

上海局地强对流天气及临近预报要点

漆梁波 陈 雷

(上海中心气象台, 上海 200030)

提 要: 借助上海多普勒雷达存储的强天气个例资料, 结合上海地区的综合观测网, 对上海地区局地强对流天气的天气形势特征及雷达回波发展特点进行了分类。比较发现, 回波源地在上海北部地区的占多数, 与地面弱切变线的关系非常密切; 从初始回波到回波旺盛约经历 1 个小时; 回波的上风向位置容易得到发展; 200hPa 的风向对回波的发展趋势也有明显的影响。一般而言, 西北风不利于回波的快速移动, 而在西南风的情况下, 回波移动往往会比较快; 低层风的大小对回波移动和雷雨大风的形成至关重要。

关键词: 局地强对流 雷达回波 分型

Local Severe Convective Weather in Shanghai and Its Nowcasting Summary

Qi Liangbo Chen Lei

(Shanghai Meteorological Center, Shanghai 200030)

Abstract: Based on archives of Doppler radar, AWS and other data, local severe storms in Shanghai are classified into 4 main types. After careful analysis and comparison, some forecasting points are summarized as follows. Initial places of storms are mostly massed at north of Shanghai, which keeps close connections with surface weak convergence lines; Developing from initial echo to peak stage will take about 1 hour; Upstream echo takes priority to develop; Strong wind at 200hPa level can largely affect the developing pattern of local severe storms. Usually, northwesterly is not favorable for fast moving echoes, but in case of southwesterly, the echo moves quite fast. Low level wind speed is crucial to echoes' motion and triggering of strong gusts. Those points could be useful references for local severe storms' nowcasting in Shanghai and other similar areas.

Key Words: local severe storm radar echo classification

引言

强对流天气的临近预报仍是省级台站业务工作中的难点。强对流天气的发生主要有两种类型,一种是上游移动到本地的,第二种是局地生成的。对前一种情况的临近预报,简单的外推法可以取得较好的效果。对第二种类型的强对流天气,由于其空间尺度小(5~50km),发展迅速,移动路径复杂,传统的强对流预报诊断方法和现代的数字预报方法能提供的预报指导信息不足,业务预报上难度仍然较大,但此类强对流天气往往造成比较严重的后果,是临近预报中需要重点关注的预报对象^[1-2]。雷达是短时预报的重要工具。以雷达资料为基础的短时预报方法工作有不少,包括对强对流天气进行天气学分类,得到一些对短时预报或人工影响天气有指导意义的预报着眼点^[3-7]。但专门针对局地强对流天气的发生发展的工作不多,特别是与密集地面观测相结合的工作更少。近年来,随着气象现代化建设的推进,各地的综合探测网已经基本形成,如何以雷达资料为主线,综合利用各种资料,提高局地强对流天气的临近预报水平是急需开展的工作。

文中借助上海多普勒雷达存储的强天气个例资料(2000—2004 年,共得到 18 个具有局地发展特点的强天气个例),结合当地的综合观测网,统计和分析导致局地强对流天气的历史资料,着重分析临近预报中比较关心的回波初始源地、回波发展态势以及带来的灾害性天气等关键点,并进行了分类及临近预报参考点的总结,力图为上海及其他类似地区的临近预报提供有益的参考。

1 关于局地强对流天气的说明

文中所提及的局地强对流天气是指初始

回波出现在本地(包括由外面移入的对流系统所激发),并带来大风(大于 $14\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)、短时强雷雨(大于 $20\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)、冰雹或龙卷的对流天气。当某一对流系统的最大回波强度达到 30dBz 时,认为初始回波出现。当某一对流系统的最大回波强度小于 30dBz 时,认为对流系统消散。回波源地是指初始回波出现时,回波所处的位置。

2 几种局地强对流天气的特征和预报要点

对 2000—2004 年上海多普勒雷达所存储的雷达回波资料进行普查,总共得到 38 个强对流天气的完整资料(排除了热带系统及梅雨锋直接影响造成的短时暴雨个例),其中 18 个是局地强对流天气。从上述数据可知,局地强对流所占比例约为 47%。需要说明的是,在 2000—2004 年的 5 年间,并不止发生 38 次强对流天气,发生了强对流但雷达回波资料没有保存下来的例子也有不少,但鉴于上海中心气象台保存雷达资料的规范是以上海地区出现强天气实况为原则(大风、强雷雨、冰雹或龙卷),并不区分强对流天气的初始源地,所以上述局地强对流所占的比例应该是大致可信的。根据上述 18 个局地强对流天气发生的季节和天气形势,分为 4 种类型,分别为经向环流型、梅雨型、盛夏副高型、盛夏华北槽。

