

张家国, 岳阳, 牛淑贞, 等. 一次长历时特大暴雨多普勒雷达中尺度分析[J]. 气象, 2010, 36(4): 21-26.

一次长历时特大暴雨多普勒雷达中尺度分析^{* 1}

张家国¹ 岳 阳¹ 牛淑贞² 邵木兰¹

1 武汉中心气象台, 武汉 430074

2 河南省气象台, 郑州 450003

提 要: 2008 年 7 月 22 日湖北省襄樊市出现了一次长历时的特大暴雨过程, 9 小时内降水量 301 mm, 占年平均降水量的三分之一, 为当地有气象记录以来最大、最强的一次降水过程。利用多普勒雷达资料等对这次特大暴雨的回波结构特征、中尺度系统活动和地形作用进行了分析。结果表明: (1) 在低涡、切变线共同作用下, 影响襄樊地区特大暴雨的回波系统有两个, 一是稳定维持在鄂西北地区的切变线带状降水回波, 二是低涡东北侧发展的具有螺旋回波带结构的涡旋回波, 两者构成涡带结合型回波结构形态。在涡带结合处, 对流回波的不断新生、向北移动导致襄樊地区持续性的强降水。(2) 襄樊特大暴雨过程的发生与其北部 115 km 处的一支东北风中尺度超低空急流的建立, 及其南部低涡东侧强偏南暖湿气流的向北发展有密切关系。由于襄樊西侧武当山的屏障作用, 超低空东北急流折向东南, 与偏南暖湿气流在静止锋附近形成中尺度气旋性辐合上升运动。两支急流的维持对襄樊附近持续性的辐合上升运动起到关键作用。

关键词: 特大暴雨, 低空急流, 中尺度系统, 地形

Mesoscale Analysis on a Long-Lasting Torrential Rainfall Event by Doppler Radar

ZHANG Jianguo¹ YUE Yang¹ NIU Shuzhen² SHAO Mulan¹

1 Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074

2 Henan Provincial Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003

Abstract: On July 22, 2008, a long-lasting torrential rainfall event occurred in Xiangfan, Hubei Province. Its accumulated rainfall only for 9 hours was 301 mm, as much as 1/3 of the normal yearly rainfall, which was the strongest rainfall according to meteorological records of Xiangfan. The echo structure characteristics, mesoscale system activity and the topographic forcing were analyzed by the Doppler radar data. The results show as follows. (1) There are two echo systems affecting torrential rainfall of Xiangfan, one is the shear line-banded echo which maintains stably in northwestern Hubei, the other is the vortex echo with a spiral-echo-belt structure. Both together form a vortex-band combined echo structure. In the conjunction area, convective echoes emerge and move to the north continually, resulting in the Xiangfan long-lasting strong rainfall. (2) The Xiangfan rainstorm event has a close relationship to the established super-low-level northeasterly jet, and the strong warm-moist southwesterly moving to the north. Because of the Wudang mountain's barrier located in the west side of Xiangfan, the super-LLJ turns to southeast, and forms the mesoscale cyclone convergence with the warm-moist southwesterly nearby the stationary front. The two stranded LLJs play a key role in sustaining convergence near Xiangfan.

Key words: torrential rain, low-level jet (LLJ), mesoscale systems, topography

* 武汉区域气象中心科技发展基金项目“灾害性暴雨多普勒雷达观测研究” QY-Z-200904 资助
2009 年 4 月 1 日收稿; 2010 年 1 月 26 日收修定稿
第一作者: 张家国, 主要从事强对流天气雷达分析研究. Email: wuhanzhangjianguo@sohu.com

