

# 陕南两次罕见的特大暴雨对比分析

赵世发 王俊 周军元 孟明霞 程路 周丹 高丽

(陕西省商洛地区气象局,商州 726000)

## 提 要

通过对陕南两次特大暴雨发生时的主要影响系统、各种物理量场特征、卫星云图演变实况、地形特征等综合对比分析认为,这两次特大暴雨都是由副热带高压外围的SW气流输送大量水汽和不稳定能量,配合高空槽、切变线和低空急流影响产生的。冷锋或夜晚对流发展触发对流不稳定能量释放,产生强对流。特大暴雨产生在中低层对流不稳定、高能舌和低层暖平流、高层冷平流以及低层辐合、高层辐散的上升运动区。地形抬升和喇叭口地形效应也起了重要作用。

**关键词:** 特大暴雨 影响系统 物理量场特征 对比分析

## 引 言

1998年7月9日,陕西省东南部的商洛地区丹凤县出现了世界内陆之最的特大暴雨(以下简称“7.9”暴雨,国家水利部、水文局组成的专家组认定为世界之最),6小时降雨量达1500mm以上。突如其来的暴雨致使山洪爆发,河水猛涨,泥石流、滑坡体相继出现,商洛局部遭受了毁灭性灾害,导致88人死亡,直接经济损失3.42亿元。事隔一年,同处陕南的安康地区紫阳县又出现了二百年一遇的特大暴雨。2000年7月12日20时~13日20时安康地区紫阳县毛坝镇的24小时雨量达210.4mm(以下简称“7.13”暴雨)。这次特大暴雨使得汉水干、支流洪水暴涨,诱发了多处严重的山体滑塌和泥石流,造成局部毁灭性的特大自然灾害。受灾最为严重是紫阳县的毛坝、麻柳等20多个乡镇,据不完全统计,死亡276人,失踪10人,连接大西南的交通动脉——襄渝铁路中断168小时,直接经济损失2亿元以上。

## 1 产生两次特大暴雨的主要天气形势和系统

夏季掌握副热带高压所在位置及其移动是陕南大降水预报的关键,尤其是特大暴雨预报与副热带高压的西进东退密切联系。

### 1.1 产生“7.9”暴雨的主要天气形势和系统

1998年7月9日08时副高已控制陕南东部,商洛在588特征线内(如图1a)。700hPa9日08时,商洛地区西南侧上空有一支西南急流形成,大连-宝鸡-武都有一切变线。冷温度槽位于切变线后。850hPa图上切变线位于大连-商州-武都(南)一线。9日20时,副热带高压减弱东退。随着副热带高压的向东摆动,850hPa切变线南(西)段迅速东移影响商洛(见图1a),暴雨开始时间与切变线过境一致。地面,冷空气翻越秦岭时分为两路,这两路冷空气于9日14时在秦岭东南坡的丹凤、商南之间形成“人”字型地面锋,16时在地面锋顶附近(见图1a“D”处)形成-66℃的强对流云团,随后该云团迅速发展成暴雨云团,18时特大暴雨开始,持续6小时降水量达1500mm。

### 1.2 产生“7.13”暴雨的主要天气形势和系统

12日08时副热带高压增强西伸,588特征线伸到陕南的南部(如图1b)高原东部有低槽形成,槽后有-3℃的降温,蒙古高压与副高之间的SE-NW向切变线位于35°N附近。12日20时,高空槽东移到紫阳上空,副高继续增强西伸北抬,副高外围的西南气流

增强为急流。700hPa、850hPa 副高外围 SW-NE 向切变线(上下基本在同一位置)从 12 日 08 时到 14 日 08 时,一直在“川北-陕南-济南”上空摆动,并于 13 日 08 时与北边南压的切变线合并。在切变线附近的高能区内,由于夜晚对流(典型的巴山夜雨)增强触发不稳

定能量释放,生成对流云团沿切变线发展东移,于 13 日凌晨影响安康紫阳,大降水开始。13 日 9 时切变线上后边的对流云团赶上前边的对流云团在紫阳上空合并发展,形成强暴雨云团持续 5 小时造成紫阳特大暴雨。

