

2007年7月皖苏北部龙卷风初步分析

曹治强 方宗义 方翔

(1. 国家卫星气象中心,北京,100081)

提 要: 2007年7月3日0840—1000(UTC)先后在安徽天长—江苏高邮和江苏兴化等局部地区发生了多个龙卷风,成为本年度的极端天气事件之一。利用高频次的FY-2C、2D等静止气象卫星资料、南京站多普勒天气雷达资料和常规天气资料对这次龙卷风天气系统的活动与演变进行了分析,得到以下认识:叠加在梅雨锋切变线上的高空短波槽线,及槽后强干冷空气平流与低空暖湿平流在垂直方向迭合,并与200hPa青藏高原东西向脊线北侧的辐散场重合,为强对流天气系统的发展提供了动力和热力条件;0400(UTC)之后,在鄂豫皖苏交界区形成了两条中尺度对流云带。一条是与梅雨锋切变线相对应的弱对流云带,另一条是位于其南面的在上述干冷空气前沿迅速发展的飑线云带。切变线弱对流云带整体缓慢向南移动,构成云带的对流云块沿着云带缓慢向东移动。强对流飑线云带则由西北西向东南东方向移动,构成飑线云带的强对流云团则沿着云带由西南西向东北东方向移动。龙卷风就发生在上述两条中尺度对流云带的云团相交合并处。

关键词: 龙卷风 中尺度对流云带 中气旋 卫星资料 雷达资料

Analysis of Tornado Events in North Anhui and Jiangsu Provinces in July 2007

Cao Zhiqiang Fang Zongyi Fang Xiang

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: There were many tornadoes produced in the area between Tianchang of Anhui Province and Gaoyou of Jiangsu Province, and also in Xinghua of Jiangsu Province between 0840—1000UTC on July 3, 2007. It was one of the extreme weather events of 2007. High temporal resolution geostationary satellite of FY-2C and 2D, Nanjing Doppler weather radar data and routine meteorological data were used in analyzing the evolution of the weather system. The main conclusion was as follows: The dynamic and thermal conditions for strong convection development were provided by

the combination of the short wave trough with cold dry air at high altitude, warm moist air advection at low altitude and the divergence field at the north of the ridge line of Tibet high pressure. After 0400UTC, two mesoscale convective cloud belts were developed in the co-boundary area of Anhui, Henan, Hubei and Jiangsu provinces. One of them, corresponds to the shear line on Meiyu front and is rather weak. The other was the fast developing squall line at the south of the first cloud belts and in front of the cold air mass. The weak convective cloud belt moved south slowly. The convective cells in it propagated toward east. The squall line moved from west northwest to east southeast. The strong convective cells in it propagated from west southwest to east northeast. The tornadoes developed in the area where the convective cells in two mesoscale convective cloud belts merged.

Key Words: tornado mesoscale convective cloud belt mesocyclone satellite data radar data

引 言

龙卷是强雷暴中产生的破坏力极大的小尺度灾害性天气,其直径一般从几米到几百米。龙卷风的母云常常是超级单体风暴。在径向速度场上,龙卷母云常常有 1~2 个中尺度气旋,它的尺度在几千米到几十千米^[1]。这种中气旋叫做“龙卷气旋”或“龙卷巢”^[2]。据统计,每年发生在我国东部地区的龙卷大约有 200~300 个^[3],受探测手段的限制,过去对它们研究不多。Lee^[4-5] 等对发生于 1996 年 4 月 19 日伊利诺斯州的一次强龙卷过程进行了详细的分析,指出对流单体的合并对强对流的发展起着重要的作用,而且在合并时容易产生龙卷。俞小鼎等^[6] 首次利用多普勒天气雷达资料,对 2003 年 7 月 8 日夜间发生在安徽无为县的强烈龙卷的产生过程进行了详细的分析。随着 FY-2D 卫星的成功发射,FY-2C 和 2D 组网观测可提供的 15 分钟间隔的较高频次观测,为龙卷风的监测分析提供了可能。2007 年 7 月 3 日 0840-1000 (UTC),在安徽省天长市的仁和、秦栏等镇与高邮市的天山镇、菱塘乡、郭集镇、送桥镇四个乡镇以及兴化市的陈堡镇、茅山镇、戴南镇等地出现了雷雨大风和龙卷。它们的活动路线如图 1(见彩页)所示。特别是出现在安徽天

