文章编号:1004-4965(2007)05-0483-08

# 两次强龙卷过程的环境背景场和多普勒雷达 资料的对比分析

# 姚叶青<sup>1</sup>, 俞小鼎<sup>2</sup>, 郝莹<sup>1</sup>, 李劲<sup>1</sup>, 郑媛媛<sup>1</sup>

(1. 安徽省气象台, 安徽 合肥 230031; 2. 中国气象局培训中心, 北京 100081)

摘 要:通过分析发生在安徽省灵璧县(2005年7月30日)和无为县(2003年7月8日)的两次强龙卷 过程的环境背景场和雷达资料发现:(1) 在环境背景场方面,两次过程都发生在高空有低槽和切变线、地面 较为暖湿的环境中,且龙卷发生地附近都有低层边界(冷锋或雷暴外流边界等),低层垂直风切变较大。不同 之处是灵璧县龙卷0~1km的平均垂直风切变较大,0~6km的平均垂直风切变较小,而无为县龙卷的高、低 层的平均垂直风切变都很大。进一步分析得出,在对流有效位能达到一定值后,密度加权垂直风切变对对流的 组织和维持起到非常重要的作用。(2) 在雷达特征方面,两次龙卷过程的母体雷达反射率因子回波不同于经 典超级单体。虽然回波形态、强度和高度各异,但都存在强的中气旋,且其强核都出现在雷达可探测的最低高 度。中气旋内部的垂直涡度都很大,达到2~6个中气旋单位(一个中气旋单位=10<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)。另外,雷达导出产 品中的中气旋识别产品对强对流天气的监测有重要的应用价值,雷达超前于龙卷发生约半小时识别出中气旋, 这对龙卷的预警非常有意义。

关 键 词:龙卷;大气对流参数;多普勒天气雷达;中气旋 中图分类号:P445.1 文献标识码:A

# 1 引 言

强对流的产生离不开特定的环境因素,研究发 现决定对流产生和组织结构的环境因素包括:大气层 结的稳定性、风的垂直切变、水汽条件和抬升触发机 制<sup>[1]</sup>等。国外在这方面作过大量的研究<sup>[2-8]</sup>。我国于 上世纪九十年代末在全国进行新一代天气雷达的布 网建设,为强对流天气的监测和预警提供了最佳手 段,并在天气雷达的分析应用方面取得了一些很有价 值的研究成果<sup>[9-10]</sup>。但由于多普勒天气雷达布网建设 至今只有几年时间,仍有许多强对流天气过程的雷达 回波特征未得到详细的总结分析。另外强对流天气的 发生与环流背景和当地地形有很大关系,因此有必要 针对发生在我国的典型强对流个例,分析其产生的环 流背景和雷达回波特征。

# 2 两次龙卷过程环境背景场分析

2.1 两次龙卷过程天气形势对比分析

安徽省2005年7月30日11:30~11:50灵璧县韦集 和2003年7月8日23:20左右无为县百胜、六店分别发 生了强龙卷过程。灵璧县龙卷发生时,有人看到空中 有黑柱状物,两人被卷入空中,造成韦集镇多处房屋 倒塌,15人死亡,多人受伤。无为县发生龙卷时,数 人被卷入天空后跌入稻田,有的全村房屋几乎全部倒 塌,16人死亡,162人受伤。从灾后调查基本可判断 这两次龙卷强度都达到F2~F3级<sup>[11]</sup>。

分析 2005 年 7 月 30 日和 2003 年 7 月 8 日龙卷 发生前的探空和逐时地面自动气象加密观测资料发现:两次龙卷都发生在东北-华北的低槽前,低层 850 hPa 配合有西南风与东南风的暖式切变系统(图1)。 从图 2 可知,两次龙卷发生前的地面温度露点差值明

收稿日期:2006-04-21;修订日期:2006-08-16

基金项目:国家自然科学基金(40575014)"基于多普勒天气雷达观测中的中国超级单体风暴研究";中国气象局新技术推广项目 (CMATG2006M02);安徽省"十一五"科技攻关项目(06013140B)共同资助