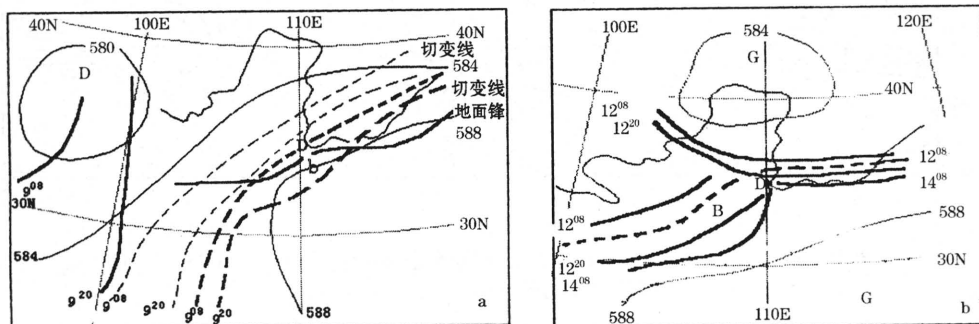


图 1 500hPa 形势和影响系统

a. 1998 年 7 月 9 日 08 时 b. 2000 年 7 月 12 日 08 时

### 1.3 两次特大暴雨影响系统对比分析

两次特大暴雨都发生在副热带高压西北侧的 SW 急流里,在 700hPa、850hPa 切变线附近。不同的是:“7.9”暴雨发生在副热带高压减弱东退时,而“7.13”紫阳暴雨发生在副热带高压增强西伸时;“7.9”暴雨是由地面锋触发高能区内不稳定能量释放产生对流,生成对流云团后发展成暴雨云团,而“7.13”紫阳暴雨是由夜晚对流(典型的巴山夜雨)增强触发切变线附近的不稳定能量释放,形成暴雨云团,“7.13”暴雨在切变线上还有对流云团的合并与发展。

### 2 低空急流与水汽条件分析

低空急流是动量、热量和水汽的高度集中带,为发生暴雨提供了动力和热力条件。分析高空图可见这两次特大暴雨都与低空偏南风急流密切相关。

7 月 9 日 08 时商洛上空 700hPa SW 风风速达  $10 \sim 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,形成了一支偏南风急流,对应商洛上空水汽通量时间空间剖面图上 700hPa 有一个大于  $100 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot (\text{hPa} \cdot \text{cm} \cdot \text{s})^{-1}$  的水汽输送中心(如图 2a),在水汽通量散度时间空间剖面图上 700hPa 附近形成  $-13 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot (\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$  的水汽辐合中心,18 时暴雨开始时低层保持较强的

水汽辐合,高层水汽辐散(如图 2b)。同样“7·13”暴雨前也有偏南风急流形成(700hPa 安康风速达  $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),紫阳上空水汽通量和水汽通量散度也都有最大中心形成(如图 3a、b)。

分析暴雨区上空的水汽通量和水汽通量散度时间空间剖面图可见:这两次特大暴雨开始前在 700hPa 附近有水汽通量最大中心和水汽通量散度的最大辐合中心出现,且水汽通量(水汽输送)中心比水汽通量散度(水汽辐合)中心形成早,水汽通量散度中心形成比暴雨开始早。本两例中,水汽通量中心形成时间比暴雨开始时间约提前 20 小时。这对特大暴雨预报有指示意义。

### 3 动力条件分析

分析散度场分布发现(如图 4a),7 月 9 日 08 时商洛 500hPa 以下为辐合区,500~250hPa 为辐散区。20 时高层辐散增强,在 700hPa、500hPa 和 300hPa 分别形成三个高值辐散区,低层有一个辐合中心与之对应,“7·9”暴雨就产生在低层辐合、高层辐散的区域。7·9”暴雨的涡度场分布(图 4b)表明,暴雨前 600hPa 及以下一直为正涡度,高层为负涡度,暴雨时低层正涡度减小,高层负涡度增强。

