

探空记录在暴雨分析预报中的应用

毕慕莹*

在1979年湖南暴雨综合试验中，我们通过分析探空资料，来判断当时大气的水汽条件、不稳定性条件、凝结状况及降水形成原因等，作为暴雨、雷雨大风等灾害性天气预报的根据之一。经试验，认为这不仅可以作为气象台日常业务预报上较好的一种辅助手段，而且，也可供有条件获取探空资料的县气象站在日常预报上应用。

一、分析的方法和主要项目

试验期间（1979年5—6月），我们选取长沙（08、20时），大托铺**（02时），新化（08时）等站探空记录，在T—lnp图上进行分析，主要分析的项目有：

- (1) 探空曲线（温度、露点曲线）；
- (2) 状态曲线；
- (3) θ_{se} 垂直廓线；
- (4) 压高曲线以及 0°C ， -10°C ， -20°C 层的高度（以下分别以 H_0 ， H_{-10} ， H_{-20} 表示）；
- (5) 沙氏指数SI。

根据需要，还可以分析自由对流高度、对流上限、对流凝结高度以及对流温度等等。分析上述项目，可

对暴雨前的水汽条件及不稳定性条件等作进一步的了解。

二、暴雨前水汽条件的分析

水汽条件是暴雨形成的必要条件之一。

在试验中，我们主要从以下两方面判断暴雨前的水汽条件：

1. 温度、露点曲线的相互配置

暴雨前，温度、露点曲线有明显靠拢的趋势，表示湿层明显增厚。试验期间出现的四次暴雨过程（5月26—27日，6月1—2日，6月3—4日，6月9—10日）前，都有显著的反映，湿层从低层迅速伸展至200mb或以上，地而至200mb整层温度与露点差 $<3\text{--}4^{\circ}\text{C}$

（见图1）。湿层增厚现象一般都出现在低层西南风加强以后，暴雨前6—30小时以内。

2. θ_{se} 的垂直廓线

暴雨前，由于西南暖湿气流的输送，对流层整层

*此项工作由章淹、寿绍文二同志指导并参加，还有林荣芳同志参加。

**大托铺为长沙附近的气象站。

增暖、增湿，使得 θ_{se} 垂直廓线出现整层右移（见图2）。这种现象在四次暴雨前都有明显的反映， θ_{se} 的48小时增量最大可达到27—28°C，24小时增量一般可达10°C左右。从暴雨前各等压面层温度、露点的24小时变量（见图3）看到，露点的增加远远超过温度的增加，由于暴雨前 θ_{se} 的增大，以湿度的增加更为主要。因此可用 θ_{se} 廓线的演变来判断大气的水汽状况。

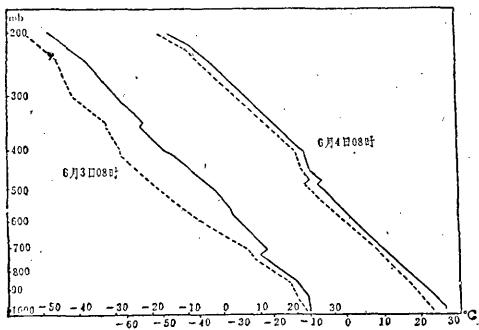


图 1 暴雨前湿层的演变

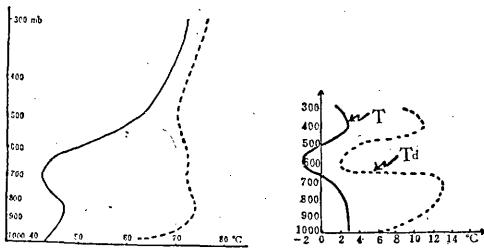


图 2 暴雨前 θ_{se} 廓线的演变

图 3·6月1—2日暴雨前 ΔT_{24} 、 ΔT_{d24}

三、暴雨前不稳定性条件的分析

强烈的对流性不稳定也是产生暴雨的重要条件之一。我们利用探空记录，从不同的侧面对暴雨前的不稳定度条件进行分析。

1. 分析不稳定能量面积

暴雨前，由于大气的层结往往处于对流性不稳定状况，因此不稳定能量负面积减小，正面积迅速加大（见图4a）。在四次暴雨过程前均有明显反映，其中后三次暴雨均出现了不稳定能量的正面积，唯有5月26日的暴雨只是不稳定能量负面积减小，而没有出现不稳定能量正面积（见图4b）。其原因是，切变、低涡等动力抬升的作用较强，因此结合天气形势的分析，注意正面积的加大或负面积的减小，可以更好地加以综合判断。

2. 分析SI指数

SI指数可用来判断大气稳定度条件, SI值越小, 大气就越不稳定。在试验中, 除了制作SI时间演变曲线以外, 还制作了SI及 $\triangle SI_{24}$ 的空间分布图, 用作暴雨落区预报。

