

技术交流

# 云南主汛期大雨过程的诊断与预报

许美玲 段 旭

(云南省气象台,昆明 650034)

## 提 要

分析和探讨了1996年云南主汛期(6~8月)逐日 $Q$ 矢量湿锋生函数、 $Q$ 矢量散度、涡散场能量转换函数、水汽通量散度等4个物理量参数与云南大雨过程的关系,并在此基础上建立了未来24小时大雨预报方程。

**关键词:** 物理量参数 诊断分析 大雨 预报方程

## 引 言

大范围的强降水天气通常出现在一定的大尺度环流背景下,这时,中低层的锋生、大量的水汽辐合以及能量积累释放等条件大多会同时具备。对实际预报而言,这些有利于大雨出现条件的临界值以及它们之间的相互关系非常重要。我们选取了与云南大雨关系比较密切的水汽通量散度、 $Q$ 矢量湿锋生函数、 $Q$ 矢量散度和涡散场能量转换函数等4个物理量参数进行诊断分析,并在此基础上,建立大雨过程统计预报方程。

## 1 资料及有关物理量的计算

### 1.1 资料获取

高空资料选用国家气象中心提供的1996年6~8月逐日HLAFS等压面 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬网格点值,层次取1000、850、700、500、400、300、200hPa,范围取 $20 \sim 40^\circ \text{N}$ 、 $90 \sim 110^\circ \text{E}$ ,每天取分析场和12小时预报场两组资料。大雨资料选取同期逐日云南日降水量 $\geq 25.0\text{mm}$ 的站数,根据云南省气象台业务标准,当全省有22站以上日降水量 $\geq 25.0\text{mm}$ 即规定为一次全省性大雨过程。

## 1.2 计算方法

### 1.2.1 动力、热力参数的计算

$Q$  矢量、 $Q$  矢量散度、 $Q$  矢量锋生函数的计算采用文献[5]给出的公式和方法,在计算中用了九点平滑,计算锋生函数时用  $\theta_{se}$  (假相当位温)代替  $T$  (温度)。

$Q$  矢量计算:

$$\begin{aligned} Q_x &= -\left[\frac{\partial u_g}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right) + \frac{\partial v_g}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right)\right] \\ Q_y &= -\left[\frac{\partial v_g}{\partial y} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right) + \frac{\partial u_g}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right)\right] \\ U_g &= \frac{9.8 \partial H}{f \frac{\partial y}}{\quad}, V_g = \frac{9.8 \partial H}{f \frac{\partial x}}{\quad} \end{aligned} \quad (1)$$

$Q$  矢量散度计算:

$$D = \nabla \cdot Q = \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \quad (2)$$

$Q$  矢量湿锋生函数计算:

$$F = Q \cdot \nabla \theta_{se} = Q_x \cdot \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} + Q_y \cdot \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \quad (3)$$

### 1.2.2 涡散场能量转换函数 $C(KD, KR)$

涡散场能量转换函数的计算采用文献[2]提供的方法,二维风场分解利用 Endlich<sup>[6]</sup>提出的无辐散和无旋转部分的直接迭代法,在计算  $C(KD, KR)$  各时空-面积平均值时,时间取中央差分,积分面积取  $21 \sim 28^\circ N, 99 \sim 105^\circ E$ 。

其表达式为:

$$\begin{aligned} C(KD, KR) &= \iint -f(v_{RU_D} - u_{RV_D}) + \\ &\iint -\xi(v_{RU_D} - u_{RV_D}) + \iint -\omega \frac{\partial K_R}{\partial p} + \\ &\iint -\omega V_R \cdot \frac{\partial V_D}{\partial p} \end{aligned} \quad (4)$$

## 2 物理量参数诊断分析

### 2.1 $Q$ 矢量湿锋生函数特征

$Q$  矢量湿锋生函数是一个能反映冷空气加强或减弱的物理量,从公式(3)可见,它与假相当位温梯度项、地转运动的水平切变项、南北汇合项有关。当  $F > 0$  时气团锋生;反之,气团锋消。

