

“2002.6.30”滇中低涡暴雨 的中尺度分析^①

郭荣芬 鲁亚斌

(云南省气象台,昆明 650034)

提 要

利用 MICAPS 常规资料和 GMS 卫星云图,3830-C 多普勒雷达观测资料,对 2002 年 6 月 30 日发生于滇中地区的暴雨天气过程进行诊断和分析,发现暴雨过程由中低层低涡切变造成,暴雨区与垂直速度及涡度所表现的强烈上升区对应,并伴有高能高湿条件;同时卫星云图上有中尺度低涡云团发展。多普勒雷达回波资料分析表明,暴雨过程中出现了明显的中尺度系统,如中尺度辐合线、中尺度气旋、逆风区等,具有典型的对流型特征。

关键词: 低涡 暴雨 中尺度系统 云图 雷达回波

引 言

低涡是云南盛夏强降水的一类重要中尺度天气系统,往往具有过程突发性强、生命史短暂,雨强大且范围集中,灾情较突出的特点,因而给业务预报及服务带来极大困难。2002 年 6 月 29 日 20 时(北京时,下同)到 6 月 30 日 20 时云南滇中地区(24~26°N, 101~103°E)的楚雄州和玉溪市发生了一次低涡造成的暴雨天气过程,其中日雨量超过 100mm 的大暴雨站数达 4 个,超过 50mm 的暴雨站数达 9 个,这在云南高原的特殊地理位置背景下是极其少见的。此次低涡暴雨过程在 500hPa 高空图上,云南为一西北气流形成的高压脊控制,降水系统主要是 700hPa 云南北部的低涡切变及地面冷锋,使此次暴雨过程具有其特殊性。本次预报服务在天气系统上抓住了 700hPa 低涡切变及地面冷锋这一主要矛盾,及时作出了准确的天气预报,公众服务收到了很好的效果。本文研究了这次

大量级降水的中尺度系统特征,以期为今后的大降水预报提供有效依据。

1 环流背景

2002 年 6 月 30 日的暴雨过程发生在 500hPa 高压脊控制下,由脊前西北气流引导 700hPa 云南北部的低涡切变及地面冷锋南移影响滇中造成的。500hPa 高原东侧 98~108°E 间中高纬地区到云南省为一致的西北气流控制,700hPa 云南北侧为一西风带的高压与副热带高压间形成的一条切变线,切变线西端有一低涡环流,在地面冷锋的激发下,该切变低涡强烈发展,并在 500hPa 西北气流引导下东南移,暴雨区的分布呈西北—东南向。这种 500hPa 西北气流、700hPa 低涡切变及地面冷锋的系统配置为暴雨的发生提供了有利的环流条件,并为中尺度天气系统形成及发展创造了有利的环境场,而中尺度系统是直接造成暴雨的天气系统。在这次暴雨过程中,我们充分体会到这种作用的重要性。

① 本文由云南省十五科技攻关 2001 GN43 项目资助。

2 物理量场分析

为充分认识暴雨形成的物理机制,我们应用 MICAPS 资料从 UV 流场、涡度、垂直速度、水汽通量散度及总温度场进行了分析。

2.1 UV 流场

暴雨发生前 6 月 29 日 20 时 700hPa 流线图(图 1)上,楚雄州处于辐合线西侧的涡旋状气流辐合区域内,是一个明显的中尺度低涡。到 30 日 08 时,原辐合型流场消失,形成一条自南向北的气流辐合线,其南侧转为鞍型场,滇东南形成气旋式流场。暴雨区域相应由滇中的楚雄州逐渐减弱东南移至玉溪市东南部、文山州一线。可见中尺度辐合线及低涡是此次暴雨形成的关键影响系统。

