

# 运用雷达作强对流天气 短时预报研究文集

运用雷达作强对流天气短时预报研究课题组

气象出版社

# 运用雷达作强对流天气 短时预报研究文集

运用雷达作强对流天气  
短时预报研究课题组

气象出版社

## 内 容 简 介

本文集是华东地区五省一市组成的运用雷达作强对流天气短时预报研究课题组近年来的研究论文的汇集, 包括论文 18 篇和论文摘要 23 篇。

本文集可供从事天气预报和大气物理研究的技术人员参考。

## 运用雷达作强对流天气短时预报研究文集

运用雷达作强对流天气短时预报研究文集课题组

责任编辑 陶国庆

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路 46 号)

国防科工委印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/16 印张: 10 字数: 245 千字

1990 年 2 月第一版 1990 年 2 月第一次印刷

印数: 1—1500 定价: 7.10 元

ISBN7-5029-0333-X/P·0184

## 前 言

冰雹、龙卷、雷雨大风和对流性暴雨等强对流天气，是我国的主要灾害性天气，严重地影响着国民经济和国防建设，威胁人民生命财产的安全。但是，由于其尺度较小，在常规天气图上难以发现和掌握，使得强对流天气的预报问题成为目前气象上迫切需要解决的重要课题之一。

70年代末我国已建成天气雷达探测网。雷达是探测和研究强对流天气的有效工具，它能及时准确地测定对流风暴的位置、尺度、强度和移向移速等等。因此，充分利用现有的天气雷达探测网的资料，开展强对流天气的研究，为雷达监测和临近预报提供有用的信息和依据是有很大的科学意义和实用意义的。为此，自1979年开始，华东地区的安徽、江苏、浙江、上海、江西等省市气象局和南京气象学院、空军气象学院等共33个雷达站，组成了长江中下游天气雷达科研协作片(属长江流域暴雨课题)，1983年又成立了运用雷达作强对流天气短时预报(编者注：本书中短时预报即我国现已定名的甚短期预报)研究课题(属国家气象局重点课题)，采用实践和理论相结合、科研与业务相结合的方式分三个课题组协作攻关，较系统地对区域内70年代以来的强对流天气的雷达回波气候特征进行了统计分析，包括强对流回波参数、时空分布、初生源地和移动路径等，总结归纳了区域内强对流天气的雷达回波气候特征。利用所获得的大量雷达加密观测资料，结合其它气象资料，对多次强对流天气过程进行了深入细致的分析研究，得出了华东地区对流风暴在不同天气形势下的活动特点，进一步探讨了强对流的发生、发展演变与大尺度天气形势、地形和行星边界层之间关系。在此基础上，逐步提出了一套适合于我国情况的运用雷达对强对流天气进行监测、判别和短时预报的流程和方法，并在业务工作中试用，取得了明显的效果。

为了推动我国雷达气象事业的发展，充分发挥天气雷达在探测和研究强对流天气中的作用，我们从课题研究的一百多篇论文中选择了论文18篇及论文摘要23篇，编辑出版这本文集。本文集由杜秉玉、陈良栋、黄炎、唐洵昌、刘凤舞主编。由于水平所限，缺点和错误在所难免，希望读者提出宝贵意见。

《运用雷达作强对流天气短  
时预报研究文集》编辑组

一九八八年五月十六日

# 目 录

## 论文

1. 不同天气形势下华东强对流天气活动特点.....陈良栋 ( 1 )
2. 两次异常运动的强雹暴分析.....刘 娟 杜秉玉 ( 39 )
3. 伴有地面大风的弓状回波带.....陈良栋 ( 45 )
4. 华东地区春末夏初强对流天气的雷达气候统计分析.....唐洵昌 栾承淼 ( 50 )
5. 浙江省强对流天气的雷达气候统计分析.....李春风 应一奎 顾炳刚 ( 58 )
6. 安徽强对流天气的气候概况及雷达回波统计分析.....冯志娴 宣霞芬 ( 65 )
7. 江苏省强对流回波的统计分析.....唐洵昌 戴铁丕 黄冠乐 王卫芳 ( 73 )
8. 江西省强对流天气的雷达气候统计.....马中元 ( 79 )
9. 雹云、雷雨和阵雨回波的气候统计对比分析.....黄冠乐 栾承淼 ( 85 )
10. 用雷达作强对流天气短时预报的初步探讨.....黄 炎 朱家栋 邵玲玲 ( 92 )
11. 利用数字化雷达资料作降水的临近预报.....魏 鸣 刘晓阳 杜秉玉 ( 102 )
12. 用雷达作强对流天气预报的方法.....郭惠群 李树森 何 军 吴清林 ( 107 )
13. 强对流天气的雷达判别方程.....黄 炎 邵玲玲 朱家栋 ( 112 )
14. 安庆地区强对流天气的形成特点及短时预报.....李云飞 ( 118 )
15. 强对流天气短时趋势预报的综合统计方法.....黄 炎 邵玲玲 朱家栋 ( 123 )
16. 用雷达作强对流天气短时预报.....李春风 ( 130 )
17. 强对流天气的雷达回波相似判别和路径拟合预报方法.....邵玲玲 黄 炎 ( 135 )
18. 降雹雹云的识别及其短时预报.....张明祥 还爱霞 ( 139 )

## 摘要

1. 上海地区强对流天气的雷达气候.....朱家栋 邵玲玲 黄 炎 ( 143 )
2. 杭州地区强对流天气及其雷达回波统计分析.....李春风 应一奎 曾福庆 ( 143 )
3. 金华地区雷达气候统计.....李树森 ( 144 )
4. 强对流回波移动与高空风关系的统计分析.....夏文梅 ( 145 )
5. 大别山区和长江河谷对安徽省强对流天气的影响.....李云飞 ( 145 )
6. 用回波垂直强度梯度判别冰雹云.....林建华 ( 146 )
7. 应用雷达回波判别强对流天气的初步探讨.....林建华 ( 146 )
8. 1983年4月28日雹暴过程分析.....林建华 ( 146 )
9. 皖东丘陵一次冰雹云的回波特征.....冯志娴 ( 147 )
10. 一次强风暴天气的分析.....吴清林 ( 147 )