引 言

暴雨是一种严重的灾害性天气,对国家经济和人民生命财产安全具有重大影响,长期以来,对暴雨的研究一直是气象工作者最为关注的问题之一。研究表明,暴雨尤其是大范围的暴雨是在有利的天气尺度系统背景下由中尺度系统触发生成的,在利用常规观测资料和数值模拟手段研究暴雨过程中尺度系统结构和形成机理方面,气象学家做了大量研究。近年来随着我国新一代多普勒天气雷达的业务应用,气象工作者开始重视暴雨过程中尺度系统的雷达观测研究,揭示了许多有意义的观测事实。张沛源等^[1]研究了速度图上逆风区对识别暴雨的意义,刘黎平等^[2]通过双多普勒雷达风场反演研究指出梅雨锋暴雨带中存在许多 β 、 γ 尺度的辐合系统,它们是造成对流发展的原因。杜秉玉等^[3]利用多普勒雷达资料分析一场大暴雨的大气低层气流结构,发现大暴雨过程与600 m高度上的中尺度涡旋系统活动密切相关。郑媛媛等^[4]通过分析单多普勒雷达反演二维风场发现,中低层气旋性切变的维持是强降水形成和维持的重要条件。利用多普勒天气雷达速度资料,张京英等分析认为,强降水的发生与低空急流的加强等有关^[5-11]。

2008年7月22日,受低涡和切变线共同影响,鄂西南、西北出现了暴雨和大暴雨,局部特大暴雨天气(图1)。暴雨洪涝造成湖北省9个市州300多万人受灾,10人死亡,直接经济损失13亿元,为特大型灾害。暴雨中心位于鄂西北的襄樊市,21日20时至22日20时24小时降雨量全市有22个站在100 mm以上,5个站在200 mm以上,2个站在300 mm以上,且均出现在襄樊市区(图1)。襄樊强降水时段集中在22日04—12时(参见图6),9小时雨量占年平均降雨量的三分之一,为当地有气象记录以来最大、最强的一次降水过程。从强降水持续时间来看,这次暴雨过程具有长历时强降水的特点。诊断分析发现(图略),暴雨过程存在显著的次天气尺度的动力强迫作用,其中川东低涡系统的发展、襄樊附近切变线的稳定维持最为关键。为揭示襄樊地区长历时强降水原因,利用武汉长江中游短时天气预警业务系统新一代多普勒天气雷达组合反射率因子拼图和河南省南阳多普勒天气雷达速度图等资料,结合地形特征,对襄樊特大暴雨期间边界层中尺

度系统的活动、地形作用进行了详细的分析,从中尺度角度探讨了襄樊长历时特大暴雨的成因。

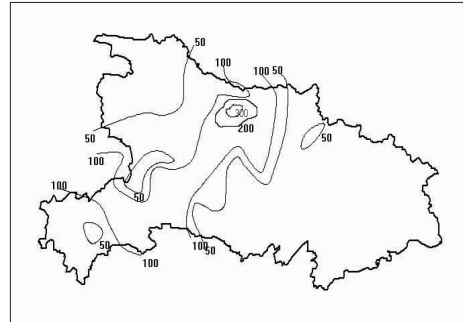


图1 2008年7月21日20时至22日20时
湖北省降雨量(≥ 50 mm)

Fig. 1 The 24 h precipitation (≥ 50 mm)
in Hubei from 20 BT July 21
to 20 BT July 22, 2008

1 环流形势和影响天气系统

2008年7月22日08时500 hPa图上(图2a),副热带高压为东北—西南向,西脊点在 25°N , 584 线位于湖北省东部地区,副热带高压西北侧的西南暖湿气流从南向北一直伸展到江淮和汉水流域;东

