

龙卷型强风暴——1995年4月19日洪奇沥龙卷风剖析*

蒋汝庚

(广州中心气象台, 广州 510080)

提 要

1995年4月19日13:00至21:00, 一次范围较广的强对流天气过程波及了肇庆、佛山、顺德、南海、番禺、中山市等地.

广州雷达站探测了这一过程, 并取得了较为完整的雷达资料. 该文主要对受灾严重的番禺市万顷沙地区龙卷风进行剖析, 所得结果表明: (1) 该龙卷是反气旋式龙卷, 实属罕见; (2) 尺度属微尺度—小尺度范围(120~4000 m); (3) 与该龙卷伴随的风暴单体生命史长达4~5小时; (4) 计算出的该龙卷风的破坏力以及龙卷环流等参量与Dellas、Fargo等龙卷风所得出的参量的量级比较一致.

关键词: 龙卷风 雷达 风暴单体

1 龙卷风暴现场实况及造成灾害

1995年4月19日发生在番禺市洪奇沥镇的龙卷风是龙卷风暴(指产生龙卷的强风暴系统)造成的. 洪奇沥桥是该市万顷沙镇通往中山民众镇的一条通道. 桥全长500 m、宽约1.5 m. 当时拍摄的照片(图略)表明: 洪奇沥桥靠番禺的一端, 所竖立由粗钢筋建成的牌坊柱被吹成扭曲状, 一门柱向南侧, 另一门柱侧向北, 呈反气旋式. 桥面上18辆1.75吨货柜车全掀翻(倒向右). 龙卷风暴经过桥中时, 其左侧路灯被吹反向180度(原照明路灯相对而立). 洪奇沥桥靠中山一端, 有一电站卷闸门(约50 kg)被龙卷风暴拉断并越过2 m高围墙被抛离原地40 m处.

2 龙卷风形成的天气背景和环流场概况

图1给出1995年4月19日08:00高低层天气配置综合图. 由图可见, 925 hPa中印半岛一带有一倒槽型的水汽输送带; 850 hPa风向切变异常强烈, 在广东北部(韶关)形成一条中尺度辐合线; 500 hPa中低纬为波动型, 南支槽活跃, 副热带高压西北侧盛行西南气流, 位于华中武汉、长沙一带的槽东移. 经分析表明, 500 hPa有一冷干舌自北向南楔入, 高空槽和冷锋相互逼近, 造成广东地区锋前暖湿气流的辐合上升运动.

* 1995-11-22 收到. 1997-05-26 收到修改稿.

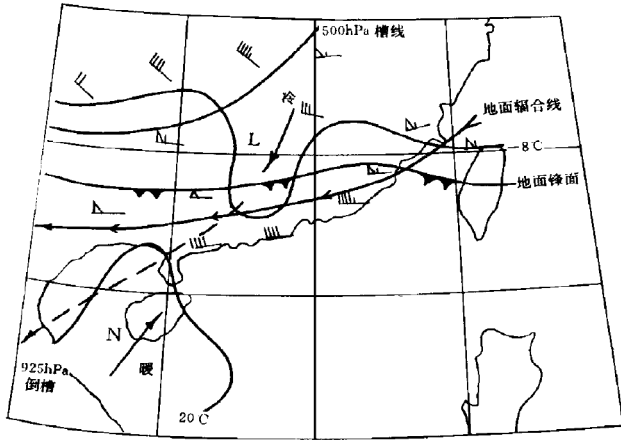


图1 1995-04-19-0800 高低层天气配置

由图 1 分析表明，广州地区具有强对流天气发生的条件，它将受到龙卷风严重的灾害性天气的威胁。

3 龙卷型强风暴的红外云图和雷达回波特征

3.1 红外云图

图 2 为 4 月 19 日 9 : 00 ~ 17 : 00 每小时的红外云图。由图可见，这次过程是由几个不同尺度系统共同作用的结果，其中高空槽前云系则是重要因素。

4 月 19 日 06 : 30 低槽云系区位于广西境内，云系相对稳定，由高空槽前对流云图 A、B、C 三个云块组成。午后随着高空槽的东移，云系发生了明显的变化。13 : 30 “B”云块发展并加强，而 A、C 两块云团强度有所减弱；14 : 30 “B”云块膨胀发展，并沿西江东移；15 : 30 形成单一的巨型云块；16 : 36 发展到最强盛，成南北向椭圆形结构的单一超级(巨型)云团。云团内部纹理结构清晰，且呈涡旋状；云顶温度达到 -80°C。这就是导致番禺市万顷沙洪奇沥龙卷(风)的母体云系。

