

肇庆市一次超级单体的多普勒雷达资料分析

郭媚媚¹ 麦冠华² 胡 胜³ 何华庆¹

(1. 广东省肇庆市气象台, 526040; 2. 广东省高要市气象局; 3. 广州中心气象台)

提 要: 利用广州 S 波段多普勒雷达资料, 对 2004 年 7 月 1 日夜間发生在广东省肇庆市的一次强对流天气过程进行分析, 发现引起这次强对流的风暴具有超级单体风暴的特征。这个超级单体南边出现两条明显的出流边界, 分别位于钩状回波的西南和东南。相应的中低层径向速度图呈现一个弱中尺度气旋, 旋转速度达 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。该超级单体的移动方向在盛行风向的右侧约 30° , 属于右移风暴。

关键词: 超级单体 钩状回波 中尺度气旋 多普勒雷达

Analysis of a Supercell Storm with Doppler Weather Radar Data

Guo Meimei¹ Mai Guanhua² Hu Sheng³ He Huaqing¹

(1. Zhaoqing Meteorological Observatory, 526040; 2. Gaoyao Meteorological Office;
3. Guangzhou Central Meteorological Observatory)

Abstract: A supercell storm is analyzed with the Guangzhou Doppler Weather Radar data. The storm occurred on 1 July, 2004 in Zhaoqing, Guangdong Province. There were two outflows lying to the southwest and southeast of the hook echo, respectively. The corresponding low to middle levels radial velocity maps showed a mesocyclone, with rotation velocity about $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. It was a right moving supercell storm moving to the right of the mean wind by 30° .

Key Words: supercell storm hook echo mesocyclone doppler weather radar

引 言

超级单体作为局地对流风暴发展的一种最猛烈的形式,一直是众多气象学家研究的热门对象。Marwitz^[1]以及 Chisholm^[2]正式提出将超级单体作为局地对流风暴的一种类型。Browning^[3]将超级单体定义为具有中气旋的对流单体。

中国对超级单体风暴进行了一些研究。刘洪恩^[4]在 1976—1984 年间利用 711 雷达的观测结果,对北京地区的超级单体、类超级单体等进行了研究。王昂生和徐乃璋^[5]研究了若干个超级单体个例。目前中国多普勒雷达的高灵敏度和测速功能为局地强风暴的研究提供了良好的条件。不少站点已经观测到一些超级单体和相应的中尺度气旋的例子^[6-8]。郑媛媛等^[9]对 2002 年 5 月发生在皖北地区的一次典型的超级单体风暴过程进行了分析。葛润生等^[10]研究了一次雹暴的反射率因子和流场结构。本文利用广州 S 波段多普勒雷达资料对影响粤西地区的一次强对流天气进行分析。

1 天气实况

2004 年 7 月 1 日夜間,粤西地区出现了一次强对流天气过程。其中,有一个超级单体对肇庆市部分地区造成严重影响。该风暴历时约 2h,自东北向西南移动了约 100km,风暴路径如图 1 所示。肇庆市东南部测站和部分自动站普遍出现大风、强雷雨。四会站 20:38 出现 $27.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 大风,20:30—21:20 降雨量达 42.7mm;与肇庆市城区一河之隔的高要站 21:42 出现 $38.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的瞬间极大风速,打破 $34\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的历史极值,21:24—21:45 持续出现 8 级以上大风,造成较大损失。天气实况见表 1。

表 1 肇庆市部分测站和自动站大风及雨量

	大风情况		降雨量/mm
	瞬间极大 风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	出现 时间	7 月 1 日 20:00—22:00
肇庆市气象局	26.3	21:32	7.9
星湖自动站	26.0	21:30	16.5
鼎湖自动站	19.5	21:03	6.4
广利自动站	20.2	21:13	1.1
九坑河自动站	28.0	21:06	26.9
高要测站	38.1	21:42	12.1
四会测站	27.9	20:38	42.7
邓村自动站	20.2	20:47	37.5
江谷自动站	23.1	20:21	42.8

2 天气背景

2004 年 7 月 1 日 20 时,台风蒲公英中心位于 23.3°N 、 121.7°E ,即台湾省花莲南方约 385km 的洋面上。1 日 20 时 500hPa 图上,西北太平洋副热带高压受台风影响断裂成两环,分别位于东海和贵州、湖南,广东受台风外围东北下沉气流控制,风速达 $12\sim 16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;850hPa 图上,广东为 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏北气流;地面图上,华南地区位于四川高压和台风低压之间,粤东是偏北气流,粤西是偏南气流,风速为 $2\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ΔP_3 均为负值;肇庆市附近出现一个尺度约 150km 的气旋式涡旋,为局地强对流的发生提供了很好的中尺度环流背

