

桐乡“7.12”飚线和局地龙卷风过程的诊断分析

范玉芬¹ 陈政豫¹ 杨冬晨¹ 潘士雄²

(1 浙江省桐乡市气象局, 桐乡 314500; 2 浙江省嘉兴市气象局, 嘉兴 314000)

摘要: 2014年7月12日浙江省桐乡市一次飚线过境, 导致局地出现12级狂风, 造成倒房死伤人的重大灾害。通过对大风灾情的实地调查, 环境背景场强对流参数和周边杭州、湖州多普勒天气雷达回波特征分析, 发现这是一次强中气旋发展伴随局地龙卷风发生的过程, 龙卷风发生在飚线弓形回波前沿凸起部分。对本次过程的分析表明, 环境场中最佳对流有效位能(BCAPE)和风暴相对螺旋度(SRH)增大、抬升凝结高度低, 则出现局地龙卷风的可能性越大。在龙卷风等突发强对流事件的预报中, 风廓线产品中西南急流的加强和中心轴下沉、中高层冷空气的契入等, 对风暴的触发、雷暴系统的加强有预报提前量。此外, 大风重灾发生后, 灾区实况及周边多普勒雷达径向速度场资料是判断风灾类型和级别的重要数据资料。

关键词: 飚线前沿龙卷, 灾情调查, 环境背景, 多普勒天气雷达回波特征

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.06.002

Diagnostic Analysis of a Tornado Event Associated with the Squall Line in Tongxiang, 12 July 2014

Fan Yufen¹, Chen Zhengyu¹, Yang Dongchen¹, Pan Shixiong²

(1 Tongxiang Meteorological Bureau of Zhejiang, Tongxiang 314500 2 Jiaxing Meteorological Bureau of Zhejiang, Jiaxing 314000)

Abstract: On July 12, 2014, a squall line formed across Tongxiang, Zhejiang. Strong gust winds appeared in Yuanfeng and Jinni villages and resulted in human casualties and property damage. Through the survey of the disaster, the analysis of environmental conditions and echo characteristics on Hangzhou and Huzhou Doppler weather radars, it is shown that a tornado was produced by a strong cyclonic circulation which had developed associated with the squall line. The strong cyclone occurred in the forefront of the convex portion of bow echo below 1km. The increase of the best convective available potential energy (BCAPE) and storm relative helicity (SRH), and the decrease of lifting condensation level enhanced the likelihood of tornado. The strengthening and sinking of southwest jet together with the mid- and high-level cold air helped trigger the storm.

Keywords: squall line tornado, disaster investigation, environmental background, Doppler weather radar

0 引言

2014年7月12日19—21时, 浙江湖州、嘉兴有一次飚线天气过境, 带来7~9级以上大风、短时暴雨和密集雷电。本次灾害前的预警和灾后深入的分析表明, 新一代多普勒天气雷达CINRAD/SA中重要的产品, 如中气旋(M)、弱回波区(WER)、龙卷涡旋特征(TVS)等能为龙卷风的监测预警提供警示。中气旋往往与强对流天气有关, 根据多年雷达资料统计, 大部分中气旋伴有雷雨大风、冰雹等, 5%~20%的中气旋伴有龙卷风^[1]。一些研究表明^[2-3], 有利于F2级(藤田级数)以上强龙卷生成的两个有利条件分别是低的抬升凝结高度和较大的低层(0~1km)垂直风

切变。0~1km的垂直风切变越大, 抬升凝结高度越低, 则龙卷出现的可能性越大。我国江淮流域的梅雨期常会有龙卷发生, 而且通常与梅雨期的暴雨相伴。

Trapp等^[4]统计表明, 在探测到中气旋时, 大约只有20%的龙卷发生概率, 而在探测到中气旋底部距离地面不超过1km的情况下, 龙卷发生概率约为40%, 而且, 中气旋底部越靠近地面, 龙卷概率越高。目前美国基层气象台发布龙卷警报的准则是(在环境低层垂直风切变和相对湿度较大情况下): (1) 探测到强中气旋; (2) 探测到中等以上强度中气旋, 并且其底部距离地面不超过1km。

本文试图利用上述概念和研究成果, 对一次疑似龙卷风的过程进行分析, 给出浙江北部地区龙卷风过程的诊断结果, 讨论目前台站对龙卷风等局地强天气预报和分析策略。

收稿日期: 2015年6月17日; 修回日期: 2015年9月19日
第一作者: 范玉芬(1962—), Email: 357194679@qq.com

1 灾情综述

针对本次事件，灾害后的分析表明，天气过程中湖州千金镇、南浔车塔村至桐乡乌镇硖桥村、龙翔街道元丰村、金牛村一带受飚线强中心影响，出现10级以上大风。其中龙翔元丰村、金牛村周边出现一条南北60~150m、东西3~5km的强风狭长带，在该区域估计有3千多棵树被吹倒，40多间房屋受损，其中元丰村2人被埋受伤，1人死亡。综合分析表明，狭长带经历了一次强度在F1~F2的龙卷风过程。