(1) SI的时间演变曲线 从SI的时间演变曲线看(见图5),它与天气过程的对应关系相当好,没有一次例外。在每次暴雨前,SI陡降至 0°C 左右,甚至

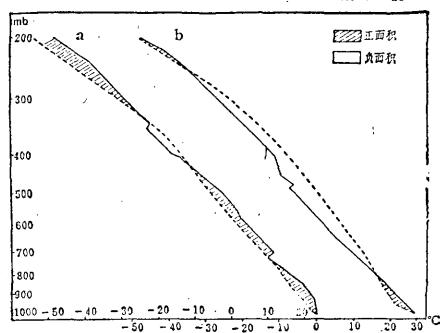


图4 暴雨前不稳定能量面积的演变

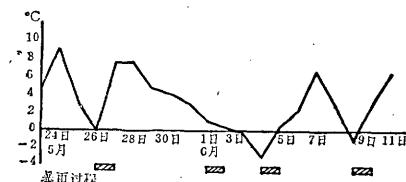


图 5 SI时间演变曲线

$<0^{\circ}\text{C}$ ，一般24小时可下降2—3 $^{\circ}\text{C}$ 以上。暴雨过程以后，SI指数又迅速上升。

(2) SI的空间分布 我们选取08、20时长江流域及其南北地区一些探空站的记录,用SI查算表制作了SI的空间分布图(图略)。分析发现,暴雨区一般出现在SI负值区内,这四次暴雨过程没有一次例外。最有意思的是5月26日,暴雨中心在新化以东至湘潭一带,最大降水量64mm,此时,长沙、郴州、芷江的SI分别为 0.5°C 、 1.5°C 、 1.3°C ,而新化的SI却为 -1.5°C 。暴雨中心就出现在SI负值中心附近。

为了进一步弄清SI的空间演变情况,还分析了 $\triangle SI_{24}$ 的空间分布图(图略)。一般在暴雨前,在暴雨区附近就开始出现 $\triangle SI_{24}$ 的负值区,且逐渐扩大,标志着不稳定区的加大。

3.θse垂直廓线的演变

分析 θ se垂直廓线的演变,不仅能清楚看到大气层结不稳定度状况,而且可以对降水的机制和性质作进一步判断。在四次暴雨过程中, θ se廓线的演变主要有两种类型:

(1) 中高层无干冷空气影响, 暴雨时为中性层结(5月26日暴雨属此种类型)。暴雨前48小时(5月24日08时), 700mb以下比较干冷, $\theta_{se} < 50^{\circ}\text{C}$; 700mb以上为 $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial z} > 0$ 的对流性稳定层结。以后, 500mb以下强烈增暖、增湿, θ_{se} 迅速增至 70°C 以上, 暴雨时出现 $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial z} \approx 0$ 的中性层结。从天气形势看, 这次暴雨前, 北面无冷锋南下, 而是倒槽锋生, 在整层暖湿, 并伴有较强的辐合抬升作用下产生的暴雨, 无明显的冷空气影响。为持续性降水, 有阵雨, 但无雷暴伴随。

(2) 中高层有弱干冷空气影响，暴雨时为不稳定层结(6月4日暴雨属此种类型)。暴雨前48小时内，对流层低层出现较强的增暖、增湿，800mb以下的 θ_{se} 从75°C增大到80—90°C；而中高层500mb附近，在6月2日20时开始出现相对干冷层， $\theta_{se} < 70^{\circ}\text{C}$ ，

因此6月3日20时，500mb以下出现 $\frac{\partial\theta_{se}}{\partial z} < 0$ 的对流性不稳定层结，并且一直维持到6月4日20时。长沙的降水主要出现在4日15时—5日02时。降水结束以后才出现 $\frac{\partial\theta_{se}}{\partial z} \approx 0$ 的中性层结。此种类型的降水为不稳定性降水，伴有雷暴。至于为什么暴雨前往往在中高层出现较弱的干冷层？中性层结产生暴雨的机制究竟是什么？需在以后作深入讨论。

4. 分析 H_0 、 H_{-10} 、 H_{-20} 的演变

降水的形成与 H_0 、 H_{-10} 、 H_{-20} 有着较为密切的关系。当云中的温度达到-10—-15°C时，就可以产生一定浓度的成冰核，形成较大的降水。当对流上限达到 H_{-20} 以上时，就会产生雷暴，否则只有阵雨。环境的 H_{-20} 、 H_0 分别反映高、低层的冷、暖空气的活动情况，同时 $H_{-20}-H_0$ 、 $H_{-10}-H_0$ 又能表示中高层的不稳定性，当中高层不稳定时，强烈的对流云容易得到发展。因此在试验中，我们还分析了 H_0 、 H_{-10} 、 H_{-20} 的演变，以及 $H_{-20}-H_0$ 、 $H_{-10}-H_0$ 的演变。

