

神农架南坡山前气流涌升效应对一次强风暴的触发和维持作用

陈少平 孙士型 居志刚

(湖北省宜昌市气象局, 443000)

提 要: 利用宜昌多普勒天气雷达回波资料, 分析了2001年7月2日发生在三峡坝区瞬间极大风速达 $28.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的强对流风暴。结果发现: 在环境风场为偏南气流的引导下, 神农架南坡有一条中尺度辐合线, 对流云在该辐合线附近生成和发展, 然后沿神农架东缘东北移动并影响三峡坝区, 表明神农架南坡的山前涌升效应对该强风暴有一定的触发和维持作用。

关键词: 雷达回波 强对流风暴 山前涌升效应

Effect of the Upwind Airflow Surge at the Southern Slop in Shennongjia Mountain on Trigger and Maintaining of a Severe Storm

Chen Shaoping Sun Shixing Ju Zhigang

(Yichang Meteorology Office, Hubei Province, 443000)

Abstract: Based on the echo data of the Yichang WSR-98D S-band Doppler weather radar, a severe storm with $28.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ maximum instantaneous wind speed at the Three Gorge Dam Area on 2 July 2001 is analyzed. The result shows that, under the condition of environmental southerly airflow field, there was a meso-scale convergence line on the southern slop of the Shennongjia Mountain, the convective clouds developed near the convergence line, then moved northeastward along the eastern slop of the Shennongjia Mountain, and affected the Three Gorge Dam Area. It suggests that the upwind airflow surge at the southern slop of the Shennongjia Mountain triggered and maintained the severe storm in some degree.

Key Words: radar echo severe convective storm upwind airflow surge

三峡水电枢纽工程大坝建设施工区(以下简称三峡坝区)位于长江三峡西陵峡中段,为东西向山地河谷地形,地处神农架南坡。神农架主峰海拔高度在2000m以上,位于三峡坝区北部,在宜昌雷达站 $300\sim 350^\circ$ 、 $80\sim 180\text{km}$ 范围内。在环境风场为偏南气流的引导下,受神农架南坡山前涌升效应影响,夏季常有强对流在神农架南坡生成和发展,然后沿长江东移影响三峡坝区,对流群沿神农架东缘东北移动并呈NE—SW向的带状分布^[1,2]。

众所周知,山脉的迎风面降水有增加的趋势。但山前涌升效应者认为,最强的对流性降水不是发生在山脉的迎风面,而是发生在距离山脉迎风面较远的山前。所谓山前涌升效应,是指气流遇山脉阻挡后形成的回流与后续气流相遇时,在山前所产生的辐合抬升效应。为了研究神农架南坡地形对三峡坝区强风暴形成和移动的影响,利用宜昌多普勒天气雷达回波资料,选择2001年7月2日发生在三峡坝区的强对流风暴个例进行了分析。

1 天气背景和强风暴概况

从2001年7月2日08时(北京时,下同)500hPa天气图上(图略)可见,副高脊线位于 30°N ,东海上空有592dagpm的高压中心,588线已西伸至鄂东,南海有热带风暴活动。青藏高原有大陆高压发展东移,西风带低槽与两高压间的切变线相结合位于银川至成都一线。三峡坝区上空正处于500hPa副高外围与西风带槽前偏南气流中。

由GMS-5红外云图(图略)可见,7月2日10—17时,南海热带风暴云系活跃;从北京至昆明有一条NE—SW向的对流云

带,云带上有多个中尺度云团向东北移动,三峡坝区处于对流云团的笼罩下。

三峡坝区7月2日上午天气晴热,高温高湿,气层极不稳定。11时开始坝区西南侧有零散对流回波,12—15时强回波在坝区生消起伏相间,稳定持续近3h,移动缓慢,其间强风多次阵性发作。位于三峡坝区的坛子岭气象站记录13:02—13:27瞬时极大风速 $17.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;13:54—14:26瞬时极大风速达 $28.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (相当于11级)。风暴时伴有 $30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的短时暴雨和冰雹。尽管坝区气象部门提前1h发布了强风暴警报,但三峡建设工地仍因强风暴灾害受到损失。

2 神农架南坡准静止和长生命的超级单体回波

有许多研究曾尝试将强对流分成不同的风暴类型,通常将那些尺度大强度强,其中上升气流和下沉气流环流以稳态形式共存达30min或更长时间的对流风暴,称为超级单体风暴,用以和普通风暴相区别^[3,4]。

由宜昌雷达组合反射率图可见(图1),造成三峡坝区强风暴灾害的超级单体回波呈椭圆形,强度 $\geq 50\text{dBz}$,面积约 200km^2 ,属于中- β 尺度系统^[5]。它比正常的成熟阶段的强单体风暴的水平尺度大,持续时间长,出现的天气现象更严重。11:25其中心位于雷达站 270° 、50km处;12时左右在坝区西南15km处加强;13时移至坝区上空,14时在坝区维持并加强,15:12位于雷达站 322° 、17km处,随后沿长江东移减弱。该超级单体回波在神农架南坡生成、发展和维持,具有准静止和长生命特征,4小时移动30km,平均移动速度仅为 $7.5\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在

