

# 2020年梅雨期江苏两次龙卷过程环境背景和龙卷母风暴形态特征分析

周晓敏 郑永光

(国家气象中心, 北京 100081)

**摘要:** 2020年6—7月, 江苏省发生了两次龙卷事件, 分别在6月12日高邮以及7月22日宿迁、连云港、盐城三市。利用观测与再分析资料对产生两次龙卷的雷达资料特征、天气背景和对流环境条件特征进行了对比分析。雷达回波显示产生两次龙卷的对流系统特征显著不同: 6月12日是独立于主雨带回波外的离散单体, 在高邮市产生了一个龙卷, 持续时间较长; 而7月22日产生龙卷的单体镶嵌于主雨带回波南端, 生命史内跳跃式移动, 影响了邻近的几个市县; 但都有识别到超级单体特征。这两次龙卷均发生在我国东部龙卷最高发的地区和季节, 天气尺度背景都为典型的梅雨期暴雨环流。产生龙卷的中尺度对流系统发生在地面暖锋南侧高低空急流耦合区域, 不同之处在于前一次的系统稳定少动, 后一次则相对发展更加快速且强烈。从对流环境条件来看, 两次过程都有有利于龙卷发生的中等偏强的对流有效位能、较好的低层湿度条件以及强的低层垂直风切变条件, 而7月22日的条件更加有利, 抬升凝结高度105 m, 0~1 km和0~6 km垂直风切变分别达11和26 m/s。

**关键词:** 龙卷, 梅雨期暴雨, 江淮气旋, 对流条件

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.06.008

## Analysis of Environmental Conditions and Tornado Storm Features of Two Tornadoes in Jiangsu during the Meiyu Period in 2020

Zhou Xiaomin, Zheng Yongguang

(National Meteorological Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

**Abstract:** In June and July of 2020, two tornadoes occurred in Jiangsu Province, which were located in Gaoyou on 12 June and Suqian, Lianyungang and Yancheng on 22 July, respectively. The property in the above areas was damaged, and no one was killed. We use observation and reanalysis data to compare and analyze the weather background and convective environmental conditions that produced the two tornadoes in this paper. The radar echo shows that the characteristics of the convection system that produced the two tornadoes are significantly different: On June 12, there was a discrete unit independent of the echo of the main rainband, which produced a tornado in Gaoyou City and lasted a long time; while on July 22, the unit that produced the tornado was inlaid at the southern end of the main rain belt echo, it moved leaps and bounds in the life history, affecting several nearby counties. The both tornadoes occurred in the regions and seasons where tornadoes occur most in eastern China, and the synoptic-scale backgrounds are typical rainstorm circulation during the Meiyu period. The mesoscale convective systems that produce the tornados occur in the high-low-level jet coupling area on the south side of the ground warm front. The difference is that the previous system was stable and less moving, and the latter developed more rapidly and intensely. From the perspective of convective environmental conditions, both processes have moderate to strong CAPE, better low-level humidity conditions and large low-level vertical wind shear that are conducive to the occurrence of tornadoes, especially the conditions on July 22 are more favorable, with lower lifting condensation level of 105m and stronger 0-1 km and 0-6 km vertical wind shear of 11 m/s and 26 m/s, respectively.

**Keywords:** tornado, rainstorm during the Meiyu period, Jianghuai cyclone, convective condition

### 0 引言

龙卷是强对流天气中最猛烈的一种, 易于造成

严重的人员伤亡和财产损失, 同时又因尺度小、发展快速, 在实际业务中预报预警难度很大, 是强对流领域内重要的研究对象之一。魏文秀等<sup>[1]</sup>对1981—1993年我国的龙卷统计分析指出, 中国龙卷风的高发区有两个, 第一个就是自长江三角洲经苏北平原至黄淮平原, 呈南北走向, 最大中心在山东和江苏交界处的平

收稿日期: 2020年9月3日; 修回日期: 2020年10月29日  
第一作者: 周晓敏(1991—); Email: zhouxm@cma.gov.cn  
资助信息: 国家重点研发计划(2018YFC1506104)

原湖泊处。范雯杰等<sup>[2]</sup>利用1961—2010年的龙卷记录进一步指出,江苏是我国强龙卷发生最多的省。孙继松等<sup>[3]</sup>也指出,苏皖平原是我国龙卷天气发生最为频繁的地区之一,时间分布上以6—8月出现最多。从气候上来说,6—7月江淮地区正处于梅雨季节,暴雨过程频繁,对流条件好,因此常常有龙卷伴随在梅雨期强降水过程中发生。据曾明剑等<sup>[4]</sup>的统计结果,这类龙卷约占江苏龙卷的30%,在2016年,盐城市阜宁县更是发生了EF4级的强龙卷,造成了98人死亡,846人受伤,死亡人数居历年之首<sup>[5-7]</sup>。

近几年来,已经有很多研究从个例分析或统计的角度对梅雨期江淮地区龙卷进行了探索,对龙卷产生的环境条件以及对流演变、风暴结构等都有了一定的研究结果<sup>[8-11]</sup>。姚叶青等<sup>[12]</sup>对发生在梅雨期间的两次强龙卷过程分析中指出,梅雨期间较好的低层暖湿气流、中层弱冷空气、低空急流或低层低涡为强龙卷的产生创造了良好的环境。何彩芬等<sup>[13]</sup>分析了宁波市一次台风前部龙卷发生发展的环境特征和雷达回波特征,认为下湿中干、强的垂直风切变及地形条件等有利于局地弱龙卷的产生。张一平等<sup>[14]</sup>对河南两次暴雨过程中的弱龙卷过程的天气背景、环境特征以及雷达特征进行了分析,提出了一些与暴雨相伴的龙卷过程的预报预警思路。但是,针对梅雨期江淮地区EF2级及以下强度的龙卷过程的分析还有不足,有待更多个例的研究。

2020梅雨期间,江苏省发生了两次初步判断为EF2级强度的龙卷事件,分别于6月12日发生在高邮以及7月22日发生在宿迁沭阳、连云港灌南和盐城响水,前者位于江淮地区东部,后者位于淮北东部,均是龙卷高发地区。本文利用自动站观测资料、多普勒雷达资料以及 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的NCEP FNL分析资料对这两次龙卷过程进行了对比分析,重点分析了其天气学环流背景、对流环境条件以及雷达上龙卷母风暴形态特征,希望能为梅雨期江淮地区龙卷过程的预报思路提供一些参考。

