

# 盛夏华西中尺度 $\alpha$ 类对流云团 的大尺度环境场条件

陈 乾 郭 锐\*  
(兰州干旱气象研究所)

## 提 要

本文对1984和1985年7至8月我国副热带湿区中18个中尺度对流云团活动过程共22个时次的三维环境场进行诊断分析。重点分析了110°E以西10个华西中尺度 $\alpha$ 类对流云团生命过程中的大尺度环境条件及其三维结构。阐明了它是属于副热带性质的季风云团,并讨论了高原云团经过东坡时的演变特征以及云团东移持续发展的环境条件。

## 一、引 言

近年来国内一些作者采用 Maddox 对 Mcc 的定义<sup>[1]</sup>,分析了发生在华南前汛期和长江流域梅雨期间的典型对流云团个例。但是,不同作者所提供的云团结构特征有所差异<sup>[2][3][4]</sup>。本文根据我国西部地区对流云团尺度较小的具体情况,将中尺度 $\alpha$ 类对流云团定义为在增强红外云图上,出现低于-33°C的云罩面积达50000平方公里的云团。其发生和活动的高频区在青藏高原东部和我国西南地区<sup>[5]</sup>。按陶诗言等提出的中间尺度云团发展的大尺度环境条件<sup>[6]</sup>,这里是西南季风云系开始进入我国的地区,湿层最为深厚。故本文重点研究这里盛夏的对流云团,选取较多的例子进行大尺度环境场的诊断分析,以揭示中尺度 $\alpha$ 类对流云团各发展阶段的大尺度环境场及其三维结构的特征,揭示了云团经过青藏高原东侧陡坡区的演变机理以及云团东移持续发展的环境条件。这对我国西部地区的暴雨预报将有所帮助。

## 二、资料及计算方法

我们选取1984年7月18日20时,19日08时,7月24日08时至25日20时,8月2日08时至3日20时,1985年7月10日20时至11日20时,7月27日20时至29日08时,8月5日08时至6日08时共20个时次,自地面至100hPa共8层,在90—120°E,22.5—45°N范围内122个探空站的风和温、湿资料,进行了诊断分析(其中有3次过程东界为115°E仅取105个站)。由于青藏高原

本文1988年9月7日收到,12月5日收到修改稿。

\* 黄雷诺参加部分统计填图工作。

和南亚地区站网较稀,为使客观分析后保留较多的中尺度信息,能准确反映500hPa以下实际气象场中各高低值中心,为此我们采用二次多项式曲面拟合法,将不规则分布的测站资料插到网格上<sup>[7]</sup>,网格距为 $1.25 \times 1.25$ 经纬度。使用该方法既提高了运算速度可节省机时,又能保证拟合精度。

我们采用地球坐标系中的散度和涡度公式用网格风的 $u, v$ 分量计算环境风场散度和涡度,并用中央差分格式计算各标准等压面上某些物理量的平流和通量散度。如涡度、位相当温度的平流和水汽通量散度。并计算200hPa以下各标准等压面上的湿度、位相当温度 $\theta_e$ 和饱和位相当温度 $\theta_e^*$ ,其计算公式见文献<sup>[8]</sup>。然后得到下列六种稳定度指数(单位 $^{\circ}\text{C}/100\text{hPa}$ ): $\theta_{e500} - \theta_{e700}, \theta_{e500} - \theta_{e850}, \theta_{e500} - \theta_{e_{\text{地面}}}, \theta_{e500}^* - \theta_{e700}, \theta_{e500}^* - \theta_{e850}, \theta_{e500}^* - \theta_{e_{\text{地面}}}$ 。分析表明对中尺度 $\alpha$ 类云团而言,以 $\theta_{e500}^* - \theta_{e850}$ (高原取 $\theta_{e500}^* - \theta_{e_{\text{地面}}}$ )最佳。我们用略去 $\partial q/\partial t$ 项的水汽收支方程(这在暴雨云团区是合理的),由各等压面上的水汽通量散度对气压垂直积分计算降水率。取某层网格点 $(i, j)$ 上的水汽通量散度计算该等压面上、下50hPa气层内的降水率公式可写成:

$$R_p(i, j) = -\frac{\Delta P}{g} \nabla(\bar{v} \cdot q) \quad (1)$$

这里 $\Delta P$ 取100 hPa,  $g = 980\text{cm/s}^2$ ,水汽通量散度 $\nabla(\bar{v} \cdot q)$ 单位取 $10^{-5}\text{s}^{-1}$ ,  $R_p$ 取mm/h则(1)式可写成

$$R_p(i, j) = -0.0367 \nabla(\bar{v} \cdot q) \quad (2)$$

靠近地面一层的 $\Delta P = P_s - P_1$ ,这里 $P_s$ 为场面气压, $P_1$ 为地上第一标准等压面的气压。按(2)式自地面直到300 hPa计算各层降水率,然后相加则得网格点 $(i, j)$ 上的气柱降水率,在准饱和的副热带湿区中它近似等于大气降水率。

我们用O'Brien的运动学修正方案<sup>[9]</sup>将散度对气压作垂直积分,则得到各标准等压面上环境场的垂直速度 $\omega$ (单位取 $10^{-3}\text{hPa/s}$ ),为减小高原陡坡地区的爬坡风分量,采用钱永甫提出的绕流订正方案<sup>[10]</sup>;在坡度大于2/1000的地区对地面风作绕流修正,自地面至第一个标准等压面风的 $u, v$ 分量先对 $p$ 积分然后再求差分计算。如下式:

$$\omega_1 = \frac{\partial}{\partial x} \int_{p_s}^{p_1} u dp + \frac{\partial}{\partial y} \int_{p_s}^{p_1} v dp \quad (3)$$

这样在边界层顶爬坡风所产生的垂直速度已隐含在(3)式中。

### 三、中尺度 $\alpha$ 类云团不同阶段的环境场条件及其三维结构

对华西典型的云团过程分阶段讨论其大尺度气象场的三维结构。青藏高原上由于水汽较少,一般只能出现结构不密实的涡旋云团,故只选取在高原东坡发生的云团,主要在四川盆地西部至贵州,个别例子出现在陇南。

1. 生成前:所选的1985年7月27日和28日20时2次个例均系尺度较小的爆发式云团。形成前4—6小时流场,没有西南涡对应,因而低层流场不能代表西南涡云团发生前的情况,但环流背景和高原影响系统很明显,主要是高原中部500 hPa新生槽前的正涡度和 $\theta_e$ 平流与高原东坡的上升运动带相叠置,作为对这种强迫的响应。500 hPa以下低压将发展,上

升运动加强。我们认为产生边坡云团的关键系统是500 hPa 高原中部的新生槽,它促使高原云团形成。由四川盆地西部云团生成前6小时500hPa 图(略),可看出高原云团及其西南方700—500hPa 为最强的  $\theta_e$  暖中心和潜在不稳定中心,边坡云团生成区的主要特征是暖湿而不稳定的空气沿槽前偏南气流由高原东南部进入该区。最强的  $\theta_e$  高值平流和正涡度平流中心与高原东坡上升运动带重叠形成一个强上升中心。图1是穿过高原云团中心并沿32.5°N 的纬向剖面。在高原槽轴右上方是正涡度和  $\theta_e$  高值平流区,其中心在云团生成区500 hPa 上,它对应上升运动中心和边界层内的正涡度。这种配置用位势倾向方程和  $\omega$  方程的强迫项可得到解释。在正涡度平流区,  $\theta_e$  高值平流中心下方将减压。正涡度平流中心下方,  $\theta_e$  高值平流中心附近将出现上升运动。一个顺钟向的垂直正环流中心位于700 hPa 低空南风轴附近,  $\theta_e$  低值平流区位于高值平流中心上方,致使即将形成的边坡云团上部层结趋于不稳定。100 hPa 南亚高压有一中心位于四川盆地西部,它与最强的辐散中心对应,这里正是不稳定中心,故对流层上部上升运动加强,利于中尺度  $\beta$  积云合并发展成  $M\alpha CCC$ 。

