

陶丽,李国平. 对流涡度矢量垂直分量在西南涡暴雨中的应用. 应用气象学报,2012,23(6):702-709.

对流涡度矢量垂直分量在西南涡暴雨中的应用

陶 丽 李国平*

(成都信息工程学院大气科学学院,成都 610225)

摘 要

将对流涡度矢量(CVV)应用于浅薄系统西南低涡引发的暴雨中,特别是对流涡度矢量垂直分量(C_z)应用在 2010 年 7 月 16—18 日由西南涡引发的一次暴雨过程诊断中。研究了 CVV 垂直积分的各个分量与 6 h 累积降水量的关系,尤其是 CVV 垂直分量在西南涡暴雨过程中的指示意义。诊断结果表明:CVV 垂直分量与西南涡引发的暴雨有一定对应关系,强降水发生时段与 C_z 垂直积分峰值出现的时间对应一致;在对流层低层 850 hPa 水平分布上,暴雨区位于 CVV 垂直分量的正值中心附近,偏向其梯度较大处;沿暴雨中心的 CVV 垂直分量,当对流层低层至高层呈现一致的正值时,暴雨强度会明显加强。

关键词: 对流涡度矢量;西南涡;暴雨

引 言

位势涡度(简称位涡)的概念在 20 世纪 30—40 年代 Rossby 和 Ertel 就已经提出,并证明其在绝热无摩擦的干空气中具有严格守恒的特性。位涡综合考虑了动力因子和热力因子,使得位涡理论在分析天气系统演变和结构方面有广泛应用^[1-9]。对大尺度大气运动来说,位涡是一个非常有效的动力示踪物。因为在笛卡尔坐标系中位温面与水平面近似平行,涡度矢量和位温梯度矢量的交角较小,两个矢量点乘积明显。但是在中尺度大气运动以及深对流系统的发展演变过程中,由于湿等熵面的倾斜,位温梯度矢量与涡度矢量的交角变大,两个矢量的点乘积趋于零,位涡变得较弱,其诊断效果变差。

Gao 等^[10]将位涡定义推广,即将位势涡度定义中涡度矢量和位温梯度的点乘改为叉乘得到了一个新的物理量,称为对流涡度矢量(convective vorticity vector,简称 CVV)。将对流涡度矢量应用在二维云分辨模式^[8]及三维云分辨模式^[11]中,得到 CVV 垂直分量和热带对流密切相关,同时证实了 CVV 垂直分

量和云中水凝物具有较高的相关性,可以在二维和三维框架中研究热带洋面上的对流。赵宇等^[12]则利用对流涡度矢量数值模拟诊断了华北一次大范围的大到暴雨天气过程。结果表明:CVV 垂直分量在中纬度地区对流性暴雨中有很好的指示性,且其高值区与云中水凝物和地面降水有较好的对应关系。

2010 年 7 月 16—18 日四川盆地发生了一次区域持续性暴雨天气过程,中尺度系统西南涡的发生、发展及其沿辐合线的移动直接造成了这次强降水过程。本文利用 CVV 对此次西南涡暴雨过程进行诊断,以检验这种新型物理量在诊断复杂地形下,中尺度系统引发的暴雨时的效果及应用方法。

1 对流涡度矢量的定义和计算

在笛卡尔直角坐标系(简称 z 坐标系)中, CVV 定义^[10]为

$$\mathbf{C} = \frac{\zeta_a \times \nabla \theta_e}{\rho} \quad (1)$$

式(1)中, $\zeta_a = \nabla \times \mathbf{V} + 2\boldsymbol{\Omega}$ 为绝对涡度, θ_e 为相当位温, ρ 为湿空气密度。分解如下:

2011-12-26 收到, 2012-10-18 收到再改稿。

资助项目:国家自然科学基金项目(41175045),公益性行业(气象)科研专项(201106042,201006014)

* 通信作者, E-mail: leegp@126.com

$$C = \frac{1}{\rho} \left[(\zeta_y \frac{\partial \theta_e}{\partial z} - \zeta_z \frac{\partial \theta_e}{\partial y}) \mathbf{i} + (\zeta_z \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - \zeta_x \frac{\partial \theta_e}{\partial z}) \mathbf{j} + (\zeta_x \frac{\partial \theta_e}{\partial y} - \zeta_y \frac{\partial \theta_e}{\partial x}) \mathbf{k} \right], \quad (2)$$

即

$$C = C_x \mathbf{i} + C_y \mathbf{j} + C_z \mathbf{k}. \quad (3)$$

其中, $\zeta_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}$, $\zeta_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} + f'$, $\zeta_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} + f$, f 为地转参数, u 为纬向风, v 为经向风, w 为垂直运动。由于 f' 比 $\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}$ 小 1 个量级, 为了计算和讨论的方便, 这里计算 ζ_y 时忽略 f' , 对流涡度矢量单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

对任一高度层, 任一物理量 M 的垂直积分的计算式^[13]为

$$[M] = \int_{z_k}^{z_{k+1}} \bar{\rho} M dz = \bar{\rho} \left[\frac{M_{k+1} + M_k}{2} \right] (z_{k+1} - z_k), \quad (4)$$

