

# “20030816”云南暴雨过程的中尺度分析\*

张腾飞, 马联翔, 鲁亚斌, 周国莲

(云南省气象台, 云南 昆明 650034)

**摘要:** 应用天气图、卫星云图 TBB 资料和多普勒雷达回波资料, 分析了云南 2003 年 8 月 16 日的暴雨天气过程. 结果表明: 这次暴雨过程时空分布具有明显的中尺度特征, 大尺度天气形势为中尺度系统的形成和发展提供了有利的环流背景、不稳定条件、能量条件和动力条件; 在卫星云图上切变线云系在西南移过程中发展成飢线, 其上诱发产生的 3 个中- $\alpha$  尺度云团和 1 个中- $\beta$  尺度的云团直接造成了强降水; 在多普勒雷达上偏东风和偏西风之间的中- $\beta$  尺度的切变线和逆风区对中- $\alpha$  尺度飢线的形成和发展起着重要作用, 还诱发生出了超级单体和中气旋, 中- $\alpha$  尺度飢线导致了这次暴雨天气过程.

**关键词:** 暴雨; 中尺度分析; TBB; 多普勒雷达回波

**中图分类号:** P 426; P 445   **文献标识码:** A   **文章编号:** 0258-7971(2006)02-0136-08

暴雨是各种天气尺度系统共同作用的产物, 不同尺度天气系统的有利配合才能造成强降水, 有利的大尺度环流是产生暴雨的背景, 而中尺度系统是暴雨的直接制造者和组织者<sup>[1, 2]</sup>. 李廷福等<sup>[3]</sup>的研究表明, 暴雨是一种中尺度现象, 它的时间和空间变率较大, 频繁的中尺度扰动和中尺度雨团活动构成暴雨过程明显的中尺度特征. 寿绍文等<sup>[4]</sup>指出降水区和降水带的形成与中尺度辐合线、切变线以及中气旋有十分密切的关系. 但从常规天气图及其它一些图表较难捕捉这类系统, 而多普勒天气雷达回波资料和卫星观测资料的时间、空间分辨率高, 可以准确地监测造成暴雨的中尺度系统的发生、发展和演变, 可对暴雨天气进行预报, 近几年来不少学者利用雷达资料和卫星资料进行暴雨天气的研究, 也取得一些有意义的结果<sup>[5, 6]</sup>.

云南地处低纬高原, 天气复杂多变, 在同一天气背景下往往由于存在不同的中尺度系统影响, 造成的降水常常有很大差别, 因此对造成暴雨天气的中尺度系统进行研究显得十分必要. 2003 年 8 月 16 日云南发生了一次大雨暴雨天气过程, 本文力求从这次过程的大尺度环境条件、卫星云图和多普

勒雷达回波等 3 方面进行分析, 揭示这次暴雨天气过程的中尺度特征, 以便更好地认识在有利的大尺度环境条件下中尺度系统如何对云南的暴雨造成影响.

## 1 天气实况

2003 年 8 月 15 日夜间到 16 日凌晨全省出现了 1 次暴雨天气过程, 共出现 21 站大雨和 9 站暴雨, 强降水主要发生在滇西和滇西南, 大雨分布表现出西北-东南走向的带状, 集中在大理、楚雄南部、临沧、思茅和红河, 暴雨中心主要出现在大理州, 出现了 5 个站暴雨, 分布在长 100 km、宽 50 km 范围内, 其中大理降水 75.0 mm, 弥渡降水 78.7 mm, 降水空间分布不均匀; 同时降水的时间分布也不均匀, 图 1 显示了大理、楚雄代表站的降水时段分布, 由图可见降水发生在 10h 以内, 相对最强的降水时段持续时间在 1~2 h 之间, 降水量分布随时间变化, 起伏较大, 如楚雄 15 日 21:00~22:00(北京时间, 下同)降水量达 28.1 mm, 大理 15 日 23:00~16 日 01:00 降水量达 29.2 mm. 因此可见大雨、暴雨时空分布具有明显的中尺度特征.

\* 收稿日期: 2005-10-26

基金项目: 云南省“十五”科技攻关项目(2001NG43)

作者简介: 张腾飞(1966-), 女, 云南人, 高级工程师, 主要从事中短期天气预报方面的研究.

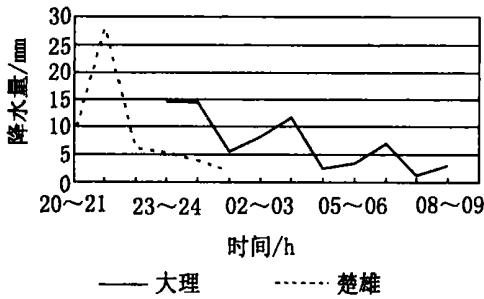


图 1 2003 年 8 月 15~ 16 日逐时降水量分布图

Fig. 1 Distribution of hourly precipitation from 15 to 16 in August 2003

## 2 产生中尺度系统的环境条件分析

下面利用 Micaps  $1^\circ \times 1^\circ$  客观分析资料对产生中尺度系统的大尺度天气背景和环境条件进行诊断分析。

**2.1 天气形势** 8 月 15 日 08 时 500 hPa 图上(图略), 四川西北部有一冷槽, 后部青海为一高压环流, 云南大部处于滇缅高压前的西北气流控制中, 20 时(图 2a) 四川西北部冷槽东南移到湖南、贵州, 云南大部到缅甸为反气旋控制, 除滇西到滇西北维持西北气流外, 大部转为东北气流控制, 高层偏北风带来干冷空气; 08 时 700 hPa 图上(图略) 川滇之间有一条东-西向的切变线, 后部四川中部以北为 312 高压环流, 20 时(图 2b) 切变线南移过了昆明,