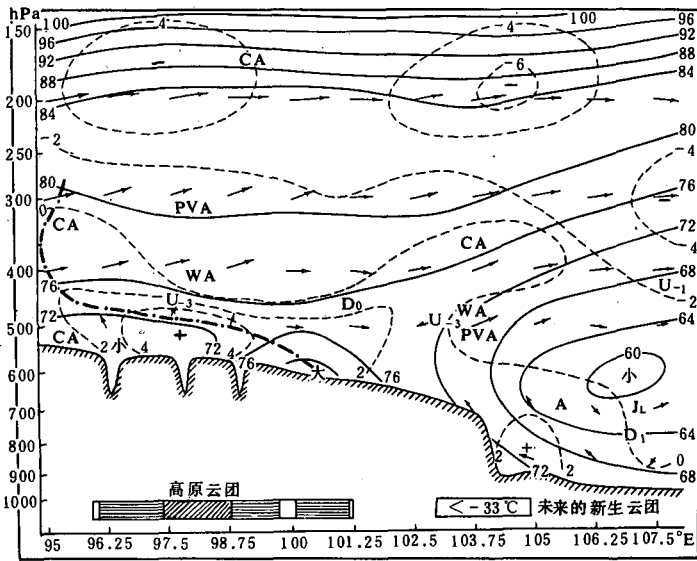


图1 1985年7月27日20时沿32.5°N 的垂直剖面图

(实线为  $\theta_e$ , 虚线为涡度, 短矢线为二维剖面气流,  $U$  为上升速度中心,  $D$  为下沉速度中心,  $A, C$  分别为顺、逆钟向环流中心,  $PVA$  和  $NVA$  分别是正、负涡度平流中心,  $WA$  和  $CA$  分别为  $\theta_e$  的高、低平流中心,  $J, L$  为低空南风急流中心, 图下方的长方形为对流云团位置。横线区为  $-57^\circ\text{C}$ , 斜线区为  $-74^\circ\text{C}$ , 白区为  $-33^\circ\text{C}$ 。)

图2是云团各发展阶段云罩区域平均(以卷云罩  $T_{bb}$  冷核为中心加上田字形网格四个角点上物理量的平均)垂直廓线。由图中点线可看出,在云团形成前4—6小时各物理量场较弱,上升速度峰值在500 hPa 仅为  $-2(10^{-3} \text{hPa s}^{-1})$ ,最大辐合层和水汽汇很低在边界层内,最大辐散层在350hPa,对流层中以负涡度为主,最大负涡度层在300hPa,正涡度局限于850 hPa 以下。