长市和江苏高邮市交界处的龙卷更为强烈,所带来的损失也更为严重。统计显示,此次事件共造成苏皖两地 14 人死亡,182 余人受伤,受灾人口两万余人,死亡大牲畜 2344 头。

对于这次带来严重灾害的龙卷天气,本文从高时间分辨率的卫星资料和雷达资料出发,结合常规资料、NCEP 再分析资料,试着从多尺度、多方面进行了初步分析。

1 龙卷风发生的天气尺度背景状况

图 2 给出了这次龙卷风天气出现的天气背景和环流形势。从 500hPa 高度场和风场上来看,中纬度东亚地区环流平直,45°N 以北为宽广的低压区,沿 35~45°N 纬度带上多短波槽活动,在山东中东部至河南南部有一个短波槽存在,在这个短波槽的上游大约 6 个经距处,即在陕西中部至四川盆地一带也有一个短波槽存在,这两个槽的温度场均略微落后于高度场,有弱冷平流使它发展东移。发生龙卷风天气的安徽和江苏位于副高 584hPa 线的外围,暖湿气流比较活跃。在 200hPa 风场上,主体位于青藏高原东部的南亚高压十分强盛,四川盆地向东至江苏中南部位于南亚高压东侧,东西向脊线北部有明显的辐散气流,特别是安徽中北部至江苏一带,位于高空急流的右侧,风向和风速的辐散

更为强烈。在 300hPa 风场和水汽的叠加图上(图 3, 见彩页)仍然可以清楚地看到南亚高压的反气旋环流, 四川盆地至江苏以南的大部分地区是高空辐散区。水汽图上则显示山西南部 and 河南中西部是一个较弱的暗区, 它与山东中东部至河南南部的短波槽后的弱冷空气对应。这个暗区在未来几个小时里逐渐变暗并向东偏南方向移动, 表明有弱冷空气正在逐渐侵入安徽北部和江苏北部一带, 从而使上述地区的对流有效位能增加。这种中高层的环流形势具有合适的冷暖空气条件, 为强对流的发展提供了有利的天气背景。

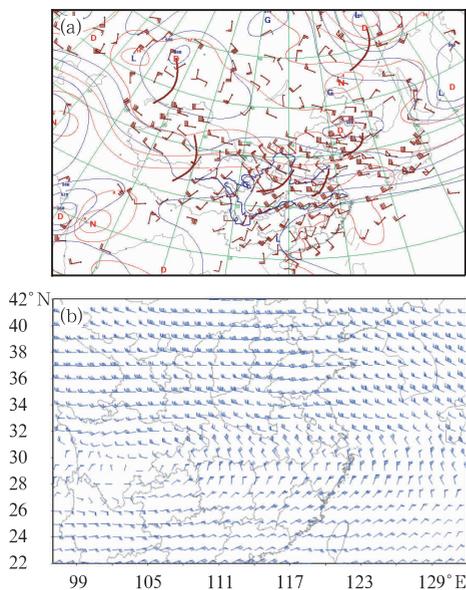


图 2 2007 年 7 月 3 日 00 时(UTC)500hPa 分析场(a)、200hPa 风场(b)

2 龙卷风发生的大气层结条件和物理量场

在对应的 850hPa 风场上(图 4, 见彩页), 从四川南部至黄海中部存在一条低空切变线, 在这条切变线以南, 自北部湾和南海北部至江淮方向有一支明显的低空急流, 最大风速达到 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上, 为强对流的发展提供了充足的暖湿空气条件。在同时刻的卫星红外云图上, 从四川盆地经江汉、江淮至黄海

