

钟敏,张兵.一次切变线暴雨的观测特征分析.暴雨灾害,2009,28(4):368-372.

# 一次切变线暴雨的观测特征分析

钟 敏<sup>1,2</sup>,张 兵<sup>2</sup>

(1.武汉中心气象台,武汉 430074;2.中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074)

**摘 要:**利用探空、卫星、雷达、闪电定位仪等多种观测资料,对 2007 年 7 月 1—2 日发生在湖北境内一次切变线暴雨过程的观测特征进行详尽分析。结果表明,大气层结不稳定、湿度高以及切变线发展是此次暴雨的主要成因;卫星云图上表现为 4 个中尺度云团相继影响,当云团平均亮温低于 $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,均能产生 30 mm/h 以上强降水;雷达速度场上暴雨区中存在着清晰的辐合线和逆风区;闪电资料显示,地闪与强降水的时空分布较为吻合。

**关键词:**切变线;暴雨;中尺度;观测特征

中图分类号:P458.1\*21.1 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)04-0368-05

## 1 引言

切变线是造成长江流域大到暴雨的重要天气系统之一,许多学者对切变线暴雨从不同角度进行了分析。胡伯威等<sup>[1]</sup>对 1998 年 7 月 21—22 日连续两日的鄂东沿江特大暴雨从天气形势和独特地形等方面探讨了这场罕见特大暴雨的可能机制。隆霄等<sup>[2]</sup>对“99·6”梅雨锋暴雨低涡切变线进行了数值模拟和分析。施望芝等<sup>[3]</sup>利用常规气象观测资料和 T213 数值预报产品等资料,采用天气动力学诊断方法,对 2007 年春夏之交的两场区域性暴雨的异同进行了对比分析。近年来卫星、雷达等观测技术的逐步发展,为切变线暴雨的研究提供了新的手段,方宗义等<sup>[4]</sup>利用多种气象卫星遥感资料及加工产品,对 2003 年 7 月 3 日产生在皖北的暴雨过程进行了中尺度分析。刘火胜<sup>[5]</sup>、肖艳娇等<sup>[6]</sup>、张一平等<sup>[7]</sup>分别利用多普勒雷达资料对切变线大暴雨进行了详尽的特征分析。然而,利用探空、卫星、雷达、闪电定位仪等多种观测资料对同一天气过程进行综合分析的文章不多见。本文试图利用台站可以获取的探空、卫星、雷达、闪电定位等多种观测资料,以 2007 年 7 月 1—2 日发生在湖北省的一次切变线暴雨过程为例,做一尝试性研究,以期探索本次切变线暴雨过程在有利的天气尺度背景下,其中小尺度系统的综合观测特征。

## 2 降水概况

2007 年 7 月 1—2 日,湖北省江汉平原北部,鄂东北及鄂东南偏北地区出现了暴雨—大暴雨天气。此次降水持续时间不长,但强度大,降水区集中。暴雨主要

分布在切变线两侧,如图 1 所示,7 月 1 日 08 时至 2 日 08 时,湖北 24 h 雨量超过 50 mm 的有 21 个站,其中广水、大悟、孝感、京山、钟祥、黄陂、鄂州、黄石出现了大暴雨。湖北省自动雨量站资料显示,这次强降水过程于 1 日 14 时左右,自广水开始,之后雨带东移南压,强度加强,逐步覆盖鄂东北及鄂东南偏北地区,直至 2 日 04 时,雨带向东移动,强度减弱。此次过程的最大雨量和小时最大雨强均出现在孝感,其中 24 h 雨量达 124.6 mm,小时最大雨强为 59 mm/h,发生在 1 日 19—20 时。

