

# 急流次级环流对陕南一次特大暴雨过程的作用

刘勇, 王楠, 李平

(陕西省气象台, 陕西 西安 710015)

**摘要:** 对2003年7月15日陕西南部一次特大暴雨过程进行分析, 结果表明: 导致宁强特大暴雨的中- $\alpha$ 尺度对流云团, 呈圆形或椭圆形, 生命史为17 h, 850 hPa低层水汽辐合对特大暴雨的贡献超出了700 hPa西南急流, 急流次级环流提供的持续强劲上升运动是中- $\alpha$ 尺度对流云团维持的主要原因。

**关键词:** 特大暴雨; 中- $\alpha$ 尺度对流云团; 急流次级环流

中图分类号: P458

文献标识码: A

## 引言

2003年7月15日陕西南部出现大范围的暴雨天气, 其中18站出现了暴雨, 5站大暴雨。特别是位于陕西南部巴山附近的宁强县出现了建站以来最强的大暴雨, 日降水量为184.6 mm, 其中15日08~14时6 h降水量134.6 mm, 最大雨强在08~09时, 为39.2 mm。

大量的研究表明<sup>[1-4]</sup>, 低空急流对大暴雨的产生起着重要作用。从卫星云图上可以看出, 造成宁强特大暴雨的是一个典型的中- $\alpha$ 尺度对流云团。局地特大暴雨的产生常与强中尺度对流云团相联系<sup>[5]</sup>, 特别是水平尺度为200~300 km的中- $\alpha$ 尺度对流云团, 带来的降水往往出乎人们的预料, 给当地带来很大的经济损失和人员伤亡。中- $\alpha$ 尺度对流云团形成的机理是什么, 为什么强对流会持续长达十几小时, 本文就2003年7月15日造成宁强特大暴雨的中- $\alpha$ 尺度对流云团的形成发展过程进行诊断分析, 试图揭示出中- $\alpha$ 尺度对流云团形成的一种机理。

## 1 中- $\alpha$ 尺度对流云团发生发展过程

造成宁强特大暴雨的对流云团是一次比较典型的中- $\alpha$ 尺度对流云团, 从逐时的FY-2卫星红外云图的演变情况来看, 中- $\alpha$ 尺度对流云团从生成、发

展、减弱到消亡阶段, 历时近17 h。降水强度自15日08时到15日17时一直维持较高的水平(图1)。

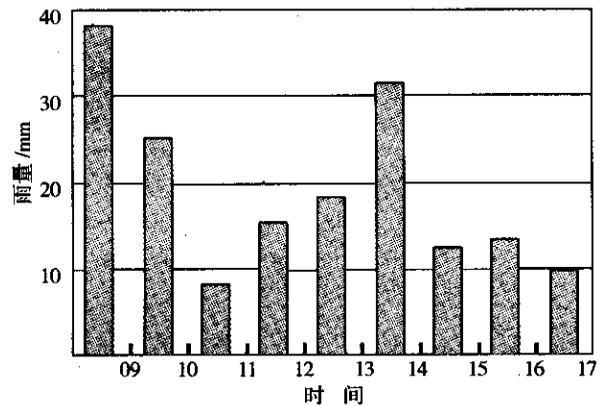


图1 2003年7月15日08~17时宁强逐时雨量图

Fig. 1 The hourly precipitation in Ningqiang from 08:00 to 17:00 on July 15, 2003

7月14日23时的卫星云图显示, 在高原东侧四川、青海和甘肃的交界处有一对流云团在发展, 对照天气图可以看出, 是500 hPa高原低涡东移发展而成。15日00时随着高原冷空气侵入四川盆地, 高原低涡A云团开始减弱时, 在其前部触发B对流云产生。15日02时(图2a)A云团东移到甘肃南部和四川北部, 其强度明显减弱。相反, 四川东北部的B对流云团明显增大, 水平尺度为40~60 km, 云顶亮温 $T_{BB}$ 达 $-50^{\circ}\text{C}$ 。B云团在加强发展的同时加速