2.1 经向环流型

这种类型的局地强对流发生在上海出梅前后,环流特点是 $100^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 之间有明显的 500hPa 深槽,对流层上部有急流(200hPa 槽前一般存在中心风力大于 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的急流带)。上海处在弱的低压槽区内,地面吹弱西南风(小于 $4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),日最高温度能达到 35°C 。对流激发的主要原因是槽前急流的暖区扰动,并不一定需要局地弱切变线激发(局

地弱切变线可由不均匀加热、海陆差异或低压槽区产生)。本站的 K 指数一般不高(小于 35°C),但处在高能锋区的下游方向。

初始回波的源地一般出现在上海西北部(宝山、嘉定或市区北部),初始回波出现的时间不定,在 12—17 时之间,不取决于槽前急流离上海远近,但初始回波一般出现较早,高度约为 $6\sim 7\text{km}$,发展到最强盛(一般能达到 $65\sim 70\text{dBz}$)约需要 1 个小时,对流系统的生命史 2 小时左右。

当本站 200hPa 是西北风时,对流系统的发展以单个回波体的方式展开,移动方向与本站 500hPa 风向一致,如果本站低层(850hPa 或 925hPa)无大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速,对流系统将移动缓慢($5\sim 10\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$),会带来 $30\sim 40\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的局地强降水和 7~8 级雷雨阵风。

当本站 200hPa 是西南风时,对流系统的发展以多个回波单体向西南方向更替发展的方式展开,移动方向沿着本站 500hPa 风向顺转约 30° ,移动速度则大致与 500hPa 风速相当,若本站低层(850hPa 或 925hPa)有大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风,则对流系统将迅速移动,带来 9~10 级雷雨大风或飑线,破坏性大^[8]。

这类局地强对流的触发机制是槽前急流的暖区扰动,源地一般在上海西北部,初始回波出现到回波发展旺盛约为 1 小时,根据环流背景的不同配置,也能判断回波发展的大致趋势。

2.2 梅雨型

在江淮梅雨期内,上海地区处在副热带高压的边缘,地面低压带自湖北东部向上海延伸。本地大气的潜在不稳定条件较好(K 指数一般大于 35°C)。

在这种形势下,初始回波的源地不固定,但总体而言,在上海地区西部的居多。出现的时间在傍晚或上半夜。此类回波的特点

是:初始回波出现的高度比较高,一般在 9km 左右;发展非常迅速,自初始回波出现到回波达到最强只需要 $30\sim 45$ 分钟。最大回波高度 15km 左右,最大强度 $60\sim 70\text{dBz}$ 。这类局地强对流天气以多个单体组成的回波带发展为主,西南端的回波单体容易发展为最强,整个回波带则向东南或南缓慢移动,对流系统的生命史约 $2\sim 3$ 小时。灾害性天气以局地强降水为主,若低层(850hPa 或 925hPa)的风力较大(大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),则还会带来 7~9 级雷雨大风。

这种类型的局地强对流天气的触发机制比较清晰(地面静止锋和气温日变化),触发时间主要发生在傍晚到上半夜,但其发展非常迅速,回波源地不固定,比较难以预报。其“以多个单体组成的回波带”发展模式 and “缓慢向东南或南移动”是值得注意的特点。图 1 给出了梅雨型的天气形势及回波演变态势。

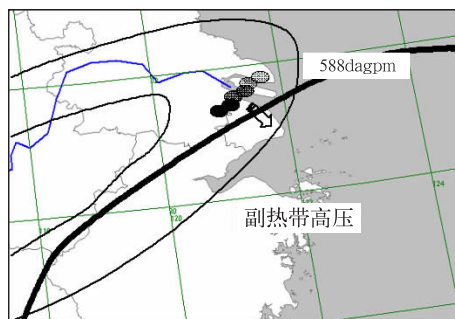


图 1 梅雨型的天气形势及回波演变态势
粗线表示 500hPa 等高线,细线表示地面等压线,
回波颜色深表示强回波,箭头表示回波的移动方向

2.3 盛夏副高型

进入盛夏之后,我国的汛期雨带北抬到黄淮地区,上海地区一般在副热带高压控制下,进入高温少雨季节。但即使是在这样的季节,上海地区也常发生局地强对流天气。这种强对流天气本文称为盛夏副高型,其环流和形势特点是:副热带高压完全控制上海, 588dagpm 线在上海以北(见图 2a)。本站 500hPa 及以下层次的风速很小(一般小于