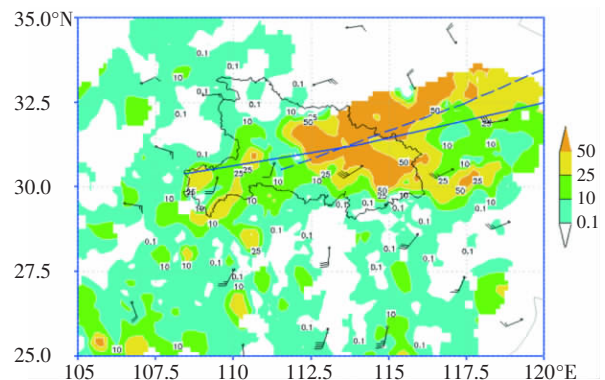


图 1 2007 年 7 月 1—2 日切变线暴雨综合示意图  
(等值线色斑为 7 月 1 日 08 时至 2 日 08 时的雨量实况,风矢量为 7 月 1 日 20 时 850 hPa 的风场,虚线为 1 日 08 时 850 hPa 切变线,实线为 1 日 20 时 850 hPa 切变线)

## 3 大尺度背景场特征

从 7 月 1 日 08 时高空图(图略)上可看到,500 hPa 有一自渤海湾延伸出的低槽,湖北省处在槽前的底部。700 hPa 上,湖北省处在副高外围的西南气流中,其南侧有一支风速 $\geq 12\text{ m/s}$ 的西南急流,武汉站的风速达到 10 m/s,850 hPa 上渤海湾有一闭合的低值中

收稿日期:2009-02-08;定稿日期:2009-09-30

基金项目:国家自然科学基金面上项目青年科学基金项目(40705020),科技部公益行业专项(GYHY200706012)共同资助

作者简介:钟敏,女,1980 年生,工程师,主要从事短时预报和监测工作。Email: zhongmin296@sohu.com

心,鄂东北—江汉平原处在这一低值系统尾部的切变线上,从温度场上看,没有明显的冷空气,但存在明显的湿度锋区。到了7月1日20时,500 hPa低槽东移,武汉以北地区开始转受槽后偏北气流影响,而武汉以南地区仍受副高外围西南气流影响。700 hPa与500 hPa的形势较为一致,此时,西南风速有所加大,武汉站的风速达到12 m/s。850 hPa上,鄂东北—江汉平原—鄂西南正好处在东北风和西南风的切变中,武汉站探测到了14 m/s的西南风。总之,500 hPa低槽,低空急流和中低层切变线为这次暴雨提供了有利的大尺度天气背景。

#### 4 中尺度对流系统局地发展条件分析

国内外研究认为,中尺度对流系统的发生、发展和维持主要取决于3个条件,一是层结不稳定<sup>[8]</sup>,二是较好的低空水汽条件<sup>[9]</sup>,三是有适当的触发因子。

沙氏指数  $SI$ 、抬升指数  $LI$  可以表示气层的不稳定程度,负值越大,气层越不稳定。对流有效位能  $CAPE$ <sup>[10]</sup>表示大气浮力不稳定能量的大小,就几何意义而言,对流有效位能正比于  $T-\ln P$  图上的正面积,和  $SI$ 、 $LI$  反映单层的浮力不同,对流有效位能则是气块浮力能的垂直积分量,更能反映大气整体的结构特征。 $K$  指数在反映气层不稳定程度的同时考虑了中低层的水汽条件,一般来说, $K$  指数大于35 °C表明大气极不稳定,发生大雨及狂风、雷暴的机会增加。表1给出了武汉探空站在1日08时和20时的各指数值。

表1 武汉探空站在1日08时和20时的各指数值

时次	$SI$	$LI$	$CAPE/$ (J/kg)	$K/^\circ C$	850 hPa 相对湿度/%	700 hPa 相对湿度/%
08	-1.7	-27.6	1052.5	39	82.9	87.5
20	1.7	-31.8	928.3	36	93.9	93.6

