

2003 年 7 月 8 日安徽系列龙卷 的新一代天气雷达分析^①

郑媛媛¹ 俞小鼎² 方 翀¹ 朱红芳¹ 吴林林¹

(1. 安徽省气象台, 合肥 230061; 2. 中国气象局培训中心)

提 要

利用合肥新一代天气雷达资料对 2003 年 7 月 8 日夜间发生在安徽庐江和无为县的龙卷过程进行了简要的分析。7 月 8 日夜间至 9 日凌晨, 与一条自西向东移动的、被包裹在大片层状雨区中的带状对流(飑线)相联系, 先后有 4 个径向速度场上明显的小尺度涡旋特征出现在飑线的前沿。其中一个小尺度涡旋特征持续了大约 2 小时 30 分, 先后在庐江和无为县产生了龙卷。特别是在无为产生的龙卷, 造成了严重的生命和财产损失, 其级别为 F2~F3, 属于较强龙卷。分析表明, 此次龙卷为非超级单体龙卷, 在反射率因子图上几乎没有任何特征, 而在径向速度图上呈现为明显的小尺度涡旋特征, 说明新一代天气雷达的使用大大增强了对龙卷的探测能力。

关键词: 龙卷 新一代天气雷达 径向速度图 小尺度涡旋特征

引 言

龙卷是一种强烈的对流天气现象, 可造成重大的人员伤亡和财产损失。龙卷分为超级单体龙卷和非超级单体龙卷^[1,2]。超级单体龙卷由超级单体风暴^[3]产生, 强烈的龙卷多数为超级单体龙卷。非超级单体龙卷与非超级单体风暴(多单体风暴及飑线等)相联系, 同时与边界层辐合切变线密切相关^[1]。我国新一代(多普勒)天气雷达的布网加强了对龙卷的预警能力。2003 年 7 月 8 日 22 时至 9 日凌晨, 安徽省庐江和无为县先后遭受了系列龙卷的袭击。其中 7 月 8 日 23 时 20 分至 30 分无为县的两个乡镇遭受强龙卷袭击, 两个乡镇在整个过程中共死亡 16 人, 共有 166 人受伤。灾情惨重的是百胜镇河南村毕家庄, 全村 30 多户人家, 只有位于村口的一家房屋还算完好, 其余都已是断垣残壁, 一片狼藉, 废墟中的家具、电视机、衣物、橱柜依稀可见(图 1, 见封二)。很多大树被连根拔

起, 其中一棵有几十年树龄的榆树也未能幸免。村庄周围的电线杆更是东倒西歪, 大多都是由底部被强行扭断。一辆拖拉机被龙卷风拖出原地十几米, 陷入水坑, 而另一辆拖拉机则不知所踪。从造成地面建筑物和树木损害情况判断, 该龙卷的级别为 F2~F3, 属于较强龙卷^[4]。本文中我们主要利用合肥的新一代天气雷达^[5]资料对此次系列龙卷过程进行简要的分析。

1 天气背景

7 月 8 日从高空 500、700 和 850hPa 天气图(图略)分析, 华西有低槽东移, 尤其在 7 月 8 日 20 时, 高空三层的低槽位置几乎完全重合, 在安徽省江西南部到沿江地区形成准南北向的风切变线。产生龙卷的庐江和无为县上空为槽前的西南风。500hPa 西南风风速达到 $24\sim 32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 700hPa 为 $18\sim 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 850hPa 西南风速为 $12\sim 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。从探空资料(图略)看, 离无为、庐江最近的探空站

^① 国家气象局课题《安徽省淮河流域梅雨期(雨季)中尺度系统发生、发展及预报方法研究》、安徽省气象局课题《省级短时灾害性天气预警系统》、教育部优秀年轻教师研究基金资助。

