

西南低涡暴雨的湿位涡诊断分析

李国平 刘行军
(成都气象学院, 成都 610041)

提 要

文章分析了1981年7月11—15日的一次与西南低涡有关的四川特大暴雨过程中的湿位涡变化,发现湿位涡由负变正预示着暴雨的减弱和消失.同时利用湿位涡方程进行了诊断计算,结果表明:暴雨的发展趋势与位涡变率的变化趋势基本一致,位涡变率的正负转换对预报大暴雨的形成和减弱有一定的指示意义.

关键词:西南低涡;湿位涡;暴雨.

1 引 言

位势涡度(简称位涡)是一个反映大气热力和动力性质的物理量,国内外许多气象学者都曾成功地用它来分析过天气问题.杨大升和Krishnamurti^[1]用位涡分析过印度季风的爆发;余志豪、陆汉城^[2]应用位涡分析过梅雨锋雨带;王永中^[3]、张立凤^[4]分别用它进行了华北特大暴雨和江淮梅雨期暴雨的诊断分析;蔡义勇^[5]应用相当位涡诊断了台风暴雨.上述研究中采用的位涡形式各异,有干位涡、湿位涡、相当位涡和相对位涡等.就暴雨分析而言,因为暴雨过程不可能是干绝热的,其中有大量的水汽凝结潜热释放,而这对暴雨有重要的反馈作用.所以为克服使用干位涡的局限性,本文应用湿位涡来诊断与西南低涡有关的暴雨过程,选取的个例为四川盆地“81.7”特大暴雨.对于这次与西南低涡密切相关的著名大暴雨过程,国内外不少学者从不同角度进行了研究,Kuo(郭英华)等^[6]诊断了潜热对西南涡的影响;丁治英等^[7]分析了积云对流与西南低涡活动的关系;程麟生等^[8]和钱正安等^[9]对暴雨期西南涡的生成和发展进行了天气诊断和数值模拟;陈玉春等^[10]分析了暴雨过程中的中尺度系统;李国平等^[11]利用热成风适应原理分析了与暴雨过程有关的西南涡的生成机制.本文首先计算了这次暴雨过程的位势涡度场,并着重分析了暴雨区中湿位涡的演变特征.然后,利用包含水汽凝结潜热作用的湿位涡方程进行了诊断计算.得到了一些对天气分析和预报有意义的结论.

• 1993年2月10日收到,6月14日收到修改稿.

2 暴雨过程和位涡

1981年7月13日以后在四川盆地西部、中部和北部的大范围地区发生了历史上罕见的大一特大暴雨。这次暴雨过程是在亚欧长波调整等大背景环流形势下发生的。降水过程具有范围广、强度大、降水时间集中的特点。西南低涡是影响这次降水的重要天气系统。从低涡的产生、发展及移动与暴雨区的位置、暴雨强度的对应关系来看,12日20时,由于500hPa西风槽南段的高原低槽和川西高原切变线合并,两者气旋性涡度叠加,使低槽加深,在川西高原上出现了低涡,形成了一个所谓“北槽南涡”的形势。它促使低空(850、700hPa)的西南低涡剧烈发展,并同时东移。12日08时—13日08时雨量图上(图略),暴雨出现在盆地的西部、北部的大部分地区,暴雨范围较前一时段明显扩大,强度也大大加强。13日08时左右,低涡移入盆地,受到东部副热带高压脊的阻挡,移动速度缓慢,暴雨基本上停滞在盆地的西部地区。14日08时以后低涡移出盆地,暴雨减弱,雨区往东北方向移去。

从这次降水过程来看,暴雨的发展一直伴随着西南低涡的移动、发展。从低涡的移动路径图(图略)和各时段的雨量图也可以看出,暴雨中心总是出现在西南低涡移动路径的附近,这也说明在这次特大暴雨过程中西南低涡作为主要影响系统发挥了重要的作用。