到达丽江、大理、昆明到红河一线, 并且转为西北-东南向, 切变线以东为偏东气流, 以西为偏西气流, 切变线附近是东、西风之间的辐合区. 这样切变线以西地区高空为偏北气流, 低空为偏西气流, 高低空之间存在着风向切变, 同时低层具有气流辐合配合地面冷锋影响的形势, 极有利于强对流天气的发生. 产生此次大雨暴雨的中尺度系统正是在切变线附近及垂直风切变的区域发生发展起来的, 大尺度天气形势为中尺度系统提供了有利环流背景.

**2.2 对流不稳定和大气潜在能量** 大气对流不稳定和能量的聚集, 是强对流天气形成和发展的重要条件. 我们常用沙氏指数(SI) 衡量大气的稳定性,  $K$  指数衡量大气中的潜在能量. 当 SI 大于  $0^\circ\text{C}$ , 表示大气是稳定的, SI 等于  $0^\circ\text{C}$ , 表示大气是中性的, SI 小于  $0^\circ\text{C}$ , 则表示大气是不稳定的.  $K$  值越大, 大气中的潜在能量越大, 500~ 850 hPa 温度递减率越大, 且 700 和 850 hPa 的湿度也越大.

图 3a 是 8 月 15 日 20 时的沙氏指数图, SI 的分布显示, 滇中及以南为负值区, 滇西负值较大, 且滇西南出现负的大值区, SI 达  $-3^\circ\text{C}$ , 表示滇中及以南大气处于不稳定, 滇西南大气极不稳定, 而云南北部到四川为 SI 正值区, 四川南部到滇东北出现了正 SI 的大值区, 达  $+7^\circ\text{C}$ , 它是冷空气控制区域稳定大气的反映, 滇中北部是过渡区, 是中性大

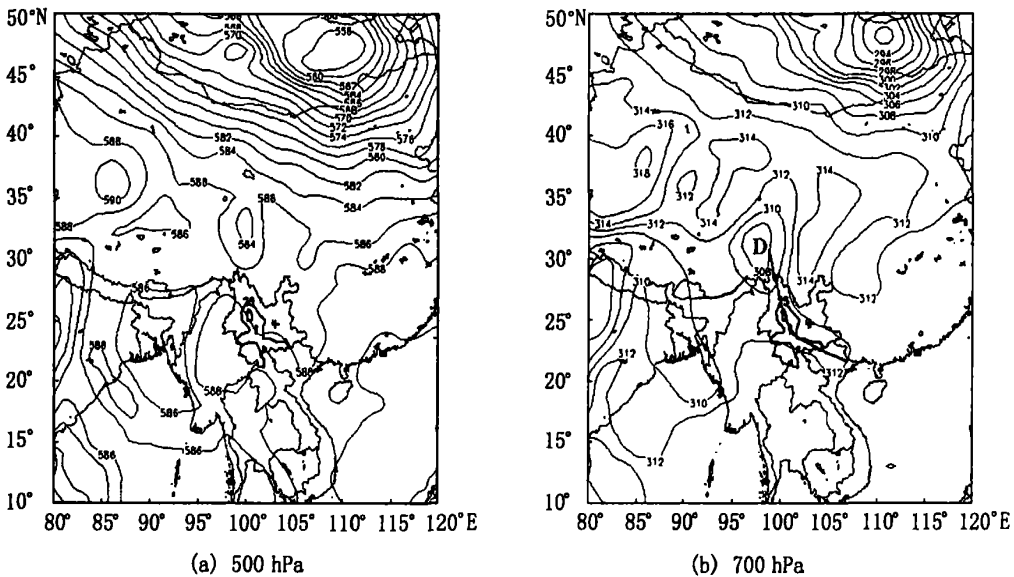


图 2 2003 年 8 月 15 日 20 时高度图, 粗实线为切变线和强降水雨带(单位:mm, “+”代表雷达站)

Fig. 2 Height distribution at 2000 BST, August 15, 2003, thick lines are shear line and severe precipitation belts(units: mm, “+” represents the radar station)

气的反映,也表示北方冷空气逐渐向南渗透到了滇中,整个云南省不稳定性由北向南逐渐加大,强降水就发生在 SI 小于  $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  的区域内,说明大气不稳定对于强降水的发生是至关重要的,为形成强对流暴雨天气的中尺度系统发展提供不稳定条件。

图 3b 是 8 月 15 日 20 时的  $K$  指数图,  $K$  的分布显示,云南由北向南  $K$  值增大,滇中及以南  $K \geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最大在大理南部达  $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,这与主要暴雨区位置相一致,表明云南大部大气具备了较高的潜能,并且大气潜能由北向南增大,只要有扰动影响,就会引起能量释放,足以使强对流天气产生和维持。滇东北是  $K$  的小值区,它是冷空气控制的反映,滇中北部是  $K$  等值线的密集区,具有较强的  $K$  能量锋区,表明这里是冷暖空气交汇的地带。当北方冷空气继续向南渗透后提供了扰动条件,由于已经具备了较强的大气潜能,就会引起能量的迅速释放产生强降水。强降水就出现在  $K \geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  的区域内,因此可见高的潜能为形成强对流暴雨天气的中尺度系统发展提供充足的能量条件。