11. 苏皖地区一次大范围连续降雹天气过程的雷达回波分析  
.....方维之 史久恒 邢茂银 (148)
12. 扬州地区春末夏初冰雹天气活动特点初析.....史久恒 钱华鹏 江 鸣 (148)
13. 应用雷达和卫星云图资料作短时预报的研究.....周 涛 焦艾彩 许福根 (148)
14. 利用强回波中心在RHI上的位置识别冰雹云.....杨锡桂 张 超 (148)
15. 利用雷达回波对苏南一次大范围强降雹过程的预报和分析.....查玉泉 (149)
16. 苏皖1985年5月12日强对流天气分析.....钱来林 查玉泉 方维之 赵廷龙 (149)
17. 1983年7月18—23日苏北连续暴雨过程的雷达回波分析  
.....杨锡桂 张明祥 邵本胜 (149)
18. 梅汛期暴雨雷达回波发生发展的能量分析.....李春风 (150)
19. 梅雨锋上的雹暴天气.....朱竞成 (150)
20. 一次江淮气旋中强龙卷和大暴雨的雷达回波分析  
.....方维之 朱竞成 季润生 唐润昌 (150)
21. 一次江淮气旋的回波分析.....冯志娟 俞 卫 吴德清 徐文宁 (151)
22. 用雷达回波特征预报台风路径.....朱守东 (151)
23. 略谈黄洋界雷达的前哨作用.....宋祖汲 (151)

后记

## 不同天气形势下华东强对流天气活动特点\*

陈良栋

(空军气象学院)

众所周知,大尺度天气形势对于中尺度对流风暴的发生、发展和演变有重要的影响。对流风暴是在大尺度天气形势所建立起来的位势不稳定区中发生发展的,并且大尺度天气系统(如高空槽、锋面)还可直接触发生对流运动,高空的引导气流基本上决定了对流风暴的移向、移速。除此之外,与对流风暴的发生、发展和演变有密切关系的低层中尺度环境场,也是在大尺度天气形势与当地的地形和地理条件共同作用下形成的。因此,在不同的天气形势下,华东地区对流风暴的活动有不同的特点,在同一天气形势下,华东不同地区对流风暴的活动又有各自的特点。在多次个例分析的基础上,归纳出不同天气形势下对流活动的特点,对于提高人们的认识和寻找短时天气预报方法都是十分有用的。

有人把华东地区雷暴发生前500hPa的环流形势分为槽前型和槽后型,其中槽前型又分为南支槽、北支槽和高压后部,槽后型又分为冷槽和冷涡<sup>[1]</sup>。我们利用比较完整的中尺度气象资料和雷达、卫星资料,包括总参华东中尺度天气试验(1980—1983年)和华东雷达气象科研协作片(1979—1986年)的资料,通过对1974—1986年4—6月22次发生在华东的较大范围的强对流天气过程的中尺度分析,初步归纳出南支槽前(7次)、北支槽前(4次)和槽后(6次)形势下华东地区强对流活动的特点和进行短时天气预报的线索。

### 一、南支槽前形势下强对流活动特点

这是华东地区产生强对流天气的重要天气形势之一,尤其是对于 $30^{\circ}\text{N}$ 以南的华东南部地区。据江西省的统计,在1976—1985年2—7月的112个强对流日中,有85%是发生在南支槽前形势下。

#### 1. 强对流发生前的环境条件

##### (1) 大尺度环流形势

在500hPa图上,槽线位于 $105^{\circ}\text{E}$ 附近的东胜、汉中、下关一线,呈东北—西南走向,主体在 $35^{\circ}\text{N}$ 以南。华东处在槽前的西南气流中,风速较大(大于 $30\text{m/s}$ ),有较强的暖平流。槽后冷平流不明显。850hPa图上,切变线位于连云港、万县等一线,在其南侧有西南低空急流(风速大于 $12\text{m/s}$ ),形成暖湿空气的输送带,华东地区处于大风速中心前方的辐合区中。在地面图上,锋面和温带气旋都在 $30^{\circ}\text{N}$ 以北,华东处在入海高压后部。图1所示为其典型

\* 参加本工作的还有方维之、朱沪、梁承森、钱来林、冯志翔、马中元、郭惠群、徐文宁、李树森、朱家栋、邢茂银、石汉青、陈淑萍等。

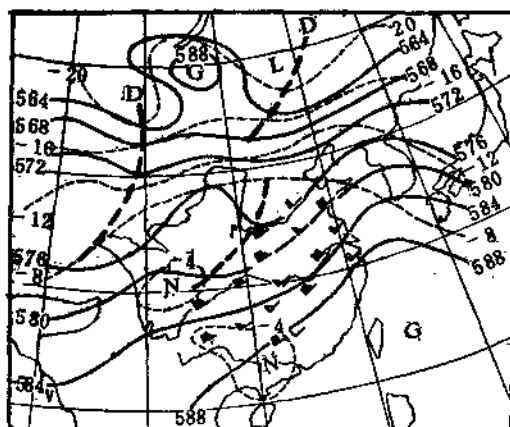
的例子。上述大尺度环流形势与杨国祥等得出的南支槽前形势下华东地区雷暴发生前的合成形势相似<sup>[1]</sup>。

## (2) 地面中尺度环境条件

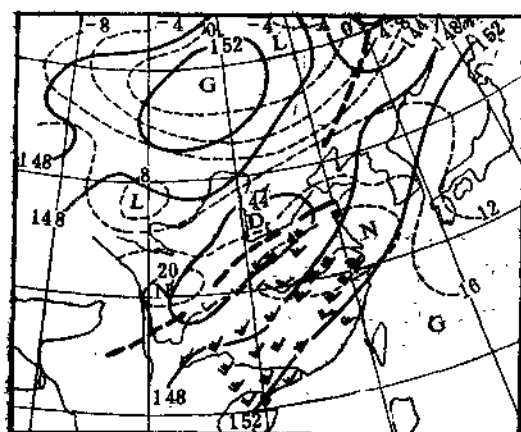
由于受地形和地理条件的影响，华东地区的地面气温和风呈中尺度分布，如图2所示。可以看出，华东沿海和苏皖平原土盛行东南风，在大别山和黄山、天目山之间的长江河谷中为西南风，气温的分布是东北冷、西南暖，冷中心位于苏北的连云港一带，在大别山的西部、长江河谷和浙赣走廊有三个暖舌，向东北方伸展。

