

## “4·20”川南强风暴的初步分析

黄福均

(四川省气象台, 成都, 610072)

陈忠明

(自贡市气象台)

### 提 要

1989年4月19日23时至20日02时, 川南地区发生了一次特大风雹事件, 经单站资料和雷达、卫星照片分析, 确认此次风雹灾害不是龙卷、飢线造成; 而是与超级强风暴单体后部的下击暴流相联系。本文依据所收集的有限资料, 从风暴形成的环流背景、能量条件、触发机制等方面作了初步分析, 发现“4·20”风暴的形成与以前总结的强雹暴形成模式差别较大, 因此, 对它作进一步研究的必要。

**关键词:** 风暴; 下击暴流; 发生条件; 诊断分析。

### 一、过程概述

1989年4月19日23时至20日02时, 在川南自贡、泸州境内遭受一次罕见特大风雹灾害(以下简称“4·20”风暴)。风暴源于乐山市东部的井研县, 该站于22时30分出现雷暴、冰雹和大风。过后, 风暴以60 km/h速度沿东南方向移经自贡、富顺、泸州、纳溪、合江, 过赤水河进入贵州(图略)。在泸州、纳溪一带达到极盛, 地面出现10级以上大风, 最大纳溪站37 m/s; 冰雹最大直径40—50mm, 历时150min, 途经150km, 影响宽度20—30km, 给所经之地带来毁灭性灾难, 造成105人死亡, 3600余人受伤, 直接经济损失12亿元。

### 二、风暴过境时单站要素演变特征

从图1所示, 风暴经过井研、自贡、富顺、泸州、纳溪各站时, 10 min降温率依次为 $-3.5^{\circ}\text{C}$ 、 $-5.4^{\circ}\text{C}$ 、 $-9.7^{\circ}\text{C}$ 、 $-8.3^{\circ}\text{C}$ 和 $-5.7^{\circ}\text{C}$ 。降温随风暴东移而发展。值得指出的是, 这种降温率的演变具有超前风暴强度演变的特征。富顺站降温率虽大, 但最强的灾害天气却出现在前方的泸州市(注: 测风仪被吹倒, 灾情等各方面反映均比纳溪强)。再从风暴经过各站20 min内气压变化可以看出, 气压涌升率与降温率演变相一致, 涌升最大为7 hPa(富顺站), 表明冷堆和中高压形成同步, 主要由风暴后部强烈下沉气流所致。“4·20”风暴过境时, 上述各站气压曲线未呈现龙卷过境所特有的“V”型特征, 且风向一致为偏北(无旋转风)风。因此, 排除了这次风暴灾害由龙卷引起的揣测。从调查得知风暴影响的水平宽度要比飢线窄得多, 属于中 $\beta$ 尺度天气系统, 且雷达回波和卫星图片显示结果与飢线回波和云图特征不同, 故也排除了风暴灾害系飢线影响的判断。