作者简介:姚叶青,女,安徽枞阳人,高工,硕士,主要从事短期和强对流天气预报分析和研究。E-mail:zmhht@163.com

显偏小,基本为0~3。另外在龙卷发生前几小时 都出现过降水,说明两次龙卷过程都产生在低层较湿 的环境中。

2005 年 7 月 29 日夜里, 鲁南、苏北和安徽北部 开始出现雷暴天气并向南移动。对比逐小时地面自动 气象加密资料可清楚看到,雷暴中冷的下沉气流导致 了出现雷暴地区的地面温度急剧下降,离龙卷发生地 不远的固镇一小时降温达到 4.3 ,可见雷暴出现的 地区在其前部有一明显的类似于冷锋的边界形成。30 日 9 时后这一边界向龙卷发生地靠近, 11 时宿州至 蚌埠相距 83 km 的温度相差 7.7 (图 2a 中两实心 站点)。相似地,2003 年 7 月 8 日龙卷发生前的地 面图上也有一条类似冷锋的边界存在,23 时含山至 芜湖相距 55 km 的温度相差 3.4 (图 2b 中两实心 站点)。

通过上述分析可以看出,这两次龙卷产生的天 气形势有许多的相似之处:高空存在低槽和切变线系 统,低层湿度大;对应地面在龙卷发生前有类似冷锋 的边界向龙卷发生地移动。



图 1 2005 年 7 月 30 日 08 时 (a)和 2003 年 7 月 8 日 20 时 (b) 850 hPa 切变线 和风场以及 500 hPa 低槽分布 大圆圈为龙卷发生地。



图 2 2005 年 7 月 30 日 11 时 (a) 和 2003 年 7 月 8 日 23 时 (b) 地面温度(站点的左上方,单位:10<sup>-1</sup>)、 露点(站点的的左下方,单位:)与风场分布 说明同图 1。

2.2 两次龙卷过程大气对流参数的对比分析

下面用两次龙卷发生前的探空资料分别计算大 气 CAPE(对流有效位能)、算术平均垂直风切变、 BRNSHR(粗理查逊数的分母)和抬升凝结高度,分 析龙卷发生前的大气状况。

两次龙卷发生前其上游的 CAPE 均大于 1 000 J/kg(图3)。2005年7月30日08时,由于龙卷发 生地的北部徐州已出现过对流性天气,能量已经释 放,故 CAPE为0J/kg,而其上游的阜阳为1143J/kg, 下游射阳和南京的 CAPE 均大于3000J/kg。2003年 7月8日20时,龙卷发生地的北部也由于已出现雷 阵雨天气而导致能量释放,其 CAPE 较小,但上游安 庆的 CAPE 达到2380J/kg。由此可见,在龙卷发生 前,龙卷发生地的对流有效位能比较大,均大于1000 J/kg。

图 4a 和 4d 分别为 0~6 km 算术平均垂直风切 变  $(V_6 - V_0)/6000$ ,图 4b 和 4e 分别为 0~1 km 算术平 均垂直风切变  $(V_1 - V_0)/1000$ 。出现对流天气的安徽和 江苏 0~6 km 的垂直风切变大于其它地方。2005 年 7 月 30 日 08 时(图 4a)龙卷发生地附近 0~6 km 的 垂直风切变在 2×10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>~3×10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>之间,垂直风切 变不大,但 0~1 km 的垂直风切变(图 4b)在最靠 近龙卷发生地的徐州站达到 6.4×10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>。2003 年 7 月 8 日 20 时 0~6 km 垂直风切变大约为 4×10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>, 而离龙卷发生地较近的安庆的 0~1 km 垂直风切变 高达 12.6×10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>(图 4e)。Thompson 等<sup>[5]</sup>分析研 究了超级单体和龙卷的多种对流参数的统计值,得到 F2级以上龙卷0~6km垂直风切变平均值为4×10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>,下限3×10<sup>-3</sup>s<sup>-1</sup>。0~1km垂直风切变平均值为 9.5×10<sup>-3</sup>s<sup>-1</sup>,下限为5.5×10<sup>-3</sup>s<sup>-1</sup>。且认为0~1km 垂直风切变对判断龙卷更为有效。由此可见2005年 7月30日虽然0~6km垂直风切变不大,但低层的 切变值接近国外统计出现强龙卷的下限,而2003年 7月8日龙卷0~6km垂直风切变达到了国外统计的 平均值,尤其是低层超出其平均值,非常有利于F2 级以上强龙卷的产生。