宜昌雷达探测范围内, 强回波仅分布于神农架南坡和其东缘, 并呈西南—东北向的带状分布, 其它地方无对流活动。分析其移动缓慢的原因, 一是偏南风环境风场不强 (图略); 二是与神农架南坡山前涌升效应有关。

分析宜昌多普勒天气雷达风暴平均径向速度回波图表明, 1500m 以下的低层入流

位于风暴移动方向的右侧, 因此, 该超级单体风暴是朝对流层平均风的右向传播的。对流单体快速向东北方移动是环境风场的引导所致, 而对流带整体东移则是对流单体右向传播的结果。由于其东移传播速度仅为 $8.5\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, 此次强风暴从形成、发展至消散前后历时近 4h, 具准静止特征。

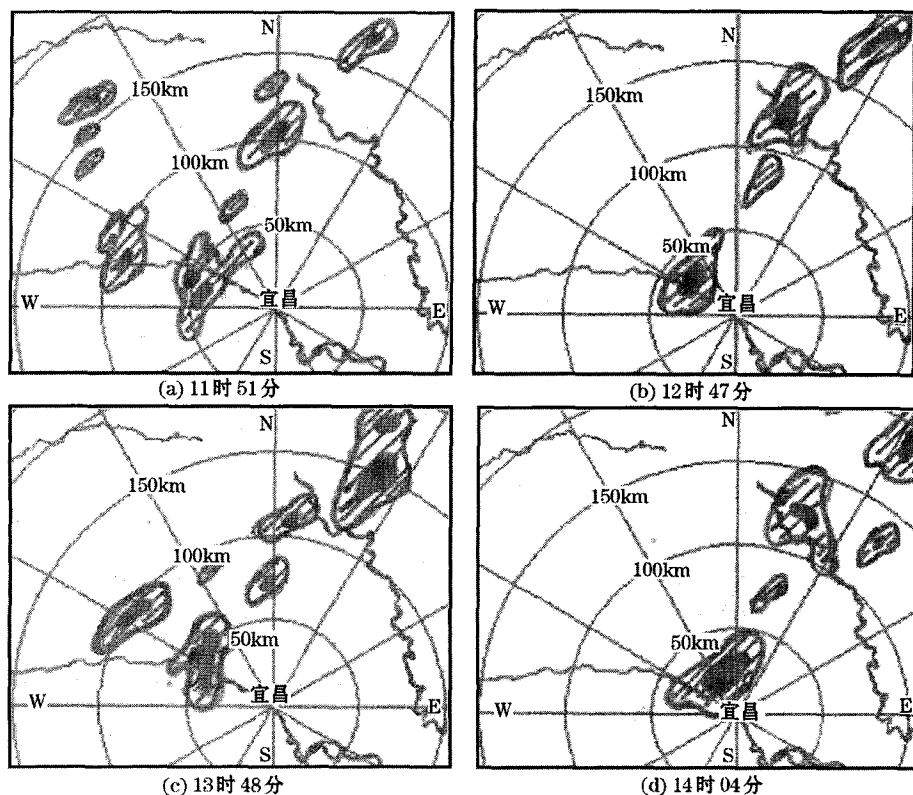


图 1 2001 年 7 月 2 日宜昌多普勒天气雷达组合反射率图

图中阴影区域 $\geq 30\text{dBz}$, 暗影区域 $\geq 50\text{dBz}$

3 神农架南坡的中尺度辐合线和径向速度图上的逆风区

3.1 神农架南坡的中尺度辐合线

分析雷达风暴平均相对径向速度图发

现: 从当日 11 时开始, 在雷达站 300° 、150km 到 300° 、30km 处、1500~3000m 高空, 有一条长 100km 左右的气旋式中尺度辐合线, 受雷达仰角限制, 1500m 以下的低层风场不明。辐合线南侧的径向速度指向雷达; 辐合线北侧的径向速度离开雷达。该辐合线位于神农架南坡, 距神农架主峰约

80km。最初的零散对流和随后的超级单体回波均是在该辐合线上生成和发展的,从而间接证明了神农架南坡山前涌升效应对三峡坝区强对流风暴形成和移动的影响。

该辐合线在 12—14 时达到最强,切变南侧的最大入流速度达 $15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;切变北侧的最大出流速度达 $11\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 2)。此时,影响三峡坝区的超级单体回波达到最强,组合反射率 $\geq 50\text{dBz}$ 、回波最大顶高 $\geq 14\text{km}$ 、垂直累积液态含水量 (VIL57) $\geq 50\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、一小时最大可能降雨量达 30~40mm。该切变线 14 时后逆转为 NE—SW 向,1500m 以下转为辐散,此时神农架南坡不再有新的对流产生。