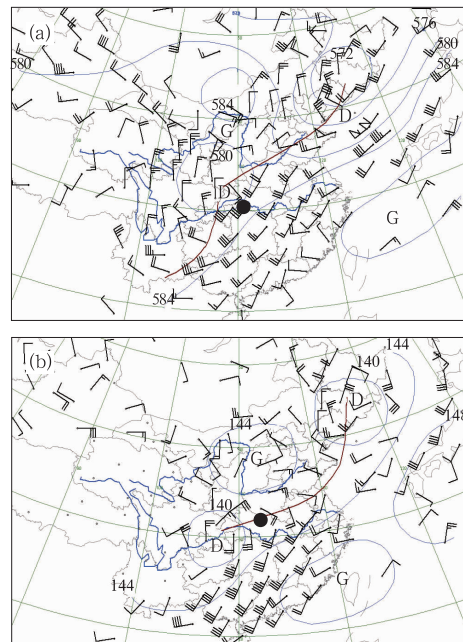


图2 2008年7月22日08:00 500 hPa(a)
和850 hPa(b)天气图,圆点为襄樊

Fig. 2 The synoptic charts of 500 hPa (a)
and 850 hPa (b) at 08 BT July 22, 2008

北地区有一深厚的低压维持,低压槽呈东北—西南向,并从东北一直向西伸展到汉水流域。地面图上,东北低压槽后偏东北干冷气流随东北低压转动南下,与北上西南暖湿气流交汇于鄂西北至江淮地区中部,形成准静止的锋面系统(图略),鄂西北襄樊地区位于其西端。副热带高压、东北低压的稳定使得准静止锋系统 20—22 日一直维持于江淮、汉水流域。

20—21 日静止锋附近以层状云降水为主,降水较弱,22 日降水的发展与川东深厚低涡的发展有密切关系。21—22 日,伴随高原南支槽的东移,在 850 hPa 切变线西南侧,川鄂一带有一个低涡形成、发展,襄樊地区处在低涡的东北侧、西南暖湿气流与东北干冷气流交汇的切变线附近(图 2b)。低涡发展、西南暖湿气流的加强北上,导致切变线(静止锋)附近上升运动的加强,是襄樊地区特大暴雨发生的原因。因此,西南涡和切变线是两个主要影响系统。

2 多普勒雷达中尺度分析

2.1 涡、带结合型暴雨回波结构形态

这次暴雨过程降水主要出现在鄂西南、鄂西北以及豫南地区,武汉中心气象台长江中游短时天气预警报业务系统(MYNOS)多普勒天气雷达反射率因子拼图基本上覆盖了上述范围,监测到低涡和切变线天气系统影响下降水的分布和演变。由雷达组合反射率拼图分析可知,22 日 04 时以前,切变线附近的降水回波以大片的分散性层状云降水回波为主,强度只有 35 dBz,图 3a, A~B 所示;同时,处在低涡东侧的鄂西南有涡旋性团状的降水回波发展,强度 45 dBz,表明切变线附近降水强度弱而在低涡影响下的鄂西南强降水已经开始,图 3a, D 所示。04 时以后,切变线附近的带状强回波十分明显,回波强度 45 dBz,反映了切变线附近锋面抬升造成的上升运动加强;而随着低涡系统的发展,鄂西南的涡旋性团状降水回波演变为具有螺旋结构雨带的涡旋性回波。到 08 时,最北端的螺旋雨带与切变线降水带结合,结合点刚好位于襄樊地区(图 3b)。雷达回波动画显示,降水回波在两个系统汇合处不断有新生、北移,对流回波的列车效应导致襄樊地区持续性强降水。