**2.3 散度和涡度的垂直结构** 图 4a 是 2003 年 8 月 15 日 20 时散度沿  $101^{\circ}\text{E}$  (暴雨区附近) 的垂直剖面。由图 4a 可以看出,在云南强降水区域内 ( $23^{\circ} \sim 26^{\circ}\text{N}$ ),低层 500 hPa 以下都为负散度区,而 500

hPa 以上高层为正散度区,表明低层存在辐合,高层存在辐散,并且高层的辐散远远大于低层的辐合,这种高低层的配置有利于形成较大的抽吸作用。从 2003 年 8 月 15 日 20 时涡度沿  $101^{\circ}\text{E}$  的垂直剖面(图 4b)可以更清楚地看出,降水区域内高层(500~300 hPa)为负涡度,存在反气旋环流,为辐散性流场,而低层 500 hPa 以下为正涡度,存在气旋性环流,为辐合性流场,同样高层负涡度的值大于低层正涡度的值;而云南北部低层都为负涡度区,已经为反气旋环流,它是冷高压南下控制的结果。因此,暴雨正是发生在低层辐合和高层强辐散的环流场中,高低层的有利配合,会形成强烈的抽吸作用,加大了上升运动,非常利于强对流的发展,为暴雨的发生提供了有利的动力条件。

### 3 卫星云图的中尺度特征分析

中尺度天气系统一般从 2~2000 km,其中 2~20 km 为中- $\gamma$  系统,20~200 km 为中- $\beta$  系统,200~2000 km 为中- $\alpha$  系统。本文对卫星云图资料进行了数值化处理,分辨率为  $5.5\text{ km} \times 5.5\text{ km}$ ,下面对逐时卫星云图 TBB 资料进行分析,探讨此次切变线云系发展形成飑线的中尺度系统演变过程,飑线经历了生成发展、成熟和消亡 3 个阶段。

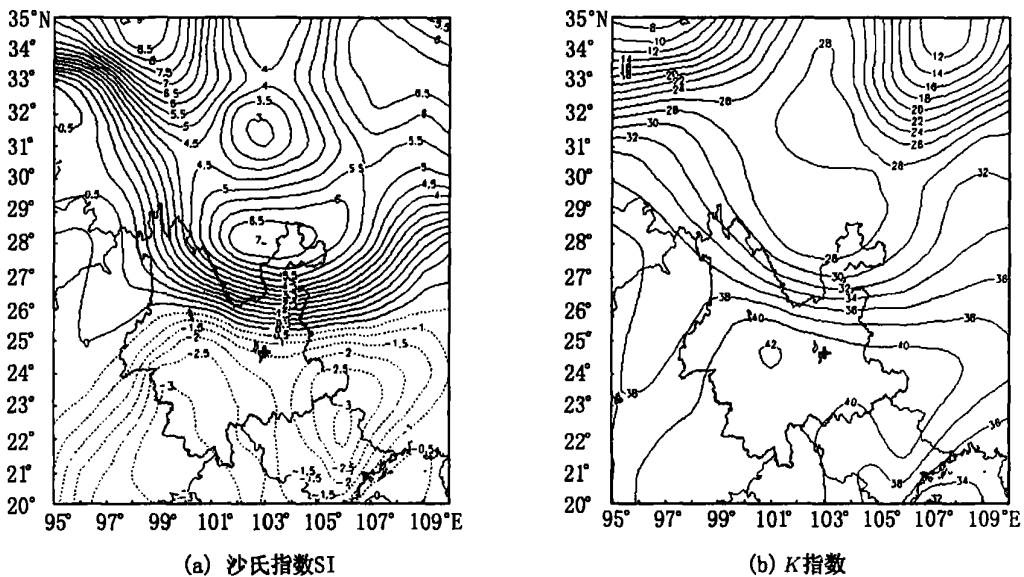


图 3 2003 年 8 月 15 日 20 时沙氏指数 SI,  $K$  指数分布(单位:  $^{\circ}\text{C}$ , “+”代表雷达站)

Fig. 3 Distributions of SI,  $K$  at 2000 BST, August 15, 2003(units:  $^{\circ}\text{C}$ , “+” represents the radar station)