为了更好地考察这次暴雨的位涡与暴雨发展的关系,我们计算了11日20时—15日08时的每隔12小时的700hPa位涡场。令网格尺度的湿位涡 $PV = \bar{Q}\bar{\Gamma}$, 其中 \bar{Q} 和 $\bar{\Gamma}$ 分别表示网格尺度的绝对涡度和湿静力稳定度。表1反映主要雨区中平均湿位涡随时间的变化。由表可见,暴雨在发展强盛前,湿位涡为负值,到12日20时湿位涡达最大负值,随后其绝对值逐渐减小。这说明区域平均的负湿位涡的绝对值达到极大值并开始减小时,则预示着暴雨进入强盛阶段。14日08时以后,湿位涡转为正值,这时正对应暴雨开始减弱的时间。由此可见,湿位涡由负变正表明暴雨的减弱和消失。

表1 主要雨区中平均湿位涡随时间的变化(单位: $10^{-6} \text{C} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$)

	11日20时	12日08时	12日20时	13日08时	13日20时	14日08时	14日20时	15日08时
PV	-0.41	-1.41	-1.76	-1.24	-0.42	0.91	2.43	3.88

3 位涡方程的导出和诊断

3.1 方程的导出

p 坐标系中完全形式的涡度方程为

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -\bar{v} \cdot \nabla Q - \omega \frac{\partial Q}{\partial p} - Q \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial p} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial p} + \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \quad (1)$$

其中 $Q = \zeta + f$, 表示绝对涡度, F_x 、 F_y 分别表示摩擦力的 x 分量和 y 分量。

热力学方程为(已略去凝结和蒸发作用)

$$\frac{\partial \theta_{se}}{\partial t} + \nabla \cdot (\theta_{se} \bar{V}) + \frac{\partial}{\partial p} (\theta_{se} \bar{\omega}) = \left[\frac{H_R}{c_p} \left(\frac{p_0}{p} \right)^{R/c_p} \right] \quad (2)$$

其中, θ_{se} 为假相当位温, H_R 代表单位质量空气的辐射加热率.

对涡度方程进行平均运算得到

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{Q}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{V} \bar{Q}) + \frac{\partial}{\partial p} (\bar{\omega} \bar{Q}) - \bar{Q} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial p} + \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial x} \frac{\partial \bar{v}}{\partial p} - \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial y} \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} \\ = - \overline{\nabla \cdot Q' \bar{V}'} - \overline{\omega' \frac{\partial Q'}{\partial p}} - \frac{\partial \omega'}{\partial x} \frac{\partial v'}{\partial p} + \frac{\partial \omega'}{\partial y} \frac{\partial u'}{\partial p} + \frac{\partial \bar{F}_y}{\partial x} - \frac{\partial \bar{F}_x}{\partial y} \end{aligned} \quad (3)$$

假定涡度的涡动通量主要在垂直方向上, 则略去水平通量 $\nabla \cdot Q' \bar{V}'$ 项, 并引入积云质量通量 M_c , 则可把式(3)改写为

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{Q}}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{V} \bar{Q}) + \frac{\partial \bar{\omega} \bar{Q}}{\partial p} - \bar{Q} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial p} + \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial x} \frac{\partial \bar{v}}{\partial p} - \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial y} \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} \\ = - M_c \frac{\partial \bar{Q}}{\partial p} - \frac{\partial M_c}{\partial x} \frac{\partial \bar{v}}{\partial p} + \frac{\partial M_c}{\partial y} \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} + \frac{\partial \bar{F}_y}{\partial x} - \frac{\partial \bar{F}_x}{\partial y} \end{aligned} \quad (4)$$

对热力学方程求平均, 引入质量通量 M_c , 并略去水平通量 $\nabla \cdot \bar{V}' Q'_{se}$ 项, 然后方程两边对 p 求导, 得到:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial t} + \nabla \cdot \bar{V} \bar{\Gamma} - \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial p} \cdot \nabla \theta_{se} + \frac{\partial \bar{\omega} \bar{\Gamma}}{\partial p} + \bar{\Gamma} \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial p} \\ = - \frac{\partial}{\partial p} (M_c \bar{\Gamma}) - \frac{1}{c_p} \frac{\partial}{\partial p} \left[\left(\frac{p_0}{p} \right)^{R/c_p} \bar{H}_R \right] \end{aligned} \quad (5)$$