上述分析可知,影响襄樊地区特大暴雨的回波系统有两个:一是鄂西北地区稳定维持的切变线附近的带状降水回波,二是低涡东北侧发展的具有螺

旋回波带结构的涡旋回波,两者形成涡带结合型结构形态,暴雨发生在结合处附近。这种结构形态的回波实际上反映了两个次天气尺度系统所构成的特殊背景。

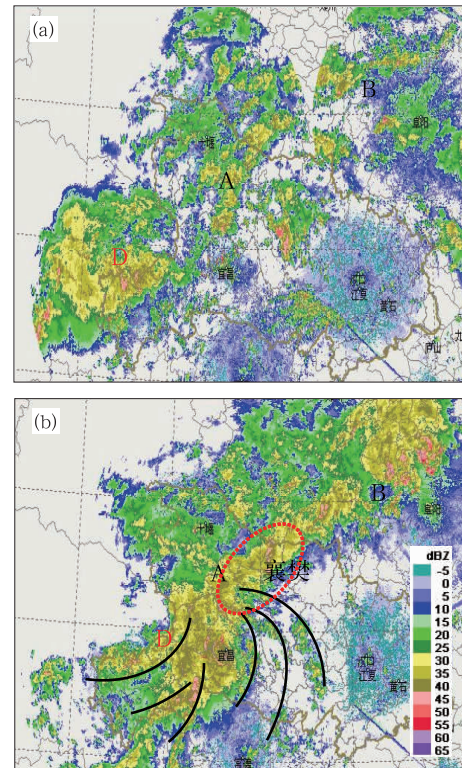


图3 长江中游多普勒天气雷达组合反射率因子拼图

(a) 22 日 04:00; (b) 22 日 08:00。A~B 为切变线附近的降水回波, D 为低涡东侧的涡旋回波, 红色虚线为暴雨中心, 黑线示意螺旋雨带

Fig. 3 The composite reflectivity image (a) 04:00; (b) 08:00. (The A and B refer to banded echoes near shear line, and D means the vortex echoes at east side of the low. The red dashed line means the rainstorm center, the heavy line hints the spiral rain belt)

2.2 中尺度低空急流的建立、维持与襄樊持续性强降水的关系

河南省南阳市位于襄樊北部 115 km 处,南阳多普勒雷达所处位置有利于对这次襄樊附近特大暴雨过程的观测。利用南阳多普勒天气雷达速度资料分析发现,襄樊特大暴雨过程的发生与其北部一支东风中尺度超低空急流的建立、南部低涡东侧强偏南暖气流的向北发展有密切的关系。两支气流

在静止锋附近形成的持久的中尺度气旋性辐合上升运动对襄樊特大暴雨的产生起到关键作用。

襄樊发生特大暴雨过程期间,其北部南阳附近有一支超低空东北风急流逐步建立、强盛和消亡的过程。图 4(a~d)是南阳多普勒雷达观测到的 1.5° 仰角速度图演变过程。22 日 02 时这支急流还未出现,随后东北风逐渐加大,22 日 08 时,东北—西南向的牛眼结构特征十分清楚,最大速度出现在 1.2 km 以下,达 $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。到 16 时,急流达到强盛时期,最大速度在 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。此后急流减弱,22 日 20 时消失。从时空尺度看,急流具有明显的中尺度特点,常规资料或其他观测资料难于发现。从南阳雷达观测组合反射因子看,强回波维持在该急流的东南侧,一旦移动到急流的西北侧具有反气旋性涡度的区域后就开始减弱(图略)。图 6 是 21 日 20 时至 22 日 20 时襄樊逐小时降水和超低空急流的风速随时间的变化。由图可见,襄樊的长历时强降水与这支中尺度超低空急流的不断加强、稳定维持有密切关系。但是,注意到最强降水不是发生在急流最

强盛的时候,表明还存在其他重要的中尺度系统的影响。

特大暴雨发生期间,除有东北超低空急流建立外,襄樊一带偏南暖湿气流也有一个逐步加大、向北扩展的过程: 1.5° 仰角速度图上,22 日 02 时以前,襄樊及其北部一带为向着雷达的径向风,速度较小,只有 $-5 \sim -10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,22 日 02 时达到 $-12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 4a);11 时已经达到 $-20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,径向风高度 4.0 km 左右(图 4c)。由于多普勒天气雷达天线方向与实际风向在同一径向时观测的径向速度最大,假设以最大径向风的风向代表该区域的实际风向,那么可以推断,22 日 02—11 时襄樊附近为偏南风。这与前面分析的低涡前侧偏南暖湿气流的向北发展一致。 0.5° 仰角速度图上(图 5a、b),1.6 km 高度的偏南风演变类似,也有一个向北发展加强的过程。可见这支偏南暖湿气流比较深厚。另外,分析各层速度图发现,襄樊一带径向风切向梯度特征明显^[8],说明特大暴雨位于偏南暖湿气流左侧较大气旋性切变涡度的区域(图 4b、c,图 5a)。

