

05. 7. 23 河北暴雨中尺度分析

侯瑞钦¹ 景 华¹ 张迎新¹ 张文君²

(1. 河北省气象台, 石家庄 050021; 2. 中国科学院大气物理研究所)

提 要: 利用常规观测资料和卫星、自动站、加密雨量站、多普勒雷达等资料, 对2005年7月22—24日河北中南部大暴雨过程进行天气动力学和中尺度分析, 结果表明: 这次暴雨是在有利的大尺度环流下产生的; 副热带高压及热带系统造成的低层水汽堆积及高层的强辐散为强对流发生提供了热力和动力条件; 整个过程中主要有三个强对流云团活动, 地面对应有3个中- β 尺度雨团产生, 雨团一般出现在中尺度辐合线或中尺度气旋性环流偏向暖湿气流一侧; 强雷达回波和正负速度对、逆风区等特征对强降水具有指示意义。

关键词: 大暴雨 中尺度分析 雨团 多普勒雷达产品

A Mesoscale Analysis of a Heavy Rainfall Event in Hebei on 23 July 2005

Hou Ruiqin¹ Jing Hua¹ Zhang Yingxin¹ Zhang Wenjun²

(1. Hebei Meteorological Observatory, Shijiazhang 050021;

2. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of sciences)

Abstract: Based on the routine observational data as well as data of satellite, automatic weather stations, densified rainfall stations and Doppler radar in Hebei Province, the dynamical and mesoscale signature for the heavy rainfall event occurred on July 22—24, 2005 is analyzed. The results show that the heavy rainfall occurs in the favorable environmental conditions. The main reasons to the severe convective weather are the water vapor accumulation on lower levels and strong divergence on upper levels caused by subtropical High and tropical depression which provided thermal and dynamical conditions. There are three severe convec-

tive cloud clusters and three meso- β rain clusters during the heavy rainfall, and the rain clusters appeared on the mesoscale convergence line or the warm and moisture side of the mesoscale low. Strong radar echoes and positive-negative velocity and head wind area are indicative to the heavy rainfall event.

Key Words: heavy rainfall mesoscale analysis rain cluster Doppler radar products

引言

暴雨是河北省主要灾害性天气之一, 研究指出^[1], 暴雨的产生与中尺度系统有着直接的关系。多年来, 气象工作者对长江流域、西南地区暴雨中尺度特征研究较多^[2-6], 对西北地区东部、华北地区暴雨中尺度的分析和研究近年来也明显加强^[7-9]。随着气象业务现代化的发展, 自动站、加密雨量站、多普勒雷达的建设为我们更深入细致地分析暴雨天气提供了可靠的依据。

2005年7月22—24日河北省中南部出现了2005年汛期最强的一次强降水过程。据全省自动站及加密自动雨量站统计显示, 22日08时—24日08时总雨量在50~99.9mm之间有158个站, 大于100mm有64个站, 存在3个雨量中心。从雨情的分段分析可看到, 这次降水过程在空间和时间上分布很不均匀, 多个站出现短时暴雨, 特别是3个大暴雨中心, 均有1小时极强降雨。

本文利用多种探测资料分析讨论造成此次河北暴雨的天气尺度条件, 重点分析其中尺度特征, 以期为区域暴雨中大暴雨中心的预报提供一些参考依据。

1 大尺度环流背景和影响系统分析

图1给出本次过程雨量分布, 由图可见这次过程降雨量大且在时空分布上很不均匀。暴雨前500hPa环流形势, 欧亚大陆中

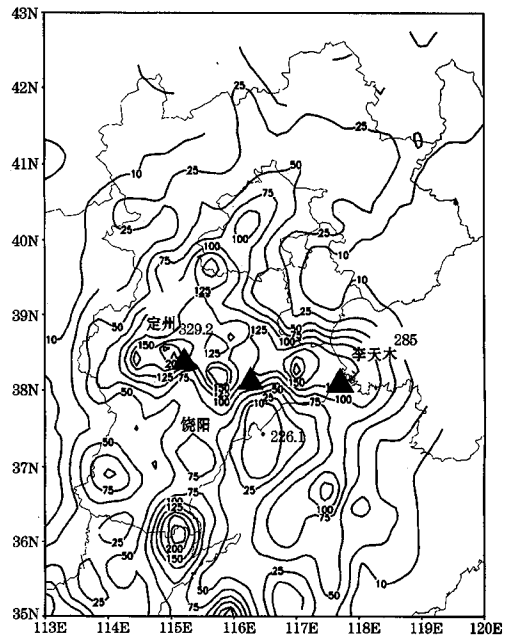


图1 2005年7月22日08时—24日08时
降水量(单位: mm)