安庆站 7 月 8 日 20 时的对流不稳定能量 CAPE 的数值为 $2120 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, K 指数为 34°C , 沙氏指数是 -5.5°C , 表明强烈的对流不稳定。不过需要指出, 安庆距离庐江 70 km, 距离无为近 100 km, 安庆站的探空不一定能代表庐江和无为的实际情况, 只有有限的参考价值。7 月 8 日 22 时地面加密的风场资料如图 2(见封二)所示。从图中看到在庐江和桐城县之间有明显的气旋式风切变, 庐江为东南风, 而桐城为西北风。同时注意到, 庐江和无为与桐城和舒城之间有风场辐合。另外, 此前这一地区一直暴雨不断, 地面普遍积水。大气层结的对流不稳定、低层的辐合切变风场和大片的地面积水为此次系列龙卷的产生提供了有利的背景条件。

2 多普勒天气雷达资料分析

2003 年 7 月 8 日夜間, 位于大片层状云降水区中的一条对流雨带(飑线)自西向东由舒城和桐城县移入庐江县。21 时 57 分, 位于该飑线中部出现一个小尺度涡旋(气旋式)速度特征, 该特征仅局限于低层, 具体位置在庐江县的西北部与舒城县交界处附近, 对应于反射率因子场上的飑线前侧的一个入流缺口(图略)。上述特征持续了好几个体扫。22 时 10 分, 在飑线的南端出现另一个类似的小尺度涡旋速度特征, 具体位置在庐江县西南靠近与桐城县的边界, 其在 0.5° 仰角(约 1000 m 高度)的旋转速度(正负速度对的绝对值之和的二分之一)约为 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。该小尺度涡旋特征局限于低层并一直持续, 与观测到的发生在庐江县西南的龙卷相对应, 该龙卷产生 10 级大风, 将数棵直径 30 cm 左右的梧桐树连根拔起。上述飑线逐渐演变为一个类似弓形回波的中尺度对流系统, 移入无为县境内, 其后面紧跟着另一条飑线。上述第二个小尺度涡旋在 22 时 15 分之后开始减弱, 22 时 55 分又重新开始加强, 在 23 时 12 分左右(图 3, 见封三)达到最强, 并直接对应于 23 时 20 分左右发生在无为县的强龙卷。该小尺度涡旋速度特征一直持续到 7 月 9 日 0 时 38 分, 共持续了近 2 小时 30 分钟。其间又有两个类似的小尺度涡旋特征出现在径向速度图上(图略)。

图 3 给出了 7 月 8 日 23 时 12 分 0.5° 和 1.5° 仰角的反射率因子和径向速度。在径向速度图上, 箭头所指处清楚显示出小尺度涡旋的速度特征, 该涡旋距雷达的距离大约为 75 km。 0.5° 和 1.5° 仰角速度图上的小尺度涡旋的旋转速度(正负速度对的绝对值之和的二分之一)分别为 22 和 $23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。图 3e、f 给出了图 3c、d 上小尺度涡旋的放大图。通过上述小尺度涡旋正负速度对中心作与雷达径向垂直的剖面, 如图 4(见封二)所示。在图 4 中, 向着纸面的方向为沿雷达径向趋向雷达的方向, 离开纸面的方向为沿雷达径向远离雷达的方向。从图中可以清晰地识别出在水平坐标 25 和 35 km 距离刻度之间的小尺度涡旋特征, 其正负速度对之间的距离(即涡旋的尺度)约为 4 km, 涡旋的垂直伸展局限于低层大气, 约 3 km。根据美国天气局的标准^[2], 上述小尺度涡旋可以判定为强中气旋(中气旋的垂直伸展判据要求垂直延伸超过 3 km, 上述涡旋刚够), 雷达的中气旋算法也将其识别为中气旋(meso-cyclone)。按照文献^[2], 中气旋只出现在超级单体风暴中。这一概念最早由 Browning 所暗示^[3], 后被美国雷达气象学界广泛接受(Lemon, 2003, 私人通信)。从反射率因子图上看, 小尺度涡旋的向着雷达的速度极值对应于 0.5° 仰角反射率因子对流风暴前沿的入流缺口, 但该对流风暴反射率因子结构没有显示出超级单体的结构。另外, 与超级单体对应的中气旋往往从对流层中层开始出现, 然后向上下发展。而上述小尺度涡旋特征首先出现在 0.5° 仰角, 然后才出现在 1.5° 仰角, 并局限于 3 km 以下的低层大气。因此我们倾向于认为上述小尺度涡旋是与非超级单体风暴相联系的龙卷的母气旋, 通常称为微气旋(miso-cyclone)。上述庐江和无为县发生的龙卷为非超级单体龙卷。我们认为上述被识别为中气旋的小尺度涡旋更接近于边界层起源的发展强盛的微气旋^[1,2], 即发展强烈的微气旋偶尔可以满足中气旋判据, 但不与超级单体相对应。这只是我们根据观测事实的一个推论, 不是最后的定论。上面提到 7 月 8 日夜間到 9 日凌晨出现的另外 3 个小尺度涡旋特