$4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), 地面吹弱西南风或南风, 日照强烈, 日最高气温在 37°C 或以上。上午 11 时前后, 由于海陆差异, 在上海中部或北部有弱切变线形成^[9] (见图 2b)。初始回波源地就在上述弱切变线中。初始回波于 12 时左右发展, 初始回波出现的高度在 $6\sim 9\text{km}$ 之间, 但约 1 个小时后, 回波高度能达到 $18\sim 19\text{km}$, 最大回波强度往往超过 65dBz 。

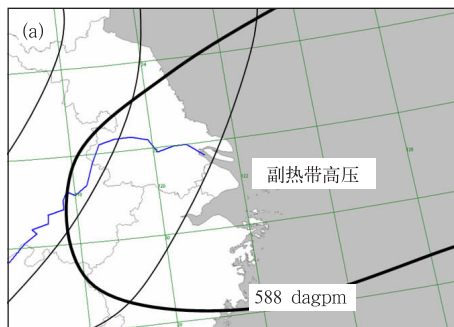


图 2a 盛夏副高型华东地区高空和地面形势
中粗线表示 500hPa 等高线, 细线表示地面等压线



图 2b 盛夏副高型典型个例上海地区
地面风场和降水分布

2003 年 8 月 2 日 11 时地面风场, 数字为 8 月 2 日
08 时至 8 月 3 日 08 时累计降水量, 单位: mm

此类局地强对流天气的回波发展态势一般有两种类型: (1) 单体回波不断发展壮大, 略向西南端发展; (2) 由临近的几个单体聚合发展壮大 (图 3, 见彩页)。整个生命史中, 回波少动或沿本站 500hPa 风的方向移动 (由于处在高压中心附近, 风非常小, 一般来说, 移动缓慢), 整个回波系统的生命史为 $2\sim 3$

小时, 会带来 $30\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水和 7~9 级雷雨大风, 有的个例甚至导致局地的下击暴流^[6]。从图 3b 的累计雨量分布看, 雨量分布非常不均匀, 强降水出现在地面加热和局地辐合条件均具备的地区 (本例中是中心城区), $2\sim 3$ 小时的累计雨量可达 50mm 以上, 而由于回波移动缓慢, 临近地区 ($10\sim 20\text{km}$ 以外) 往往是没有任何降水出现。

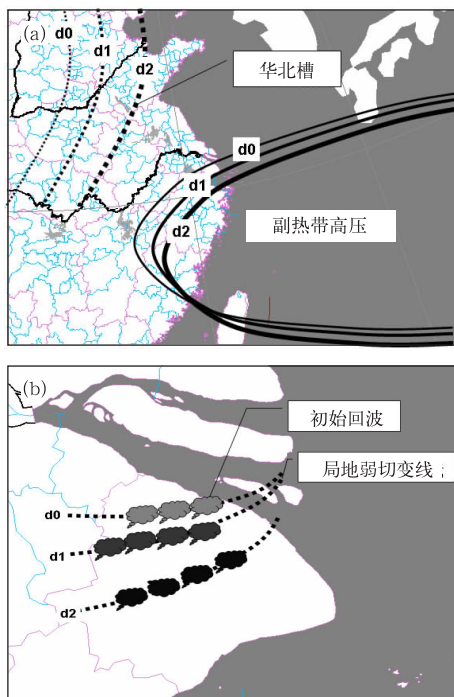


图 4 盛夏华北槽型华东地区高空形势(a)
和上海地区回波发展态势(b)

(a) 虚线表示槽线, 实线表示副热带高压 588dagpm 线;
(b) 虚线表示局地弱切变线, 云状符号表示初始回波,
(时间顺序为 $d0 \rightarrow d1 \rightarrow d2$, 间隔为 1 天)

