

# 华北两类灾害性云团的对比研究\*

江吉喜

(国家卫星气象中心,北京 100081)

## 提 要

运用卫星云图、常规资料以及数值预报分析产品,分析了1998年夏季华北地区出现的强灾害性雷暴云团和暴雨云团.结果指出:它们的形成、发展条件及移动方式,均有着显著的不同特征;卫星云图与其它资料结合,是监测和预报这两类云团的有效途径.

关键词:雷暴云团 暴雨云团 移动和传播

## 引 言

雷暴和暴雨云团,是造成夏季华北地区强对流天气和强降雨的两类主要中尺度系统,常常带来重大灾害<sup>[1,2]</sup>.

1998年6月21日的一个罕见雷暴云团,在短短的约7h中,自北至南先后袭击了冀南和豫北地区,造成了极其严重的损失.1998年8月4日的暴雨云团,在鲁西北和冀东南造成较大范围的大暴雨.

本文综合运用卫星云图、天气图以及数值预报分析产品,对这两个云团作对比分析,试图揭示它们生成和发展、移动及伴随的强天气等诸方面的特征和差别,探讨对它们的监测和短时预报线索.

## 1 天气现象和云图特征

### 1.1 两个云团伴随的剧烈天气现象

如图1a所示,6月21日雷暴云团早期的对流单体,在天津西南方形成以后向偏西南方向传播中强烈发展,次日晨减弱消失在豫东北.受它的影响,21日10:30~11:30 UTC河北省衡水市遭遇罕见的狂风、冰雹和强降雨袭击,最大风力达 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,部分县的冰雹大如拳头,0.5h雨量达48mm.随后在11:00~13:00 UTC,该雷暴云团在邢台地区11个县市先后造成近几年来最严重的风雹灾害,风力达8级左右,最大阵风在10级以上,冰雹直径达50mm,持续0.5h.15:47 UTC开始,它又向南袭击河南省安阳市,持

\* 朱文妹同志参加了部分工作.  
1998-09-10收到,1998-10-15收到修改稿.

续 1 h. 以该市为中心的  $125 \text{ km}^2$  范围内, 突然出现几十年不遇的 10 级以上狂风(最大风力 12 级)、强雷、冰雹、特大暴雨. 狂风夹卷着小如核桃、大如馒头的冰雹, 持续 0.5 h, 1 h 雨量达 160 mm. 17:16 UTC, 云团前方的爬线掠过新乡市, 8 级大风持续了 0.5 h, 瞬间风速达  $20.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 同时伴有雷阵雨.

8 月 4 日的暴雨云团, 在河南郑州附近初生以后向偏东方向移动(图 1 b), 强烈发展, 当日午夜在山东青岛以东沿海减弱消失. 它所经之地, 均出现了暴雨或大暴雨, 其中 4 日 00:00~06:00 UTC 降雨最强、范围最大.

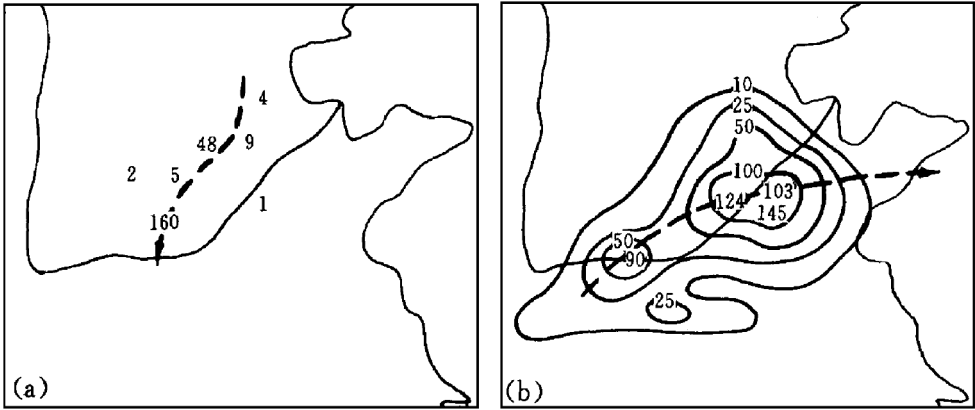


图 1 雷暴云团(a)和暴雨云团(b)的总雨量(mm)及移动路径(虚线)

(a) 6月21日 00:00~22日 00:00 UTC 24 h 雨量

(b) 8月3日 18:00~4日 12:00 UTC 18 h 总雨量(加填了 >80 mm 的单站雨量)