高纬度上空维持两槽一脊型, 位于中西伯利亚的高空冷涡不断分裂出冷空气, 以短波槽的形式东移影响华北地区。22日08时, 位于二连浩特—银川一线和甘肃中部各有一短波槽; 西太平洋副热带高压(以下简称副高)为块状, 中心位于黄海, 河北省处于副高外围的偏南暖湿气流里(图略); 700hPa, 0505号台风海棠减弱的低气压中心位于湖南省北部, 其低压倒槽向北发展至太行山区, 有明显的风向和风速的辐合; 850hPa河北省中南部位于气旋性环流里, 西部太行山区也有一东南风和东北风的切变, 与700hPa的切变近似垂直。而此时高

层河北省处于 200hPa 高空急流右侧的辐散区。高层的辐散加强了中低层的辐合上升运动,有利于暴雨的产生。地面图上,华北为北高南低的形势,河北省中南部地区处于台风海棠减弱的低压倒槽里,午后在河北中部东南风与东北风的辐合线上,有强对流天气发展,出现局部暴雨,形成饶阳暴雨中心。

23 日凌晨原位位于甘肃中部的短波槽东移影响河北。23 日 08 时 500~300hPa,河北中南部气流有明显的发散,表明中高层存在强烈的辐散,而 700、850hPa 上河北中南部为气旋性环流,中低层气旋性辐合而中高层强烈地辐散,造成 23 日凌晨到上午石家庄、保定的大暴雨天气,形成定州暴雨中心。到 20 时,高层形势基本不变,低层的气旋性环流略向东北移至沧州南部,23 日夜间,保定东部至沧州普降暴雨到大暴雨,形成沧县李天木暴雨中心。

以上大尺度形势分析表明,地面北高南低、高空东高(副高)西低(短波槽和减弱台风低压)的有利形势,以及高低空形势的配合,决定了此次暴雨出现在河北中南部地区。

2 物理量场诊断分析

2.1 水汽场分析

水汽通量及其水汽散度反映了暴雨期水汽的输送和集中能力。暴雨发生前在河北省中南部地区上空对应有强水汽辐合(图 2a 阴影部分),存在两个辐合中心,分别为“海棠”减弱热带低压倒槽及副高外围水汽输送所致。从水汽散度剖面时间演变图(图略)可看出,在整个降水过程中,雨区上空

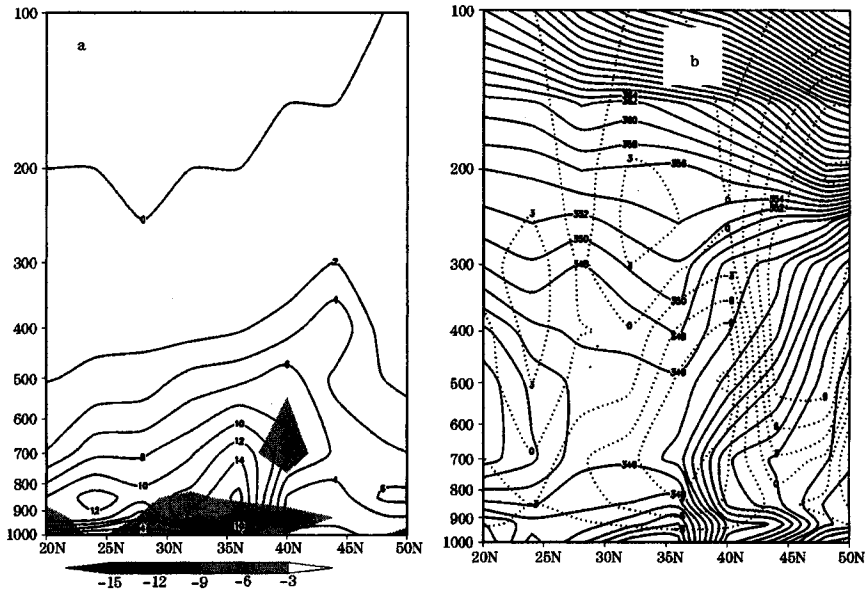


图 2 2005 年 7 月 22 日 08 时沿 116°E 水汽通量散度 ($\times 10^{-2} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) (阴影) 及水汽通量 ($\times 10^{-2} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) (实线) 剖面 (a), 沿 116°E θ_e (K) (实线) 及垂直速度 ($10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$) (虚线) 剖面 (b)