2 环流背景及指数分析

这次飚线过程的环境场具有浙江夏季典型雷暴天气的天气特征。高空500hPa处在横槽转竖的下滑槽前，中层有深厚的西南暖湿气流，700、850、925hPa有切变发展，700hPa涡切最明显；副高稳定，588线附近不稳定环境下，对雷暴天气的发生有利，925hPa

切变与强风暴区实况对应较好。

对流指数不仅能够反映出不稳定能量的积累和触发机制，而且还能分析得到强雷暴过程的暴雨、雷电、大风、冰雹的特性。从12日08和20时灾害发生地实况各类指数（内插值）分析（表1），发现KI（K指数）、BCAPE（最佳对流有效位能）、SI（沙氏指数）、SWEAT（强天气威胁指数）、LI（抬升指数）、SSI（风暴强度指数）等在12日08时已超过阈值。其中BCAPE、SRH（风暴相对螺旋度）、EHI（能量螺旋度）、BIC（最佳强度指数）、SSI指数在20时明显增大，KI、BCAPE两个指数明显超过阈值，且超值范围大，说明强对流的热力条件非常好。其中20时SRH达到了330，有强龙卷的可能性。总体上，本次过程中，SRH和BCAPE表现较好。

7月12日20时杭州站探空曲线（图1）分析，有较

表1 2014年7月12日08和20时各对流指数及其对流阈值

时间	K指数 (KI)	最佳对流有效位能 (BCAPE)	沙氏指数 (SI)	风暴相对螺旋度 (SRH)	抬升指数 (LI)	强天气威胁指数 (SWEAT)	能量螺旋度 (EHI)	最佳稳定度指数 (BIC)	风暴强度指数 (SSI)
08时	39	1200	-3	85	-4	320	0.6	-15	70
20时	43	3000	-3	330	-3	330	2.5	-30	90
对流阈值	>35	>800	<-2	300~499时有强龙卷可能	<-3	>300	>2	<-20	>55

大不稳定能量，低层有一小逆温，500~850hPa有较大的西南气流；上海站不稳定能量很弱，整层大部分是西方南气流（比杭州站弱），在近地面层有偏东气流，700m附近逆温更明显些，近地面层垂直切达16m/s。抬升凝结高度均较低（<800m），有利于灾害性龙卷风的生成。

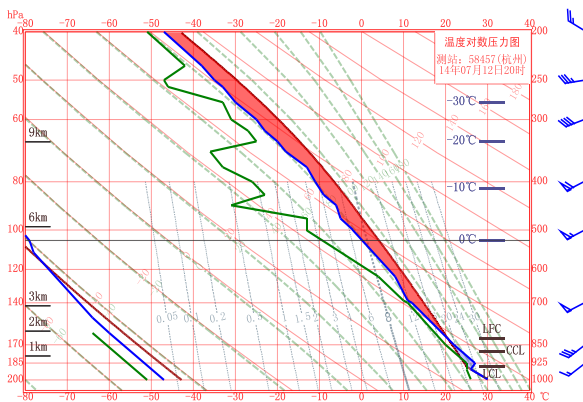


图1 2014年7月12日20时杭州温度对数压力图

3 多普勒雷达观测

3.1 组合反射率回波有弓形回波特征

从长江流域雷达组网拼图（图2）上看，17—21时，有一带状对流系统从安徽、江西境内自西向东经

过长三角地区东移入海。该系统长度超过300km，长宽比大于5:1，判断为大型飚线系统。从杭州雷达组合反射率产品分析，18时30分左右带状回波大规模从广德、郎溪开始进入浙江湖州边界，前沿强回波呈带状，并存在几个离散的强中心。指示雷暴大风的回波特征是弓形回波^[5-8]，一条长长的飚线可以包含好几段弓形回波，每一段弓形回波的向前凸起部分往往都对应地面的雷暴大风区，意味着增强的雷暴大风潜势^[9]。19:36—19:59，湖州—嘉兴段飚线发展最为强盛（图2a），特征最为前沿整齐，组合回波强度大部分达到45~50dBz，其中包含小范围60~65dBz强回波区。

3.2 径向速度及B7中气旋

分析杭州雷达1.5°径向速度产品（图2b），可以发现，杭州站向北有一条速度零线，基本与组合回波飚线相一致。在安吉以西和飚线后方有大片向着雷达的负速度区，中心值达到-27m/s。19:39实况大风区位于湖州市南浔区千金至练市一带，地面自动站风速达到24.6~27.9m/s，湖州多普勒雷达探测到的最大风速约为24m/s。