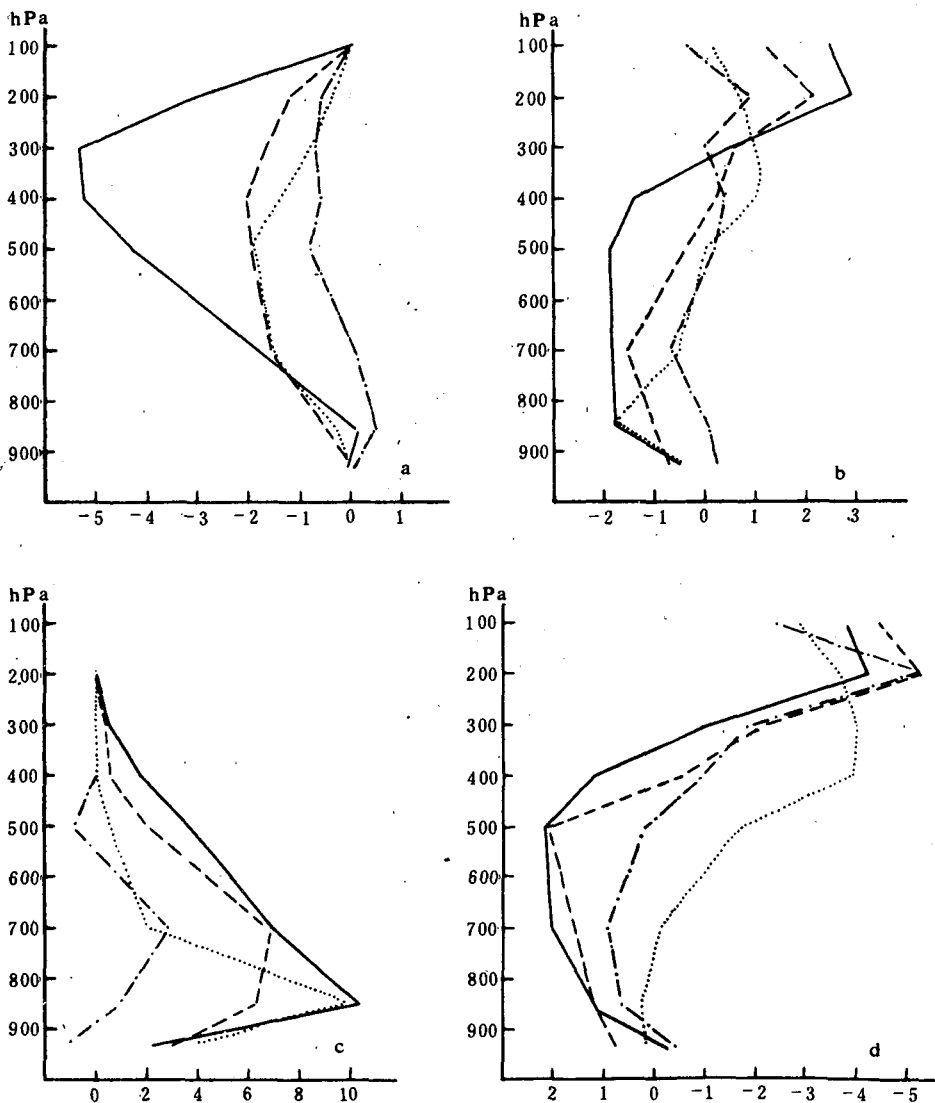


图2 华西 MuCCCs 各发展阶段平均垂直廓线图

(a)垂直速度( $10^{-3}\text{hPa s}^{-1}$ ) (b)散度( $10^{-5}\text{s}^{-1}$ ) (c)水汽汇( $\text{mm}/100\text{hPa}\cdot\text{h}$ ) (d)涡度( $10^{-5}\text{s}^{-1}$ )

(图中点线为云团形成前(2个云团平均),虚线为云团初生(3次平均),实线是发展和极盛时刻(5次平均),点划线为衰亡(3次平均))

2. 初生:以1984年7月24日20时的西南涡云团为例,当高原槽前方的正涡度平流和  $\theta_e$  高值平流中心移到四川盆地上空与西南涡叠置后,对流云团在川南形成,它位于低空西南风急流轴左侧的湿舌内与500 hPa 南支槽的正涡度中心大致对应,不稳定中心仍在其西侧的高原云团内。新生云团位于南亚高压脊线附近,辐散中心的西南侧(图略)。图3是穿过高原切变线云带和西南涡云团的西北、东南向垂直剖面。此时500 hPa 正涡度中心仍在高原上,但四川盆地上空正涡度平流中心附近已形成弱的正涡度区。由于涡度平流落差和  $\theta_e$  高值平流中心的强迫,云团区上升运动明显加强与副高内的下沉运动间构成很强的顺钟



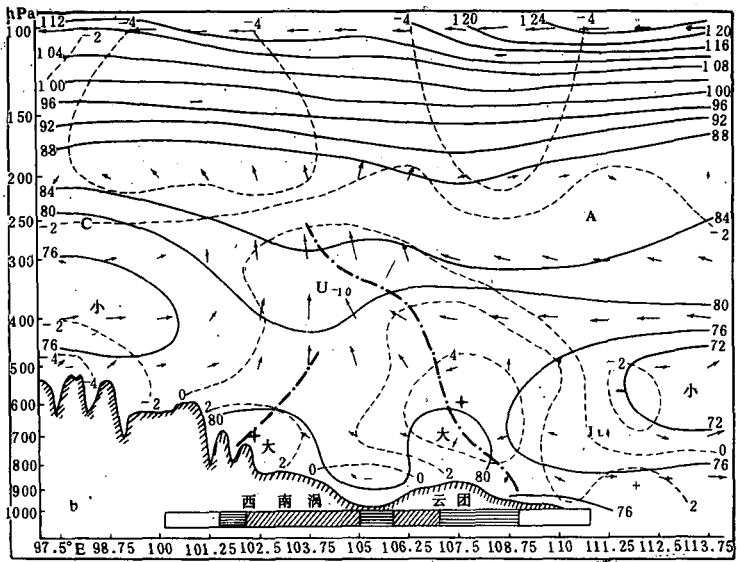


图4b 1984年7月19日08时西南涡云团极盛时沿27.5°N的纬向垂直剖面图(说明同图1)