## (3) 大气层结条件

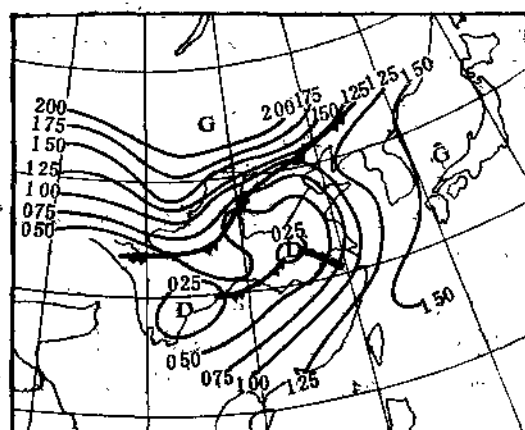
在边界层以上，华东各地的大气层结相差不大。850—500hPa的假相当位温 $\theta_e$ 随高度减小，气层为较强的对流性不稳定，整层的湿度比较大，850hPa层上的比湿超过10g/kg。华东各地大气层结的主要差别表现在边界层中。在华东沿海和苏皖平原上，由于盛行的东南风来自海上，气温很低，这股冷气流插在西南暖湿气流下方。在边界层中形成强的逆温层，尤其在苏北沿海，而位于内陆的江西南昌，边界层中没有这种逆温层，如图3所示。



(a) 08时500hPa



(b) 08时850hPa





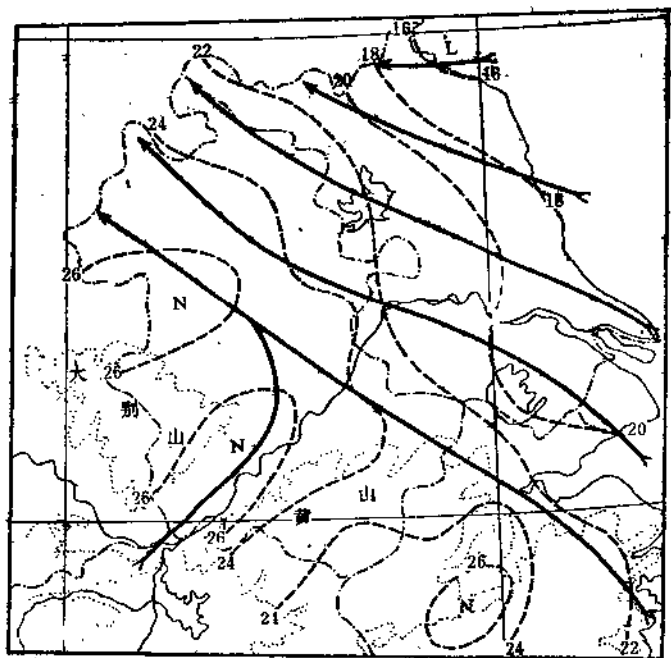


图2 1985年5月12日02时地面中尺度图  
图中虚线为等温线，实线为流线

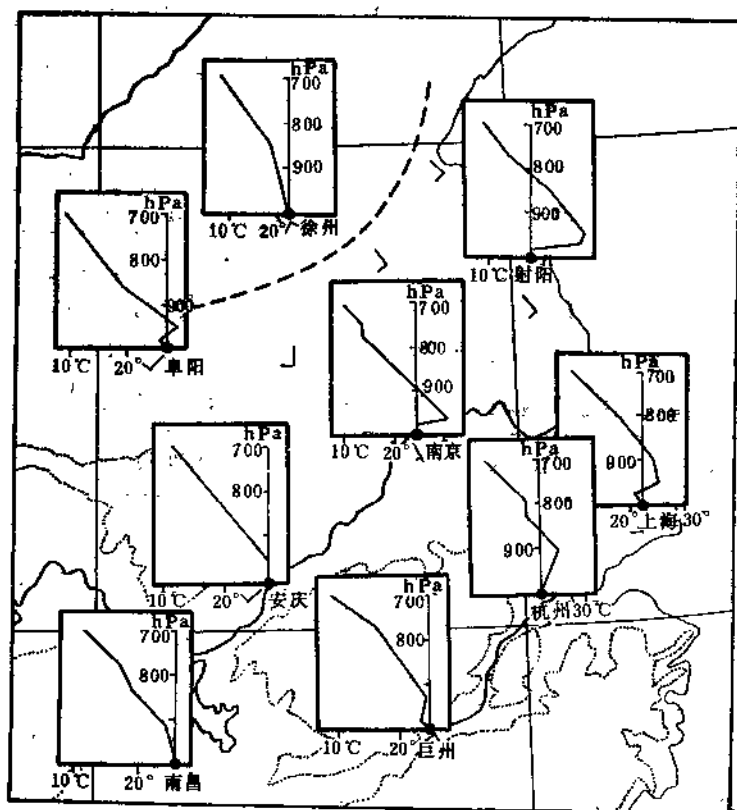


图3 华东各探空站的低层气温垂直分布(1985年5月12日08时)

#### (4) 风随高度的变化

在南支槽前形势下, 华东地区处在深厚的西南气流中, 其厚度可达10km左右, 风的垂直切变很小, 如图4所示。边界层的风速由于受地形影响, 呈中尺度分布, 如图5所示。这是华东中尺度试验期间根据间距为90km的探空站网的资料得出的。可以看出, 在大别山和黄山、天目山北侧是个小风速区, 在大别山的西侧和长江河谷中风速较大, 形成两条西南暖湿气流的通道。这种情况甚至在2500m的高空仍然很明显。在长江河谷及其下方, 存在边界层急流, 其中心高度为600—900m, 风速很大<sup>[2]</sup>。

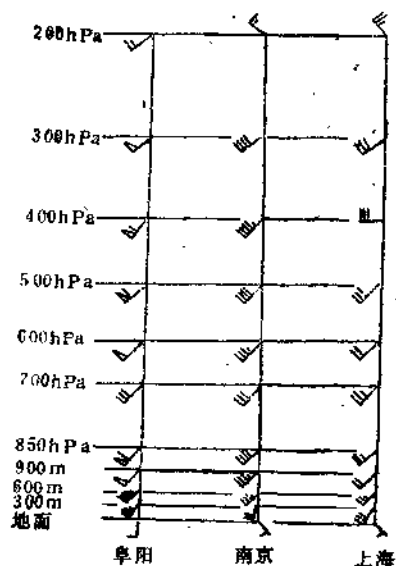


图4 阜阳、南京和上海等地区的风随高度的分布(1985年5月12日08时)