征也属于边界层起源的微气旋,只是持续时间要短得多。

图2给出的7月8日22时地面风场显示在庐江县存在气旋式切变和辐合。切变可产生气旋式涡度,辐合产生上升速度区,当气旋式涡度区与辐合上升速度区遇见预先存在的涡旋时,涡旋由于拉伸而加快旋转,非超级单体龙卷就可能形成。因此我们认为此次系列非超级单体龙卷的产生机制与Wilson (1986)^[1]提出的非超级单体龙卷生成的概念模型是大致类似的。在上面提到的发生在7月8日夜間到9日凌晨的4个微气旋中,导致庐江和无为县龙卷的第二个微气旋维持了2小时30分钟,远远超过一般微气旋的生命周期。我们认为主要原因在于与这一微气旋相联系的对流风暴的反射率因子的垂直结构由于强的垂直风切变是倾斜的,使得上升和降水导致的下沉气流长期共生,微气旋可以长时间维持。在夜间产生系列龙卷的事件是不多见的,这与下垫面由前期暴雨造成的积水可能有很大的关系。地面积水可造成夜间地表温度较高和地面摩擦减小,这都是有利于强对流和龙卷的产生和长时间维持的。

对于这次龙卷天气的预报,7月8日21时30分,安徽省气象台值班预报员在雷达反射率因子图上发现巢湖市庐江县附近有较强回波,而且在平均径向速度图上有中尺度辐合区存在,立即通过“可视会商系统”通知巢湖气象台:未来该地区可能出现强对流天气。由于当时预报员的注意力都放在判断淮河流域是否会继续强降水上面,对后来的雷达径向速度图没有做仔细的分析。事实上,如果当时仔细分析了径向速度图,是可以作出龙卷预警的。而这种非超级单体龙卷在反射率因子图上几乎没有任何特征。这也进一步说明新一代天气雷达的应用大大提高了对龙卷的预警能力。在上述4个小尺度涡旋特征中,只有第二个涡旋导致的在庐江和无为县的龙卷被观测到。这并不表明其它3个小尺度涡旋没有产生龙卷,有可能它们产生了龙卷,只是强度不大,没有被观测到。

此次强对流天气过程以降雨和龙卷为主要天气现象,没有伴随冰雹。对反射率因子

的垂直剖面分析表明,在 -20°C 等温线(大约在6.5km高度)以上,反射率因子都在45dBz以下,因此不具有产生强冰雹的潜势^[6]。

3 结 语

本文应用合肥新一代天气雷达资料对2003年7月8日夜間发生在安徽庐江和无为县的龙卷过程进行了简要的分析。7月8日夜間至9日凌晨,与一条自西向东移动的、被包裹在大片层状雨区中的带状对流(飚线)相联系,先后有4个径向速度场上明显的小尺度涡旋特征出现在飚线的前沿。其中一个小尺度涡旋特征持续了大约2小时30分,最强时,其在 0.5° 和 1.5° 仰角的旋转速度分别为 $22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $23\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,垂直扩展超过3km。该小尺度涡旋先后在庐江和无为县产生了龙卷。特别是在无为产生的龙卷,造成了严重的生命和财产损失,其级别大致为F2~F3,属于较强龙卷。分析表明,几个小尺度涡旋都局限于低层大气,由第二个小尺度涡旋在庐江和无为县产生的龙卷为非超级单体龙卷,在反射率因子图上几乎没有任何特征,而在径向速度图上呈现为明显的小尺度涡旋特征,说明新一代天气雷达的使用大大增强了对龙卷的探测和预警能力。