从表1可以看出,1日08时,武汉站的  $SI$ 、 $LI$  均反映气层具有不稳定性, $CAPE$  值达1052.5 J/kg,也说明具备了一定的不稳定能量, $K$  指数和中低层的相对湿度也表明,水汽条件较好,但此时位于850 hPa的切变线还处于刚刚建立阶段,说明触发因子尚未成熟,而随着切变线的发展,触发了此次切变线暴雨过程。实况资料显示,1日20时,武汉站已经开始降水,因此  $SI$  变为正值, $CAPE$  值和  $K$  值也有所减小,说明能量正在逐渐释放。

#### 5 卫星云图特征

从FY2C红外—通道的卫星云图上可以看到,从1日12时到2日12时,共有4个中尺度对流云团在

湖北省境内交替生消,按照影响湖北省的顺序分别定义为云团A、B、C和D。1日12时左右,云团A从鄂东北随州一带开始生成并发展,缓慢的东移并有所南压,同时,云团B从湖南西北部开始生成,并向东北方向迅速移动,其北部在江汉平原北部不断加强,并于18时左右与云团A的西部在孝感地区合并,合并后,云团A的东部迅速减弱消亡,云团B占主导地位,不断发展,继续东移并在武汉附近转向偏南方向移动,1日23时之后呈现减弱趋势并逐渐东移出省。1日23时,云团C在江汉平原南部生成,但很快东移减弱,2日06时左右,云团D在江汉平原北部生成,同样也是迅速东移减弱。图2给出了造成此次暴雨天气的云团生命史的亮温特征曲线。

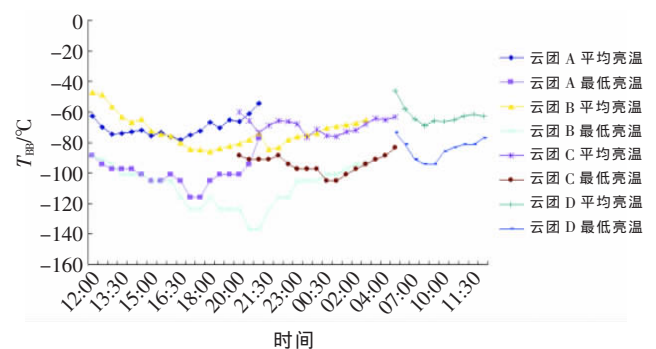


图2 4个云团生命史的亮温特征曲线图

从各云团的亮温特征曲线可以看到,云团B的生命史最长,影响湖北省的时间长达12 h,且该云团的平均亮温在云团发展到最强盛时为-86 °C,达四个云团生命史中平均亮温最低,这也可在一定程度上说明,云团B是影响湖北省这次降水的四个云团中强度最强,影响时间最长的云团。

将各云团平均亮温和自动站1 h雨量资料对比后发现,此次过程中,云团平均亮温低于-75 °C时,在该云团影响范围内,均出现雨强30 mm/h以上的降水,本次过程中,1 h雨量最大值出现在19—20时的孝感站,雨量达59 mm,而相应的影响云团是云团B,其19:00、19:30、20:00的云团平均亮温分别是-84 °C, -82 °C和-81 °C,云团云顶温度更低。

#### 6 雷达回波特征

从雷达组合反射率因子图上可以看到,1日12:00左右,在随州、广水的北部开始有些中心强度45 dBz的小对流单体生成,15:30左右,这些零散的小对流单体逐渐发展成一条东北—西南向的强对流回波带,此后,该回波带不断东移、南压,逐渐影响鄂东北及鄂东南偏北地区,23:00以后回波强度逐渐减弱,东移出省,与卫星观测到的云团A和B的发展演变相对应。

23:00,江汉平原南部有回波生成、发展并东移,但发展并不旺盛,也没有形成有序的排列,因此很快地减弱消亡,与云团 C 的发展演变相对应。之后 2 日 06:00 左右在江汉平原北部生成的回波也是很快地生消,与云团 D 相对应。可见,雷达和卫星对同一天气系统的发展演变趋势几乎是一致的,只是雷达能够观测到更为