中部是一条切变线云系, 云系上江汉地区云层较薄, 多为中低云, 四川东部和安徽北部多为对流性云。由于发生龙卷风天气的天长县没有探空资料, 而南京站离天长的直线距离不足 100km, 两站的高低空形势基本相当, 所以分析南京站的探空资料具有一定的参考意义, 图 4b(见彩页)是南京站当日 00UTC 的温度对数压力图, 对流有效位能为 $1554.3\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 对流抑制能量为 $181.3\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 自由对流高度为 828hPa。风随高度顺时针旋转, 逐渐由低层的西南风转为西北风。此时虽然具有比较大的对流有效位能, 自由对流高度也较低, 但存在一定的对流抑制有效位能, 在没有外界扰动的情況下, 没有强对流天气的发生。至下午 06:00UTC, 高层的弱冷平流使得对流有效位能进一步增加。图 4c(见彩页)是 850hPa 假相当位温场。由图可见, 江淮和江汉地区的假相当位温都在 350K 以上, 安徽中部和江苏中部是一大值中心, 在 355K 以上, 特别有利于强对流的发展。本次龙卷风天气发生的主要原因就是对流云团合并的激发作用, 使得对流有效位能释放, 产生强烈的对流性天气, 从而出现龙卷。

3 两条中尺度对流云带的发展和演变

从 FY-2C、2D 双星每 15 分钟一次的云图上连续观察云系的演变(图略), 至 05:15 UTC, FY-2D 可见光云图显示, 与 00UTC 相比, 前面所提到的切变线云系有所东移南压, 同时, 在切变线云系的中部(安徽北部)开始出现了一条对流云带。另外, 在湖北东部和河南南部有一条近似为东西向的带状对流云发展。随后, 这条对流云带发展到了安徽中部, 形成了另一条对流云带(为飑线)。它的发展十分迅速, 由一系列强对流云团组成。至 07:30UTC(图 5a), 箭头所指为上述两条对流云带)这两条云带进一步发展, 其中位于后一条对流云带前部的中尺度云团发展迅

速。切变线弱对流云带整体缓慢向南移动,构成云带的对流云块沿着云带缓慢向东移动。强对流飊线云带则由西北西向东南东方向移动,构成飊线云带的强对流云团则沿着云带由西南西向东北东方向移动。图 5b 是 08:00UTC 可见光云图,箭头所指为位于北侧的切变线弱对流云带。在接下来的 1 个小时里(图 5c,d),这条对流云带逐渐合并到南侧的较强的对流云带里,合并的地点是安徽天长和江苏高邮略微偏西北方向一点的地

方,合并后的云带逐渐移动到上述地区。由于两个系统的流场相互激发,促使上述地区的对流有效位能释放,在两条中尺度对流云带的云团相交合并处出现了发展更强大的对流云团,这与地面观测到的龙卷风发生的位置是一致的,因而可以断定是龙卷风发生在对流合并后的强对流云团里。而发生在兴化市的龙卷风则是同一条对流云带上两个对流云团的合并。

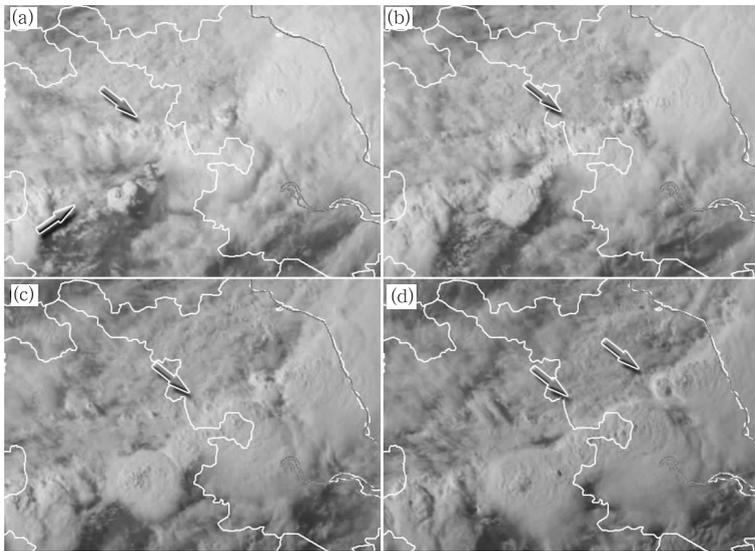


图 5 2007 年 7 月 3 日 07:00—09:00(UTC)每半小时一次可见光云图

4 中尺度云带上的强对流云团活动和龙卷风

由于龙卷的尺度较小,生命史短,必须借助于更高时间分辨率的多普勒雷达资料对此进行分析。图 6(见彩页)是 7 月 3 日 08 时 18—48 分(UTC)南京多普勒雷达站每 6 分钟一次雷达回波 PPI 图像,天线的仰角为 0.5 度,分辨率为 1km。从图上可以明显地看出两条对流云回波带,其中一条回波带位于图像的上方,从安徽蚌埠至江苏金湖西部,这条云带的回波强度较弱,雷达反射率因子多在 25~35dBz 之间,对应于卫星云图上的