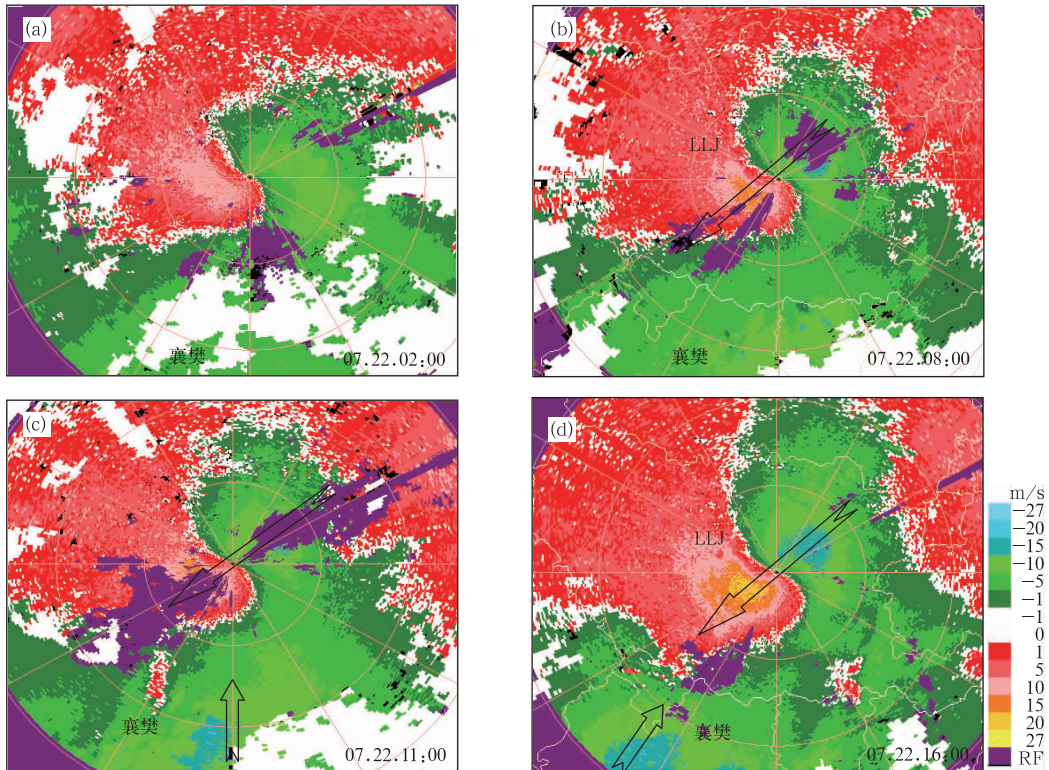


图 4 河南南阳多普勒雷达观测的 1.5° 速度图演变过程
(长箭头和短箭头分别为超低空急流和偏南暖湿气流)

Fig. 4 The evolution of the velocity image observed by the Doppler weather radar of the Nanyang, Henan Province

(The long arrow and the short arrow are super-LLJ and warm-moist southwesterly air stream respectively)

0.5°仰角速度图上,04—14 时在襄樊附近均存在近东西向的辐合线,稳定少动(图 5a)。14 时以后,尽管东北急流发展到最强时期,但是,0.5°仰角速度图上的辐合线已经移到襄樊东南部(图 5b),表明襄樊附近大气低层为偏北气流;1.5°仰角速度图