用 $\bar{\Gamma}$ 乘以式(4), \bar{Q} 乘以式(5), 然后相加, 再作适当变换, 就得到 p 坐标系的湿位涡方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\bar{\Gamma} \bar{Q}) = - \nabla \cdot (\bar{V} \bar{\Gamma} \bar{Q}) - \frac{\partial}{\partial p} (\bar{\omega} \bar{\Gamma} \bar{Q}) + \bar{Q} \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial p} \cdot \nabla \theta_{se} \\ - \bar{\Gamma} \left(\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial x} \frac{\partial \bar{v}}{\partial p} - \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial y} \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} \right) - \frac{\partial}{\partial p} (\bar{Q} M_c \bar{\Gamma}) \\ - \frac{\bar{Q}}{c_p} \frac{\partial}{\partial p} \left[\left(\frac{p_0}{p} \right)^{R/c_p} \bar{H}_R \right] + \bar{\Gamma} \left(\frac{\partial \bar{F}_y}{\partial x} - \frac{\partial \bar{F}_x}{\partial y} \right) \\ - \bar{\Gamma} \left(\frac{\partial M_c}{\partial x} \frac{\partial \bar{v}}{\partial p} - \frac{\partial M_c}{\partial y} \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $\bar{\Gamma} = - \frac{\partial \bar{\theta}_{se}}{\partial p}$ 为平均的湿静力稳定度, 单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{hPa}$, \bar{H}_R 为平均的单位质量空气的辐射加热率, 单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{d}$, M_c 表示积云质量通量, 单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$.

方程中左端为湿位涡的局地变化率, 其变化取决于右端 8 项, 各项的物理意义分别为:

- (1) $-\nabla \cdot (\bar{V} \bar{\Gamma} \bar{Q})$: 湿位涡通量的水平散度
- (2) $-\frac{\partial}{\partial p} (\bar{\omega} \bar{\Gamma} \bar{Q})$: 湿位涡通量的垂直散度
- (3) $\bar{Q} \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial p} \cdot \nabla \theta_{se}$: 风垂直切变及假相当位温梯度的影响
- (4) $-\bar{\Gamma} \left(\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial x} \frac{\partial \bar{v}}{\partial p} - \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial y} \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} \right)$: 网格尺度运动的扭转效应

[5] $-\frac{\partial}{\partial p}(\overline{QM_c\bar{\Gamma}})$:次网格尺度积云质量通量引起的湿位涡垂直输送

[6] $-\frac{\bar{Q}}{c_p}\frac{\partial}{\partial p}[(\frac{p_0}{p})^{R/c_p}\bar{H}_R]$:辐射的垂直差异效应

[7] $\bar{\Gamma}(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y})$:摩擦效应

[8] $-\bar{\Gamma}(\frac{\partial M_c}{\partial x}\frac{\partial \bar{v}}{\partial p} - \frac{\partial M_c}{\partial y}\frac{\partial \bar{u}}{\partial p})$:风垂直切变及积云质量通量侧向差异的影响

方程中各项的单位均为 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$.

3.2 参数化处理及计算方案

(1) 积云质量通量 M_c 的参数化方案

采用以下关系式对热通量的垂直涡动辐合 ($-\frac{\partial \overline{\omega'\theta'_x}}{\partial p}$) 进行参数化,即

$$-M_c \frac{\partial \bar{\theta}_x}{\partial p} = \frac{\partial}{\partial p}(\overline{\omega'\theta'_x}) \quad (7)$$

而热力学收支方程为

$$\frac{\partial \bar{\theta}_x}{\partial t} + \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}} \bar{\theta}_x + \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial p} \bar{\theta}_x = -\frac{\partial}{\partial p} \overline{\omega'\theta'_x} + \frac{1}{c_p} (\frac{p_0}{p})^{R/c_p} \bar{H}_R \quad (8)$$

由式(7)和式(8)得到

$$M_c = -\left[\frac{\partial \bar{\theta}_x}{\partial t} + \bar{\mathbf{V}} \cdot \nabla \bar{\theta}_x + \bar{\omega} \frac{\partial \bar{\theta}_x}{\partial p} - \frac{1}{c_p} (\frac{p_0}{p})^{R/c_p} \bar{H}_R \right] / \left(-\frac{\partial \bar{\theta}_x}{\partial p} \right) \quad (9)$$

上式假定积云的质量通量代表了对上曳及下曳作用的区域平均,但一般意义下的 M_c 仅指上升作用,此参数化方案一般称为 Cho 方案.