## 1.2 雷暴云团活动的云图特征

如图 2 所示, 天津市东南方冷锋云系西南段前方暖区中的小对流单体, 05:00~07:00 UTC 随着冷锋云系尾部的逼近, 迅速合并发展成一个白亮的小对流云团(图中箭头所指). 在随后的 2 h 中, 云团面积急剧膨胀, 每小时增大 1~2 倍, 云顶亮温(TBB)迅速降低, 并且其西南一侧 TBB 梯度显著加强. 10:32 UTC 起, 云团明显向偏南方向发展, 面积继续快速扩大, 中心对流不断加强, 11:00~12:00 UTC  $-50^\circ\text{C}$  中心处的 TBB 闭合圈面积达到最大, 并且明显偏向云团西南一侧, 这里的 TBB 梯度也最强, 对应的河北衡水和邢台两市先后出现了剧烈的强对流天气. 在随后的 2 h 中, 云团面积继续缓慢扩大, 但中心强对流在减弱, 西南一侧的 TBB 梯度也有所减小. 然而原在郑州以北处于缓慢减弱之中的条状积云区, 随着雷暴云团的逼近和其下沉气流外流与它合并, 促使它再次发展, 14:32 UTC 形成一条由积云组成的较弱弧形云线. 随着云团继续向西南方向发展, 其前方暖区中的积云不断地并入云团中, 云团的西南部分再度发展,  $-50^\circ\text{C}$  TBB 等值线范围加大, 梯度也明显加强, 云团中的下沉气流外流也增强, 16:32 UTC 这条弧形云线已发展成一条爬线(图中箭头所指). 在此期间, 强对流天气袭击了安阳市, 并紧随其后爬线袭击了新乡市. 17:32 UTC 以后, 雷暴云团在继续向西南方向扩展中较快减弱, 对流天气随之迅速减弱.