3.2 雷达回波

上述红外云图的演变反映了此龙卷的母体云系形成、发展、成熟及消亡全过程的概貌，而雷达回波则能反映强风暴的强度、高度及相对较细微的结构(图 3)。风暴回波演变及其特征如下：

初生阶段：4 月 19 日 13 : 51 广州雷达站发现广东省西部德庆、广宁、肇庆等地在 3 km CAPPI 雷达上显示出南北两块雷雨回波，其中南面回波强于北面回波，回波最强中心为 55 ~ 60 dBz(高度为 10 km)。

发展阶段：4 月 19 日 13 : 00 ~ 14 : 42 南北两块回波迅速发展，合并成一个巨型回波系统，合并处形成“V”型缺口，其顶端的强回波中心强度达 50 mm/h(雨强)。此时超级单体的西南方向同样有新的对流单体生成，且排列成“U”型状回波。15 : 00 这些“U”

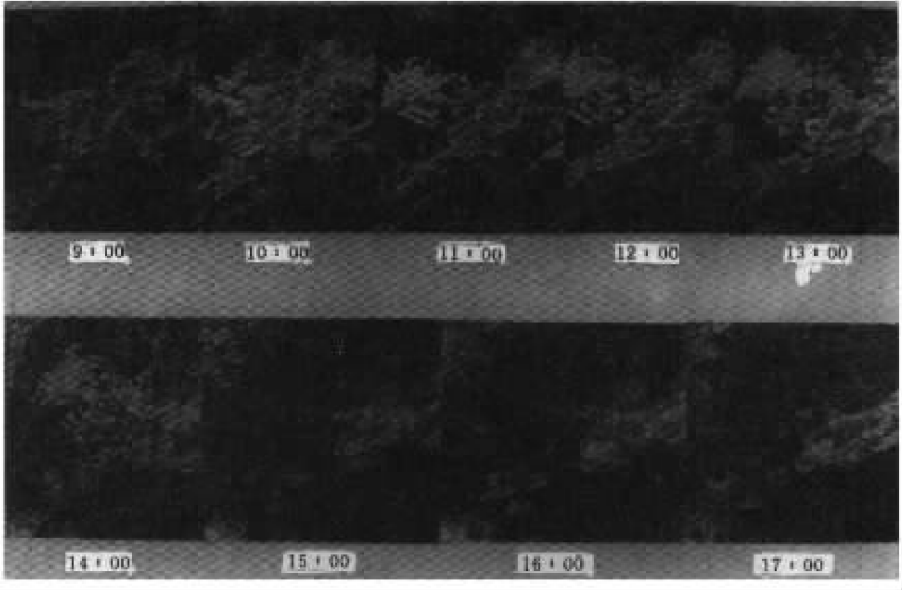


图2 4月19日04:00~19:00每小时红外云图

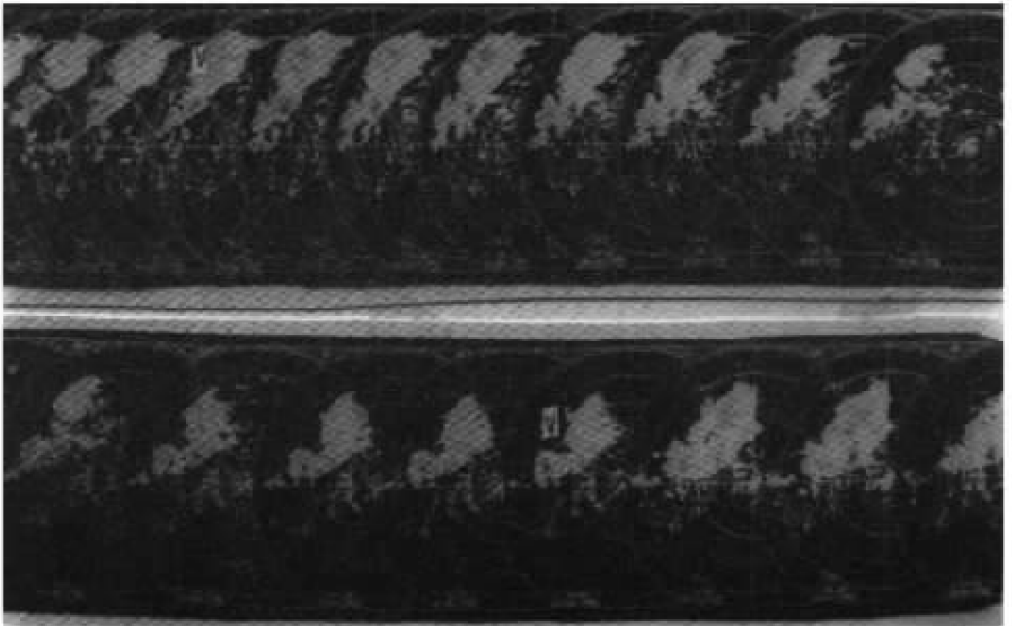


图3 强风暴回波演变图

型管状组合回波向 30°方向移动，且自身亦起变化，与南面回波的南端互连接构成了所谓“钩状”回波。这些“钩状”回波生消时间较短，于 15：06 钩状底弯曲断裂消失，只见钩状回波的两臂回波与主体回波相接。

成熟阶段：15：12~16：06 巨型超级单体的形态和强度相对稳定，表现在回波高度上增长缓慢(图 3)，此时，在回波图上该超级单体的形态虽略有变化，但“V”型口始终存在。16：00 顺德出现 14.4 m/s 的雷雨大风。16：06~16：24，强中心回波强度变化不大，16：24 强中心回波顶高度达 19.8 km 的最高值(图 4)，即是强风暴全盛期。南海市测到雷雨大风为 18 m/s，强回波中心的雨强为 50~100 mm/h，持续 18 分钟。此强回波中心以 55 km/h 的速度向东南偏东方向快速移动，当它经过番禺南面万顷沙镇洪奇沥管理区时(16：30~17：00)，天空漆黑如夜，狂风大作，雷雨交加，17：00 左右强回波发展达最强盛，雨强为 100 mm/h，回波顶高度达 18 km 以上，此时，距龙卷风中心 4~5 km 处的珠江农场自动气象站观测到 36 m/s 的阵风，降水为 82 mm/h，并伴有直径为 5 mm 的冰雹，还观测到积雨云下部的漏斗云。

