

**编者说明:** 在毛主席教育革命路线的光辉指引下,北京大学地球物理系气象专业七三级工农兵学员和教员,坚持教育要革命的方向,坚持教育为无产阶级政治服务,把教育和生产劳动紧密地结合起来,于一九七五年九月到河北省气象台开门办学。以农业生产危害最大的暴雨预报组织教学,取得了可喜的成果。他们和预报员一起奋战两个月,做了大量工作。这里刊印的是其中一篇。

# 一次黄河气旋特大暴雨过程分析

北京大学地球物理系气象专业\*  
河北省气象局气象台

## 提 要

本文分析了1975年7月底由一个黄河气旋在河北省东部造成的一次暴雨过程。分析说明这次暴雨的形成主要是由于太平洋副热带高压南缘与向西偏北方向移动的台风之间形成一支低空的东南急流。这支从东南洋面上来的暖湿气流,在与贝加尔湖高压脊前的东北方向来的冷空气垫的共同作用下形成了气旋东北部大片的暴雨区。指出了低纬系统对华北夏季暴雨的重要性。同时指出气旋的暖区及锋区附近的中尺度系统的活动也是产生暴雨不可忽视的因子。并为预报这种黄河气旋的暴雨过程提供了一些线索。

## 一、前 言

1975年7月底(28—31日),河北省东部出现了一次暴雨过程,唐山地区普遍下了200毫米以上的特大暴雨,最大暴雨中心在柏各庄(总降水量531毫米),京津地区普遍在150毫米左右(图1)。

这次暴雨过程,对河北省的影响主要集中在29日08时到30日08时。在过程开始以前,主要是西来冷锋的降水。从29日08时开始,随着黄河气旋的生成与发展,冷锋雨带东移北缩,暴雨区集中在气旋的东北部,并随着气旋的东移而向东发展。

由于这次黄河气旋过程比较特殊,造成预报上一定的困难。为了总结经验,搞好夏季特大暴雨的预报与服务工作,本文利用卫星、雷达、各层天气图、单站资料等分析了28日08时—31日08时暴雨过程。并对暴雨区的散度、垂直运动、水汽通量及辐合量的分布及随时间的变化进行了计算。在此基础上对这次黄河气旋造成暴雨的成因进行了分析。

## 二、天 气 形 势

这次暴雨产生前(28日08时),从500毫巴形势看(图2),从西伯利亚北部到乌拉尔山

---

\* 本文是由1973级工农兵学员和教员与河北省气象局气象台协作完成的。

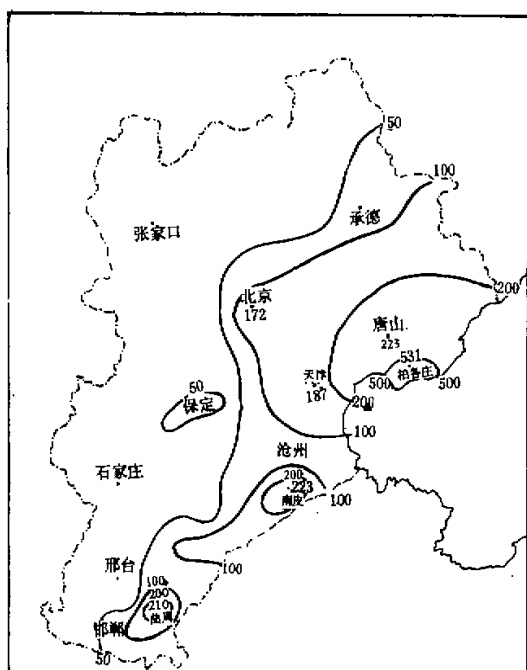


图1 1975年7月28日08时—31日08时过程雨量图

东部为一宽阔的低压带，贝加尔湖及其北部为一发展的暖高压脊，贝加尔湖以南气流较平直，属于纬向环流。贝加尔湖脊前从黑龙江北部经蒙古到青海湖一线为一低压槽区。太平洋副热带高压呈东西走向，脊线在  $35^{\circ}\text{N}$ 。2号台风在副高南部边缘向西偏北方向移动。在台风的西北部，太平洋副高与大陆副高之间有一狭长的南北向低压带。

