

江淮锋面暴雨中尺度降水 概念模式及短时预报

丁太胜 徐耀华 任敏

(安徽省气象科学研究所)

提 要

本文应用雨量自记资料,采用时空转换的分析方法,探讨了江淮锋面暴雨内中尺度降水的结构。根据中尺度降水系统与锋面的相对位置综合得出锋面暴雨中尺度降水的概念模式。通过地面逐时流场分析,揭示中尺度天气系统与中尺度降水系统之间的关系,为暴雨的短时预报提供了依据。

在地面图上,锋是造成降水的主要天气系统,但是观测表明,在中纬度,尤其江淮流域的锋面降水相当复杂;在天气尺度降水区域内常包含中尺度降水区,而在中尺度降水区又可产生几个强对流单体。现在对梅雨锋、锋面气旋等天气尺度系统已有一定的认识,但对在确定的大尺度天气形势下暴雨的中小尺度系统还没有足够的认识。在温带气旋内, Hobbs等人在1978年按中尺度雨带与锋面的相对位置,把它分为五类八种^[1-2],但在过去的许多文献中,中尺度雨带的含意颇不一致,有的把中尺度带状回波作为中尺度雨带、有的把卫星云图上带状云视为中尺度雨带、还有的把雨团连续移动几小时而形成的带状强降水区称为中尺度雨带。但在实际探测中发现,暴雨区的强降水大多是对流性的阵性降水,降水系统不断产生,相继移经某个地区而形成暴雨(雷达回波常出现多条回波带)。因此用一段时间内降水量作为中尺度雨带来分析与天气尺度内的中尺度天气系统之间关系,显然物理意义是不够明确的。

如何确定中尺度系统,由于资料时空尺度的限制给分析带来一定的困难。本文通过对降水区域内所有测站(平均间距40—50km)的雨量自记曲线的记录分析,看到暴雨过程中,雨量自记曲线上有多次较强的降水爆发、停止或强弱变化的时段,对每个台站可定出各次降水时段的爆发和停止时间,按照出现的先后次序填在站点上,参照周围台站的情况,分析各次强降水爆发等时线,再考虑系统移动连续和合理性,就不难把每次强降水在测站间的移动情况分析出来。

一、中尺度降水系统

通过对江淮地区七次锋面暴雨过程中各测站雨量自记曲线的分析(三次锋面气旋暴雨: 1980年6月23—24日, 1980年7月8—10日, 1981年7月9—10日; 四次梅雨锋暴雨: 1980年6月16—18日, 1980年7月16—18日, 1981年6月24—26日, 1981年6月27—28日), 发现这些强降水时段爆发等时线在空间移动是有一定规律的, 它们通过每个测站的时间顺序都能清楚地分辨出来。从强降水开始到结束总是连续地向一定的方向移动, 每次暴雨过程中都有多次这种强降水系统活动, 其空间尺度一般在50—200km, 成熟阶段, 个别的可达到300km左右。就时间尺度而言, 持续时间在3—14h之间, 多半为6—7h。移动速度一般小于40km/h, 在20—30km/h之间较多。因此这些强降水时段的降水均属中尺度降水, 这里把它们称之为中尺度降水系统。图1是一次江淮气旋暴雨中尺度降水系统等时线变化实况。

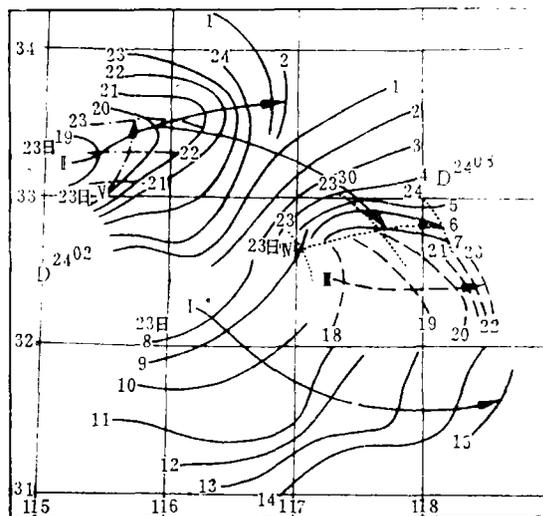


图1 1980年6月23—24日江淮锋面气旋暴雨中尺度降水系统等时线分布图, D为锋面气旋中心

用雷达观测资料对照分析出来的中尺度降水系统, 回波照片上一般都有反映, 在降水爆发等时线后方有较强回波区(见图2)。在图2a中, 只有中系统Ⅵ的19时等时线接近测站时, 测站有降水, 所以分辨不清楚, 其它系统的等时线与回波配合比较一致。因而不难看出, 使用自记曲线的强降水爆发时段, 分析等时线来确定中尺度降水系统, 不