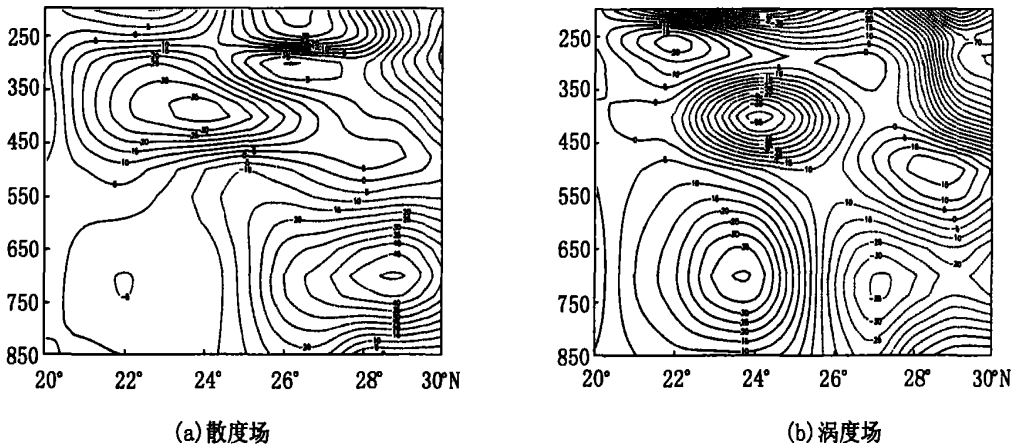


图 4 2003 年 8 月 15 日 20 时沿  $10^{\circ}\text{E}$  散度、涡度的垂直剖面(单位:  $10^{-6}\text{s}^{-1}$ )

Fig. 4 The divergence and vorticity vertical cross section diagram on  $10^{\circ}\text{E}$  at 2000 BST, August 15, 2003( units:  $10^{-6}\text{s}^{-1}$ )

14:30 开始在四川南部、云南北部和东部切变线附近有对流云团发展,呈离散分布,新的对流云团不断生成、合并发展并相互靠拢,17:30(图 5a)从四川西南部、云南西北部到东部的切变线云系发展成为一条飢线,由多个不同强度、从数 10 km 到 200 km 左右的中- $\beta$  对流云团组成,云顶最低亮温达  $-52^{\circ}\text{C}$ ,排列呈西北-东南向,向西南方向移动。飢线在西南移过程中到达滇中以西以南后,由于有利的环境条件,在大气不稳定和较高大气潜能的区域,飢线迅速发展,云团之间相互合并,飢线变得越来越密实,宽度变宽。20:30(图 5b)飢线发展成由 4 个主要的对流云团 A, B, C, D 组成,云顶温度小于  $-32^{\circ}\text{C}$  的冷云区尺度都在 170~300 km,其中云团 B, C 达到中- $\alpha$  尺度,其它 2 个 A, D 属于中- $\beta$  尺度的云团, A 云顶亮温为  $-52^{\circ}\text{C}$ ,其它 3 个云团云顶亮温都达  $-62^{\circ}\text{C}$ ,4 个对流云团云顶亮温达  $-52^{\circ}\text{C}$  的云区长轴都在 150~250 km 之间,其中云团 B 边界光滑,具有典型椭圆型结构,偏心率为 0.5 左右,且发展迅速,此时地面强降水开始,并伴有雷暴大风,经过 1 h 后,飢线上 B(图略)发展到成熟阶段,云顶亮温下降达  $-64^{\circ}\text{C}$ ,具有胞状结构类似 MCC 的特征,偏心率接近 0.7,云顶温度小于  $-52^{\circ}\text{C}$  的冷云覆盖面积为  $3.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,仅仅尺度小于 MCC 的大小,几何中心到达楚雄南部、大理、思茅北部。22:30(图 5c) A 并入 B 中,云团 B 范围扩大,主体几乎接近圆形结构, B 所经过的区域 20:00~22:00 楚雄降水 35.9 mm,15 日 23:00~16 日 01:00 大理降水 29.2 mm,大理地区的 5 个站暴雨主要就是由 B 造成的。16 日 02:30(图

5d) B, C 减弱,尤其云团 C 减弱快,云顶亮温上升达到  $-42^{\circ}\text{C}$ ,面积迅速缩小, B 云顶亮温上升为  $-52^{\circ}\text{C}$ ,这些区域降水也逐渐减弱,而处于飢线南端的 D 发展为长约 500 km、宽约 300 km 的中- $\alpha$  云团,云顶亮温下降达到  $-64^{\circ}\text{C}$ , D 的几何中心在越南, D 北侧扫过滇南,造成滇南强降水,如 16 日 02:00~08:00 江城降水 55.7 mm,08:30 D 开始分裂减弱,整条飢线减弱。

由此可见切变线云系西南移发展形成飢线影响云南过程中,存在许多中尺度系统活动,其中在切变线云系上诱发产生的 3 个中- $\alpha$  尺度云团和 1 个中- $\beta$  尺度的云团直接造成了强降水,尤其飢线上具有椭圆型结构的中- $\alpha$  尺度云团对暴雨的发生起着重要的作用,而且强降水时段与低的云顶亮温有较好的对应关系。

#### 4 多普勒雷达回波的中尺度特征分析

多普勒雷达由于具有更高的时间和空间分辨率,可以更好地监测中尺度系统的活动。通过对昆明多普勒雷达回波的分析,更清楚地揭示了造成这次大到暴雨过程的中- $\alpha$  尺度飢线的强度和风场的演变过程。

4.1 回波强度演变 8 月 15 日午后开始多普勒雷达探测到 300 km 范围内不断有对流回波单体生消,特别在雷达站北部切变线附近的回波发展比较快,15:41(图 6a)北部对流单体在结构上呈现出西北-东南走向的带状结构,形成从四川南部、云南的楚雄北部、昆明东部和曲靖到贵州西部的长约 450 km 的雷雨带,回波强度为 40~45 dB,此时带