都有较强的水汽辐合, 并且水汽通量大值区位于 600hPa 以下, 中心在 850hPa 左右, 说明低层水汽对本次暴雨有较大贡献。另外 850hPa 在 33~40°N 间平均水汽通量时间-经度图(图略)显示在 22 日 08 时和 23 日 08 时有两个大值中心, 这说明强对流系统要产生强降水需要有大量的水汽供应, 而前期的水汽输送及水汽堆积是必不可少的条件。

2.2 风场和不稳定场分析

除水汽条件外, 上升运动、对流不稳定环境场也是暴雨发生发展的必不可少的条件。图 2b 显示在降水区上空 250hPa 高度以下都有较强的上升气流, 最大上升速度出现在 500hPa 为 $-12 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$; 在上升区北侧有一个明显的下沉区, 这样形成一个南面辐合上升北面辐散下沉的环流形势, 有利于河北省中南部雨区上升运动的维持。另外 θ_* 分布说明水汽和热量在 30~40°N 间存在一向北输送的通道, 35~40°N 间 θ_* 在低层等值线很密集, 为梯度大值区, 且在 700hPa 以下 $\partial \theta_* / \partial p > 0$ 为湿静力不稳定层, 700~500hPa 为一湿中性层结, 此种形势若配合一定的触发条件将非常有利于湿对流运动的强烈发展产生^[10]。

2.3 动力场分析

暴雨发生前涡度垂直剖面显示(图略)在降水区上空高层为强的负涡度柱, 低层有弱正涡度区, 并逐渐增强。散度分布(图略)显示 500hPa 以下基本为辐合, 较强辐合中心在 700hPa 附近, 而 400hPa 以上均为辐散, 且高层辐散要比低层的辐合强, 这使得低层空气在高层辐散场抽吸的作用下上升, 驱动该区域内垂直上升运动更强烈地发展, 造成了河北省中南部地区局地强对流天

气的发生。

3 卫星云图上中尺度对流系统演变特征

图 3(见彩页)给出 7 月 22 日 08 时至 23 日 22 时 30 分风云 2C 观测的红外云图。从图 3 可以看到受副高、台风倒槽及西来冷空气的共同影响在河北省中南部地区存在一条东北—西南向云带, 其间有 3 个强对流云团发展。

中- β 尺度云团 A 在 7 月 22 日 8 时移入河北邯郸, 并向东北方向移动减弱, 14 时该云团东南象限又开始增亮, 16 时发展增强为一个水平尺度约 70km 的椭圆状云团, 云顶温度 TBB 达到 -61°C , 18 时 30 分云顶温度达到最低 -73.4°C , 之后东移消散。该云团造成的降水主要集中在 14—20 时, 其中 16—17 时饶阳 1 小时降水 102mm。

23 日 08 时, 在石家庄和保定交界处出现一个白色亮斑(云团 B), 并向东北方向移动发展, 10 时云顶温度 TBB 达到 -45°C , 形状近似柳叶, 12 时云团 B 发展强盛, 云顶亮温达 -53°C , 此时定州降水最大达 $103.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 之后云团 B 逐渐减弱, 16 时 30 分移出保定地区。

23 日 18 时 30 分减弱的 B 云团后部的小云团并入云团 AA 北部分裂移入沧州的小云团 C, 到 20 时发展成为一个结构密实的椭圆状中- α 尺度对流云团 C, 22 时 30 分云顶温度达到 -69°C , 23 时以后云团开始减弱。C 云团造成沧州地区强降水, 沧县的李天木 23 时降水达 $77.1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

以上分析可看出, 强降水主要发生在对流云团发展至强盛时期, 具有突发性强、强度大、持续时间短的特点, 属于典型的中尺度对流系统降水。

4 地面要素的中尺度特征

4.1 地面降水的中尺度特征

采用 Cressman 客观分析方法对 7 月 22 日 08 时—24 日 08 时的自动站和自动雨量站逐时雨量进行了分析,发现对应 A、B、C 三个云团,地面分别存在 3 个生命史较长的中尺度雨团 (1、2、3)。

22 日 15 时在石家庄东部出现水平尺度约 50km 中尺度雨团 1, 16 时雨团东移至饶阳地区,范围增大,中心雨量 $27\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 17 时饶阳降水达到极值 $102\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 4a), 水平尺度 60km, 18 时雨团向东北方向移动至河间地区,雨团尺度约 50km 左右,中心雨量为 $30.8\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 随后 3 小时内附近仍有 20km 左右的雨团出现, 3

