

文章编号: 1006-4354 (2008) 03-0016-04

Q 矢量在陕南大暴雨天气过程中的分析应用

党红梅, 占世林

(安康市气象局, 陕西安康 725000)

摘 要:应用非地转湿 Q 矢量理论对 2007 年 7 月 5 日的大暴雨过程进行诊断分析, 结果表明: 500 hPa 快速东移的小槽, 低层 700 hPa 关中横切变、西南急流, 地面弱冷锋是此次强降水的主要影响系统; 非地转湿 Q 矢量流场的辐合线南侧与强降水区吻合; 近地面 850 hPa 锋生函数场正值区的变化较好地反映了锋面的强度, 锋生函数正值区范围与降水区域对应较好; 850 hPa 非地转湿 Q 矢量散度场辐合区与强降水的产生及强度正相关。

关键词: 陕南; 大暴雨; 非地转湿 Q 矢量

中图分类号: P458.121.1 **文献标识码:** A

陕南北依秦岭, 南靠巴山, 境内峰峦迭障, 沟壑纵横, 有河谷盆地、低山丘陵和中高山三种地貌类型, 夏季平均每年都有几次强降水过程 (包括暴雨和大暴雨), 因而成为陕南夏半年的主要灾害性天气之一。2007 年 7 月 1—9 日, 陕西南部出现持续暴雨、大暴雨天气过程, 其间共出现 5 个暴雨日, 其中大暴雨日 1 个。9 d 中陕西南部 28 个测站有 23 站暴雨, 3 站大暴雨, 造成重大人员伤亡和财产损失, 其中 7 月 5 日 11 站暴雨, 3 站大暴雨, 洋县、佛坪和宁陕降水量分别为 172.2

mm、120.4 mm 和 107.7 mm, 降水强度大, 面积广, 强降水主要集中在陕南中部地区, 造成陕西南部江河湖库水位猛涨, 多次出现山洪暴发、山体滑坡、坝堤溃决, 交通、电力、通讯等中断, 城市内涝以及农作物大面积被淹, 导致绝收, 损失十分惨重。本文应用非地转湿 Q 矢量理论对陕南 2007 年 7 月 5 日大暴雨诊断分析, 探讨湿 Q 矢量在陕南夏季强降水中的应用。

1 天气形势分析

7 月 1—9 日暴雨、大暴雨过程是在有利的大

收稿日期: 2007-11-05

作者简介: 党红梅 (1970—), 女, 陕西安康人, 高级工程师, 主要从事天气预报工作。

4 结论

4.1 VIL 产品结合 R 和 CR 产品有助于确定强对流单体的位置, 可及早识别冰雹云。

4.2 冰雹云的 VIL 值明显大于雷雨云, 降雹时 VIL 值在 50 kg/m^2 以上, 最大可达 70 kg/m^2 。

4.3 VIL 值的“跃增”变化可作为降雹的判据之一。一般在降雹前 $10\sim 15\text{ min}$, VIL 值有明显的“跃增”变化, “跃增”后如果 VIL 值继续增大, 则在 $10\sim 20\text{ min}$ 内 VIL 大值对应的区域会产生降雹。

4.4 发展旺盛的冰雹云, VIL 值在 10 min 左右突减 15 kg/m^2 以上, 将会给本地和下游地区造成风灾。这可作为识别冰雹大风天气的判据之一。

4.5 距离雷达较远的合阳、韩城一带, VIL 值可信度较低, $40\sim 50\text{ kg/m}^2$ 甚至更小也可出现降雹, 在具体作业指挥中应引起注意。

参考文献:
[1] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 185-187.