即整层积分是各分层值的累加, 其中 $\bar{\rho}$ 为两层之间的平均密度, $[]$ 代表垂直积分。

本文在对 2010 年 7 月 16—18 日西南涡暴雨过程进行天气学分析的基础上, 又利用 NCEP 提供的 $1^\circ \times 1^\circ$ 每日 4 次 (02:00, 08:00, 14:00, 20:00, 北京

时, 下同) 再分析资料, 计算了各个层次对流涡度矢量的各分量 (C_x, C_y 和 C_z), 同时利用式 (4) 计算了上述分量从 1000 hPa 至 150 hPa 的垂直积分 $[C_x], [C_y], [C_z]$ 。

2 西南涡引发的大范围强降水概况及环流背景

2.1 降水分析

这次强降水过程主要出现在 2010 年 7 月 16—18 日, 19 日降水减弱, 大范围降水主要出现在川东北和川南地区, 雨带呈东北—西南走向。最强降水时段出现在 17 日 02:00—17 日 08:00, 最大值出现在万源县。从 7 月 16 日—17 日 24 h 累积降水量演变 (图 1) 来看, 15 日 08:00—16 日 08:00 降水主要出现在广元—巴中一带, 降水强度不大。16 日 08:00—17 日 08:00 降水范围扩大, 雨带逐渐呈东北—西南走向。主要有两个强降水中心, 分别位于巴中和乐山地区。与 15 日 08:00—16 日 08:00 对比, 位于巴中的降水中心强度增大, 可达到大暴雨级别。17 日 08:00—18 日 08:00 雨带继续扩大, 雨带东北—西南走向明显, 位于乐山的降水中心向川南移动。18 日 08:00—19 日 08:00 两个降水中心分离

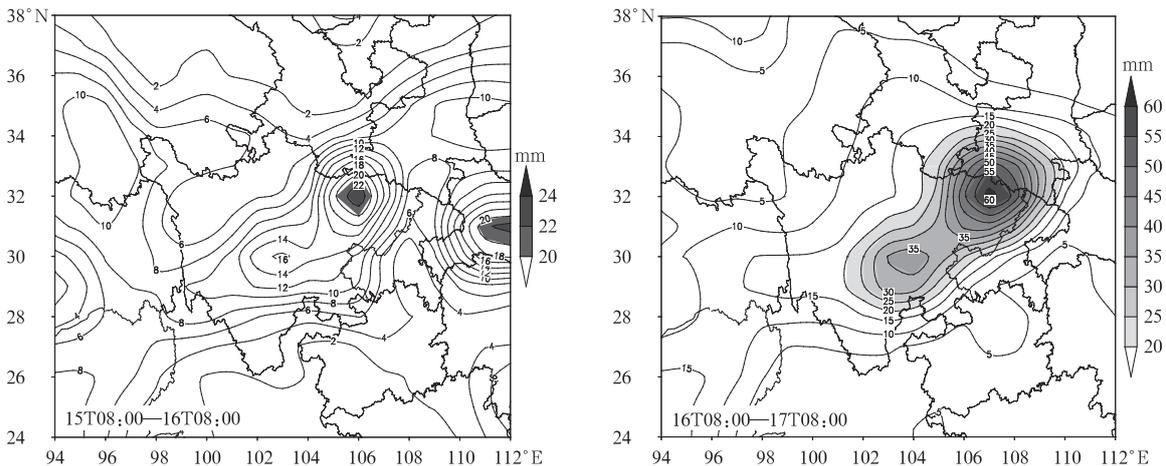


图 1 2010 年 7 月 16—17 日 24 h 累积降水量

Fig. 1 24-hour accumulated precipitation during 16—17 July in 2010

并移出四川地区, 最大值出现在乐山市 (29°N , 103°E), 24 h 降水量达 243 mm, 四川省有 32 个县市降水量超过 50 mm; 17 日 08:00—18 日 08:00 降水中心在宣汉县 (31°N , 107°E), 降水量达 141 mm, 有 19 个县市降水超过暴雨级别。因此, 由 24 h 累积降水量分析可知, 16 日 20:00—17 日 08:00 是此

次暴雨的主要发生时段, 暴雨区主要位于川东北和川南地区。已有研究指出, 2010 年 7 月中旬四川盆地发生的持续性暴雨过程, 西南涡的发生发展及其沿辐合线的移动是造成此次强降水的主要原因^[14-15]。

2.2 环流背景

2.2.1 500 hPa 大尺度环流背景

西南涡一般出现在四川西部地区且初生时都为浅薄的低层系统,属于边界层低涡。在一定的大尺度环流形势配合下,如受到青藏高原低涡东移^[16]或北部东移低槽等不稳定系统的触发或耦合作用,可使其迅速强烈发展,并给其经过区域带来灾害性强降水过程。因此,分析西南涡发展的大尺度环流背景是研究此次暴雨成因的天气学基础。

