

金少华,葛晓芳,艾永智,等. 低纬高原两次冷锋切变天气对比分析[J]. 气象, 2010, 36(6): 35-42.

# 低纬高原两次冷锋切变天气对比分析

金少华 葛晓芳 艾永智 李桂华

云南省玉溪市气象局, 玉溪 653100

**提 要:** 应用 NCEP 再分析资料、FY-2 卫星 TBB 资料、加密雨量站等资料,对 2008 年 7 月 2 日、5 日两次影响滇中的冷锋切变天气进行对比分析。结果表明:冷锋切变系统的强弱、移速对降雨强度影响较大,切变线上中尺度系统的生成和维持时间对降雨强度作用非常明显。在冷锋切变系统影响滇中过程中,滇缅高压脊对水汽输送和水汽辐合有重要作用。两次降水强度上出现的差异主要是由于两次过程中对流发展强弱不同引起,假相当位温、K 指数、总能量、对流有效位能等热力不稳定指数能很好地反映出对流发展过程中强弱变化的差异。不同环境场的作用导致物理量场发生不同改变,是冷锋切变系统中降水出现强弱变化的主要原因。

**关键词:** 冷锋切变,  $\beta$  中尺度, 对比分析, 低纬高原

## A Comparison Between Two Cold Front Shear Processes over Lower Latitude Plateau of China

JIN Shaohua GE Xiaofang AI Yongzhi LI Guihua

Yuxi Meteorological Office of Yunnan Province, Yuxi 653100

**Abstract:** Based on the NCEP reanalysis, FY-2 satellite TBB and rainfall data from automatic precipitation stations etc., the two cold front shear processes which occurred in Yunnan on July 2 and 5, 2008 were analyzed. The results show that the cold front shear, range and rainfall between two processes are distinctly different, and that the intensity and movement of cold front shear affect the intensity of rainfall. Meanwhile, the generation and maintaining of mesoscale system originated in shear line significantly influence the intensity of rainfall. The Yunnan-Burma high ridge, plays an important role in vapor transport and convergence. The rainfall intensity differences result in the differences of strength of convection development during two convection processes, and thermal instability indexes such as pseudo-equivalent potential temperature, K index, total energy, CAPE, etc. Could reflect the differences of development of convection. Different conditions lead to different changes of physical fields, which is the main reason for intensity changes of precipitation occurring in cold front shear system.

**Key words:** cold front shear, meso- $\beta$  scale, comparative analysis, lower latitude plateau

## 引 言

云南特殊的低纬高原地理环境,其暴雨也具有不同于中国其他地方的区域特点。云南的气象工作

者在暴雨的研究方面也做了一些工作<sup>[1-7]</sup>,这些研究主要侧重于天气尺度的环流和天气系统分析。由于暴雨天气的发生发展是大尺度与中小尺度天气系统相互作用的结果,大尺度背景下的中小尺度天气系统的活动直接导致了暴雨的发生。冷锋切变线是造

成云南最常见的强降水天气系统,多年来云南的气象工作者对这类天气系统进行了大量研究,也积累了许多预报经验。何华等<sup>[8-9]</sup>对冷锋切变造成的 11 次暴雨过程进行环流和水汽输送特征分析,揭示在冷锋切变环流形势下云南暴雨发生前后中低层环流、湿度场、水汽输送的演变特征及其与暴雨发生之间的关系,还对一次切变线暴雨过程的中尺度低涡扰动进行分析。张腾飞等<sup>[10]</sup>用 TBB 资料和多普勒雷达回波资料分析低涡切变影响下 6 次暴雨过程的中尺度特征。张秀年等<sup>[11]</sup>用 T106 数值预报产品资料,通过中尺度滤波方法,分析云南一次冷锋切变型暴雨过程的中尺度降水系统特征,指出在冷锋切变型暴雨发生过程中,北部冷平流具有十分重要的作用,但南部暖平流的作用也不可忽视。他们的分析研究主要针对出现暴雨的冷锋切变过程,而对于冷锋切变系统造成的降水差异的研究较少。2008 年 7 月 1—6 日先后有两次冷锋切变系统影响滇中,造成的降水强度差异较大,为了揭示这两次过程降水的差异,利用 NCEP  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  再分析资料、FY-2 卫星 TBB 资料、自动站降水等资料,对这两次冷锋切变天气的环流特征、中尺度特征及物理量特征进行对比分析,力求找出它们的差异,为今后的冷锋切变天气系统降水预报提供参考。

