

一次强暴雨过程的水汽图像分析

李云川

(河北省人工影响天气办公室, 石家庄 050021)

胡欣

戴念军

(河北省气象台)

(河北省民航管理局气象台)

提 要

用 GMS-5 水汽图像、红外云图、流场和云顶亮温 TBB 场, 分析了 1999 年 8 月 9 日石家庄市区的强对流大暴雨。结果表明: (1) 水汽图像中的较亮区域在对流层上部相对潮湿, 水汽含量大, 是强对流暴雨落区预报的参考依据; (2) 水汽图像中较亮的湿区与 θ_{se} 高值区的重合, 是强对流暴雨产生的重要物理因子。

关键词: 水汽图像 强对流 暴雨

前 言

近年来, 水汽图像在天气分析预报业务中已迅速地成为一种重要产品, 它可以通过其灰度色调及其分布形式为天气分析预报提供参考信息。观测事实表明: 从水汽图像分析中可发现可见光、红外云图上不易看出的特点, 也可以从估测高空风判断出上升运动区或下沉气流带, 以及风速急流轴的准确区域。郑新江等^[1]曾应用水汽图像归纳出降水和强对流天气的 4 种水汽图像类型。

1 降水分布

1999 年 8 月 9 日的强对流暴雨天气过程中降水量分布很不均匀。暴雨中心主要有两个, 分别位于太行山段(石家庄至保定)迎风坡的前部和燕山南麓。本文主要讨论石家庄至保定的暴雨, 图 1 给出了 9 日 01~12 时(北京时, 下同)的雨量分布, 其中灵寿、正定、宁晋、满城、石家庄市 12 小时降雨量均超过了 100mm, 石家庄市 12 小时降雨量达 138.1mm, 正定县雨强(07~08 时)达 $67 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。大暴雨造成石家庄市普遍积水, 局部积水近 1m 深, 给省城人带来了诸多

不便, 给一些施工单位造成了严重的经济损失。

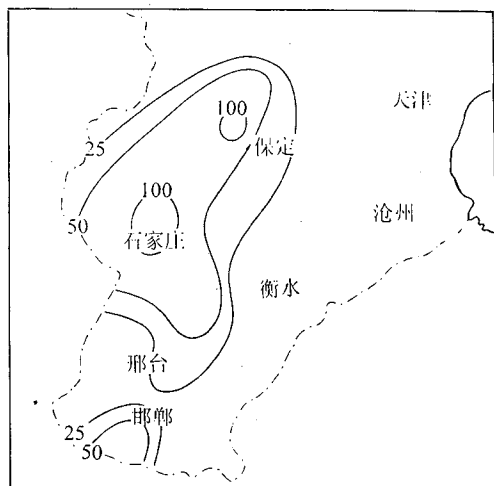


图 1 1999 年 8 月 9 日 01~12 时的雨量分布/mm

2 天气形势分析

8 月 8 日 20 时 500hPa 上, 大尺度背景场的主要特点是副热带高压偏北偏东; 减弱的 9907 号热带风暴(7 日 11 时停止编报)位

于副热带高压的西侧,环流中心位于 34°N 、 121°E 附近,北边界位于 38.5°N ,西边界位于 117°E ;在河套附近有发展东移的短波槽,9日08时,短波槽前的西南气流仍较弱,且呈南北向的长条状。

由8日20时暴雨区及以南地区的各层风场(图略)可见,850hPa的西南风杂乱不齐,最大风速 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;700hPa的西南风也仅有5个测站,最大风速 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;500hPa的西南风只有3个测站,最大风速也只有 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。河北中南部地区处于弱的短波槽前部,且没有大尺度的中空西南急流伴随,也

就是说,不存在来自西南地区大尺度的水汽输送,在这种形势下通常为一次弱降水过程。该过程所产生的特大暴雨是较难准确预报的。

3 高空环流特征与卫星云图分析

图2分别给出了9日05时地面和9日08时850hPa、500hPa、200hPa的流场分布图。由图可见,9907号热带风暴减弱的低压和引发此次暴雨天气的辐合线是两个较深厚的中尺度系统,切变线随高度略向西倾斜,对应着自河套东移的短波槽。我们由地面到高空具体分析如下。

