

刘志勇,任玮颖,王莉萍.2008 年 6 月 1 日鄂西北飊线天气过程综合分析.暴雨灾害,2009,28(3):277-282.

2008 年 6 月 1 日鄂西北飊线天气过程综合分析

刘志勇¹,任玮颖²,王莉萍³

(1.湖北省丹江口市气象局,丹江口 442700;2.湖北省十堰市气象局,十堰 4420000;

3.湖北省郧西县气象局,郧西 442600)

摘要:利用 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 6 h 再分析资料以及常规观测资料、多普勒雷达资料等,采用天气学动力诊断分析方法,对 2008 年 6 月 1 日下午到傍晚发生在鄂西北十堰市的一次飊线天气过程进行了分析。结果表明:高空冷槽、低层切变线与地面冷锋是此次天气过程的影响系统;地面中尺度辐合线是此次强对流天气的触发机制,同时高层干冷空气侵入增强了空气柱的对流性不稳定层结,有利于强对流天气发生与发展;雷达产品资料较好地反映了飊线特征,飊线的风暴中心与强对流天气落区有很好的对应关系。

关键词:飊线;干侵入;中尺度辐合线;中气旋

中图分类号:P458.1*23 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2009)03-0277-06

1 引言

强对流天气是在有利的大尺度环流背景下产生的中小尺度天气系统的产物,这些中小尺度系统包括雷暴、飊线等,因其突发性强、空间尺度小、生命史短,是天气预报中的难点。多年来,国内气象工作者围绕强对流天气做了大量有意义的研究。孙士型等^[1]采用卫星云图和雷达资料、谭永秀等^[2]使用物理量场资料、施望芝等^[3]利用数值预报物理量产品对湖北地区的强对流天气进行了分析;郑世林等^[4]分析了 2005 年河南省中部一次雷雨大风和冰雹天气过程,发现高空冷平流、地面辐合线及前期贮存的较高不稳定能量为此过程提供了极为有利的不稳定能量和动力条件;张一平等^[5]分析了 2006 年 6 月 28 日河南省强对流天气过程,发现新一代天气雷达基本反射率图上弓形带状回波特征明显,对应径向速度图上为一条明显的辐合线,且径向速度产品显示有中尺度气旋;陈红专等^[6]分析了 2006 年 8 月 1 日发生在湘黔边境的一次强对流天气过程的成因,发现强对流发生前和发生时大气层结不稳定、良好水汽输送及辐合条件对其发生发展十分有利;龙利民等^[7]研究发现,当弓形回波、带状回波的走向与环境风场几乎成正交时,给所经之地造成异常剧烈天气,且灾害性大风均出现在径向速度场中具有旋转性环流的强单体移动的下风方。

我国地域广大,气候差异明显,强对流过程也不尽相同,故深入分析研究一些特殊强对流天气个例很有必要。地处鄂西北的十堰市($31^\circ 35' - 33^\circ 15' N$ 、 $109^\circ 34' - 111^\circ 32' E$)初夏季节强对流天气多发,常给工农

业生产和人民生活造成较大危害。飊线是一条活跃的雷暴线或窄带,是线状的中尺度对流系统,其水平尺度在 150~300 km,时间尺度在 4~18 h,是一种破坏性最强和最大的中尺度天气系统,沿着飊线可以出现雷暴、大风、冰雹和龙卷等剧烈天气现象^[8]。2008 年 6 月 1 日午后到傍晚十堰市自北向南出现了一次飊线天气过程,本文利用 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 6 小时再分析资料以及常规观测资料、多普勒雷达资料等,采用天气学动力诊断方法,对这次过程进行了综合分析,期望提炼出此类天气的前期征兆和若干预报着眼点,并为强对流天气的预报和服务提供一些有益启示与参考依据。