本次强降水过程发生的大尺度环流背景主要是7月15日500 hPa 中高纬度地区呈现三槽一脊的形势,威海与朝鲜半岛附近各有一槽,贝加尔湖以南地区有一浅槽(图略)。脊主要位于巴尔喀什湖附近,四川盆地上空为副热带高压控制。至16日08:00(图2a)巴尔喀什湖的高压脊加强,使贝加尔湖的浅槽加强并伴随有低压中心出现,同时副热带

高压西伸。四川处于青藏高原和副热带高压两高之间的切变辐合区。至17日02:00(图2b),随着西风气流,贝加尔湖小槽东移最终与朝鲜半岛的槽合并,低槽向西延伸至重庆地区,四川盆地正处于槽前正涡度平流一带,这十分有利于低层减压,是西南涡形成的一个重要条件。中高纬度地区等高线与等温线出现交角导致500 hPa 冷空气入侵,同时700 hPa 西南气流加强,充沛的暖湿气流输送,导致四川地区出现强降水。随着中高纬度低槽东移,副热带高压缓慢东退,处于两高的切变缓慢东移。至20日02:00 两高切变的形势在四川盆地减弱消失,四川上空为反气旋环流控制时,四川盆地的降水过程减弱、结束(图略)。因此,中高纬度低槽、两高及之间的切变流场、冷空气入侵、暖湿气流加强维持是本次区域大暴雨天气过程的大尺度环流特征。

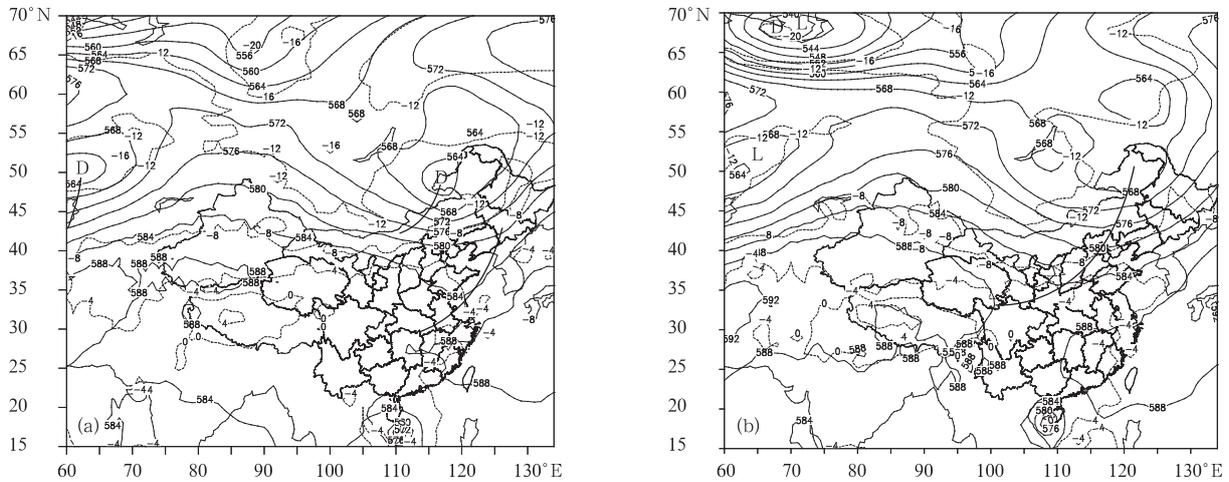


图2 2010年7月500 hPa 高度场(实线,单位:dagpm)与温度场(虚线,单位:°C)

(a)16日02:00, (b)17日02:00

Fig. 2 500 hPa height field(solid line, unit: dagpm) and temperature field(dashed line, unit: °C)

(a)0200 BT 16 July 2010, (b)0200 BT 17 July 2010

2.2.2 700 hPa 环流场与风场

由于西南涡主要出现在700 hPa 等压面上,因此重点分析了7月16—17日的700 hPa 高度场、风场西南涡的发生、发展过程。

7月16日14:00,四川盆地西北部已有闭合的气旋性涡旋存在,中心位势可达308 dagpm,从风场来看,陕西一带有东北风与西南风的切变线存在(图略)。至16日20:00(图3a),由于西南气流的加强,四川西北部的东北风已转变为北风,与东部和南部边缘的西南风配合形成了两个明显的气旋性涡旋,

中心分别位于乐山市和巴中市一带。位于乐山市的气旋性涡旋发展强烈,并伴随有切变的存在,辐合气流较强,是西南涡发展的初期。气旋性的涡旋中心配合气流的辐合,降水有明显加强。17日02:00,气旋性涡旋向东南移动,结合500 hPa 环流背景场,此时低槽延伸至四川偏北地区上空,低层继续减压(图略)。17日08:00(图3b),闭合的气旋性低压中心生成,相比前几个时次,有向东南移动趋势。在其东北方向配合有一切变存在,此时暴雨强度达到最大。17日14:00,气旋性低压中心减弱消失,降水强度也