环流形势下产生的。500 hPa 图 (图略) 上, 暴雨期间巴湖一直维持一个稳定的低槽, 附近有 -12°C 的冷中心, 西太平洋副热带高压脊线稳定在 $30^{\circ}\text{N}\sim 32^{\circ}\text{N}$, 巴湖底部不断分裂出小槽, 小槽东南移的过程中由于副高受阻, 在陕西的中南部每天有新老小槽的更替, 槽后不断有冷空气南侵, 与低空急流输送的暖湿气流交汇。7 月 4 日 20 时 500 hPa 副高 588 dagpm 线西伸到 110°E 附近, 中心强度 592 dagpm, 陕南处在副高西北侧 588 dagpm 线边缘, 持续出现了暴雨、大暴雨。从 7 月 9 日开始副高东退, 之后陕南的强降水宣告结束。另外, 暴雨期间, 副高位置的东西变化明显, 每逢暴雨出现时, 副高 588 dagpm 线西脊点的位置都在 $105^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 区域内。因此在暴雨分析时, 不但要关注副高位置的南北变化, 也要重视副高位置的东西变化, 副高东西方向的进退以中短期变化为主, 它对一定范围内的持续性降水和暴雨的反复发生有重要的影响^[1]。4 日 20 时 700 hPa 河套北部有高压环流, 高压低部为偏东风气流, 云贵高原—陕南为西南风急流, 在两股气流之间关中为东西向横切变线, 横切变线南侧的强西南风急流东西宽约 3 个经度, 平均风速为 13 m/s, 其中安康站达 12 m/s, 甘肃南部有低涡形成, 低涡和切变线是本次大暴雨形成的主要影响系统, 强降水发生在横切变线南侧的西南急流的左前方。

2 计算公式及资料

2.1 计算公式

考虑大气中水汽凝结潜热释放作用, 并从非地转绝热的原始方程组出发, 推导出非地转的湿 $\mathbf{Q}$ 矢量表达式^[2-5]:

$$\mathbf{Q}^* = (Q_x^*, Q_y^*) = \left\{ \frac{1}{2} \left[f \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial x} \right) - h \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial x} \cdot \nabla \theta - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{LR\omega}{C_p \cdot p} \frac{\partial q_s}{\partial p} \right) \right], \frac{1}{2} \left[f \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - h \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial y} \cdot \nabla \theta - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{LR\omega}{C_p \cdot p} \frac{\partial q_s}{\partial p} \right) \right] \right\},$$

其中 $h = \frac{R}{p} \left(\frac{p}{1000} \right)^{R/C_p}$ 。 $\mathbf{Q}^*$ 矢量为 p 坐标系中的湿 $\mathbf{Q}$ 矢量, Q_x^* 和 Q_y^* 分别为 x 方向和 y 方向的湿 $\mathbf{Q}$ 矢量的分量。

非地转湿 $\mathbf{Q}$ 矢量表征的 ω 方程为

$$\nabla^2 (\sigma \omega) + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = -2 \nabla \cdot \mathbf{Q}^*,$$

此式的物理意义: 在非地转条件下, 垂直运动仅由湿 $\mathbf{Q}$ 矢量散度决定, 当 ω 场具有波状特征时, $\omega \propto \nabla \cdot \mathbf{Q}^*$ 。所以可推断当 $\nabla \cdot \mathbf{Q}^* < 0$ 时, $\omega < 0$, 为上升运动; 反之为下沉运动。

引入完全非地转湿 $\mathbf{Q}$ 矢量锋生函数^[2-5] $F_Q = 2\mathbf{Q}^* \cdot \nabla \theta_{se}$, 以反映锋区的加强或减弱。当 $F_Q > 0$ 时, 表示湿 $\mathbf{Q}$ 矢量指向冷空气, 锋生; 当 $F_Q < 0$ 时, 表示湿 $\mathbf{Q}$ 矢量指向暖空气, 锋消。

2.2 计算资料

利用 MICAPS 系统提供的探空站的常规观测资料 (北京时 08 时和 20 时) 进行计算, 程序加载到高空资料批处理命令中实时处理, 输出逐层的 $\mathbf{Q}^*$ 矢量流场、 $\mathbf{Q}^*$ 矢量散度和 $\mathbf{Q}^*$ 矢量锋生函数, 分别以 MICAPS 第 11 类或第 4 类数据格式存储。