#### 2. 中尺度强对流系统活动特点

通过对7次华东地区较大范围的强对流过程的分析(11个强对流日), 归纳得出在南支槽前形势下华东强对流活动具有以下特点:

(1) 强对流天气主要由外来中尺度对流系统引起, 包括由外来系统直接产生和在外来系统影响下在当地诱发的中尺度对流系统产生。单纯由本地区局地触发产生的强风暴很少, 如表1所示。

由表可知, 每次强对流过程都有外来系统移入, 外来系统和在外来系统影响下产生的中尺度对流系统共占80%, 本地区自行产生的只占20%。

① 外来中尺度对流系统的产生。外来中尺度对流系统在云图上反映为中尺度的对流云团, 可以利用间隔3h的卫星云图进行追踪。分析表明, 外来中尺度对流系统有两类。一类形成于槽前大尺度辐合上升区域中。当南支槽东移, 我国西南地区盛行西南风时,

在高原东侧常形成这种中尺度对流云团, 如图6所示。可以看出, 从1985年5月10日08时开始, 我国西南地区500hPa上的西南风开始建立和加强, 与此相伴, 我国西南地区的积云团开始增多和向东北方扩展, 11日02时在四川东部形成了一个中尺度对流云团A<sub>1</sub>。当槽前云带东

表1 南支槽前形势下影响华东的中尺度对流系统的来源

| 过程日期       | 外面移入 | 外来系统在当地诱发 | 本地自行产生 |
|------------|------|-----------|--------|
| 80.6.26—27 | 3    | 4         |        |
| 83.4.13    | 2    |           | 1      |
| 83.4.27    | 3    | 1         |        |
| 85.5.4—5   | 3    | 2         |        |
| 85.5.12    | 2    | 2         | 1      |
| 86.4.9—10  | 3    | 3         | 2      |
| 86.4.24—26 | 4    |           | 4      |
| 合计         | 20   | 12        | 8      |

移, 与准定常维持的副高西北侧的云带交汇时, 也可以在其交汇地区形成中尺度对流云团, 如图 7 所示的例子。类似的情况在 1981 年 6 月 29 日和 1982 年 6 月 14 日也曾出现, 这种对流云团通常形成于华中地区<sup>[3]</sup>。

第二类影响华东地区的外来中尺度对流系统, 是由于低层空气的强迫抬升触发产生的。图 8 所示的是两次午后在湘黔山区产生的对流云东移发展形成中尺度对流云团影响华东的例子。图 9 所示为北方的冷锋南下在与静止锋交汇处产生的对流云团东移发展影响华东的例子。

第一类中尺度对流云团的尺度较大(大于 500km), 生命史也较长, 常可维持一天以上, 行程上千公里。第二类中尺度对流云团水平尺度比较小(小于 500km), 生命史也较短, 通常

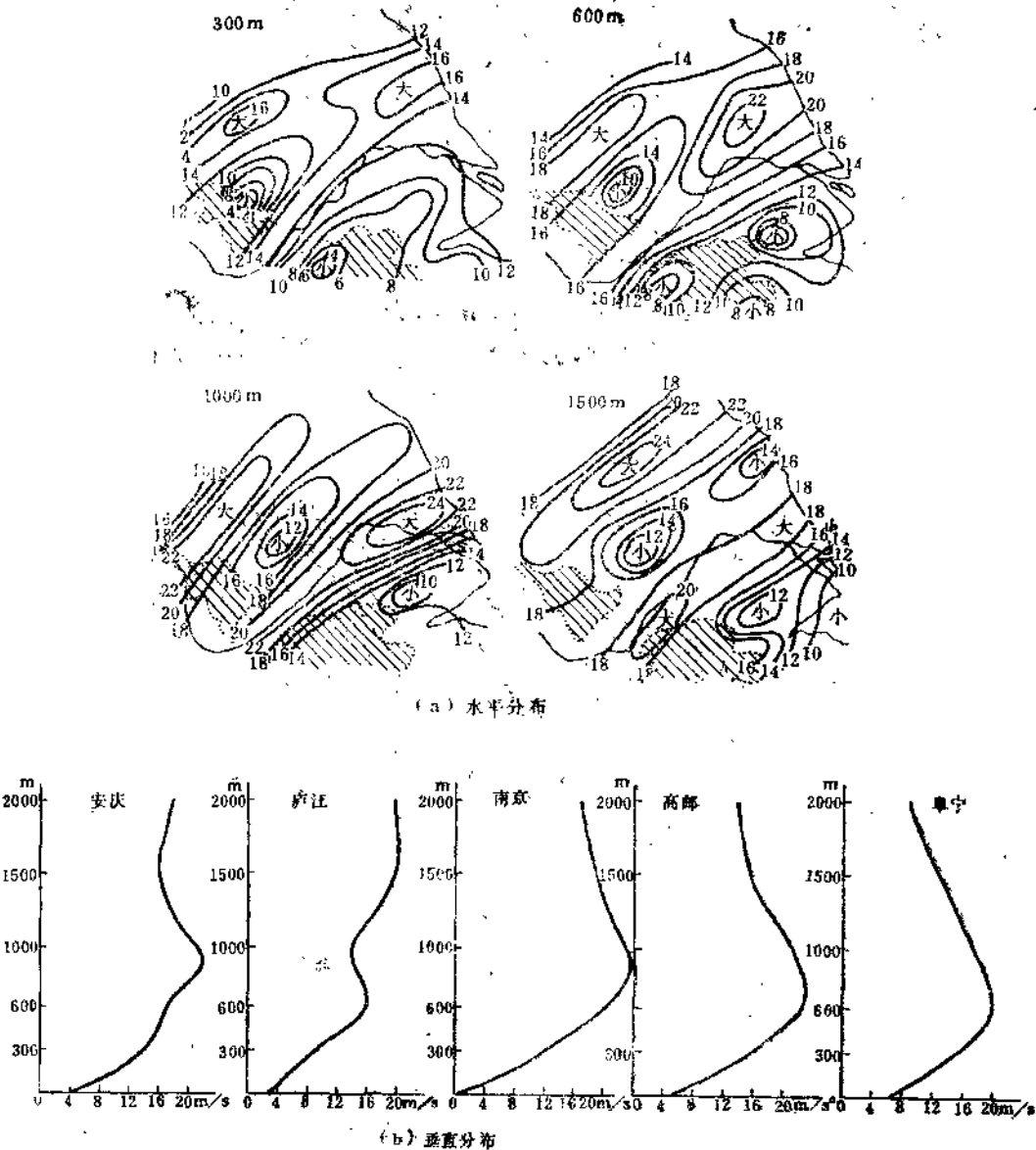


图 5 华东边界层中风的的中尺度分布(1980年6月16日07时)