随之减少。7 月 16 日 14:00—17 日 08:00, 低层 700 hPa 气旋性涡旋一直存在, 其东移发展同时配

合切变线产生的气流辐合(图略), 为此次大暴雨提供了中尺度动力条件。

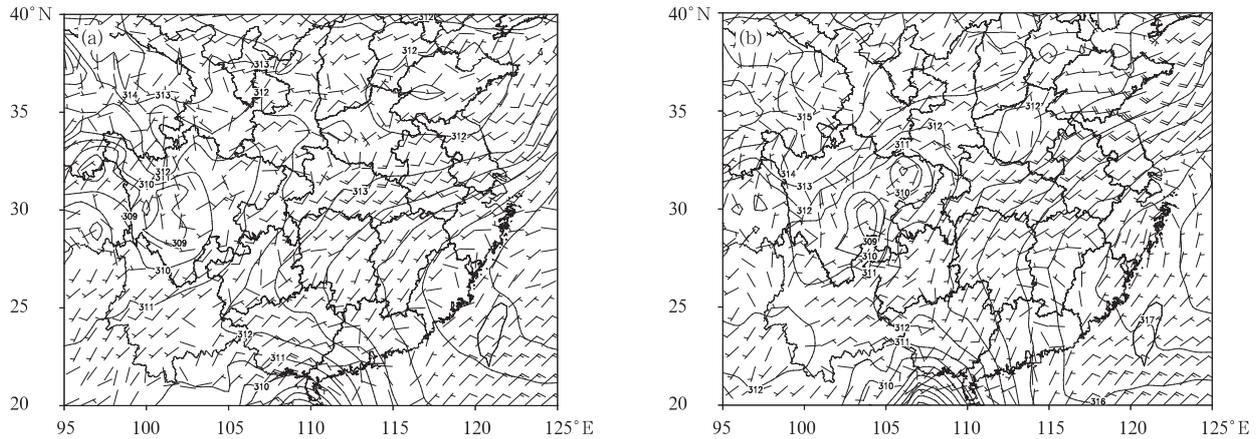


图 3 2010 年 7 月 16—17 日 700 hPa 高度场(实线, 单位: dagpm)与风场(风矢)分布
(a)16 日 20:00, (b)17 日 08:00

Fig. 3 700 hPa height field(solid line, unit: dagpm) and wind field(vector)
(a)2000 BT 16 July 2010, (b)0800 BT 17 July 2010

3 对流涡度矢量分析

根据式(3), CVV 有 3 个分量, 其中 C_x 表示经向涡度和相当位温垂直梯度的相互作用以及垂直涡度和相当位温经向梯度的相互作用; C_y 反映纬向涡度和相当位温垂直梯度的相互作用以及垂直涡度和相当位温纬向梯度的相互作用; C_z 表示水平涡度和水平相当位温梯度的相互作用。文献[10, 17-19]认

为, 对流涡度矢量的垂直分量和云中水凝物混合比有较好的联系, 对于深对流活动有重要作用。

3.1 CVV 各分量与 6 h 累积降水量的关系

利用式(2)和式(4)计算了 CVV 各分量的垂直积分 $[C_x], [C_y], [C_z]$ 。本文选取降水发生的主要区域 $28^\circ \sim 34^\circ \text{N}, 100^\circ \sim 108^\circ \text{E}$ 进一步做区域平均(九点平滑), 得出区域平均的 $[C_x], [C_y], [C_z]$ 。

由图 4 可知, $[C_y]$ 一直在零线附近波动, 且变化幅度不大。 $[C_x]$ 相比 $[C_y]$ 变化略为明显, 7 月 17

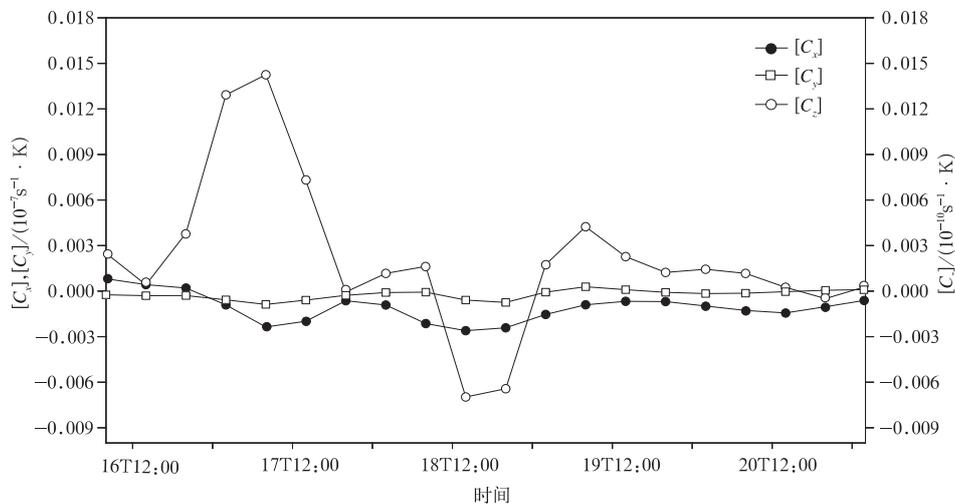


图 4 2010 年 7 月对流涡度矢量各分量垂直积分的区域平均值演变的九点平滑曲线
Fig. 4 The nine-point smoothing curve of the regional average of vertical integration of CVV components in July 2010