BRNSHR(粗理查逊数的分母)是另一种反映 大 气 垂 直 风 切 变 的 的 大 气 对 流 参 数<sup>[7 - 8]</sup>。 由 于 BRNSHR=0.5 *U*<sup>2</sup> , Davies 认为直接用 *U* 反映 BRNSHR 的大小意义更明确,本文中也用 *U* 反映其大小,具 体计算为

$$U = \frac{\int_{0}^{z} \rho(z) |V(z)| dz}{\int_{0}^{z} \rho(z) dz} - 0.5[V(0) + V(0.5)]$$

本文中高度 z 取 6 km , U 即为地面以上 6 km 平 均风与边界层平均风之间的矢量差(密度加权垂直风 切变)(图 4c 和 4f)。从图 4c 和 4f 明显看出:2005 年 7月 30日龙卷发生地附近的 BRNSHR 几乎达到 8 m/s,2003 年 7月 8 日的 BRNSHR 达到 15 m/s 左右。 虽然前者的 BRNSHR 比后者小得多,但两次发生龙 卷附近的 BRNSHR 都远远高出其它地区。Devies 等 统计发现,强龙卷(F2~F5 级)0~6 km 的 BRNSHR 大约在 6~22 m/s,平均值为 13.8 m/s。2003 年 7月 8 日的 BRNSHR 超出国外统计的发生强龙卷的平均 值,2005 年 7月 30 日也达到了发生 F2 级以上强龙 卷的阈值。



图 3 2005 年 7 月 30 日 08 时 (a) 和 2003 年 7 月 8 日 20 时 (b) 对流有效位能 (CAPE) 说明同图 1。



图 4 2005 年 7 月 30 日 08 时(上图)和 2003 年 7 月 8 日 20 时(下图)0~6 km(a,d)和 0~1 km(b,e) 算术平均垂直风切变、BRNSHR(密度加权垂直风切变,c,f) 说明同图 1

随着对强对流天气研究的深入,一些研究发现 抬升凝结高度的高低也影响到龙卷的发生<sup>[3, 5-6]</sup>,虽然 目前对这一说法还没有得到理论解释,但一些观测事 实却是如此。Thompson等<sup>[5]</sup>统计发现产生 F2 级以上 强龙卷的平均抬升凝结高度低于 981 m, 弱龙卷的平 均抬升凝结高度为 1 179 m, 未出现龙卷的超级单体 平均抬升凝结高度为 1 338 m。2005 年 7 月 30 日 08 时和 2003 年 7 月 8 日 20 时的探空资料显示, 龙卷发 生地附近抬升凝结高度确实都较低,基本在 500 m 以 下。2005 年 7 月 30 日 08 时龙卷发生地的上游阜阳 的抬升凝结高度为 274 m,下游射阳为 0 m(图 5a)。 2003 年 7 月 8 日 20 时龙卷发生地的上游安庆的抬升 凝结高度为 537 m,下游南京为 0 m(图 5b)。这两 次龙卷发生地抬升凝结高度较低的事实与国外的研 究结果一致。

进一步比较 CAPE 和 BRNSHR 发现, BRNSHR

能更好地预示强对流的发生及落区。2005 年 7 月 30 日安徽南部的 CAPE 均比北部大,似乎南部更容易出 强对流,但通过对 BRNSHR 的分析发现,北部比南 部的垂直风切变大,实况是北部的对流更剧烈,落区 与密度加权垂直风切变大值区吻合得更好。可见能量 只是对流发展的一个重要方面,当能量达到一定值 后,密度加权垂直风切变对对流的组织和维持起到非 常重要的作用。