在地面图上，有一呈东北西南向冷锋与高空槽对应，伴随着一条雨带，从河西东移的冷锋南段正进入西南倒槽的边缘(图3)。

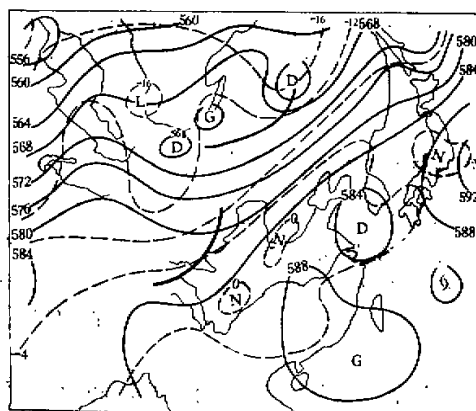


图2 1975年7月28日500毫巴图

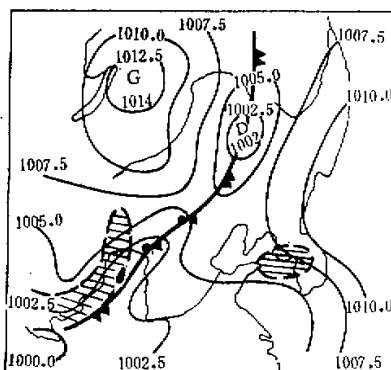


图3 1975年7月28日08时地面图

正是在这种形势背景下,副高稳定。2号台风沿副高边缘向西偏北方向移动,我国东部沿海洋面上还有一热带低压,它们对中纬度气旋的发展和暴雨的产生提供了有利条件。

### 三、暴雨的成因

#### (一) 冷暖空气的活动

冷暖空气的交汇是产生降水的基本条件。为了弄清这次暴雨过程的冷暖空气活动情况,我们做了850毫巴和700毫巴从28日20时到31日08时六个时刻的24小时变温图。一般来说,夏季华北地区的降水主要是由于西来的冷空气与西南来的暖湿气流的交汇而产生。在这次暴雨开始以前,晋陕地区及河北西部的降水即属这种情形。冷锋前后的正负变温中心配合也很好。但是到了29日08时(图略)即暴雨过程开始的时期,我们注意到赤峰附近有一强的负变温中心,而从济南到贵阳则有一弱的正变温区与刚生成的气旋的暖区内的西南气流相配合,暖锋正是在这两个正负变温中心过渡区中生成。这时我们看到850毫巴上的西南气流并不是很强劲的,比起东北部从东北下来的冷空气尤其弱得多。这种情形下气旋往往是不能发展的,所以这时刻暖锋前的降水是比较小的。但是我们注

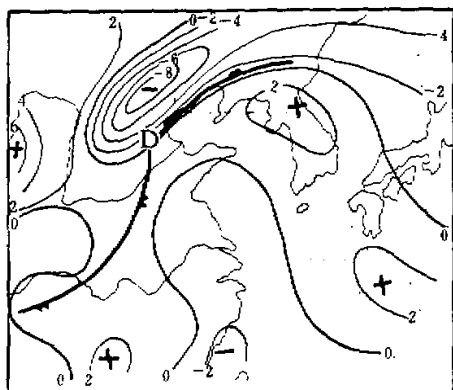


图4 1975年7月29日20时850毫巴24小时变温图

意到在日本东南部还有一个轴向为东南西北向的正变温区,到了29日20时(图4)这个正变温区明显地向西北方向推进,一直扩展到朝鲜半岛和黄海北部,并且强度也明显加强。这支东南来的暖空气与贝加尔湖高压脊的东北下来的冷空气在河北东部与辽宁的沿海交汇,促使暖锋的北抬与暴雨的加剧。与此同时,西南气流的正变温区明显南退,可见这次黄河气旋所产生的特大暴雨主要是由于东北下来的冷空气与东南海上的暖湿空气交汇而产生。通过做二连浩特到衡

县的剖面图(图略),可以看到从08时到20时锋区等 $\theta_{se}$ 线变密,坡度变陡,而且上下层锋区更接近,这说明暴雨过程正是这两股气流剧烈交汇和锋区加强的过程。