小时后以饶阳为中心的强降水结束。

23 日 08 时在石家庄的灵寿有零散的雨团出现,并不断向东北方向扩展到保定地区, 10 时在保定曲阳出现一个水平尺度约 100km 左右的雨团 2, 11 时中心雨量达到 62.1mm, 12 时雨团中心移至定州, 中心雨量 103.2mm (图 4b), 14 时以定州为中心的降水结束。

23 日 19 时在沧州西部有三个小雨团出现,北部的一个加强移到保定东部, 3 小时后消失, 另外两个雨团 20 时合并增强为雨团 3, 21 时中心雨量 $53.2\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 4c), 22 时分裂为东西两个中尺度雨团, 西边一个 1 小时后消失, 东边一个与从山东移入的雨团合并,并在沧州东部维持发展, 23 时李天木中心雨强达最大 $77.1\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, 到 24 日 04 时雨团移到天津和沧州交界处, 沧州降水结束。

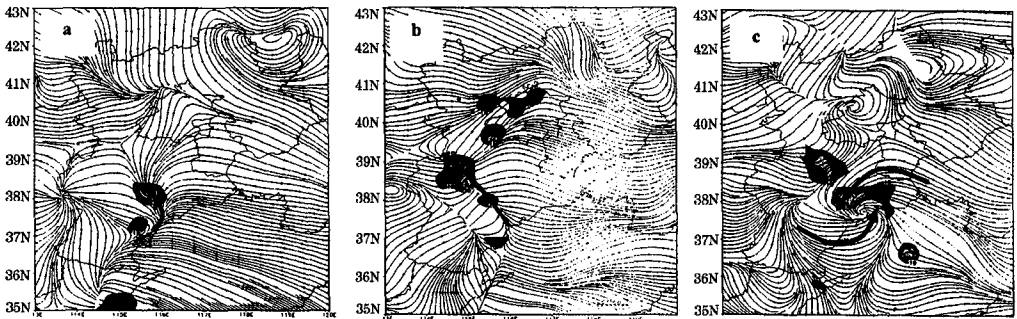


图 4 2005 年 7 月 22 日 17 时 (a), 23 日 12 时 (b), 21 时 (c) 地面流场
阴影部分为 1 小时雨量 $\geq 10\text{mm}$ 区域

4.2 地面流场中尺度特征分析

由逐时的地面加密观测资料得到的地面流场分析可以得到,生命史较长的中尺度雨团一般都产生在地面中尺度辐合线附近的气旋性环流或者低压环流里。

22 日 15 时,衡水站风向由东南风转为西风,与沧州、南皮站的东风形成切变,随

后转为西北风和东南风的切变,到 17 时西北风风速增大,而东南风的流线密集,风速也达到最强,此时辐合也最强 (图 4a),饶阳出现极强降水,18 时辐合线减弱,强降水趋于结束。

23 日 08 时,石家庄东部到保定基本维持东北风,10 时新乐为西北偏西风,饶阳为东北偏东风,这样在保定和石家庄东部形

成一条切变线, 此切变线一直维持, 12 时达到最强 (图 4b), 定州的降水亦达最大, 随后切变线减弱消失, 定州一带降水也随之减弱。

23 日 20 时, 河北省地面流场表现为北部辐散、南部辐合, 21 时沧州一带由西南和东南气流形成的气旋性环流非常明显 (图 4c), 降水主要在两个环流之间的东南暖湿气流里, 随着气旋性曲率的加大和东南风速的加强, 23 时沧州的李天木出现强降水, 24 日 05 时随着高压环流中心北移、低压环流中心东移, 沧州降水结束。

由此可见突发性强降水发生时, 地面往往有中尺度辐合线或气旋性环流系统, 其尺度都在 100~200km 之间, 而卫星云图上则表现为中- α 或中- β 尺度对流云团的强烈发展。

5 雷达资料分析

目前新一代多普勒天气雷达是对强对流天气监测和预警的主要工具之一。我们用河北省新乐多普勒雷达资料对饶阳大暴雨进行了分析。

(1) 从组合反射率回波强度图上 (图 5a, 见彩页) 可看到, 22 日 15 时 00 分饶阳北部有一小块强的回波出现, 向西北方向移动减弱, 此时饶阳出现雷雨, 15 时 31 分在饶阳中部和北部各出现一小块强回波, 回波强度达 55dBz, 其中饶阳中部回波在半小时后减弱为 45dBz 并向西移出饶阳, 北部回波一直维持增强, 16 时 02 分中心强度达到 60dBz, 回波顶高 11km, 随后与其东侧新生的小块回波合并, 16 时 21 分回波主体移入肃宁县, 但在饶阳北部仍有 ≥ 50 dBz 的回波存在, 直到 17 时 22 分才减小到 40dBz, 16 时 03—34 分半小时内饶阳降水量达 78mm。