图 5 2005 年 7 月 30 日 08 时 (a)和 2003 年 7 月 8 日 20 时 (b)抬升凝结高度分布 说明同图 1。

从大气对流参数角度分析得出:两次龙卷过程 发生时的抬升凝结高度均较低(小于 500 m)。对流 有效位能均大于 1 000 J/kg,低层算术平均垂直风切 变较大;不同的是 2005 年 7 月 30 日大的算术平均垂 直风切变仅出现在低层,而 2003 年 7 月 8 日的高、 低层算术平均垂直风切变都很大。BRNSHR 即密度 加权垂直风切变对龙卷的指示性最好,龙卷发生地附 近的 BRNSHR 明显高于其它地区。

# 3 多普勒雷达资料分析

#### 3.1 两次龙卷过程的强度场演变分析

在基本反射率图上,2005年7月30日早晨在山 东南部和安徽北部就出现了对流回波。9时在回波的 南侧新生出几个对流单体并呈东北-西南向排列,此 后这几个对流单体逐渐发展合并,形成对流回波带并 向东南方向移动。10:35时回波带中南部的两个单体 发展较为旺盛,强度均达到65dBZ以上(最强达73 dBZ,图略)。11:11时这两个对流单体趋于合并, 在回波带的最南端形成一外形略呈椭圆的强回波。 11:23时该回波逐渐向"S"形演变,这是内部强烈 气旋式旋转的外在表现,到11:35时这种旋转结构最 为清楚(图6a~6f,30dBZ以下的回波被过滤)。 11:35时多普勒径向速度场上中气旋核位于灵璧县韦 集镇(龙卷出现的地点),说明韦集的龙卷出现在 11:35时左右,与事后群众反映的时间一致。11:41 时开始,"S"形特征逐渐消失,回波变为近似椭圆 形。之后回波向东南偏东方向移动进入江苏,在安徽 的泗县和江苏北部造成地面大风和短时强降水等灾 害性天气。

2003 年 7 月 8 日的龙卷回波演变及形态不同于 上述龙卷。2003年7月8日长江中下游地区正处于 梅雨季节,在梅雨锋上有一江淮气旋发展,而气旋的 西南方有一冷锋回波带,回波带中强度超过 30 dBZ 的回波表明,其长度大于 200 km, 宽约 30 km, 在其 前侧 30 km 离气旋中心不远处有一长度约 50 km 的回 波,强度和后面的冷锋回波带相当,约30~53 dBZ, 龙卷便产生在这条短回波带的前侧(图 6g, 20 dBZ 以下回波被过滤)。根据事后灾情报告,龙卷发生在 无为的百胜和六店。对比雷达探测到的中气旋位置, 基本可以判断百胜的龙卷发生在 23:12 时左右, 而六 店的龙卷发生在 23:13~23:23 时之间。龙卷发生前 后在雷达反射率因子图上回波强度没有明显的变化, 龙卷母体与冷锋上降水回波形态和强度基本没有区 别,龙卷母体的强度在百胜 23:12 时约 48 dBZ (图 6h, 30 dBZ 以下回波被过滤), 六店 23:23 时约 48~ 53 dBZ (图 6i, 30 dBZ 以下回波被过滤)。

这两次龙卷母体的回波强度特征是明显不同 的:2003 年 7 月 8 日的龙卷母体的形态和强度与冷 锋上降水回波基本相同,而 2005 年 7 月 30 日龙卷母 体强度明显强于其他回波,且呈现"S"型,很容易 5期

从大片回波中识别出来。

3.2 两次龙卷过程的多普勒径向速度特征

这两次龙卷过程在多普勒径向速度场上都存在 明显的中气旋(本文中气旋的分析为雷达实际探测结 果,没有剔除风暴系统的移动速度)。2005年7月30 日 10:35 时已经探测到正负速度对(之前由于距离折 叠原因,有些速度信息无法得知)。伴随强回波正负 速度对向东南偏东方向移动,加强为中气旋,按照美 国 Oklahoma 统计标准,174 km 处旋转速度 [( $V_{max}$ - $V_{min}$ )/2]达到 18.5 m/s 时可以认为达到强中气 旋标准。按此标准,11:17时便出现了强中气旋(最大 正速度和最小负速度分别为17 m/s和-24 m/s,见图 7a),11:35时中气旋达到最强(图 7b),最大正速度和 最小负速度分别为32 m/s和-24 m/s,且正负速度对 相距约6 km,垂直涡度(2×(V<sub>max</sub>-V<sub>min</sub>)/D,D为最大 正速度和最小负速度之间的距离)达到1.87×10<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 即达到1.87个中气旋单位。虽然龙卷出现地点离雷 达相距174 km,无法识别龙卷涡旋特征,但可明显 看出龙卷产生于一个很强的中气旋内且垂直涡度较 大。