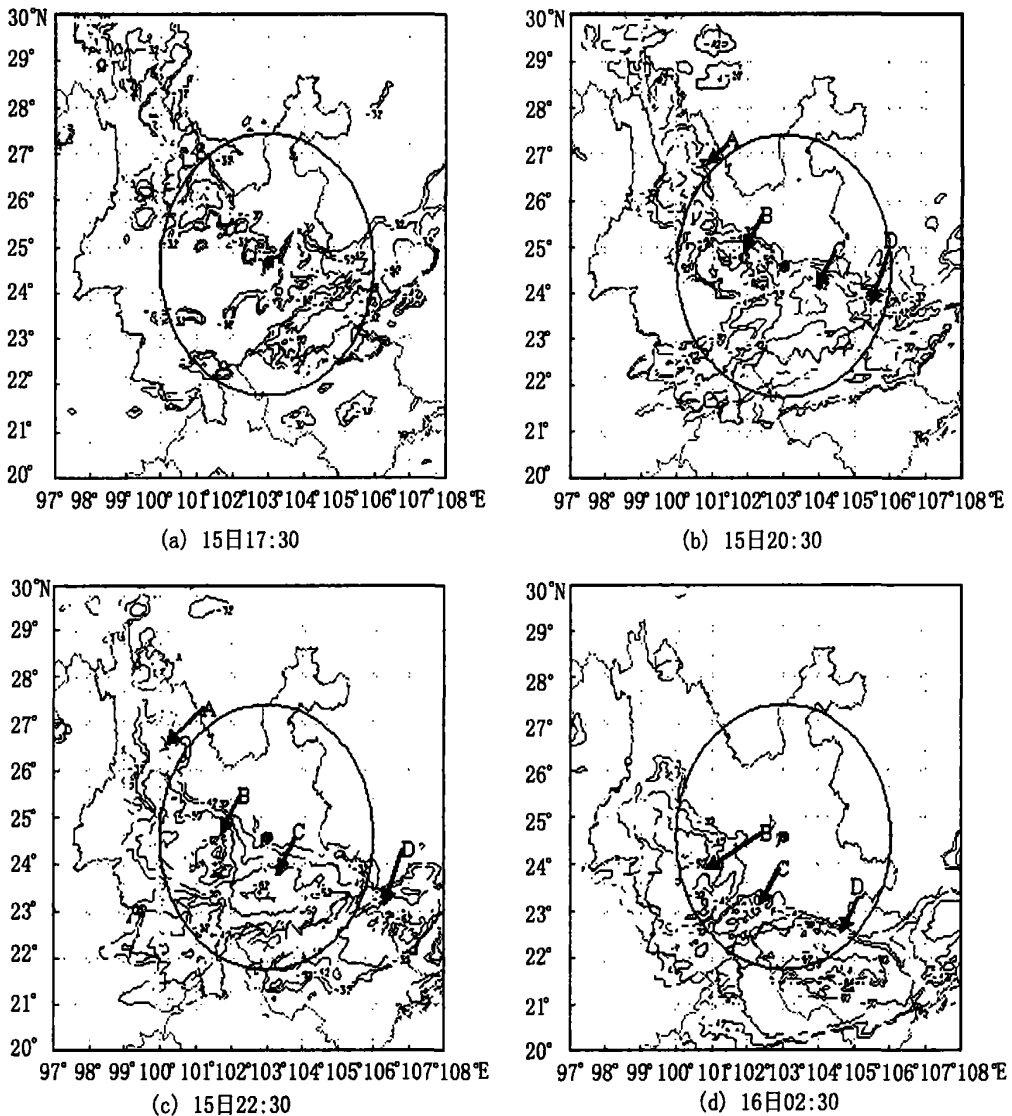


图 5 2003 年 8 月 15~16 日卫星云图演变(单位:  $^{\circ}\text{C}$ , 圆圈区域代表雷达 300 km 探测范围, “+” 代表雷达站)

Fig. 5 The evolution of satellite cloud charts from 15 to 16 in August, 2003(units:  $^{\circ}\text{C}$ , the circle regions represent the distance 300 km of Doppler radar, “+” represents the radar station)

上对流回波仍为离散分布, 降水量不大, 雷暴强烈, 但可以看出对流单体有合并的趋势, 这一特征意味着雷雨回波带将会发展加强. 雷雨回波带以大约  $30\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  的速度西南移, 下午 17 时左右经过曲靖市麒麟区东山镇撒玛依发生了冰雹、大风和雷击现象. 到 19: 47(图 6b) 移过了雷达站, 由于有利的环境条件, 对流单体之间相互弥合发展, 形成长约近 600 km、宽约 50 km 的强雷雨带(飑线), 此时飑线以对流云回波为主, 飑线并非呈直线分布, 而是具有线性回波波形的特征. 20: 00 之后具有更加典型的飑线特征继续西南移, 飑线前缘以对流云回波为主, 反射率因子较大且梯度也较大, 正好与小中尺