首先,我们分析了500、700、850hPa 各层锋生区的分布情况,结果表明,云南大雨发生

时锋生函数的正值中心大多位于四川盆地和我省东部;另外从锋生函数与大雨的对应关系来看,低层比高层显著,考虑高原地形,这里着重分析700hPa 的锋生函数。从9次大雨过程发生时700hPa 锋生函数合成图(略)可见,四川到滇东为较强的锋生区,云南大部地区处于弱的锋生区内,这与影响云南的冷空气路径及强度有关。图1a 和图1c 是1996年6~8月逐日700hPa 锋生函数( $26 \sim 30^\circ N, 102 \sim 106^\circ E$  范围内格点值之和)与云南大雨站数的时间演变图。很显然,当云南出现大雨时,锋生函数  $F > 0$ ,且锋生函数的正值越大,越易出现全省性大雨。这说明冷空气南下是形成云南大雨过程的重要原因。当四川盆地及云南东部出现锋生时,有利于云南强降水的发生。

### 2.2 涡散场能量转换函数特征

涡散场能量转换函数  $C(KD, KR)$  是表示散度风动能与旋转风动能之间的一种转换关系,当  $C(KD, KR) > 0$  时,表示散度风动能向旋转风动能转换;反之,旋转风动能向散度风动能转换。图1b 和图1c 给出了1996年6~8月逐日92个样本的对流层内(800~200hPa)  $C(KD, KR)$  值与云南大雨站数,将两者对比,至少可看出两个特点:一是随着大雨站数的增加,对流层内  $C(KD, KR)$  值也增加;二是大雨过程出现时,对流层内  $C(KD, KR) > 0$ ,即散度风动能向旋转风动能转换。两个特点表明对流层内  $C(KD, KR)$  与云南强降水关系非常密切。

$C(KD, KR)$  值的这种变化从天气系统发展的角度看,温度平流引起的辐散风总是和气压梯度力的方向平行,而且指向低压方向,是一种斜压过程,当它为正值时,即位能转换为动能;而与涡度平流相联系的旋转风动能制造率是正压过程,当它为负时,即动能向位能转换。从能量角度看是能量不断释放又不断得到补充的过程;显然这两个过程有利

于强降水的形成。

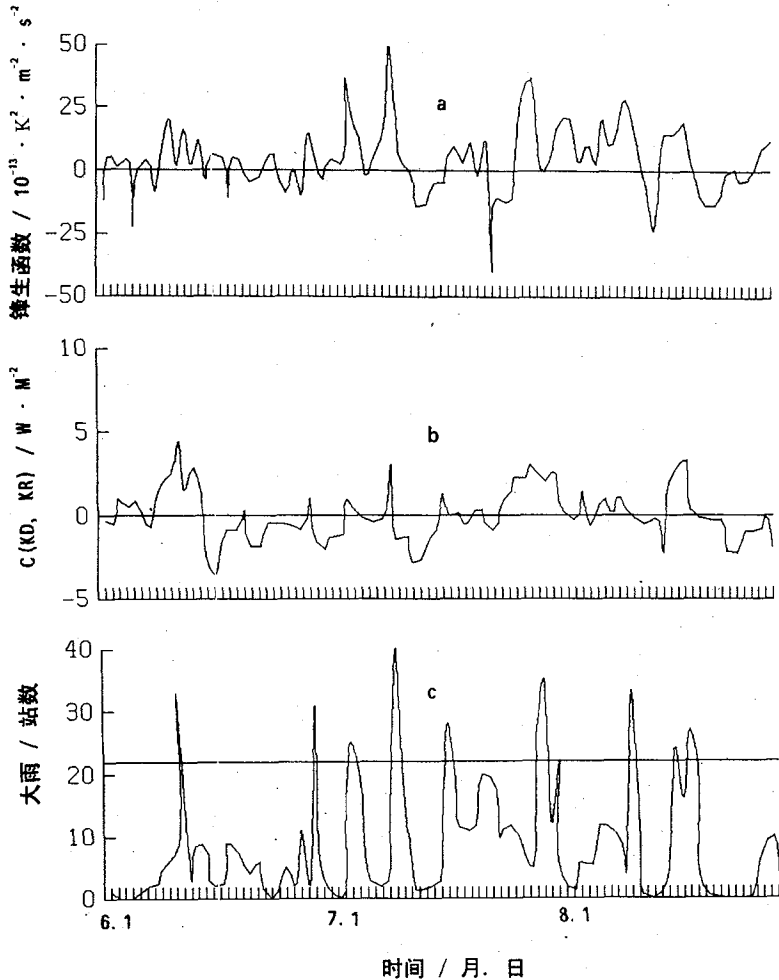


图1  $Q$  矢量锋生函数(a)和涡散场能量转换函数(b)和云南大雨站数(c)的时间演变曲线

### 2.3 $Q$ 矢量散度特征

一定强度且持续的上升运动是强降水形成的重要条件之一,  $Q$  矢量散度是通过动力学加工的准地转强迫项, 当  $\nabla \cdot Q < 0$  时为上升运动; 反之下沉运动。  $Q$  矢量辐合区的准地转上升运动会在一定时间内得以维持, 这就为强降水的发生提供了有利的运动条件<sup>[4]</sup>。