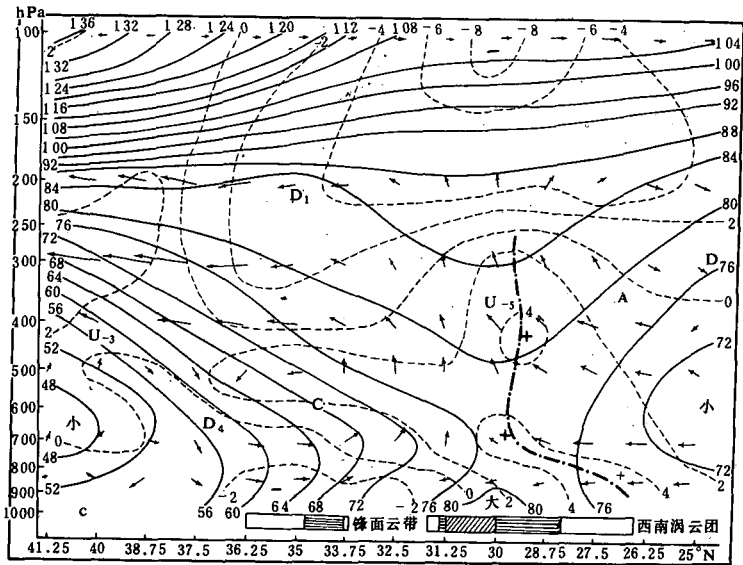


图4c 1984年7月25日08时西南涡云团发展时沿105°E的经向垂直剖面图(说明同图1)

3. 发展和极盛:以1984年7月25日08时和7月19日08时的西南涡云团为例,分别表示发展和极盛阶段。7月25日08时500 hPa 高原槽已移出高原与南支槽结合,虽因海拔影响高原上仍滞留不稳定区,但云团区已有不稳定中心(图略)。7月19日08时700—850 hPa 西南涡已东移到川东或贵州,但受地形影响高原东坡边界层内仍停滞辐合和强上升速度中心,因此云团顶部  $T_{bb}$  往往呈现两个冷核,分别与西南涡中心和边坡上升速度中心相对应(图略)。图4a 是穿过强烈发展的西南涡云团中心沿30°N的垂直剖面。对照图3可看出主要的

正涡度区已移出高原,形成准垂直的正涡度轴线直到300hPa,其上方100hPa为负涡度中心。云团与 $\theta_e$ 的高能管和正涡度轴对应。图4b中云团极盛时剖面二维环流呈对称分布,类似热带气旋。上升速度中心位于高原东坡350hPa上,与云顶 $T_{bb} < -74^\circ\text{C}$ 的穿透对流区吻合。其东西两侧250hPa上各有一个顺和逆钟向的垂直环流中心。强入流在对流层中部,出流层在200hPa(如图4b),可能与云团尺度的夹卷有关。经向剖面表明(图4c)与冷锋对应的斜压区已南移到云团北侧,西风槽前锋区中的逆钟向正环流与云团南侧顺钟向的反环流内的两股上升气流已合二为一,云团内上升速度达最强。700hPa以上形成以云柱为轴心的中层强汇流,高层出流,中间为上升气流束的轴对称环流,与滤波后的中 $\alpha$ 尺度三维环流相似。由图2可看出对流层中上部上升速度剧增,峰值在300hPa,为云团初生时的三倍,近地面出现弱的下沉气流。辐合和正涡度层极为深厚达300hPa,峰值在500hPa,最大辐散层仍在200hPa强度已达极值。对流层上部水汽汇加大。自云团生成前6小时至极盛阶段呈暖性结构,在云团东南部始终存在季风环流,因而我们认为应属副热带季风云团性质。