#### (二) 水汽输送与水汽的集中

源源不断的水汽输送和水汽在一定区域内大量集中是产生较大降水的必要条件之一。为了揭示这方面的问题,我们计算了这次暴雨期间28日20时—30日20时共五个时刻的水汽输送和水汽通量的辐合。水汽输送即 $V_q$ ,而水汽通量的辐合为 $\nabla \cdot V_q$ ,分别计算850毫巴、700毫巴和500毫巴等三层。由于海洋上无测风资料,采用了地转风近似(网格距为200公里)。

计算结果表明,在整个暴雨期间低层一直存在着来自西南和东南的两支强输送带(图5)。西南这一支来自孟加拉湾地区,而东南这一支的轴线从日本南部经黄海北部一直伸

向渤海湾,它和位于日本南部洋面上的2号台风有密切的关系。在过程前期(29日08时以前)西南输送是主要的。由于输送的大小自西南向东北减小,造成华北平原大范围的水汽辐合区。中心在河北的中、北部。但随着黄河气旋在黄河下游形成和移入渤海湾的过程中不断加深发展,29日20时以后气旋后部偏北气流增强,西南输送不断减弱(图6)。从黄河中游到长江中游这一带已由原来的西南输送转变成东南输送。而从淮河下游到山东半岛这一条狭窄的西南输送带,主要是由于气旋暖区西南风加大的结果。在暴雨的集中时期,来自东南方的这支输送带对于暴雨所起的作用是不可忽视的。这是因副热带高压一直稳定在日本附近,而2号台风沿着副热带高压南缘逐渐向西偏北方向移动。在副热带高压与台风之间形成一支强劲的低空(850毫巴)东南风急流,它把洋面上充沛的水汽源源不断地输送到大陆,为大暴雨的产生提供了十分有利的水汽条件。

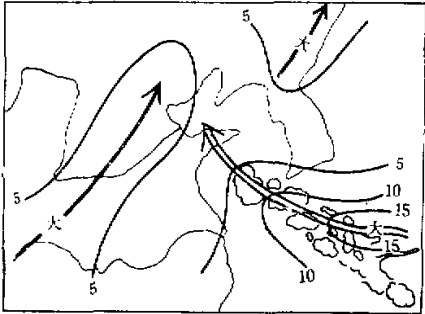


图5 1975年7月29日08时700毫巴水汽输送。单位:克/厘米·毫巴·秒

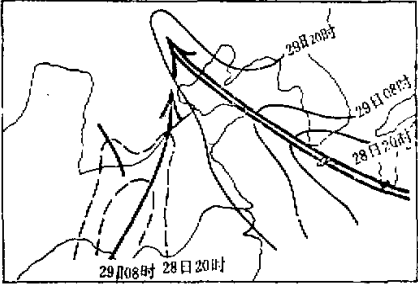


图6 850毫巴水汽输送动态图。等值线为10克/厘米·毫巴·秒。

必须着重指出的是:在这次大暴雨过程中,气旋发展和暴雨明显加大的时刻,和东南输送的时间变化有很好的对应关系。图6说明,在29日20时东南水汽输送加大,而暴雨又正是在这个时期显著增强的。此外,我们还作了位于东南输送轴线附近的济州岛单站要素时间变化曲线(图略),发现济州岛低层东南风速和 $\theta_w$ 也有明显增大的现象,而且出现在河北雨量明显加大之前。东南风速的加大,一方面带来了大量的水汽,同时沿风速轴线造成一条位势不稳定带(卫星云图上出现一条沿急流轴的积云带),另外也加大了渤海湾周围地区的辐合。

### (三) 垂直运动

较强的上升运动是产生大暴雨的另一个必要条件。对这次过程的分析,我们应用W方程采用准地转五层模式计算出暴雨期间各层的垂直速度。此外,还考虑了大尺度地形对各层垂直速度的贡献(网格距均取为200公里)。计算结果表明,地形影响约占垂直速度的20—25%。这主要