## 1 降水过程概况

2008 年 7 月 1—2 日受冷锋切变影响(第一次过程),云南自北向南出现一次强降水过程,1 日 20 时至 2 日 20 时,全省出现大雨以上降水 36 站次,其中暴雨 17 站次。本次强降水主要集中在滇中,共出现大雨以上降水 29 站次,其中暴雨 15 站次、大暴雨 1 站次。降水中心位于昆明市,日降雨量达到 122.2 mm。过程降水主要集中在 2 日 01—06 时,2 日 03—04 时昆明市降水达到 51.3 mm/h,市区出现严重的洪涝灾害。7 月 4—6 日云南再次受冷锋切变影响,过程影响范围比第一次过程广,但降水强度明显比第一次过程弱。4 日 20 时至 5 日 20 时,切变影响滇中及以北地区(第二次过程),全省出现大雨以上降水 17 站次,其中暴雨只有 2 站次,滇中地区无暴雨,大雨出现 6 站次(最大降水 34 mm),其他均为中雨;5 日 20 时至 6 日 20 时,冷锋切变影响滇中以南地区,出现大雨以上降水 17 站次,其中暴雨 4 站,本次过程无明显洪涝灾害。

## 2 环流特征和主要影响系统对比分析

2008 年 7 月 1—2 日冷锋切变影响前后,500 hPa 中高纬地区维持一槽一脊型,新地岛至黑海北部为前倾的阻塞高压,西西伯利亚至里海北部为一横槽,“西高东低”形势明显,中纬地区不断有横槽分裂小槽东移。在冷锋切变影响前(1 日 08 时),西太平洋副热带高压脊线位于  $25^{\circ}\text{N}$  附近,西脊点在  $113^{\circ}\text{E}$ ,滇缅高压脊位于  $100^{\circ}\text{E}$  附近,西太平洋副热带高压和滇缅高压在四川东部至云南北部形成两高间辐合区,青海北部形成闭合的高压环流,与滇缅高压间无明显风向切变。1 日 20 时,西太平洋副热带高压增强西伸至  $108^{\circ}\text{E}$ ,滇缅高压脊西移至  $95^{\circ}\text{E}$ ,与此同时,青海北部的闭合高压环流东南移到青藏高原东部至四川盆地,在副热带高压、滇缅高压与高原东部高压环流之间形成滇黔切变,切变线位于贵阳、昆明、丽江北侧,700~400 hPa 切变线均处于同一位置,切变后部 24 小时变高略大于切变前,表明切变系统深厚、移速缓慢。切变后部高压东侧东北气流引导冷空气南下,在地面上形成冷锋西南移,而滇缅高压从孟加拉湾输送的暖湿气流与冷空气在滇中交汇,形成本次滇中暴雨。

7 月 2 日冷锋切变影响云南后,大气环流进行了调整,中低纬地区阿拉伯副热带高压北抬东进,在青藏高原形成高压环流。中高纬度环流由原来的一槽一脊型调整为两槽两脊型,滇缅脊减弱消失,西太平洋副热带高压减弱东退。7 月 4 日 08 时,在西太平洋高压和青藏高原高压之间形成两高间辐合区,700 hPa 上形成川滇切变线,500~400 hPa 云南为西北气流,700 hPa 切变两侧 24 小时变高呈北高南低型,切变后侧 24 小时变温达到  $-6^{\circ}\text{C}$ ,表明本次冷锋切变系统冷空气比第一次过程强,移速也更快,影响滇中时降水强度明显比第一次过程弱,主要以中雨为主。

## 3 卫星云图和降雨特征对比分析

分析两次冷锋过境滇中前后的卫星云图资料,第一次冷锋切变东南移时,在锋面附近滇中主要为锋面云系,东侧锋面移速比西侧快,云带呈 SE—NW 向,滇西北和滇东南有中尺度云团生成。分析 FY-2C 卫星红外通道反演的 TBB 图像,滇西北和

滇东南的中尺度云团为小于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 亮云核,系统南移后,中尺度云团减弱消失,地面上在亮云核北侧出现大于 $10\text{ mm/h}$ 降水。滇中在2日01时出现小于 $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 亮温,地面开始出现大于 $10\text{ mm}$ 降水,02时后低于 $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 亮温面积增大,中心区温度降低,到03时出现低于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 亮云核,04时云团发展成明显的 $\beta$ 中尺度特征,06时达到最强(图1a),中心出现低于 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 亮云核。在 $\beta$ 中尺度云团发展过程中,中心位置稳定少动,07时后 $\beta$ 中尺度云团南移并减弱,08时移出滇中,12时移到滇南,不再具有 $\beta$ 中尺度云团特征。地面降水从02时后出现大于 $20\text{ mm/h}$ 站点,04时昆明出现 $51.3\text{ mm/h}$ 的短时大暴雨,08时移出滇中后地面降水都减弱为 $10\text{ mm/h}$ 以下。由此可看出,当对流发展最旺盛时,对应地面降水并不是最大。分析逐时TBB和地面降水,本次过程最大降水出现在TBB亮温快速降低期和TBB梯度最大地区,最大降水在亮云核的西北方向,降水最大值落后于TBB最低值约2小时左右,位置相差