北上到巴山南坡。15日04时(图2b)A云团处于消散阶段,弱冷空气继续向东扩散,为B云团的发展提供了有利的条件。此时B云团水平尺度为80~100 km,云顶亮温 $T_{BB}$ 为 $-50^{\circ}\text{C}$ 的面积明显增大,东

移至陕西和四川交界处。06时(图2c)B云团稍有减弱,云团前部东移到陕南宁强一带。B对流云团沿着东北方向移动,与低层西南暖湿急流方向一致。

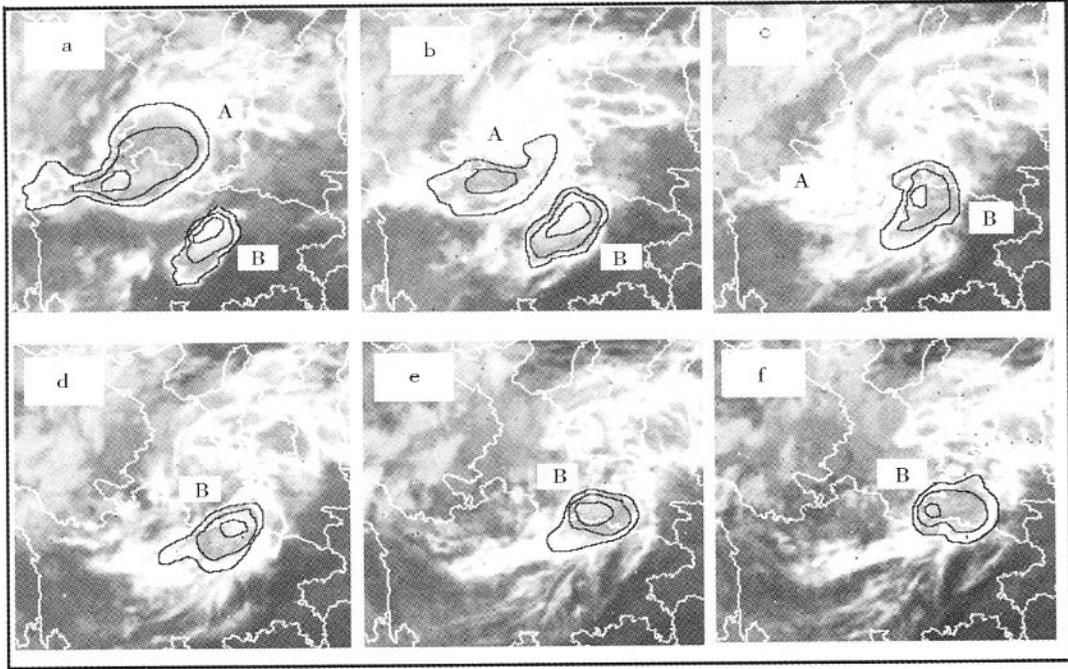


图2 2003年7月15日02~14时的FY-2红外云图(图中给出 $< -30^{\circ}\text{C}$ 的 $T_{BB}$ 等值线,间隔为 $10^{\circ}\text{C}$ )

Fig. 2 The FY-2 infrared cloud images from 02 00 to 14 00 on July 15, 2003

(The chart shows TBB isopleth under  $-30^{\circ}\text{C}$  and the interval is  $10^{\circ}\text{C}$ )

15日08时(图2d)B云团强度明显加强,为椭圆形,嵌在云团中间为一块同样形状的深对流区。云顶亮温 $T_{BB}$ 为 $-50^{\circ}\text{C}$ ,笼罩面积有5万 $\text{km}^2$ ,长轴直径约240 km,短轴直径约200 km,具有典型的中 $-\alpha$ 尺度对流云团特征。由于强中心正好在宁强附近,宁强08~09时降水最强,1 h雨强为39.2 mm。10时(图2e)B云团开始移动缓慢,形态为圆形,云顶亮温 $T_{BB}$ 为 $-50^{\circ}\text{C}$ ,水平尺度维持在200 km范围,其降水强度中心基本在宁强县附近。14时(图2f)影响陕西南部的中 $-\alpha$ 尺度云团强度有所减弱,但水平尺度200 km,降水强度保持在10 mm/h以上。从14~17时,中 $-\alpha$ 尺度对流云团稳定在秦巴山区的宁强一带,18时B云团减弱,强降水结束。