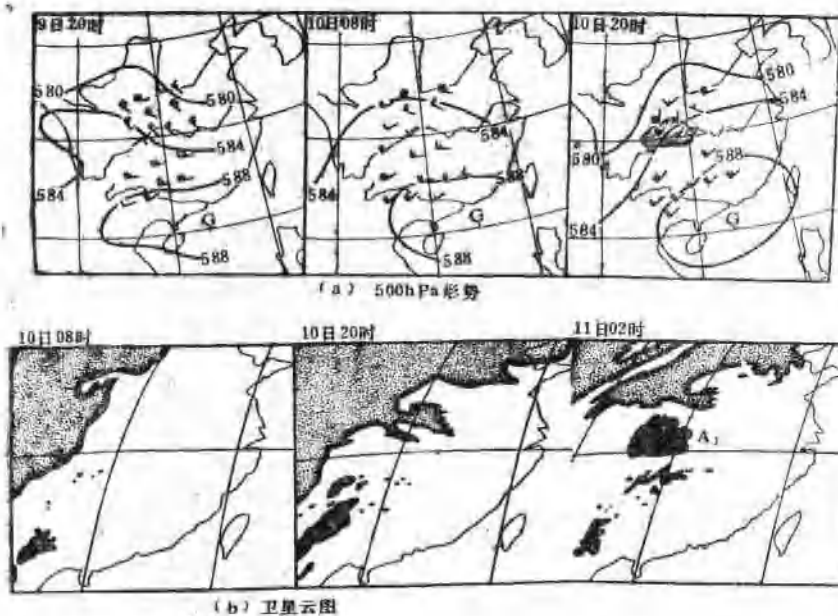


图6 中尺度对流云团A<sub>1</sub>的形成

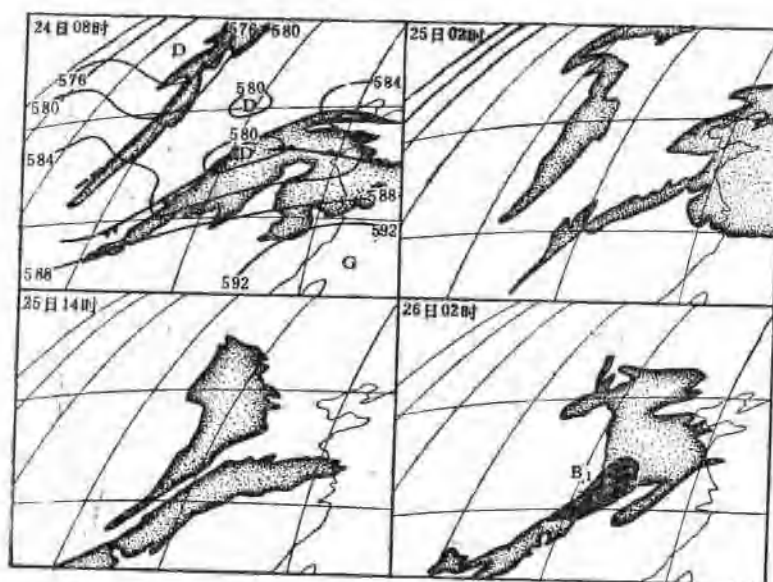
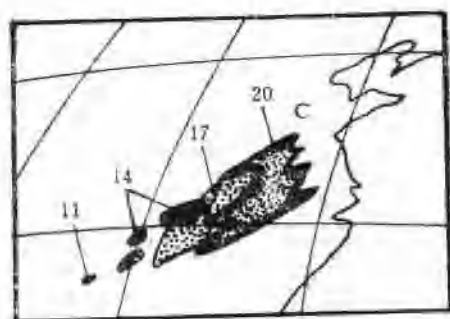
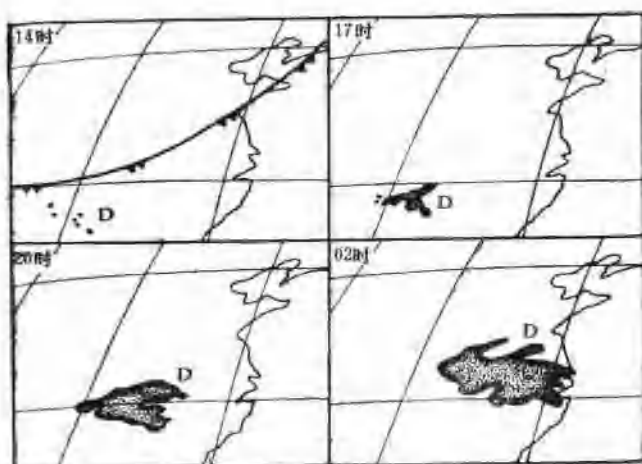


图7 卫星云图上两条云带交汇形成中尺度对流云团B<sub>1</sub>的过程(1980年6月24—26日)



a) 1983年4月27日



b) 1985年5月4—5日

图8 源自湘黔山区的中尺度对流云团的形成过程

不超过一天。

② 外来中尺度云团的降水结构。在南支槽前形势下，外来对流云团通常都有类似的形态和结构特征。云团的北部或东北部是宽广的云砧区，结构松散，边缘发毛；云团的南部或西南部是对流云团主体所在，结构密实，色调白亮；在云团的西南侧，还常有一些新生的小块积云团。利用卫星云图、雷达回波和地面降水资料，可以了解对流云团内部的降水结构。图10所示为1980年6月26日08时外来对流云团B<sub>1</sub>(见图7)的降水结构。图中的粗实线为云区的廓线，细实线为07—08时的地面降水量等值线，图中还填上了当时地面天气实况分布。可以看出，雨区位于云团的南部，其中强降水区位于南部中一条比较狭窄的带上，大致成南北走向。云团的北部是卷云砧和小雨区。图中(b)所示为位于该云团前方的3cm雷达探测得到的降水回波综合图。可以看出，降水区的北部是分布零散、高度较低的阵雨回波和呈片状的层状云降水回波(图中虚线)，降水区的南部有一条强度较大、结构密实的对流回波带，宽度很窄(10—20km)，高度较高(8—14km)，它所对应的地区就是雨区