1989年9月26日收到, 1990年10月5日收到修改稿。

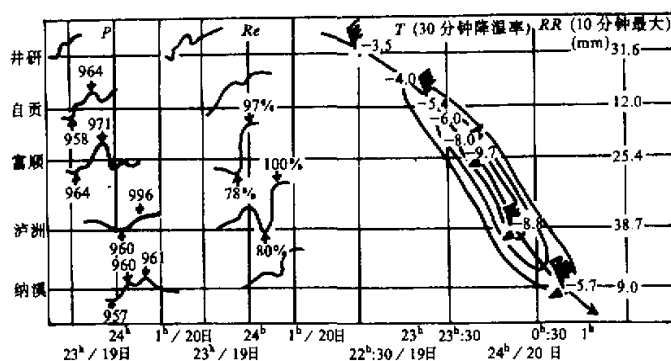


图1 地面压、温、湿自记曲线综合图

根据风暴经过自贡站气压、风向演变(图略)所示,自23时15分起强风暴单体经过自贡站仅26min,该站在气压急升后,出现大风和冰雹,10min平均风速为12m/s,风向呈顺时针方向旋转 $165^{\circ}$ ,气流向外辐散,与美国Fujita提出的“下击暴流<sup>[1]</sup>”非常相似。从富顺站气温自记曲线看,该站温度在陡降 $9.7^{\circ}\text{C}$ 后,几分钟又回升 $4^{\circ}\text{C}$ 。气温陡降后快速回升是和高空冷气流强烈下击相联系,巨大的风力使自贡、富顺、泸州、纳溪均达到Fujita 1973年划定的 $F_1$ 级标准。据此,我们确认此次特大风雹是由超级强风暴单体产生的下击暴流(Downburst)所致。

### 三、风暴发生发展的环流特征

1989年4月19日20时500hPa上(图略),亚欧大陆中高纬度环流经向盛行,位于 $87.5^{\circ}\text{E}$ 、 $62.5^{\circ}\text{N}$ 附近的极涡中心至阿拉木图有一移动性长波槽,与之匹配的极锋锋区在我国西北 $40^{\circ}\text{N}$ 一带。 $40^{\circ}\text{N}$ 以南环流平直,青藏高原至四川盆地受西南气流控制。在川西 $102^{\circ}\text{E}$ 附近有一中尺度 $\alpha$ 短波扰动。200hPa上,副热带西风急流从17日08时至19日20时缓慢向北推移,19日20时,急流轴线位于 $29^{\circ}\text{N}$ 附近并稳定,气流呈辐散状。“4·20”风暴即发生在中尺度 $\alpha$ 短波扰动和高层急流出口区附近,但冷锋远在河西走廊一带,说明风暴发生与中低层冷空气活动无关。这与我国过去文献总结的雹暴发生的环流特征<sup>[2]</sup>有显著差别。

### 四、风暴发生发展的环境条件

#### 1. 能量

从成都、宜宾、重庆3站层结曲线图(图略)可见,川南宜宾站725—710hPa呈现一逆温,以储存不稳定能量并抑制弱对流发展。重庆站负不稳定能量远大于正不稳定能量。比较成都、宜宾两站层结曲线有以下3点:(1)成都自由对流高度在770hPa,而宜宾自由对流高度达550hPa。(2)成都站对流发展上限<sup>[3]</sup>为240hPa,而宜宾站则在200hPa之上,在4月出现这样高的对流上限是罕见的。(3)成都上空不稳定能量主要

集中于对流层中、低层,而宜宾上空不稳定能量则集中于对流层中、高层.上述特点表明川南能量的这种独特分布,是“4·20”风暴发展的一个重要原因.

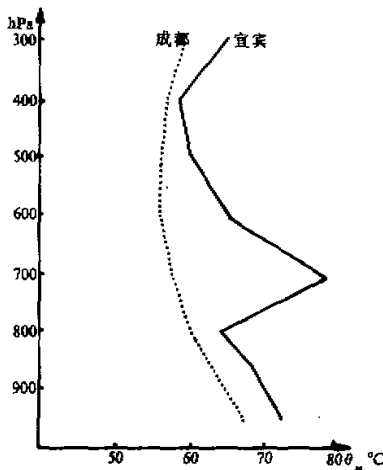


图2 1989年4月19日20时成都、宜宾 $\theta_{se}$ 垂直分布图

实线和虚线分别代表宜宾、成都两站 $\theta_{se}$ .

中心在宜宾, $\theta_{se}$ 达 $78^{\circ}\text{C}$ ,它与川北的低能气块间形成极强能量锋,强度为度/10km.此时,偏南气流把高能空气持续不断地向风暴发展区输送.19日20时500hPa扰动东移与之结合,使有效位势能转化为动能,促其对流强烈发展.20日08时700hPa上 $\theta_{se}$ 所示(图略),在川南凌晨强风暴移过后,高能气块和能量锋已消失.由此得出,中尺度高能气块和能量锋是风暴强烈发展的环境条件.这与过去认为长生命史的风暴生成于大尺度能量锋附近也是不同的.