暴雨前，由于对流层低层的增暖，使 H_0 和 H_{-10} 迅速抬升(图6)。例如，5月26日及6月4日暴雨前， H_0 迅速抬升超过5,000米， H_{-10} 迅速抬升超过7,000米。而6月1日的暴雨， H_0 及 H_{-10} 虽然没有达到上述高度，但也比较接近于这一高度，并且处在抬升的过程中。暴雨前 H_{-20} 下降到8,500米以下，但与过程对应关系不太好。

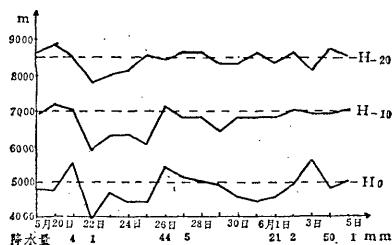


图6 H_0 、 H_{-10} 、 H_{-20} 时间演变曲线

$H_{-20}-H_0$ 、 $H_{-10}-H_0$ 的值越小，表示中高层越不稳定。暴雨前， $H_{-20}-H_0$ 要减小到3,000米或3,000米以下， $H_{-10}-H_0$ 减小到1,500米或1,500米以下。图中6月1日暴雨的对应关系不好，这可能是由于这次暴雨的不稳定层较低，未反应到中高层来。

关于大气不稳定性条件，还可以分析其它许多项目，例如 $\Delta\theta_{se,500-850\text{mb}}$ 的时间演变、 $\Delta T_{500-850\text{mb}}$ 的时间演变以及 $\Delta\theta_{se,500-850\text{mb}}$ 的空间分布等等，在试验中，也对它们进行了试用，与暴雨过程都有较好的对应关系，这里不再一一赘述。

四、暴雨成因的综合分析

此外，将探空分析中得到的 θ_{se} 、q(比湿)以及T(温度)，风绘制成时间剖面图，可对暴雨成因作一些较仔细的分析。以6月3—4日暴雨过程为例(见图7)，暴雨前，850mb以下近地面层出现高温、高湿中心，T、q及 θ_{se} 的高值区都沿着锋面向北抬起。6月4日20时以前，在500mb附近有一个 θ_{se} 低值中心的弱干冷层。6月5日02时850mb上西南风速达24m/s，表明低空急流在此通过。图下方标出各时刻的降水量，降水主要出现在两个时段：第一个时段在冷锋过境以前4日14时至15时20分，它是由于低层强烈增暖、增湿，而中高层500mb处有一弱干冷层引起的对流性不稳定降水，此时长沙南面又有飑锋过境，因此，此段降水强度大，时间集中，15时—15时20分内雨量为29.8mm。第二个降水时段恰好出现在低空急流和冷锋之间。从6月4日20时的天气形势看，长沙北面有冷锋逼近，其南面又有低空急流轴北抬，而此时的层结已为中性，此段降水是由于动力辐合抬升造成的持续性降水，强度小而持续时间长。可见在这两个时段中，由于降水机制不同，降水的性质也完全不同。

通过上述分析可以看出，探空分析在暴雨预报中应用时，具有①较一般大天气图出图快；②各不同高度层结的分析较清楚，细致；③物理意义清楚；④可以看到天气图上不易分析到的一些大气特征物理量(如 H_0 、 H_{-10} 、 H_{-20} ，各种凝结高度等)；⑤将探空资料所得的各种物理量制成空间、时间以及变量演变图后，结合大天气图的分析，可以更好地剖析大气层结演变特征，而且，也是便于县站应用的一种分析预报工具。这里必须指出的是，上述的一些具体征兆只是对我们试验期间，湖南湘中地区适用，对于其它时间、其它地区还必须做具体的分析。另外，在预报时，对各种征兆必须综合判断，尤其要结合当时的天气形势进行考虑。

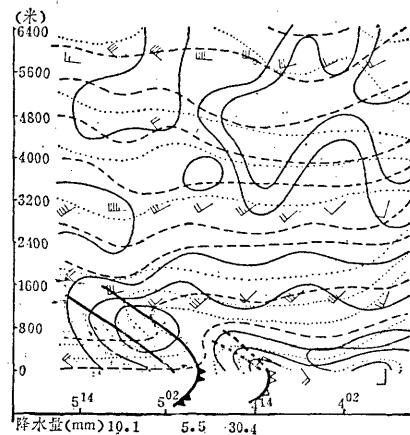


图7 6月3—4日暴雨过程各要素时间剖面图
实线为等 θ_{se} 线 虚线为等温线 点线为等比湿线