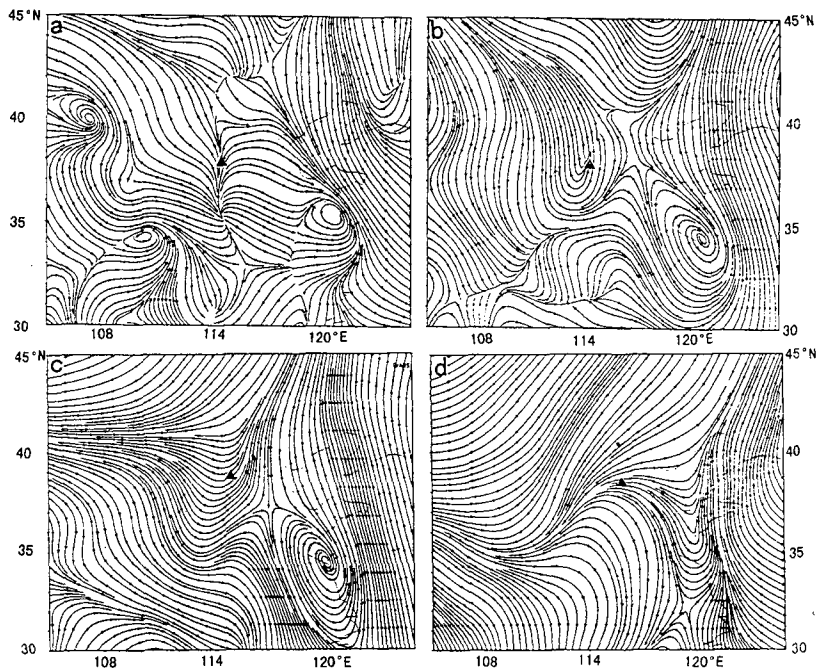


图2 1999年8月9日05时地面流场(a)和08时850hPa(b)、500hPa(c)、08时200hPa(d)流场(▲为暴雨中心落区)

从图2a中可见,9907号热带风暴减弱低压北缘的偏东风延伸至太行山脉东麓,并与北方南下冷空气的西北气流在太行山东侧形成了一条近似南北方向的中尺度辐合线,它在近地面层为暴雨的形成提供了有利的触发机制,暴雨区沿中尺度辐合线向东北方向

传播。中尺度辐合线向上伸展到850hPa(图2b),呈现为一个中尺度的气旋性流场。由850hPa θ_{se} 的分析(图略)可得到, θ_{se} 的高能区正好与700hPa、500hPa的弱西南气流叠加,使其水汽沿高能舌向东北方向延伸,为此次暴雨过程提供了充沛的水汽源。

在对流层中部,暴雨区正好与 500hPa 短波西风槽前部的辐合上升区重合(图 2c)。我们注意到,在该层上除暴雨区和 9907 号热带风暴减弱的低压以外,大部分区域流场均辐散区。暴雨区的这支上升气流达 200hPa (图 2d),该层气流呈“开放的喇叭口”形状,这意味着,高层开始出现强烈的辐散运动,具有强烈的抽吸作用。综上所述,这次强对流暴雨具有强烈的深对流物理结构。另外,位于两个低值系统之间的华北平原的东南部地区为反气旋环流控制,降水量不大。