大气的辐射加热率用气候值代替,本文取 $\bar{H}_{R500} = 0.55^{\circ}\text{C}/\text{d}$, $\bar{H}_{R700} = 0.45^{\circ}\text{C}/\text{d}$.

(2) 摩擦效应的计算

采用杨大升、Krishnamurti 的摩擦效应的参数化方案:

$$\left(\frac{\partial \bar{Q} \bar{\Gamma}}{\partial t} \right)_{\text{摩擦}} = -g \bar{\Gamma} \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \right)$$

其中 $\tau \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \tau_0 \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \eta(p)$, 而 $\tau_0 \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \rho_0 C_D \sqrt{u_0^2 + v_0^2} \begin{pmatrix} u_0 \\ v_0 \end{pmatrix}$, $\eta(p) = e^{-b(p_0-p)}$, 拖曳系数 C_D

取为 2.5×10^{-3} , 设 700hPa 处 $\frac{\tau}{\tau_0} = \frac{1}{10}$, 则可确定出衰减系数 $b = 0.768 \times 10^{-3}$, 因此有:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} (\bar{Q} \bar{\Gamma}) \right)_{\text{摩擦}} = -g \bar{\Gamma} b e^{-b(p_0-p)} \left(\frac{\partial \tau_{0y}}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{0x}}{\partial y} \right)$$

(3) 数值计算方案

垂直差分取 $\Delta p = 200\text{hPa}$, 时间差分 $\Delta t = 12 \times 3600\text{s}$, 水平格距 $d = 100\text{km}$. 计算时先在站点上计算出有关的热力学变量, 然后采用客观分析方案将有关物理量网格化, 再在网格上计算方程(6)中各项. 由于和这次降水过程相联系的西南低涡出现在 700hPa, 所以本文的计算主要在 700hPa 上进行. 计算所涉及的水平范围为 $1000\text{km} \times 1000\text{km}$, 即 x, y 方向各取 11 个格点, 相应的地理纬度范围为: $22.5^{\circ}-32.5^{\circ}\text{N}$, $102.5^{\circ}-112.5^{\circ}\text{E}$.

地面层的垂直速度用 $\omega_0 = -\rho_0 g \sqrt{\frac{k}{2f}} \zeta_0 \times 10^{-2} (\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1})$ 计算, 其中取 $\rho_0 = 1.225 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, k = 8 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

4 位涡方程的计算结果和讨论

表 2 700hPa 湿位涡变率及其分量(单位: $10^{-11} \text{C} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$)

	11日 20时	12日 08时	12日 20时	13日 08时	13日 20时	14日 08时	14日 20时	15日 08时
(1)	1.16	-0.94	-0.90	1.14	-2.85	-0.19	-0.37	-3.98
(2)	0.14	0.45	-0.28	0.33	-0.04	-0.47	0.04	1.45
(3)	0.64	0.64	0.69	1.62	-0.32	0.44	-0.86	-3.56
(4)	0.08	0.05	0.07	0.06	-0.01	0.02	-0.32	-1.32
(5)	-1.76	-3.45	0.38	-1.11	4.09	4.42	4.53	4.52
(6)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(7)	0.00	0.01	0.09	0.20	0.18	-0.23	-0.17	-0.77
(8)	-1.04	0.11	-0.07	-1.22	-0.61	-2.10	0.26	1.23
$\frac{\partial}{\partial t}(\overline{\Gamma Q})$	-0.79	-3.13	-0.04	1.02	0.45	1.89	3.09	-2.42
$\frac{\Delta(\overline{\Gamma Q})}{\Delta t}$		-2.32	-0.81	1.20	1.90	3.08	3.52	3.36

由于网格中 $i = 5, 9$ 和 $j = 2, 6$ 的范围基本上包括了主要雨区, 所以只计算该区域内各项的代数平均值作为相应项的平均值, 计算结果如表 2 所示.