(2) 在基本速度图上, 22 日 15 时 00 分, 饶阳北部对应强回波有一个负速度中心, 有东南风的辐合。15 时 31 分对应北部强回波也有一负速度中心, 15 时 37 分负速度中心面积达到最大, 15 时 49 分在负速度中心南侧出现正负速度对 (0.5、1.5、2.4、3.4 度仰角上都有), 风速辐合最强。16 时 02 分 (图 5b, 见彩页), 饶阳北部有 3 个小的逆风区, 其中一个与负速度中心相邻, 类似于中气旋形状, 说明气流具有旋转性, 有利于对流的发展。

由于缺少 16 时 08 分和 14 分两个时次体扫资料, 所以未能观测到饶阳强降水发生时的雷达特征。另外, 我们还分析了对应定州和沧县的李天木降水中心的雷达资料, 其回波强度最大都达到 55dBz, 而且定州在降水过程中还出现了正负速度对。

由以上分析可知, 局地短时突发性强降水发生通常是由更小尺度的系统造成的, 雷达上表现为回波强度都达到 55dBz 以上, 并且都有逆风区、中气旋或者正负速度对等中小尺度强对流特征出现。

6 结 论

(1) 本次降水是在有利的天气尺度环流背景下产生的, 副高外围源源不断水汽输送及台风海棠减弱低压倒槽区的水汽辐合造成河北中南部的水汽聚集, 中高层的辐散场的抽吸作用有利于对流系统的发展, 降水发生在湿静力不稳定区。

(2) 强降水主要发生在对流云团发展到强盛时期, 可以用云顶亮温的变化及云团的形状来监视对流云团的发展情况。

(3) 造成河北省 3 个降水中心的雨团具有中 β 尺度特征, 强降水一般出现在中尺度辐合线或中尺度气旋性环流偏向暖湿气流一侧。

(4) 在降水天气过程中, 55dBz 的强回波和速度图上的逆风区、正负速度对以及中气旋等中小尺度强对流特征的出现与强降水相对应, 在短时临近预警中具有指示意义。

参考文献

- 1 丁一汇. 暴雨和中尺度气象学问题 [J]. 气象学报, 1994, 52 (3): 274-283.
- 2 贝耐芳, 赵思雄. 1998 年“二度梅”期间突发强暴雨系统的中尺度分析 [J]. 大气科学, 2002, 26 (4): 526-540.
- 3 张小玲, 陶诗言, 张庆云. 1998 年 7 月 20—21 日武汉地区梅雨锋上突发性中- β 系统的发生发展分析 [J]. 应用气象学报, 2002, 13 (4): 385-397.
- 4 许美玲, 段旭, 孙绩华. 云南初夏罕见暴雨天气的中尺度特征 [J]. 气象, 2002, 28 (6): 43-47.
- 5 郭荣芬, 鲁亚斌. “2002.6.30”滇中低涡暴雨的中尺度分析 [J]. 气象, 2003, 29 (2): 29-33.
- 6 何萍, 李宏波, 何德锋. “2003.6.17”滇中特大暴雨的中尺度分析 [J]. 高原气象, 2005, 24 (2): 240-246.
- 7 毕宝贵, 刘月巍, 李泽椿. 2002 年 6 月 8—9 日陕南大暴雨系统的中尺度分析 [J]. 大气科学, 2004, 28 (5): 747-761.
- 8 毛冬艳, 乔林, 陈涛等. 2004 年 7 月 10 日北京暴雨的中尺度分析 [J]. 气象, 2005, 31 (5): 42-46.
- 9 杜青文, 任荣彩, 康锡言. “96.8”河北特大暴雨地面中尺度系统分析 [J]. 气象, 1999, 25 (7): 25-28.
- 10 胡邦辉, 张维桓, 孙志斌. 几种滤波器对地面飏线场的中尺度滤波试验 [J]. 气象科学, 1996, 16 (2): 165-172.