约1个经纬度。

第二次冷锋过境滇中时,在滇中同样有 $\beta$ 中尺度系统生成,但其范围、强度比第一次弱。影响滇中云团出现在5日13时,在东南移时缓慢增强,15时形成 $\beta$ 中尺度系统,中心区亮云核低于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,17时达到最强,中心区亮云核低于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图1b),19时已不再具有 $\beta$ 中尺度系统特征,20时云团减弱消失。地面上14时出现大于 $10\text{ mm/h}$ 降水,14时后滇中只有个别站点出现 $10\text{ mm/h}$ 降水,降水大多在 $8\text{ mm/h}$ 以下。本次冷锋切变过境时, $\beta$ 中尺度云团强度和亮温梯度均比第一次过程弱,也是降水偏小的主要原因之一。

从两次冷锋切变过境滇中时间看,两者时间差异较大,第一次是在凌晨02时左右,是低纬高原较容易发生中尺度对流系统时段;第二次是在午后14时左右,在低纬高原最不容易发生中尺度对流系统。这些特征与低纬高原地区MCS具有明显的夜发性结果相一致<sup>[12]</sup>。

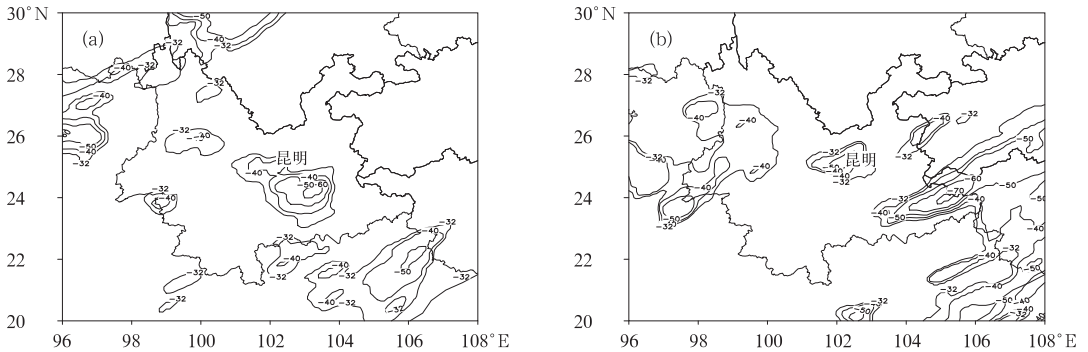


图1 2008年7月2日06时(a)、5日17时(b)FY-2C卫星TBB图像

(单位:  $^{\circ}\text{C}$ , TBB值为低于 $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等值线)

Fig. 1 FY-2C satellite TBB images

(a) 0600 BT 2 July and (b) 1700 BT 5 July 2008 (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ; only for TBB lower than  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

## 4 物理量场对比分析

### 4.1 流场尺度分离后对比分析

大气运动具有多尺度性,气象场的中尺度变化是对大尺度变化的一种扰动,它是各种激烈天气的直接作用者,而这种扰动的中尺度天气系统很难直接从常规观测到的气象要素场上分析出来。尺度分离能很好地揭示出中尺度系统的结构特征,采用25点平滑算子尺度分离法<sup>[13]</sup>,滤去低通滤波场得到两次冷锋切变的中尺度流场,对比分析两次过程流场的中尺度特征。

滤波前低层 $700\text{ hPa}$ 流场上,两次过程均在滇黔间有一条东西向切变线,滤波后在第一次冷锋切变影响前,滇西北丽江附近为一中尺度气旋,到2日02时,中尺度气旋东南移到昆明北部(图2a),2日08时中尺度气旋减弱消失(图2b),昆明附近为一条明显的辐合线,强降水主要集中在2日02时至08时,落区位于中尺度气旋南侧的昆明附近。在该系统四周存在反气旋扰动区,切变两侧的反气旋环流为南强北弱,不利于切变系统快速东南移,与此同时四周冷暖空气不断向中心辐合、交汇,对强降水的产生和维持有重要作用。

第二次冷锋切变影响前,昆明西北方向也有中

尺度气旋生成,5日08时中尺度气旋位于攀枝花附近(图2c),比第一次过程略偏北,中尺度气旋东南移时同样减弱消失,5日14时已减弱成辐合线,并且已移过昆明(图2d),反气旋环流呈现明显的北强南弱,表明切变系统移动比第一次过程快,在滇中滞留时间也更短,降水强度也明显比第一次过程弱。