## 1 天气实况和雷达回波特征

### 1.1 天气实况

2020年6月12日13:48—14:10(北京时,下同),江苏省高邮市城南区勤王、管伙、浩芝三个村镇出现了龙卷天气。龙卷及地宽度80 m左右,路径长达1 km,袭击范围内造成了群众房屋以及基础设施等不同程度的损毁。根据房屋损害、树木折损程度和目击描述,按照龙卷EF等级标准,江苏省气象局确定此次龙卷等级为EF2级。

此次龙卷事件实际发生在一次持续的强降水过程中,6月上旬刚刚入梅,受西风带短波槽和持续的江淮气旋影响,从6月11日夜间到17日,长江沿江一带尤其江淮地区连续出现大到暴雨天气,同时伴有雷电、短时强降水和雷暴大风等强对流天气。图1是区域自动站在龙卷发生前后时段内的天气实况,可以看到在13和14时两个小时内,安徽东部到江苏北部出现了20 mm以上的短时强降水,主雨带沿西北—东南向移动加强,从安徽扫向江苏,同时在雨带南侧多站出现8级以上雷暴大风天气。值得注意的是,龙卷发生的位置在主雨带东南侧,该区域内仅一个自动站(高邮镇)监测到了孤立的雷暴大风,小时极大风速17.5 m/s,在13:57测得。而该站点在14时小时降水为11.1 mm。

7月22日22时左右的一个小时内,江苏省宿迁、连云港、盐城市部分地区接连遭遇龙卷风袭击,三处龙卷影响时间都在5 min以内,宽度约为100~200 m,接地范围长1~2 km左右,根据灾情情况,经江苏省气象局预报专家组与国家气象中心初步验证判断也是一次EF1~EF2级龙卷。

7月22日,江苏刚刚出梅。此次龙卷事件同样发生在一个强降雨过程中,但与6月12日的龙卷不同的是,此次强降雨过程是一个快速而强烈的过程,从7月22日午后开始,雨带自西向东快速扫过山东南部 and 苏皖北部,造成以上地区出现持续的短时强降水,同时伴随有雷电和8~10级雷暴大风,到23日凌晨已经入海。区域自动站监测(图2)显示,22日22和23时,陆地上强回波移动到山东东南部和江苏北部,主要影响连云港南部和盐城北部部分县镇,影响区域内小时降水量在20~50 mm,最强在灌南县三口镇站72.9 mm。该区域内同时伴随有8~10级雷暴大风天气,龙卷发生时段前后共有3个自动站的瞬时极大风速超过8级,其中一个在灌南县花园乡站测得19.7 m/s,时间为22:31,该站点距第一个龙卷发生地李集镇不到20 km;还有一个是在22:49于响水县四明镇测得的19.9 m/s的大风,基本位于龙卷发生位置。

### 1.2 雷达回波特征

经典超级单体龙卷一般发生在钩状回波后侧下沉气流和上升气流交界处<sup>[15]</sup>,而伴随暴雨的弱龙卷则可能发生在暴雨螺旋雨带中部强回波向东凸起的强降水下沉气流和上升气流交界处<sup>[14]</sup>。然而,龙卷的形成主要受小尺度过程的控制,大尺度和中尺度环境条件对于龙卷的形成仅有指示作用,所以即使在环境条件类

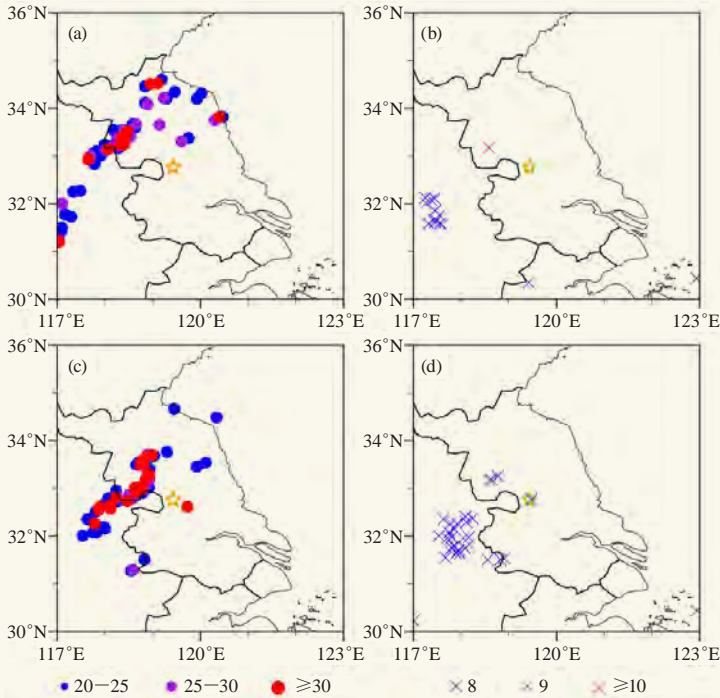


图1 2020年6月12日12—13时 (a、b)、13—14时 (c、d) 自动站观测的1 h降水量 (单位: mm, 星标: 高邮市) 和瞬时极大风 (单位: 风级) (星标处为龙卷影响区域)

Fig. 1 The 1-hour precipitation (unit: mm, star: Gaoyou city) and instantaneous extreme wind (unit: wind level) observed by automatic stations at 12–13 (a, b) and 13–14 BT (c, d) 12 June 2020 (The star indicates the area affected by the tornado)

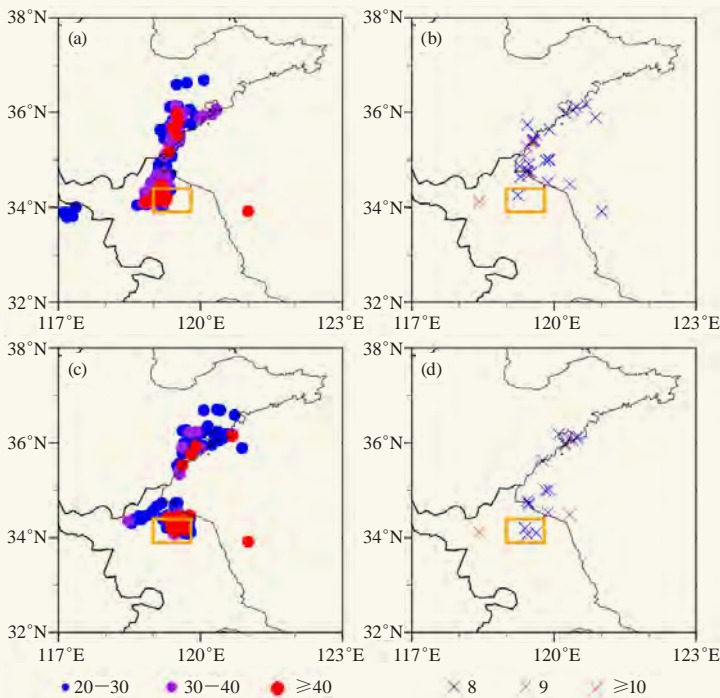


图2 同图1, 但为7月22日21—22时 (a、b) 和22—23时 (c、d) (矩形框内为龙卷影响区域)