弱对流云带;另一条回波带位于图像的中部,从安徽合肥至江苏金湖一带,这条回波带强度较强,雷达反射率因子多在 45~55dBz 之间,对应于卫星云图上的飊线。这两条对流云回波带,在安徽天长和江苏金湖一带相交,其中安徽天长的回波强度较大,连续观察这 6 幅回波图像,位于图像上方的弱回波带的回波强度逐渐减弱并缓慢南压,位于图像中部的强回波带特别是天长县境内的回波带则呈先增强后减弱的趋势,但其后来的减弱趋势并不明显,仍然维持 45dBz 以上的回波。两条回波带的移动方向和卫星云图上观测到的两条对流云带的移动方向是一致的。

从对应时刻的风暴相对径向速度图(图

7,见彩页)上可以看出,雷达站点的位置在图像的下方,图像的左半侧有朝向雷达站的速度分量,图像的右半侧有远离雷达站的速度分量。这样的相对径向速度场具有一定的垂直涡度,给尺度更小的中尺度气旋的产生提供了有利的环流背景。在08:18UTC的速度图上,在天长市有一个中尺度气旋生成,如图中箭头所指,至08:24UTC,在这个中尺度气旋的下方,又有一个中尺度气旋生成。这两个中气旋生成后向东南方向移动,进入到江苏高邮境内后逐渐消失。由于中尺度气旋在地面龙卷出现前就已经存在于龙卷母云中,而且比地面出现龙卷平均要早21分钟^[1],按此推算,就是这两个中气旋给天长和高邮的部分地区带了龙卷风天气。

根据每15分钟一次的FY-2C、2D静止卫星观测资料并综合以上分析,概括而成的这次龙卷风发生的云图演变概略图(图8)。此图说明,在两条对流云带相交或一条强飏线上前后两个对流云团合并,在相交处或云团合并处有更强的对流云团,甚至龙卷发生。

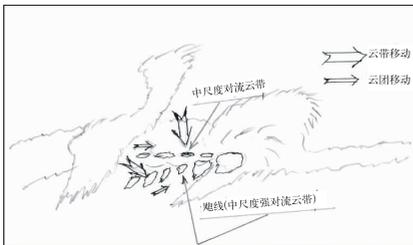


图8 强对流云团或龙卷风发生示意图

5 小 结

根据多种观测资料的综合分析,总结出

这次龙卷风发生的过程有如下特点:

(1) 切变线低层有较强的西南气流提供了丰富的水汽条件,中高层有弱冷平流和强辐散气流,形成了不稳定的大气层结,为强对流飏线的发展提供了有利的天气背景。

(2) 天气尺度切变线云系上的对流云带和飏线云带的合并和相交激发了更为强烈的对流云团发展,在这些强对流云团里有中尺度气旋产生,中气旋的出现又为龙卷风的出现提供了有利的背景条件。

致谢:安徽省气象局郑媛媛同志提供雷达资料,国家气象中心乔林和牛若云同志提供天气图和灾情资料。

参 考 文 献

- [1] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社,2001:396-397.
- [2] 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,2000:414-415.
- [3] 魏文秀,赵亚民. 中国龙卷风的若干特征[J]. 气象,1995,21(5):37-40.
- [4] Lee, B. D., B. F. Jewett, R. B. Wilhelmson. The 19 April 1996 Illinois tornado outbreak. Part I: Cell evolution and supercell isolation[J]. Wea. Forecasting, 2006,21, 433-448.
- [5] Lee, B. D., B. F. Jewett, R. B. Wilhelmson. The 19 April 1996 Illinois tornado outbreak. Part II: Cell mergers and associated tornado incidence[J]. Wea. Forecasting, 2006,21:449-464.
- [6] 俞小鼎,郑媛媛,张爱民,等. 安徽一次强烈龙卷的多普勒天气雷达分析[J]. 高原气象,2006,25(5):914-924.