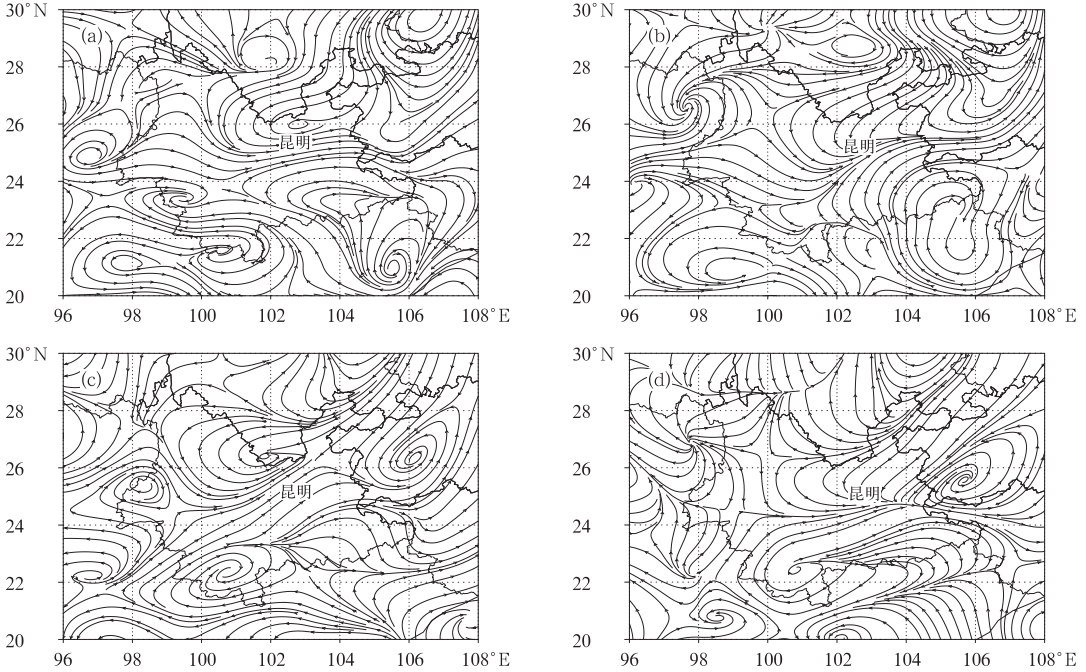


图2 2008年7月2日02时、08时(a,b)和5日08时、14时(c,d)700 hPa滤波后流场

Fig. 2 Streamline fields after filtering of 700 hPa on 2 and 7 July 2008

(a) at 0200 BT and (b) 0800 BT 2 July, (c) at 0800 BT and (d) 1400 BT 5 July

## 4.2 动力特征对比分析

过强降水中心(25°N、103°E)经滤波后作涡度

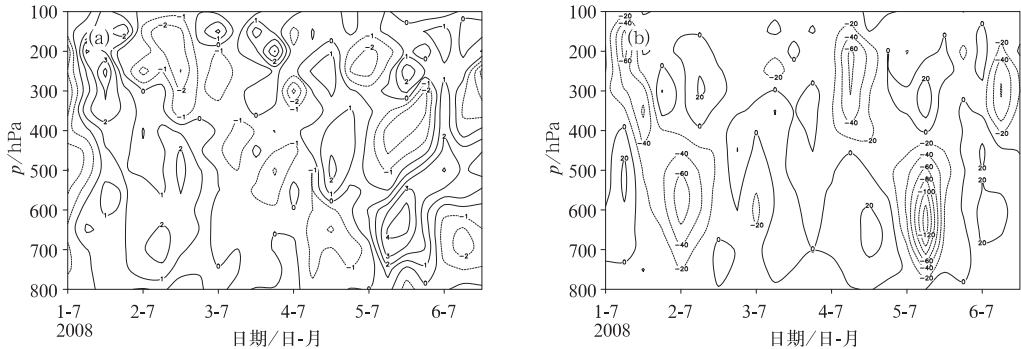


图3 2008年7月1日08时至6日20时滤波后沿25°N、103°E涡度(a,单位: $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )、垂直速度(b,单位: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{ s}^{-1}$ )的时间-高度剖面图

Fig. 3 The time-height cross-section of vorticity (a; unit:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) and vertical velocity (b; unit:  $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{ s}^{-1}$ ) along 25°N and 103°E at 0800 BT 1 July to 2000 BT 6 July 2008

在滤波前200 hPa流场上(图略),两次冷锋切变影响前后,滇中均位于南亚高压西侧偏北气流。滤波后两次冷锋切变影响时,滇中均为反气旋环流区,所不同的是第一次的反气旋环流要强于第二次,在第一次反气旋四周为气旋性辐合,第二次的四周并无明显的气旋性辐合。