从影响陕西南部的中 $-\alpha$ 尺度对流云团发生发展的演变情况看,B云团的水平尺度约为200 km,呈圆形或椭圆形,云顶亮温 $T_{BB}$ 为 $-50^{\circ}\text{C}$ ,强降水在10 h以上。属于比较典型的中 $-\alpha$ 尺度对流云团。

## 2 中 $-\alpha$ 尺度对流云团形成的天气背景

2003年7月14日20时,东亚500 hPa中高纬环流形势呈两槽一脊型,巴湖到河套地区为低槽区,西太平洋副热带高压主体由台湾附近东移至福建,588 dagpm线位于昆明—宜昌—上海一带。高原东侧青海东部存在一高原低涡,携带着一股弱冷空气向东移动。到15日08时,冷空气前锋位于河套西侧,高原低涡演变成高原槽,槽后弱冷空气继续向东扩散。由于副热带高压逐渐加强西伸北抬,脊线北抬到 $26^{\circ}\text{N}$ ,高原槽东移的速度较慢,导致暴雨系统维持在宁强附近,对特大暴雨的形成非常有利。

15日08时700和850 hPa图上,在四川、陕西、甘肃交界处都有一气旋低涡,中心位于秦巴山区。700 hPa从14日20时至15日08时在云贵高原经四川到陕西南部形成一支 $\geq 12\text{ m/s}$ 的西南暖湿急流,把大量的暖湿空气和水汽不断输送到秦巴山区。

850 hPa 宁强附近存在着明显的风场辐合,偏东气流控制着陕南的大部分地区。低层辐合有利于对流的产生和发展。

14 日 20 时 200 hPa 图上,新疆东部维持一较强的高空冷槽,贝加尔湖为高压脊,35~45 m/s 的高空急流呈反气旋沿青海西部、内蒙中部到山东半岛。15 日 08 时 200 hPa 高空急流继续维持加强,陕西南部处在高空辐散气流中,有利于对流的发展。

### 3 大暴雨形成的物理量特征

#### 3.1 能量分析

15 日 08 时,沿四川盆地到陕西南部 850~300 hPa 各层均为高能区,低空西南暖湿急流发展,将暖湿气流大量输送到四川和陕西南部,说明暴雨区上空具有很高的能级。特别是低层(850~700 hPa)陕西南部  $\theta_{se}$  都在 75~80 °C 之间,表明大气低层已积累了大量的不稳定能量。同时暴雨区的  $\Delta\theta_{se(500-700)} < -4$  °C,表明大气层结处在不稳定状态,有利于对流的发生。

#### 3.2 涡度场

15 日 08 时的涡度场,暴雨区上空 850~250 hPa 为正涡度区,在 700 hPa 量值最大,为  $3 \sim 4 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。250 hPa 以上为负涡度区,最大量值在 200 hPa,为  $-3 \sim -4 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。正涡度值上升到 250 hPa 高度,说明暴雨区上空为一深厚的气旋性涡旋,有利于对流的发展。

#### 3.3 散度场

15 日 08 时的散度场,暴雨区上空 850~700 hPa 为辐合区,最强辐合在 850 hPa 层,量值为  $-2 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。700~400 hPa 为辐散区,但辐散很弱,量值为  $0 \sim 1 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。400~250 hPa 又为辐合区,量值为  $0 \sim -1 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。250 hPa 以上均为辐散区。这次过程散度垂直分布从对流层低层到高层呈现辐合—辐散的双重结构,这种双重结构在陕西特大暴雨中曾出现过<sup>[6]</sup>,说明这种结构非常有利于对流的发生发展。