2003年夏天安徽多次出现龙卷天气并造成生命和财产损失,急需发展适合于安徽的龙卷概念模型和预报方法,这将是我們进一步研究的内容。

参考文献

- 1 Wilson, J. W., Tornado genesis by nonprecipitation induced wind shear lines. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, 114: 270—284.
- 2 OTB/OSF/NWS: WSR-88D Operations Course, 1996, 600.
- 3 Browning, K. A., and G. B. Foote, Airflow and hail growth in supercell storms and some implication for hail suppression, *Quart. J. R. Met. Soc.*, 1976, 102: 499—533.
- 4 Fujita, T. T., Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. SMRP Research Paper 91, University of Chicago, Chicago, IL, 1971, 42 pp. [Available from Wind Engineering Research Center, Box 41023, Lubbock, TX 79409.]

(下转第45页)

(上接第 40 页)

5 刘志澄,李柏,翟武全. 新一代天气雷达系统环境及运行管理,北京:气象出版社,2002.

6 Witt, A, and Co-authors. An enhanced hail detection algo-

rithm for the WSR-88D, Wea. and Forecasting, 1998, 13: 286—303.

Analysis of a Series of Tornado Events during 8 July 2003 in Anhui Province with New Generation Weather Radar Data

Zheng Yuanyuan¹ Yu Xiaoding² Fang Chong¹ Zhu Hongfang¹ Wu Linlin¹

(1. Anhui Weather Office, Hefei 230061; 2. CMA Training Centre)

Abstract

A series of tornado events occurred during 8 July 2003 in Anhui province is analyzed briefly with the new generation weather radar data. From the night of 8 to the early morning of 9 July 2003, associated with a mesoscale squall-line which embodied within a large precipitation area, a series of four smallscale vortex signatures appear at the leading edge of the squall-line. One of the microscale vortex lasted two and a half hour, produced tornadoes in Lujiang county and Wuwei county, consecutively. The tornado in Wuwei county attained F2—F3 and caused severe life loss and poverty damage. Analysis shows that this tornado is a non-supercell tornado, which presents little signature on reflectivity maps but clear micro-vortex signature on radial velocity maps could be seen, indicating that the new generation weather radar, with its ability to measure the radial velocity, greatly enhanced weather radar's capability to detect the tornadoes.

Key Words: tornado new generation weather radar radial velocity map microscale vortex signature

《2003 年 7 月 8 日安徽系列龙卷的新一代天气雷达分析》附图



图 1 2003 年 7 月 8 日
安徽省无为县龙
卷风过后灾情

图 2 2003 年 7 月
8 日 22 时安
徽局部地面
风场

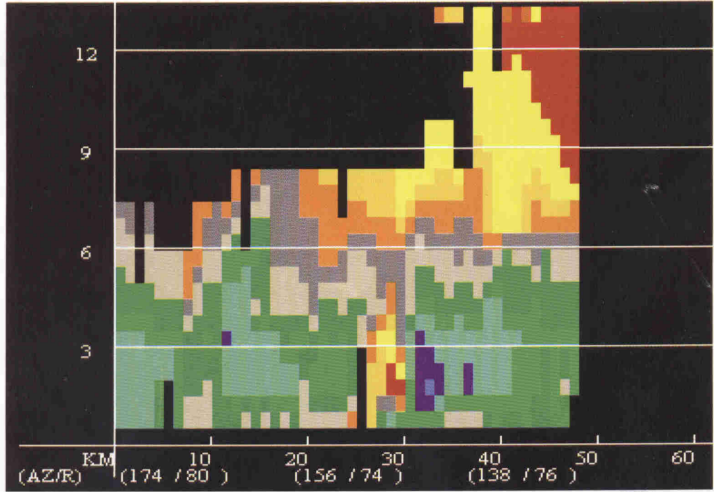


图 4 通过图 3 中小
尺度涡旋正负速
度对中心的与雷
达径向垂直的垂
直剖面。向着纸
面的方向为沿雷
达径向趋向雷达
的方向。从图中
可以清晰地识别
出在水平坐标 25
和 35km 之间的
小尺度涡旋特征