细致的小尺度系统。结合自动站 1 h 雨量资料发现,30 mm/h 以上的强降水主要是由对流性降水回波持续影响所致,将组合反射率因子 40 dBz 以下、回波顶高 11 km 以下、垂直积分液态含水量 5 kg/m<sup>2</sup> 以下的回波滤掉后,三种产品的分布形态与强降水均有较好的对应关系(图 3)。

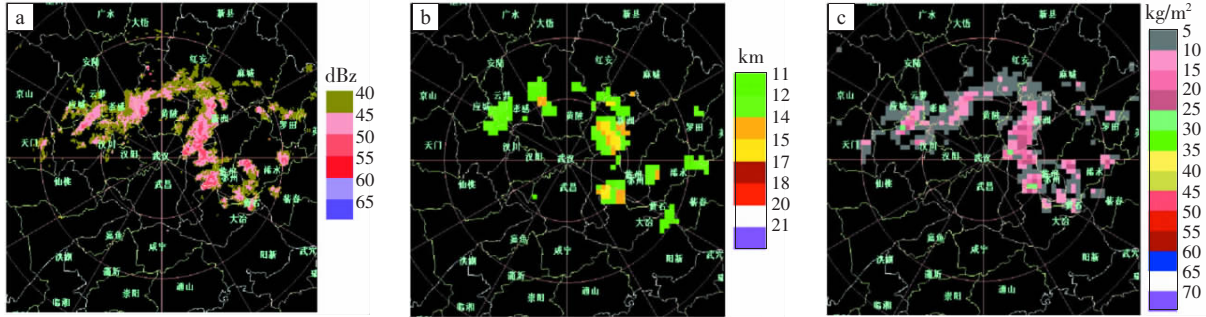


图 3 19:57 组合反射率,单位:dBz(左),回波顶高,单位:km(中)和垂直液态含水量(右)单位:kg/m<sup>2</sup>

参考 1.5°仰角的多普勒速度场资料,1 日 05:30 左右,武汉雷达站周围约 30 km 的范围内开始出现成片的速度回波并稳定维持,从回波的情况来看,武汉周围的近地层湿度条件较好,且吹一致的西南风,风速在 10 m/s 以下。15:30 开始,在广水南部可以看到一条清楚的辐合线,如图 4 所示,这条辐合线与强度回波图上强回波的位置对应得非常好,自动雨量站的资料也表明,15:00—16:00,广水的雨量达 47.3 mm。16:00 开始,辐合线移至大悟境内,大悟 16:00—17:00 的雨量为 41.9 mm。之后,这条东北—西南向的辐合线向东南方向移动,速度回波的范围越来越大,并向南扩展,这说明雨区也在向南逼近。直到 20:15,多普勒速度场的零速度线从雷达站向外 30 km 附近开始呈现逆时

针弯曲,之后的几个体扫,零速度线仍然是在 30 km 范围内随距离增加而逆转,并且雷达站以南的零线曲率远大于雷达站以北的零线曲率。这说明,20:15 以后,武汉雷达站周围 30 km(高度 1 km)附近有冷平流,且由于在雷达站 30 km 半径范围内,负速度区大于正速度区,表明低层还存在辐合。到了 23:47 零速度线的这种特征渐渐变得不明显,近似于西北—东南走向的直线。2 日 00:17 开始,零速度线开始呈现出从雷达站向外 30 km 附近顺时针弯曲,这说明,武汉雷达站周围 30 km(高度 1 km)附近有暖平流,这种速度场的特征一直持续到 04:00,随后大片的速度回波渐渐远离雷达站,对应的强度回波也是朝着远离雷达站的方向逐渐减弱消亡。