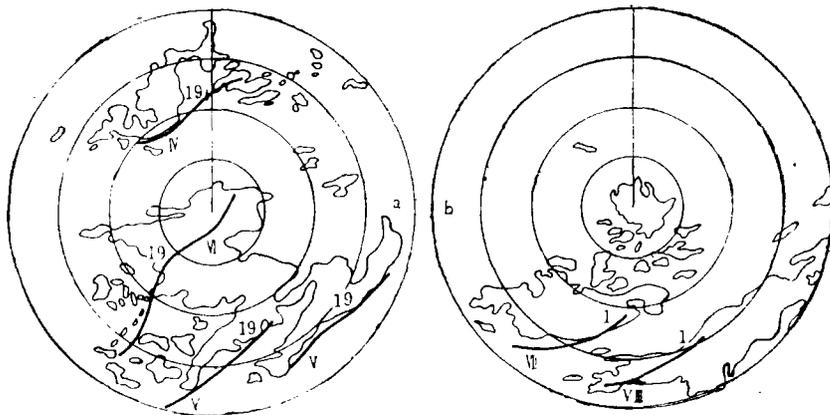


图2 1981年6月27日19时(a)和28日01时(b)中尺度降水系统等时线与对应时刻合肥雷达回波图

仅测站的资料空间尺度小，可以连续追踪系统的变化，而且也具有一定的可靠性。

二、锋面暴雨中尺度降水概念模式

根据上节分析结果，我们把七次锋面暴雨中尺度降水系统等时线分段放入各个对应时刻天气尺度锋面系统中来分析它们之间的关系。因地面天气图是六个小时一次，规定在每个时次图中，中尺度降水系统分别增加前后各三个小时的等时线标出(系统刚产生或将结束的例外)，这样可以看出中尺度强降水在上、下两个图次中连续变化。通过对各个时次锋面系统中中尺度降水系统的空间分布、形成条件的综合讨论，得出锋面暴雨的中尺度降水概念模式。

1. 锋面气旋中尺度降水概念模式

由锋面气旋中尺度降水系统分布特征和活动规律，可将锋面气旋分为锋前暖区、暖锋区和锋后冷区三部分。在锋前暖区和暖锋区，对流性降水最为活跃，中尺度降水系统大多产生、发展在锋前约150km范围内，而且愈接近气旋内部，产生机率愈高。从气旋内部向外部移动，其平均移速约15—30km/h。它们的活动不仅受到气旋系统的制约，而且也有自身的移动规律，一般是沿着气旋移向稍偏右移动，强烈降水多半沿着暖气流的流向排列成行。1980年7月9日02时锋面气旋暴雨的中尺度降水系统等时线分布图(图3a)上，在850hPa Q_v (水汽通量)输送带上共产生五个强烈降水系统。系统I、II产生在暖锋区，并沿着暖锋从气旋内部向外部移动，系统III、IV、V产生在冷锋前暖区内。有意思的是，从锋面气旋三个例子各个时次图上分析的结果表明，暖区内产生的中尺度降水系统一般不会移到暖锋区，同样暖锋区出现的中尺度降水系统也只在暖锋区内活动。这可能是不同区域内中尺度降水系统具有不同性质所致，尚待于今后更多的观测事实佐证和理论上的研究。