度切变线位置相对应, 飑线后部以层状云回波为主, 反射率因子均匀, 梯度较小, 受飑线影响, 地面强降水开始, 楚雄出现强降水时段. 20: 30(图略) 飑线到了楚雄、玉溪和红河北部, 发展达到成熟阶段, 其中飑线前缘在禄丰附近(268. 4, 69. 7 km) 到(292. 8, 80. 6 km) 之间的对流回波发展形成超级单体, 强度达 50 dB, 出现后侧 V 型槽口和有界弱回波区等特征. 22: 57(图 6c) 飑线西南移到大理西部、楚雄、玉溪和红河北部, 飑线变宽, 云体密实, 层次分明, 前缘仍然是强回波区, 强度为 45 dB, 后侧为层状云回波区, 受其影响, 大理、红河强降水也开始. 16 日 02: 00(图 6d) 飑线到了大理、楚雄南部、

思茅北部、玉溪南部和红河一线，整条飑线演变为混合性降水回波，对流回波镶嵌在均匀的层状云回波之中，思茅北部强降水也开始。随后整条飑线到达思茅、临沧境内后，由于强降水产生下沉气流的拖曳作用使飑线出现分裂减弱演变为层状云回波，回波分布均匀。10 00 后彻底减弱消失，历时 18 h。飑线经历了发展、成熟、减弱消失 3 个阶段，沿途经过曲靖、昆明、玉溪、楚雄、大理、红河、思茅、临沧，飑线来临这些地区电闪雷鸣，风向由西南风突转到东北风，气压上升，如昆明 15 日 20 时 3 h 增压达 3.4 hPa，前期发展阶段经过曲靖、昆明，以雷暴大

风为主，降水小，后 2 个阶段经过玉溪、楚雄、大理、红河、思茅、临沧产生强降水。

由此可见这次大雨暴雨天气过程是由中- $\alpha$ 尺度的飑线造成的，飑线由许多中小尺度回波组成，这些回波在不断演变，飑线前期发展阶段主要由对流云回波组成，以雷暴大风为主；中期成熟阶段演变为飑线前缘为对流云回波、后部为层状云回波以及絮状混合型回波，期间还发展出现超级单体，这种层状云和对流云并在，会相互作用<sup>[7]</sup>，层状云给对流云提供一个潮湿的环境，促使对流云凝结量增大，产生强降水；最后减弱消亡阶段演变为层状云回波。

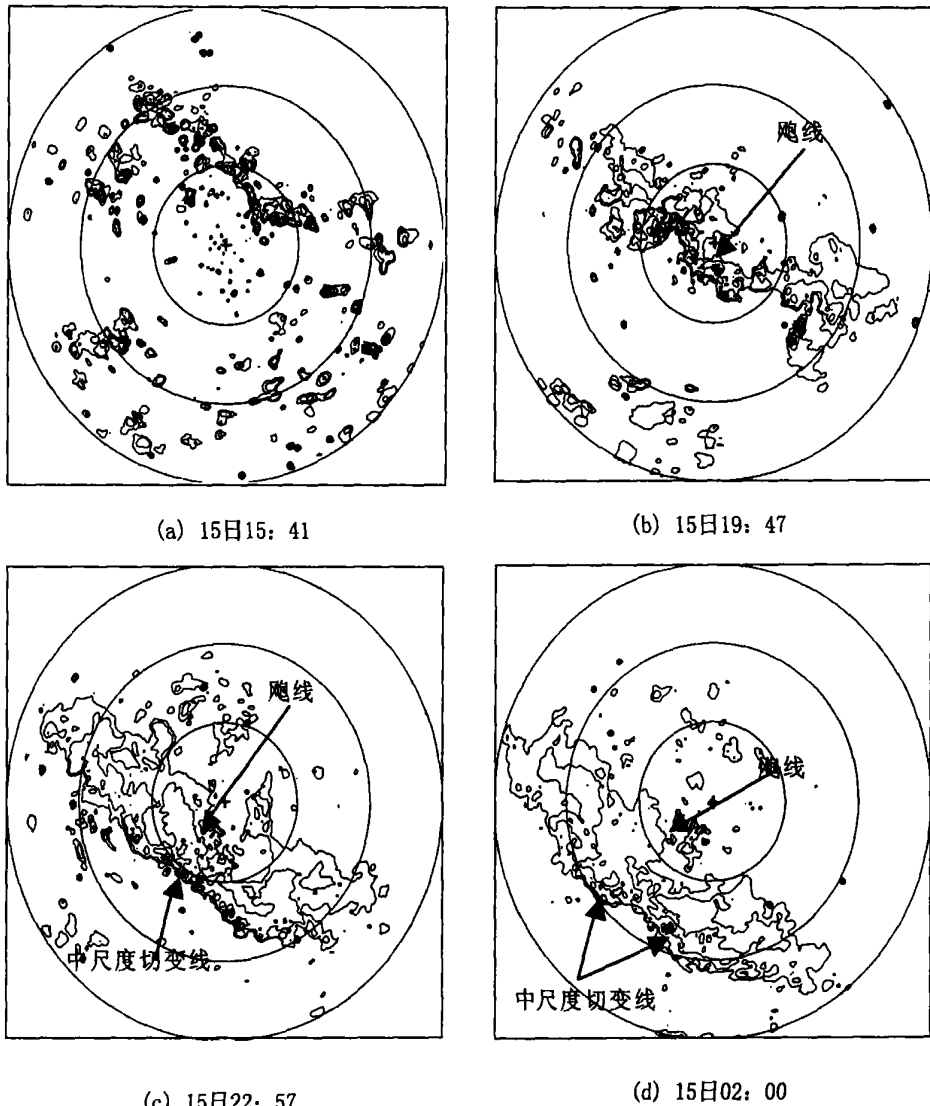


图 6 2003 年 8 月 15~16 日雷达回波强度演变(PPI 观测仰角为 0.5°, 回波应变等值线为 10, 30, 40 dB, 距离间隔每圈 100 km, “+”代有雷达站)