3 诊断结果

3.1 非地转湿 $\mathbf{Q}$ 矢量场的流线分析

7 月 4 日 20 时 850 hPa 的非地转湿 $\mathbf{Q}$ 矢量场的流场 (图 1), 在 35°N 、 $102^{\circ}\text{E}\sim 108^{\circ}\text{E}$ 存在明显的非地转湿 $\mathbf{Q}$ 矢量流场的辐合线, 12 h 后距此辐合线南侧约 1~2 个纬度处出现大暴雨区。由此可以认为非地转湿 $\mathbf{Q}$ 矢量流场的辐合线是大气垂直运动发展较强的定性指标, 对陕南夏季强降水的预报具有一定的指示意义。

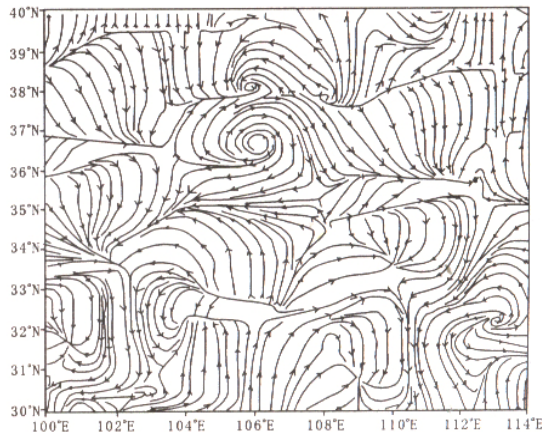


图 1 2007-07-04T20 850 hPa 非地转湿 $\mathbf{Q}$ 矢量流场

3.2 非地转湿 Q 矢量锋生函数分析

锋生函数能够表示锋生锋消的程度。文献 [2—5] 指出, 就非地转湿 Q 矢量锋生函数 F_Q^* 场的含义而言, 在 F_Q^* 场的正值区上升运动很强, 水汽条件有利, 且层结不稳定, 是产生强降水的必要条件。从低层 850 hPa 非地转湿 Q 矢量锋生函数的分布来看, 4 日 08 时弱的锋生函数正值区生成于四川东北部的地面倒槽内, 由于冷空气南下补充及西南风低空急流在锋面南侧建立, 强烈的气流汇合使冷锋锋生加强, 降水逐渐增大, 陕南出现成片中雨。20 时 (图 2) 随着锋面加强, 锋生函数正值区向北向东扩展, 加上冷锋后的冷空气东南下促使正非地转湿 Q 矢量锋生函数数值突然增大, 中心值达 $100 \times 10^{-14} \text{ K}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$, 锋生函数大值中心与地面冷锋、低层切变对应, 正值区范围正是降水区域, 强中心北侧的高值区与大暴雨区对应, 洋县、佛坪和宁陕降水量分别为 172.2 mm、120.4 mm 和 107.7 mm。可见, 此次夏季强降水过程中, 近地面 850 hPa 锋生函数的变化较好地反映了锋面的强弱, 锋生函数正值区范围与降水区域对应较好, 对大暴雨区域反映较好。

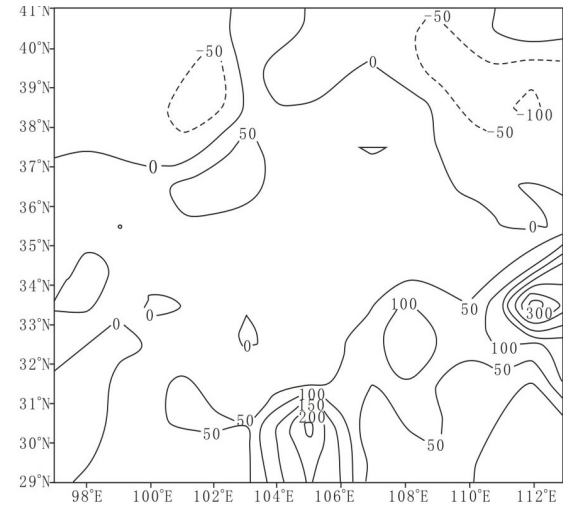


图 2 2007-07-04T20 850 hPa 非地转湿 Q 矢量锋生函数分布
(单位: $10^{-14} \text{ K}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$)

