

江淮梅雨锋暴雨过程 Q 矢量分析及落区预报

汪克付 叶金印

(安徽省芜湖市气象局, 241000)

提 要

应用 Q 矢量分析方法对 20 次伴有暴雨的江淮梅雨锋过程进行分析, 揭露了梅雨锋暴雨期对流层低层 Q 矢量散度场的分布特征以及与中、低空主要天气系统和暴雨带之间的时空配置关系, 指出了 Q 矢量散度场对江淮梅雨锋暴雨的落区有较好的预报意义。

关键词: 江淮梅雨锋 Q 矢量分析 暴雨落区预报

引 言

众所周知, 在梅雨环流形势下, 暴雨带的位置与梅雨锋上垂直环流的发展有密切关系^[1]。一般情况下, 基层台站预报员都只是从天气学原理出发, 通过分析对流层低层主要降水系统(如西南涡、切变线等)的位置和强度, 定性地判断垂直运动的发展情况, 作出暴雨落区的预报。从近期的一些研究^[2,3,4]得知: Q 矢量分析方法是诊断次级环流的一个较好方法, 那么, 能否通过 Q 矢量分析来诊断梅雨锋上垂直环流的变化, 并配合中低层主要降水系统的分析, 从而为暴雨的落区预报提供信息呢? 为此, 我们研制了一个 Q 矢量快速诊断分析软件。根据梅雨期东亚环流的特点及影响江淮流域天气系统的活动规律, 本文选取 $23^{\circ}\text{--}45^{\circ}\text{N}$ 、 $103^{\circ}\text{--}122^{\circ}\text{E}$ 范围为诊断区域, 对 20 次伴有暴雨的江淮梅雨锋进行 Q 矢量分析, 并通过计算机屏幕输出客观计算结果(等值线), 试图讨论梅雨锋上次级环流的特征及其与暴雨的关系。

1 Q 矢量分析方法简介

用 Q 矢量表示的准地转 ω 方程形式:

$$\begin{aligned} & (\nabla^2 + \frac{f^2}{\sigma} \frac{\partial^2}{\partial p^2}) \cdot \omega \\ & = - \frac{2}{R_s f} \nabla \cdot \vec{Q} \end{aligned} \quad (1)$$

$$Q_x = -R \frac{\partial \vec{V}_x}{\partial x} \nabla T \quad (2)$$

$$Q_y = -R \frac{\partial \vec{V}_y}{\partial y} \nabla T \quad (3)$$

由式(1)知: $\nabla \cdot \vec{Q} < 0$ 的区域对应上升运动, 反之为下沉运动。

2 梅雨锋附近 Q 矢量散度的分布与演变

从式(1)及文献[2]的讨论结果可知: 用 Q 矢量散度场可以诊断垂直环流的活动, 本节分析 Q 矢量散度场的分布与演变, 目的是为了诊断梅雨锋区垂直环流的变化特征。

2.1 水平分布及演变

在 $850\text{--}500\text{hPa}$ 上, 其 500hPa 上辐合(散)区的分布比较零散, 系统性不强。但在 700 和 850hPa 上, 从 20 例暴雨过程, 共 60 个图次看, 除极少数图次外, 在暴雨发生前 $0\text{--}12$ 小时, 江淮流域均为准东西向的带状 Q 矢量辐合区所覆盖, 南北跨度约 $4\text{--}6$ 个纬度, 并且在辐合区域内有规律地分布着 $1\text{--}2$ 个辐合中心, 其直径一般为 $200\text{--}400\text{km}$, 相距 $200\text{--}300\text{km}$, 中心值在 $-4\text{--}-8$ (单位: $1.0 \times 10^{-13} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) 之间。而华北和江南则始终为辐散区所覆盖, 演变趋势表现为辐合中心向东传播, 生命史为 $1\text{--}2$ 天, 具有明显的中尺度特征; 而对连续暴雨过程, 演变趋势则表现为与低层天气系统(切变线)相对