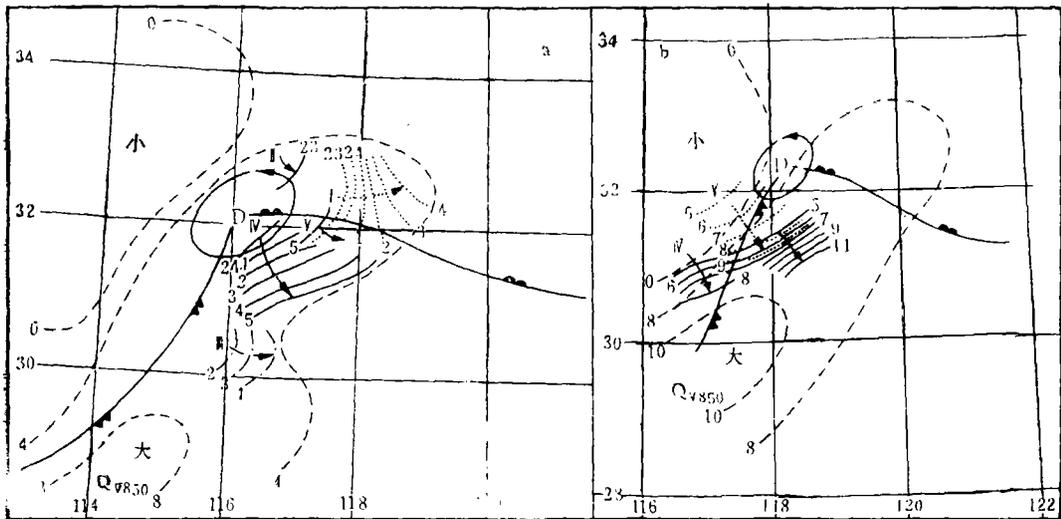


图3 1980年7月9日02时(a)和08时(b)锋面气旋暴雨的中尺度降水系统等时线分布图，
虚线为850hPa水汽通量(Q_v)等值线

锋面气旋冷锋后部出现的中尺度降水系统大多是由锋前暖区产生的,直接产生在锋后的机率相当少。图3b是1980年7月9日08时出现在锋面气旋冷锋后部的中尺度降水系统等时线分布图,若按常规业务天气图分析,可能会认为是锋后产生的中尺度雨带,但从过去的连续三个小时中尺度降水系统等时线分布来看,它们只是中尺度降水系统Ⅳ和系统Ⅴ的一部分,其早期均产生在锋前暖区内(见图3b),这是由于中尺度降水系统Ⅳ和Ⅴ与锋面气旋系统在移动方向上不一致所造成的。在其它个例中,中尺度降水系统处于锋后现象,有的是因中尺度降水系统的尺度较大、持续时间较长(6—7h以上)、移速小于锋面气旋而产生。

分析逐时小区域图表明,强烈降水是与中尺度扰动分不开的,这种扰动在地面流场上表现为中尺度小涡旋或中尺度辐合线等。但是在锋面气旋系统中,地面流场是以小涡旋为主,它们空间尺度一般在80—200km范围内。将大尺度锋面气旋配置到小区域地面流场图上(图4a),可以看出,锋面气旋暖区内和暖锋区不断有小涡旋产生,它们的活动受到气旋的制约。在冷锋的前部

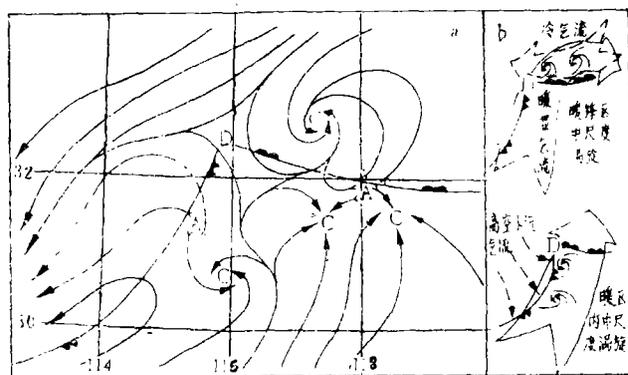


图4 a.1981年7月9日02时小区域流场与大尺度锋面气旋的配置关系
b.锋面气旋中产生中尺度涡旋示意图

部到低空急流的西边界是强烈的气旋性切变区域,因摩擦作用与潜热释放对低空急流的增强和暖区内中尺度涡旋的产生都有重要的贡献。来自气旋东北部高压外围的反气旋低空气流,相对于气旋朝西运动,正处于流向东北方的暖湿气流下方,两股不同性质的气流相对运动,使暖锋区产生了一个个中尺度涡旋(见图4b)。