图2是成都、宜宾两站 $\theta_{se}$ 垂直分布图,图示川南宜宾高能空气深厚, $\theta_{se} \geq 65^{\circ}\text{C}$ 达到600hPa高度上,700hPa上 $\theta_{se}$ 最大值高达 $78^{\circ}\text{C}$ .相反,川西成都则 $\theta_{se} \geq 65^{\circ}\text{C}$ 位于850hPa以下.再比较位势不稳定特征:成都站950—600hPa, $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} > 0$ ,大气呈现位势不稳定;宜宾950—800hPa, $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} > 0$ ,800—700hPa, $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} < 0$ ,700—400hPa, $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} > 0$ ,大气呈现强位势不稳定. $\Delta \theta_{se}(700-600)$ 达到 $13^{\circ}\text{C}/100\text{hPa}$ .由于低层800—700hPa出现“暖盖”抑制扰动发展,在700—400hPa高度内高能又不断积聚,一旦受外力而冲破“暖盖”,则极有利边界层内扰动发展,导致浅对流转化为深对流.图3在云贵川交界处出现一中尺度孤立高能气块,中

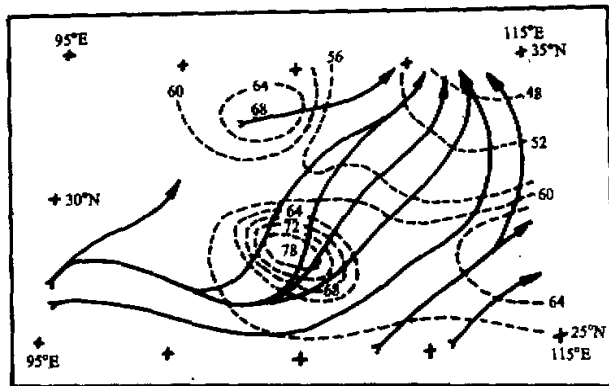


图3 1989年4月19日20时,700hPa能流图  
箭头实线为流线,虚线为等 $\theta_{se}$ 线.

## 2. 触发条件

中、低层暖平流和差动涡度平流驱动的垂直运动与川西雷暴冷堆快速东南移动所激发的上升运动相结合, 是对流不稳定能量释放的触发机制。图 4 沿风暴路径所作垂直剖面图。图示在风暴移经地区, 对流层中、低层为一致暖平流, 且以风暴强烈发展区平流为最强。差动涡度平流分布在对流发生区, 700 hPa 以下(以上) 涡度平流随高度变弱(增大), 向东南随高度减小。21 时川西对流发生后, 地面立即形成一水平尺度达几十公里冷堆, 随对流单体向东南传播, 冷堆不断加强, 移速加快。当对流单体移至自贡时, 冷堆移速已达 60 km/h。如此快的移速, 其出流区将在单体前部产生强烈气流辐合, 强度为  $10^{-4}/s$  以上, 加之冷堆坡度大, 强迫抬升将使边界层内高能空气抬举到高层, 并与温度平流和涡度平流共同驱动的上升气流沟通, 构成系统性抬举力, 激发强大不稳定能量释放, 使超级强风暴迅猛发展。