#### 3.4 水汽条件

15 日 08 时水汽通量图上,700 hPa 沿孟加拉湾—云南—贵州—四川—陕西有一条尺度为上千 km 和水汽通量值非常大的水汽通道,南风急流为陕北带来充沛的水汽。在这条水汽通道上,水汽通量值在陕西中南部为  $100 \sim 120 g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ 。

说明了 700 hPa 低空急流为宁强大暴雨提供的水汽条件是非常好的。

850 hPa 水汽通量图上(图 3a),主要是沿南海—贵州—四川—陕西有一条南路水汽通道向陕西输送水汽,陕西南部最大值为  $100 \sim 120 g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ 。虽然没有急流产生,但偏东气流仍然给陕南带来充沛的水汽。

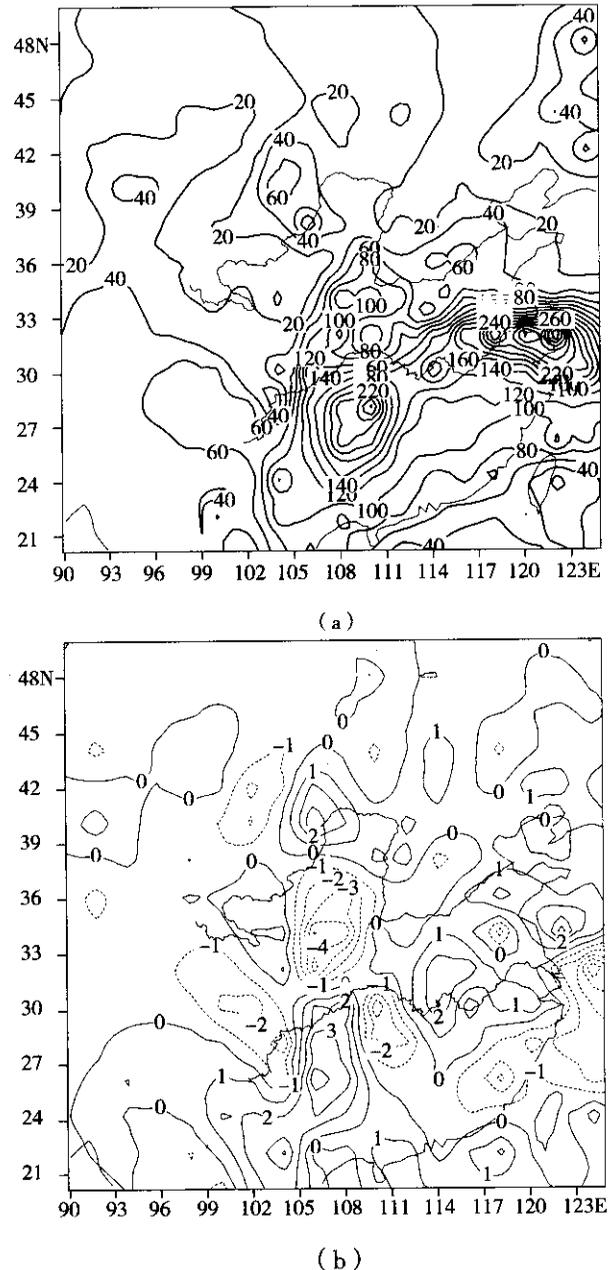


图3 2003年7月15日08时(a)850 hPa水汽通量(b)850 hPa水汽通量散度

Fig. 3 The fields of vapour flux (a) and vapour flux divergence (b) at 850 hPa at 08 00 on July 15, 2003