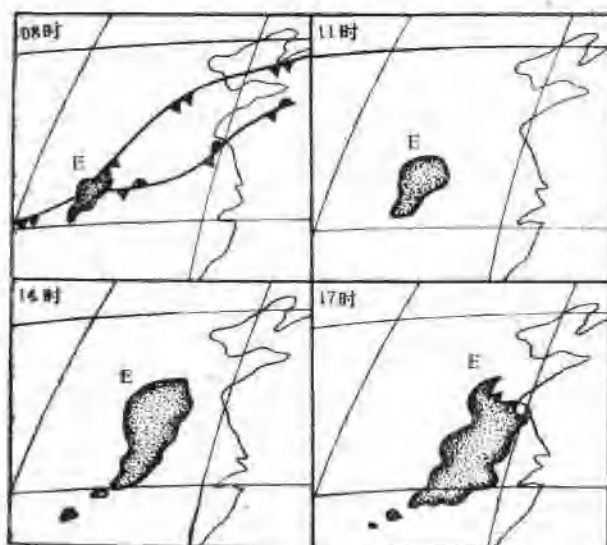
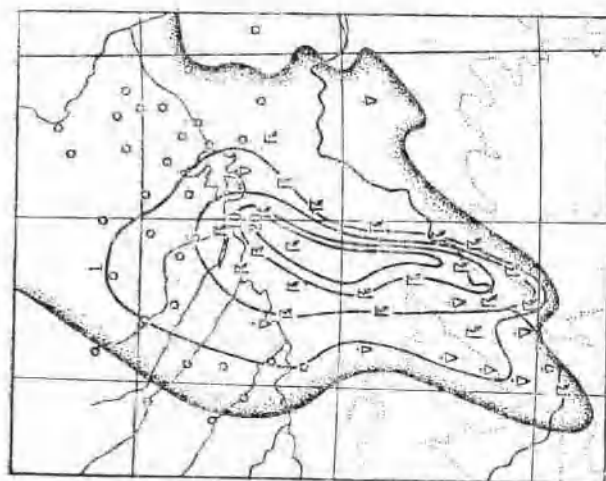
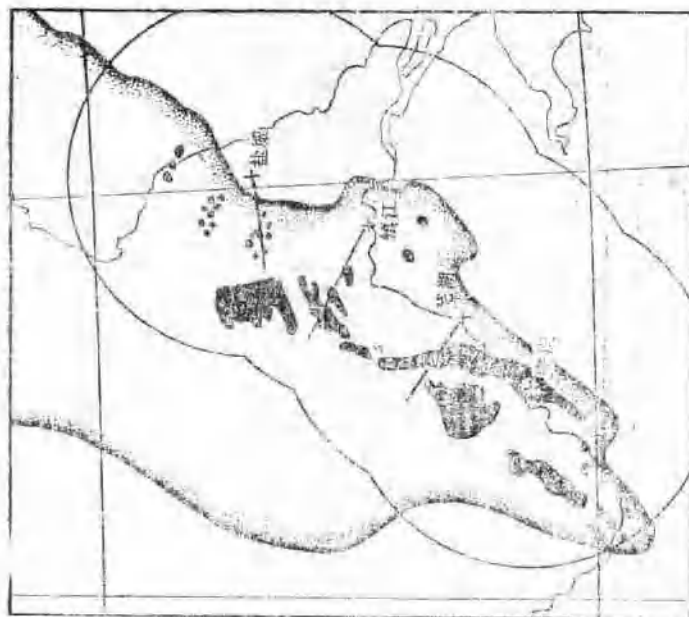
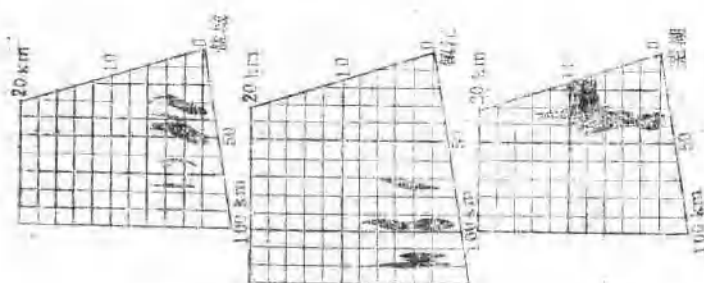


图9 冷锋与静止锋交汇处形成的中尺度对流云团的演变(1985年5月3日)