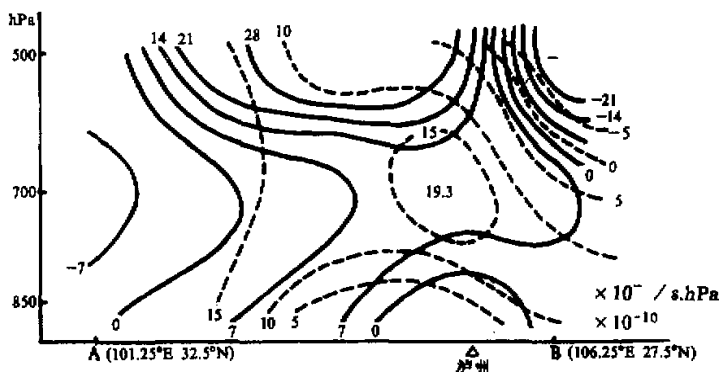


图 4 1989.4.19.20 时温度平流、涡度平流垂直剖面图

A、B 为所取剖面的基点, 实线为涡度平流等值线, 虚线为温度平流等值线。

## 3. 对流单体向强风暴转化

200 hPa 上, 15 日 20 时至 19 日 20 时, 西风急流稳定加强, 盆地上空垂直风切变随之加大, 19 日 20 时, 宜宾站 700—200 hPa 垂直风切变强度为  $4.4 \times 10^{-3} s^{-1}$ ; 500—300 hPa 达到  $9.4 \times 10^{-3} s^{-1}$ , 大大超过美国超级风暴的垂直风速切变下限  $2.5 \times 10^{-3} s^{-1}$ 。从而为对流单体在东南传播中发展为云体倾斜超级风暴提供转机, 从 200—700 hPa 相对散度分布(图略)可见, 在 100—110 °E, 27.5—35 °N 区域内, 川南有一块小于 500 km 的正值区外, 散度分布均为负值区。风暴在相对散度最大正值中心区<sup>[4]</sup>得到发展, 在成熟后快速东移, 当进入负值区时, 因失去赖以维持的有利环境而逐渐减弱。

## 4. $Ri$ 数与扰动发展

理论研究表明,  $Ri$  数大小可用以判断中尺度扰动是否发展。在潮湿大气中, Richardson 数  $Ri = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \ln \theta_{se}}{\partial p} \left/ \left( \frac{\partial v}{\partial p} \right)^2 \right.$ , 当大气垂直风切变  $\frac{\partial v}{\partial p}$  越大,  $Ri$  就越小。

而  $\frac{\partial v}{\partial p}$  大小反映了大气斜压不稳定的强弱, 因此  $Ri$  越小, 对扰动发展有利, 图 5 为 700 hPa 四川盆地及其附近区域  $R_i$  分布图, 图示泸州风暴出现在  $R_i$  小值区轴线附近, 对中尺度波发展极有利, 当 700 hPa 辐合流场和 500 hPa 扰动逼近时, 使波动沿  $R_i$  小值轴传播, 使风暴在东移中进一步加强.