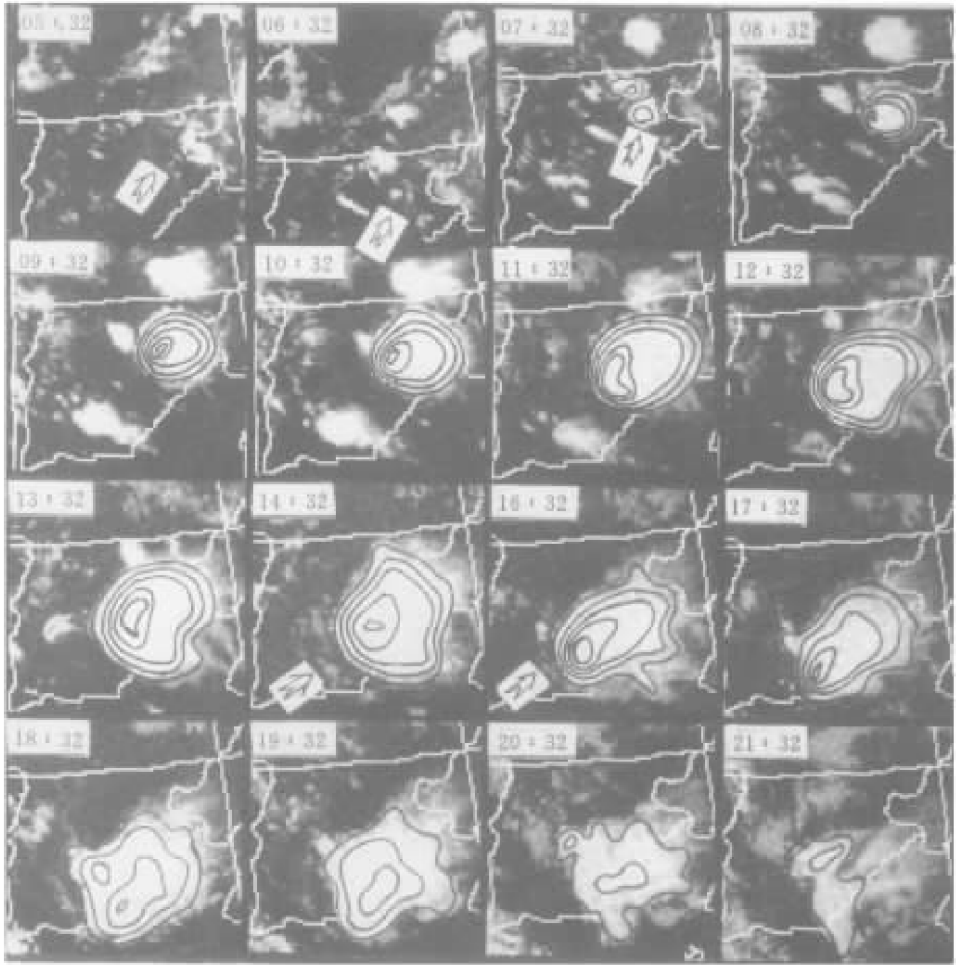


图2 6月21日05:32~21:32 UTC 雷暴云团逐时序列GMS IR云图  
(图中迭加的云顶TBB等值线,最外的为 $-10^{\circ}\text{C}$ ,向内依次减小,间隔为 $10^{\circ}\text{C}$ )

### 1.3 暴雨云团活动的云图特征

如图3所示,3日21:32 UTC 在一条准东—西向切变线云带中,嵌入有发展完好的A暴雨云团,在郑州以西B处有4~5个小对流单体正处于合并之中.2 h后,A云团在东移中发展完好,呈准圆状;B云团也已形成,并且西南一侧还有小对流单体正在并入.至4日04:32 UTC,切变线云带已趋于消失,B云团发展成准圆形,对流十分旺盛,并且在过去的三个时次中面积增大较快,中心附近6 h雨量达50~90 mm;A云团移至山东半岛南侧海面上,强度明显减弱.06:32 UTC,B云团西南一侧的层状云区中有弱对流云在发展,其中以条状对流云区C最强,并与B云团连接.随着这些层状云的并入,B云团再次出现迅速发展,对流云区C也发展成椭圆状云团,10:33 UTC 二者的面积达到最大,对流活动依然强盛.以后B、C云团在东移中较快减弱,其可能原因是它们移入了前方的晴