2 天气实况

2008 年 6 月 1 日 15—20 时(北京时,下同)十堰市自北向南出现强对流天气。从十堰城区自动站逐时气象要素变化曲线图上可见(图 1),气压 16—17 时骤升,升幅达 2.6 hPa,17—18 时又陡降 0.7 hPa,形成一个“雷暴鼻”;气温 16—17 时骤降 13.7 °C;风向风速变化也很剧烈,平均风速由 16 时的 $2.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (南风)急转为 17 时的 $6.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (北风)。同时,当日下午十堰所属 6 县 1 市自动站地面气象要素均出现类似变化,上述气象要素变化的特点与典型的飊线过境时的情形一致^[9]。

3 环流背景分析

从 5 月 31 日 08 时开始,青藏高原上空暖高压加强,500 hPa 以上层高压前部的冷空气随西北气流自河套地区南下,西北风风速大于 $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。6 月 1 日 08 时,500 hPa 图上(图 2),华北东部至鄂中一带形成一

收稿日期:2009-05-31;定稿日期:2009-08-04

作者简介:刘志勇,男,1974 年生,工程师,主要从事天气预报业务和服务工作。E-mail: lzy19740628@163.com

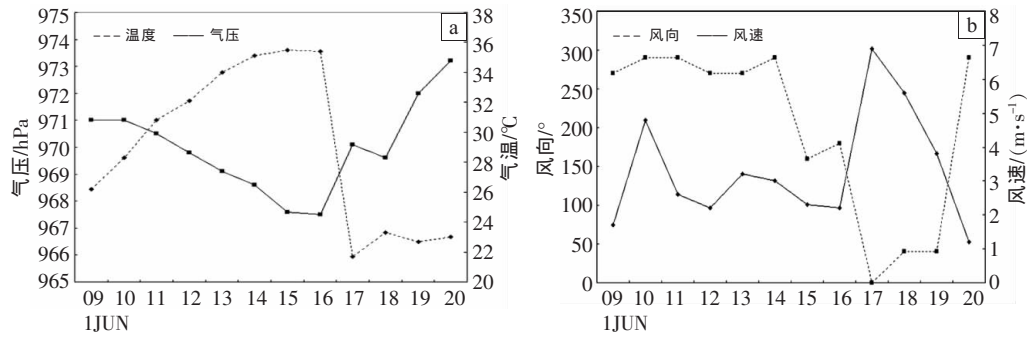


图 1 2008 年 6 月 1 日十堰站温度与气压(a)、风向与风速(b)逐时变化曲线

低槽,温度槽落后于高度槽;同时,850 hPa 有一大于 18 °C 的暖中心与之配合,925 hPa 上暖中心强度达 23 °C,高层冷槽与低层暖中心位置相对应,这种上冷下暖结构造成大气层结不稳定。另外,1 日 08 时,925 hPa(图略),在 34°N 附近(豫中到陕南)有一东西向切变线生成,其北侧为北风,南侧为西西南风;至 14 时,切变线南移到 33°N 附近,切变线辐合区与大气层结不稳定区基本重合,低层风速风向辐合有利于产生上升运动并触发不稳定能量释放,从而产生强对流。

至鹤壁一线,锋后降温明显,十堰处在锋前暖低压前部,同时来自河南的东北气流与陕南、鄂西北的偏南气流在陕南至豫西形成一条西南—东北向中尺度辐合线;15 时,随高空冷空气南下,辐合线南压,十堰强对流天气爆发。由于此次过程的水汽条件较差,强对流天气主要以大风、雷电、局地冰雹为主。到 20 时,地面冷锋快速南下,十堰为冷高压控制,飚线天气结束。

4 地面中尺度辐合线

在飚线形成过程中,中尺度辐合线通过提供带状辐合上升运动起着胚胎和组织积云对流的作用^[10]。通过对逐小时地面风场的分析发现(图略),6 月 1 日 14 时,陕南的宁陕到河南的淅川之间有一条西南—东北向中尺度辐合线形成,辐合线北端为东北风,南端为偏南风;15 时,随着高空冷空气东移南压,该中尺度辐合线南压至 33.2°N 附近;16 时,中尺度辐合线南压到十堰城区到丹江口中部一带,其两侧的偏南偏北气流有利于水汽和热量在低层集中,使低层辐合得到加强,为飚线的形成和发展提供了有利条件。