曹治强等：2007年7月皖苏北部龙卷风初步分析

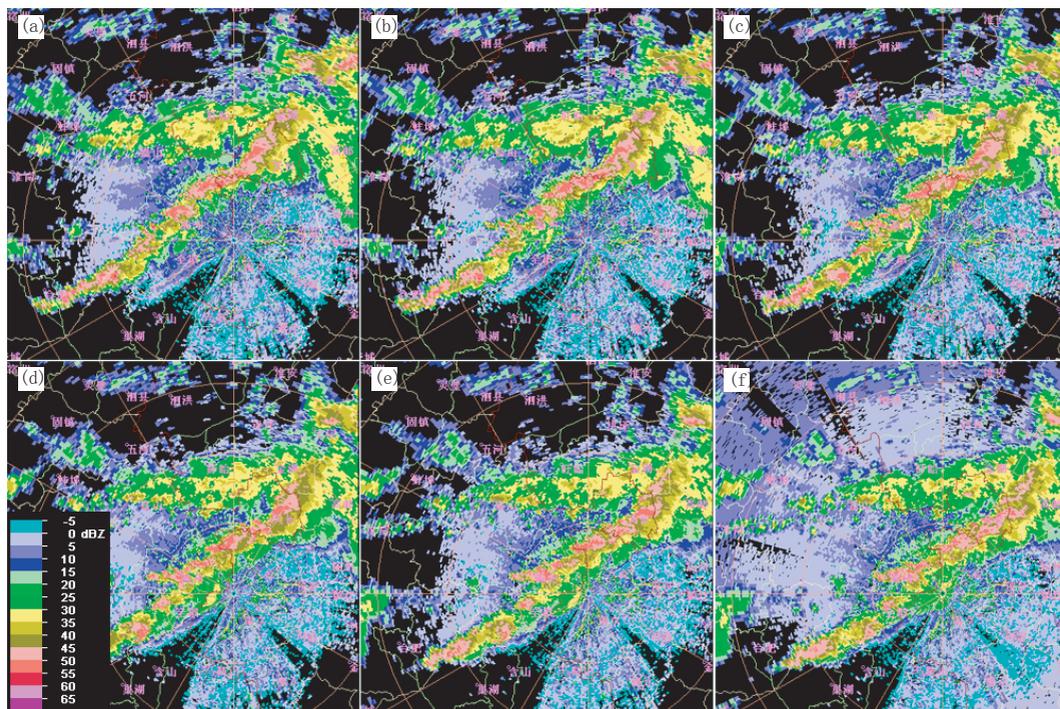


图6 2007年7月3日08时18-48分(UTC)每6分钟一次雷达回波强度

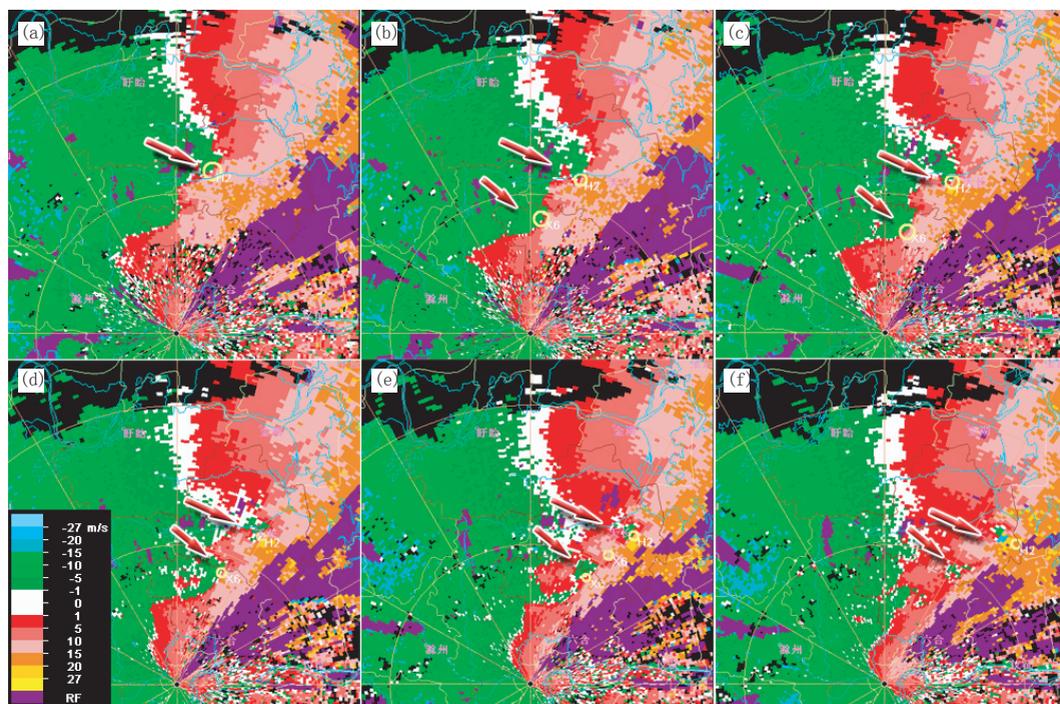


图7 2007年7月3日08时18~48分(UTC)每6分钟一次雷达回波风暴相对径向速度

曹治强等：2007年7月皖苏北部龙卷风初步分析



图1 龙卷风的活动路线示意图