由于此类天气的激发主要靠极强的地面加热和局地的弱辐合场。不需要潮湿低层大气和比较冷的中层大气配合, 因而单站的 K 指数都不大, 一般在 35°C 以下。

海陆差异导致本地弱切变线的出现以及“单体回波聚合模式”发展可以作为临近预报的重要参考点。

2.4 盛夏华北槽型

进入盛夏中后期, 北方弱冷空气势力逐

渐南压,华北冷槽开始活跃。当副热带高压缓慢南落,上海地区处在其边缘,长江中下游地区受一个比较宽广的 500hPa 槽控制,这种形势有时会稳定 3~4 天。上海地区上空经常有小槽活动,500hPa 的风向往往经历西—西南—偏西—西到西北—偏西—西到西南的波动,风速不大(小于 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),而本站附近高空为西北风辐散场(200hPa 风力达到 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上)。在这种形势下,上海地区将会出现连续的午后局地强对流天气。

低层的 850hPa 或 925hPa 有切变线维持在长江下游地区,上海地区处在近东西向的低压带中。地面风场弱,湿度大。08 时各观测站(上海地区有 11 个,分布在市区和各郊区)均出现轻雾。另外,本站的不稳定能量高,K 指数往往大于 35°C 。连续午后局地强对流天气期间,最高气温为 $32\sim 35^{\circ}\text{C}$,一般而言,前期气温要高一些,后期随着高空系统南压和对流发生的时间提前,气温会低一些。

11 时以前,弱低压槽和海陆差异导致的局地弱切变线会出现在上海北部地区,并在中午前后开始触发对流,上述地区也是此类局地强对流的回波源地所在。这一弱切变线的位置会随着华北槽逐渐加深和副热带高压

缓慢南落而逐渐南移。因此初始回波的源地也会逐渐南移。

初始回波的出现时间第一天约在 13 时前后,以后逐渐提前。从初始回波出现到对流最旺盛约需 1 小时,最大回波强度 $60\sim 65\text{dBz}$,最大回波高度 $16\sim 17\text{km}$,过程持续约 2~3 小时。对流系统以“多个单体组成的回波带”模式发展,西南段容易发展旺盛一些,整个回波带缓慢东南偏东移动,主要带来局地短时强降水($30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 或以上)。但值得注意的是,这种连续午后局地强对流天气发展到后期,由于华北槽的加深,中层(500hPa 到 700hPa)的风向逐渐转为西北,风速也开始加大,对流系统的移动速度将加快,后期的天气除了带来短时强降水之外,出现 7~9 级偏西北雷雨大风的可能性也变大。

3 预报要点分析和讨论

将上述 4 种局地强对流天气的各种特征列在表 1 中,可以发现:

(1) 回波源地在上海北部地区的占多数,这与上海北临长江口导致的局地海陆风环流有关^[8]。纵观所有 4 种类型,局地强对

表 1 4 种局地强对流天气的特征比较

	经向环流型	梅雨型	盛夏副高型	盛夏华北槽型
环流特征	经向型环流,200hPa 大于 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	梅雨期间,副高边缘	盛夏副高控制,500hPa 以下风小	副高缓慢南落,华北宽槽
地面形势	弱低压槽区,无明显地面切变	低压带控制,地面有弱切变	弱风,高温地面有弱切变	低压带控制湿度大,能量高
触发机制	槽前急流区的暖区扰动	地面静止锋和日变化	海陆锋和局地加热	地面弱切变线或海陆锋
回波形态	单体或线状回波	线状回波	单体回波或单体聚合	线状回波
发展趋势	单体将移动慢,线状回波移动快	移动缓慢,向西南发展	少动,略向西南发展	缓慢向东南或南,西南段容易旺盛
回波源地	上海西北部	不固定,上海西部居多	上海中部,或北部	上海北部,并逐渐南落
初始时间	时间不定,12—17 时	傍晚到上半夜	12 时前后	13 时前后并逐渐提早
成熟时间	约 1 小时	30~45 分钟	约 1 小时	约 1 小时
生命史	2 小时左右	2~3 小时	2~3 小时	2~3 小时
灾害性天气	强降水(移动慢时),强风(快速移动时)	强降水和雷雨大风	强降水和雷雨大风	前期强降水为主,后期会伴有雷雨大风

流天气的源地都与地面弱切变线的位置有很大关系,这也是该类天气最重要的抬升触发机制(其他机制还包括暖区扰动、局地不均匀加热等)。因此,在局地强对流天气的临近预报中,及时发现或判断本地地面弱切变线的出现位置和时间至关重要。