Fig. 2 Same as Fig. 1, but at 21–22 (a, b) and 22–23 (c, d) 22 July 2020 (The area affected by the tornado is in the rectangular frame)

似的情况下, 是否会形成龙卷仍然具有很大的随机性<sup>[16]</sup>。我国梅雨期龙卷的雷达探测分析发现, 梅雨期龙卷或由镶嵌于梅雨雨带中的对流单体发展引发, 或由梅雨带南侧的孤立对流单体强烈发展所致<sup>[4]</sup>。而本文中所研究的两个个例恰好分别属于以上两类。

6月12日造成龙卷的对流单体从11: 30开始从安徽省天长市境内开始生成, 此时主雨带回波还在其西北方向上, 之后主雨带回波开始东移加强并组织化, 形成了一条准现状对流带, 而天长境内的对流单体同时也快速加强东移, 大约在13: 30已经完全进入江苏高邮市界, 回波中心强度超过了65 dBZ, 且在13: 25已经有明显的中气旋速度对 (图略)。图3是南京雷达13: 48的反射率因子和径向速度图, 可以看到, 此时主雨带呈细长的线状对流带, 从安徽中东部伸向江苏北部, 大片40 dBZ以上的回波区。而位于该主回波带右侧高邮境内的孤立超级单体, 具有钩状回波特征, 最强回波超过60 dBZ, 中气旋最大旋转速度达到了26 m/s, 维持了约10 min左右, 龙卷即发生在此时段内。随后, 该单体减弱东移。

7月22日从午后开始, 在河南东南部、山东南部到苏皖北部有大片回波开始发展, 在东移过程中西边界逐渐组织化形成了一条准现状对流带, 其南段从17: 30开始从安徽北部扫过, 之后该对流带继续加强东移, 形态逐渐变粗, 北段入海, 南段进入江苏北部, 到21: 30左右, 其南端生成超级单体, 该单体完全镶嵌在对流带中, 回波中心强度最强达到了60 dBZ, 最强回波顶高超过了9 km; 且已经有明显的中气旋速度对, 最大旋转速度约26 m/s, 此中气旋维持, 于21: 48左右在宿迁市沭阳县形成了龙卷 (图4a, 宿迁雷达), 接地持续了3 min左右。到此时, 回波主体已经基本不成带状, 镶嵌其中的超级单体继续东移进入连云港市灌南县, 强度维持 (图4b, 宿迁雷达), 随之龙卷袭击了李集镇, 持续了约5 min。接着, 随着这片主回波的接续东移, 该单体移动到了盐城市响水县, 反射率因子强度有所减弱, 超级单体的回波特征已经不明显, 但仍然可以识别到显著的中气旋 (图4c, 盐城雷达), 且可以看到

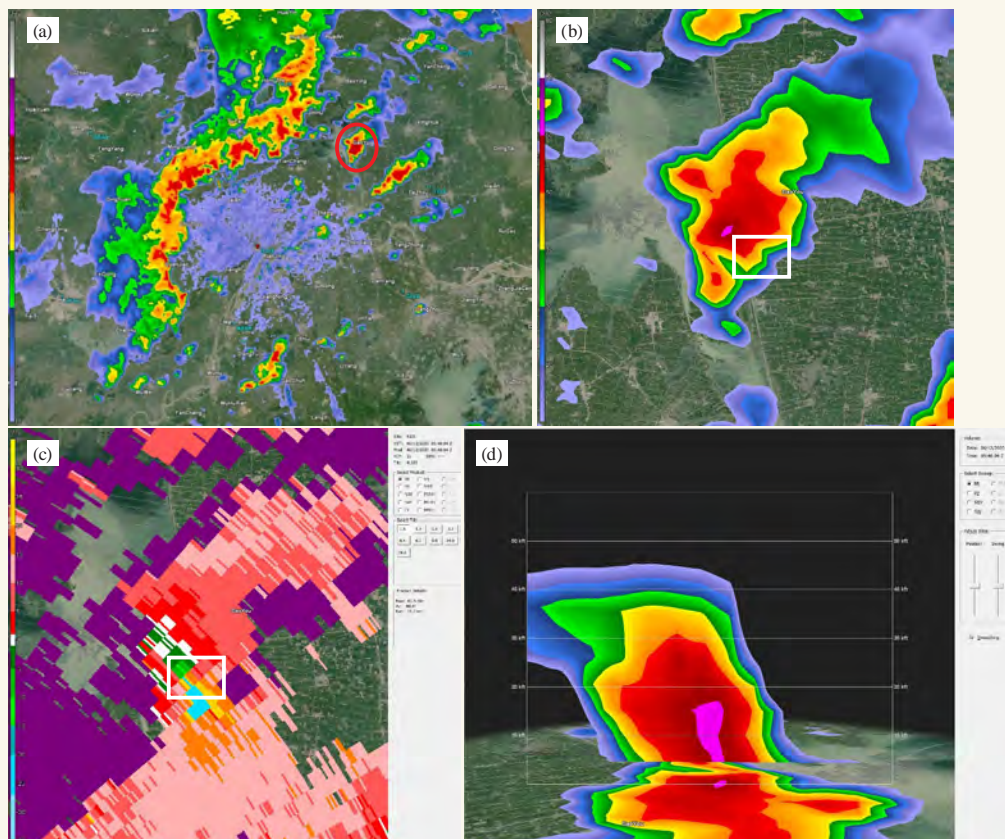


图3 2020年6月12日13: 48南京雷达0.5°仰角反射率因子 (a、b)、径向速度 (c) 以及反射率因子垂直剖面 (d) (红圈表示孤立超级单体, 白框表示龙卷大致影响区域, 下同)

Fig. 3 The reflectivity (a, b), radial velocity (c) at 0.5° elevation and the vertical cross section of reflectivity (d) from Nanjing radar at 13:48 BT 12 June 2020 (The red circle indicates the isolated supercell, and the white box indicates the area affected by the tornado, the same below)