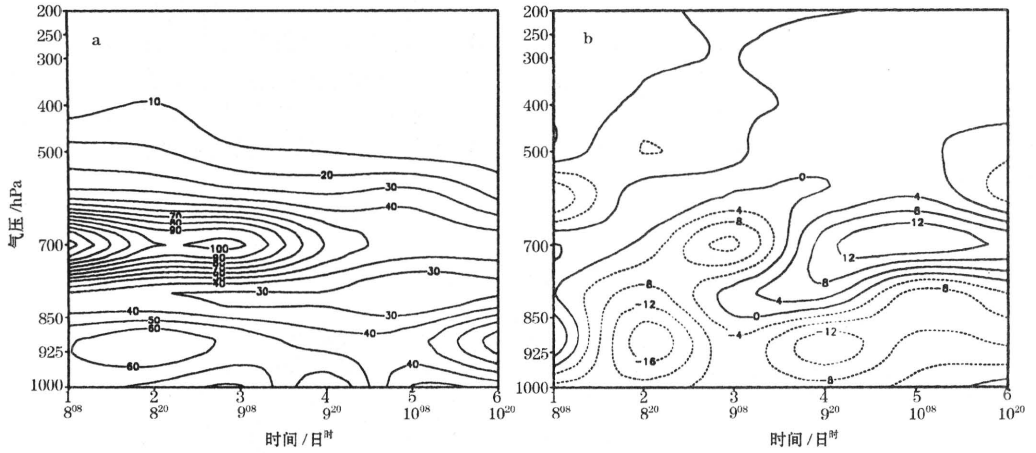


图2 1998年7月8~10日丹凤上空水汽通量(单位: $\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )(a)和水汽通量散度(单位: $\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )(b)

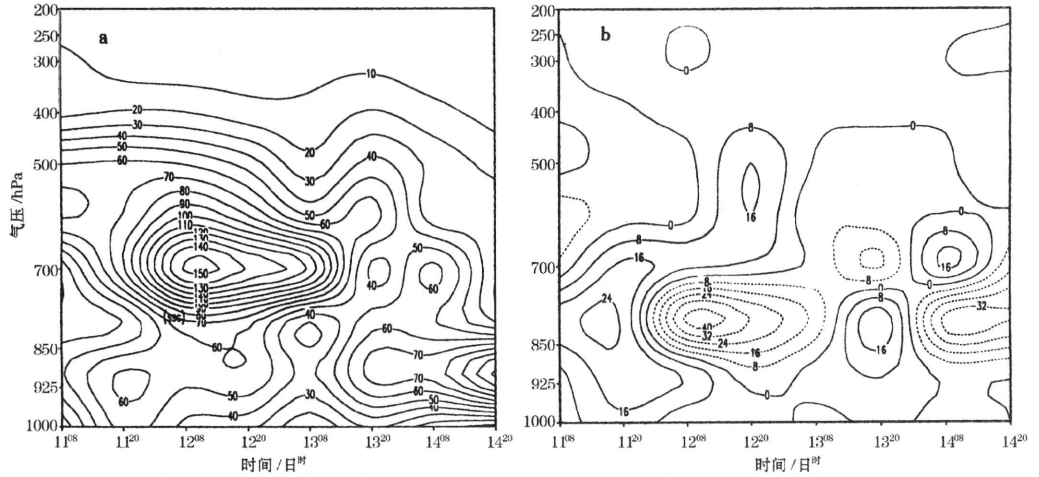


图3 2000年7月11~14日紫阳上空水汽通量(a)和水汽通量散度(b)(单位同图2)