日开始, $[C_x]$ 基本为负, 且有两对波峰波谷出现。相对于 $[C_x]$ 和 $[C_y]$, $[C_z]$ 的变化幅度较大, 17 日 00:00, $[C_z]$ 正值明显增大; 17 日 08:00 正值达到最大, 之后 $[C_z]$ 值逐渐减小; 18 日 06:00 以后转为负值; 18 日 12:00 $[C_z]$ 值降低至波谷。19—20 日 $[C_z]$ 值又有所增长, 呈现一个次高峰。由前面分析可知, 16 日 14:00—20:00 降水有明显增加, 最强降水时段出现在 17 日 02:00 至 17 日 08:00。对比强降水发生、发展的时段与对流涡度矢量各分量垂直积分随时间的变化曲线可知, $[C_x]$, $[C_y]$ 在 16—17 日没有显著变化, 而 $[C_z]$ 峰值出现的时间与强降水发生时段有较好的对应关系。即当 1000 hPa 至 150 hPa 垂直积分的 $[C_z]$ 出现极大值时, 此时降水量也会有显著增长, 极易发生暴雨天气现象。

3.2 CVV 垂直分量的水平分布和演变

由图 5 可以看到, 7 月 16 日 20:00 CVV 垂直分

量在对流层低层 850 hPa 的分布可以看到, C_z 值较小, 没有出现明显的正负值中心, 四川省内大部为正值区域, 此时川东北和川南已有降水产生。17 日 02:00, 四川省东北部即巴中、广元一带为 CVV 垂直分量正值区控制, 正值区内有两个中心, 其中范围较大、强度较强的中心位于 $32^\circ\text{N}, 106^\circ\text{E}$ 附近, 另一个较弱的中心位于 $32^\circ\text{N}, 104^\circ\text{E}$ 。随着西风槽的南压, 低层气旋性涡旋的生成, CVV 垂直分量的正值区范围扩大, 中心强度也有所加强。17 日 08:00 盆地地区的中心值达到 $0.7 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$, CVV 垂直分量正值区呈东北—西南走向, 同时在川南地区 ($28.5^\circ\text{N}, 103^\circ\text{E}$) 也有一弱的正值中心形成。位于川东北与川南两个主要的降水区域与 CVV 垂直分量的正值区对应, 即正值中心同时也是暴雨区。正值较大等值线密集带的川东北中心恰好对应较强的降水中心。17 日 14:00 川南的弱正值