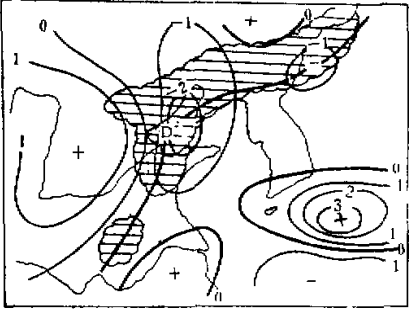


图7 1975年7月30日08时600毫巴垂直运动分布。负值为上升,正值为下沉。阴影区为大范围降雨区。

是沿燕山山脉南坡的爬坡作用,它对暴雨有一定的贡献。求得垂直速度以后,再从连续方程反求各层的散度。

图7是暴雨时的一张垂直运动分布图。由图可见,围绕着气旋中心和冷暖锋面是大片的上升区。大片的降雨区就分布在上升运动较大的区域。上升运动中心与当时的暴雨中心比较一致,但偏在气旋中心的东北方,这里正是东南气流与东北气流辐合较强的地方。在这次过程中后六小时的暴雨中心都位于气旋的东北象限。

(四) 急流与暴雨

过去许多研究大都强调西南急流对暴雨的重要作用。这次我们分析了28日20时—31日08时200毫巴、300毫巴和700毫巴的急流。发现高低空急流的强度和位置的变化与暴雨有一定的联系,而且低空的东南急流对这次暴雨有重要的作用。图8是这次过程急流与暴雨的示意图。

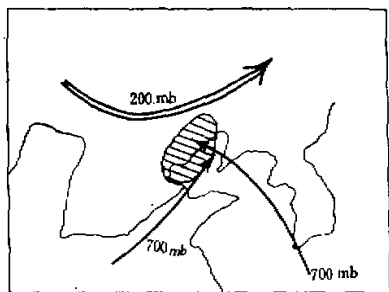


图8 急流与暴雨区的关系。

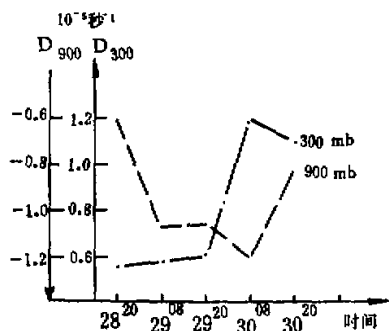


图9 急流附近的散度变化。

这次过程的前期(28日20时以前),200毫巴从酒泉到东北的满州里有一条高空急流,此后高空急流不断东移南压,强度也在逐步增强。29日08时这支急流已到呼和浩特——哈尔滨一带,这时低空西南急流也随之北跳,于是河北大暴雨开始了。从计算的散度场看,高空急流右侧有一片较强的辐散区,低空急流的左侧有较强的辐合区。散度场的这种配置对于上升运动的加强和维持是十分有利的。因此,这是产生暴雨的必要条件。

在这次过程中,在低空辐合中心的上空都有一个辐散中心相配合,从图9看出,当辐散辐合的中心强度达到最大时,也就是唐山地区暴雨最强的时候。30日20时高空急流又一次明显地逆转,转成SSW—NNE,并且强度显著减弱,低空急流也随之转向,暴雨中心也就移出河北到达东北辽宁南部,暴雨强度有所减弱。低空急流的强度和暴雨有密切的关系,低空急流轴中心风速加大,暴雨强度也随之加大。

概括这次暴雨过程的急流变化,高低空急流的配合有两种形式。一种是两者平行,雨区位于高低空急流之间,紧靠低空急流轴。另一种是两者交叉,暴雨中心就在交叉点附近。

(五) 中尺度系统的活动

1. 暖区暴雨

29日08时河北平原位于气旋暖区内。11时卫星云图显示有四条明亮的弧状云带,

走向与冷锋几乎垂直(图10),其中 A、B、C三条云带产生三个暴雨中心。(图11)

(1) A带在柏各庄一小时雨量达118.6毫米,9—12时三小时雨量达213.3毫米,占过程总雨量的44.5%,对应9—12时在柏各庄与天津之间有一东风切变线,流线呈气旋性弯曲,产生强的辐合上升形成暴雨,沿700毫巴气流向东北移动。