风暴追踪产品显示，在19时后半时，中气旋编号为B7，即飚线弓形回波前沿凸起处（图2a黑圈），龙翔西北偏西方向约5km，连续两个时次（19:53和

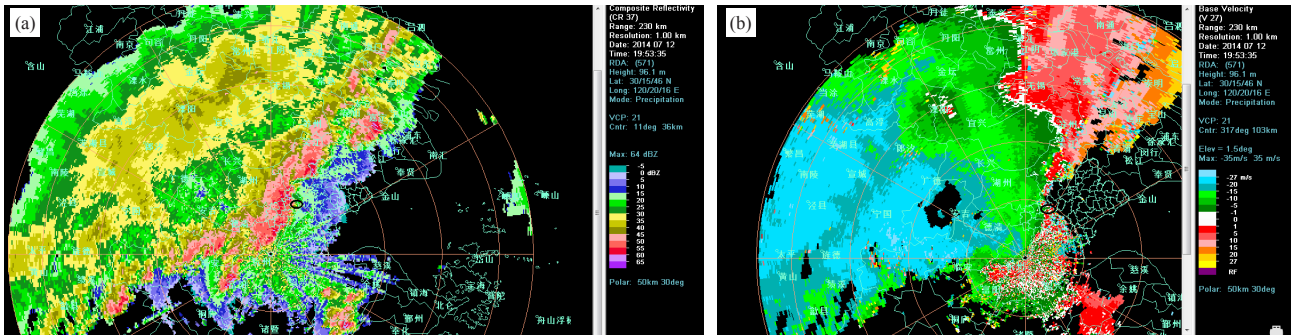


图2 杭州雷达2015年7月12日19:53时组合反射率 (a) 和1.5°径向速度 (b) (黑圈为龙卷处)

19:59) 自西北向东南横扫过该区域, 具有龙卷性质。而此过程中狂风受灾区就位于B7经过的地方(图3), 此风暴移动速度达22m/s。中气旋B7经过的地区风力大, 速度快, 影响时间仅几到十几分钟, 与灾害实况较符合。



图3 2014年7月12日20时前后浙江省嘉兴桐乡龙翔街道局地龙卷风、B7路径示意图

3.3 杭州雷达径向速度场中气旋识别

在杭州雷达径向速度产品分析中(图2b), 19:53前后, 龙翔西北偏西方向存在径向速度对, 不同仰角(0.6、1.0和2.0km)都能分析到, 与B7相对应。2.0km高度上速度对强度最强也最好分辨。3km水平距离风切变达35~37m/s, 偏北风速20~27m/s, 偏南风10m/s以上, 可判断存在一个超级单体。中气旋底部小于1km, 极有可能存在龙卷^[4, 10]。

3.4 湖州雷达站径向速度产品分析

在湖州雷达径向速度产品(2.4°)中(图略), 在19:53灾区龙翔附近(约1.5km高度)有一个中气旋, 龙翔西南方向有大片正速度区, 并有大片速度模糊, 龙翔东北方向的小范围的负速度。此处距离湖州雷达站约35km, 此时出现的速度模糊, 速度模糊值最大可能为39~44m/s, 负速度最大为-20m/s, 根据中气旋强度标准计算, 距离雷达中心32km处转动速度31m/s, 可判断为强中气旋。

4 风廓线观测

从对局地龙卷重灾区的上游湖州(重灾区西北方向35km处)和下游嘉兴(重灾区偏东方向25km处)两站风廓线产品(图4和图5)的分析中, 可以得出: (1) 雷雨发生前1km高度以上都是深厚的西南急流, 最大值超过20m/s, 在雷暴发生前西南急流明显加强, 随着系统的靠近, 急流轴向下移至1.5~2km附近; (2) 在雷暴天气发生前, 1000m高度附近有明显西南与东北风的切变, 在500~700m高度风向随高度逆时针旋转, 飚线过境切变消失, 1500m以

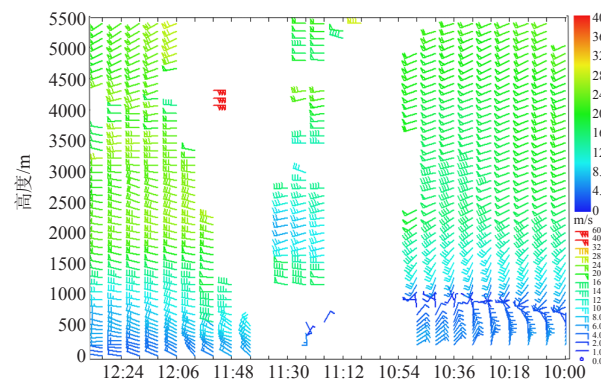


图4 湖州雷达水平风廓线
2014年7月12日(世界时10:00—12:30)