4. 衰亡:以1985年7月11日20时川东北的C云团为例(图略)。低空辐散,高空辐合对流层中、下部转为下沉气流并出现 $\theta_e$ 低值中心和稳定层结,云团将衰亡。本阶段各物理量的垂直廓线与初生时相比明显减弱(图2)。

#### 四、小 结

通过对盛夏华西MaCCC发生、发展的大尺度环境条件的诊断分析,得到如下几点结论。

1. 一支强劲的低空西南风位于孟加拉至高原东南侧,高原槽东移加深促使西南涡东移发展,华西云团将东移并继续发展,如果西太平洋副高弱而偏东,没有这支低空西南风,或者副高过强控制我国东部,则华西云团将停滞并原地消亡。

2. 美国的MCC和中国东部初夏的对流云团位于副热带西风急流轴南侧,地面有准东西向的静止锋,斜压和西风切变较强,具有温带系统的某些特性。盛夏华西的中尺度 $\alpha$ 类对流云团处于副热带、热带暖湿空气中,呈准垂直的 $\theta_e$ 高能管和正涡度轴,对流顶附近为南亚高压,因而属副热带季风云团。

3. 美国的MCC对流层中上部西风气流强,大尺度环境场上与云团尺度对应的中尺度 $\alpha$ 环流不明显。盛夏华西的对流云团位于南亚高压脊线附近,基本气流很弱。当云团达极盛时,大尺度环境场以云团为中心的轴对称中尺度 $\alpha$ 类环流为主,与云团相对应的正涡度和气旋性环流较深厚,一般可达400hPa,个别例子达300hPa。

4. 华西中尺度 $\alpha$ 类对流云团发展和极盛时上升速度的峰值比美国和中国东部的对流云团高200—100hPa,位于300hPa附近,辐合层厚而强,辐散层弱而厚。

## 参 考 文 献

- [1] Maddox, R. A., *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 1374—1387, 1980.
- [2] 江吉喜, 叶惠明, 气象科学研究院院刊, **1**, 2, 133—141, 1986.
- [3] 李玉兰等, 我国西南—华南地区中尺度对流复合体的结构和降水研究, 卫星气象1986年度年会材料, 1986年。
- [4] 黄文根等, 长江中上游中尺度云团活动概况及结构特征, 卫星气象1986年度年会材料, 1986年。
- [5] 陈乾等, 夏季中国副热带湿区中尺度对流复合体的分析, 卫星气象1986年度年会材料, 1986年。
- [6] 陶诗言, 方宗义, 李玉兰, 气象学报, **41**, 3, 1983.
- [7] 丁一汇, 现代天气学中的诊断分析方法, 中国科学院大气物理研究所出版, 21—28, 1983年。
- [8] 陈创买, 郭英琼, 气象常用参数和物理量查算表, 气象出版社出版, 1980年。
- [9] O'Brien, J., *J. Appl. Meteor.*, **9**, 197—203, 1970.
- [10] 钱永甫等, 一个有大地形影响的初始方程数值预报模式, 大气科学, **2**, 1978.

**LARGE SCALE METEOROLOGICAL CONDITIONS ASSOCIATED WITH  
MESOSCALE- $\alpha$  CONVECTIVE CLOUD CLUSTERS OVER  
WESTERN CHINA IN MIDSUMMER**

Chen Qian · Guo Ni

(Lanzhou Institute of Arid Meteorology, Lanzhou)

**Abstract**

In this paper, three-dimensional environmental meteorological fields for the life processes of eighteen mesoscale- $\alpha$  convective cloud clusters over subtropical humid region of China during July—August of 1984—1985 have been analysed. Largescale meteorological conditions and three-dimensional structures associated with ten meso- $\alpha$  convective cloud clusters over western China are mainly studied. It is shown that they are characterized as subtropical monsoon cloud clusters. The evolutions of convective cloud clusters through east slope of Tibetan Plateau and their environmental conditions of continuative development in the moving eastforward are discussed.