Fig. 6 The evolution process of radar echo from 15 to 16 in August, 2003(The elevations are 0.5°, the contours are 10, 30, 40 dB respectively, distance interval is 100 km every circle, “+” represents the radar station)

**4.2 雷达回波速度场分析** 通过分析这段时间的径向风场的分布和演变,可以清楚地揭示出在飏线上强回波区附近中尺度切变线的生成和发展,并且偏西移,使产生的飏线也逐渐偏西移,同时反映出飏线上逆风区的生成和发展。

从 15 日 18:30 开始测站西部一直有中尺度切变线活动,在 20:30(图 7a) 径向风场图上显示,在第三、四象限中低层为正速度区,高层和第一、二象限都为负速度区,存在一条过测站的南-北走向的零速度线,表明环境盛行偏东风,并且近地层(约 120 m 高度) 风的分布出现“牛眼”结构<sup>[8]</sup>,出现  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  偏东风速中心,在测站西部第三、四象限大约 60 km 的区域(约 0.5 km 高度) 也存在 1 条长约 80 km 零速度线,远离雷达一侧为负速度区,离雷达近一侧为正速度区,表明零速度线东侧为偏东风、西侧为偏西风,零速度线附近存在偏东风与偏西风之间的辐合,说明切变线在易门与禄丰之间,与飏线前缘的强对流回波对应,在中尺度切变线两侧与强度场上超级单体相对应的地方还出现了一对左负右正速度中心,并且负速度中心远离雷达,正速度中心靠近雷达,因此具有了辐合性中气旋的特征,直径为 15 km 左右,最大正速度为  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,最大负速度为  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,转动速度达  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,中气旋附近的禄丰 20:00~23:00 降水 28.7

mm,并伴有强烈雷暴;另外在第二象限红河州境内、飏线南段大片负速度区中包含有正速度区,表明存在逆风区,对应着对流发展区,根据张沛源等人研究认为<sup>[9]</sup>:逆风区本身是辐散辐合共轭体系系统风场在多普勒雷达速度图上的表现形式,反映了局部整层抬升或强对流内的上升气流引起的水平动量交换过程,这种动量交换影响了水平辐散辐合的强弱和分布,造成中尺度垂直环流的形成。21:50(图 7b) 低层偏东风加强,在 250 m 高度处偏东风速达  $19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,正速度区向西扩展到了距雷达站 90 km(约 1 km 高度) 的地方,说明中尺度切变线在易门、双柏到牟定之间,向高层扩展,切变线长约 120 km,很不规则,并且加强,最强回波区与切变线上的强辐合区相对应,辐合最强在(249.4, 87.7 km) 的地方,辐合强度达  $(2 \sim 3) \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ,相对应对流回波强度达 50 dB,造成双柏 22:00~23:00 降水 15.2 mm,第二象限的逆风区扩大,并向西扩展到了玉溪境内。到 23:30(图 7c) 第三、四象限的正速度区范围越来越大,继续向西扩展到距雷达站 120 km(约 1.8 km 高度) 处,中尺度切变线长约 140 km,第二象限逆风区向西扩展到第三象限。之后中尺度切变线继续偏西移,直至最后减弱,飏线也随着减弱。

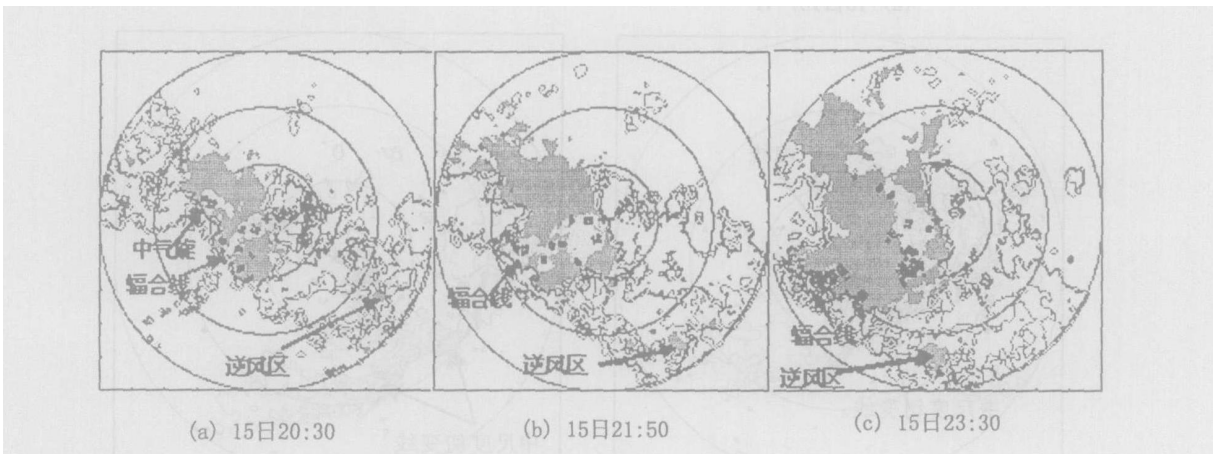


图 7 2003 年 8 月 15 日径向风场演变(单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 距离圈: 50 km, 仰角  $0.5^\circ$ , 灰色区: 正速度区, 等值线: 负速度区, 其间过渡区为零速度区, “+” 代表雷达站)