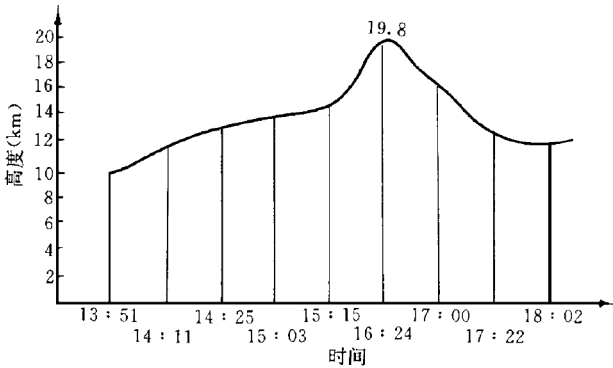


图 4 强中心回波顶随时间演变廓线

减弱阶段：17：58 强回波中心移到深圳上空后，强度开始缓慢减弱，但回波顶高度迅速降低，回波移速减慢，导致深圳出现强降水，但无雷雨大风，直到 21：00 后回波才出海消散。

3.3 强风暴移动

4.19 强风暴移动速度最大达 57 km/h，最小为 40 km/h。移动方向变化范围为 14°，基本保持向 120°方向移动。强风暴的中心移动可以代表整体风暴的移动。

4 龙卷风暴周围环流和参量估测

4.1 龙卷风暴强度估算

龙卷风暴引起的破坏力大小与龙卷强度有关。Fujita(藤田哲也)采用地面最大风力 (V_{max})及其移动路径长度(L)和宽度(W)等参数来表征，并指出以 F 、 P_L 、及 P_W 等级来表示龙卷风强度。且 F 、 P_L 、 P_W 三者之间有以下关系^[1]：

$$V_{\max} = 6.30 \times (F + 2)^{3/2} \quad (\text{单位: } \text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$L = 1.61 \times 10^{(P_L - 1)/2} \quad (\text{单位: } \text{km})$$

$$W = 161 \quad (\text{单位: } \text{m})$$

4.2 龙卷风暴的环流和参量计算

① 环流和涡度及切向风速计算

文中计算环流和涡度基于以下公式^[2]:

$$C = \oint \frac{\vec{v}}{V} \cdot d\vec{I} \quad (1)$$

$$\zeta = \text{Lim}[(\oint \frac{\vec{v}}{V} \cdot d\vec{I})/A] \quad (2)$$

$$V^2/R = (-\frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n})^{1/2} \quad (3)$$

式中 C : 环流, ζ : 涡度, \vec{v} : 速度矢, I : 路径矢量, A : 面积.