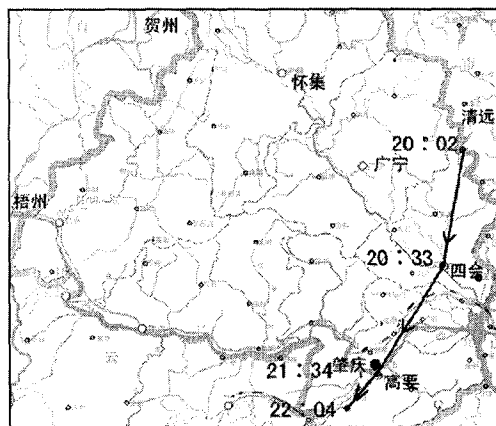


图 1 2004 年 7 月 1 日风暴路径示意

景。

由 500hPa、850hPa 和地面图可见: 1 日 20 时粤西地区地面为西南风, 850hPa 为偏北风, 500hPa 为东北风, 风速随高度增加, 风向顺转, 特别是地面到 850hPa 之间风向顺转幅度最大 (图 2, 见彩页), 利于右移超级单体风暴的产生^[3]。

对流风暴经过的肇庆市区域处于广西梧州和广东清远两市之间。图 3 给出了 1 日 20 时梧州和清远的探空曲线和自地面绝热上升的气块状态曲线。梧州和清远代表对流有效位能数值的黑色区域比当日 08 时明显增大。两地 Ek 值分别增加了 5 成和 2 倍。清远 Si 指数由 -3.2 骤降到 -8.7。从 6 月 28 日开始, 肇庆市各地持续出现 35°C 以上

高温, 最高气温逐日攀升。7 月 1 日, 高要站出现入夏以来的最高气温 38.3°C , 四会站达 37.8°C 。以上表明在强对流天气发生前, 大气积累了相当的不稳定能量。

3 多普勒雷达资料分析

7 月 1 日 19 时, 在清远和广西贺州境内各有一块约 40km 的孤立回波 (图 4a, 见彩页) 不断加强并向偏南移动, 进入肇庆市北部。20 时左右连成长约 100km、宽 40km 的带状中尺度对流系统。

20:02 (图 4b, 见彩页), 对流系统中有 2 个发展比较强盛的对流单体, 右边一个在肇庆市的广宁县与清远市交界处, 左边一个在怀集县境内。右边的对流单体最强, 3.4° 仰角的最大反射率因子达 55dBz 。在右边单体南边约 50km 处另有一小孤立对流单体。

20:33 (图 4c, 见彩页), 右边单体移至四会, 变得更强盛, 其前进的右后侧出现突出物, 开始呈现钩状回波特征。三个对流单体已经逐渐连成一片。相应径向速度图 (图 5a, 见彩页) 上出现一个旋转速度约为 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的弱中气旋^[11], 按刘洪恩的分类^[12]可以看作为一个类超级单体。超级单体南边出现两条明显的流出边界, 分别位于钩状回波的西南和东南。据此判断风暴在 20:30 左右发展成超级单体。此时, 四会测站出现大风和强雷雨。

风暴继续向西南移动, 21:30 移至肇庆城区和高要测站附近, 强度达到顶峰 (图 4d, 见彩页), 高要测站出现 12 级以上大风和强雷雨。21:34, 0.5° 仰角反射率因子图 (图 6a1, 见彩页) 上, 钩状回波并不很明显; 速度图 (图 6a2, 见彩页) 表现为弱切变。 1.5° 仰角反射率因子图 (图 6b1, 见彩页) 上, 强回波区西部强度比 0.5° 仰角大; 速度图 (图 6b2, 见彩页) 呈现出弱中气旋, 旋转速度约为 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 该强度一直