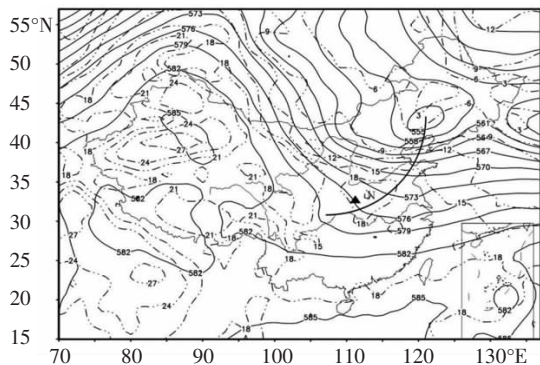


图 2 2008 年 6 月 1 日 08 时 500 hPa 高度场与 850 hPa 温度场叠加图(▲为十堰所在位置) —— 等高线,单位: 位势什米; - · - · - 等温线,单位: °C

6 月 1 日 08 时,地面图上(图略),冷空气主体在蒙古国西部,其前沿冷锋已达我国华北北部至河套地区,当日 14 时,地面冷锋南侵,到达合作、西安、运城

5 大气稳定度分析

5.1 温度平流

低层增温、高层降温是大气层结不稳定增强的机制之一。图 3 给出沿 110°E 温度平流的经向剖面图。

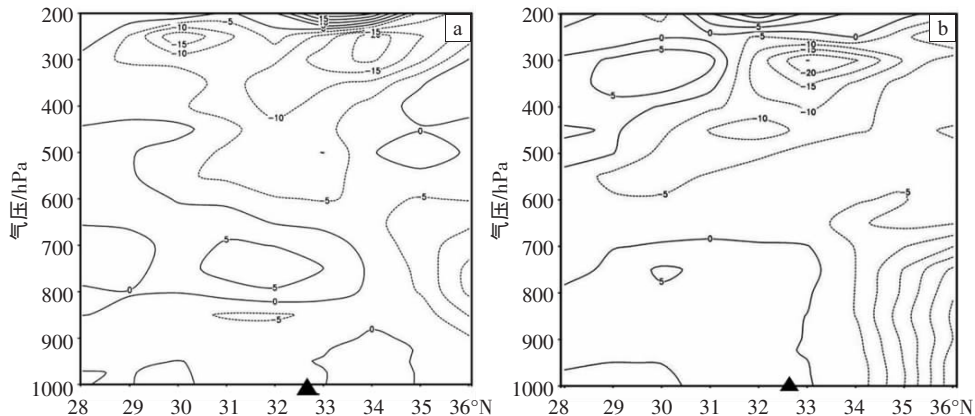


图 3 2008 年 6 月 1 日 08 时(a)、14 时(b)沿 110°E 的温度平流(单位: 10⁻⁵ K·s⁻¹) 经向剖面图(▲为十堰所在位置)

从图 3 中可见,1 日 08 时(图 3a),800—600 hPa 十堰为暖平流控制,800 hPa 以下与 600 hPa 以上则为冷平流,在 850 hPa 层存在一强度为 $-5 \times 10^{-5} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ 的冷平流中心;当日 14 时(图 3b),随地面辐射增温加强,暖平流区域扩大,由 800 hPa 延伸到地面,800 hPa 附近有一强度为 $5 \times 10^{-5} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ 的暖平流中心,700 hPa 以上区域则受冷平流控制,同时在 500 hPa 层有一强度为 $-10 \times 10^{-5} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ 的冷平流中心(图略)。因此,低层连续趋暖、高层持续趋冷造成十堰上空温度递减率不断增大,继而使十堰上空大气对流不稳定增强。到 20 时,十堰从低层到高层均由冷平流所控制,此次强天气结束。

5.2 假相当位温分布特征

假相当位温(θ_{se})反映了大气中的温湿状况,通过其水平和垂直分布可分析出大气中的能量分布以及垂直稳定度特征。从 6 月 1 日 14 时沿 33°N 的假相当位温纬向剖面图上可见(图 4),十堰上空 θ_{se} 最低值小于 324 K,出现在 500 hPa;500 hPa 以上, θ_{se} 增大,层结稳定;500 hPa 以下, θ_{se} 也增大,到 850 hPa 时 θ_{se} 增至 333 K,大气处于上干冷、下暖湿的对流不稳定层结状态。十堰上空 850 hPa 与 500 hPa 的 θ_{se} 差值为 9 K,有利于强对流发生发展。当日 20 时,十堰上空 θ_{se} 随高度增