应, 辐合带有明显的停滞或南北摆动的演变特点, 辐合中心一般是东传的, 亦有少数在原地消失(如1991年7月上旬)(图略)。

2.2 垂直分布及演变

为了能反映影响本省降水系统的垂直环流及演变特点, 选取 117°E — 118°E 经度上 Q 矢量散度的平均值, 纬向则根据地面静止锋的位置确定。

在纬向剖面图上(沿锋面), 自西向东 Q 矢量的辐合与辐散区的分布呈非对称的偶合形式, 辐合与辐散区的水平尺度一般在400和200km左右, 其中心之间距离一般为100—300km, 强辐合中心常在 110°E — 120°E 之间出现, 这可能与中尺度低涡常在这一带发展东移有关。

在经向剖面图上, 上升运动区与下沉运动区是相间出现的, 一般是700hPa切变线北侧、副热带高压内部为辐散区, 而切变线南侧和副热带高压西北侧为辐合区, 辐合区最大水平尺度400km。500hPa上辐合最强, 达 $-9.0 \times 10^{-13} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 辐合与辐散区之间的间隔约200—300km, 反映锋区附近的上升运动较其它纬度上明显偏强。

值得注意的是, 梅雨锋附近 Q 矢量散度场的垂直分布有向北倾斜、垂直和向南倾斜3种配置关系(图1)。从后面的讨论可知, 它们与低空降水系统的短期变化及未来暴雨带的位置有密切关系。

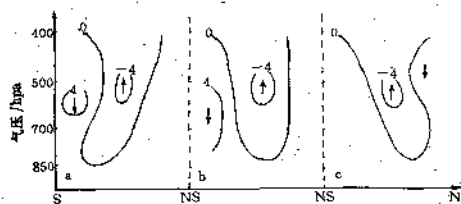


图1 Q 矢量散度场的垂直分布特征

a 为北倾, b 为垂直, c 为南倾

2.3 次级环流的特征与演变

根据式(1)和上述 Q 矢量散度场的分布, 不难推断梅雨锋暴雨期次级环流的特征及其演变规律, 即在对流层中低层, 梅雨锋上自西向东伴随着1—2个对流圈, 上升区最大

水平尺度为400km, 最强上升运动在500hPa上, 下沉区则为300km。从逐日演变看, 对流圈大多数是自西向东传播, 亦有少数原地消失, 这与李国杰^[8]的分析结果相当吻合(图略)。

3 Q 矢量散度场与中低层天气系统的时空配置关系

以700hPa为例, 从水平分布看, 在切变线两侧、短波槽前、低空急流以及低涡附近都是 Q 矢量的辐合区域, 但辐合中心一般只出现在槽前、低空急流左侧以及低涡的东南象限和前方, 这与文献[4]的计算结果十分一致。从时间配置看, 20例的计算结果中有15例是江淮流域 Q 矢量带状辐合区, 尤其是辐合带中的辐合中心较 $\omega < 0$ 提前一个时次(12小时)出现, 且后延性好, 图2所示为1984年6月12日20时700hPa $\nabla \cdot \vec{Q}$ 和 ω 场的分布图。

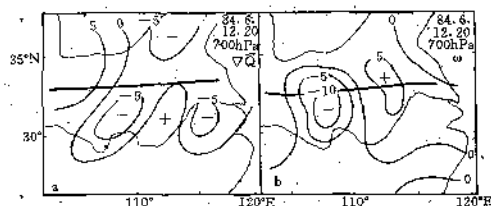


图2 1984.6.12.20时700hPa $\nabla \cdot \vec{Q}$ 和 ω 场分布图

$\nabla \cdot \vec{Q}$ 单位: $10^{-13} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; ω 单位: $\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$
粗线表示切变线

由图可见, 湖北北部到河南南部的上升区在 $\nabla \cdot \vec{Q}$ 和 ω 场上都能很好地反映出来, 但造成长江下游暴雨的辐合中心在 ω 场上却是下沉区, 直到13日08时才出现上升区, 较 $\nabla \cdot \vec{Q} < 0$ 滞后一个时次, 因此, 其预报意义较 ω 场优越; 3例与 $\omega < 0$ 同时次出现, 2例 Q 矢量散度场无明显辐合区出现(图略)。

从经向剖面图上, 发现了一个十分有趣的事实, 即 Q 矢量辐合区向北倾斜, 则副高将加强北抬, 相应地低层切变线也北抬, 低涡将向东偏北方向移动, 低空急流加强并向北拓展; 如果是垂直配置, 则副高相对处于稳定时期, 切变线位置少动; 向南倾斜时, 副高则