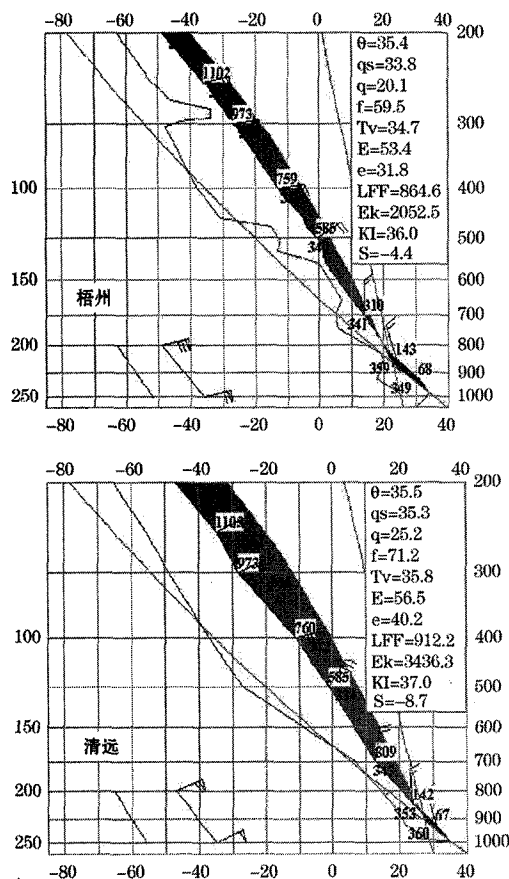


图 3 2004 年 7 月 1 日 20 时梧州和清远 T - $\ln P$ 图

持续至 21:46 左右。在 3.4° 仰角反射率因子图 (图 6c1, 见彩页) 上, 钩状回波结构最为明显, 最强回波区 (大于 55dBz) 在钩状回波上, 正好位于肇庆城区和高要测站附近; 速度图 (图 6c2) 表现为辐散区。在 6.0° 仰角反射率因子回波 (图 6d1) 成羽毛状, 强回波 (50dBz) 中心位于东侧。沿平行入流方向并通过反射率因子核心区的反射率因子垂直剖面图 (图 2) 上, 回波顶高约 16km, 出现水平尺度约 4~5km 的有界弱回波区 BWER 和其左侧的回波墙, 反射率因子核心区 (大于 45dBz) 位于 BWER 左侧, 从 9km 左右高度一直扩展到低层, 最强区域 (55 dBz) 在回波墙下部 (3km 以下)。

至 22:04, 钩状回波和中尺度气旋特征持续了约 1.5h 后, 减弱消失 (图 4e 和图 5c)。期间对流层的大致风向为东北偏北, 风暴的移动方向在盛行风向的右侧 30° 左右, 是右移超级单体风暴。

22:23 以后风暴迅速减弱, 这次强对流天气过程结束。

4 高要测站在超级单体过境前后各气象要素变化

超级单体过境时, 会引起当地气压涌升、气温骤降、相对湿度陡升、风向突变、风速猛增等气象要素的强烈变化, 出现强风、强雷雨等天气现象。表 2 和图 7 所示, 这个风暴也具有以上特征。21:00—22:

00, 高要测站 1h 内, 海平面气压上升了 2.5hPa, 气温急降了 6.8°C , 相对湿度增大 16%, 风向风速发生了突变。

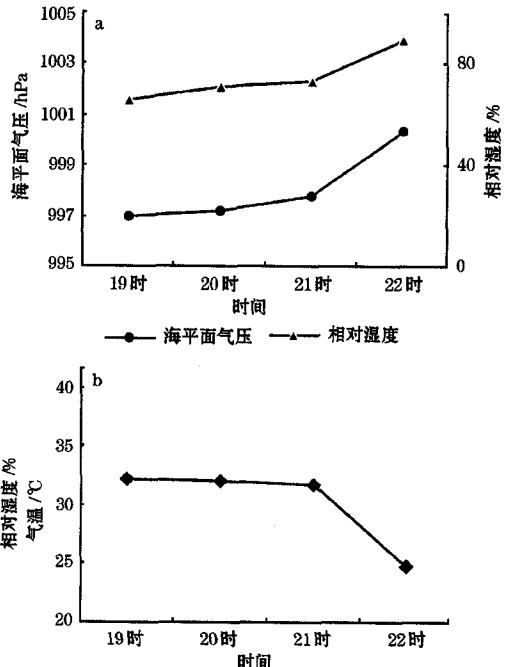


图 7 2004 年 7 月 1 日海平面气压、相对湿度 (a) 和气温 (b) 变化图

5 关于没有出现冰雹问题的讨论

超级单体常会造成冰雹、龙卷、大风和暴雨。据高要、四会站记录, 这次过程只出现大风和强雷雨, 测站和附近自动站并没有冰雹出现, 可能原因是: 由 1 日 20 时梧州、清远站探空资料可见, 环境大气 0°C 层高度约在 5.5km, -20°C 层约在 8.8km。在垂直剖面图 (图 2) 上, 风暴反射率因子核心区 (大于 45dBz) 在 8.8km 以下, 而且最强区域 (55dBz) 集中在 3km 以下。胡明宝等^[13]指出: 影响冰雹生长的重要因子是适宜的 0°C 和 -20°C 层高度。 0°C 层高度在 4km (600hPa) 上下, -20°C 层高度在 7.5km (400hPa) 附近或以下。这次强对流天气过程中, 0°C 和 -20°C 层大致高度均高于适宜冰雹生长的高度, 不利冰雹产生。