Fig. 7 The radial velocity distribution on 15 August, 2003 (unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , the elevations are  $0.5^\circ$ , shallow fields are positive velocity, solid lines are negative velocity, the transition fields are zero velocity, distance interval is 50 km every circle, “+” represents the radar station)

可见中- $\beta$  尺度切变线和逆风区是产生暴雨的主要中尺度系统。中尺度切变线在低层生成,逐渐向高层扩展,切变线附近往往辐合较强,对流发展旺盛,会产生超级单体和中气旋等强烈对流天气,同时边界层的偏东风速加大,达到急流强度,进一步加强了辐合,使中尺度切变线加强,对飑线进一步发展和产生强降水也有很大贡献。逆风区引起中尺度垂直环流的形成,有利于低层水汽向上输送,也有利于降水粒子的降落,因此逆风区附近飑线上同样存在强回波中心,造成强降水。

## 5 结 论

(1) 2003 年 8 月 16 日大到暴雨过程时空分布具有明显的中尺度特征,低层切变线配合地面冷锋和高低层之间的垂直风切变为中尺度系统的形成和发展提供了有利的环境条件、不稳定条件、能量条件和动力条件;

(2) 切变线云系在形成和发展过程中存在许多中尺度系统活动,包括云团的合并发展形成飑线,其中在切变线云系上诱发产生的 3 个中- $\alpha$  尺度云团和 1 个中- $\beta$  尺度的云团直接造成了强降水,尤其具有椭圆型结构的中- $\alpha$  尺度云团对暴雨的发生起着重要的作用;

(3) 中- $\beta$  尺度切变线和逆风区是产生暴雨的主要中尺度系统,有利于中- $\alpha$  尺度的飑线形成和发展。切变线附近往往辐合较强,强对流发展旺盛,会出现超级单体和中气旋等强烈对流天气现象,同

时边界层的偏东风速加大,使中尺度切变线加强;逆风区引起中尺度垂直环流的形成,有利于低层水汽向上输送,也有利于降水粒子的降落,因此逆风区附近同样存在强回波中心;

(4) 中- $\alpha$  尺度的飑线导致暴雨天气过程,飑线经历形成发展、成熟和减弱消亡 3 个阶段,降水主要发生在成熟阶段,成熟阶段层状云和对流云并在,层状云会给对流云提供一个潮湿的生长环境,促使对流云凝结量增大,产生强降水。

## 参考文献:

- [1] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [2] 许美玲, 段旭, 孙绩华, 等. 与低空气流相伴的暴雨天气诊断分析[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2004, 26(4): 320-24.
- [3] 李廷福, 廖晓农, 余连芬. “98·7”北京大暴雨的中尺度分析[J]. 气象, 1999, 25(5): 44-48.
- [4] 寿绍文, 励申申, 林开平, 等. 一次江淮暴雨过程的中- $\beta$  尺度分析[J]. 应用气象学报, 1994, 5(3): 257-265.
- [5] 姚祖庆, 杨引明. 上海 98.7.23 大暴雨环境场及多普勒雷达资料的分析[J]. 气象, 1999, 25(5): 28-33.
- [6] 钟加杰, 刘锋. 广州白云机场一次大暴雨过程卫星和雷达资料合成分析[J]. 气象科技, 2003, 30(1): 80-86.
- [7] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [8] 胡明宝, 高太长, 汤达章. 多普勒雷达资料分析与预报[M]. 北京: 解放军出版社, 2000: 90-118.
- [9] 张沛源, 陈永林. 多普勒速度图上的暴雨判据研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(3): 374-374.

## Mesoscale analysis of “20030816” rainstorm process in Yunnan

ZHANG Teng-fei, MA Lian-xiang, LU Ya-bin, ZHOU Guo-lian  
(Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034, China)

**Abstract:** By using synoptic charts, hourly GMS5 infrared TBB pictures and Doppler radar echo data, the rainstorm process on August 16, 2003 has been analysed. The results show that there is an obvious mesoscale character of the rainstorm in spatial and temporal distribution. The macroscale synoptic situation supplies suitable circulation background, instability condition, energy condition and dynamical condition for the forming and development of the mesoscale system. The shear cloud system develops into a squall line. And the three mesoscale  $\alpha$  cloud clusters and one mesoscale  $\beta$  cloud cluster aroused by the shear cloud system produce the heavy rainfall by analysing satellite cloud pictures. The mesoscale  $\beta$  shear line between east wind and west wind and the contrary wind are very important to the forming and development of the mesoscale  $\alpha$  squall line by analysing the Doppler radar echoes, arousing a supercell and a vmaxmesocyclone, and the mesoscale  $\alpha$  squall line directly produces the rainstorm process.

**Key words:** rainstorm; mesoscale analysis; TBB; Doppler Weather Radar