3.3 非地转湿 Q 矢量散度辐合与降水的关系

低层非地转湿 Q 矢量散度辐合区通常是上升运动激发区, 非地转湿 Q 矢量散度表示的是产

生垂直运动的强迫机制的强弱, $\nabla \cdot Q^* < 0$ 的区域, 非地转上升运动将在一定时间尺度内得以维持 [2—5]。分析 850 hPa 非地转湿 Q 矢量散度图后发现, 非地转湿 Q 矢量散度负值区 (辐合区) 与降水落区有很好的对应关系, 降水均出现转湿 Q 矢量辐合区内。4 日 20 日 (图 3)

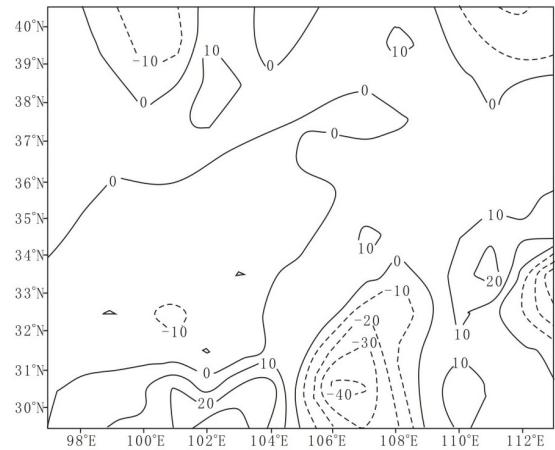


图 3 2007-07-04T20 850 hPa 非地转湿 Q 矢量散度
(单位: 10^{-17} hPa/s^3)

一陕南中部为湿 Q 矢量散度负值区, 中心辐合强度达 $-40 \times 10^{-17} \text{ hPa/s}^3$ 以上, 而陕南中部大暴雨区则出现在湿 Q 矢量散度正负值交界附近的负值区一侧, 说明暴雨区附近的上升气流和下沉气流间可能存在次级环流的扰动, 利于不稳定能量的释放。同时次的垂直速度 ω 沿 108°E 的垂直剖面图 (图 4) 也反映出, 强降水区 32°N~37°N 从

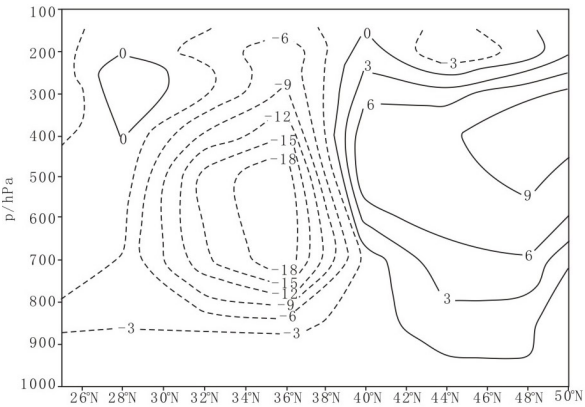


图 4 2007-07-04T20 垂直速度沿 108°E 的垂直剖面
(单位: 10^{-4} hPa/s)

低层到高层为一致的 ω 负值区, 表明大气强烈的辐合上升运动导致了强降水的产生。

对比同时刻的垂直速度 ω 场演变情况 (图略), 可以看到 ω 负值区与非地转湿 Q 矢量散度辐合负值区中心位置及移动路径基本相同。不同点在于: 非地转湿 Q 矢量散度负值区的范围小于 ω 负值区范围, 前者与此次强降水落区较为吻合。