表 2 2004 年 7 月 1 日单体过境前后高要测站风速、风向

	风向	风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
18:00	西南	3
19:00	南	3
20:00	西南偏西	3
21:00	西风	2
21:42	北	38.1 (极大瞬间)
22:00	西风	2

Johns 与 Doswell^[14]指出, 降雹与深对流有关。在对流层下部有足够的潮湿层是达到深对流的必备条件。从当日高空观测资料来看, 对流层各层的温度露点差均在 3.0°C 以上, 对流层下部没有足够的潮湿层, 不利冰雹生成。

强上升运动是冰雹发生发展的必要条件。当时从地面至 500hPa 层, 风垂直切变为 $3.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 数值不大, 不利冰雹产生。

6 结束语

(1) 这是一次受台风外围影响, 由超级单体风暴引起的局地强对流天气过程。地面上尺度约 150km 的气旋式涡旋为局地强对流的发生提供了很好的中尺度环流背景。在大气低层, 风向随高度顺转, 风速增大, 特别是在地面到 850hPa 之间风向顺转幅度最大, 利于右移超级单体风暴的产生。

(2) 这个超级单体具有钩状回波特征, 并在单体南边出现两条明显的出流边界, 相应径向速度图上伴有弱中气旋。超级单体结构特征包括钩状回波和中尺度气旋总共持续约 1.5h。期间对流层的大致风向为东北偏北, 风暴的移动方向在盛行风向的右侧 30° 左右, 是右移超级单体风暴。

(3) 这个超级单体过境时, 测站气压涌升、气温骤降、相对湿度陡升、风向突变、风速猛增, 并出现强风、强雷雨。

(4) 这次过程只出现大风和强雷雨, 并没有冰雹, 可能原因是: 当时 0°C 和 -20°C 层大致高度均高于适宜冰雹生长的高度; 对

流层下部没有足够的潮湿层; 从地面至 500hPa 层, 风垂直切变不强。

参考文献

- 1 Marwitz JD. The structure and motion of severe hailstorms [J]. J Appl Meteor, 1972, 11: 166-201.
- 2 Chisholm AJ. Alert hailstorms, Part I: Radar case studies and airflow models [J]. Meteor Mon, 1973, 14: 36.
- 3 Browning KA. The structure and mechanisms of hailstorms [J]. Amer Meteor Soc Monog, 1978, 38: 1-36.
- 4 刘洪恩. 用雷达资料识别中尺度气旋雹暴的形成及演变 [J]. 气象, 1999, 25 (7): 47-52.
- 5 王昂生, 徐乃璋. 强单体雹暴的研究 [J]. 大气科学, 1985, 19 (9): 260-266.
- 6 胡玲. 超级单体雹暴的多普勒雷达特征分析. 中美强对流天气临近预报技术国际研讨会文集 [C]. 北京: 气象出版社, 2004: 328
- 7 谢向阳, 姜彩莲, 赵学军. 一次超级单体风暴的气流场结构特征分析 [J]. 新疆气象, 2004, 27 (4): 31-32.
- 8 牛淑贞. 典型超级单体风暴过程分析 [J]. 气象, 1999, 25 (12): 32-37.
- 9 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 [J]. 气象学报, 2004, 62 (3): 317-327.
- 10 葛润生, 姜海燕, 彭红. 北京地区雹暴气流结构研究 [J]. 应用气象学报, 1998, (9): 1-7.
- 11 胡明宝, 高太长, 汤达章. 多普勒天气雷达资料分析与应用 [M]. 北京: 解放军出版社, 2000: 189-190.
- 12 刘洪恩. 北京地区的雹暴及类型 [J]. 北京气象, 1985, 1: 60-71.
- 13 陆汉城, 杨国祥. 中尺度天气原理和预报 (第二版) [M]. 北京: 气象出版社, 2004: 270-271.
- 14 Johns, R. H. and C. A. Doswell III, Severe Local Storms Forecasting [J]. Wea. Forecasting, 1992, 7: 588-909.