从逐时红外云图(图 3)分析可看到“F”“G”“R”三个对流云团的移动路径。“F”云团产生于西安的东北部,其直径为 150km,平均移速为 $40\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$,移向为东北,云顶亮温 TBB 低值中心达到了 -71°C , $\text{TBB} \leq -32^{\circ}\text{C}$ 的面积为 150km^2 (8 日 20 时);9 日 00 时,该云团边缘由原来平滑整齐变成松散,范围变大,直径为 250km,云顶高度在降低(TBB 低值中心为 -64°C),逐渐脱离了 30°N 附近东西走向的带状云系。同一时刻,在该云团东北部新生一直径为 25km 的“G”云团, $\text{TBB} = -54^{\circ}\text{C}$ 。“G”云团 04 时开始进入石家庄地区,云团直径增至 120km,但 TBB 仍为 -54°C ,而且云团在石家庄地区滞留时间达 4 小时。07 时“G”云团 TBB 降至 -56°C ,此时刻降雨强度达到最大;08 时“G”云团移出石家庄地区,降雨渐渐减弱。图 3 中的 05 时“F”云团再次在其东北和西南部新生两个云团(西南部云团“T”影响河北邯郸地区),东北部的云团为“R”,该云团以 $30\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度向北北东方向移动,09 时其云团东北部影响石家庄地区, $\text{TBB} = -52^{\circ}\text{C}$,其降水强度不大。另外,从图 3 还清楚地看到,当高空短波槽逼近云团“G”和“R”时,在槽前中、低空的偏南气流作用下,云团“G”和“R”分别由 04 时和 06 时开始转向北偏东方向移动,这个移动方向

与地面的风场切变线较为一致。

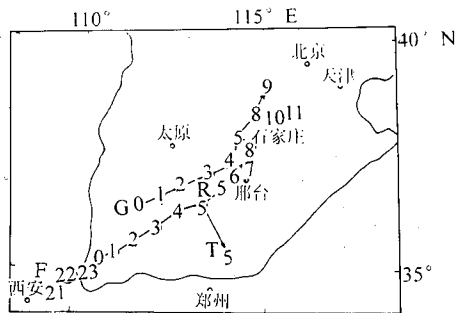


图 3 三个云团移动路径(数字表明时间/北京时)

4 水汽图像特征的演变

图 4 给出了产生大暴雨前(a)和暴雨期间(b)的两幅水汽图像,图 4a 中的 A、B、C 为三个主要天气系统:A 系统与宽槽中的弱槽线相配置,B 系统与贝加尔湖附近的闭合低压相对应,C 系统为减弱的 9907 号热带风暴残留云系。比较图 4a、b 还可发现,C 系统的稳定致使 A 系统东边界几乎没有移动,西边界快速移动了 5 个经距后,A 系统的东西跨度由原来的 11 个经距缩至成 6 个经距。这表明:一方面,C 系统的阻挡延长了暴雨的持续时间,另一方面,当西北地区冷性高压快速东移时,导致暴雨区内东西方向的气压梯度力加大。B 系统的尾部于 01 时(红外卫星云图)并入 A 系统的云区中。造成了大气层结不稳定,为暴雨过程提供了充分的能量,在 B 系统与 C 系统的共同作用下,导致低层辐合区缩小,辐合强度增加,能量释放和对流天气发展的区域相对集中,促使降雨强度加强。

“F”云团在向东北偏东方向移动过程中,渐渐脱离 30°N 附近的带状云系,云顶高度也渐渐降低,且分裂为云团“G”、“R”和“T”云团。而处于 30°N 附近的带状云系之间的对流云团在西安东南方向强烈发展,位置少动,它与 9 日 08 时 850hPa 的切变线相吻合。