图 6 2005 年 7 月 30 日 (a~f) 和 2003 年 7 月 8 日 (g~i) 的龙卷母体反射率因子



图 7 2005 年 7 月 30 日 (11:17、11:35 时, 雷达位于图的下侧偏左)和 2003 年 7 月 8 日 (23:12~23:29, 雷达位于图的左上侧) 龙卷发生地附近的多普勒雷达径向速度

2003 年 7 月 8 日在梅雨锋回波带上一直伴有一 个或一个以上的正负速度对或中气旋,并不断生消。 这些中气旋除了夜里在安徽造成龙卷外,白天在湖南 和湖北也出现了龙卷。23:12 时前后安徽百胜出现龙 卷时中气旋的最大正速度和最小负速度分别为 17 m/s 和-24 m/s,相距 2.58 km (图 7c),垂直涡度达 3.2×10<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>。随后中气旋向西北方向移动。强度时强 时弱,在到达六店之前的23:18时中气旋正负速度对 仅相距1.29 km,垂直涡度增加到6.3×10<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>,23:23 时中气旋有所减弱,最大正速度和最小负速度分别 为12 m/s和-24 m/s,23:29时气旋再次加强(图 7d~7f),但此时气旋经过的乡镇没有接收到龙卷 报告,也许龙卷从无人居住的田野等地经过。

对比两次龙卷过程的多普勒径向速度,龙卷均 产生于强的中气旋和较大的垂直涡度环境中,且 2003年7月8日的中气旋垂直涡度比2005年7月30 日的更大。

#### 3.3 龙卷风暴的结构分析

对于超级单体的定义有不同的说法,其中 Browning<sup>[12]</sup>认为出现中气旋的单体可认为是超级单体,本文将采用此定义。对比 2005 年 7 月 30 日龙卷 发生前后不同仰角的雷达反射率因子图可发现,这次 超级单体不同于经典超级单体,没有前倾结构,在入 流一侧低层的弱回波区对应上层也是弱回波区,而上 层的强回波中心对应低层同样也是强回波中心(图 8a~8d)。但韦集北部中低层的入流缺口比较清楚(图 8a)。而 2003 年 7 月 8 日的龙卷反射率因子图上虽 然龙卷母体易于与一般降水回波相混淆,但对比不同 仰角明显看出这次龙卷母体结构类似于经典超级单体。0.5 度仰角图上(图 8e)的入流缺口处对应 1.5 度仰角的强回波中心(图 8f),继续向上与 3.4 度仰角的回波后部相对应(图 8h),可见回波的前倾非常明显,且 0.5 度仰角上入流缺口很清楚(图 8e 中黑色三角形右侧),配合中气旋出现在入流缺口一侧,所以说这次龙卷母体结构类似经典超级单体,但钩状结构不太清楚。

沿着中气旋正负最大速度中心对多普勒径向速 度进行垂直剖面(图9,垂直剖面位置见图7b和7f 两幅图中的黄线)。2005年7月30日的中气旋伸展 到6km以上的高度,而2003年7月8日的中气旋高 度较低,约为3km。但中气旋中垂直涡度最强的核 都较低,都出现在雷达可探测的最低高度上,这或许 正是地面出现龙卷的风暴内在机理之反映,有待进一 步积累资料深入研究。



图 8 2005 年 7 月 30 日 11:35 时 (a~d) 和 2003 年 7 月 8 日 23:18 时 (e~h) 的 0.5 (a、e)、1.5 (b、f)、 2.4 (c、g)、3.4 (d、h) 度仰角的反射率因子



图 9 2005 年 7 月 30 日 11:35 时 (a) 和 2003 年 7 月 8 日 23:29 时 (b) 沿中气旋的最大正负速度方向 的多普勒径向速度垂直剖面