出现了速度模糊, 退模糊后最大出流速度达31 m/s, 最大旋转速度约23 m/s, 于22: 40左右龙卷袭击了小尖镇两个村, 维持时间约2 min。随后, 龙卷母体风暴逐渐减弱, 整片回波也东移入海, 此次强对流过程趋于结束。

从以上分析可以看到, 这两次龙卷过程都发生在一次梅雨期暴雨过程中, 但一个是独立于主回波带之外的孤立单体造成, 而另一个则镶嵌于主回波带上; 前者产生的龙卷持续时间较长, 而后者产生的龙卷则在移动过程中呈现跳跃式, 在多处接地, 每处持续时间都更为短暂。2016年阜宁龙卷与前者情况相近, 但强度要远远强于此次过程, 其中具体物理机制还有待更深入的研究。

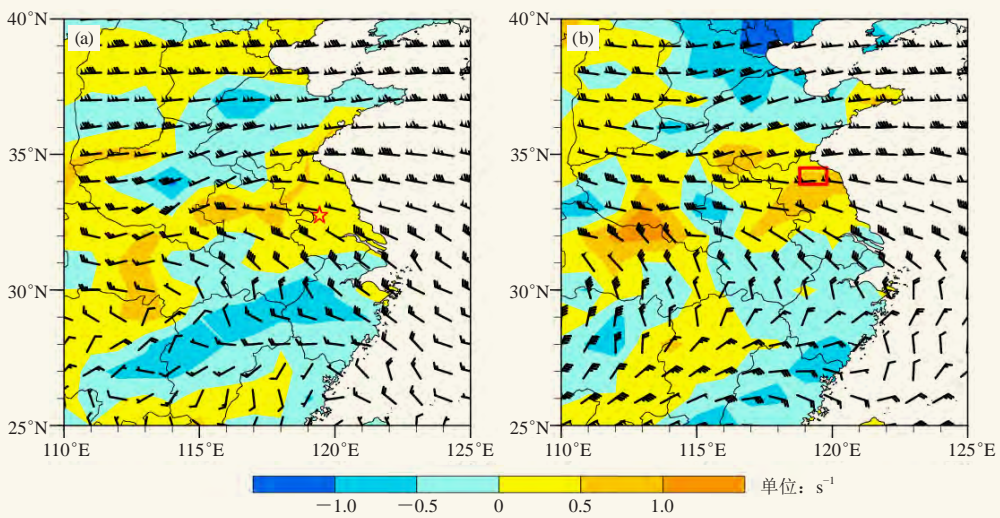
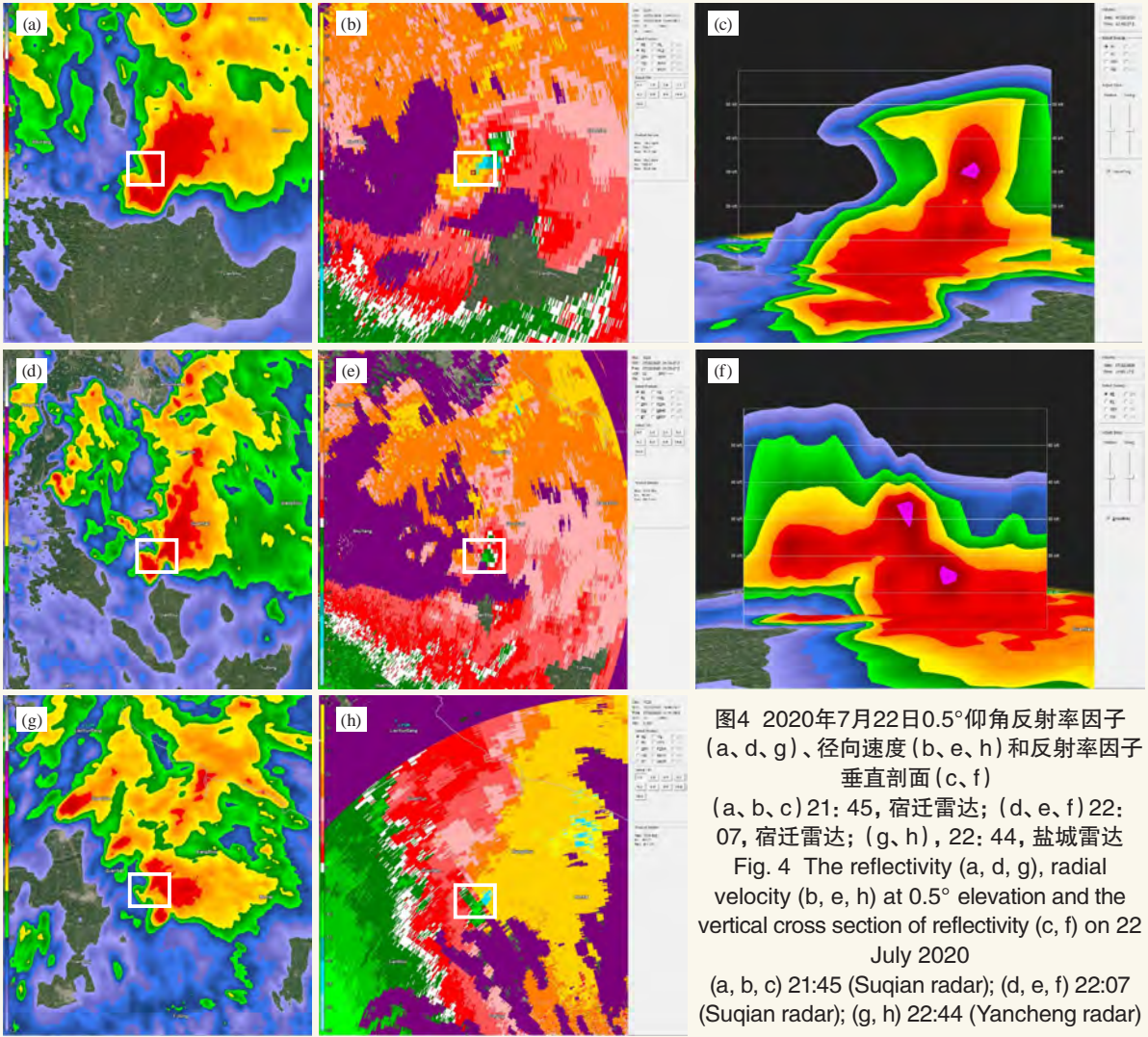
## 2 天气背景及环境条件