和散度时间-高度剖面分析,第一次冷锋切变影响滇中前(图3a),从低层到高层为正涡度区,正涡度中心在250 hPa附近,散度场上对应中低层辐合、高层

辐散,高层辐散明显大于低层辐合。系统影响时,高层从正涡度转为负涡度,中心位置变化不大,中低层正涡度值明显增大,对应的散度场维持中低层辐合、高层辐散;第二次过程影响滇中前,低层为负涡度,中高层为正涡度,正涡度最大中心在500 hPa附近,散度场从低层到高层均为辐散。系统影响时,低层的负涡度转为正涡度,中层500~300 hPa从正涡度转为负涡度,300 hPa以上为正涡度。对应散度场为低层和高层辐合,中层辐散。从两次过境冷锋切变的涡散度中心值对比分析,后一次的正负涡度中心和散度中心均比第一次强,而第一次系统过境时高层的负涡度值略大于低层正涡度值,散度场为高层辐散强于低层辐合。第二次系统过境时低层的正涡度值大于中层负涡度值,散度场分布为低层辐合大于中层辐散。

从垂直速度时间-高度剖面对比分析中可看到(图3b),两次过程都有较强的垂直上升运动中心,最小值均出现在系统过境前后。第一次过程在强降水开始前,低层到高层都为上升区,低值中心在200 hPa附近为 $-60 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,2日08时强降水结束时低值中心在550 hPa附近,中心值为 $-70 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。第二次过程强降水开始前,500 hPa以下为下沉运动区,以上为上升运动区。强降水开始时中低层转为上升区,高层转为下沉区,最强的上升运动出现在5日14时650 hPa附近,中心值为 $-130 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

从以上动力条件分析看,两次过程的降水强度与涡散场和垂直速度强弱并没有对应关系,分析强降水出现的时段后不难发现,第一次过程的强降水主要发生在7月2日03—04时,正好位于02时和

08时之间,因此02时和08时NCEP资料所反映的并不是对流最强时的真实情况。而第二次过程的强降水刚好出现在5日14时前后,正好反映出大气对流最强时的状况。因此,如果强降水不是发生在分析资料时间附近,所分析的动力条件并不一定能真实反映出强降水发生时大气对流的实际状况。

#### 4.3 水汽条件对比分析

水汽来源和输送与降雨强度密切相关。分析700 hPa两次冷锋切变过境前后水汽通量,在系统过境前都有一条从孟加拉湾到云南中部呈NE—SW向带状水汽通道,表明两次过程的水汽主要来自孟加拉湾。第一次冷锋切变过境前滇中水汽通量达到最大,过境时水汽通量减弱,过境后水汽通量又迅速增大,在整个过程都有源源不断的水汽输送,为强降水提供了充足持续的水汽供应;第二次过程水汽通道最大值同样出现在系统影响滇中前,但在系统影响后迅速减弱,水汽通量大值区随着系统的南移而南移,向滇中输送水汽维持时间短。

从水汽通量散度分布看,第一次过程水汽辐合中心在系统影响滇中前位于云南东部,辐合中心沿切变线自东向西移动并逐渐加强,滇中出现强降水后水汽辐合中心位于滇中(图4a),中心值为 $-3 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。第二次过程水汽辐合中心在系统影响滇中前位于滇东北,辐合中心随切变向西南方向移动,表明水汽辐合主要集中在切变线附近,辐合中心在滇东北达到最强,中心值为 $-6 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ,在西南移动过程中呈减弱趋势(图4b),移过滇中后中心已减弱为 $-3 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。虽然第二次过

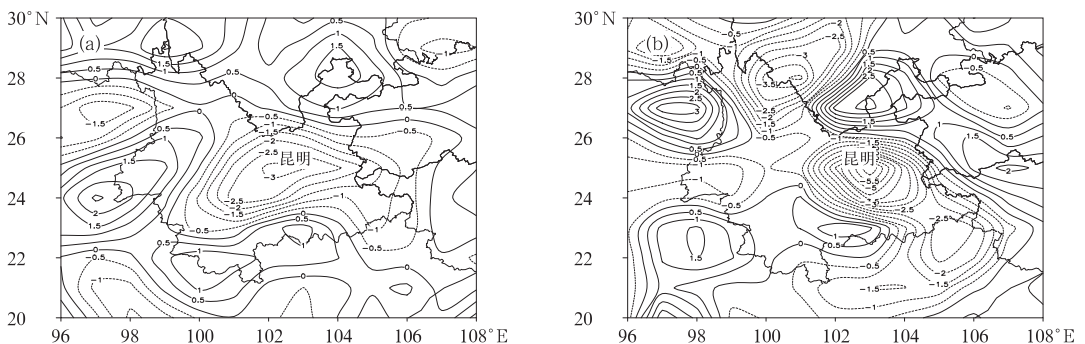


图4 2008年7月2日08时(a)、5日08时(b)700 hPa水汽通量散度

(单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ )

Fig. 4 Vapor flux divergence on 700 hPa (units:  $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ )