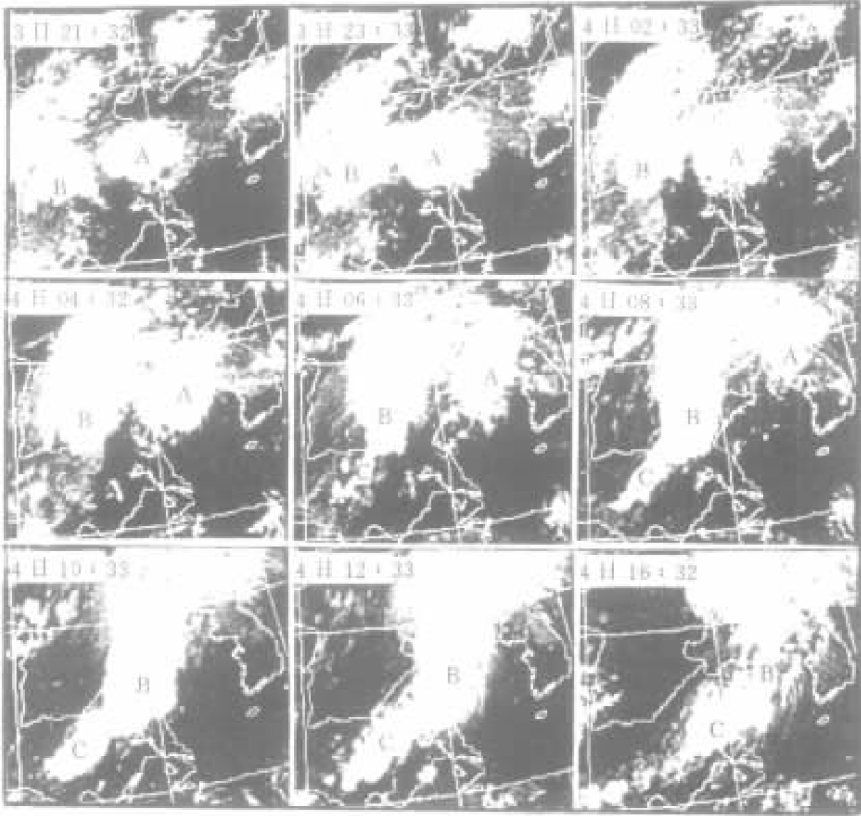


图3 8月4日暴雨云团每2h间隔系列GMS IR云图

空区中。

## 2 云团形成和发展的环境场条件

这两个云团在形成和发展中,其所在环境场的垂直和水平方向中的风场、温湿场以及稳定度场,均有着各自的显著特征。

### 2.1 对流层中低层的风场和温湿场

如图4a所示,在雷暴云团形成和发展的前夕,邢台至济南之间的850~500 hPa层中有一支典型的前倾槽自西向东抬升,其下方为一个高 $\theta_{se}$ 脊区,上方为低 $\theta_{se}$ 槽区,地面层太原和邢台之间有一条切变线。前倾槽中的温度垂直变化也十分剧烈,比如邢台和济南两站,850 hPa与500 hPa的温差分别达到35℃和32℃之多,比常定大气中的温度变率高出近一倍;风的垂直切变也较强,伴随前倾槽的这种对流层中低层上干冷、下暖湿特征,构成了典型的大气垂直不稳定结构,加之较强的风垂直切变,十分有利于雷暴云团强烈发展。

对比图4a,8月4日00:00 UTC暴雨云团发展的相同垂直剖面图(图4b)中,仅在邢台至济南之间的850~700 hPa层中有一条弱切变线,并且一直伸展至地面。 $\theta_{se}$ 的垂直分布中,邢台往东至青岛从地面到500 hPa变化很小,湿层很厚。温度的垂直变化中,邢台、

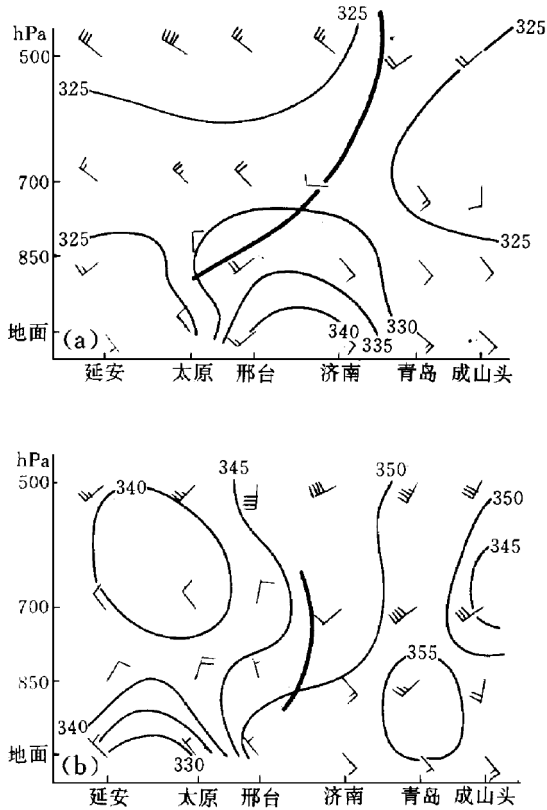


图4 6月21日00:00 UTC(a)和8月4日00:00 UTC(b)云团所在地区的准东—西向垂直剖面图(图中测站左侧为气温;右侧为 $\theta_{se}$ ,等值线间隔为5 K)

济南、青岛三站850~500 hPa层中的温差为22℃~23℃,略高于常定大气中的温度变率.另外,上述三站风的垂直切变很小,并且济南以东从地面至500 hPa均为一致的偏南风,其中青岛850~700 hPa层中西南风达到10~16 m·s<sup>-1</sup>,这种深厚而又宽广的西南风区为暴雨云团的发展输送充沛的水汽;邢台及其以西各站,700 hPa以下均为较弱的偏北风,为暴雨云团的发展提供充分的冷空气条件.

## 2.2 稳定度和 $\theta_{se}$ 水平场特征

为了进一步定量地分析云团形成和发展中的大气稳定度及水汽状况,分别计算了对流稳定度指数 $TTI$ 及850 hPa的 $\theta_{se}$ ,得到了图5.

$$TTI = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - T_{500})$$

如图5a所示,华北地区东部为大范围 $TTI > 50^\circ\text{C}$ 区(图中阴影区),其中河北的东南部至河南的北部为 $TTI > 54^\circ\text{C}$ 区.过去的研究表明,当 $TTI \geq 50^\circ\text{C}$ 时大气处于不稳定状态,容易有对流发展.这次过程雷暴云团形成在 $TTI > 50^\circ\text{C}$ 中的天津西南部,而其强烈发展恰好在 $TTI > 54^\circ\text{C}$ 区中.在图5b中,暴雨云团在 $TTI > 45^\circ\text{C}$ 的黄河下游稳定大气中发展.