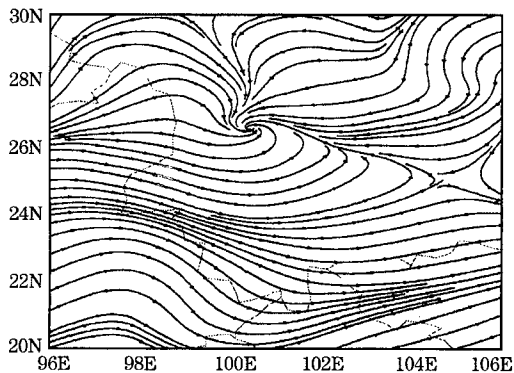


图 1 2002 年 6 月 29 日 20 时(北京时)
700hPa UV 流场

2.2 垂直速度及涡度

分析 6 月 29 日 20 时沿 101°E 垂直速度 ω 场剖面图(图 2),在 20~26°N 从 700~200hPa 为一条西南—东北向倾斜上升区,最大上升区在 700~300hPa,中心区达 $-15 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,这种斜升区带来的斜压不稳定,为不稳定能量的释放提供了强大的动力机制;同时从涡度的垂直剖面分析看(图略),26°N 以南 500hPa 以下为正涡度区,对流层高层对应负涡度区,说明低层为上升气流,高层为下沉气流,暴雨区出现在强烈的上升区内。

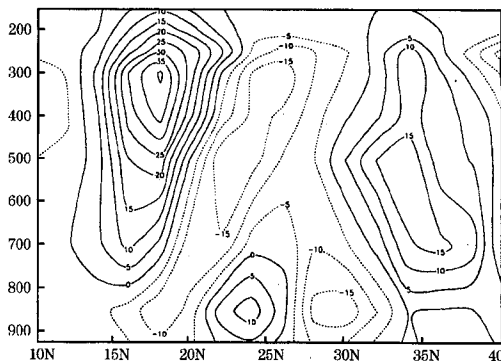


图 2 2002 年 6 月 29 日 20 时(北京时)沿 101°E 垂直速度 ω 场剖面图(单位: $10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

2.3 水汽通量及水汽通量散度

29 日 20 时,850hPa 水汽通量图上(图略),孟加拉湾到滇中一线为明显的水汽通量大值区;700hPa 水汽通量散度 29 日 20 时到 30 日 08 时,26°N 附近一直为负值区控制,且由 29 日 20 时的 $-10 \times 10^{-5} \text{ g}(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ 增大到 30 日 08 时的 $-20 \times 10^{-5} \text{ g}(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$,为辐合中心所在,说明暴雨期间水汽辐合一直维持,充沛的水汽自孟加拉湾输送到滇中并受到辐合抬升作用,为暴雨产生提供了有利条件,暴雨就发生在水汽通量及水汽通量散度大值区(图 3)。

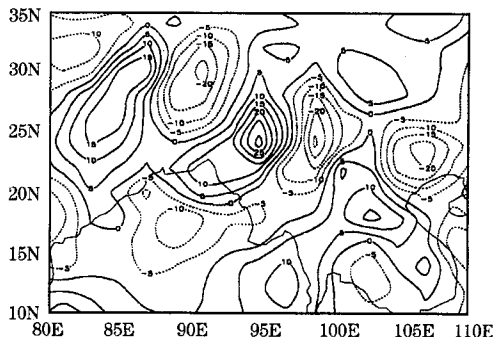


图 3 2002 年 6 月 30 日 08 时(北京时)700hPa 水汽通量散度(单位: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

2.4 静力总温度

分析近地面 925hPa 总温度场,过程前 28 日 20 时(图 4)滇中附近总温度为 76~80℃,等温线密集区及高值区(84℃)位于青藏高原东南部到横断山脉一线,随后等温线密集区向云南移动。29 日 20 时(图略),滇

中及以北总温度等值线开始增密,青藏高原南部的高能平流移向云南,不稳定能量迅速开始聚集。到30日08时(图4),高原大值区(约85~90°E、35°N附近)消失转为低值区,滇中等温线密集区增至最大,大值区位于四川盆地到滇中,中心区为100℃,说明对流不稳定能量达到最强。30日20时后,等温线密集区减弱消散,表明不稳定能量释放,对应强降水过程结束。一般情况下,近地面总温度达74℃附近即可发生大雨以上强降水,本过程总温度高达100℃,实为少见,这为以后的大量级降水预报提供了有用的参考依据。