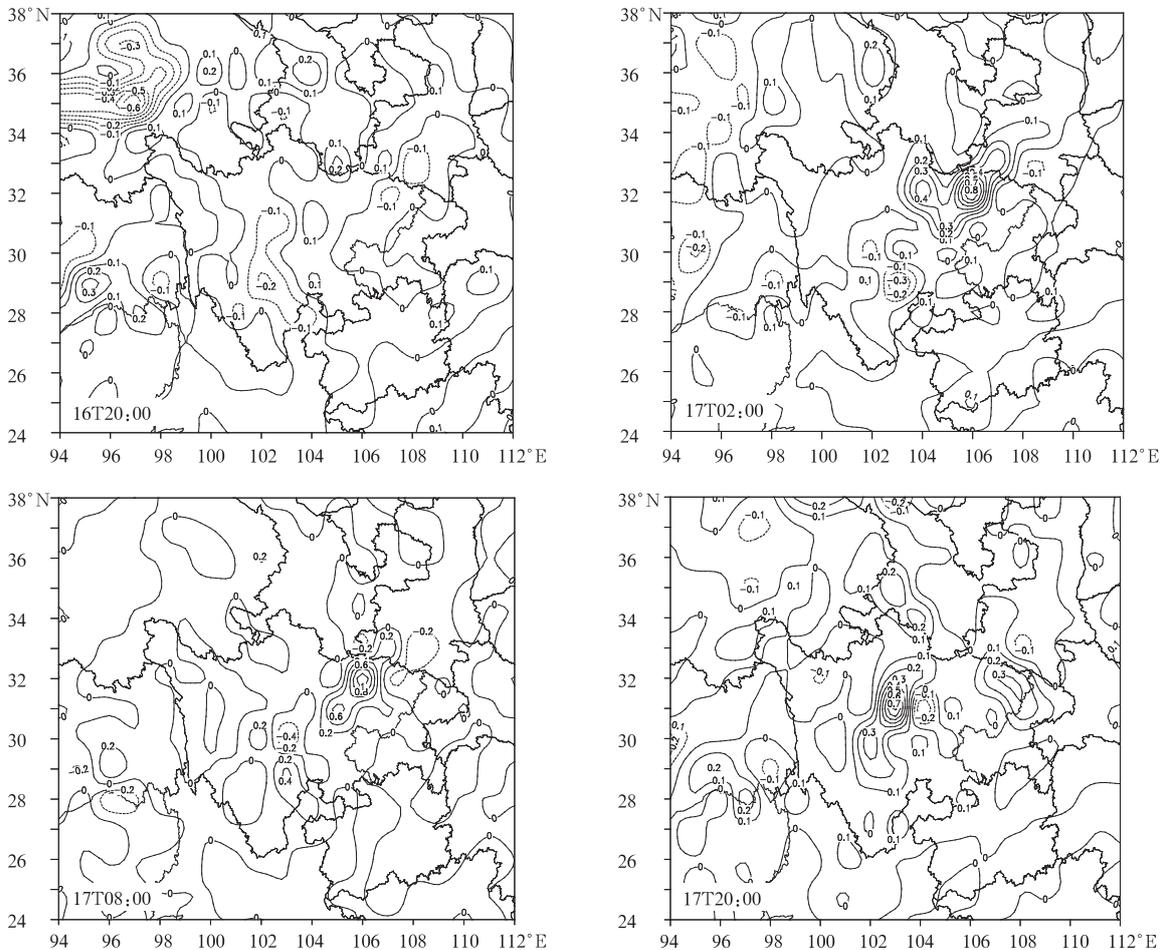


图 5 2010 年 7 月 16—17 日 CVV 垂直分量 C_z 在 850 hPa 的分布 (单位: $10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Fig. 5 The distribution of the vertical component C_z at 850 hPa during 16—17 July 2010

(unit: $10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$)

中心北移,范围扩大,强度增强,中心值达到 $0.5 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图略)。川东盆地的正值中心逐渐减弱消失,对应的川东降水减弱,而川南地区降水仍较强。17 日 20:00 川南 CVV 垂直分量的正值区范围有缩小趋势,延伸至四川中部地区,但中心强度维持不变,降水持续(图 5)。18 日 02:00 川南的 CVV 垂直分量正值范围明显缩小,随之降水减弱(图略)。18 日 08:00, CVV 垂直分量正值中心减弱消失,暴雨过程结束(图略)。

从上述分析可知,对流层低层 850 hPa 上 CVV 垂直分量的正值区与暴雨的落区有较好的对应关系。即 C_z 的正值大值出现的地区基本是暴雨发生最强的地区,并偏向其梯度较大处。其原因主要是西风槽前的正涡度平流输送,使川南和川东地区的涡度增强,湿等熵面变得陡立。上升运动和水汽输送都增强,从而有利于暴雨形成。

3.3 CVV 垂直分量的垂直分布和演变

沿暴雨中心 30°N 做 CVV 垂直分量 C_z 的垂直剖面(图 6)。由图 6 可以看出,16 日 20:00,即暴雨

发展初期,垂直结构上暴雨区 $100^\circ\sim 105^\circ\text{E}$ 之间从低层至高层大部分为 C_z 的正值区,在 102°E 附近的 700 hPa 以下低层呈现 C_z 负值,且数值较小。17 日 02:00 暴雨区对流层高层 300 hPa 附近出现 CVV 垂直分量的两个高值区,高值中心分别位于 101°E 和 103°E ,正值范围逐渐向对流层低层扩展。在 103°E 左右的 C_z 从低层至高层呈现一致的正值,高层最大值达到 $1.1 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$,此时降水发展强烈。17 日 08:00 高层的正值中心东移,中心强度达到 $1.2 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。正值区范围向下扩展至对流层低层 700 hPa 附近,800 hPa 附近存在一小范围的 CVV 垂直分量负值区。对流层 CVV 垂直分量从高层至低层呈现“正负正”的配置,而非一致的正值,此时暴雨程度有所减弱。17 日 20:00 暴雨区上空 750 hPa 以下为 CVV 垂直分量的高值区,正值中心强度较前几次次减弱,仅为 $0.5 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$,而高层正值中心消失,降水强度相应减弱。