分析各层的水汽通量散度,发现宁强特大暴雨的水汽主要来源于850 hPa,而700 hPa西南急流的贡献则很少。15日08时的700 hPa陕西南部的水汽通量散度为 $0 \sim -1 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而850 hPa水汽通量散度(图3b),陕南地区为水汽强辐合区,量值为 $-5 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,辐合中心在宁强( $32^{\circ}30'$ ,  $106^{\circ}09'$ )附近,水汽辐合中心与暴雨区相对应。低层强风场辐合和比较充沛的水汽供给,使得850 hPa偏东气流的水汽对大暴雨的贡献远远超过了700 hPa西南低空急流。

#### 4 中- $\alpha$ 尺度对流云团形成的动力条件

影响宁强的中- $\alpha$ 尺度对流云团的生命史约为17 h,充沛的水汽供给,维持较长时间的强劲上升运动是中- $\alpha$ 尺度对流云团能够形成的主要原因,也是研究的重点。急流次级环流是局地大暴雨产生的动力条件之一<sup>[7-8]</sup>,加强对它的研究十分重要。

从14日20时高低空急流所处的位置看,陕南西部位于700 hPa西南急流轴的左前侧辐合区和250 hPa西南急流入口区右侧辐散区。当低层强辐合区与高空强辐散区重叠时,对流得以产生和发展,次级环流形成。由于高低空急流尺度大,次级环流强度也随之增大。

沿 $33^{\circ}\text{N}$ 垂直速度剖面图(图略)表明,14日20时在700 hPa急流轴前部东西两侧存在着一次级环流。700 hPa急流轴左前侧( $95 \sim 103^{\circ}\text{E}$ )为次级环流的上升支,最大上升速度在500 hPa,量值为 $-5 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,700 hPa低空急流轴右前侧( $103 \sim 110^{\circ}\text{E}$ )为次级环流的下沉气流,最大下降速度在400 hPa,量值为 $3 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。15日08时随着700 hPa低空急流轴前部东移,呈西南—东北走向,陕南正好处在700 hPa低空急流轴左前部,高空200 hPa东北急流的东移和风速增大,使得次级环流进一步加强。沿 $106^{\circ}\text{E}$ 垂直速度剖面图(图4)表明,急流次级环流上升支区域明显增大,在 $30 \sim 39^{\circ}\text{N}$ 区域内均为上升气流,最大上升速度在300~400 hPa之间,量值为 $-8 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,说明对流非常强。在 $39 \sim 48^{\circ}\text{N}$ 区域内为下沉气流,最大下降速度在300~400 hPa,量值为 $5 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。如此强的急流次级环流为暴雨的产生提供了持续强劲的上升运动,也是中- $\alpha$ 尺度对流云团产生、维持的主要原因。

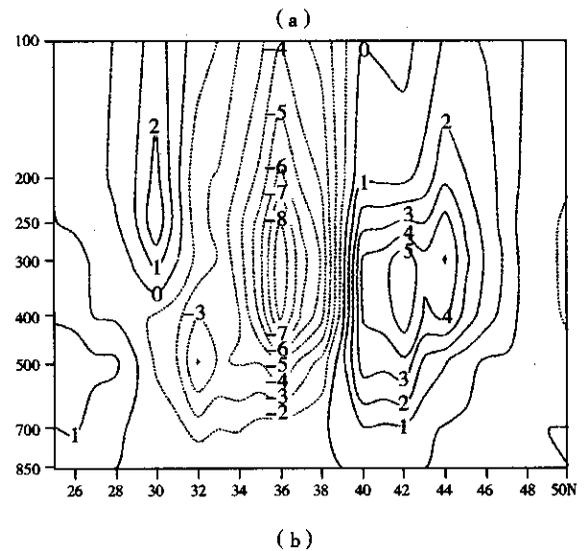
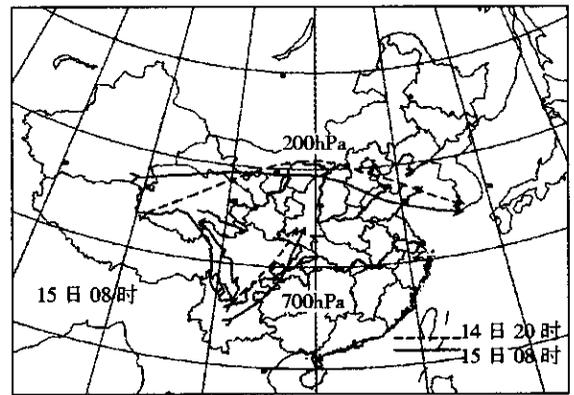