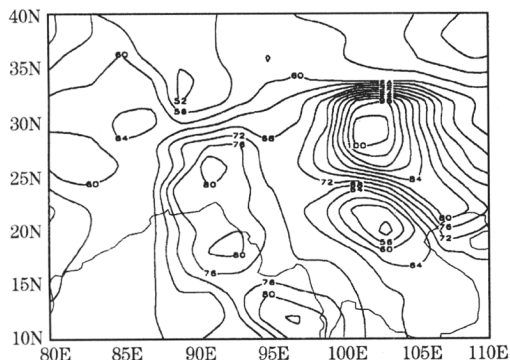


图4 2002年6月30日08时(北京时间)925hPa总温度(单位:℃)

3 多普勒雷达回波特征分析

本次暴雨过程发生在滇中的楚雄州、玉溪市。29日20时到30日08时的12小时内,楚雄州70%的县站普降暴雨,雨量超过100mm的有3个县站,分别是姚安132.0mm、牟定121.0mm、双柏116.0mm。玉溪市有4个县站降暴雨,通海达134.0mm。为准确跟踪中尺度系统的演变,我们应用昆明3830-C波段多普勒雷达资料进行了逐时细致的分析。

3.1 雷达回波 PPI、RHI 特征

从连续的雷达回波 PPI、RHI 强度图发现(图略),自6月29日19:40楚雄州西北部及玉溪东部有分散的单体对流回波发展,到22:01楚雄州内形成准南北向的带状对流回

波。此后,随回波的不断增强发展,回波向东南方向的玉溪扩展,形成一西北—东南向的大范围片絮状回波,其中镶嵌有多个强对流单体,强度在35~50dBz,回波顶高在8.7~16km,呈明显的对流性降水型,不断生成的多种中尺度系统是这次暴雨的主要原因。

3.2 雷达速度回波 VPPI 中尺度系统特征

分析多普勒雷达的 VPPI 径向速度场,29日19:40楚雄州西北部的对流已发展成准南北向的带状对流回波,有多个强对流单体镶嵌其中,牟定的对流单体强度达30dBz,并在该处附近出现了一条长约20km并与120km距离圈平行的中-β尺度的辐合线,此辐合系统预示着对流还将加强:20:02牟定回波强度增至35dBz,因而20~21时牟定降大雨,1小时雨量9.2mm,此时对流云带中有四处正负速度过渡带,零速度线散乱,云内扰动强烈。22:01,回波加强,范围扩大,牟定回波强度增至43dBz,辐合线长度扩大,位于姚安、牟定、楚雄北部之间(图5),长度约55km;雨强随之增大,21~22时牟定降暴雨,1小时雨量22mm;另外在牟定与南华之

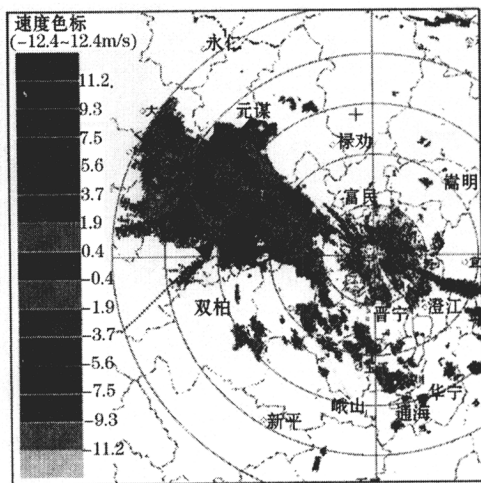


图5 2002年6月29日22:01(北京时间)多普勒速度 VPPI 图

距离:150km,距标:30km/圈,实箭头为中尺度辐合线,虚箭头所指为中气旋

间新生成一个中尺度辐合型气旋,正、负速度

中心与零线呈径向对称,牟定最大正速度值为 $6.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,南华最大负速度值为 $-11.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,中心之间为数值不大的负速度带,表明该中尺度气旋受到了偏南环境风的影响,方位切变值为 0.6S^{-1} ,此中气旋一直维持到30日00:00,对应牟定暴雨维持,22~23时1小时雨量为20.0mm。在中尺度辐合线的影响下,楚雄州的姚安29日23时~30日0时、0~1时也连降暴雨,1小时雨量分别为33.3mm和44.9mm。