中尺度涡旋一般都对应着中尺度降水区,有时在锋后冷区内也会出现中尺度反气旋与暖区内的涡旋耦合配对,这样会使得降水变得更加强烈。

根据上述分析,综合得到图5的中尺度降水概念模式。由冷暖相对气流和锋后下沉冷空气共同作用下产生了锋面气旋大尺度云雨区。有暴雨发生时,大尺度云雨区中还包包括有中尺度对流性降水,中尺度降水出现在以气旋为中心,短轴和长轴半径分别为180km和300km左右的椭圆形区域内。椭圆的前半部(见图重影区)则是强对流性降水发生、发展区。气旋内中尺度小涡旋与中尺度降水系统有着密切的关系。

2.梅雨锋中尺度降水概念模式

梅雨锋是一种天气尺度系统,在卫星云图上,梅雨锋云系从日本列岛到我国长江流域,可延伸达几千km。但是从地面雨量图分析表明,锋区内降水是不均匀的,通常有几块集中降水区沿着大尺度雨带相间排列。本文分析的是发生在江淮之间的四次梅雨锋暴雨中尺度降水系统的结构模式。

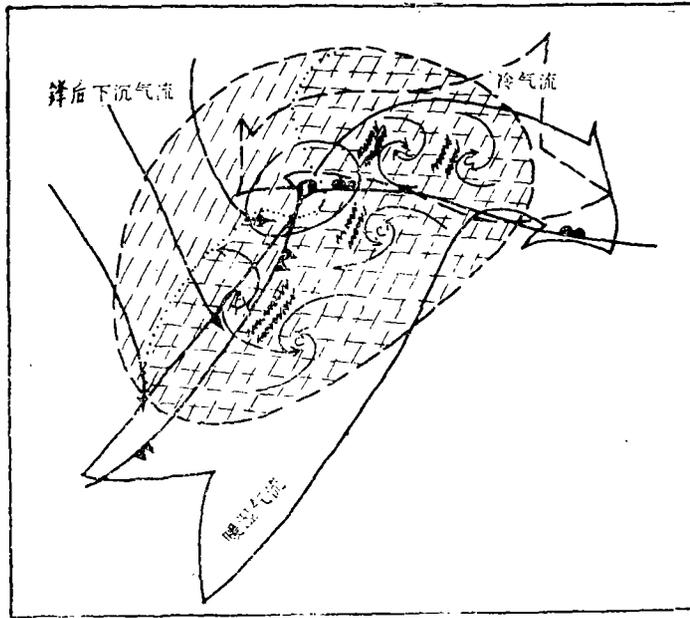


图5 锋面气旋中尺度降水的概念模式， \curvearrowright 为中尺度涡旋， --- 为中尺度降水区

以往的观测资料表明，在梅雨锋暴雨区内，降水云系的雷达回波往往集中成若干条中尺度回波带^[3]，与其对应，地面上常出现带状强降水区。通过对梅雨锋暴雨内各测站雨量自记曲线的分析，证明这些中尺度回波带，实际上就是多个中尺度降水系统在雷达屏幕上的反映。

图6a是一次梅雨锋暴雨中尺度降水系统等时线演变实况，可以看出17日先后产生了五个中尺度降水系统，其移动方向，基本上是在梅雨锋上及其北部约350km范围内沿着锋区自西向偏东方向移动。中尺度降水系统Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ后来转向东南方向移动，这是梅雨锋14至20时向南摆动造成，同时也说明了中尺度降水系统的活动是受到大尺度天气系统的影响和制约。由图还可以看到在17日15至17时的时段内，同一个时刻就有三个中尺度降水系统等时线存在，也就是说有三个中尺度降水系统活动(Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ)。若是用三小时或一小时雨量来分析，梅雨锋内这种频繁的中尺度降水系统活动就很难被揭示出来。

另外，在梅雨锋中尺度降水系统分析中还发现一个有趣的事实，一次暴雨过程中，特别是在一天之中，往往中尺度降水系统先后都是从一个地区不断产生和移出，好象这个地区是强对流性降水的发生源。如图6a中，17日4到15时在116°E、33°N附近(安徽金寨县)，先后产生移出了Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ四个中尺度降水系统，可以推断在梅雨锋暴雨区的上边界可能存在一个持续不断地激发强对流降水产生的机制。为此，我们计算了梅雨锋暴雨过程中高空各层垂直速度(ω)、涡度(ζ)场，分析发现，在700hPa垂直速度场中，梅雨锋上一般都有几个相距3—5个纬距的块状次天气尺度上升中心，各个上升中心被下沉运动相分隔，块状垂直速度的正负中心相间排列成带状，暴雨区与这些垂直