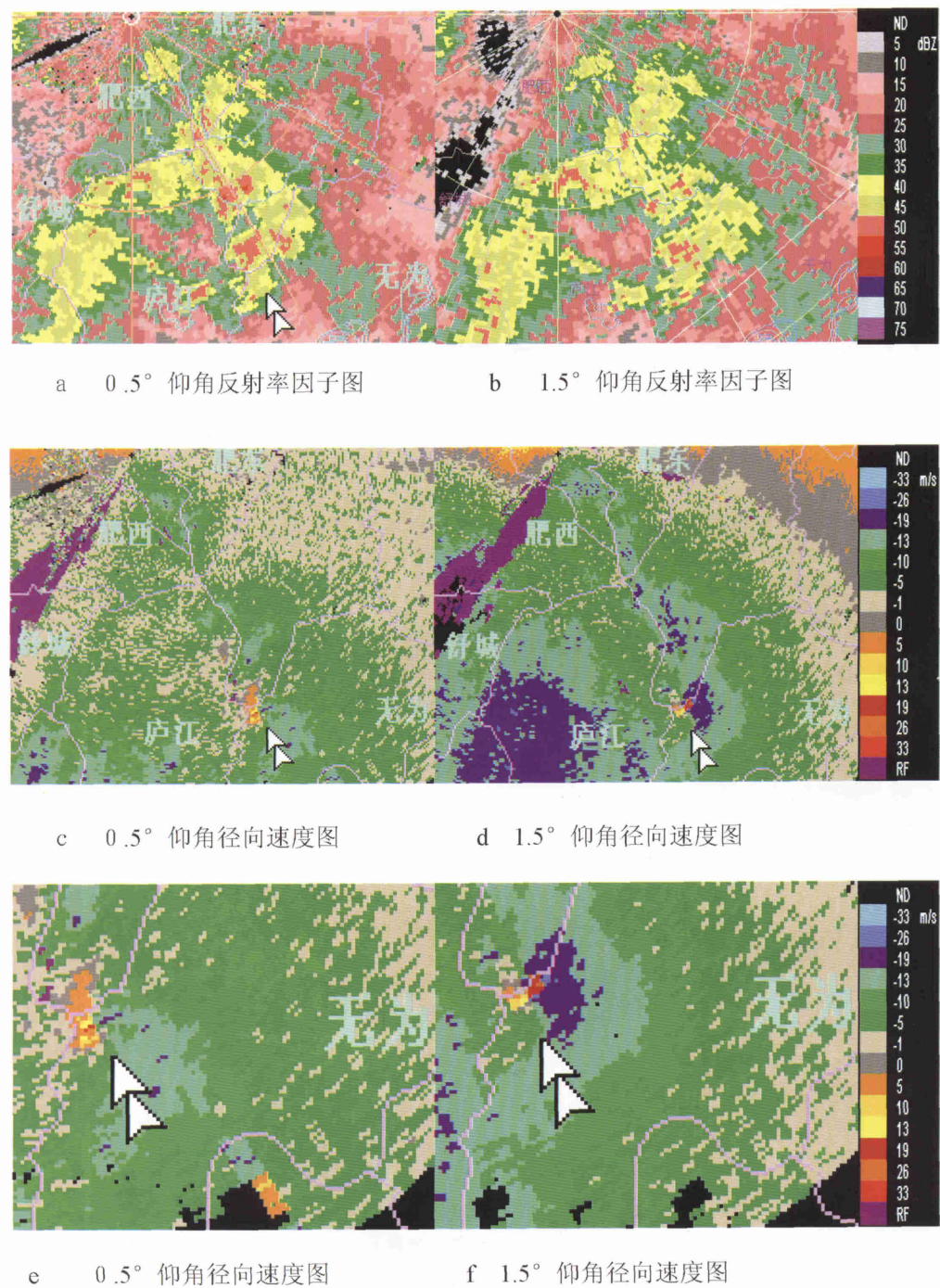


图 3 2003 年 7 月 8 日 23 时 12 分（北京时）合肥新一代天气雷达（SA 型）0.5° 和 1.5° 仰角的反射率因子（a、b）和相应径向速度（c、d）图像，e、f 为径向速度放大图，以突出小尺度涡旋特征。雷达位置位于图像的左上方。速度图上箭头所指为小尺度涡旋（注意速度图中的速度对中向着雷达的径向速度出现模糊）。