随着楚雄州境内回波的发展,玉溪市境内对流单体也在发展并以正速度区为主,楚雄州境内的负速度区东南移,渗入玉溪市境内。22:53,玉溪、江川一带出现正速度区包围的负速度区,但零速度线不明显,根据逆风区定义^[1],属于逆风区雏形。23:32,通海生成一正速度区包围的负速度区,两者间有清晰的零速度线,属明显的逆风区。在29日23:02到30日的01:29(图6)之间,玉溪市境内共生成了两块逆风区:一块靠近玉溪,另一块在通海、华宁之间。02:24玉溪境内的逆风区减弱消失,转变成相对均匀的正速度区。在玉溪市的逆风区存在期间,玉溪市境

15.2mm;0~1时降大暴雨,1小时雨量82.6mm,为本次暴雨过程的1小时雨强极值;1~2时持续降大雨,1小时雨量8.1mm。玉溪则在30日0~1时、1~2时连降暴雨,1小时雨量分别为20.1mm、20.3mm。华宁30日1~2时降暴雨,1小时雨量达19.7mm,2~3时降大雨,1小时雨量8.3mm。江川在0~1时、1~2时连降大雨,1小时雨量分别是12.4mm和12.8mm。

此后2:44~7:58,在楚雄境内强的负值区中又多次新生逆风区,其中与3:22~5:18双柏的逆风区对应,2~6时双柏连降暴雨、大雨,1小时雨量分别为27.7mm、42.3mm、23.9mm、12.1mm。另外牟定、姚安也降了大雨、暴雨。

综观6月29日20时到30日08时的多普勒雷达回波图,在楚雄州、玉溪市的暴雨天气发生时,先后出现了中尺度辐合线、中尺度气旋、逆风区等中尺度辐合系统,正是这些不断生消的中尺度系统,造成了本次滇中的暴雨天气过程。

3.3 垂直风廓线 VWP 特征

风速、风向随时间的垂直变化能直观地反映冷、暖平流、低空急流、冷切变、暖切变等中尺度系统的局地变化^[2]。图7是由VAD技术反演的垂直风廓线VWP图,6月29日20时前从低层近地面200m到高层3500m都为西北气流,对流回波弱,呈分散的单点状。到了降雨强度增大的22:01,出现了低层东南风向高层西北风的顺时针风向顺转,且风速随高度增加,对流得到发展。综合分析30日0:00~08时,风场由低层东南风向高层西南风顺转,且西南风逐渐加厚,风速随高度增加,持续的暖平流长达10个小时之久。可见由于西南风加厚,持续的暖平流,强的垂直风切变的存在,为强对流的发展和维持提供了必要条件,促使对流回波不断合并加强,强降水得以持续,实况表明暴雨也正是集中发生在这一时段。

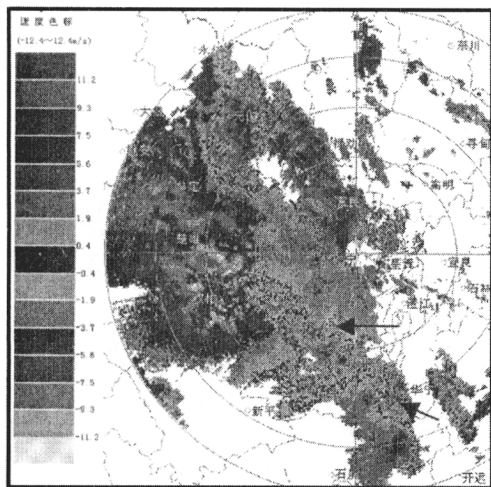


图6 2002年6月30日01:29(北京时间)