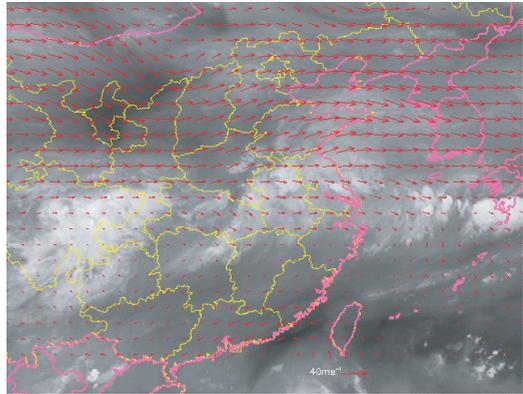


图3 2007年7月3日00时(UTC)300hPa风场和水汽通道图像

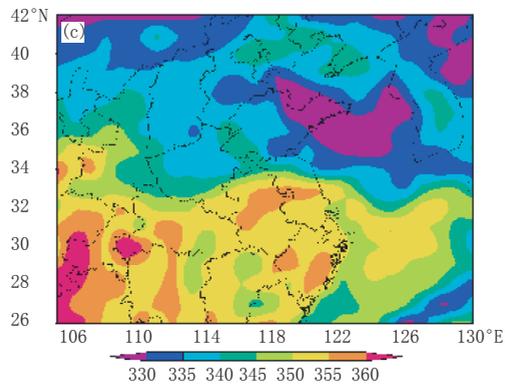
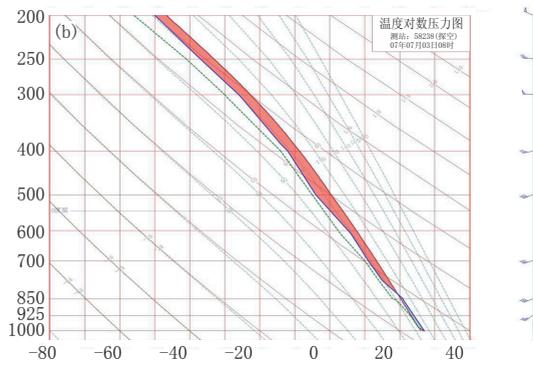
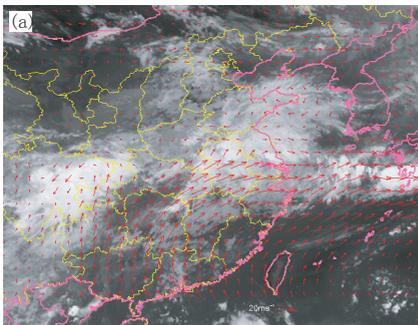


图4 2007年7月3日00(UTC)850 hPa风场和红外通道图像(a)、南京站温度对数压力图(b)和06UCT850hPa假相当位温(c)