运动几乎一一对应(见图6b)。

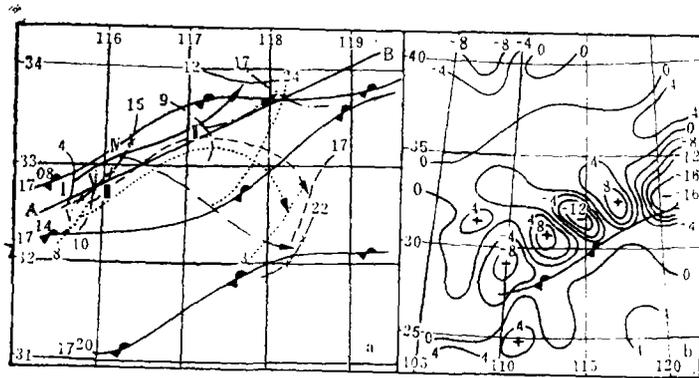
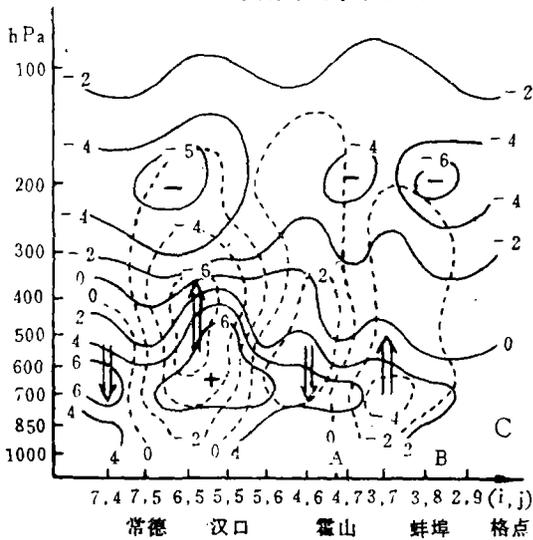


图6 a. 1980年7月17日梅雨锋暴雨中尺度降水系统等时线分布图
 b. 1980年7月17日26时700hPa垂直速度(ω)分布图



c. 1980年7月17日20时沿中尺度降水系统移动路径(图a中AB线方向)垂直速度、涡度的垂直剖面图
 (虚线为垂直速度等值线, 实线为涡度等值线)

图6c是在暴雨区上空沿着中尺度降水系统路径(a中AB线方向)所作的垂直速度、涡度的垂直剖面图。在暴雨区上空(A、B之间)上升运动区的层次非常深厚,可达200hPa,在其左侧被下沉运动分隔,下沉运动最高层次位于500hPa,暴雨区中低层为正涡度区,最大正涡度中心位于700—600hPa之间。在上升与下沉区之间,高层200hPa上有负涡度中心出现的区域是强对流的发生区(C中A点附近)。

以中尺度降水系统对照地面逐时流场分析发现,中尺度强对流性降水与地面中尺度辐合辐散中心有着密切关系。风的辐合中心开始是

产生在梅雨锋南侧,势力较弱,有时同时产生好几个辐合中心,分布较分散,空间尺度60—80km。辐合区附近有小高压中心配合,但是它们并不重合。当有弱的冷空气侵入或接近,辐合中心会得到迅速加强,同时在弱冷空气一边产生了与辐合中心耦合的辐散中心。辐散区流出气流进入辐合区,使辐合进一步加强。辐合区的上升气流反过来补充了辐散区的下沉气流,耦合的辐合、辐散中心在对流层的中下层形成一个次级垂直环流圈,促进了对流的强烈发展。耦合的辐合辐散中心的移动几乎是同步的,它们所经历的地区都会有强烈降水发生。

在梅雨锋上,辐合中心或中尺度涡旋常排列成串,组成一条辐合带,在其北部也会

出现一系列辐散中心对应形成一条辐散带(见图7), 辐合带与辐散带之间是中尺度降水系统的最易产生区域。

根据以上分析, 综合得到如图8的梅雨锋中尺度降水概念模式, 梅雨锋北部垂直运动场多呈现单体形式, 上升与下沉中心相间排列, 对流层中低层为正涡度, 高层为负涡度。如果高层有负涡度中心, 低层为正涡度, 在地面辐合辐散中心之间是中尺度强对流性降水的发生源地。中尺度降水系统从源地不断产生, 在梅雨锋北侧约350km范围内, 自西向偏东方向有规律地活动。从垂直剖面图上可以看到强对流发生区上空, 对流层中低层存在一个次级正向垂直环流圈, 它是触发中尺度强对流性降水和维持其发展的动力机制。