由于西南涡是浅薄的中尺度系统^[20-21],在东移

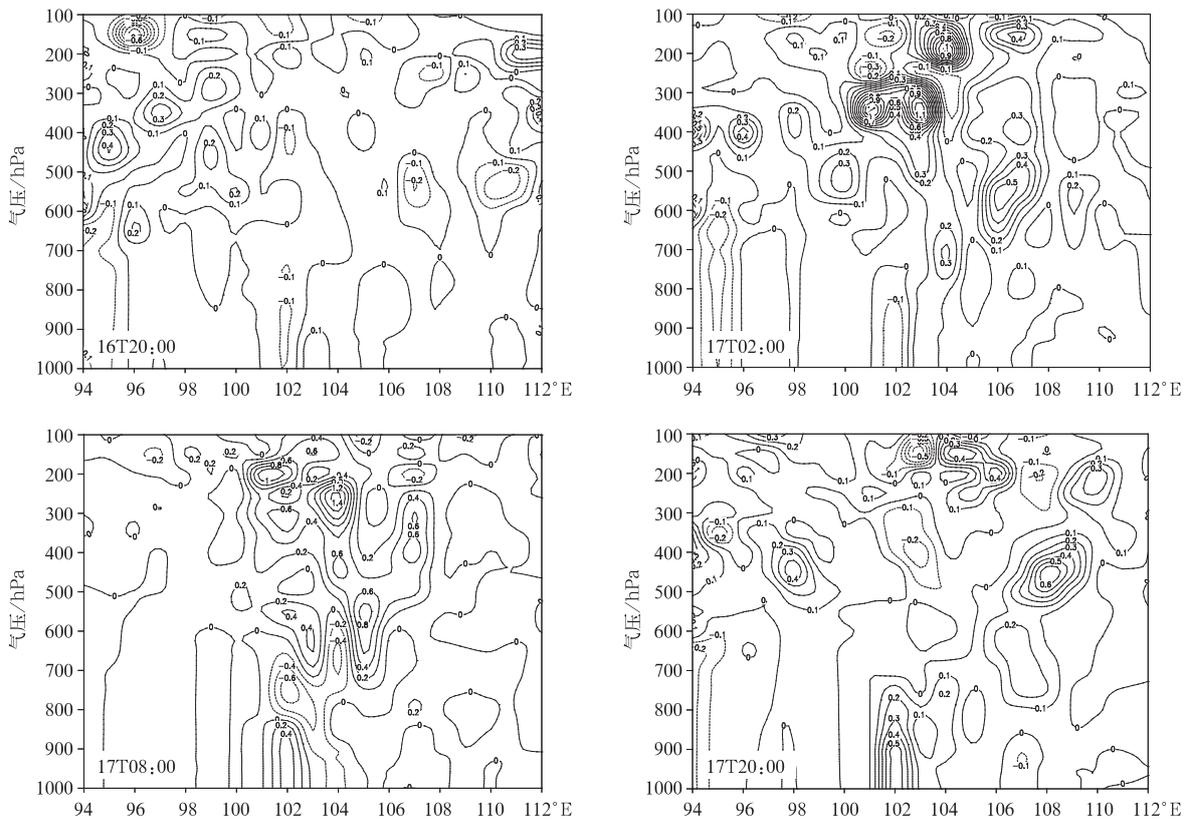


图 6 2010 年 7 月 16—17 日 CVV 垂直分量 C_z 沿 30°N 垂直剖面(单位: $10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Fig. 6 The distribution of the cross section of vertical component C_z along 30°N during 16—17 July 2010(unit: $10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$)

过程中不断发展,因此对流层高层的 CVV 垂直分量正值区不断向低层延伸,导致对流层低层 CVV 垂直分量正值区范围不断扩大,而高层范围缩小。由以上分析可以看出,暴雨区 C_z 从高层至低层一致的正值分布对暴雨加强具有指示意义。

4 结 论

本文利用对流涡度矢量(CVV)对2010年7月16—18日由西南涡引发的一次四川盆地持续性暴雨过程进行诊断分析,重点探讨了 CVV 垂直分量 C_z 在此次西南涡暴雨过程分析中的应用。得出以下结论:

1) CVV 垂直分量与西南涡引发的暴雨有一定对应关系,强降水发生时段与 $[C_z]$ 峰值出现的时间有较好的对应关系。即当 $[C_z]$ 出现极值时,降水量也会发生显著变化,此时极易发生暴雨天气现象。由此可将 $[C_z]$ 峰值出现的时间作为预测暴雨发生时间的一个指标。

2) 对流层低层 850 hPa CVV 垂直分量 C_z 的水平分布与暴雨落区有一定关系,暴雨发生初期,降水区域呈现一致 C_z 的正值,随着暴雨加强, C_z 的正值范围扩大,等值线变密集,梯度变大。 C_z 的正值范围与雨带的走向一致。即 C_z 的正值大值出现地区基本是暴雨发生最强的地区,且偏向其梯度较大处。