3.4 非地转湿 Q 矢量散度的时间演变

为进一步说明陕南夏季强降水与非地转湿 Q 矢量散度发展变化的关系, 制作通过大暴雨中心洋县 (33.5°N、108°E) 低层 850 hPa 非地转湿 Q 矢量散度随时间演变图。从图 5 可以看出非地转湿 Q 矢量散度的演变特征: 4 日 08 时前在低层 850 hPa 开始出现湿 Q 矢量散度负值区, 08 时后 Q 矢量散度负值区数值逐渐增大, 辐合增强, 范围也不断扩大, 相应陕南已有降水。4 日 20 时暴雨区上空均为湿 Q 矢量散度负值区, 最强的辐合中心位于 108°E, 未来 12 h 强降水中心就出现在该地。可见, 非地转湿 Q 矢量散度负值区的存在及强度的增强与陕南夏季未来 12 h 降水的产生及强度密切正相关。

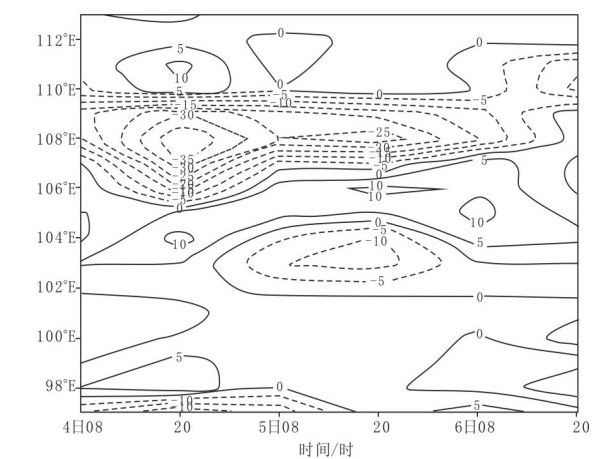


图 5 2007-07-04—06 沿 33.5°N 的 850 hPa 非地转湿 Q 矢量散度的时间-经度剖面 (单位: 10^{-17} hPa/s³)

4 结论

- 4.1 环流形势上, 500 hPa 快速东移的小槽, 低层 700 hPa 关中横切变、西南急流是陕南地区大范围强降水的主要原因, 当地面冷锋加强并在陕南中部与暖湿气流结合, 陕南中部出现大暴雨。
- 4.2 非地转湿 Q 矢量流场的辐合线的南侧, 与未来 12 h 陕南大暴雨区对应。
- 4.3 近地面 850 hPa 锋生函数的变化较好地反映了锋面的强弱, 锋生函数正值区范围与降水区域对应较好, 对大暴雨区域反映较好。
- 4.4 湿 Q 矢量散度分析表明, 湿 Q 矢量散度负值区的移向及辐合强度的变化与本次陕南夏季强降水发生区域及降水强弱对应, 陕南中部大暴雨区则出现在湿 Q 矢量散度正负值交界附近的负值区上升支一侧。
- 4.5 通过对比分析发现, 非地转湿 Q 矢量散度负值区的范围小于 ω 负值区范围, 前者与此次夏季强降水落区较为吻合。

参考文献:

- [1] 张弘, 孙伟. 2003 年陕西持续性暴雨成因分析 [J]. 灾害学, 2004, 19 (3): 55-61.
- [2] 寿绍文. 中尺度气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 267-276.
- [3] 张兴旺. 修正的 Q 矢量表达式及其应用 [J]. 热带气象学报, 1999, 15 (2): 162-167.
- [4] 张兴旺. 湿 Q 矢量表达式及其应用 [J]. 气象, 1998, 24 (8): 3-7.
- [5] 慕建利, 赵琳娜, 杜继稳. 湿 Q 矢量在陕西大暴雨过程中的应用研究 [J]. 陕西气象, 2007 (6): 1-5.