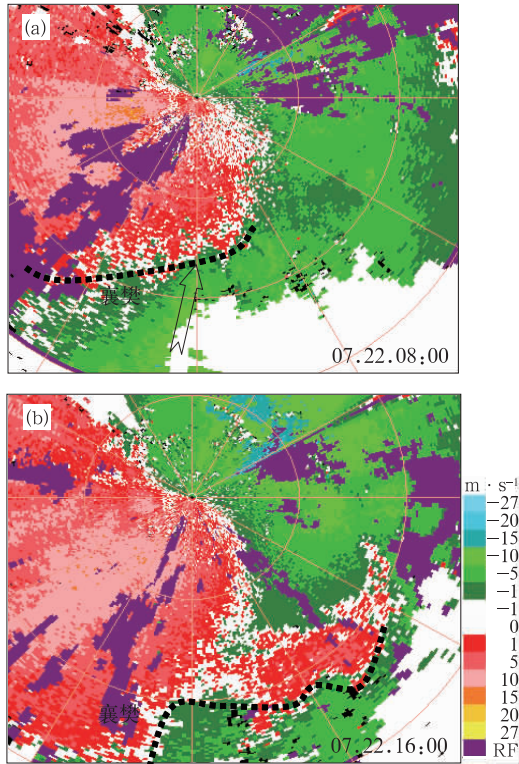


图 5 河南南阳多普勒雷达观测的 0.5°仰角速度图演变过程
箭头为偏南暖湿气流,···辐合线
Fig. 5 The evolution of the velocity image observed by the Doppler weather radar at Nanyang, Henan Province
(The arrow is the warm-moist southwesterly air stream. “···” is convergence line)

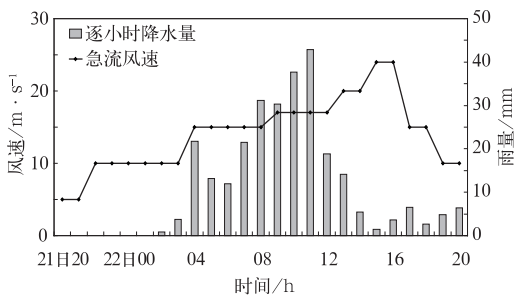


图 6 南阳附近超低空急流、襄樊降水量随时间的变化
Fig. 6 The evolution of wind speed of the super-LLJ (curve) near Nanyang and the precipitation (histogram) at Xiangfan

上,同一位置由偏南风转为西南风,而且襄樊一带的气旋性切变涡度在减小(图 4d),襄樊地区强降水结束。

综合分析可知,具有非地转特性的低层偏南暖湿气流与东北急流在襄樊附近形成的持久的中尺度气旋性辐合上升运动,是襄樊特大暴雨发生的主要原因。以下结合地形分析,给出了更为清晰的物理图像。

3 地形对降水的影响

长江流域 1~3 天短时段强暴雨,大多是受地形影响的暴雨或是台风暴雨^[10]。在东风气流下(如台风),在湖北省最突出的有 1935 年 7 月鄂西山地东坡五峰、宜昌一带的暴雨,1975 年 8 月鄂西山地东坡都镇湾暴雨,1994 年 7 月鄂东南山地东坡阳新一大冶的暴雨,湖北省襄樊紧邻的河南伏牛山东侧 1975 年 8 月的特大暴雨,这些都成为历史上罕见的特大暴雨^[11]。把它们出现的区域描绘在地形等高线图上,如图 7 所示,襄樊、南阳一带为向东开口的喇叭口地形,五峰和宜昌一带主要为东坡地形,说明东风气流下湖北省极端强降水与地形影响有关。

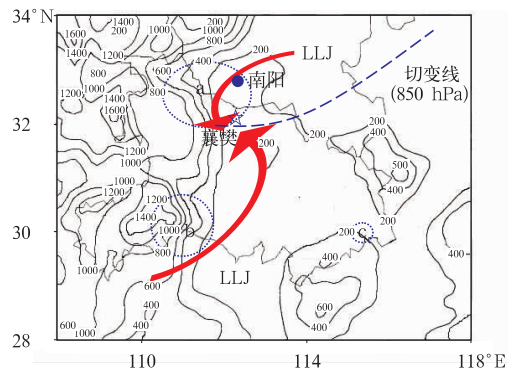


图 7 地形对襄樊特大暴雨的影响
a、b、c 分别为历史上河南伏牛山、宜昌、五峰和阳新的特大暴雨位置
Fig. 7 The Topographic effects on torrential rainfall at Xiangfan
The ellipses (dot line) a, b, c are the positions of Funiushan, Yichang, Wufeng and Yangxin rainstorm events respectively in the history

7 月 22 日襄樊地区超历史的特大暴雨过程不是由台风引起,但大气边界层有明显的超低空的东北风急流活动。南阳西北方是秦岭山脉东端的伏牛山,呈东北—西南走向;襄樊西南方是大巴山山脉东