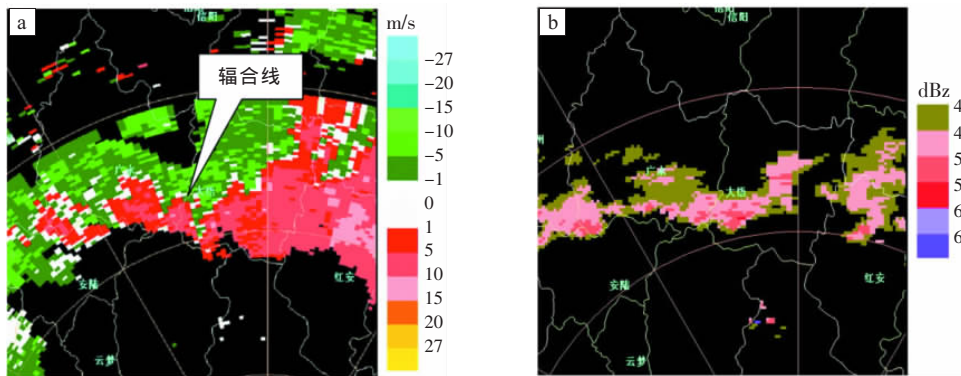


图 4 16:31 雷达 1.5°仰角风场,单位:m/s(左)和组合反射率,单位:dBz(右)

另外,在这次暴雨过程中,还观测到逆风区的存在,18:38 开始,在鄂东北的大片正速度区中开始出现零星的负速度区,之后,负速度区逐渐扩大,呈现出近似于南北向的带状,这与强度回波图中强回波的分布也较为吻合(图 5)。20:00—21:00,这一带状的逆风区自西向东移经新洲,团风,黄冈,鄂州四地,雨量实况表

明,在 20:00—21:00,团风站的雨量最大,达 43.7 mm,其次是黄冈 32.9 mm,鄂州 32.4 mm,新洲 24.1 mm。

### 7 闪电分布特征

此次过程除了强降水,还出现了大量的闪电,基本上是雷雨交加,这一现象也从另一个侧面验证了本

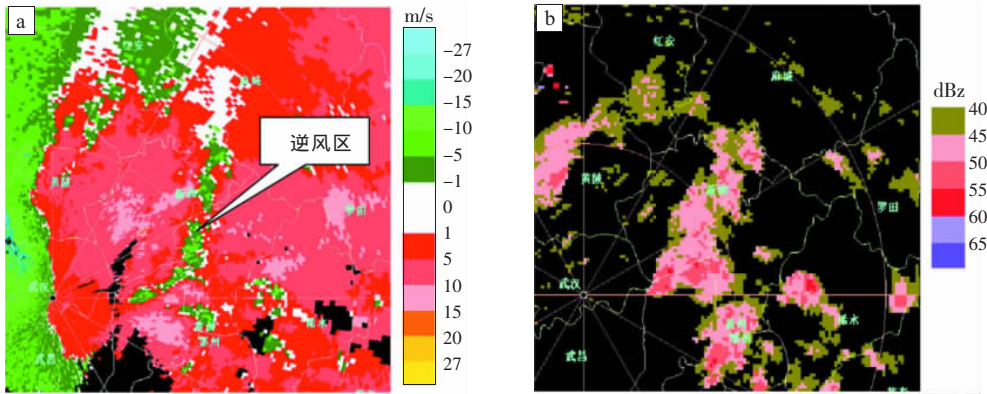


图 5 20:09 雷达 1.5°仰角风场,单位:m/s(左)和组合反射率,单位:dBz(右)

次过程具有中尺度对流特征。从 1 日 12 时至 2 日 05 时的闪电分时分布可以看出,闪电群的移动趋势大致和雷达回波的移动趋势一致,闪电发生的位置与雷达 45 dBz 以上回波区对应得很好,并且在整个过程中负地闪占绝大多数,属于典型的暴雨天气的闪电特征。