6—7月, 江淮地区正处于梅雨期。西太平洋副热带高压西侧低层西南气流北上, 向苏皖地区持续输送水汽和热量; 与此同时, 有西风槽不断自西向东影响; 受高空槽和西南暖湿气流共同影响, 正是典型

的梅雨期暴雨环流形势, 也符合西风带龙卷发生的概念条件, 如2016年阜宁EF4级强龙卷也正是发生在这一时间段内。以上条件是本文所研究的两个个例环流背景的共同之处, 但仍有其不同之处, 具体分析如下。

6月12日的龙卷发生在6月11—17日江淮地区持续强降水的一次高峰之中, 而7月22日的龙卷则发生在一次比较快速的强对流及暴雨天气过程中。在高空200 hPa上, 两次过程中苏皖地区中北部都处于急流右侧的显著分流区 (图5), 所以高空辐散作用显著, 有利于对流的深厚发展。

从500 hPa位势高度图 (图6a) 可以看出, 中纬度地区有西风槽东移, 6月12日08时副高脊线位于24°N附近, 充足的暖湿气流向江南地区输送, 槽后冷空气与副高西侧的暖湿气流交汇于江淮地区; 700 hPa上有弱切变位于山东南部到河南中部一带, 之后逐渐转向, 而且西南急流明显, 08时最大风速约12 m/s, 苏皖地区中部正位于急流出口区; 地面上沿江地区被宽



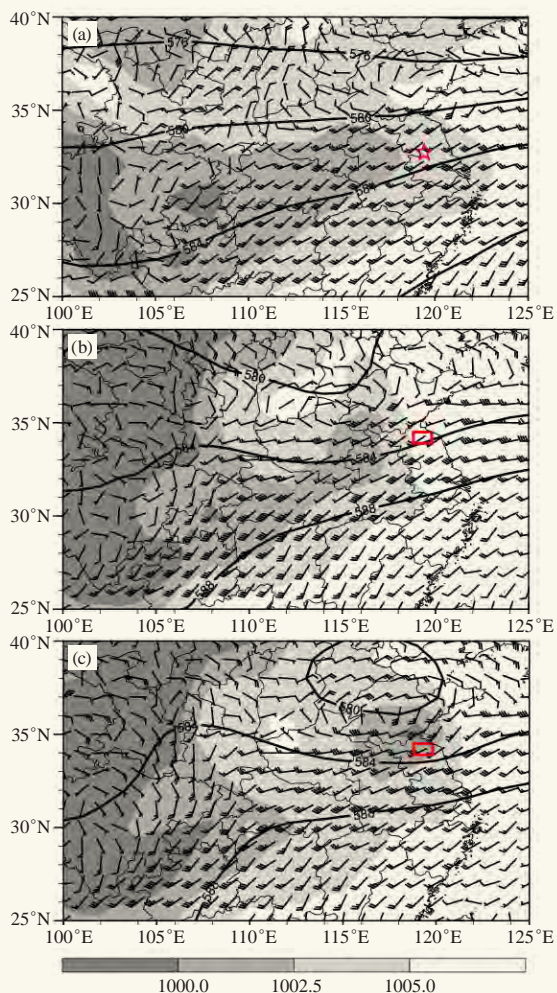


图6 500 hPa位势高度（等值线，单位：gpm）、700 hPa风场（单位：m/s）和海平面气压场（填色，单位：hPa）  
（a）2020年6月12日08时，（b）2020年7月22日14时，  
（c）2020年7月22日20时  
Fig. 6 500 hPa geopotential height (contour, unit: gpm), 700 hPa wind field (unit: m/s) and sea level pressure field (shade, unit: hPa) at 08:00 (a) on 12 June, 14:00 (b) and 20:00 (c) on 22 July 2020

广的锋区控制，地面锋沿长江向东北方向延伸至安徽东北部，江苏中部处于暖锋南侧（图7a），产生龙卷的中尺度对流系统往往容易在此区域内产生<sup>[5-7]</sup>。从环流背景来看，此形势与2016年阜宁龙卷形势相似，但阜宁龙卷有东北冷涡后部的强盛冷空气南下影响<sup>[5]</sup>，所以使得锋面附近的对流发展的更为强盛。

而7月22日时，江苏已经开始出梅，副高进一步西伸北抬，588线已经压至苏皖地区，584和588线之间的区域变窄，高空槽明显更深。700 hPa急流明显强于6月12日的过程，急流大值中心正好位于584和588线之间，中心最大值达24 m/s，而且急流北侧08时已经形成低涡中心，位于河南中部，暖切伸至山东南部。对应在地面上，气旋锋面生成，暖锋影响到安徽

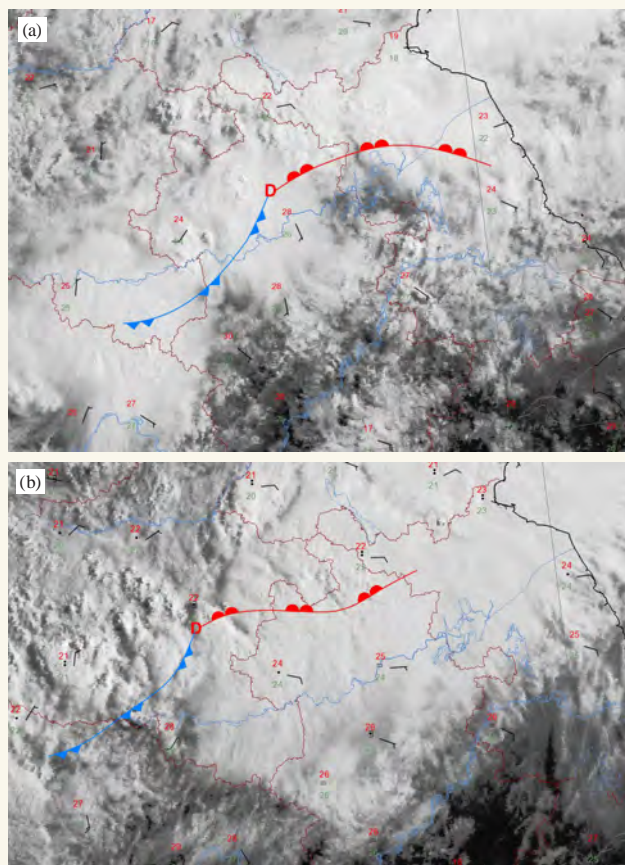


图7 FY-4可见光云图和地面自动气象站观测温度（红色数字）、露点（绿色数字）和风场

（a）2020年6月12日08时；（b）2020年7月22日08时  
Fig. 7 FY-4 visible images and automatic weather station observed temperature (red digits), dewpoint (green digits) and winds at 08:00 on 12 June 2020 (a) and 22 July 2020 (b)

