

两次降水过程的对比分析

谢安 李仙姣 苍蕴琦*

在我们日常的天气预报实践中，经常会遇到天气形势很类似，但降水过程极不相同的情形。由于目前天气图方法存在局限性，我们不易从单纯的天气分析中找出这些类似过程的本质差异。本文的目的是：在分析天气形势的基础上，计算和分析与降水有关的各种物理量，寻找两次降水过程的同异点，从而对产生暴雨的条件有进一步的认识。将这些定量的计算结果定性地用于夏季暴雨预报，我们认为这对预报是有帮助的。

一、过程概述

1977年7月下旬，东亚大环流形势比较稳定。其特点是副高稳定在日本附近，副高南侧的赤道辐合带上有台风和热带低压活动。贝加尔湖以西是一个长波槽，不断有西风带小槽东移。7月25日，7704号台风穿过台湾省，25日晚间在福州附近登陆。此后，它以偏北路径进入江西、安徽。此台风与副高之间的低空东南急流不断向北伸展，直至华北地区。26日08时，西风带小槽移入河套地区，位于西风槽前中高纬度的弱冷空气与来自低纬的暖湿空气相遇于华北东部，导致华北东部和东北南部一场较大范围的大暴雨，直接的降水系统是一条不十分明显的切变线(图1a)。主要暴雨中心分别在唐山地区的司各庄(464mm)和辽宁的义县(212mm)。我们称25日至27日的降水过程为前过程。

在这次暴雨过程结束之后，那种有利于华北降水的大环流形势仍继续维持，位于日本附近的副高稍有西进，登陆的7704号台风向北移到河南与山东交界处，与它相伴随的偏南风低空急流亦维持。29日08

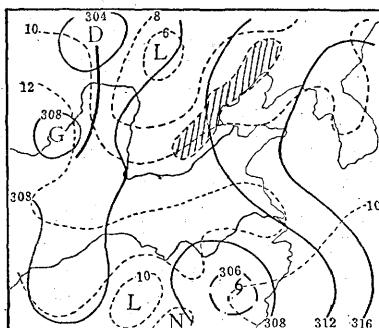


图1a、1977年7月26日08时700mb形势场
(阴影区为25—27日暴雨区)。

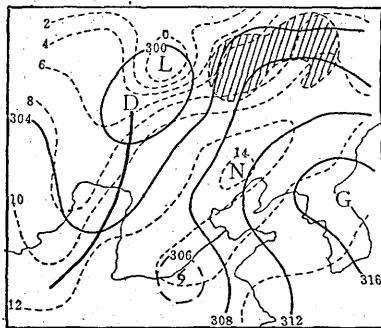


图1b、1977年7月29日08时700mb形势场
(阴影区为29—30日暴雨区)

* 本文是根据“北大暴雨进修班科研成果”整理的。参加此工作的学员还有徐建芬、杜青文、李双全、张之钧和恽耀南。中央气象台邬元康、葛萬芬和水电部中央防汛办公室张福元、刘春葵参加了前期的工作。

时，又有一个比前过程明显的西风槽进入河套地区。从天气形势分析，西风槽似乎将与登陆台风结合，华北将再一次出现暴雨过程。然而实际上，华北只出现较分散的大雨区，却在黑龙江省与内蒙古的交界处出现了暴雨（图1b），我们称此过程为后过程。下面，我们就这两次紧接着的过程进行对比，主要分析对华北暴雨的有利与不利条件。

二、对比分析

1. 低空急流与水汽输送

分析这段期间的水汽输送情况，发现在整个过程中水汽输送量都是很大的（尤其是前一过程），但输送方向却发生了较大的变化。华北暴雨的前夕和暴雨期间，水汽通量最大中心稳定在上海附近，从上海到济南为南风或东南风，即一条很强的水汽通量轴从东海一直伸向华北（图2）。这支强输送带的出现是由于副高中心稳定在日本附近，台风缓慢地向北西北方向移动，它们之间的强风速轴始终维持的缘故。在这段期间里，急流中心活动于上海和江苏射阳之间，急流轴之顶端正好到达华北东部地区，此时，水汽通量轴与700mb急流轴（12m/s以上）基本一致。这里的水汽通量散度是很大的，有利于华北暴雨之产生。27日以后，随着登陆台风的缓慢北上，低空急流中心也随之北移，越过35°N进入渤海湾。对于后过程有两个变化是值得注意的。第一，急流中心虽然还位于登陆台风之东侧，但急流顶端已越过副高脊线，并呈反气旋式从台风东侧一直伸到了吉林；第二，在28日副高中心稍有西进之后，29日又向东北移动，而且原来伸向华北的高压脊强度也有所减弱。这样，水汽输送的特征从原来的直指华北转变为避开华北，经渤海湾折向东北地区（图2）。这正是后过程的暴雨不出现在华北而落到45°N以北的原因之一。