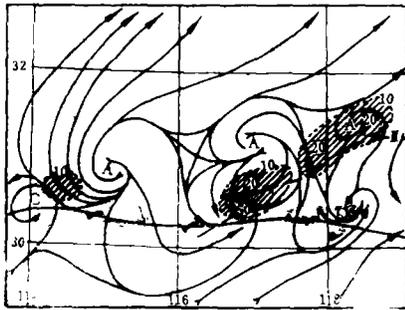


图7 1981年6月27日14时地面流场和后一小时降水量大于或等于10mm的雨区分布图(粗虚线为中尺度降水系统等时线)

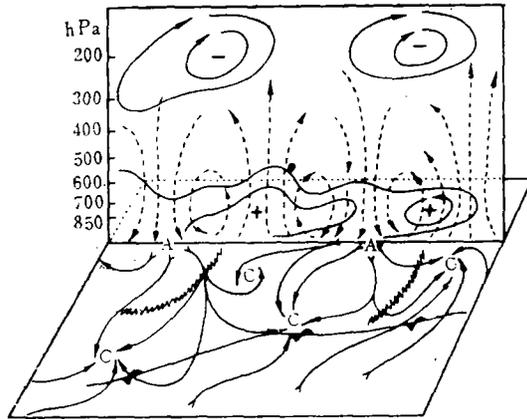


图8 梅雨锋中尺度降水概念模式, 粗虚线为中尺度降水系统等时线, 正、负符号为涡度中心

三、短 时 预 报

夏季江淮流域锋面暴雨大多是由中尺度系统引起的。在做短时预报考虑天气尺度系统中的中尺度降水概念模式是需要的。

锋面气旋暴雨预报: 应缩小监视范围, 集中注意锋面气旋暖锋区和冷锋前暖区, 大多数情况下, 这些部位是强降水的发生区, 预计锋面气旋前部到达本区时开始起报。另外, 还需注意地面中尺度涡旋的发生、发展, 因它与强烈降水有着直接对应关系。

由于梅雨锋大尺度带状云雨区中降水是不均匀的, 常包含有暴雨区, 而暴雨区又是由频繁活动的中系统组成的。因此, 给暴雨预报带来一定的难度。就本文给出的梅雨锋中尺度降水概念模式, 在作暴雨短时预报时需注意: (1)在700hPa垂直速度场上, 梅雨锋锋区内出现多个上升、下沉运动单体, 在正、负垂直速度中心之间一般是强对流性降水发生源地, 暴雨区出现在上升区一边。(2)在地面流场上, 梅雨锋及其北部(约350km)范围内, 不断有中尺度辐合、辐散中心产生, 它们常与强降水区对应。由辐合中心组成的辐合带与对应的辐散中心组成的辐散带之间是中尺度降水系统活动区。

根据锋面暴雨中尺度降水概念模式, 结合卫星云图和雷达探测回波是可以在短时内预报出暴雨的发生、落区和移向的。

参 考 文 献

- [1] Hobbs, P. V. et al., The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones I: A case study of cold front, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 37, No. 3, 568—596, 1980.
- [2] 寿绍文, 天气学的新进展, 250页, 气象出版社, 1986.
- [3] Akiyama, T., Mesoscale pulsation of convective rain in medium-scale disturbances developed in baiu front, *J. Met. Soc. Japan*, Vol. 56, No. 4, 267—283, 1978.

THE CONCEPT MODEL OF MESOSCALE PRECIPITATION IN FRONTAL STORM OVER THE JIANG-HUAI AREA AND ITS NOWCASTING

Ding Taisheng* Xu Yaohua* Ren Min*

ABSTRACT

In this paper, the structure of mesoscale precipitation in frontal rainstorm is studied over the Jiang-Huai area is studied by using the method of time-space change and automatic rainfall records. A concept model is thus established based on the relative position of the frontal surface and mesoscale precipitation system. The relationship between the mesoscale weather system and mesoscale precipitation system is revealed through the analysis of the hourly ground flow field, providing the criterion for nowcasting torrential rain.

*Affiliated with the Institute of Meteorological Science, Anhui