(a) 0800 BT 2 July, (b) 0800 BT 5 July 2008

程水汽辐合中心值比第一次过程大,但第一次过程影响滇中前后,水汽辐合中心处于加强期,在滇中维持时间长,对持续性强降水维持非常有利。而第二次过程处于水汽辐合减弱期,水汽辐合区在切变线附近,并随切变东南移,在滇中滞留时间短。从两次过程水汽通量散度辐合中心强度看,降水强弱与水汽辐合的强弱出现反差,降水强度大的水汽辐合小,降水弱的水汽辐合反而大,这种反差仍然是由于分析资料的时效与强降水出现的时间差异引起。

#### 4.4 不稳定条件对比分析

$K$  指数能表征大气稳定度及中低层水汽含量和饱和程度, $K$  指数高值区综合反映出该区域的气团较周围大气暖湿而不稳定,利于该区域产生较强对流及降水。分析两次过程  $K$  指数分布,在强降水开始前,滇中处于  $K$  指数大值区, $K$  指数在滇中为  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上,所不同的是第一次过程要比第二次过程高出  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,但两次过程都超过了雷雨指标( $K > 33\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。从两次冷锋切变影响滇中前后的  $K$  指数演变也可看出

(图略),系统影响前,两次过程的  $K$  指数都在  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上,系统影响后,第一次过程  $K$  指数下降缓慢,到系统影响结束后还有  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。第二次过程指数下降较快, $K$  指数从冷锋切变影响前的  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,陡降到  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由此可见,不稳定能量的形成、维持和释放在冷锋切变天气系统中与降水强度有较好关系。

两次冷锋切变过程  $700\text{ hPa } \theta_w$  在滇中都处于高能舌中锋区前方暖区一侧(图 5),所不同的是第一次过程高能湿舌为西北—东南向,与滇缅高压脊东侧的西北气流位置一致,在滇中强降水开始前,第一次过程的  $\theta_w$  值在  $350\text{ K}$  以上,比第二次过程高  $2\text{ K}$ ;强降水开始时,第一次过程比第二次过程仍高出  $2\text{ K}$  左右,且  $\theta_w_{300} - \theta_w_{800} < 0$ ,高低层  $\theta_w$  场的这种配置表明滇中大气层结为对流不稳定,上层大气温度较低,利于低层暖湿气流的抬升与凝结,是强对流形成并诱发中尺度对流系统(MCS)的典型形势。而第二次过程影响前后,滇中  $\theta_w_{300} - \theta_w_{800} > 0$ ,系统影响滇中时正值区数值明显增大,表明大气为对流性稳定,不利于强对流的形成。

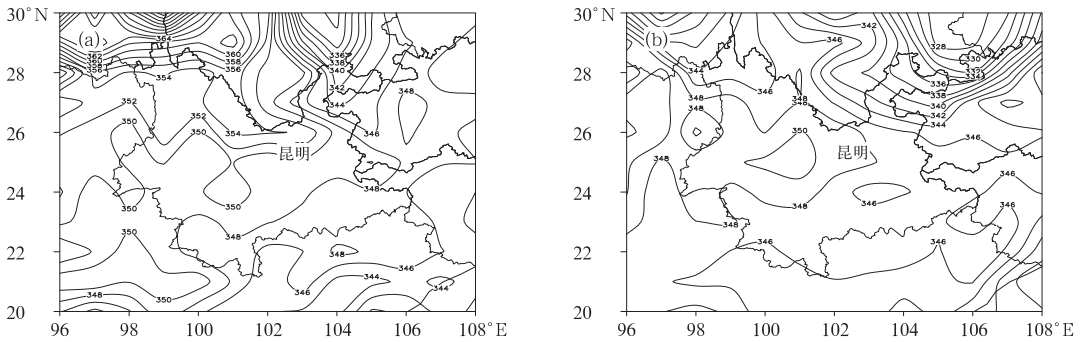


图 5 2008 年 7 月 1 日 20 时(a)、5 日 08 时(b)700 hPa  $\theta_w$ (K)分布图

Fig. 5 The pseudo-equivalent potential temperature (units:K) of 700 hPa

(a) 2000 BT 1 July, (b) 0800 BT 5 July 2008

#### 4.5 能量场对比分析

大气总能量主要由显热能、位能、潜热能和动能组成。对于单位质量空气块的总能量可写为:

$$E_t = c_p T + gZ + L_q(T_d, p) + \frac{1}{2}V^2 \quad (1)$$

式中均为常用符号。为实用方便计算,总能量常用大气总温度表达如下<sup>[15]</sup>:

$$T_t = \frac{E_t}{c_p} = T + \frac{g}{c_p}Z + \frac{L}{c_p}q(T_d, p) + \frac{1}{2c_p}V^2 \quad (2)$$