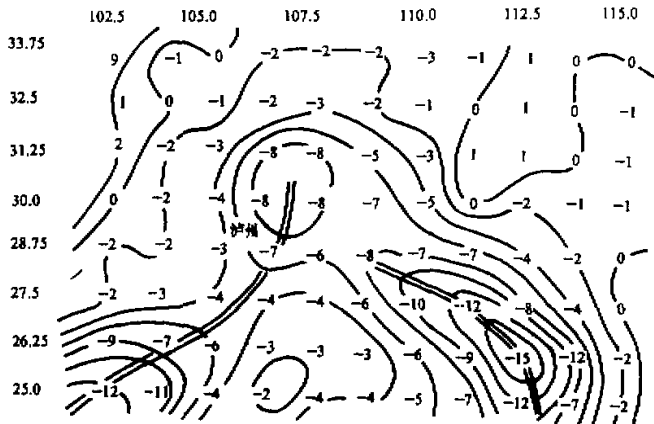


图 5 1989.4.19.20 时 700hPa 上  $R_i$  分布图

$R_i$  为实线, “//” 为  $R_i$  小值轴线

五、风暴发生发展的云型和回波特征

1. 风暴初生阶段

4 月 19 日 20 时 GMS-3 云图 (图 6) 上大尺度冷槽云系位于  $90^{\circ}\text{E}$  附近, 四川盆地为不稳定晴空区. 22 时, 川西有对流云团发展, 中心在  $103.5^{\circ}\text{E}$ 、 $30^{\circ}\text{N}$  附近, 云团面积小、强度弱, 但成都、雅安、乐山西北部等测站均有闻雷或阵雨. 23 时, 川西对流云加强并向东南扩展, 呈现密实块状结构, 面积较 22 时增大几倍, 达到  $2\text{万 km}^2$ , 云顶温度由  $-54^{\circ}\text{C}$  降为  $-69^{\circ}\text{C}$ , 从云团的颜色可以判断出该对流云团是由原两块中  $\beta$  云合并而成, 强中心处于云体东南缘. 21 时 49 分, 内江雷达站测得回波 (图 7) 在该站偏北  $120-140\text{km}$  处, 有 3 块相距很近, 成“品”字排列对流回波, 强度 30dB, 顶高

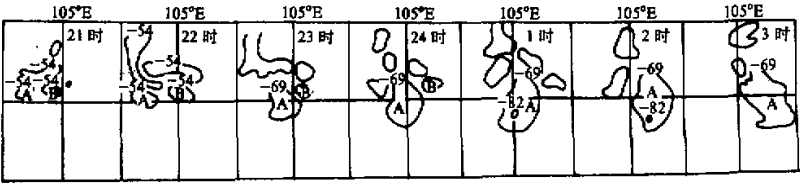


图 6 1989.4.19.21 时— 4.20.03 时 GMS-3 每隔 1 小时伪彩色云图

图中所标数值为云团云顶温度值

11 km, 以 25—30 km/h 速度向东南方移去。结合 500 hPa 短波扰动和 700 hPa 气流辐合作用, 回波迅速加强。

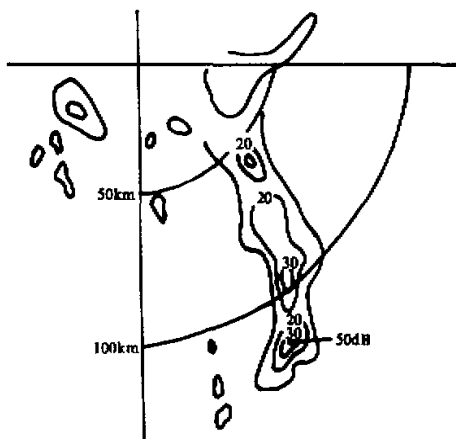


图7 1989.4.20.00时38—53 min内江雷达观测所得回波图  
实线为dB线, 档距为50—100 km

## 2. 风暴发展阶段

24时, 对流云团主体到达 $105^{\circ}\text{E}$ 、 $29^{\circ}\text{N}$ 附近, 面积为4万 $\text{km}^2$ , 较23时增大一倍, 其卷云砧仍向东南凸出, 风暴发生在云团凸位后部, 即对应地面富顺、泸州间。23时40分富顺出现10级大风和冰雹, 10分钟气温下降 $9.7^{\circ}\text{C}$ , 20分钟气压涌升7hPa。20日01时, 风暴达到极盛期, 云团面积约5万 $\text{km}^2$ , 风暴中心呈现米粒状白亮处, 温度降到 $-80^{\circ}\text{C}$ 以下, 位于 $106^{\circ}\text{E}$ 、 $28.5^{\circ}\text{N}$ 附近, 此处为云团最强位置。0时15min和25min泸州、纳溪分别出现12级大风、冰雹等严重天气。02时, 风暴主体移入赤水河到贵州, 03时白亮点随即消失。内江雷达站于0时38分到53分测得风暴盛期几张珍贵回波照片, 图示在风暴中心区出现一条由对流降水组成的密实条状“人”字回波, 长140km、宽12km, 呈弓弧状, 说明强对流云上空风速不连续, 在条状下端回波分叉成枝状, 有明显“V”型缺口, 左枝呈气旋弯曲, 右枝呈勾状为气旋弯曲, 弓状勾状回波中有3个不同强度的强中心回波呈竖向排列, 表明了破坏性风雹呈现下击暴流的明显特征。