计算结果如下: 4.19 洪奇沥龙卷的环流和涡度及切向速度分别为:

$$C = 7.294 \times 10^8 \text{ cm}^2/\text{s}, \quad \zeta = 1032 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}, \quad V = 77.4 \text{ m/s}$$

② 气压谷和气压梯度计算

气压谷是由于旋转(龙卷)引起的轴向气压谷. 根据兰-金涡组合计算^[3]:

$$\partial p/\partial r = \rho V^2/r \quad (\text{旋转平衡方程}) \quad (4)$$

$$\partial p/\partial z = -\rho g, \quad (\text{静力平衡方程}) \quad (5)$$

式中 r : 为环流半径.

由式(4)、(5)发现由于旋转引起轴向气压谷为:

$$\Delta p_r = \rho V_{\max}^2$$

经计算得出 $(\Delta p_r)_{\max} = 58 \text{ hPa}$.

最大径向气压梯度为:

$$(\partial p/\partial r)_{\max} = \frac{\rho V_{\max}^2}{r_c} = 0.3866 \text{ hPa/m}$$

将上述计算结果与国外文献所介绍的典型龙卷强风暴环流、涡度等参量进行比较(见表1), 结果说明洪奇沥龙卷与典型龙卷强风暴的环流具有相同量级, 但涡度量级相差较大.

表1 围绕龙卷的环流和涡度及其参量比较*

龙卷名	切向速度 (m/s)	半径 (m)	环流 ($10^8 \text{ cm}^2/\text{s}$)	涡度 (10^{-5} s^{-1})	气压谷 (hPa)	径向气压梯度 (hPa/m)
斯科次布拉夫	(216.4)	(23.16)	3.0	1900000		
达拉斯(Dallas)	(75.99)	(41.45)	1.9	400000		
法戈(Fargo)	(48.28)	(109.73)	3.3	90000		
洪奇沥	77.4	150	7.294	1032	58.0	0.3866

*注: 1)本表所列前三项数据引自中央气象局研究所^[4]; 2)表中括号内数据是换算成“公制”数字; 3)“洪奇沥”龙卷的环流数字应加负号(反气旋之故).

5 小 结

(1) 从探测角度考虑, 雷达探测强风暴其功能优于卫星云图. 通过雷达的连续跟踪, 取得的有关 4 月 19 日强风暴雷达资料较完善.

(2) 一个龙卷风暴可能包含几种不同尺度的涡旋, 如微尺度吸管(5~50 m), 洪奇沥镇龙卷风暴吸管直径为 15 m 左右, 它像柱体绕龙卷风暴中心轴旋转, 与台风眼壁十分相似.

(3) 洪奇沥龙卷风暴属反气旋的龙卷, 这种龙卷比较罕见. 在观测中同样发现存在“V”型缺口和“钩状”回波.

(4) 计算的洪奇沥龙卷环流、切向速度、气压谷和径向气压梯度与典型龙卷强风暴具有相同的量级.

参 考 文 献

- 1 寿绍文, 杜秉玉, 肖稳安, 等, 中尺度对流系统及其预报. 北京: 气象出版社, 1990. 1~16.
- 2 霍尔顿. 动力气象引论, 北京: 科学出版社, 1978. 34~52.
- 3 Kessler E. 主编. 雷暴形态学和动力学. 北京: 气象出版社, 1991. 102~106.
- 4 中央气象局研究所. 雷达气象译文集. 北京: 中央气象局, 1974. 1~14.

A TORNADO TYPE SEVERE STORM —— REPORT OF DETAILED ANALYSIS ON HONGQILI TORNADO ON 19 APRIL 1995

Jiang Rugeng

(Guangzhou Central Meteorological Observatory, Guangzhou 510080)

Abstract

A strong convective process involved an extensive area covering Zhaoqing, Foshan, Shunde, Nanhai, Panyu, Zhongshan and many other cities from 13 : 00 to 21 : 00 on 19 April 1995.

The whole process was observed and complete radar data were obtained in Guangzhou Radar Observatory. The detailed analysis was made for the tornadic storm over Wanqing-sha area. The results show that: (1) it is a rare anticyclonic tornado, (2) its scale belongs to the range of micro-small scale (1200~4000 m), (3) the life time of the accompanied storm cell is as long as 4~5 h, and (4) the calculated parameters such as tornado strength and tornado circulation are in the same order as those of Dallas, Fargo, et al.

Key words: Tornado Radar Storm cell