为了检验上述诊断方案的可靠性, 我们根据表 1 的湿位涡值用时间向后差分的方法计算出位涡的时间变率值(即表 2 的最后一栏). 尽管表 1 和表 2 所表示的水平范围不完全相同, 但并不妨碍我们比较后得出如下结论: 两种方法算出的位涡变率的量级和变化趋势是基本一致的. 说明本文采用的诊断方案是基本可行的, 结果是有意义的. 但在暴雨趋于结束以后, 该方案的物理考虑则不尽合理, 诊断结果的误差可能较大.

我们首先考察由方程右边各项计算得出的位涡局地变率与暴雨的关系, 把雨区内各站点的雨量作代数平均作为该时段规定区域的平均雨量. 由图 1 可见, 暴雨的发展趋势和位涡变率的变化趋势基本一致. 11 日 20 时—12 日 20 时为降水发展期, 位涡变率保持为

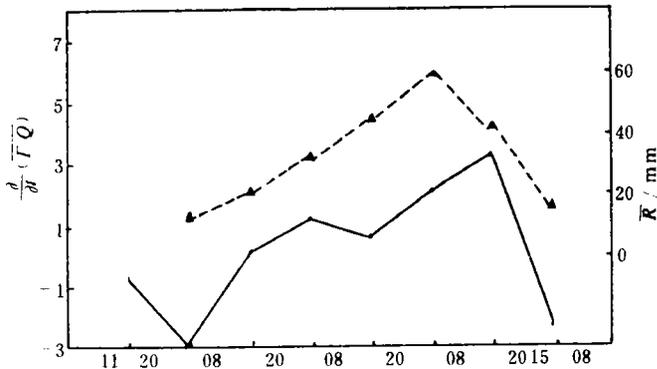


图 1 7 月 11 日至 15 日平均雨量(虚线 单位:mm)和局地位涡变率图 (实线 单位: $10^{-11} \text{C} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$) (横坐标数字表示日、时)

负值,但其变化趋势是增大的,即 $\frac{\partial \bar{\Gamma} \bar{Q}}{\partial x} < 0$, 但 $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \bar{\Gamma} \bar{Q}}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 \bar{\Gamma} \bar{Q}}{\partial x^2} > 0$. 12 日 20 时以后降水进入强盛阶段,位涡变率迅速由负转为正,并一直保持到 14 日 20 时. 14 日 20 时以后暴雨强度减弱,位涡变率又转为负值,但其变化趋势是减小的,即 $\frac{\partial^2 \bar{\Gamma} \bar{Q}}{\partial x^2} < 0$. 由此可见,这种位涡变率的正负转换和位涡变率的变化趋势,对于暴雨形成和减弱的时间预报有一定的指示和参考意义.

下面再来考察一下造成位涡这种变化的原因. 由表 2 可以看出,从量级上而言,方程右边第 1 项、第 3 项、第 5 项和第 8 项对位涡变率的贡献是主要的,即位涡通量的水平散度,风垂直切变及位温梯度、积云质量通量引起的位涡垂直输送和风垂直切变及积云质量的水平不均匀是造成位涡变化的主要影响因子. 具体来说,水平辐合辐散,涡度平流、温度平流、风垂直切变和积云质量通量是造成这次大一特大暴雨的主要因素.

分析这几项的时间变化特征,可以发现:暴雨前位涡通量表现为辐合,暴雨后为辐散. 积云质量通量引起的位涡垂直输送是方程中贡献最大的项,体现了次网格尺度积云对流的作用,对网格尺度位涡场的变化具有决定性的意义. 这恰好说明暴雨过程具有明显的中小尺度过程的特点. 该项在暴雨由形成到加强阶段为负值(有净向下输送). 就数量级而言,辐射加热效应和摩擦效应的贡献比其它项小几个量级,可以忽略不计. 不过摩擦效应的变化与暴雨强度有很好的对应关系,暴雨加强期为正值,暴雨减弱期为负值.