多普勒速度 VPPI 图

距离:150km,距标:30km/圈,箭头所指为逆风区

内的通海 23~0 时降大雨,1 小时雨量

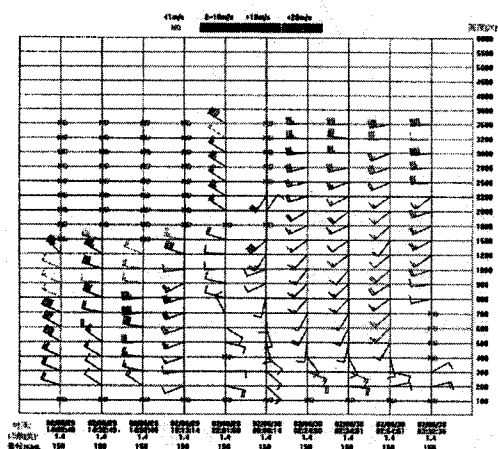


图7 2002年6月29日20时~30日03时
垂直风廓线 VWP 图

4 结论

(1)此次暴雨过程是在 500hPa 高压脊控制下,由脊前西北气流引导 700hPa 上云南北部的中尺度低涡切变及地面冷锋南移影响滇中造成的。700hPa 流场显示,中尺度辐合线及低涡是此次暴雨形成的关键影响系统。

(2)从垂直速度及涡度场剖面分析得出,从低层到高层滇中为一条西南—东北向倾斜上升区;低层正涡度,高层负涡度,暴雨区就出现在强烈的上升区内。

(3)850hPa 水汽通量及 700hPa 水汽通

量散度表明暴雨期间水汽输送及辐合一直维持,充沛的水汽自孟加拉湾输送到滇中并受到辐合抬升作用,为暴雨发生提供了必要条件。

(4)静力总温度场在暴雨过程期间,滇中等温线密集区的存在及增至最大,大值区位于四川盆地到滇中,滇中处于高能区内,中心区为 100°C ,表明对流不稳定能量较强,可作为今后大量级降水预报的参考依据。

(5)多普勒雷达回波 PPI、RHI 图中,暴雨发生区有大范围片絮状回波,并镶嵌有多个强对流单体,强度在 $35\sim 50\text{dBz}$,回波顶高在 $8.7\sim 16\text{km}$,呈明显的对流型降水型;另在 VPPI 图中配合不断生消的中尺度辐合线、中尺度气旋、逆风区等,正是这些中尺度辐合系统,造成了本次滇中的暴雨天气过程。

(6)垂直风廓线 VWP 图中,持续的暖平流、强的垂直风切变的存在,为强对流的发展和维持提供了必要保障,是暴雨产生的重要条件。

参考文献

- 刘洪恩.单多普勒天气雷达在暴雨临近预报中的应用.气象,2001,27(12):17~22.
- 胡明宝等.多普勒天气雷达资料分析与应用.北京:解放军出版社,2000.

A Case Analysis of Mesoscale Cold Vortex Heavy Rainfall in Central Yunnan Province

Guo Rongfen Lu Yabin

(Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034)

Abstract

The cause of the heavy rainfall occurred in central Yunnan Province from June 30, 2002 is analysed with the MICAPS data, GMS satellite images and the echo data of Doppler Weather Radar 3830-C. It is found that this heavy rainfall process is caused by cold vortex and mid-low level shear. The heavy rainfall region is corresponding with the strong ascending region of vertical speed and vorticity, and accompanied with the high energy and high wet regions. There is a developing mesoscale cold vortex cloud cluster from the satellite image. Furthermore, the radar echoes show that some obvious mesoscale systems (for example: mesoscale convergence line, mesoscale cyclone, anti-wind area, etc.) with typical convective characteristics occurred during this heavy rainfall process.

Key Words: cold vortex heavy rainfall mesoscale system cloud image Radar echo