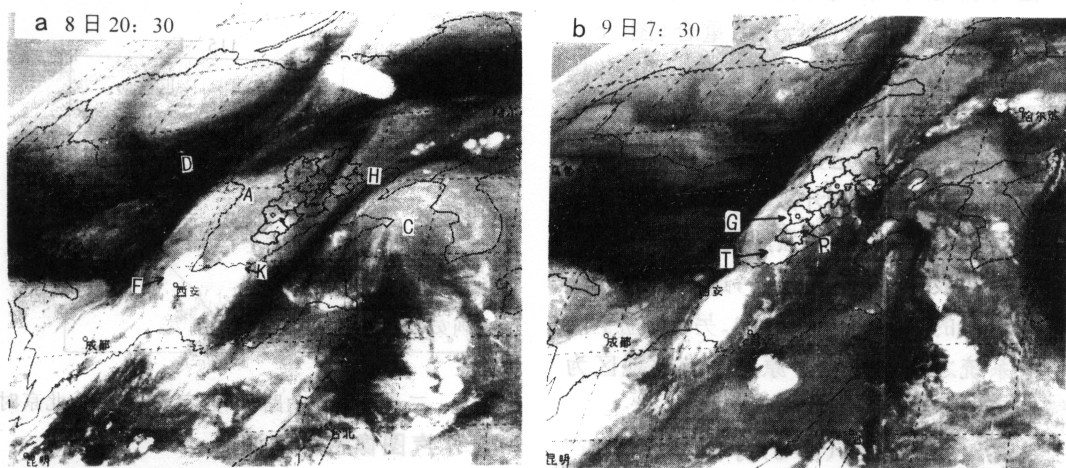


图4 1999年8月8日20时(a)和9日07时(b)的水汽图像

从逐时的水汽图(图略)中,可以观察到系统移动中其灰度的变化及其移动中的单个湿气团亮度变亮的过程;通过观察暗区随时间的变化和湿气团的变化,对于随时订正并核实预报结果有一定的指示意义。在 $6.7\mu\text{m}$ 的水汽图上出现的变暗过程,意味着该区存在着活跃的下沉运动,即向下的垂直运动正在发展中^[2]。比较图4a、b还可看到,在“D”处有一个相对暗区,经过12小时后,这一暗区东移并随时间变得更暗了,分析得到该区位于500hPa的西北气流区内,且与该层的冷平流相配置,从连续的图中可以证实,该冷平流控制区明显地逐渐增大,其范围也变得相对集中,太原站700hPa ΔT_{12} 最大降温达 4°C ,另外该暗区域中的风速也随时间逐渐加大,由 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增大为 $32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,暗区随时间变暗的过程清楚表明,该处的高空槽正在加强。

在“H”处的“干缝”^[2]随时间变化则是由暗变浅,且“干缝”也变得不清晰了,尽管如此,在整个暴雨过程中“干缝”却始终是存在的。这表明,在A系统与C系统之间存在着中尺度下沉区^[3]。在700hPa、500hPa分析图中表明了与“干缝”相对应的均为一致的狭窄

的西北气流带。

图4a的“F”和“K”在图中为两团较为明亮的水汽块,可以断定该处的水汽充沛和湿度相当大,随着小槽的缓慢东移,由于“K”水汽块的东部为下沉气流控制的“暗区”,使其迅速减弱消失,而位于850hPa θ_{se} 脊中间的“F”水汽块虽然在向东北方向延伸时云顶渐渐降低,但在湿区中不断有对流云团新生而形成暴雨。

5 结语

(1)水汽图像中较高的湿水汽块与850hPa θ_{se} 高值区的重合可为暴雨落区预报提供依据。

(2)低层的辐合及高层气流的强辐散对中尺度系统的发生发展有很大的贡献,是中、小尺度暴雨产生的关键。

参考文献

- 1 郑新江等. 华北强天气的水汽图像特征研究. 应用气象学报, 1999, 6, (2).
- 2 Roger B. Weidon and Susan J. Holmes. 水汽图像在天气分析和天气预报中的解释与应用. 北京: 气象出版社, 1994. 9.
- 3 [英]M. J 巴德等. 卫星与雷达图像在天气预报中的应用. 北京: 科学出版社, 1998.

An Analysis of a Severe Convective Storm with Satellite Water Vapour Image

Li Yunchuan

(Weather Modification Office of Hebei Province, Shijiazhuang 050021)

Hu Xin

(Meteorological Observatory of Hebei Province)

Dai Nianjun

(Meteorological Observatory of Civil Aviation Administration Bureau of Hebei Province)

Abstract

Based on the GMS-5 imagery and weather data, a severe convective storm on 9 August 1999 was analysed. The results show that (1) the brighter area in the moisture image is in the upper troposphere with higher moisture. It is one of the criteria in prediction of storm occurring area; (2) the coincidence of brighter area in moisture image with higher potential pseudo-equivalent temperature (θ_{se}) is an important physical factor in the occurrence of a severe convective storm.

Key Words: moisture image severe convection rainstorm