加而增大(图略),表明大气层结趋于稳定,强对流天气随之结束。

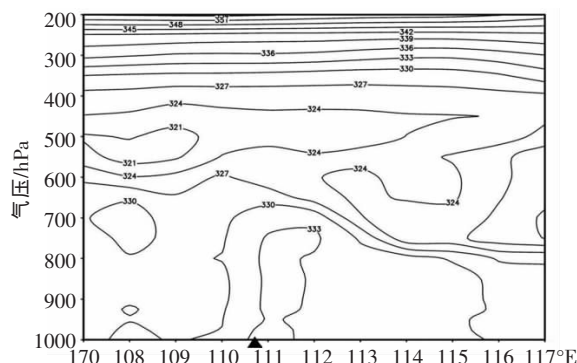


图 4 2008 年 6 月 1 日 14 时沿 33°N 的假相当位温(单位: K)纬向剖面图(▲为十堰所在位置)

5.3 K 指数分析

K 指数是综合了垂直温度梯度、低层水汽含量和湿度的一个物理量。分析不同时刻 K 指数场演变发现,6 月 1 日 08 时(图 5a),十堰西南方出现一近乎东西向的高能舌,十堰地区 K 值小于 20 °C;14 时前后(图 5b),随低层暖平流增强,高能舌区增大,十堰上空出现一 K 值大于 36 °C 的闭合高中心,说明已具备发生对流性天气的不稳定层结;到了 20 时(图略),高能舌逐渐减弱消失,十堰上空层结趋于稳定。

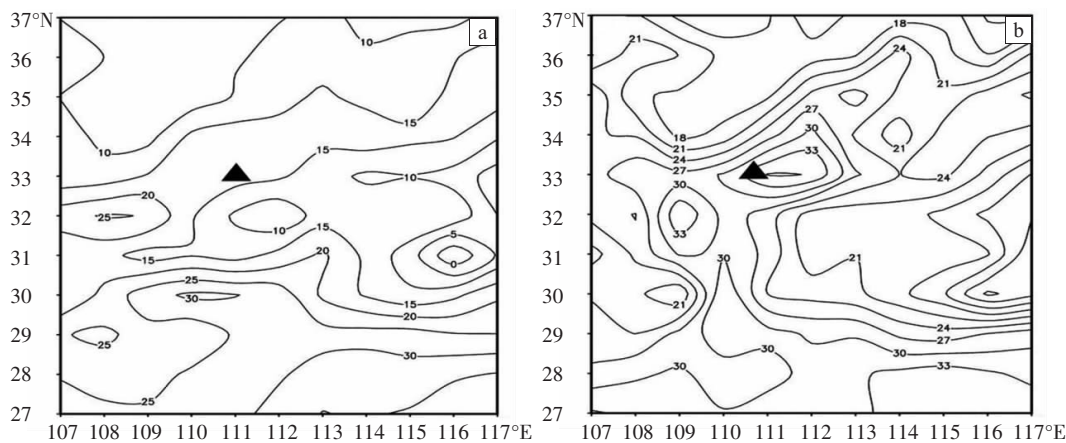


图 5 2008 年 6 月 1 日 08 时(a)、14 时(b)的 K 指数(单位: °C)水平分布图(▲为十堰所在位置)

6 触发机制分析

6.1 抽吸作用与边界层辐合加强

图 6 给出不同时刻沿 33°N 的散度纬向剖面图。从中可见,1 日 08 时(图 6a),1000—300 hPa 十堰呈辐合、辐散相间分布,700 hPa 以下为辐合区,辐合中心位于边界层,其中心值达 $-1.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,700—500 hPa 为弱的辐散区,500—400 hPa 为弱的辐合区;当日 14 时(图 6b),十堰 850 hPa 出现中心值为 $-3.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的强辐合中心,350 hPa 出现中心值为 $5.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的强辐散中心。这种高层强辐散形成的抽吸作用促使低层