(2) B带配合一条横切变线降水,切变线08时形成后北上加强,雨量小于25毫米/小时。14时移到天津与冷锋结合,雨量显著加大,达52.1毫米/1小时。雷达回波显示横切变线上东西向的云带9时03分到10时38分是北上加强的(图12)。

(3) C带的西北方,在南宫产生暴雨,10毫米/小时雨量中心在南宫附近持续四小时,这个中心很少移动,原地减弱。

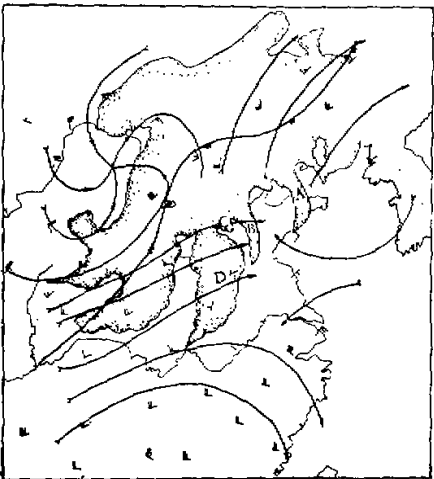


图10 1975年7月29日11时04分卫星云图和08时700毫巴流线及地面锋面。

## 2. 锋上暴雨

在冷锋上有两个暴雨中心活动,基本上随冷锋东移(图13中④⑤两个中心)。