5 结 论

(1) 湿位涡与暴雨的发展和减弱有很好的对应关系,暴雨强盛前为较强的湿位涡负值,以后随着暴雨的发展,负值的绝对值减小. 暴雨开始减弱时,负值转为正值,这种负值向正值的转变对暴雨的减弱预报有较好的指示意义.

(2) 暴雨的发展趋势和位涡变率的变化趋势基本一致. 暴雨发展期,位涡变率保持负值,暴雨强度达最大时,位涡变率迅速由负转为正. 这种位涡变率的负、正转换对暴雨的形成预报有一定的指示意义.

(3) 由于暴雨和位涡的发展基本一致,所以决定位涡发展的各物理过程也从某个侧面反映了决定暴雨发展的物理过程. 影响湿位涡变化的主要物理过程是湿位涡通量的水平散度、风垂直切变及相当位温的水平分布不均匀性、风垂直切变及积云质量的水平分布不均匀性以及由积云质量通量引起的垂直输送.

(4) 研究暴雨问题时,必须对网格和次网格尺度过程同时加以考虑. 从贡献大小来看,西南低涡影响的暴雨具有明显的中小尺度过程特征. 这可能与地形作用和西南低涡本身的尺度等因素有关.

(5) 从动力学观点分析,暴雨过程中的负湿位涡现象是与对称不稳定相联系的,因此有必要从这一方面进行更加深入的研究.

参考文献

- 1 杨大升, Krishnamurti. Potential vorticity of Monsoonal low-level flows. *Jour. Atmos. Sci.*, 1981, **38**: 2676—2695.
- 2 余志豪, 陆汉城, 张颖. 梅雨锋中间尺度雨带湿位涡分析. 华东中尺度天气试验论文集(三). 北京: 总参气象局, 1986. 68—73.
- 3 王永中, 杨大升. 暴雨与低层流场的位涡. 大气科学, 1984, **8**(4): 411—417.
- 4 张立凤. 梅雨暴雨边界层位涡诊断. 华东中尺度天气试验论文集(三). 北京: 总参气象局, 1986. 123—129.
- 5 蔡义勇. 台风暴雨相当位涡诊断分析. 气象学报, 1992, **50**(1): 118—125.
- 6 Kuo Y. H., Cheng L. S. and Kichcard, Anthes A. Meso-scale analyses of the Sichuan flood catastrophe. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, **114**: 1994—2003.
- 7 丁治英, 吕君宁. 积云对流与西南低涡的活动. 南京气象学院学报, 1992, **15**(3): 428—435.
- 8 程麟生, 郭英华. “81.7”四川暴雨期西南涡生成和发展的涡源诊断天气分析和数值模拟. 大气科学, 1988, **12**(1): 18—26.
- 9 钱正安, 顾弘道, 颜宏. 四川“81.7”特大暴雨和西南涡的数值模拟. 气象学报, 1990, **48**(4): 415—423.
- 10 陈玉春, 李素华, 顾弘道等. 1981年7月四川特大暴雨的数值预报和中尺度系统的分析. 高原气象, 1988, **7**(4): 300—311.
- 11 李国平, 万军, 卢敬华. 暖性西南低涡生成的一种可能机制. 应用气象学报, 1991, **2**(1): 91—98.

THE DIAGNOSTIC ANALYSIS OF WET POTENTIAL VORTICITY OF STORM RAINFALL FROM THE SOUTHWEST VORTEX IN CHINA

Li Guoping Liu Xingjun

(Chengdu Institute of Meteorology, Chengdu 610041)

Abstract

A diagnostic analysis of the wet potential vorticity of the storm rainfall relating to the southwest vortex in Sichuan Province of China (11—15 July, 1981) is made. The results show that the change of wet potential vorticity from positive values to negative values indicates the decline and elimination of storm rainfall. Furthermore, according to the wet potential diagnostic equation, it is found that the variation tendency of storm rainfall basically coincides with the variation tendency of wet potential vorticity, and the mathematical symbols changes of wet potential vorticity indicate the formation or the elimination of storm rainfall.

Key words: Southwest vortex in China; Wet potential vorticity; Storm rainfall.