辐合进一步加强,有利于对流天气发展。

6.2 干侵入的作用

干侵入是指从对流层高层下沉到中层或低层的干空气,它具有高位涡、低相对湿度两个特征,它在气旋爆发性发展、暴雨增幅、位势不稳定增强、中气旋的发生发展等方面起到重要作用,并有利于龙卷、飊线的形成与发展^[1]。考虑到至今对干空气的标准还未达成共识,本文以相对湿度中心值 $\leq 20\%$ 的空气代表干空气,其 40%的等值线代表干空气外围线。从不同时刻沿 110°E 的相对湿度经向垂直剖面图上可见,6 月 1 日 08 时(图略),34°—39°N 之间对流层高层开始

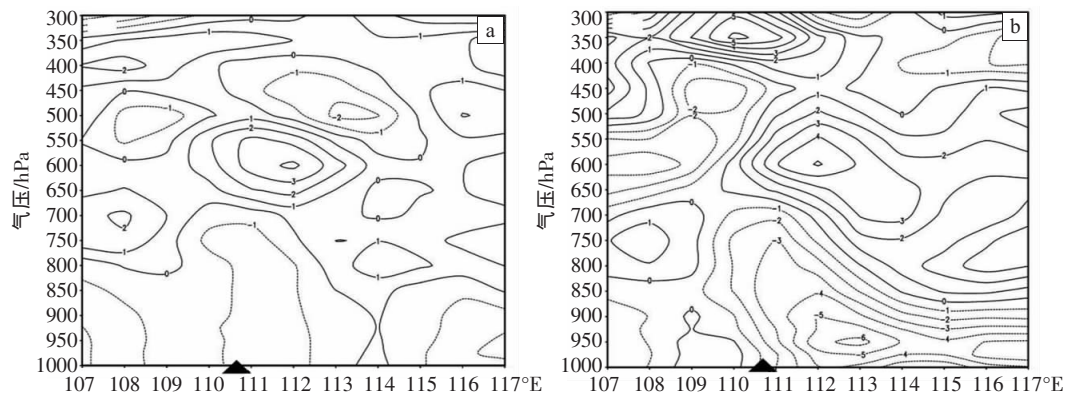


图 6 2008 年 6 月 1 日 08 时(a)、14 时(b)沿 33°N 的散度(单位: 10^{-5} s^{-1}) 纬向剖面图(▲为十堰所在位置)

有相对湿度低于 40% 的干冷空气向下伸展;到了 14 时(图 7),干冷空气继续下沉,40% 相对湿度外围线伸展到 550 hPa 附近,有一相对湿度低值中心位于 300—400 hPa 附近,其中心值仅 20% 左右,这一干冷空气楔自北向南、自上而下倾斜地插入到湿空气层中,增强了空气柱的对流性不稳定层结,使干侵入前方的雷暴系统得以发展,导致十堰地区出现雷雨、大风等强对流天气。随着对流层中高层相对湿度迅速降低,强对流天气结束。

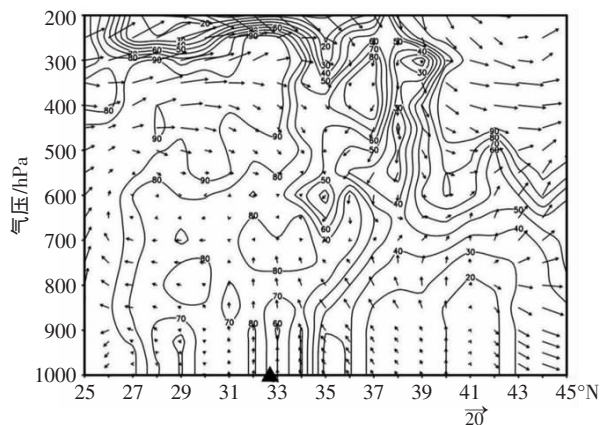


图 7 2008 年 6 月 1 日 14 时沿 110°E 相对湿度(实线,单位: %) 与流场(箭头,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)垂直剖面图(▲为十堰位置)