有减弱南压的趋势,相应地切变线亦南压。这种变化特点在1991年7月上旬江淮暴雨期间,表现的异常明显。附表所列为该段时间

内,沿117.5°E Q 矢量散度的垂直配置与副高、切变线和暴雨带位置的变化情况,从表中可看出,其变化情况基本符合上述规律。

附表 1991年7月上旬 $\nabla \cdot \vec{Q}$ 的垂直配置与副高、切变线和暴雨带位置变化

日期	08时 $\nabla \cdot \vec{Q}$ 垂直配置	120°E 副高脊线/°N 08时 20时	08—20时切变 线位置变化	20时—次日20时 暴雨带位置
6.30	南倾	24 22	南 压	沿江、长江以北
7.1	北倾	22 24	北 抬	江淮之间
7.2	南倾	23 21	南 压	沿江、江南
7.3	北倾	22 18	少 动	沿淮、淮河以南
7.4	南倾	21 16	南 压	沿江、江南
7.5	垂直	17 17	少 动	沿江、江南
7.6	北倾	20 22	北 抬	淮西南部到江淮
7.7	垂直	24 23	南 压	江南
7.8	北倾	24 25	北 抬	江淮、沿江
7.9	垂直	24 24	少 动	沿淮、江淮之间
7.10	垂直	25 24	少 动	江淮之间

4 Q 矢量散度场与暴雨带的对应关系

Q 矢量散度辐合区与梅雨锋云带有良好的对应关系,这在卫星云图上可以清楚的反映出来,但与梅雨锋暴雨区的配合并非存在一一对应关系。因此,我们又参考了其它大气热力和动力物理量进行了综合分析比较,结果发现: $\sum_{1000}^{400} (T - T_d) < 20^\circ\text{C}$, $\theta_{se_{500}} - \theta_{se_{850}} < 0\text{K}$, $700\text{hPa } \nabla \cdot \vec{Q} < -1.0 \times 10^{-13} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 三者叠置的区域与暴雨区有明显的对应关系(图3)。从20例暴雨过程,共60个图次的分析情况看:上述叠置区与0—12小时后的暴雨区(40%以上的站 $\geq 38\text{mm}$ 或50%以上的站 $\geq 25\text{mm}$ 或20%以上的站 $\geq 50\text{mm}$)大致吻合的有17次,空报5次,漏报3次,CSI = $17/25 = 68\%$,准确率 = $52/60 = 87\%$ 。经分析我们发现:空、漏报均发生在低槽过程以及大尺度环流形势调整时期。如1990年7月2日的江淮之间到江南大暴雨、1991年7月7日的江南大暴雨以及1991年7月12日的沿江西部暴雨。前两次过程均受低槽影响,后一次则是产生在中低纬环流调整时期。在1991年7月6日08时的图上,主要辐合区在江淮之间,江南则为大片辐散区,直到次日08时才转为辐合区,因而导致了漏报。分析后又发现:这次暴雨过程是一次夏季较强的冷空气

扩散南下造成江淮切变线南压,梅雨锋已演变成弱冷锋向南移动,后受皖南地形阻挡而静止下来,锋区附近对流迅速发展而产生的,是一次明显的斜压过程。作者认为,这可能是准地转理论不能完全适用于斜压过程以及由于对流的发展,非绝热加热对上升运动显示了较重要的作用有关。7月12日沿江西部暴雨过程则范围较小,且由于9106号台风西行,副高加强北抬,中低纬环流形势均有了较大的调整,因而未能报出。

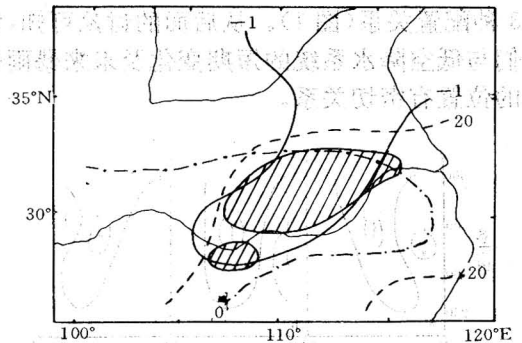


图3 1991年7月5日08时700hPa三条特征线及5日20时—6日20时暴雨区(阴影区)