由式(2)可见,总能量与以绝对温度表示的总温度之间是等压比热常数  $c_p$  的倍数关系。同时,由于

此时动能  $\frac{1}{2}V^2$  比前面三项小  $1\sim 2$  个量级,以温度表达的能量变化可表述为:

$$T_t \approx T + \frac{g}{c_p}Z + \frac{L}{c_p}q(T_d, p) \quad (3)$$

由上式可看出,总能量单位为温度单位。

能量场分析常用于暴雨的预报,分析暴雨过程的能量场可以从本质上提示暴雨的发生、发展规律<sup>[16]</sup>。黄仪方等<sup>[17]</sup>将总能量分为压能和湿焔两部分,将位能与动能之和称为“压能”,将显热能与潜热能之和称为“湿焔”,并应用压能和湿焔场进行了暴雨落区的诊断分析。为考虑计算上的方便,接近似

公式(3)计算两次冷锋切变影响滇中前后的高空总能量相当总温度。图6a为过昆明总能量相当总温度时间-高度剖面图,从图中可看出:两次冷锋切变影响前,低层都出现明显的高能中心,中心值大于 $72^{\circ}\text{C}$ ,系统影响后能量都得到释放,区别在于系统影响后第二次过程能量减弱比第一次过程快。中层第一次过程总能量相当总温度要比第二次过程高出 $2^{\circ}\text{C}$ ,系统影响后第二次过程的能量减弱也非常明显。由此可见,能量的迅速减弱使得第二次过程降水强度比第一次过程弱。

图6b为2008年7月1日08时至6日20时对流有效位能(CAPE)沿 $25^{\circ}\text{N}$ 时间-经度剖面图,第

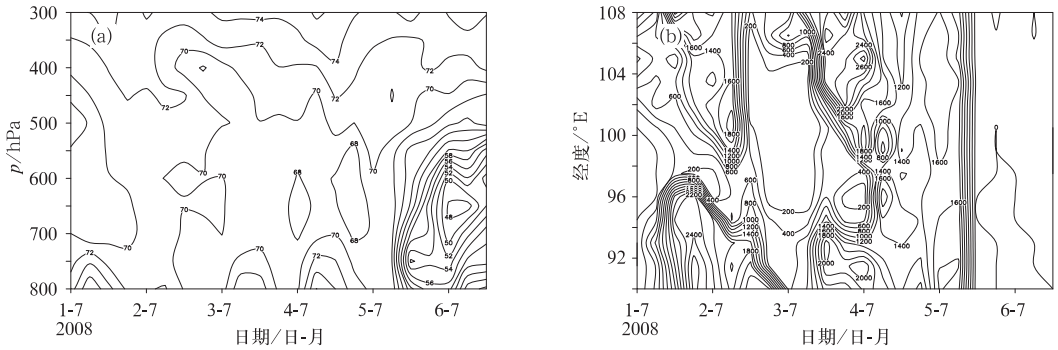


图6 2008年7月1—6日过昆明总能量(a)时间-高度剖面图(单位: $^{\circ}\text{C}$ )和沿 $25^{\circ}\text{N}$ 对流有效位能(b)时间-经度剖面图(单位: $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Fig. 6 The time-height cross-section of total energy (a, units:  $^{\circ}\text{C}$ ) and the time-longitude cross-section of CAPE (units:  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) along  $25^{\circ}\text{N}$  and  $103^{\circ}\text{E}$  from 1 to 6 July 2008.

#### 4.6 温度平流分布特征

夏季冷暖空气的性质和强度对降水强弱影响很大,而温度平流是决定某地温度变化的主要因子之一。分析2008年7月1日08时至6日20时沿 $25^{\circ}\text{N}$ 、 $103^{\circ}\text{E}$ 温度平流时间-高度剖面图(图略),从图中可看出,1日20时至6日08时,低层都为冷平流。第一次过程的冷平流强中心出现2日14时冷锋切变过境后,700 hPa以下为冷平流,以上为暖平流,冷平流中心最大值在750 hPa附近,为 $-8\times 10^{-5}\text{K}\cdot\text{s}^{-1}$ ,系统过境前,强降水区低层经历了由暖平流向冷平流过渡,正是由于低层暖平流的存在,使暖湿气流沿低层冷空气垫向上爬升形成上升运动,极易触发锋面附近中尺度对流系统的生成,有利于强降水的发生。第二次过程在系统过境前后,低层一直维持冷平流,在过境前后都有冷平流中心出现,而且过境前的冷平流中心比过境后还强,其中心值分