端的武当山,呈东南—西北走向。两山高度均在 800~1000 m,形成向东的大喇叭口形态,襄樊位于喇叭口出口位置的南端。把上述多普勒雷达观测分析的两支气流、辐合线绘制到等高线图上,如图 7 所示。南阳附近的超低空急流与其西北侧的地形等高线几乎平行,而与西南侧的地形等高线垂直,由于其西南侧武当山的屏障作用,在近地面,超低空东北风急流理应折向东南转为西北风。这与襄樊附近几个自动站均长时间维持西北风的观测事实非常吻合(图略)。因此,转向的东北低空急流与向北发展的偏南暖湿气流在静止锋附近形成了强烈的气旋性辐合上升运动,两支气流在襄樊附近的维持对该地区持续性的气旋性辐合上升运动和长历时的强降水起到关键作用。

4 结 论

(1) 低涡、切变线是影响襄樊特大暴雨的两个主要天气系统。在南支槽东移过程中,低涡发展,涡前西南暖湿气流向北发展,导致静止锋附近的上升运动的加强,是襄樊地区特大暴雨发生的原因。

(2) 影响襄樊地区特大暴雨的回波系统有两个:一是鄂西北地区稳定维持的切变线附近的带状降水回波,二是低涡东北侧发展的具有螺旋回波带结构的涡旋回波。低涡发展过程中,涡旋回波外围螺旋回波带与切变线回波带相汇合,并在汇合处对流回波不断新生,向北移动,导致襄樊地区长历时的强降水。

(3) 襄樊特大暴雨过程的发生与其北部中尺度的超低空急流的建立和其南部的偏南暖湿气流的向

北发展有密切关系。在大气低层,北部超低空东北风急流受武当山屏障作用,气流折向东南,与向北发展的涡前偏南暖湿气流在襄樊附近形成气旋性辐合上升运动,而两支急流的稳定对强烈上升运动的维持起到关键作用。

参考文献

- [1] 张沛源,陈荣林.多普勒速度图上的暴雨判据研究[J].应用气象学报,1995,6(3):373-378.
- [2] 刘黎平,阮征,覃丹宇.长江流域梅雨锋暴雨过程的中尺度结构个例分析[J].中国科学D辑,2004,34(12):1193-1201.
- [3] 杜秉玉,陈钟荣,张卫青.梅雨锋暴雨的 Doppler 雷达观测研究:边界层中尺度涡旋系统[J].南京气象学院学报,1998,21(2):201-207.
- [4] 郑媛媛,张小玲,朱红芳,等.2007年7月8日特大暴雨过程的中尺度特征[J].气象,2009,35(2):3-7.
- [5] 张京英,漆梁波,王庆华.用雷达风廓线产品分析一次暴雨与高低空急流的关系[J].气象,2005,31(12):41-45.
- [6] 曹春燕,江崑,孙向明.一次大暴雨过程低空急流脉动与强降水关系分析[J].气象,2006,32(6):102-106.
- [7] 金巍,曲岩,姚秀萍,等.一次大暴雨过程中低空急流演变与强降水的关系[J].气象,2007,33(12):31-38.
- [8] 王楠,刘勇,郭大梅.用多普勒雷达资料对一次区域性暴雨的中尺度分析[J].气象,2007,33(8):29-34.
- [9] 杨晓霞,王建国,杨学斌,等.2007年7月18—19日山东省大暴雨天气分析[J].气象,2008,34(4):61-70.
- [10] 张家国,吴翠红,王珏,等.一次冷锋大暴雨过程的多普勒雷达观测分析[J].应用气象学报,2006,17(2):224-231.
- [11] 陈艳秋,袁子鹏,黄阁,等.一次中尺度急流激发的辽宁大暴雨观测分析[J].气象,2009,35(2):41-48.
- [12] 杨荆安,孟英杰.2008年5—9月我国主要暴雨天气过程[J].暴雨灾害,2008,27(4):378-382.
- [13] 胡伯威.中尺度地形对大气铅直运动和强降水的影响[J].暴雨·灾害(四),2000:8-23.