(a) 07—08时地面降水量等值线  
(细实线)和天气实况分布

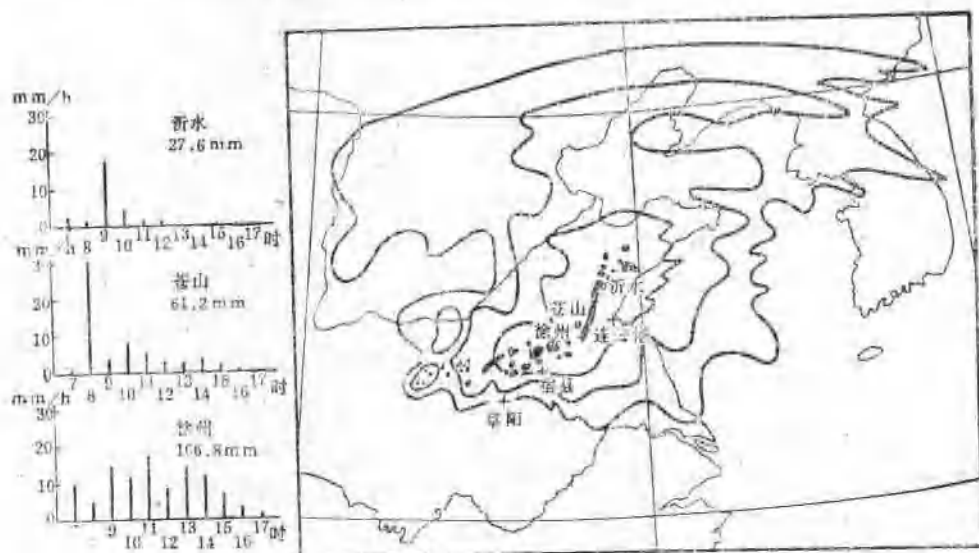


(b) 8cm波长雷达探测到的平流回波  
和雷达回波素描图

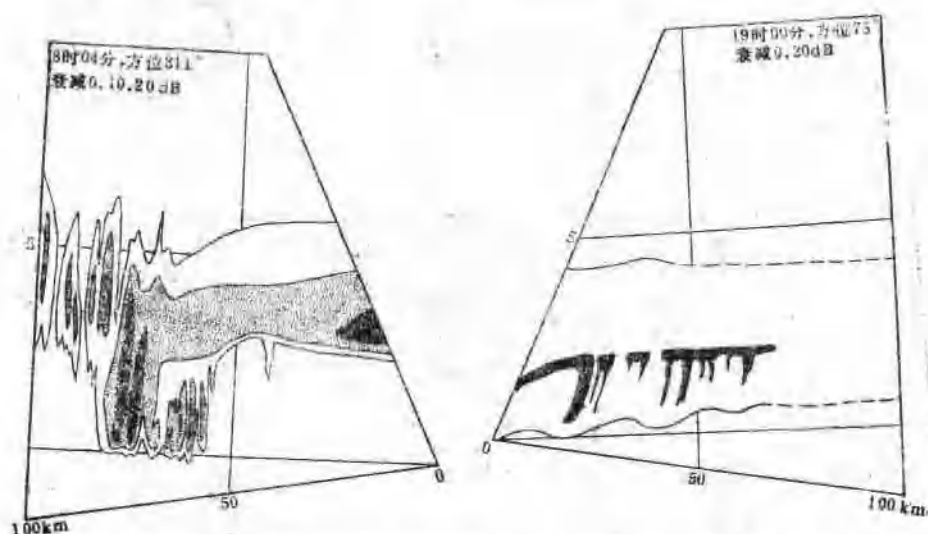
图10 中尺度对流云团B<sub>1</sub>的降水结构(1980年6月26日08时)

前缘的强降水区和雷暴区。在强回波带的后方，也有一些强度较弱的层状云降水区。在云团的西南部是一些小块的 阵雨回波。

图11中绘出了另一次外来对流云团A<sub>1</sub>的降水结构。图(a)中有三条廓线，分别表示增强显示云图上云顶温度低于 $-30^{\circ}\text{C}$ ， $-52^{\circ}\text{C}$ ， $-72^{\circ}\text{C}$ 的区域，涂黑区为雨区前方雷达站所探测到的降水回波。在图的左侧，还绘出了三个侧站的每小时降水量的演变和过程降水量。可以看出，雨区位于云团南部云顶温度较低区域的下方和云团的西南侧。雨区的前沿也有一条大致呈南北走向宽度较窄的强对流回波带。在其移过的地区，产生短时间的强降水（如沂水、



(a) 08时中尺度对流云团A<sub>1</sub>云顶温度低于 $-32^{\circ}\text{C}$ ， $-52^{\circ}\text{C}$ ， $-72^{\circ}\text{C}$ 的区域廓线和3cm波长雷达探测到的降水回波(涂黑区)，以及三个测站逐时降水量演变和过程降水量



(b) 连云港雷达站处在降水区前方(左图)和后方(右图)时探测到的高显回波素描图

图11 中尺度对流云团A<sub>1</sub>的降水结构(1985年5月12日)

苍山)。在这条强降雨带的北面是一些分布零散、强度较弱的降雨区。由于降水对电磁波的衰减作用,强降雨带后部的弱降水区在回波图上没有反映出来。在强降雨带的南部有一条由一般的雷阵雨回波单体构成的回波带,呈东北东—西南西走向,与高空引导气流接近一致,这是由于在云团的西南侧不断有新的对流产生形成的。位于这部分雨带下方的地区,由于接连不断的对流单体过境而产生大暴雨(如徐州降雨106.8mm),图(b)为连云港雷达站分别处在该云团的前方和后方时,探测到的高显回波素描图,可以看出雨区回波的垂直结构。从雨区的前方进行探测时(方位 $311^{\circ}$ ),显示出从降水区向前方伸展达几十公里的云砧回波,降水区是由一些强度较大的对流单体组成,它们的水平尺度较小,加衰减后顶高下降比较明显,强回波区位于回波的中下部,因而是一些普通的雷阵雨回波,通常不会产生强对流天气;当从雨区的后方进行探测时(方位 $75^{\circ}$ ),显示出雨区后部的层状云降水回波和位于其中的零度层亮带。因此,在外来对流云团的不同部位移过的地区,地面降水的演变情况是不同的。

③ 外来中尺度对流云团的移动和演变。中尺度对流云团形成后,通常沿500hPa引导气流的方向有规则地向东偏北方向移动。对这7次过程中的中尺度云团移向移速的统计表明,云团的移动与其附近的500hPa平均高空风有密切的关系。云团的移向与500hPa高空风的偏差在 $-4^{\circ}$ — $22^{\circ}$ 范围内(左偏为负,右偏为正)。但如果在云团的南面不断有新的对流云体产生和并入,则云团右偏加大,可达 $50^{\circ}$ 左右。中尺度对流云团的移速与其附近的500hPa平均风速接近相等。图12中绘出了1985年5月12日强天气过程中外来中尺度云团 $A_1$ 的演变动态和相应时间的500hPa形势。可以看出,中尺度对流云团 $A_1$ 在向东北方向的移动过程中,在其南侧有中尺度云团 $A_2$ 新生。图13所示的是另一次向南传播的过程。1985年5月3日08时有中尺度云团向东移动,午后在其南面有新的对流云发展,形成逗点状云系影响华东地区。由于云团的传播,可使其移向明显地右偏500hPa风向。