7 雷达资料分析

为了进一步揭示此次强对流天气过程的成因,对当时十堰多普勒天气雷达产品的特征进行了分析。图 8 给出 2008 年 6 月 1 日不同时刻十堰多普勒天气雷达图像。

6 月 1 日 13 时前后,十堰上游的陕西商州、丹凤开始出现对流小单体并迅速发展,且向正南方向移动,在接近十堰市郧西县三官乡时已发展成为一个多单体风暴,最强反射率因子在 60 dBz 以上,回波顶高 11 km,造成郧西境内部分乡镇出现小冰雹;随后,多单体风暴在南下过程中其尺度增大、强度增强,14:50 到达十堰市郧西东部至郧县交界处,中心强度增至 65

dBz 以上,回波顶高升至 14 km。15:08,郧西香口有回波单体新生,并与郧县大柳附近对流回波很快连成一条线性回波带,此前 5 个强对流单体已发展为飚线(图 8a),其长约 30 km、宽约 14 km。飚线前沿 5 个强对流单体中东南侧的超级单体发展最旺盛,其中心强度维持在 65 dBz,该单体的反射率剖面图上(图 8b 左),面向测站一方有明显的穹窿结构,强中心高度低于 5 km,相应速度剖面(图 8b 右)前侧底层有很强的入流,说明低层有暖湿气流沿下沉气流向上爬升成为上升气流,促使对流发展,而远离测站的一侧有明显的出流,云顶有辐散,具有冰雹云的特征。随后,飚线快速向正南方向移动(移速约 $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$),在南移过程中,其西侧的单体发展异常活跃,飚线长度也由初生时的 30 km 增至 60 km,此时飚线进入成熟发展期。15:39,雷达开始提示飚线西侧(即郧西香口镇附近)有中气旋生成,直至 16:09“提示”消失,可见中气旋在郧西境内维持了 30 min 左右,回波中心强度始终维持在 65 dBz 以上(图略)。

雷达速度图上,15:33 观测到郧西至郧县境内出现一条明显的速度不连续线,其北侧有一条气流切变线与反射率因子图中的飚线相对应,表明飚线附近存在气流辐合区。15:39,上述气流切变线的西北侧出现中气旋提示,15:51 在 2.4° 仰角图上观测到有一正负速度对(图 8c),正、负速度分别为 $17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $-17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,核区直径为 1.6 km,转动速度为 $17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,距离雷达 57 km,属弱中气旋。此中气旋(图 8d)在郧西境内造成郧西城关、马安、观音、涧池等乡镇大风,其中郧西城关瞬时最大风速达 $16.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,同时伴有雷暴发生,局部地区出现冰雹。16:09,中气旋减弱消失,同时飚线断裂成两个部分,其一中心位于郧西县城附近,呈西北—东南向,尺度约 45 km,强反射率因子为 60 dBz;其二中心位于郧县柳坡附近,中心强度为 60—65 dBz,呈东西向,水平尺度约 50 km。该飚线虽然断裂但势力不减,仍以 $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向正南方向快速移动,依然