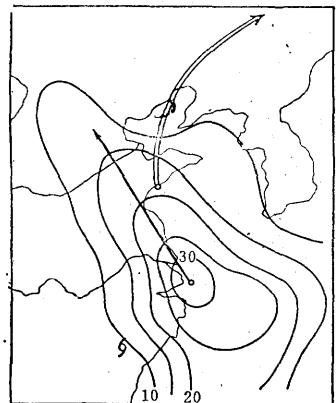


图2 7月26日08时850mb水汽通量图
(单位: $\text{g}/\text{cm} \cdot \text{mb} \cdot \text{s}$) 双箭头线为29日
08时的水汽通量轴线

从上面分析可看到，登陆在闽、浙一带的台风能够对华北暴雨产生影响。暴雨不一定出现在台风临近之际，而可能产生在距台风千里之外的地区。在这里，仔细分析低层风场的变化是重要的，包括低空急流的顶端及中心位置、强度的变化。

2. 冷垫的作用

从图1看出，前后两次过程的气压场形势确是比较相似，但是华北及东北地区的温度场却很不相同。前过程此处是冷槽控制，后过程则是暖脊控制。虽然两次过程在700mb都伴有河套低槽的出现，但由于低槽两侧温度场的差异，低槽的垂直结构则很不相同。前过程的槽是前倾槽，后过程的是后倾槽（见图3）。

垂直运动是产生暴雨的另一个重要因素。本文采用修正的运动学法计算出来的垂直速度，从图3a、b看出，垂直速度剖面形式是不同的，其原因可能是多方面的，但温度场的作用是重要的因素。前倾槽前很强的上升运动不能用涡度平流的垂直变化项得到解释。在一般情况下，涡度平流的作用在前倾槽前是下沉运动，后倾槽前是上升运动，这与我们这次求解垂直运动方程的结果是一致的。对于前倾槽前的强上升运动主要是温度平流项和潜热项的贡献。关于东北及华北的冷垫对于暴雨的作用是这一带预报员同志所熟知的。我们在这一对比分析中，从定量上肯定了冷垫的重要性。对于后过程，华北和东北南部已为暖脊所控制，由于这一暖脊的存在，29日08时位于河套的低槽在东移过程中很快地向北收缩，于是造成了东北北部的降水，而对华北影响不大。

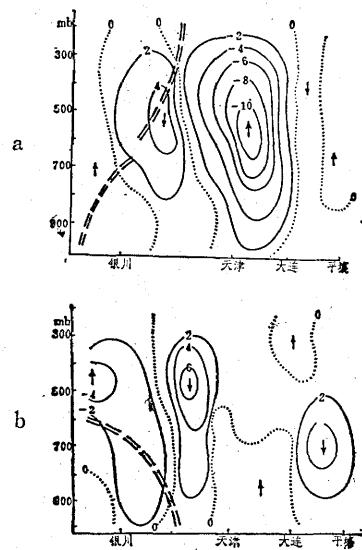


图3 垂直速度剖面与槽线
(○单位: $10^{-3} \text{mb}/\text{s}$)
a. 7月26日08时 b. 7月29日08时

根据垂直运动方程的分析，低层暖平流中心是与上升运动相对应的。前过程河北东部及辽宁西部所出现的强暖平流，一方面是由于华北及东北为一冷垫，另一方面是有较强的偏南气流（与台风相联系的低空急流），而且这一带的偏南气流几乎与等温线成正交，暖平流中心的移动变化与暴雨中心的关系比较一致。图4是北京、天津500、700和850mb三层温度之和及T-Td之和的变化曲线。由图表明华北东部的对流层下部确是先由冷空气占据，后来有暖脊移过来，这是前过程的西风槽过后有暖性小高压东移并入副高所造成的。值得注意的是，当华北是冷槽控制时，对流层下部的相对湿度仍然是很大的，这主要是由于温度较低造成的。这正说明来自不同纬度的空气在此相遇的情形。