实线为 $\nabla \cdot \vec{Q}$,虚线为 $\sum_{1000}^{400} (T - T_d) = 20^\circ\text{C}$,点划线为 $\theta_{se_{500}} - \theta_{se_{850}} = 0\text{K}$

通过以上分析,可以看到:① Q 矢量分析方法也能够用于诊断江淮梅雨锋上次级环流的活动,的确能为梅雨锋暴雨的落区预报提

供信息;②引入 Q 矢量散度场作诊断分析时还必须与天气形势分析及其他物理量相结合才会有较好的效果。

5 暴雨落区预报概念模型及物理机制讨论在梅雨环流形势下:

$$\sum_{1000}^{400} (T - T_d) < 20^{\circ}\text{C},$$

$$\theta_{se_{500}} - \theta_{se_{850}} < 0\text{K},$$

$$700\text{hPa} \nabla \cdot \vec{Q} < -1.0 \times 10^{-13} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}.$$

上述3条特征线叠置的区域即是12小时后梅雨锋暴雨的主要落区。其物理机制则是:由式(1)知: Q 矢量辐合是产生 ω 的强迫机制,而这种强迫机制的物理实质又在于 Q 矢量总是起破坏热成风平衡的作用,这时大尺度运动准热成风性质的物理约束必须要求激发次级环流,以抵消和调整这种非热成风效应,次级环流的增长一直要到重建热成风平衡为止,因此,这种次级环流会在一定的时间内得以维持,加之强劲的西南气流确保了大气水汽和能量的输送,因而在位势不稳定区激发产生的中尺度对流系统易得以迅速发展,从而导致暴雨产生。

6 结语

6.1 Q 矢量分析方法也是诊断梅雨锋次级环流的一个较好方法,能够揭示次级环流的活动,且计算简便、客观。

6.2 在江淮梅雨锋活动期的对流层低层,江淮流域通常被东西向的带状 Q 矢量辐合区

覆盖,而中尺度辐合中心只在高空短波槽前,700hPa切变线南侧及低空急流的左侧出现;在与静止锋垂直的经向剖面图上,则发现 Q 矢量散度的垂直分布有3种配置关系(南倾、北倾和垂直),它们对副高及切变线和低空急流的短期变化有较好的指示意义。

6.3 Q 矢量散度对梅雨期急流切变线暴雨的落区有较好的预报意义,其后延性较好,而对低槽冷锋暴雨过程的指示意义则较差。切变线附近的 Q 矢量辐合带与梅雨锋降雨带基本一致,雨带中的暴雨区则是与 Q 矢量散度、位势稳定度、水汽条件三者的特征线重合区有较好的对应关系。

6.4 由于 Q 矢量辐合是产生次级环流的强迫机制,因而上升运动会在一定的时间内得以维持^[2],而急流轴右侧的下沉气流又必然会加强低层水汽的横向输送,最终导致暴雨发生。

参考文献

- 1 斯公望. 论东亚梅雨锋的大尺度环流及其天气尺度扰动. 气象学报, Vol. 47, No. 3.
- 2 林本达. 大气中垂直环流的成因和诊断. 北方天气文集(6), 北京大学出版社.
- 3 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, 8.
- 4 谢重阳等. Q 矢量与 ω 方程的对比分析. 安徽气象, 1990, 2.
- 5 李国杰. 1991年7月梅雨盛期垂直环流与江淮之间暴雨带. 安徽气象, 1992, (3).

An Analysis with \vec{Q} Divergence on Heavy Rain of Meiyu Front over the Changjiang-Huaihe Valley and Forecasting of the Area of Heavy Rain

Wang Kefu Ye Jinyin

(Wuhu City Meteorological Bureau, 241000)

Abstract

Twenty processes of the Meiyu front with heavy rain over the Changjiang-Huaihe Valley are analysed by using \vec{Q} divergence. The distribution and characteristics of the \vec{Q} divergence on the middle and low layers in troposphere in Meiyu front are studied, the space-time relationship between the belt of heavy rain and the main weather system on the middle and low layers in troposphere is also studied. The results show that \vec{Q} divergence is comparatively reasonable for forecasting of the area of heavy rain on Meiyu front over Changjiang-Huaihe Valley.

Key Words: Meiyu front over Changjiang-Huaihe valley analysis with \vec{Q} divergence forecasting of the area of heavy rain