侯瑞钦等：05.7.23 河北暴雨中尺度分析

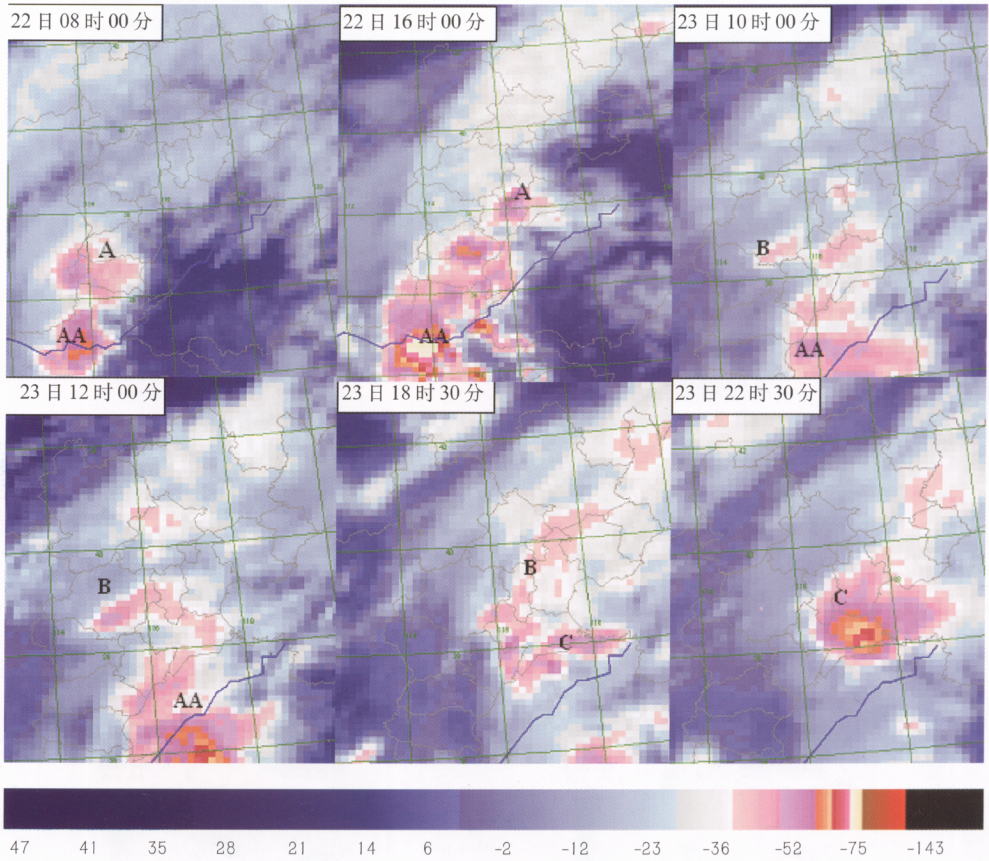


图4 2005年7月22-23日风云2C红外云图

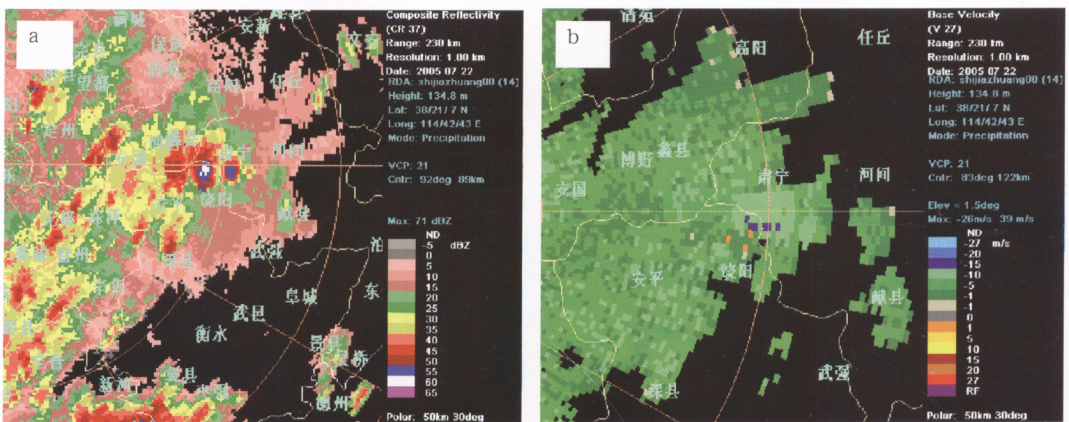


图5 2005年7月22日16时02分组合反射率 (a), 1.5° 仰角基本速度图 (b)