地区（图7b）。从高低空整体配置来看，此次过程比6月12日要强，是典型的梅雨期江淮气旋系统影响，而且系统发展迅速。14时（图6b），高空槽进一步东移加深，槽底已达河南、山东南部，700 hPa低涡中心也更加显著，随着槽前气流向东北方向移动已经到达河南东北部，就位于500 hPa槽底位置，急流也进一步加强北顶，江苏北部急流风速超过了26 m/s，地面对应的气旋中心也移动到了河南、山东与苏皖交界处，江苏处于暖锋右侧。而20时（图6c），500 hPa上580线已经出现闭合中心，且与700 hPa上低涡中心及地面低压中心位置接近重合，辐合上升气流加强，对流活动加剧，有利于龙卷母体风暴的生成。

从低层850 hPa风场可以看到6月12日08时在这一层上有低涡中心生成（图8a），位于河南东北部与山东交界处，低涡的暖切伸至江苏北部；在925 hPa上低涡中心与暖切位置更加偏南，暖切位于安徽北部到江苏中部一带（图9a），两层切变配合作用，提供了

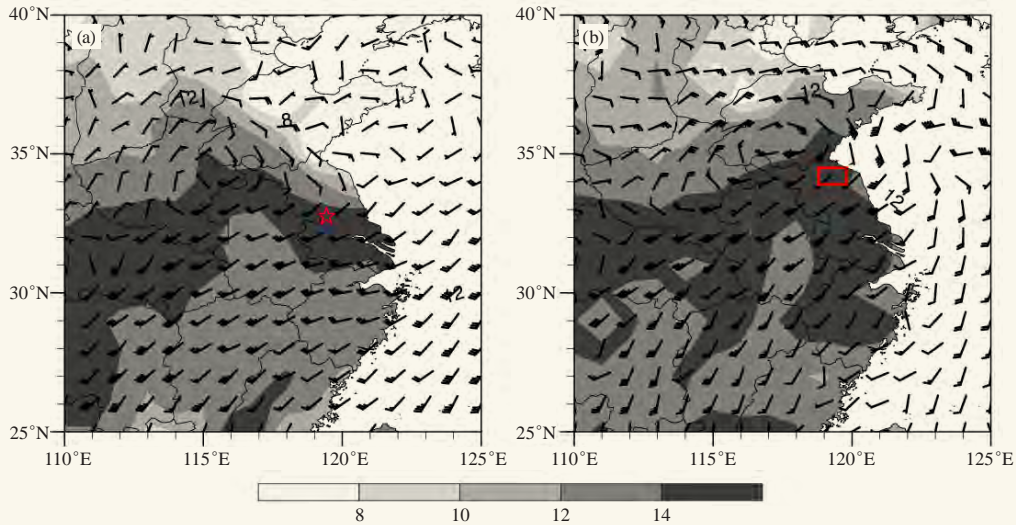


图8 850hPa风场(单位: m/s)和比湿(填色, 单位: g/kg)  
(a) 2020年6月12日08时, (b) 2020年7月22日20时

Fig. 8 850hPa wind field (unit: m/s) and specific humidity (shade, unit: g/kg) at (a) 08:00 on 12 June, (b) 20:00 on 22 July 2020

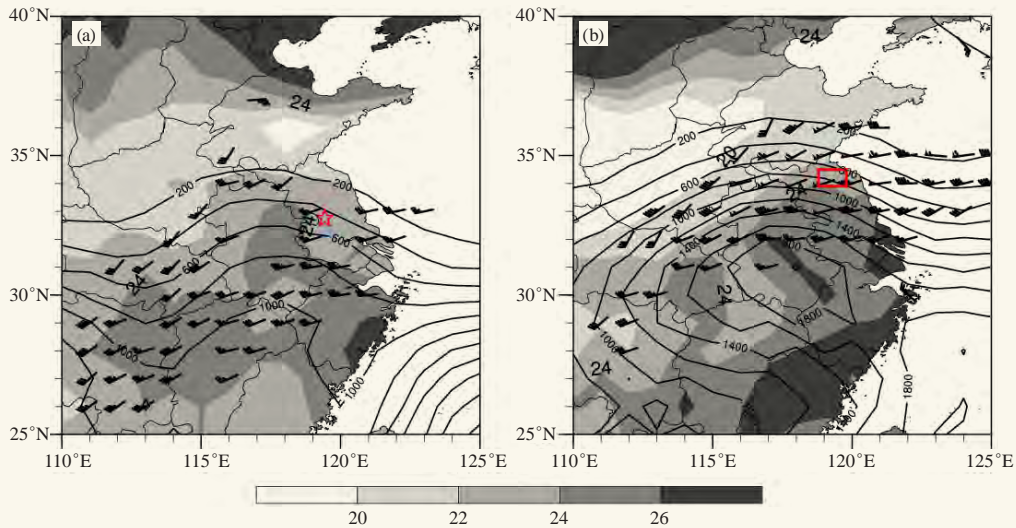


图9 对流有效位能(等值线, 单位: J/kg)和850~500 hPa温差(填色, 单位: °C)以及0~1 km风切变(单位: m/s)  
(a) 2020年6月12日08时, (b) 2020年7月22日14时

Fig. 9 Convective effective potential energy (contour, unit: J/kg) and temperature difference between 850—500 hPa (shade, unit: °C) and 0—1 km wind shear (unit: m/s) at 08:00 (a) on 12 June, 14:00 (b) on 22 July 2020

好的动力抬升条件。另外, 整个江南到江淮地区在850 hPa上被西南急流控制, 急流前部从安徽北部伸向了江苏北部, 低层急流不仅提供了较好的低层垂直风切变及其北侧的气旋性切变条件, 同时输送了充沛的水汽, 在江苏中南部地区850 hPa上比湿超过14 g/kg, 整层可降水量高达65 mm以上。08时之后, 该低涡切变系统基本维持在该位置没有移动, 水汽条件更加转好, 有较明显的增湿(图略)。总的来说, 低层暖湿气流与高空槽携带的冷空气垂直叠置在江淮上空, 促进了这一地区对流不稳定层结的发展, 配合好的低层