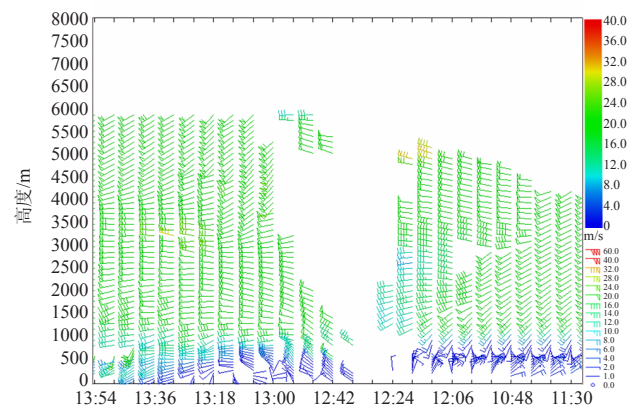


图5 嘉兴雷达水平风廓线
2014年7月12日(世界时11:30—14:00)

下转成一致的西北气流；（3）雷雨发生前半小时，3000~5000m有西北气流契入，最低可渗透到2200m附近；在雷暴发生时，可以看到底层有雷暴高压过境（20:36—21:48），发生在地面辐合线附近，且移速较快；（4）20:00—20:20，嘉兴测站500~800m高空风向随高度先逆时针旋转，后顺时针旋转的快速变化（图5），北风与南风、东北风与西南风对峙，风的垂直切变值12~16m/s，垂直速度7m/s左右，由于嘉兴风廓线测站处于重灾区偏东区25km，强中心东移时已明显减弱，故量值明显偏小。

风廓线产品对飚线影响垂直风结构有较好的表达，切变层的高度、垂直风切变的大小，以及西南急流的加强和中心轴下沉以及中高层冷空气的契入，对风暴的触发、雷暴系统的加强可提前预报。

5 小结

1) 飚线雷暴大风天气系统移动速度一般都在60km/h以上，所以飚线云形的判断、弓形回波、径向速度图中的中气旋识别和强度判断对预报服务人员很重要；底层强烈中气旋的出现和低空维持^[11]，表明龙卷风的产生有很大可能性，此时应考虑立即发布龙卷风预警^[10]。

2) 在对强天气背景场充分了解的基础上，关注最佳对流有效位能、风暴相对螺旋度等大风预报的相关指数，抬升凝结高度均较低（<1km）时，有利于灾害性龙卷产生；风廓线产品对飚线影响垂直风结构有较好的提示，而切变层的高度、垂直风切变的大小，以及西南急流的加强和中心轴下沉、中高层冷空气的契入，都对风暴的触发、雷暴系统的加强有利，

可提前做出预报。

3) 大风灾情发生后，应及时开展灾情调查，掌握事故现场第一手资料，有利于判断大风的级别。在对周边多普勒雷达资料作全方位的资料收集和分析时，由于超级单体相距雷达站的方位和距离不同，可识别的效果相差较大。

参考文献

- [1] 郑峰, 谢海华. 我国近30年龙卷风研究进展. 气象科技, 38(3): 296-299.
- [2] Schmocker G K, Przybylinski R W, Lyn Y J. Forecasting the initial onset of damaging downburst winds associated with a mesoscale convective system (MCS) using the mid-altitude radial convergence (MARC) signature. Preprints, 15th Conf on Wea Analysis and Forecasting, Norfolk, VA: 1996.
- [3] Evans J S, Doswell III C A. Investigating derecho and supercell proximity soundings. Preprints, 21st Conf Severe Local Storms (San Antonio, TX). Amer Meteor Soc, 2002, 635-638.
- [4] Trapp R J, Stumpf G J, Manross K L. Areassessment of the percentage of tornadic mesocyclones. Wea Forecasting, 2005, 20: 680-687.
- [5] Fujita T T. Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. Satellite and Mesometeorology Research Project Report 91. Chicago, IL: the University of Chicago, 1971.
- [6] Purdom, J F W. Subjective interpretation of geostationary satellite data for nowcasting. // Nowcasting. Browning K A. Ed. Academic Press, 1983, 149-166.
- [7] Przybylinski R W, Gery W J. The reliability of the bow echo as an important severe weather signature. Preprints, 13th Conf On Severe Local Storms, Tulsa. Amer Meteor Soc, 1983, 270-273.
- [8] Przybylinski R W. The bow echo: Observations, numerical simulations, and severe weather detection methods. Wea Forecasting, 1995, 10, 203-218.
- [9] 俞小鼎, 周小刚, 王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展. 气象学报, 2012, 70(3): 312-337.
- [10] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用. 北京: 气象出版社, 2006.
- [11] 张红雨. 山西省域龙卷风发生特征及相关分析. 研究与探讨, 2007, 8: 39-42.