在图5a的 $\theta_{se}$ 场中,舌状 $\theta_{se}$ 高值区自南向北伸入 $TTI$ 大值区中,低层这种暖湿环境十

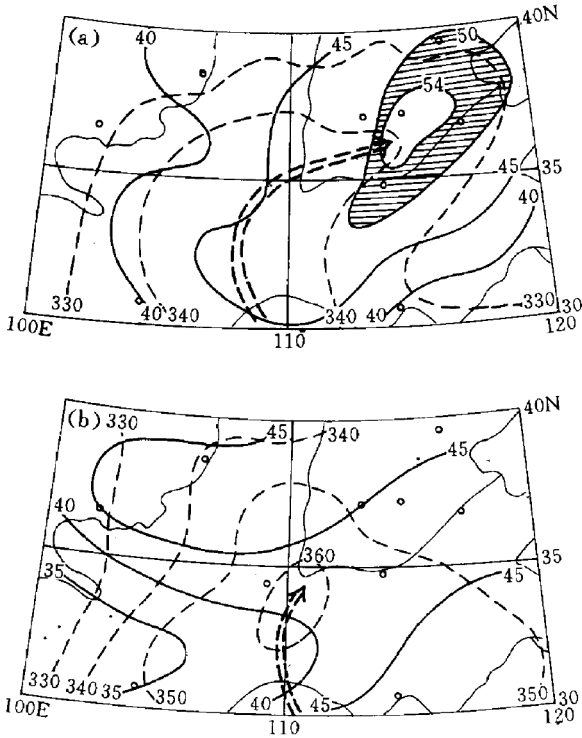


图5 6月21日00:00 UTC(a)和8月4日00:00 UTC(b)TTI及850 hPa  $\theta_{se}$ 场  
(图中细实、虚线分别为 TTI、 $\theta_{se}$ 等值线,粗双矢线为  $\theta_{se}$ 轴线)

分有利于不稳定大气中的对流发展,  $\theta_{se}$ 的舌端处就是后来雷暴云团强烈发展区. 在图 5b 中, 初生的暴雨云团位于宽广的高  $\theta_{se}$  区的东北部, 在其西南部的晋、陕、豫三省交界处, 还有一个  $\theta_{se} > 360$  K 高值区. 结合图 4b 中的风场特征, 邢台以东的深厚而宽广的偏南风, 将促使高  $\theta_{se}$  区向偏北伸展, 为暴雨云团的持续发展提供充分的温湿条件. 值得指出的是, 后者的  $\theta_{se}$  值较前者普遍高 20 K 以上, 这表明虽然二者中都有高值  $\theta_{se}$  脊区伸向云团发展区, 但温湿值却相差很大.

### 2.3 700 hPa $\omega$ 和 200 hPa 急流

在图 6a 中, 华北大部地区处于孤立的准圆形上升运动区中, 上升运动中心位于邢台市附近. 200 hPa 上的急流中心区位于上升运动区的西南一侧, 轴线呈 NW—SE 向. 虽然华北上升运动区位于急流中心出口区左侧较远处, 然而华北上升运动中心处的上升运动本身较强, 雷暴云团在它的支持下仍然十分迅速形成和强烈发展.

与图 6a 相比, 图 6b 中上升运动区的范围和强度均要大得多. 主上升运动带十分宽广, 呈 SW—NE 走向, 在川北、陕西关中以及晋冀北部交界处共有三个上升运动中心, 暴雨云团形成在中间一个强上升运动区内的东部. 200 hPa 上有两个急流中心, 东部主急流中心区的入口区右侧上升运动区, 离暴雨云团第一次发展区很近, 为暴雨云团的发展提供了充分的上升运动条件. 暴雨云团的第二次发展, 发生在它东移进入山东北部的另一个强