水汽条件以及较大的湿层厚度<sup>[17]</sup>, 十分有利于龙卷的发生, 最终龙卷基本就发生在925切变线与水汽大值中心重合区域上。

相比6月12日而言, 7月22日低涡系统更强且移动快速(图8b), 850 hPa和925 hPa上低涡中心从08时的湖北北部向东北方向快速移动, 经过河南到20时已经到达山东南部, 两层暖切叠加作用在江苏东北部地区(图9b)。850 hPa急流偏南分量更大, 且风速也更大, 20时江苏北部超过了20 m/s, 925 hPa上也达16 m/s。同时, 水汽大值中心也顶至了苏皖北部,

850 hPa比湿超过14 g/kg，整层可降水量达到65 mm。与6月12日过程相同，此次过程中龙卷也基本发生在低层切变线与大值中心重合区域内。

梅雨锋伴随的龙卷是在低层有明显的风切变的有利形势下产生的，环境场具有较强的对流不稳定性、大的低层垂直风切变和较低的对流凝结高度<sup>[10, 18]</sup>。俞小鼎等<sup>[18-19]</sup>认为大的低层垂直风切变、低的抬升凝结高度和地面阵风锋的存在有利于F2级以上强龙卷产生。美国F2级以上的强龙卷的动力条件为0~1 km风切变15 m/s，0~6km为25 m/s；抬升凝结高度750~1000 m<sup>[20]</sup>。张一平等<sup>[14]</sup>通过分析两次暴雨过程中的弱龙卷过程，给出了F2级龙卷环境场的具体物理量条件：对流有效位能大于1000 J/kg，K指数大于36 °C，0~1.5 km垂直风矢量切变达15 m/s，而抬升凝结高度很低，在0~300 m。从这些研究来看，对于F2级以上的强龙卷和以下的弱龙卷来说，环境条件在定量上没有明确的差别。我们也进一步分析了这两

次龙卷过程的环境条件。从图9可以看到，6月12日08时（图9a），整个淮河以南地区大气都处于较强的不稳定状态，最有利抬升指数（BLI）值小于-2 °C。该区域内对流有效位能（CAPE）在500~600 J/kg，属于中等强度。同时，0~1 km风切变十分显著，在江苏中南部达10 m/s。7月22日的过程整体条件要更强，尤其从14时开始（图9b），安徽到江苏中南部地区850和500 hPa之间的温差超过了22 °C，说明不稳定性明显加强。江淮地区CAPE已经大范围超过了1000 J/kg。同时，此次过程中的风切变也要更强，14时在江苏中北部0~1 km风切变最大达到了22 m/s，为龙卷的发生提供了有很有利的动力条件。另外，不论是从850和500 hPa之间温差上还是CAPE大值区上都可以看到，两次过程最强的不稳定区域在偏南地区，而龙卷都发生在北侧的梯度大值区，即暖湿舌附近。

利用距两次龙卷发生地点最近的格点探空物理量可以更加直观定量地得到其环境条件。图10a是6

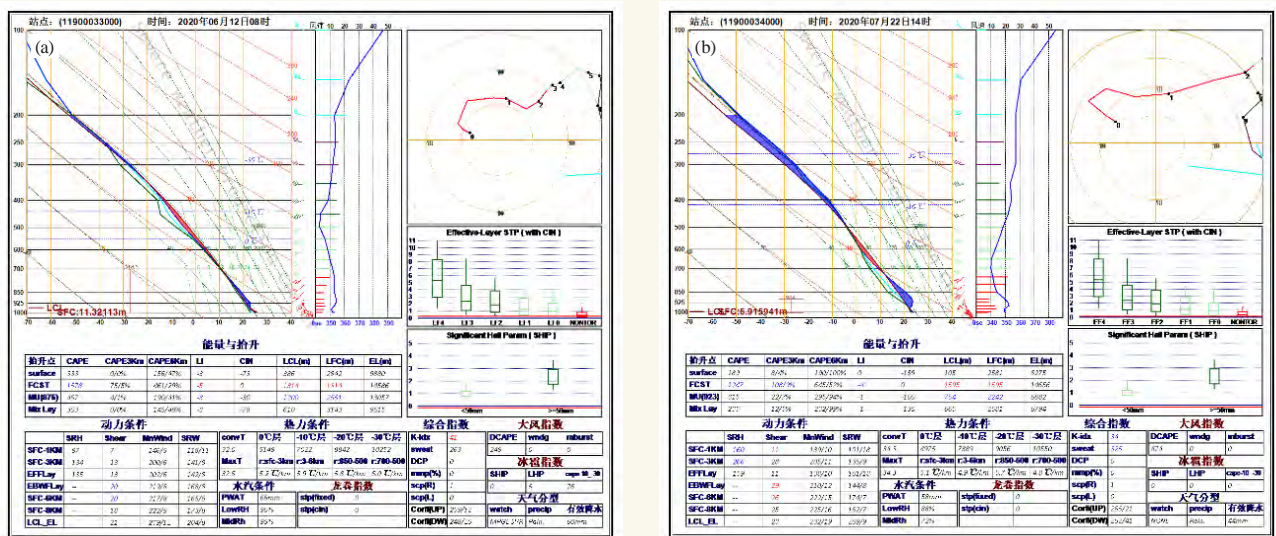


图10 龙卷附近位置T-logP图及探空物理量

(a) 2020年6月12日08时 (33°N, 119°E), (b) 2020年7月22日14时 (34°N, 119°E)

Fig. 10 T-logP and sounding physical parameters near the tornado at 08:00 (a) on 12 June (33°N, 119°E), 14:00 (b) on 22 July 2020 (34°N, 119°E)

月12日08时高邮市附近 (33°N, 119°E) 探空，可以看到CAPE值为333 J/kg，FCST CAPE达1578 J/kg；0~1 km风切变7 m/s，0~6 km则有20 m/s；抬升凝结高度（LCL）为386 m。与Craven等<sup>[21]</sup>所指出的有利于龙卷发生的1200 m以下的LCL和10 m/s以上的0~1 km风切变相比较，其低层的垂直风切变条件相对较弱。而在7月22日14时沭阳和灌南县附近 (34°N, 119°E) (图10b)，CAPE和FCST CAPE分别为189和1247 J/kg，0~1和0~6 km风切变分别为11和26 m/s，LCL为105m；与6月12日相比较，能量条

件更弱，而不稳定和动力条件则要更加有利一些，这在综合指数SWEAT（强天气威胁指数）上也有明确指示（分别为263和325）。与2016年阜宁龙卷相比，垂直风切变和抬升凝结高度相当<sup>[5]</sup>，但对流有效位能明显较低。总的来说，两次过程中不稳定条件、能量条件以及风切变条件等都十分有利于龙卷的生成，尤其7月22日要更加优于6月12日，可以说与2016年阜宁龙卷过程相当，但最终产生的龙卷强度显然远未达到阜宁龙卷的强度，由此也说明从短期预报角度来说，梅雨期间江淮地区龙卷走廊上的龙卷是有一定的短期可