### (1) 第一个暴雨中心

(图13中④)08—13时东北风与北风切变线位于保定—石家庄,很少移动,暴雨中心在切变线上向东北方向移动,雨强减弱。14时冷锋与切变线结合有辐合中心出现,加上从

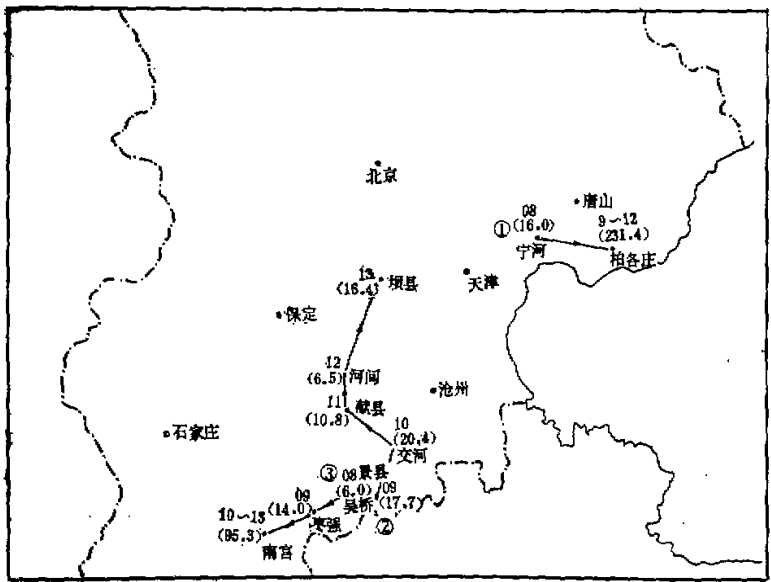


图11 暖区暴雨中心移动路径。

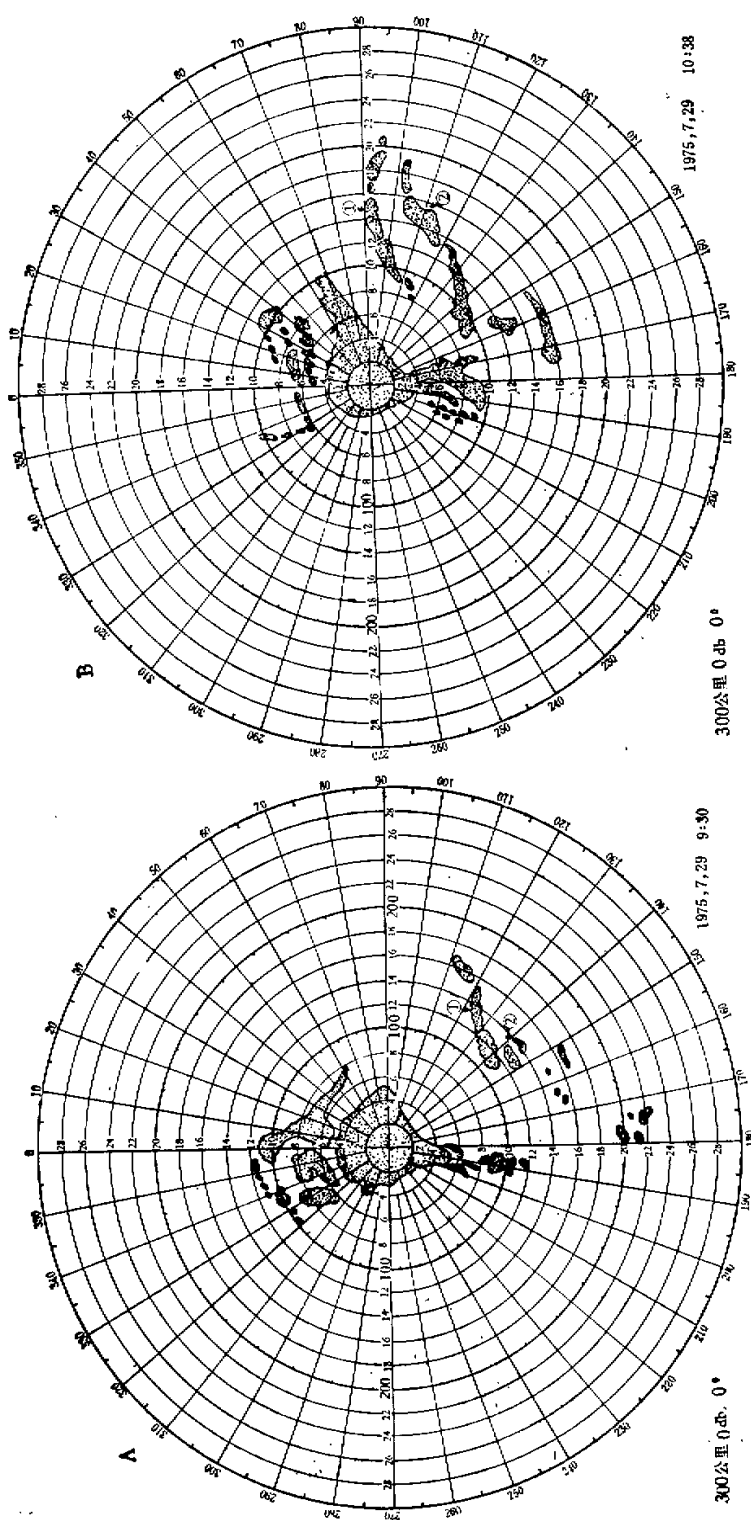


图 12 石家庄雷达回波, 9 时 03 分东南方有东西向回波, 第一条是横切变线的回波, 第二条是南首暴雨回波。10 时 38 分, 第一、二条回波加强北移, 与暴雨中心一致。