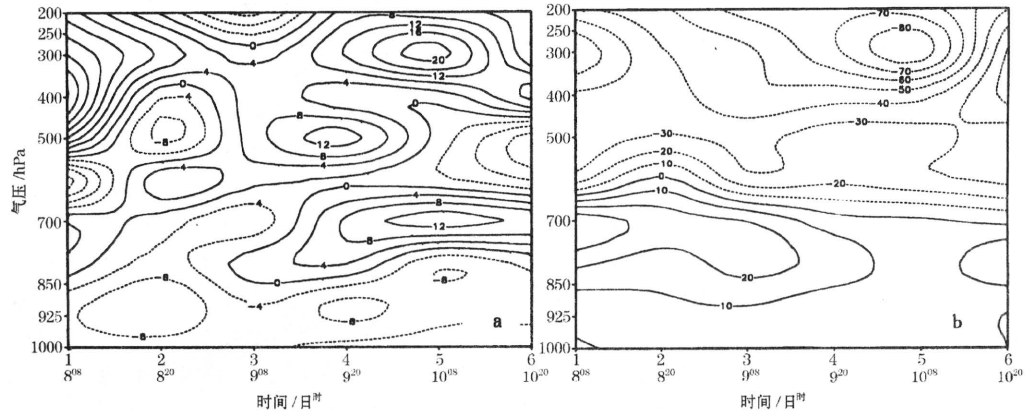


图4 1998年7月8~10日丹凤上空散度(单位: $10^{-5}\text{s}^{-1}$ )(a)和涡度(单位: $10^{-5}\text{s}^{-1}$ )(b)

“7·13”暴雨的散度场和垂直速度场特征:12日08时,紫阳上空辐合辐散相间,最大辐合中心在700~500hPa,强度为 $-30 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ ,最大辐散中心在200hPa,特大暴雨时高层辐散继续增强,低层辐合向上抬升,

在500hPa达 $-20 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ (如图5a),对应垂直速度时间空间剖面图上,在12日夜晚到13日14时紫阳上空的上升运动连续增强,值达 $-35 \times 10^{-3} hPa \cdot s^{-1}$ ,高度抬升到达250hPa(如图5b)。

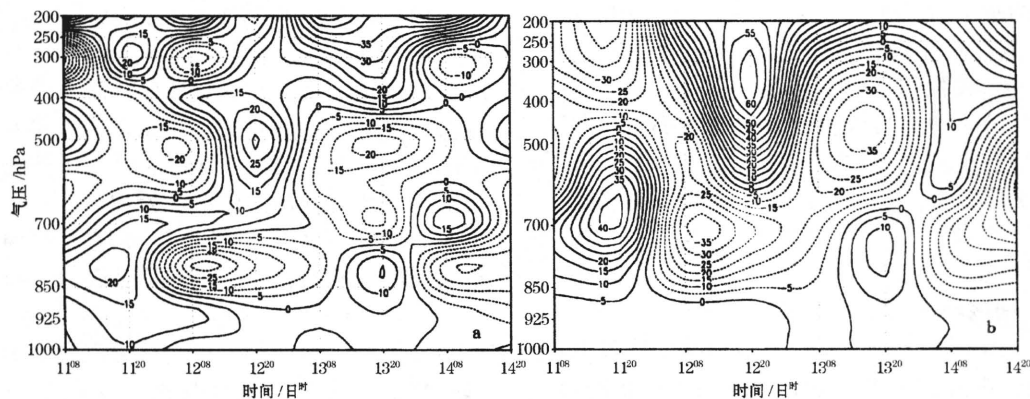


图5 2000年7月11~14日紫阳上空散度/ $10^{-5} s^{-1}$ (a)和垂直速度/ $10^{-3} hPa \cdot s^{-1}$ (b)

#### 4 热力条件分析

##### 4.1 静力总温度分布特征

两次特大暴雨发生前700hPa总温度高能舌已伸向特大暴雨区,特大暴雨产生在高能舌内(图略)。这两次特大暴雨时700hPa能量锋区不明显。从过暴雨区总温度经向垂直剖面图上看(图略),这两次特大暴雨的空间锋区也不明显,但高层增能显著,高层68℃特征线明显下伸,与低层68℃特征线接通。暴雨结束高层能量减少。

