------------------|
| 1978.5.15.08°° | 桂林<br>柳州 | -1.8<br>-2.4                   | 6.5<br>4.4                    |
| 1979.5.11.08°° | 阳江<br>广州 | -6.4<br>-0.2                   | -5.7<br>-14.3                 |
| 1979.5.26.20°° | 阳江<br>广州 | 1.5<br>-0.4                    | -12.1<br>-15.1                |
| 1979.6.10.08°° | 广连<br>平  | -0.5<br>-9.2                   | -11.9<br>5.4                  |

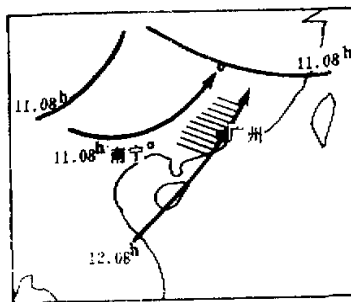


图 4 1979 年 5 月 11—15 日暴雨过程中波状降水回波(用斜线区表示)与  
850 百帕切变线(粗实线), 850 百帕西南急流轴线(箭头线)配置图

值得注意的是:在表中所有四个例子中,波状雨带总出现在 850 百帕冷切变线南侧西南风低空急流轴移向华南的过程中,或者说是在华南建立低空西南风急流的过程中,出现在急流轴南侧 300 公里以内(如图 4)西南风速大于 6—8 米/秒的地方(根据高空风资料,图略),并持续维持到急流轴的移入(图 4)。在急流轴移过后,低空西南急流和地面锋面之间通常出现其它中—中间尺度降水系统<sup>[7,8]</sup>,这种波状降水过程不再出现。因此波状雨带的出现似乎和 850 百帕冷切变前低空西南急流有较密切的关系。

暴雨过程初期的低空西南急流具有很强的超地转特性。容易产生和传播中尺度扰动<sup>[9]</sup>。近年来,还发现低空急流有风速脉动现象。孙淑清利用高度为 1644 米的九仙山和 1268 米的衡山实测风资料,分析发现在华南偏南风低空急流中存在周期为 4—6 小时的强风速脉动,并发现风速脉动周期和附近山下地面降水量的脉动有很好的相关<sup>[10]</sup>。本文所述波状雨带正好出现在低空西南急流的形成阶段,波状降水过程的周期为 1—4 小时,而从文章[10]中的图 2 可以看出,除 4—6 小时的周期外,也存在 2 小时的风速脉动,它和这里的一些波状雨带的周期一致。因此,本文所述波状降水可能是在水汽、不稳定能量等条件有利的地区,由这种周期性非地转风速脉动或中尺度重力波触发产生。

## 五、结 论

根据以上情况,可得出如下几点结论:

1. 在华南前汛期低空西南急流-锋面暴雨过程的初期,存在着自西南向东北方向传播的中尺度波状雨带或中—中间尺度的波状降水区。
2. 这种波状降水过程的持续旺盛发展,能形成“雨成冷性切变线对流雨带”,产生比较强的降水和局地暴雨,对降水起反馈作用。
3. 波状对流降水过程发生和出现在 500 百帕槽前、850 百帕冷切变和它前面的低空西南风急流轴的南侧和急流轴附近。同时它也出现在对流层低层潜在不稳定区和地面暖湿区。

## 参 考 文 献

- [1] 刘广明,一次急行冷锋过程的回波分析,雷达气象文集(二),广西壮族自治区气象局, P. 8—10, 1978.
- [2] 罗文滔,一次锋面降水过程的雷达回波特征,雷达气象文集(二),广西壮族自治区气象局, P. 11—13, 1978.
- [3] 汤杰旺,一次暴雨雷达回波分析,雷达气象文集(二),广西壮族自治区气象局, P. 16—21, 1978.
- [4] 刘洪辉,一次降水过程的回波分析,雷达气象文集(二),广西壮族自治区气象局, P. 44—47, 1978.
- [5] 杨剑文,连续四天大暴雨过程的雷达回波浅析,雷达气象文集(二),广西壮族自治区气象局, P. 51—56, 1978.
- [6] 广东省佛山地区气象局雷达站,一次西南风急流下的雷达回波分析,华南前汛期暴雨实验文集(二), P. 127—132, 1979.
- [7] 徐玉貌,一次华南前汛期地面低压槽型暖区-锋面暴雨过程的雷达回波分析(待发表).
- [8] 庄荫模、程篪棠、王晓如,华南前汛期低空西南急流-锋面暴雨过程中的暖区中—中间尺度雨带(待发表).
- [9] 陶诗言等,中国之暴雨,科学出版社, P. 56—61, 1980.
- [10] 孙淑清,华南低空急流中风场中尺度特征及其对暴雨的作用,华南前汛期暴雨实验文集(二), P. 155—162, 1979.

**THE MESO-INTERMEDIATE SCALE WAVELIKE PRECIPITATION PROCESS AT THE BEGINNING OF THE LOW LEVEL SOUTHWEST JET-FRONT HEAVY RAIN PROCESS DURING THE PRE-FLOOD SEASON IN SOUTH CHINA**

Zhuang Yinmo Xu Yunmao Cheng Zhenrong

*(Department of Meteorology, Nanjing University)*

**Abstract**

At the beginning of the process of the low level southwest jet stream-front heavy rain during the Pre-flood season in South China, there is one kind of meso-scale wavelike rain belt or intermediate scale wavelike rain area, propagating from southwest to northeast. The wavelength of this area is about 20—100 km, with a speed of propagation being about 20—45 km/hr, and a corresponding cycle of rainfall 1—4 hour. It appears in front of 500 hPa troughline, in the south side of 850 hPa cold shearline, and in the warm section of surface front where the low level southwest jet stream is approaching and strengthening. It is considered that it maybe results from the triggering by convergence of 1—4 hour cyclic intense ageostrophic wind speed fluctuation or by gravity wave. The development of the intermediate scale wavelike rain area, could produce a new intermediate scale shearline rainbelt and the first heavy rainfall area.