(2) 各种类型的局地强对流几乎没有持续 3 小时以上的,除了梅雨型外,从初始回波到回波达到最旺盛约 1 小时。如果预报人员有一定的经验和预判能力,提前 45 分钟到 1 小时作出强对流预报是可能的。还有一个值得注意的是,不管是线状回波还是单体回波发展模式,总是上风向的位置或单体容易得到发展,这一点对于临近预报的落点预报是非常重要的。

(3) 大部分回波都沿着本站 500hPa 的风向移动(当有新回波在西南端生成时,移动方向将顺转 30° 左右),移动速度一般也取决于 500hPa 的风速,但是当 700hPa 和 850hPa 的风速比较大时,会使对流系统的组织性更强,移速也加快。另外,200hPa 的风向对回波的发展趋势也有明显的影响。一般而言,西北风不利于回波的快速移动,而在西南风的情况下,回波移动往往会比较快。

(4) 大部分同时产生强降水和 8~9 级雷雨大风的个例中,往往都是对流层中低层(850hPa 或 700hPa)有大于 $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的急流,这一点,对临近预报也是非常帮助的。例外的是盛夏副高型导致的局地强对流,其回波往往移动缓慢,以强降水为主,但是如果对流发展异常旺盛(云顶高度达到 18~20km),强降水导致的下曳气流有时会导致下击暴流,造成地面大风。

4 结语

过去 20 年,数值预报模式在天气预报中

的指导和参考作用迅速提高,但对局地强对流天气的预报能力仍然不能令人满意,预报员的经验在这一领域仍然发挥极为关键的作用。局地强对流天气预报分为两个步骤:第一是提前 3~12 小时确定在某一区域是否会发生强对流天气,这主要依靠天气形势背景分析,单站物理量分析等技术,着眼于强对流的构成要素分析(不稳定条件、水汽条件、抬升机制等)。一般而言,主要是判断较大范围内(50~100km 范围)强对流发生的可能性和强弱,可以称为对流展望预报。这方面可以借鉴的业务经验和研究成果比较多,文中涉及较少;第二是提前 0~3 小时确定局地强对流天气的源地和发展态势,称为对流临近预报,这也是论文的研究重点。分析指出,局地强对流天气的源地与地面弱切变线的位置关系密切,是临近预报中需要分析的重要因素。上海地区的地面弱切变线产生的原因,主要是城市热岛效应和局地海陆风环流。在其他地区,地形导致的局地辐合、抬升^[10-11]以及重力波^[7-12]也是触发局地强对流的决定因子。经过长时间的积累和分析,对不同的地区,局地对流产生的源地是可以大致确定的。而关于强对流天气的发展态势,则与天气形势关系密切,文中针对上海地区进行了详细的分类和讨论。

将上海地区局地强对流天气的发展态势分为 4 种类型,对上海地区而言,应当有较好的预报参考性。但是,对其他地区而言,由于地理位置和气候特点的不同,这种分类方法就不一定有很好的适用性,需要当地的预报员进行细致的分析和积累,以得到更为合理的分型和预报思路。即使对上海当地而言,做分类所依据的个例总数仍比较少,分型标准的代表性还需要在实践中不断验证和修正,以更好地利用雷达及其他稠密资料来提

高局地强对流天气的临近预报水平。

参考文献

- [1] 周晓平,刘凤辉,崔继良. 一次局地特大暴雨的成因分析[J]. 气象,1999,25(8):43-46.
- [2] 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.
- [3] 王莉萍,崔晓东,王国宁,等. 两次突发性强对流天气的对比分析[J]. 气象,2008,34(8):40-44.
- [4] 陈秋萍,曾光平,冯宏芳,等. 利用雷达回波资料对夏季对流云降水的初步探讨[J]. 应用气象学报,2002,13(3):339-346.
- [5] 陈秋萍,余建华,黄美金,等. 闽中北短时暴雨概念模型[J]. 气象科技,2005,33(2):115-119.
- [6] 张瑞波,陈博杰,钟小英. 广西夏季对流云降水特征分析[J]. 气象,2005,31(7):62-67.
- [7] 吴恒强,高安宁,梁隽玫. 在广西造成严重天气的中尺度系统概述[J]. 热带地理,2001,21(4):323-328.
- [8] 姚建群,戴建华,姚祖庆. 一次强飚线的成因及维持和加强机制分析[J]. 应用气象学报,2005,(6):746-753.
- [9] 漆梁波,陈春红,刘强军. 弱窄带回波在分析和预报强对流天气中的应用[J]. 气象学报,2006,64(1):112-120.
- [10] 李志楠,康玉霞. 影响北京地区东北方路径带状雷暴天气分析[J]. 气象,1995,21(8):44-48.
- [11] 郭虎,段丽,杨波,等. 0679香山局地大暴雨的中小尺度天气分析[J]. 应用气象学报,2008,19(3):265-275.
- [12] 郭虎,季崇萍,张琳娜,等. 北京地区2004年7月10日局地暴雨过程中的波动分析[J]. 大气科学,2006,30(4):703-711.