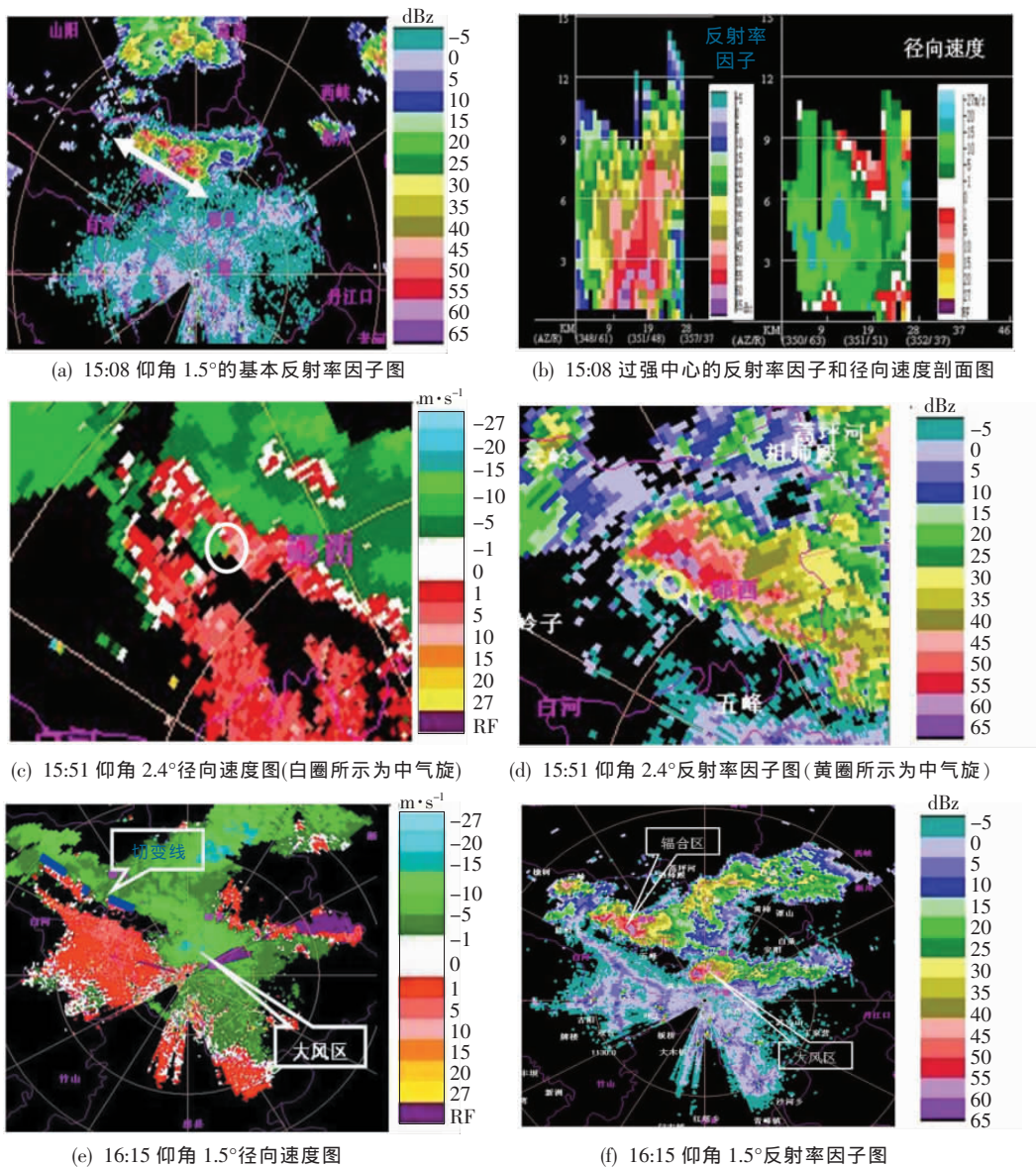


图 8 2008 年 6 月 1 日不同时刻十堰多普勒天气雷达图像

处于旺盛发展阶段。16:15(图 8f),西北—东南向回波带维持其强度继续南下并影响十堰西部地区,东西向强回波带向南移动并开始影响十堰城区。

在径向速度图上,16:15 气流切变线仍对应着飊线上对流单体集中区(图 8e),且随飊线移动;16:09—16:21 十堰城区北部出现正速度大值区,径向风速最大为 20~24 m·s⁻¹,这表明飊线后侧有很强的急流入流。16:26 十堰本站出现 21.4 m·s⁻¹ 大风,并伴有短时强雷雨天气。此后影响十堰城区的这条东西向回波带迅速向东伸展,受下曳气流和外流的促进作用,回波带经过丹江口习家店后其东侧的单体进一步发展,南压至武当山附近时中心强度增至 60 dBz。到 17:10,郧县叶大、十堰大川至茅塔、丹江口武当山至丁家营一线自西向东形成一条长 120 km、宽 20 km 左右的回波带,并继续向南推进,影响竹山、竹溪和房县,但移速开始减缓(约 30 km·h⁻¹)。17:47(图略)回波带东移南