3.4 雷达导出产品在龙卷监测中的应用

我国新一代多普勒天气雷达除了提供雷达基本 产品之外,还提供一些导出产品,如中气旋识别、龙 卷涡旋特征、风暴结构等。下面将讲述这些导出产品 在这两次龙卷过程中的应用。

2005 年 7 月 30 日 10:59 时在韦集的西北部开始 识别出中气旋(图 6 中黄圈,图中反映中气旋的多普 勒径向速度场没有剔除风暴的移动速度),直到 11:59 时以后中气旋消失。从雷达导出产品 10:59 时开始识 别出中气旋到龙卷发生(约 11:35 时)之间相隔 36 分钟。2003 年 7 月 8 日 22:43 时在百胜的西南部就识 别出中气旋,但随后时有时无。从雷达导出产品 22:43 时开始识别出中气旋到百胜龙卷发生(约 23:12 时) 之间相隔 29 分钟。

通过这两次龙卷过程中导出产品之一(中气旋 识别)的应用可看出,中气旋产品对监测龙卷这类强 对流天气很有帮助,说明中气旋超前于龙卷出现约 30分钟,这对龙卷的预警非常有意义。

## 4 小 结

通过对安徽两次 F2 级以上龙卷的环境背景场、 大气对流参数和多普勒雷达资料的分析可以得到以 下结论:

(1)两次龙卷过程天气形势的共同特征是: 高空有低槽和切变线,地面较为暖湿,尤其是龙卷发 生前,地面有类似冷锋的边界向龙卷发生地方向移动。

(2) 在大气层结方面,两次龙卷发生时抬升 凝结高度均较低(小于 500 m),对流有效位能较大 (大于 1 000 J/kg),BRNSHR 在龙卷发生地附近明 显大于其它地方。不同之处是 2005 年 7 月 30 日的算 术平均垂直风切变深层不大,但低层较大,而 2003 年7月8日的高、低层算术平均垂直风切变都很大, 且远大于 2005 年7月 30日的。

(3) 对比龙卷发生地与其它地区发现:最强的对流出现在密度加权垂直风切变(BRNSHR)较大的地方,而并非出现在对流有效位能最大的地方。可见,当对流有效位能达到一定值后,密度加权垂直风切变对对流的组织结构和维持起到非常重要的作用。

(4) 2005 年 7 月 30 日龙卷母体反射率因子较 大,约 53~58 dBZ,在龙卷发生前后反射率因子形 态出现气旋式旋转的"S"型,但无前倾结构,在低 层入流缺口一侧径向速度场上有很强中气旋相对应, 中气旋内垂直涡度较大,约为 2 个中气旋单位。而 2003 年 7 月 8 日龙卷产生于类似经典的超级单体中, 前倾明显,存在弱回波区,但龙卷母体反射率因子基 本在 53 dBZ 以下,不易与一般梅雨锋上其它对流回 波相区分。在低层入流缺口一侧也有强中气旋相对 应,垂直涡度达到 3~6 个中气旋单位,大于 2005 年 7 月 30 日的。两次龙卷的中气旋强核都出现在雷 达可探测的最低高度上。

(5) 导出产品对监测龙卷这类强对流天气很 有帮助,尤其是"中气旋识别"产品对龙卷预警有重 要应用价值。两次龙卷发生前半小时左右,雷达上已 便识别出中气旋,中气旋的出现和中气旋的强弱对识 别龙卷非常有意义。今后还要从机理上、结论的普遍 适用性、预报因子的寻求及相应阈值等方面对龙卷的 识别及预警作进一步探讨研究。

#### 参考文献:

[1] 俞小鼎, 王迎春, 陈明轩, 等. 新一代天气雷达与强对流天气预警[J]. 高原气象, 2005, 24 (3): 456-464.