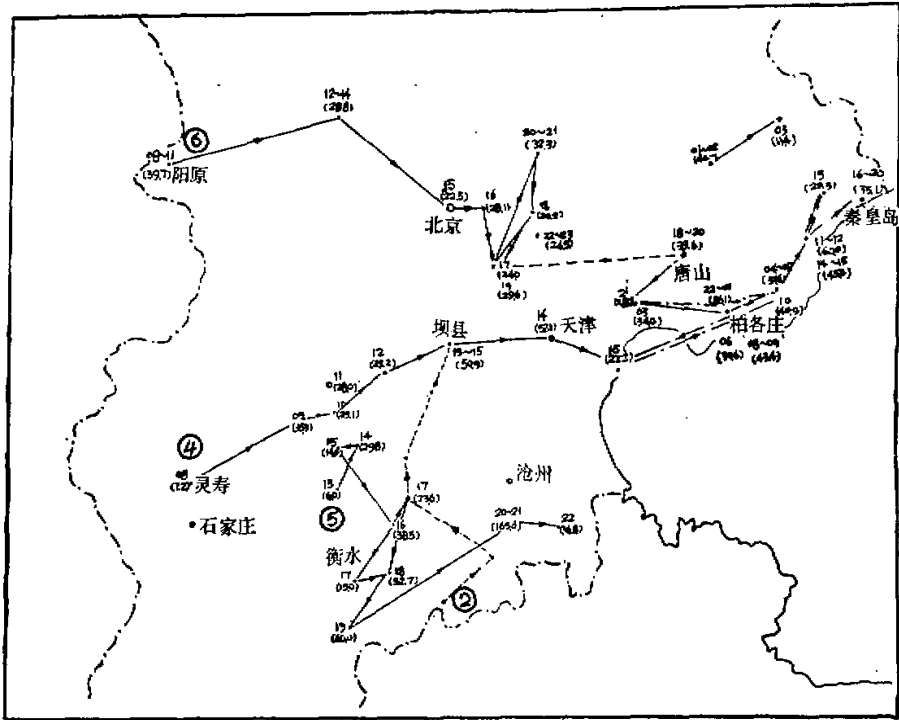


图 13 锋上和锋后的暴雨中心路径。

暖区北上的暴雨中心合并,在天津——保定形成一条强暴雨带,与冷锋几乎平行,天津雨量加强达 52.1 毫米/小时(图 14)。

切变线属于冷性,自西向东缓慢移动。前方为偏东风,后方为偏北风并表现为风速加大,切变线经过单站时雨量加大。

#### (2) 第二个暴雨中心(见图 13 中⑤):

暴雨中心与大尺度的气旋中心配合东移,暴雨中心在地面辐合中心的前方。14—20 时冷锋上的辐合中心加速东移,雨量猛增,19—20 时南皮达 110.0 毫米/小时(图 13 中⑤)。

在 20 时天气图上沿锋前雷雨强烈发展并有一个雷暴高压,范围 30—50 公里(图 15)。在南皮单站曲线上雷暴高压的特征持续了三小时。同样,由每小时天气图看到(图略),雷暴高压使冷锋暴雨向前跳动,雷暴高压后部雨量减小,然后主锋过境雨量稍加大,但强度远比前一次弱,因为不稳定能量已在第一次暴雨释放。

这个暴雨中心 22 时以后东移出河北。

#### 3. 锋后暴雨:

这类暴雨中心由张家口经北京到唐山地区,范围广,为连续性,雨强变化较小(图 13 中的⑥)。但持续时间由 29 日 08 时—30 日 17 时共 33 小时。大形势的背景是 700 毫巴低涡东移并加强,低涡移到北京以东减弱,在低涡前部产生暴雨,同时地面在 29 日 14 时以后京津唐地区已处于冷锋北部,但冷锋后来在渤海静止,造成有利的冷垫,而高空大量的