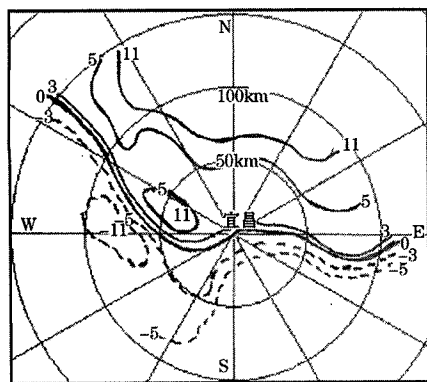


图 2 2001 年 7 月 2 日 11 时 57 分 2.4° 仰角风暴平均相对速度 (SRM56)

图中实线表示背离雷达的径向速度; 断线表示朝向雷达的径向速度

3.2 径向速度图上与强回波相对应的逆风区

所谓逆风区,是指在环境风较弱的低仰角径向速度图上,在成片相同方向速度区中出现相反方向的速度区;即由正速度区包围负速度区或由负速度区包围正速度区。有事实表明,逆风区的出现预示着在其发生地点和移动路径上将要出现强对流或者是强对流正在发生。超级单体雷暴中会有很强的垂直

运动速度, Miller 等 (1988) 对超级单体风暴的诊断和 Heymsfield 等 (1981) 所进行的飞机穿云观测发现垂直气流有时会超过 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当倾斜上升 (或下沉) 的气流在水平方向上的分量超过弱的环境风速且方向相反时,多普勒雷达就有可能观测到逆风区,逆风区是对流云中出现了强烈垂直气流的象征^[6]。

2001 年 7 月 2 日 13 时 10 分,位于雷达站 300° 、57km 处,在大范围的出流速度区域内,出现了径向速度 $\leq 5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的逆风区。该逆风区的出现时间和组合反射率 $\geq 50\text{dBz}$ 的出现时间相比并不同步,要晚 1 小时以上,与地面首次出现 $17.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 大风的时间相对应,但比地面出现 $28.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 强风暴的时间早 1 小时左右;13 时 43 分,该逆风区水平范围扩大到 $10\text{km}\times 10\text{km}$,形状近似圆形,最大入流径向速度加大到 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;14 时 15 分,该逆风区最大入流径向速度进一步加大到 $13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,这时地面出现了 $28.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的狂风和暴雨,逆风区最强的时间与地面狂风暴雨的出现时间基本同步 (图 3)。其后,该逆风区随强回波一

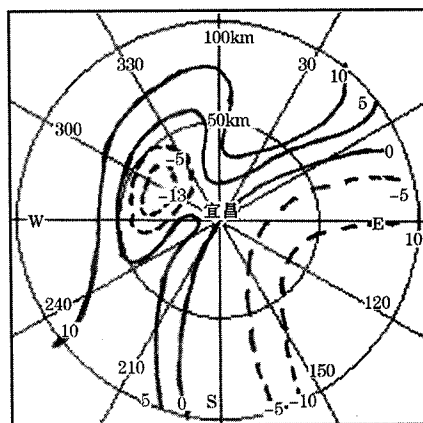


图 3 2001 年 7 月 2 日 14 时 15 分 1.5° 仰角基本速度 (V26)

图中实线表示背离雷达的径向速度; 断线表示朝向雷达的径向速度

起移动、减弱直至消失。该逆风区生成、发展直至消失的全过程说明它对强风暴的预警有一定的指示意义。

4 结 语

(1) 2001 年 7 月 2 日发生在三峡坝区瞬间极大风速达 $28.8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的强对流风暴, 是在 500hPa 副高外围与西风带槽前偏南气流引导下, 与神农架南坡特定地形相结合的情况下发生的。

(2) 造成三峡坝区强风暴灾害的超级单体回波, 在神农架南坡生成、发展和维持, 具有准静止和长生命特征, 强回波仅分布于神农架南坡和其东缘, 该特点与神农架南坡山前气流涌升效应有关。

(3) 位于神农架南坡的东西向气旋式中尺度辐合线, 对强风暴起到了触发和加强的作用。最初的零散对流和随后的超级单体回波均是在该辐合线上生成和发展的, 从而间接证明了神农架南坡山前气流涌升效应对三

峡坝区强对流风暴形成和移动的影响, 多普勒径向速度图上的逆风区对强风暴预警有一定指示意义。

参考文献

- 1 孙士型, 居志刚. 三峡坝区一次强风暴天气的多普勒雷达回波特征 [J]. 湖北气象, 2003, (2).
- 2 刘尧成, 孙士型, 秦承平. 三峡坝区风害特征和预报 [J]. 中国三峡建设, 2001, (11).
- 3 Browning, K. A. The structure and mechanisms of hailstorms [J]. Meteorol. Monogr, 16 (38): 1-43.
- 4 Weisman, M. L., and J. B. Klemp. The structure and classification of numerically simulated convective storms in directionally varying wind shears [J]. Mon. Wea. Rev. 112, 2479-2498.
- 5 陆汉成, 杨国祥. 中尺度天气原理和预报 [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 185-191.
- 6 Cotton W R, Anthes R A (美) 著. 叶家东, 范蓓芬, 程麟生, 等译. 风暴和云动力学 [M]. 北京: 气象出版社, 1993: 500-529.
- 7 张腾飞, 段旭. 一次滇中突发性暴雨过程的多普勒天气雷达应用分析 [J]. 气象, 2005, 31 (增).