对闪电分布特征的分析主要采用了两种方法,一是从自动雨量站上选取 1 h 雨量大于 20 mm 的站,并

统计在测站 10 km 半径范围内的闪电次数。二是对于某一个固定站,统计其雨量和距测站 10 km 半径范围内闪电次数随时间的变化。

从闪电次数与 1 h 雨量的统计结果(图略)可见,此次过程中,闪电频数与 1 h 雨量之间存在一定的相关性,即随着雨量的增大,闪电频数也随之增加。

图 6 为孝感、云梦、广水、大悟、黄冈、黄石 6 站

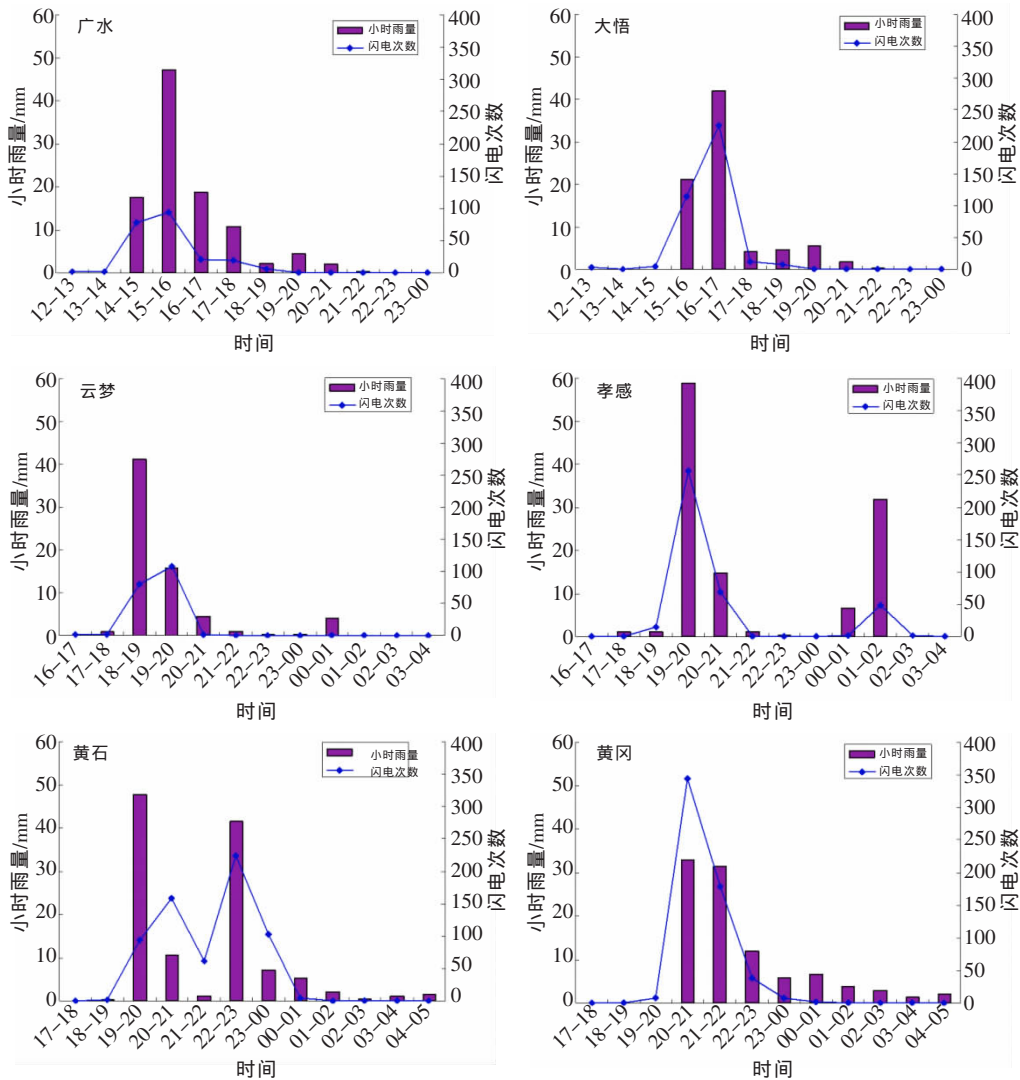


图 6 不同站点小时雨量和闪电次数随时间的变化图

小时雨量和闪电频数随时间的变化。从图上可看出, 1 h 雨量和闪电频数随时间呈单峰或双峰分布, 且闪电频数与小时雨量的峰值基本重叠或稍落后一个时次。

以上两类结果均表明, 地闪与强降水的时空分布较为吻合, 这可能是由于产生强降水时风速及其切变不太大, 否则水汽不能集中到较小的区域而产生大的降水强度, 因此分离的电荷不会被剧烈的气流带到远离强回波的地方<sup>[11]</sup>。