3) 对流层 CVV 垂直分量的垂直分布对暴雨强度演变有一定指示意义,即当对流层低层至高层呈现一致的正值时,暴雨强度会随之有明显加强趋势。

通过对本暴雨个例的研究,证实了 CVV 可用于西南涡这种中尺度浅薄系统产生的暴雨的诊断分析。但由于个例较少,所得结论仍需在今后相关应用中做进一步验证和完善。

参 考 文 献

- [1] 吴国雄,蔡雅萍,唐晓菁. 湿位涡和倾斜涡度发展. 气象学报, 1995, 53(4): 387-404.
- [2] 李国平,万军,卢敬华. 暖性西南低涡形成的一种机制. 应用气象学报, 1991, 2(1): 91-99.
- [3] 李国平,刘行军. 西南低涡暴雨的湿位涡诊断分析. 应用气象学报, 1994, 5(3): 354-360.
- [4] Cao Z, Cho H. Generation of moist potential vorticity in extratropical cyclones. *Atmos Sci*, 1995, 52: 3263-3282.
- [5] Cho H, Cao Z. Generation of moist potential vorticity in extratropical cyclones. Part II: Sensitivity to moisture distribution. *Atmos Sci*, 1998, 55: 595-610.
- [6] Huo Z H, Zhang D L, Gyakum J R. Interaction of potential vorticity anomalies in extratropical cyclogenesis. Part I: Static piecewise inversion. *Mon Wea Rev*, 1999, 11: 2546-2562.
- [7] Huo Z H, Zhang D L, Gyakum J R. Interaction of potential vorticity anomalies in extratropical cyclogenesis. Part II: Sensitivity to initial perturbations. *Mon Wea Rev*, 1999, 11: 2563-2575.
- [8] 龚佃利,吴增茂,傅刚. 一次华北强对流风暴的中尺度特征分析. 大气科学, 2005, 29(3): 453-464.
- [9] 杨帅,高守亭. 三维散度方程及其对暴雨系统的诊断分析. 大气科学, 2007, 31(1): 167-179.
- [10] Gao S T, Li X, Tao W, et al. A convective vorticity vector associated with tropical convection: A two-dimensional cloud-resolving modeling study. *J Geophys Res*, 2004, 109: D14106, doi: 10. 1029/2004 JD004807.
- [11] Gao S T, Li X, Tao W, et al. Convective and moist vorticity vectors associated with tropical oceanic convection: A three-dimensional cloud-resolving model simulation. *J Geophys Res*, 2007, 112: D01105, doi: 10. 1029/2006JD007179.
- [12] 赵宇,高守亭. 对流涡度矢量在暴雨诊断分析中的应用研究. 大气科学, 2008, 32(3): 444-456.
- [13] 刘建文,郭虎. 天气分析预报物理量计算基础. 北京:气象出版社, 2005.
- [14] 李跃清,赵兴柄,邓波. 2010年夏季西南涡加密观测科学试验. 高原山地气象研究, 2010, 30(4): 80-84.
- [15] 何光碧,屠妮妮,张利红,等. 2010年7月14—18日四川大暴雨过程区域模式预报性能分析. 高原山地气象研究, 2010, 30(4): 8-17.
- [16] 赵宇,崔晓鹏. 对流涡度矢量和湿位涡度矢量在暴雨诊断分析中的应用研究. 气象学报, 2009, 67(4): 540-548.
- [17] 陈忠明,缪强,闵文彬. 一次强烈发展西南低涡的中尺度结构分析. 应用气象学报, 1998, 9(3): 273-282.
- [18] 吴国雄,刘还珠. 全型垂直涡度倾向方程和倾斜涡度发展. 气象学报, 1999, 57(1): 2-16.
- [19] 陈忠明. 一次强烈发展西南低涡的中尺度结构分析. 应用气象学报, 1998, 9(3): 273-282.
- [20] 潘畅,李建,宇如聪. 东移西南低涡空间结构的气候学特征. 气候与环境研究, 2011, 16(1): 60-70.
- [21] 郑庆林,邢久星. 一个六层亚洲有限区域模式及对一次西南涡过程的数值模拟. 应用气象学报, 1990, 1(1): 12-23.

Application of Vertical Component of Convective Vorticity Vector to the Diagnosis of a Rainstorm Brought by Southwest Vortex

Tao Li Li Guoping

(College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225)

Abstract

Convective vorticity vector (CVV) is employed to analyze the rainstorm caused by the shallow system of southwest vortex during 16—18 July 2010, using convective vorticity vector vertical component (C_z). The relationship between every component of the CVV and the 6-hour accumulated precipitation is investigated, particularly the meaning of vertical component in rainstorms caused by southwest vortex. It shows that the vertical component of CVV is a good indicator of the rainstorm caused by southwest vortex. The occurring time of strong precipitation and the peak value of vertical component of CVV are consistent. If $[C_z]$ reaches an extreme value, the precipitation will change significantly, probably leading to heavy rain phenomenon. Thus the peak time of $[C_z]$ can be an indicator of the heavy rain forecast. When the rainstorm begins, the precipitation region shows consistently positive values of C_z , with the heavy rain to strengthen. When the positive values of C_z expand larger, the contours become intensive, and the gradient increases. The scope of positive values of C_z and the rain belt are largely the same. In the distribution of lower troposphere 850 hPa level, the rainstorm area locates near the center of the positive values of C_z and tend to the larger gradient of C_z . The main cause is the positive vorticity advection in front of the westerly trough, so that the vorticity in southern Sichuan and eastern Sichuan enhance, and the wet isentropic surface becomes steeply. The rising movement and the water vapor deliver strengthens, which is beneficial to the formation of heavy rain. Along the vertical distribution of C_z in the storm center, the storm intensity increases significantly when vertical components from lower to higher troposphere show consistent positive values. This rainstorm case confirms that the convective vorticity vector can be used for analyzing the shallow meso-scale system like southwest vortex. However, there are very limited cases, so further validation and improvements are needed.

Key words: convective vorticity vector; southwest vortex; rainstorm