## 六、结 论

“1989.4.20”川南自贡、泸州风暴是一个超级强风暴后部下击暴流所致, 强度为 $F_1$ 级, 因直线风速在30m/s以上, 风暴所经之地, 造成毁灭性灾害。

(1) “4·20”风暴与我国过去总结的强雹暴特征有较大差别。风暴生命史短、尺度小而强度极强; 它发生在距冷锋1000 km的川南不稳定暖区, 中、高层无明显干冷平流输送; 500 hPa影响系统为西风短波扰动。按目前我国的测站网和探测手段对这类风暴的连续跟踪获取时空资料是困难的。

(2) “4·20”风暴发生前局地高能层次厚, 对流不稳定在中、高层, 低层局部出现爆发性增温增湿, 形成强中尺度能量锋, 诱发风暴在能量锋区附近发展, 这是风暴发生发展的一个重要标志。

(3) 风暴发展及其后部产生下击暴流的触发条件是强风暴中雷暴冷堆, 其出流使强对流单体前部暖湿空气强迫抬升、中、低层暖平流和差动涡度平流驱动垂直运动, 500 hPa 高原东侧的扰动和  $Ri$  小值轴线的不稳定等因素导致风暴的出现。

(4) 由每小时一次伪彩色卫星云图显示风暴发展由两块中  $\beta$  尺度对流云团迅速合并加强后而得以迅速发展, 3 小时后, 风暴中心云顶温度急速由  $-54^{\circ}\text{C}$  降到  $-69^{\circ}\text{C}$ , 而后又降至  $-82^{\circ}\text{C}$ , 以及后部呈现刀刃状“V”型缺口出现后, 同时由雷达观测到“人”字状弓形勾状回波, 预示风暴发展的短时全过程, 这些珍贵资料对今后预测强风暴的发展以及作好临近补充预报, 避免损失具有现实意义。本文首先旨在揭露我国川南出现历史上罕见由超级风暴导致的下击暴流引起风雹灾害的天气学事实, 并在有限的珍贵资料中结合实地调查对“4·20”风暴进行了初步分析研究, 得出的一些结果, 为今后改进测站网点和加强探测手段, 以便进一步对这类风暴作分析研究打下了基础。

致谢: 在进行本工作时, 得到孙淑清同志的指导和陈良栋教授提供的宝贵 GMS-3 彩色卫星云图资料一套, 谨此致谢。

### 参 考 文 献

- [1] Fujita, T. T., 1978, Manual of downburst identification for project NIMROD, satellite & mesometeorology research project, research paper, department of the geophysical sciences, the University of Chicago, No 156, 1—67.
- [2] 苏福庆, 1984, 我国冰雹天气及预报研究进展, 气象科技, 第 3 期, 17—22.
- [3] 杨国祥, 1983, 中小尺度天气学, 气象出版社, 176—179.
- [4] 王两铭、罗会邦, 1978, 暴雨落区预报探讨, 暴雨文集, 24, 吉林人民出版社.

## A Preliminary Study of Strong Storm in the South Part of Sichuan Province on 20 April 1989

Huang Fujun

Chen Zhongming

(Meteorological Bureau of Sichuan Province, Chengdu, 610072) (Zigong Meteorological Bureau, Sichuan Province)

### Abstract

A very serious disaster caused by wind and hail occurred in the south part of Sichuan Province on 20 April 1989. Having analysed the single station data and radar and satellite images, we attribute this disaster to the downburst of a super cell storm rather than squall or tornado and find that the “4·20” storm is different from hail storm in forming condition. It is necessary to study further the formation of “4·20” storm.

**Key words:** Storm; Downburst; Diagnostic analysis.