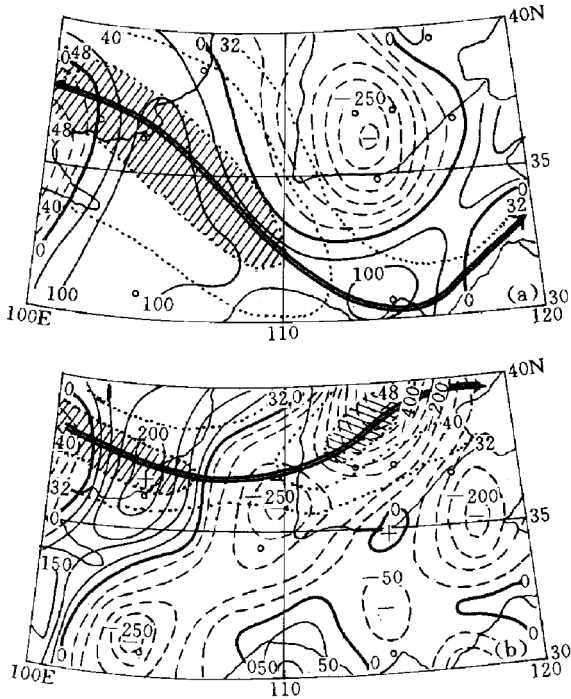


图6 6月21日00:00 UTC (a)和8月4日00:00 UTC (b)700 hPa  $\omega$  及200 hPa 急流综合图(细实、虚线分别为  $\omega$  的下沉、上升运动等值线,间隔为  $50 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ;粗点线为200 hPa 等风速线,间隔为  $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,双矢线为急流轴线,斜实线区为急流核心区)

上升运动区中,这两次发展之间的间歇,恰好与两大上升区中间的弱下沉运动区对应。

### 3 云团的移动和传播

云团的移动受多个因子的制约,它既有传播特征,又有环境风场、大尺度天气系统作用下的平均运动,并且传播还与云团大小、低层水汽供给方向等因素有关。Newton<sup>[3]</sup>和 Fankhauser指出,对流风暴的移动,总是调整到有利于水汽供给的路径上,以补偿降水和蒸发的消耗。

本文中的雷暴云团,几乎是逆风向西南方向移动,是典型的向后传播个例(图1a)。其原因主要有两个,一是初生云团的西南方,有一个SW—NE向的舌状(高) $\theta_{se}$ 区和强对流不稳定区(图5a),吸引着云团向西南方向发展。云图上表现为云团西南部分的对流不断加强,而其东北部分不断地减弱消散,整个云团呈现出向西南方向移动(图2)。二是强上升运动中心在初生云团西南方的邢台附近(图6a),伴随它的低层强暖湿辐合,促使云团向西南方向发展。

暴雨云团的移动,经历了短暂的东北移后转向东偏北移(图1b)。云团生命史中,强对流始终位于中心处,传播特征不明显(图3)。形成这种移动路径的原因,云团初生以后受急流入口区右侧上升运动的吸引先向东北移(图6b),接着受邢台及其以西700 hPa以下

偏北风的阻挡,以及邢台以东偏西南风的作用(图4b),又转向东偏北移,这其中还有山东北部较强上升运动的吸引,并造成东移后的第二次发展。

#### 4 小结与讨论

这两个云团形成和发展、移动及伴随的强对流天气和强降雨特征,在夏季华北地区常见的两类灾害性云团中具有较好的代表性。

雷暴云团的移动展现出较为典型的传播特征;暴雨云团的移动,则表现为受环境场气流引导和传播的某些特征。

雷暴云团伴随的强对流天气,主要由于对流层中下部前倾槽造成的大气强烈不稳定,以及较强的风垂直切变所致;暴雨云团伴随的强降水,主要由于对流层中下部深厚的暖湿环境、持续的上升运动,以及高空急流的作用。

两个云团的形成、发展及移动,卫星云图上均显示出了十分清晰而又连续的演变过程;数值预报分析产品的形势图、物理量场,在云团形成发展前就展示出它们将要发展的多种信息。因此,只要充分地综合分析这些资料,有望对它们进行有力的监测和作出较准确的短时和临近预报。

#### 参 考 文 献

- 1 《华北暴雨》编写组. 华北暴雨. 北京:气象出版社,1992. 49~53.
- 2 江吉喜,项续康. “96.8”河北特大暴雨成因的中尺度分析. 应用气象学报,1998,9(3):304~313.
- 3 Newton C W. Dynamics of severe convective storms. *Meteo. Monogr.*, 1963, 5(27): 33~58.

## COMPARATIVE STUDY ON TWO KINDS OF DISASTER CLOUD CLUSTERS OVER NORTH CHINA

Jiang Jixi

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

The cloud clusters of severe disaster thunderstorm and torrential rain occurring over North China during the summer in 1998 are studied using satellite cloud pictures, conventional data and NWP analysis products. The results show that there are obvious differences for the two kinds of cloud clusters in the environmental conditions of their formation, development and moving model; Satellite cloud pictures combined with other data should be the effective way to monitor and predict the two kinds of cloud clusters.

**Key words:** Cloud cluster of thunderstorm    Cloud cluster of torrential rain    Propagation and movement