- [2] LANCHARD D C. Assessing the vertical distribution of convective available potential energy[J]. Wea Forecasting, 1998, 13(3): 870-877.
- [3] RASMUSSEN E N, BLANCHARD D O. A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters[J]. Wea Forecasting, 1998, 13(4): 1 148-1 164.
- [4] JOHNS R H, DAVIES J M, LEFTWICH P W. Some wind and instability parameters associated with strong and violent tornadoes : Variations in

the combinations of wind and instability parameters : The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards , Geophys Monogr[J]. Amer Geophys Union, 1993, 79: 583-590. [5] THOMPSON R L, EDWARDS R, HART J A. An assessment of supercell and tornado forecast parameters with RUC-2 model close proximity sounding[C]//Preprints 21st Conf On Severe Local Storm. San Antonio: Amer Meteor Soc, 2000b: 595-598.

[6] ERIKN R. Refined supercell and tornado forecast parameters[J]. Wea the Forecasting, 2003, 18(3): 530-535.

- [7] DEVIES J M. On BRN shear and CAPE associated with tornadic and environment[C]//Preprints 19th Conf On Severe Local Storms. Minneapolis: MN, Amer Meteor Soc, 1998: 599-602.
- [8] DEVIES J M. Deep layer shear as a refinement to CAPE and low-level shear in tornado forecasting[C]//Preprints 18th Conf On Severe Local Storm. San Francisco: CA Amer Meteor Soc, 1996: 698-702

[9] 王峰云, 王燕雄, 陶祖钰. 单多普勒天气雷达的中尺度风场探测技术研究[J]. 热带气象学报, 2003, 19(3): 291-298.

[10] 万齐林, 薛纪善, 陈子通, 等. 雷达TREC风的三维变分同化应用与试验[J]. 热带气象学报, 2005, 21(5): 449-457.

[11] FUJITA T T. Tornadoes and downburst in the context of general plenetary scales[J]. J Atmos Sci, 1981, 38(8): 1 511-1 534.

[12] BROWNING K A. The structure and mechanisms of hailstorms[J]. Amer Meteor Soc Monog, 1978, 38(1): 1-36.

### THE CONTRASTIVE ANALYSIS OF SYNOPTIC SITUATION AND DOPPLER RADAR DATA FOR TWO INTENSE TORNADO CASES

YAO Ye-qing<sup>1</sup>, YU Xiao-ding<sup>2</sup>, HAO Ying<sup>1</sup>, LI Jin<sup>1</sup>, ZHENG Yuan-yuan<sup>1</sup>

( 1. Anhui Meteorological Observatory, Hefei 230031, China;2. China Meteorological Administration Training Center, Beijing 100081, China )

Abstract: Two F2 ~ F3 tornadoes, which occurred on 30 July 2005 in Lingbi and on 8 July in Wuwei, respectively, brought serious disaster to Anhui Province and greatly influenced the society. By analyzing the synoptic situation and Doppler radar data, it is found that the two cases have the same characteristics in synoptic situation. They both happened where there were high-level troughs and shears with warm, moist atmosphere on the surface, boundary-layer convergence line (such as cold front or thunderstorm outflow boundary etc) where tornadoes happened, and large low-level vertical wind shear. However, the difference between the two cases is that for Lingbi the vertical wind shear (VWS) is large at the  $0 \sim 1$  km low level but is small on the  $0 \sim 6$  km deep layer; for Wuwei VWS is large at both the  $0 \sim 6$  km and  $0 \sim 1$  km levels. With comprehensive analysis, the result displays that vertical wind shear has an important effect on the organization and maintenance of convective systems when CAPE exceeds a threshold. The radar base reflectivity factors of the two tornadoes are different from classical supercells, and the shape, intensity, and height of the echos are also different. But strong mesocyclone appeared in both tornado events and all the strong mesocyclone cores located at the lowest detectable height of radar. Vertical vortex of mesocyclone in the two tornadoes is about  $2 \sim 6$  mesocyclone units (one mesocyclone unit is  $10^{-2}$  s<sup>-1</sup>), and vertical vortex on 8 July 2003 is greater than that on 30 July 2005. Radar-derived products, such as products of mesocyclone, are very useful to detect strong convective weather, Especially, the appearance of mesocyclone is half an hour earlier than that of tornado, which is quite important for tornado warning.

Key words: tornado; convective parameter; Doppler weather radar