预报性的，但真正要定位产生龙卷的中尺度对流系统的发生时间、位置以及强度，在短期预报时效内具有极大的难度，还需要更深入的研究。

### 3 结论

本文对2020年6月12日和7月22日江苏省两次龙卷过程发生的天气背景和对流环境特征进行了初步分析，所得结论如下：

1) 通过对雷达回波特征的简单分析发现，6月12日龙卷与2016年阜宁龙卷类似，是独立于主雨带回波外的离散单体，雷达回波图像和速度图像上表现出超级单体龙卷结构特征，该单体在高邮产生了一个龙卷，持续时间较长；而7月22日产生龙卷的单体镶嵌于主雨带回波南端，并且于生命史内跳跃式移动，影响了邻近多地，每处持续时间都较为短暂。

2) 两次龙卷均发生在梅雨期有利于暴雨发生的天气背景下，高低空急流耦合、地面暖锋南侧高湿高能的不稳定气层是两次龙卷发生的共同有利环境条件，但不同的是，6月12日龙卷发生在一个持续的过程中，影响系统停滞在江淮地区，稳定少动；而7月22日则是一次强烈而快速的江淮气旋影响过程，龙卷发生在气旋锢囚阶段。

3) 这两次龙卷发生的环境条件为中等偏强的热力条件以及强的低层垂直风切变条件和低的抬升凝结高度，定量上对流有效位能在500 J/kg以下，0~1 km垂直风切变在10 m/s左右，0~6 km风切变超过了20 m/s，抬升凝结高度在0~300 m，SWEAT指数达300左右。尤其7月22日的条件要更加有利，0~1 km垂直风切变达11 m/s，抬升凝结高度仅105 m。

江苏是我国强龙卷发生最多的省，尤其在近几年来还发生了如阜宁龙卷的EF4级强龙卷，对人民生命财产安全造成了重大损害，因此针对该地区龙卷的研究十分必要。本文主要针对2020年截至目前发生的龙卷进行了天气学和雷达特征上的一些分析，并与阜宁龙卷进行了一些简单对比，发现与强龙卷个例的环境条件相比，今年两次龙卷的能量条件较差，低层垂直风切变也处于中等程度。而今年两次过程的整体条件比较接近，后一次过程的环境条件相对更有一

些，最终产生的龙卷强度相当，但风暴形态及移动特征等还是有显著区别。本文希望能通过这两次个例的分析为把握梅雨期江淮地区暴雨形势下的龙卷过程的潜势条件以及母风暴形态特征提供一定的帮助，在实际业务中想要更精确的预报预警龙卷还需要更多精细的研究；且针对中尺度对流特征的分析也有待进一步深入。

### 参考文献

- [1] 魏文秀, 赵亚民. 中国龙卷风的若干特征. 气象, 1995, 21(5): 37-40.
- [2] 范雯杰, 俞小鼎. 中国龙卷的时空分布特征. 气象, 2015, 41(7): 793-805.
- [3] 孙继松, 戴建华, 何立富, 等. 强对流天气预报的基本原理与技术方法—中国强对流天气预报手册. 北京: 气象出版社, 2014.
- [4] 曾明剑, 吴海英, 王晓峰, 等. 梅雨期龙卷环境条件与典型龙卷对流风暴结构特征分析. 气象, 2016, 42(3): 280-293.
- [5] 张小玲, 杨波, 朱文剑, 等. 2016年6月23日江苏阜宁EF4级龙卷天气分析. 气象, 2016, 42(11): 1304-1314.
- [6] 郑永光, 朱文剑, 姚琳, 等. 风速等级标准与2016年6月23日阜宁龙卷强度估计. 气象, 2016, 42(11): 1289-1303.
- [7] 郑永光, 朱文剑, 田付友. 2015年“东方之星”翻沉事件和2016年阜宁EF4级龙卷对流风暴环境条件、结构特征和机理. 气象科技进展, 2018, 8(2): 44-54.
- [8] 郑媛媛, 朱红芳, 方翔, 等. 强龙卷超级单体风暴特征分析与预警研究. 高原气象, 2009, 28(3): 617-625.
- [9] 吴芳芳, 俞小鼎, 张志刚, 等. 苏北地区超级单体风暴环境条件与雷达回波特征. 气象学报, 2013, 71(2): 209-227.
- [10] 周后福, 施丹平, 刁秀广, 等. 2013年7月7日苏皖龙卷环境场与雷达特征分析. 干旱气象, 2014, 32(3): 415-423.
- [11] 王秀明, 俞小鼎, 周小刚. 中国东北龙卷研究: 环境特征分析. 气象学报, 2015, 73(3): 425-441.
- [12] 姚叶青, 郝莹, 张义军, 等. 安徽龙卷发生的环境条件和临近预警. 高原气象, 2012, 31(6): 1721-1730.
- [13] 何彩芬, 姚秀萍, 胡春蕾, 等. 一次台风前部龙卷的多普勒天气雷达分析. 应用气象学报, 2006, 17(3): 370-375.
- [14] 张一平, 俞小鼎, 吴葵, 等. 区域暴雨过程中两次龙卷风事件分析. 气象学报, 2012, 70(5): 961-973.
- [15] 郑媛媛, 俞小鼎, 方翀, 等. 一次典型超级单体风暴的多普勒天气雷达观测分析. 气象学报, 2004, 62: 317-328.
- [16] 唐晓文, 李峰, 刘高平. 龙卷形成过程及母体风暴结构与演变研究进展. 成都信息工程大学学报, 2018, 33(6): 599-605.
- [17] Doswell C A, Evans J S. Proximity sounding analysis for derechos and supercells: an assessment of similarities and differences. Atmospheric Research, 2003, 67-68: 117-133.
- [18] 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. 高原气象, 2006, 25(5): 914-924.
- [19] 俞小鼎, 郑媛媛, 廖玉芳, 等. 一次伴随强烈龙卷的强降水超级单体风暴研究. 大气科学, 2008, 32(3): 508-522.
- [20] Grams J S, Thompson R L, Snively V, et al. A climatology and comparison of parameters for significant tornado events in the United States. Wea Forecasting, 2012, 27: 106-123.
- [21] Craven J P, Brooks H E. Baseline climatology of sounding derived parameters associated with deep moist convection. Natl Wea Dig, 2004, 28: 13-24.