表1 1998年7月8日20时~10日08时丹凤上空 $\theta_{se}$ 和温度平流

层次/hPa	$\theta_{se}/\text{℃}$						温度平流/ $10^{-5} \text{℃} \cdot s^{-1}$					
	8日		9日		10日		8日		9日		10日	
	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时
200	87.9	85.9	86.6	85.9	35.6	-7.9	5.45	-7.5				
250	85.3	91.9	83.9	83.3	23.2	3.8	-1.4	-6.1				
300	84.1	81.4	81.5	80.6	18.5	3.5	-11.0	1.7				
400	78.3	78.8	72.6	74.6	9.25	13.8	-21.0	9.6				
500	76.1	76.1	70.4	71.4	-2.5	15.7	33.1	1.9				
700	76.8	76.0	74.7	74.1	-0.8	-8.8	-3.8	10.6				
850	73.5	72.2	73.5	73.0	20.5	10.6	28.4	-5.5				
925	74.0	74.0	78.0	78.0	10.0	12.0	4.0	13.0				
地面	77.0	71.0	79.0	74.0	10.0	40.0	-16.0	0.0				

##### 4.2 大气垂直不稳定特征

$\theta_{se}$ 垂直分布可以反映大气的对流不稳

定性。从表1可以看到1998年7月9日20时丹凤上空500hPa以下 $\theta_{se}$ 随高度减少, $\Delta\theta_{se(500-地)} = -8.6\text{℃}$ 。从表2可以看到2000年7月12日08时~13日20时紫阳上空500hPa以下 $\theta_{se}$ 随高度的变化,13日08时500hPa以下有多个不稳定层结, $\Delta\theta_{se(850-925)} = -3.2\text{℃}$ , $\Delta\theta_{se(500-700)} = -3.1\text{℃}$ 。两次特大暴雨发生时500hPa以下大气层结不稳定。

表2 2000年7月12日08时~13日20时紫阳上空 $\theta_{se}$ 和温度平流

层次/hPa	$\theta_{se}/\text{℃}$				温度平流/ $10^{-5} \text{℃} \cdot s^{-1}$			
	12日		13日		12日		13日	
	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时
200	83.4	84.8	82.1	87.1	-95	-119	73.2	-9.3
250	79.9	80.4	78.7	82.4	21.9	-119	-13.0	-135
300	80.0	77.0	74.4	81.7	-62.0	8.9	-64.0	-10.0
400	79.6	74.6	70.2	78.4	-57.0	-76.0	38.4	51.8
500	75	72.1	69.6	73.5	-6.1	-33.0	29.4	36.1
700	71.7	70.5	72.7	68.4	23.8	19.8	48.7	-8.8
850	64.3	67.5	68.8	70.3	33.9	-11.0	7.3	-22.0
925	68.0	71.0	72.0	84.0	-20.0	3.0	-1.0	-2.0
地面	65.0	72.0	71.0	76.0	-30.0	-20.0	1.0	0.0

温度平流不仅可以造成大气层结不稳定,而且可以产生垂直运动,它在强对流天气中起重要作用<sup>[1]</sup>。分析温度平流发现“7.9”暴雨发生时400~250hPa均为冷平流,强度

为  $-21 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ , 500hPa 为  $33 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$  的暖平流, 形成高层不稳定, 低层 925~850hPa 为  $28 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$  的暖平流, 700hPa 为  $-3.8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$  的冷平流, 形成低层不稳定。“7.13”暴雨发生时 850~400hPa 为深厚的暖平流, 300~250hPa 为  $-64 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$  的冷平流, 两次特大暴雨发生在下暖上冷(平流)较强的不稳定层结。

分析两次特大暴雨发生前上游站的大气层结稳定度, 发现大气层结很不稳定, “7.9”特大暴雨的上游站安康  $K$  值达  $40^\circ\text{C}$ , “7.13”特大暴雨的上游站达川  $K$  值达  $43^\circ\text{C}$ 。