## 8 结论

(1) 大气层结不稳定, 湿度高加之切变线的发展成为此次暴雨的主要成因。

(2) 本次暴雨过程是由 4 个中尺度对流云团相继影响湖北省造成的。且当云团平均亮温低于  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, 在其影响范围之内, 均出现了 1 小时 30 mm 以上的强降水。

(3) 组合反射率因子 40 dBz 以上、回波顶高在 11 km 以上、垂直积分液态含水量  $5\text{ kg/m}^2$  以上的回波分布形态与强降水均有较好的对应关系。在速度场上, 强降水对应的回波形态表现为辐合线和逆风区。

(4) 在本次过程中, 负地闪占绝对多数, 属于典型的暴雨天气的闪电特征, 且地闪次数与强降水的时空

分布较为吻合。

## 参考文献:

- [1] 胡伯威, 崔春光, 房春花. 1998 年 7 月 21—22 日鄂东沿江连日特大暴雨成因探讨[J]. 大气科学, 2001, 25(4):479-491.
- [2] 隆霄, 程麟生. “99·6”梅雨锋暴雨低涡切变线的数值模拟和分析[J]. 大气科学, 2004, 28(3):342-356.
- [3] 施望芝, 张萍萍, 吴涛, 等. 湖北省两次区域性暴雨过程的对比分析[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(3):219-224.
- [4] 方宗义, 项续康, 方翔, 等. 2003 年 7 月 3 日梅雨锋切变线上的中尺度暴雨云团分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(5):569-575.
- [5] 刘火胜. 对一次切变线大暴雨的多普勒雷达回波特征的分析[G]//武汉区域气象中心. 暴雨·灾害. 北京: 气象出版社, 2003:94-101.
- [6] 肖艳娇, 张家国, 万蓉, 等. 切变线暴雨中尺度系统的多普勒雷达资料分析[J]. 气象, 31(2):35-37.
- [7] 张一平, 席世平, 王国安, 等. 2006 年 6 月 28 日河南省强对流天气过程分析[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(2):35-37.
- [8] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 1983, 310-318.
- [9] Miller R C. Notes on analysis and severe -storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central. AWS Tech. Rep.200(rev)[M]. Air Weather Service, Scott AFB, IL, 1972.
- [10] Moncrief M W, Miller M J. The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines [J]. Quart J Roy Meteor. Soc, 1976, 102:373-394.
- [11] 李南, 魏鸣, 姚叶青. 安徽闪电与雷达资料的相关分析以及机理初探[J]. 热带气象学报, 2006, 22(3):265-272.

# Analysis on a Shear Line Storm Rainfall Process with Observation Data

ZHONG Min<sup>1,2</sup>, ZHANG Bing<sup>2</sup>

(1. Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074;

2. Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

**Abstract:** By using the data of sounding, satellite, radar and lightning localization instrument, the detailed characteristic analysis of a shear line storm rainfall process in Hubei province on July 1-2, 2007 has been studied. The results show that the instability of atmosphere, high humidity and shear line are the main reason to cause the heavy rain. There are four mesoscale clouds developed successively. The cloud with average brightness temperature which is less than  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  can produce precipitation more than 30 mm in an hour. Clear convergence line and anti-wind area can be observed in base velocity of Doppler Radar. Lightning data shows that cloud-to-ground flash corresponded well with heavy rain in spatial and temporal distribution.

**Key words:** Shear line; Heavy rain; Mesoscale; Observational characteristics temperature