分析500、700、850hPa 三层的  $Q$  矢量散度场, 发现强降水轴线的走向与  $Q$  矢量散度负值轴线的走向具有较好的一致性, 在强降水区上空各层常对应着  $Q$  矢量散度负值区, 从实例分析中我们发现, 最大强降水中心常常与500hPa 或 700hPa  $Q$  矢量散度负值中心相匹配, 这表明  $Q$  矢量散度与强降水之间存在着一定的联系。图2给出的是1996年7月29

日08时500hPa  $Q$  矢量散度分布,图中虚线为  $Q$  矢量散度辐合区,当日云南出现35站大雨,强降水中心位于东南部,与云南境内的  $Q$  矢量散度负值区中心基本重合。强降水中心最大降雨量达88.7mm,  $Q$  矢量散度负值区中心数值达  $-1.8 \times 10^{-13} \text{K}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

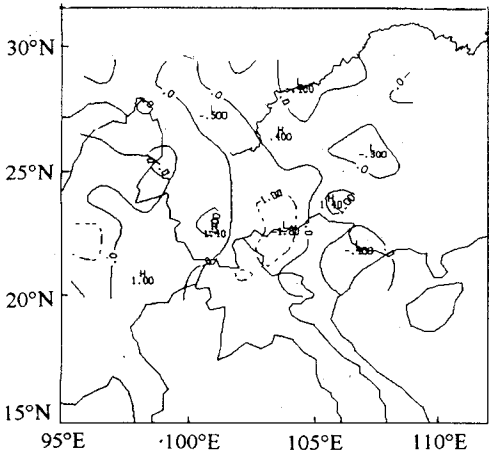


图2 1996年7月29日08时500hPa  $Q$  矢量散度分布  
(单位:  $10^{-13} \text{K}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

## 2.4 水汽通量散度特征

对于大雨以上的强降水过程,只有水汽输送是不够的,还必须要水汽的辐合,水汽通量散度  $D_q = (1/g) \nabla \cdot (V_q)$  是表征水汽辐散、辐合程度的物理量。当  $D_q < 0$  时,表示水汽通量辐合,负值越大,辐合越强。分析发现,无论是500hPa、700hPa 还是850hPa,在大雨过程发生前孟加拉湾到云南北部为东北~西南向的水汽通量散度负值区。随着负值中心的北上,云南降雨量增大,当强降水过程结束时,水汽通量散度负值明显减小或变为正值。为了分析水汽通量散度与云南大雨的定量关系,我们给出了7月份云南上空水汽通量散度(22~28°N、98~105°E 范围内格点值之和)随时间变化的垂直剖面图(图3)。由图可见,大雨日出现时,中低层(700~500hPa,云南大部地区海拔在1500m 以上)对应着明显的水汽通量散度辐合区,它为大雨的发生提供了充沛的水汽条件。但有水汽通量散度辐合,并不一定都伴随大雨日,也就是说水汽通量散度的辐合是产生大雨日的必要条件。

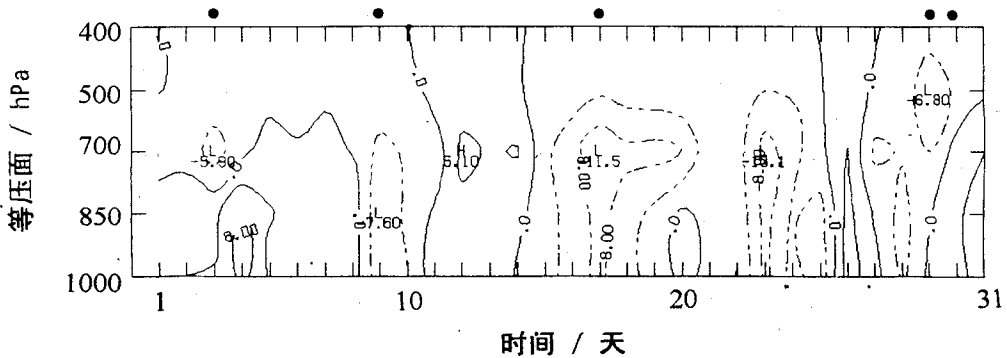


图3 1996年7月水汽通量散度时间垂直剖面图(单位:  $10^{-3} \text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ )

## 3 预报方程

在上述物理量参数诊断分析的基础上,我们采用文献[1]选取因子的方法,先计算各个物理量场中每个格点因子与预报量之间的相关系数,构成各物理量相关场,然后分析这

些相关场及其关键区,并从中筛选出组合因子,最后用逐步回归数学模型建立云南未来24小时大雨站数预报方程。 $F_1$ 、 $F_2$  分别为剔除因子和入选因子的检验标准,当  $F_1 = F_2 = 8.0$  时,预报方程为:

$$Y = 6.442 + 0.027X_1 + 0.056X_2 - 0.088X_3 - 0.022X_4 - 0.017X_5 + 14.559X_6$$

(5)

其中  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  和  $X_6$  分别为500hPa

锋生函数、700hPa 锋生函数、500hPa  $Q$  矢量散度、850hPa  $Q$  矢量散度、700hPa 水汽通量散度和能量转换函数组合因子,取值范围详 见附表。

附表 预报因子取值范围

预报因子	取值范围
500hPa 锋生函数 $X_1$	29~31°N, 101~103°E 内相关系数大于0.30的格点因子之和的平均
700hPa 锋生函数 $X_2$	26~28°N, 102~104°E 内相关系数大于0.25的格点因子之和的平均
500hPa $Q$ 矢量散度 $X_3$	26~27°N, 101~104°E 内相关系数大于0.25的格点因子之和的平均
850hPa $Q$ 矢量散度 $X_4$	25~29°N, 101~104°E 内相关系数大于0.25的格点因子之和的平均
700hPa 水汽通量散度 $X_5$	24~26°N, 99~103°E 内相关系数大于0.40的格点因子之和的平均
对流层内能量转换函数 $X_6$	当对流层内 $C(KD, KR) > 0$ , 同时对流层低层的 $C(KD, KR)$ 大于中高层的 $C(KD, KR)$ 之和时 $X_6 = 1$ , 否则 $X_6 = 0$

预报方程建立后,1996年6~8月逐日样本回报拟合率为60%,1997年6~8月逐日业务预报准确率为53.3%,均高于主观预报多年平均值40%。

#### 4 结论

4.1 当低层四川盆地及云南省东部锋生函数  $F > 0$  时,有利于云南省大雨的产生。

4.2  $Q$  矢量散度与强降水之间存在着一定的联系,在强降水区上空常对应着  $Q$  矢量散度负值区。

4.3 大雨发生前孟加拉湾及云南省北部均为一片水汽通量散度负值区,大雨发生时水汽通量散度的负值中心位于云南省上空。

4.4 当对流层内散度风动能向旋转风动能

转换,同时转换值低层大于中高层之和时,极易出现全省性大雨。

#### 参考文献

- 1 段旭. 云南盛夏大雨物理量因子的选取及效果检验. 气象, 1996, 22(7).
- 2 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. 高原气象, 1997, 16(2).
- 3 许美玲, 孙绩华. 一次全省性持续大一暴雨的  $Q$  矢量分析. 云南气象, 1998, 1.
- 4 白乐生. 准地转  $Q$  矢量分析及其在短期天气预报中的应用. 气象, 1988, 14(8).
- 5 夏建国等. 区域性、持续性暴雨数值预报产品动力释用技术研究. 暴雨业务预报方法和技术研究. 北京: 气象出版社, 1996.
- 6 Endlich, R. M., An iterative method for altering the kinetic properties of wind field. J. Appl. Meteor., 1967(6): 837~844.

## Diagnosing and Forecasting for Heavy Rain on the Flood Season in Yunnan

Xu Meiling Duan Xu

(Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034)

#### Abstract

The relationships between the parameters of  $Q$ -vector frontogenetical function,  $Q$ -vector divergence, kinetic energy conversion function and divergence of moisture flux and heavy rain were analysed during the flood season (June to August) of Yunnan in 1996. Based on the analysis results, a forecast equation of heavy rain was established.

**Key Words:** physics parameters diagnostic analysis heavy rain forecast equation