郭媚媚等：肇庆市一次超级单体的多普勒雷达资料分析

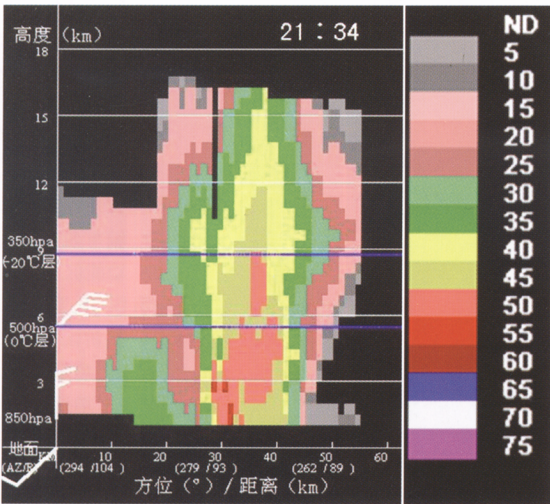


图2 沿平行入流方向并通过反射率因子核心区的反射率因子垂直剖面（注：剖面是通过（294/104）和（262/89）两点的直线，位置见图4d中白线；图中蓝线代表0℃和-20℃层高度）

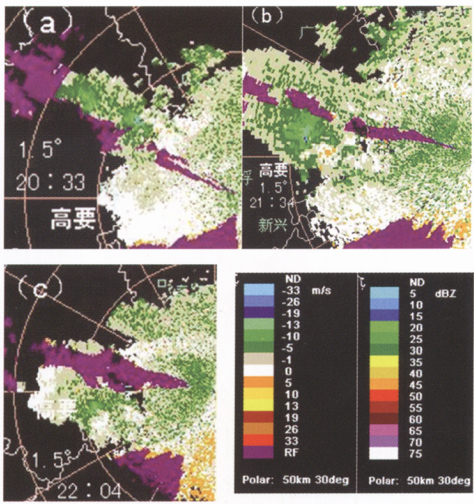


图5 仰角1.5°径向速度演变（a~c分别为20:33、21:34、22:04）

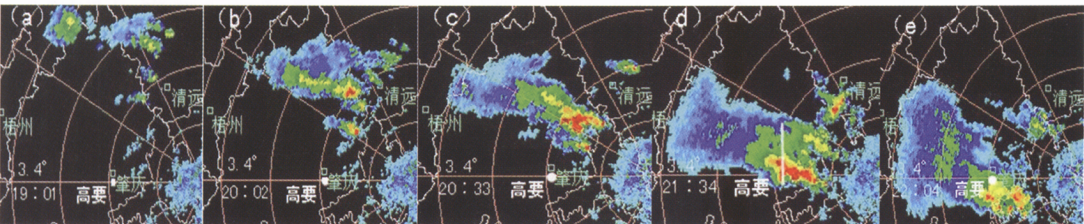


图4 仰角3.4°反射率因子演变（a~e分别为19:01、20:02、20:33、21:34、22:04）

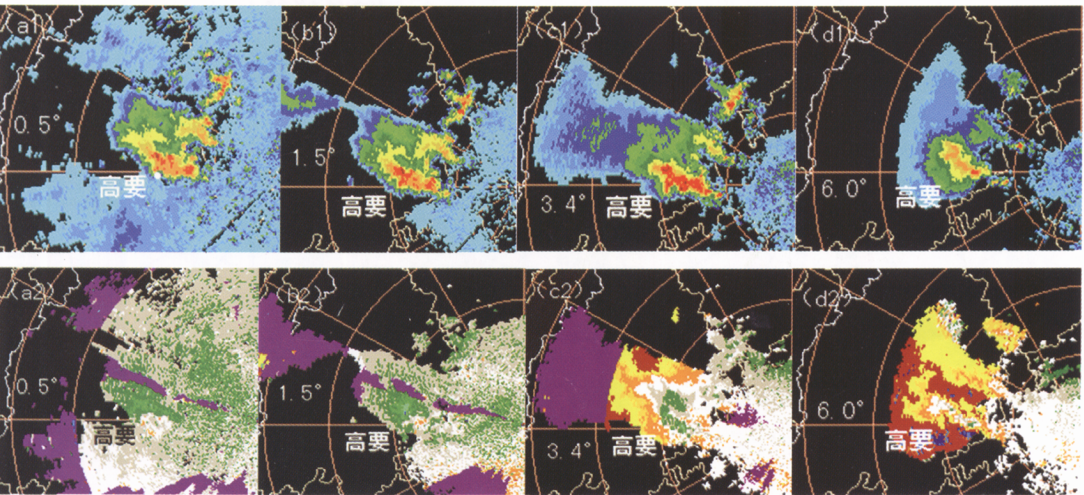


图6 2004年7月1日21时34分仰角0.5°、1.5°、3.4°和6.0°反射率因子(a1~d1)和径向速度(a2~d2)分布