图3的垂直速度剖面还说明暴雨时较强的正环流基本上位于西风槽前，这个正环流圈的存在当然与前倾槽有一定的关系，但是冷垫的作用似乎更为直接。在预报实践中，都认为前倾槽容易出现较激烈的天气，在这个个例中，仔细分析系统的演变和风场的垂直变化，我们认为图3a的槽线不是从近地面层一直伸展到对流层上部，而是高层槽移速快，赶上了下层槽，产生较强烈的天气。因此，这种前倾槽的出现和活动是值得我们注意的。

3. 高低空急流的迭置

前过程暴雨的出现，不仅是西风带高低层系统迭加的结果，而且是不同纬度系统相互靠近或迭置的结果，高低空急流的迭置就是造成暴雨的另一个重要条件。在7月下旬初，当7704号台风还在海上的时候，200和300mb高层有一明显的低槽移入新疆地区。槽前的高空西南急流较强，并有一个较强的辐散中心与之对应（位于急流中心西南方等风速线较密集地方），此后，它们不断东移进入华北北部。25日开始，急流与辐散中心南压，此时，低空急流也不断向华北伸展。26日低层的辐合中心与高层的辐散中心相互靠拢，接近于重合，这时正是暴雨最强的时候（见图5）。后来高空急流东移北抬，低空急流则北伸到东北地区。28日以后，它们所对应的辐散、辐合中心已不在华北地区重合，暴雨的可能位置很明显已北移到45°N以北，29—30日，在高低空急流靠近的东北地区出现了暴雨。从京、津、唐地区平均散度时间剖面图（图6）很清楚看出，26日的高低层散度配置对华北的暴雨是有利的，以后，这种关系完全反过来，

华北出现暴雨的可能性就很小了，这种有利的暴雨形势移到了东北。

高低空急流的这种迭置是高低纬度系统相互作用的一种表现形式。造成华北较大范围的暴雨，一般都必须有低纬系统的直接或间接的加入。当然，有适当强度的冷空气与低纬的暖湿空气相互作用是另一个必要条件。我们认为把高低空散度（或急流）的配置用于暴雨预报是有帮助的。

近几年，我们在北方夏季暴雨预报的实践中，也说明了这是行之有效的。

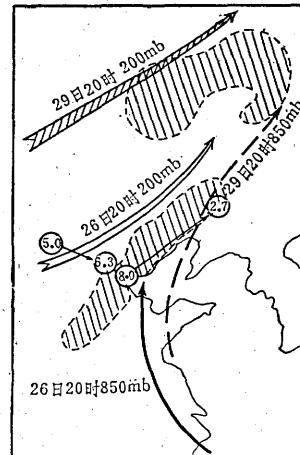


图5 高低空急流与暴雨区（阴影区）
圆圈内的数值是25日20时—27日08时200mb辐散中心($10^{-5}/s$)

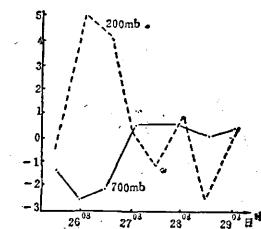


图6 26—28日08时京、津、唐地区的平均散度曲线 ($10^{-5}/s$)

三、小结

通过对两次不同的降水过程的对比分析，我们认为：

1. 在夏季应密切注意台风对华北暴雨的影响。虽然，有时它远离华北，但它的作用（通过低空急流）可能已经达到。
2. 华北低层有冷垫是暴雨的另一个重要条件。我们在日常的天气分析中，不能只注意气压场的演变，温度场有时也是很关键的。
3. 高低空急流的配置与暴雨关系较好。在预报中有一定的参考价值。
4. 进行天气分析与动力分析相结合的过程对比，有助于我们加深对天气过程的认识，总结正反方面的预报经验。
5. 物理量的定量计算结果可以运用于天气图方法。本文所提到的低空急流的变化（中心和末端）、华北冷垫、前倾槽和高低空急流的配置关系都能在天气图上进行分析。