一次过程影响滇中前,滇中CAPE为 $500\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,系统影响后达到最大,为 $1900\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,强降水出现在CAPE快速增强期,最大值出现在强降水发生后,这与上面TBB分析结果一致,即强降水不是发生在对流最旺盛期,而是在快速增强、梯度最大时期。第二次过程影响滇中的CAPE特征与第一次过程刚好相反,系统影响前CAPE已达到最大值,为 $1700\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,系统影响后骤降为 $100\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,CAPE的迅速减小不利于对流上升运动的发生发展。因此,在冷锋切变影响滇中时CAPE对降雨强度预报有指示意义。

别为 $-5\times 10^{-5}\text{K}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $-4\times 10^{-5}\text{K}\cdot\text{s}^{-1}$ ,5日08时700 hPa附近有冷暖平流交汇,但维持时间较短,系统过境时500 hPa以下均转为冷平流区,说明第二次过程冷空气比第一次过程强,在强冷空气作用下,锋面移速加快,锋面附近的降水维持时间明显比第一次过程短。

## 5 结论

(1) 两次影响系统在低层都表现为冷锋切变,冷锋切变的强度和移动速度对降雨量和降雨强度影响较大,深厚的冷锋切变系统和缓慢的移速有利于强降水的维持。反之,如果冷锋切变系统浅薄,移动速度快,强降雨维持时间短。

(2) 在夏季,孟加拉湾是云南重要的水汽源,水汽和能量除通过低层西南暖湿气流输送外,滇缅高压脊也是孟加拉湾水汽向滇中输送水汽和能量的形

势之一,同时还对水汽的辐合产生作用。在冷锋切变天气影响时,水汽和能量的输送除考虑切变前的西南暖湿气流外,还要重视滇缅高压脊的输送形势。

(3) 两次过程中冷锋切变线上中尺度系统是产生强降水的主要作用者,中尺度系统的强弱和维持时间的长短,对降雨量和降雨强度影响较大,在冷锋切变影响时,对中尺度系统分析和预报,对降水强度和落区至关重要。

(4) 两次降水强度上出现的差异主要是由于两次过程中对流发展强弱不同引起,假相当位温、K指数、总能量、对流有效位能等热力不稳定指数能很好地反映出对流发展过程中强弱变化的差异。

(5) 在冷锋切变实际预报中,不能单纯考虑切变影响前动力、热力等物理量场的作用,还要考虑到不同环境场之间的作用,在它的作用下可直接影响到产生降水的动力、热力等物理量发生改变,而这些改变正是导致冷锋切变系统影响下出现降水强弱变化的原因。

## 参考文献

- [1] 段旭,孙绩华,汪钟兴.暴雨与非暴雨过程涡散场能量收支特征[J].高原气象,1997,16(2):204-209.
- [2] 段旭,李英.滇中暴雨的湿位涡诊断分析[J].高原气象,2000,19(2):253-259.
- [3] 解明恩,李贵福.初夏昆明罕见大暴雨分析[J].气象,1994,20(1):13-21.
- [4] 段旭,尤卫红,许美玲.云南暴雨涡散场动能转换函数的动态分析[J].热带气象学报,1999,15(2):186-191.
- [5] 何华,孙绩华.高低空急流在云南大范围暴雨过程中的作用及共同特征[J].高原气象,2004,23(5):629-634.
- [6] 鲁亚斌,郭荣芬,张腾飞,等.一次滇中暴雨中尺度对流系统特征分析[J].气象科学,2005,25(4):376-384.
- [7] 尤红,肖子牛,王曼,等.2008年“7.02”滇中大暴雨的成因诊断与数值模拟[J].气象,2010,36(1):7-16.
- [8] 何华,孙绩华.云南冷锋切变大暴雨过程的环流及水汽输送特征[J].气象,2003,29(4):48-52.
- [9] 何华,肖子牛,姚秀萍,等.云南一次切变线上中尺度低涡扰动的结构分析[J].气象,2005,31(8):8-13.
- [10] 张腾飞,鲁亚斌,普贵明.低涡切变影响下云南强降水的中尺度特征分析[J].气象,2003,29(12):29-33.
- [11] 张秀年,段旭.云南冷锋切变型暴雨的中尺度特征分析[J].南京气象学院学报,2006,29(1):114-121.
- [12] 段旭,李英,许美玲,等.低伟高原地区中尺度天气分析与预报[M].气象出版社,2004:11-17.
- [13] 张杰编著.中小尺度天气学[M].北京:气象出版社,2006:157-164.
- [14] 毛冬艳,周雨华,张芳华,等.2005年初夏湖南致洪大暴雨中尺度分析[J].气象,2006,32(3):63-70.
- [15] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文.天气学原理与方法[M].北京:气象出版社,2007:443-449.
- [16] 吴文俊,许晨海,刘延英,等.一次中尺度云团发展时的湿有效能量收支分析[J].高原气象,1995,14(4):47-48.
- [17] 黄仪方,琚建华.压能、湿焔场与暴雨落区的诊断分析[J].高原气象,2002,21(2):154-158.