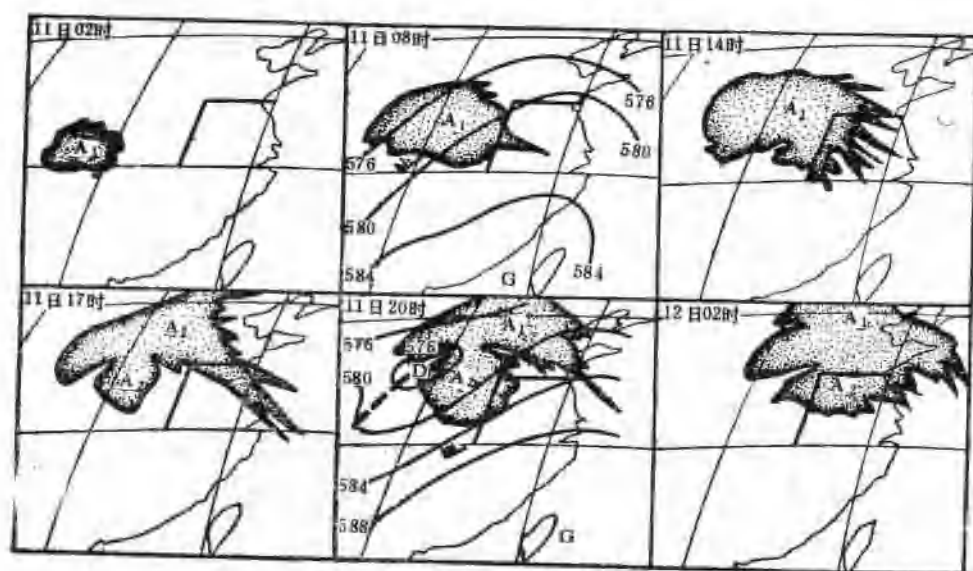


图12 中尺度对流云团 $A_1$ 的演变(1985年5月11—12日)

分析表明,成因不同的两类外来对流云团的发展演变规律不同。由大尺度辐合上升运动



形成的第一类中尺度对流云团,其发展演变主要由对流层底层(850hPa)的散度场决定,它在辐合区产生、发展和维持,在辐散区减弱、消散。它的发展演变与近地面层的环境条件关系不密切,日变化也不明显。图14所示是1980年6月26日和27日08时850hPa的散度场。可以看出,在华东沿海准定常地维持着一个辐散区。25日20时在两条云带交汇处形成的中尺度对流云团B<sub>1</sub>(见图7)于26日清晨移入华东地区以后,其降水回波带的高度随着云团的东移而逐渐降低,从06时的17.6km(池州雷达站),到10时23分下降为12km(苏州雷达站)。与此同时,平显上的回波带也逐渐变得松散,到13时移到华东沿海时,整个回波带只剩下几块零散的回波。回波带过境时天气实况也表明,早晨过境时发生雷暴大风和雹,到中午减弱为一般的雷雨和阵雨,如图15所示。

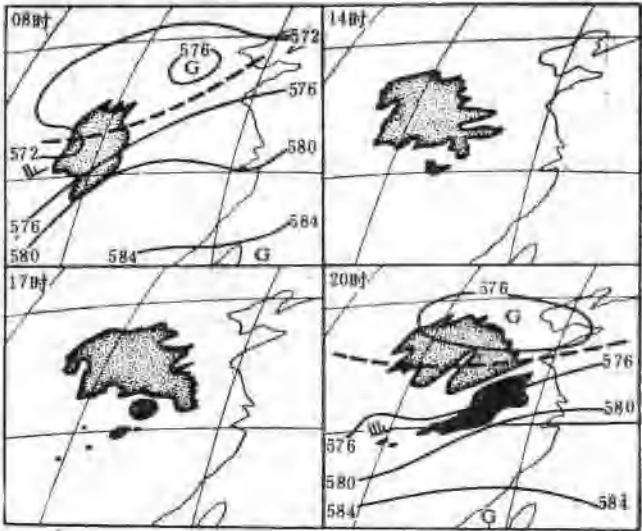


图13 中尺度对流云团的演变过程(1985年5月3日)

由近地面层空气强迫抬升触发产生的第二类中尺度对流云团,属于局地强风暴。它的能量

供应。除了与大尺度环境条件有关外,主要来自近地面气层,所以其发展演变,主要决定于近地面层的中尺度环境场。它们通常在中午前后产生,午后发展加强,入夜减弱。不过由于它们具有较大的水平尺度,所以常可维持到第二天清晨。此外,它们的发展演变受地形的影响也较大。1983年4月27日,源自湘黔山区的中尺度

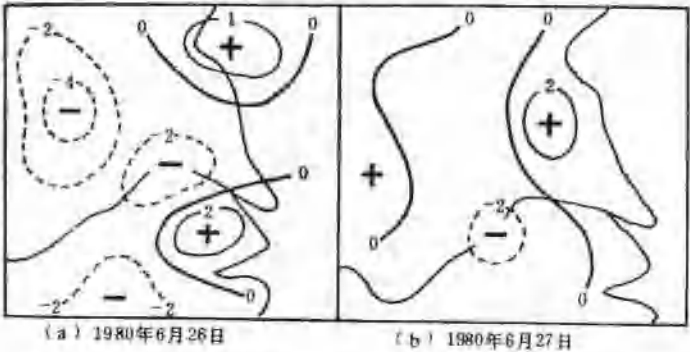


图14 08时850hPa散度场( $10^{-6}/s$ )

对流系统C(见图8(a))于16时以后进入华东雷达站网的探测范围,其回波的演变和系统过境时地面实况的分布,如图16所示。该系统南部的强单体首先在江西西北部的修水河谷中降雹,20时以后位于其前沿的近南北走向的对流回波带从山区移到平原时,两次发展加强,在大别山和天目山的东北方形成了弓状回波(图中箭头指处),造成较大范围的地面雷雨大风和降雹。

(2) 外来中尺度对流云团移入华东地区后,有向南传播的现象,使强对流天气也向南传播。

中尺度对流云团移入华东地区后,其雷暴冷出流与当地盛行的偏南气流之间构成中尺度切变线(或雨成冷锋),在有利的条件下可以触发产生对流运动,使中尺度对流系统向南传