漆梁波等:上海地区局地强对流天气及临近预报要点

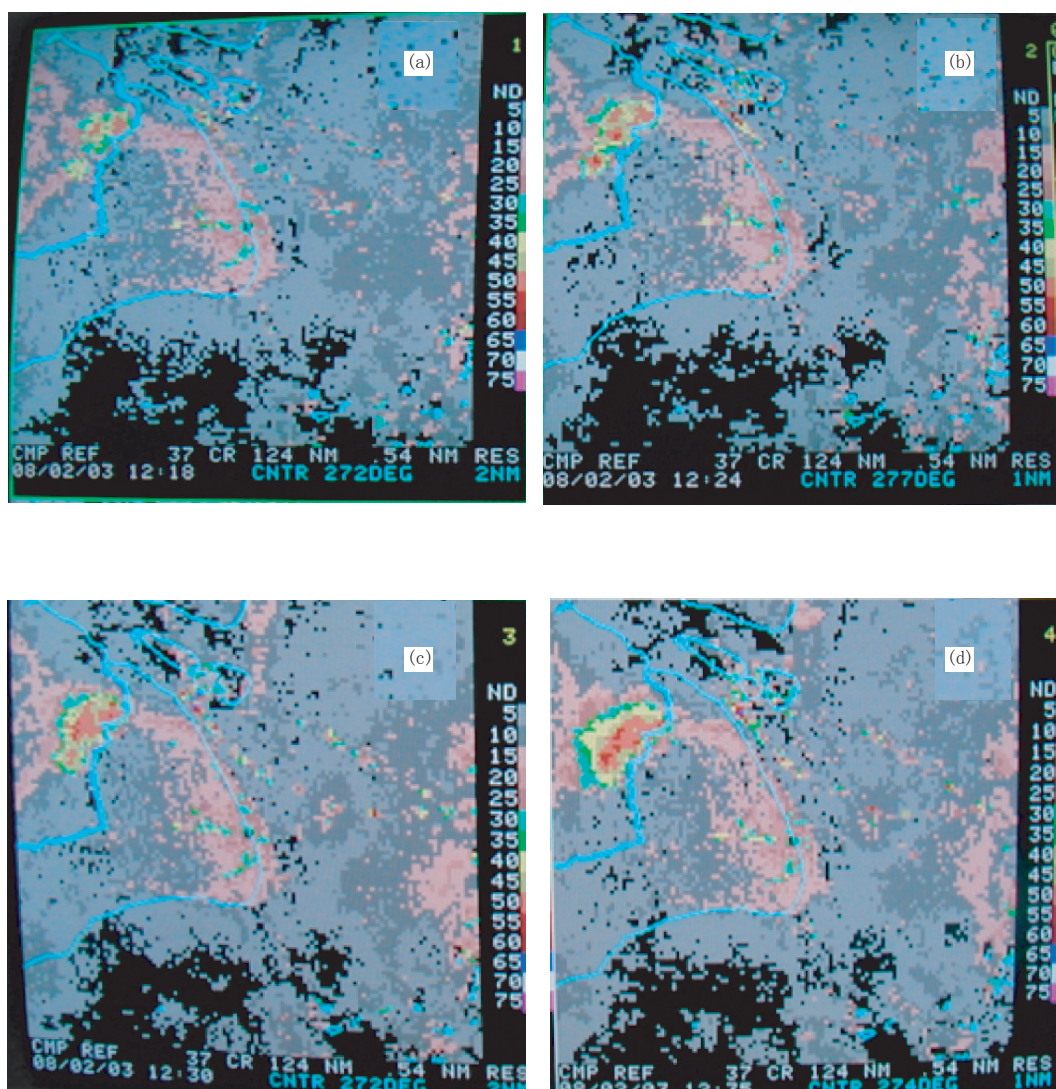


图 3 盛夏副高型的典型个例(2003年8月2日)雷达反射率因子演变
(a) 12:18; (b) 12:24; (c) 12:30; (d) 12:36