压影响襄樊的老河口和谷城地区,此时其强中心已明显减弱,仅 40~50 dBz,回波带开始出现分裂。此后回波带分裂成块状回波向南影响鄂西北其他地区,强度进一步减弱,直至 22:00 完全消亡。

8 结论

本文从大气环流形势、大气稳定性、触发机制等方面,对 2008 年 6 月 1 日发生在十堰市的一次飊线天气过程进行了综合分析,得出以下结论。

(1)这次飊线过程是在比较有利的天气背景下发生的,高空冷槽、低层切变线与地面冷锋是此次天气过程的影响系统;地面中尺度辐合线是触发机制,触发不稳定能量释放,使强对流产生、发展。

(2)低层连续趋暖,高层持续趋冷造成十堰上空温度直减率不断增大,高层干冷空气侵入增强了空气柱的对流性不稳定层结,从而促进了强对流天气的发生

与发展。

(3) 雷达产品资料较好地反映了飑线特征, 飑线的风暴中心与强对流天气落区有很好的对应关系。

在本文的写作过程中, 承蒙十堰市气象局王立华工程师给予指导和帮助, 谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 孙士型, 陈少平, 于大峰, 等. 一次飑线过程的卫星云图和雷达回波特征[J]. 湖北气象, 2004(1): 12-14.
- [2] 谭永秀, 姚道强, 蓝天飞, 等. 对 2004 年初夏鄂西北地区一次强对流天气过程的分析[J]. 湖北气象, 2005(3): 15-18.
- [3] 施望芝, 崔春光, 谌伟, 等. NWP 产品在强对流天气诊断分析中的应用[J]. 气象科技, 2006, 34(2): 124-131.
- [4] 郑世林, 席世平. 河南省 2005-06-21 强对流天气分析[J]. 河南气象, 2006, 29(3): 46-47.
- [5] 张一平, 席世平, 王国安, 等. 2006 年 6 月 28 日河南省强对流天气过程分析[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(2): 35-37.
- [6] 陈红专, 曾志明, 杨素珍, 等. 湘黔边境一次高空槽前型飑线天气过程的成因分析[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(3): 237-241.
- [7] 龙利民, 陈亮, 江航东等. 副热带高压外围西北侧一次强对流天气的雷达回波特征[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(1): 68-72.
- [8] 章国材, 矫梅燕, 李延香, 等. 现代天气预报技术和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 133.
- [9] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 1987: 144-145.
- [10] 张群, 张维恒, 姜勇强. 边界层辐合发展飑线的数值试验[J]. 气象科学, 2001, 21(3): 308-315.
- [11] 于玉斌, 姚秀斌. 干侵入的研究及其应用进展[J]. 气象学报, 2006, 61(6): 699-778.

Synthetic Analysis on a Squall line in Northwest Hubei on June 1, 2008

LIU Zhi-yong¹, REN Wei-ying², WANG Li-ping³

(1. Danjiangkou meteorological bureau of Hubei province, Danjiangkou 442700;

2. Shiyan meteorological bureau of Hubei province, Shiyan 442000;

3. Yunxi meteorological bureau of Hubei province, Yunxi 442600)

Abstract: Based on $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 6 h re-analysis data from NCEP, conventional observation data and Doppler radar data, a squall line over Shiyan city of northwestern Hubei from afternoon to evening on 1st June 2008 is analyzed by using the synoptic and dynamic diagnostic method. The results show that the main influence systems of the squall line are the cold trough at the upper level, the shear line in the low-level and the cold front on the ground, and the triggering mechanism of the severe convection event is the meso-scale convergence line on the ground. At the same time, instability energy of the air column is strengthened as the incursion of dry and cold air of upper level, which is an important role in the development of severe convective weather. Characteristics of squall line are showed better by Doppler radar data in particular, and the severe convective area had a better corresponding relation with the storm center on squall line.

Key words: Squall line; Draw intrusion; Meso-scale convergence line; Mesocyclone