图4 2003年7月15日08时高低空急流位置(a)和沿 $106^{\circ}\text{E}$ 垂直速度( $\times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )剖面图(b)

Fig. 4 The upper and low level jet streams (a) and the cross section of vertical velocity along  $106^{\circ}\text{E}$  (b) at 08:00 on July 15 2003

## 5 结论

(1)导致宁强特大暴雨的中- $\alpha$ 尺度对流云团水平尺度约为200 km,呈圆形或椭圆形,云顶亮温 $T_{\text{BB}}$ 为 $-50^{\circ}\text{C}$ ,生命史为17 h,强降水在10 h以上。属于比较典型的中- $\alpha$ 尺度对流云团。

(2)高原低涡带来了一股弱冷空气向东移动,与低空西南急流前的暖湿气流相汇,触发不稳定能量释放,对流得以产生。

(3)850 hPa低层强风场辐合和比较充沛的水汽供给,使得850 hPa偏东气流的水汽对大暴雨的贡献超过了700 hPa西南低空急流。

(4)700 hPa西南急流和200 hPa东北急流耦合

产生的急流次级环流提供了持续强劲的上升运动，是中- $\alpha$ 尺度对流云团产生和维持的主要原因。

参考文献：

- [1] 黄玉霞, 王宝鉴, 王锡稳. "8.28"过程的多普勒雷达回波与水汽输送特征分析[J]. 干旱气象, 2004, 22(3): 49-54.
- [2] 魏锋, 杨金虎, 高鹏. 2003年7月22日漳县大暴雨强对流天气过程分析[J]. 干旱气象, 2004, 22(2): 28-31.
- [3] 王陇, 刘卫民, 贾海源. 甘肃东南地区大到暴雨当时场环流气候特征分析[J]. 干旱气象, 2005, 23(4): 30-36.
- [4] 赵庆云, 狄潇泓, 张铁军. "8.19"甘肃区域暴雨的特征及数值模拟[J]. 干旱气象, 2005, 23(4): 12-16.
- [5] 李玉兰, 杜长萱. 中- $\beta$ 尺度云团造成不同降水强度的对比分析[J]. 大气科学, 1994, 18(4): 492-497.
- [6] 刘勇, 杨东宏. 黄土高原一次局地特大暴雨过程分析[J]. 大气科学研究与应用, 2004(1): 57-64.
- [7] 张维桓, 董佩明, 沈桐立. 一次大暴雨过程中急流次级环流的激发及作用[J]. 大气科学, 2002, 24(1): 45-57.
- [8] 刘勇. 急流次级环流对一次长时间局地强风暴天气的作用[J]. 气象科技, 2005, 33(3): 214-217.

## The Effect of Jet Sub - circulation on a Heavy Rain Occurred in Southern Shaanxi

LIU Yong , WANG Nan , LI Ping

( Shaanxi Meteorological Observatory , Xi 'an 710015 , China )

**Abstract** The heavy rain process occurred on July 15 in 2003 in Ningqiang of Shaanxi province was analyzed. Results show that the meso -  $\alpha$  - scale convective cloud cluster resulting in this heavy rain were elliptic or round and lasted for 17 hours , and the contribution of vapor convergence at the level of 850 hPa was more important than that of southwest jet on 700 hPa to the heavy rain , and the continuous and powerful updraft supplied by the jet sub - circulation was main cause for maintaining of the meso -  $\alpha$  - scale convective cloud cluster.

**Key words** : heavy rain ; meso -  $\alpha$  - scale convective cloud cluster ; jet sub - circulation