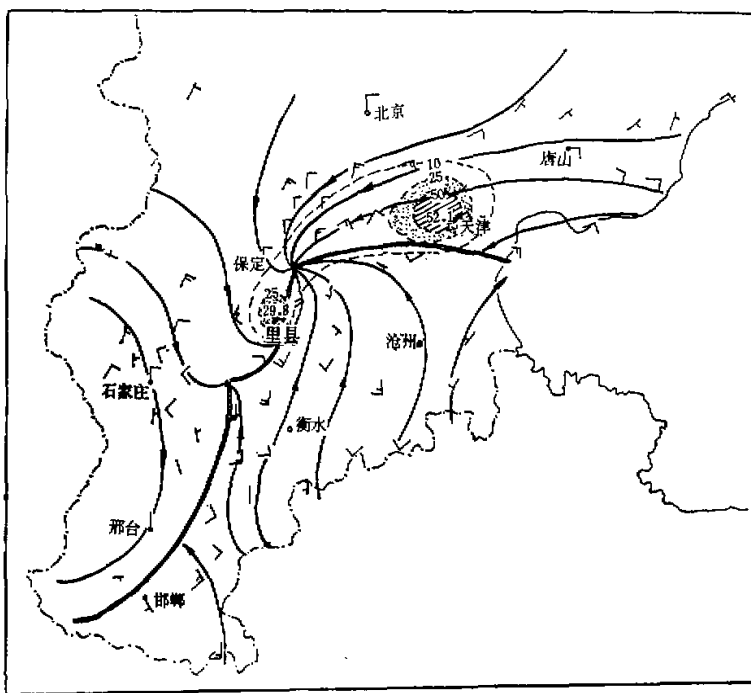


图 14 1975 年 7 月 29 日 14 时地面流线图。双线：辐合线。阴影区：后一小时降水量中心。

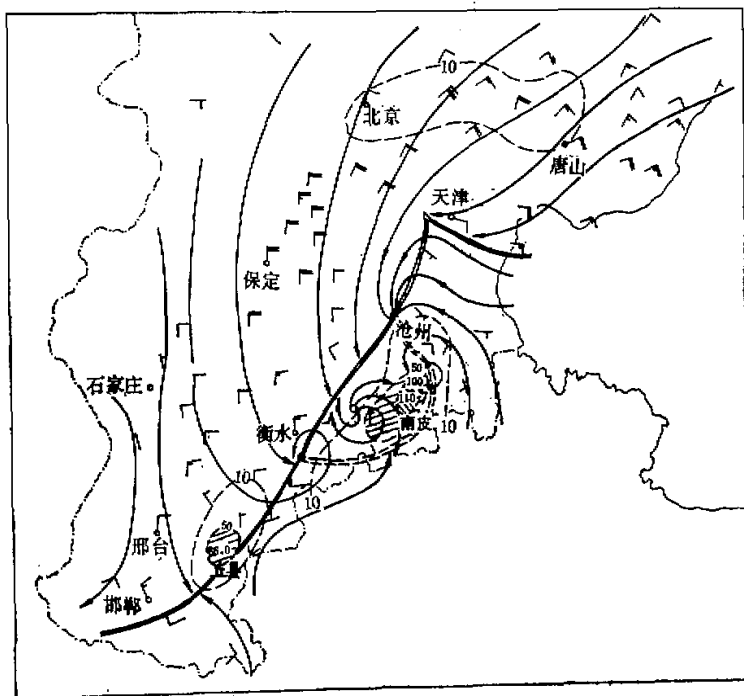


图 15 1975 年 7 月 29 日 20 时地面流线图。双线：辐合线。阴影区：后一小时降水量中心。

水汽在冷垫上爬升,造成唐山地区特大暴雨。

这次暴雨有三次加强:

第一次在 29 日 16 时,低涡东移的暴雨中心与冷锋上的暴雨中心在北京南部合并,其南方伴随一个较强的辐合中心,这个中心 20 时在武清消失。

第二次和第三次分别在 29 日 23 时和 30 日 05 时唐山地区沿海雨量加强,23 时气旋移近渤海加深导致气旋后部冷空气南下,东北风显著加大,引起一次锋后的辐合上升,使雨量加强,唐山沿海各站的单站要素变化表明,这两次雨量加大都伴随着东北风加大和气温下降。

#### 四、结 语

由以上分析可以得出如下几点结论

1. 低纬度系统对华北暴雨的影响是十分重要的,这次 2 号台风虽然强度不强,又没有直接侵袭,但它对于热带洋面上大量暖湿气流源源不断地输送,造成中纬度气旋的发展,锋面的加强与特大暴雨的产生起着极其重要的作用。在夏季汛期预报中,由于低纬度洋面资料的缺乏,可以充分利用卫星云图资料。如这次 2 号台风西侧射出的积云带,就是这种来自低纬东南水汽输送带的形象的反映,这在卫星云图上显然非常清楚。

2. 贝加尔湖高压的存在,使冷空气从东路下来在华北一带形成一冷垫,也是产生这次暴雨的重要条件,所以在今后预报中不仅要注意西来冷空气,也要注意东路来的冷空气的作用。

3. 利用 200、300 毫巴图或卫星云图和 700 毫巴图可以确定高低空急流的位置,这对于暴雨区的预报有一定的参考价值。

4. 中小尺度系统,如暖区内的横切变线活动,锋区附近的雷暴高压对于暴雨产生的作用是不可忽视的。充分利用雷达资料、区域小图和单站要素变化曲线图可以追踪这种系统,对于预报有一定的参考意义。