### 5 地形抬升作用和喇叭口效应

由调查可知, “7.9”暴雨的两个暴雨中心均位于 312 国道(WNW-ESE 走向)北侧, 且地势北高南低; 两个暴雨中心的最大点雨量均出现在地形最高点(双槽乡青龙庙, 高程 1795m, 青油河乡鸡冠崖, 高程 1117m)的迎风坡。可见, 底层的偏南暖湿气流受阻后必然沿山坡爬升, 上升运动促使对流云团强烈发展。另外, 多数山沟均为南段低而宽, 北段高而窄(南北宽度比为 1.5:1), 所以气流爬升的同时, 又具有喇叭口效应。与“7.9”暴雨地形特征相似, “7.13”暴雨的中心在紫阳县西南边的麻柳、毛坝乡, 是由大巴山和米仓山形成的开口向西北的“喇叭口”地形(北南宽度比为 1.8:1), 暴雨开始时紫阳吹 WNW 风, 风速  $1.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 正对着“喇叭口”地形吹, 地形平均高度差在 800m 左右, 有利的地形加大了低层暖湿空气的辐合上升。以“7.9”暴雨丹凤县双槽乡地形为例计算其产生的垂直速度<sup>[2]</sup>, 双槽乡的“喇叭口”地形向 WSW 开口, 暴雨开始时吹 WNW 风  $6.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (丹凤测站实测值, 在特大暴雨区内), 考虑地形抬升和“喇叭口”效应产生的垂直速度  $\omega$ , 则有  $\omega = -1.5 \times \rho_0 g V_0 \cdot \nabla h$ , 其中  $h$  是地形高度, 这里取平均高度差 700m, 用差分计算, 网格距取 5km, 则计算的垂直速度为  $-91.24$

$\times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。比天气系统产生的上升运动强一倍。

### 6 小结

通过对陕南两次特大暴雨过程的分析, 得出如下几点主要结论。

(1)“7.9”特大暴雨是在副高减弱东退, 其外围的西南气流发展成急流, 850hPa 切变线过境的情况下发生的, 地面冷锋和中尺度扰动及有利地形的叠加作用是这次大暴雨发生的触发机制; 停滞少动的暴雨云团的持续影响是这次大暴雨产生的主要原因。

“7.13”特大暴雨是在副高增强西伸北抬, 其外围的西南气流发展成急流, 高空槽、850 和 700hPa 切变线过境的情况下发生的, 巴山夜间对流增强和中尺度扰动以及有利地形的叠加作用是这次大暴雨发生的触发机制; 停滞少动的暴雨云团和切变线上暴雨云团合并的持续影响是这次大暴雨产生的主要原因。

(2)特大暴雨发生前 20 小时左右, 暴雨区上空的水汽通量(水汽输送)和水汽通量散度(水汽辐合)形成最大中心。分析预报点上空的水汽变化特征具有预报意义。

(3)特大暴雨发生在中低层强不稳定区和高能舌内, 发生前上游站的大气层结很不稳定( $K$  值达  $40^\circ\text{C}$  或  $43^\circ\text{C}$ ), 中低层能级很大(850hPa  $T_e$  达  $72^\circ\text{C}$  或  $69^\circ\text{C}$ ); 因此, 根据系统的移动, 分析上游站的层结变化和能量变化具有预报意义。

(4)特大暴雨发生时, 低层辐合明显, 高层辐散强烈, 雨量中心与中尺度扰动中心的移动一致。

### 参考文献

- 1 杨晓霞等. 连续冰雹天气物理量特征分析. 气象, 2000, 26(4): 52~53.
- 2 75.8 暴雨研究会战领导小组. 1975 年 8 月河南特大暴雨研究报告. 1977. 3. 81.

(下转第 52 页)

## Contrast Analysis between two Rare Torrential Rains over the South of Shaanxi Province

Zhao Shifa Wang Jun Zhou Junyuan Meng Mingxia Cheng Lu Zhou Dan Gao Li

(Shangluo Weather Office, Shaanxi Province 726000)

### Abstract

The main influential systems, various physical features and satellite images were synthetically contrastively analysed. Topographic features are also consulted. It is shown that the two torrential rain are all caused by plentiful moisture and instability energy conveyed by the southwest airflow outside subtropical high, assorted with upper trough, shear line and low-level jet. The cold front ("7.9 torrential rain") or development of convection at night ("7.13 torrential rain") triggered off convective instability energy and a stronger convection produced. Torrential rain located in the area with convective instability, high energy tongue at the middle-low level, warm advection convergence at the low level and divergence at the high level and ascending motion. Topographic lift and bell-mouthed topographic effect also affected the torrential rain.

**Key Words:** torrential rain influential systems moisture instability