

定量分析几种 Q 矢量*

岳彩军^① 寿绍文

(南京气象学院大气科学系, 南京 210044)

董美莹

(浙江省气象局, 杭州 310021)

摘 要

结合1991年7月5日20:00~6日20:00一次典型的江淮梅雨锋暴雨过程,从台站实际业务工作需要考虑,细致、具体地比较分析了850 hPa、700 hPa及500 hPa 3个层次的准地转 Q 矢量散度场、半地转 Q 矢量散度场、非地转 Q 矢量散度场及湿 Q 矢量散度场与相应时刻地面降水场对应关系的差异,同时还针对每一种 Q 矢量,将其在850 hPa、700 hPa及500 hPa 3个层次的散度场对同时刻降水场的反映能力进行了比较。在定量比较的基础上,得到了对4种 Q 矢量诊断特性的具体认识:(1)在整个梅雨锋暴雨过程中,3个层次的半地转 Q 矢量散度场及准地转 Q 矢量散度场对雨区的反映能力较小,而非地转 Q 矢量的散度场和湿 Q 矢量的散度场对雨区的反映能力明显较前二者大,尤其是湿 Q 矢量散度场在每个层次的诊断能力基本都大于相应层次的其他 Q 矢量的散度场。(2)对于每一种 Q 矢量而言,基本都是在700 hPa的散度场与雨区的对应关系好于各自在850 hPa和500 hPa的散度场,尤其是700 hPa湿 Q 矢量散度辐合场对同时刻梅雨锋暴雨的强度及落区都有很好的指示作用。最后,基于理论的角度对各 Q 矢量的诊断特性进行了较为深入地探讨和比较分析,明确地指出了4种 Q 矢量存在理论前提上的差异。

关键词: Q 矢量 散度场 定量分析 梅雨锋暴雨

引 言

众所周知,垂直运动是大气过程发展的产物,是导致云和降水等天气现象的重要动力条件。但垂直运动至今无法测量,因而它的计算方案及诊断方法显得尤为重要^[1~3]。在文献中, Q 矢量方法被誉为业务垂直运动估算的高级方法^[4]。 Q 矢量这个概念是Hoskins等1978年提出来的。自20世纪80年代以来,其在实际天气诊断分析中得到了广泛的应用。与此同时,人们在理论上也对其加以深入研究,并相继提出了半地转 Q 矢量(Q^A)、非地转 Q 矢量(Q^B)及非地转湿 Q 矢量简称湿 Q 矢量(Q^*)^[5]。但对上述几种 Q 矢量的系统比较分析工作并不多见。从理论上讲,对于伴有大量凝结潜热释放的梅雨锋暴雨这种中尺度天气现象来说,湿 Q 矢量应表现出明显的优越性,因为它是在非绝

* 本文受国家自然科学基金项目 49775259、40075009 共同资助。

2001-12-12 收到,2002-05-20 收到修改稿。

① 现为南京气象学院 2000 级在读博士研究生。

热条件下推导而得到的。通过各 Q 矢量的矢量场比较分析发现^[6],它明显优越于准地转 Q 矢量和半地转 Q 矢量,但其和非地转 Q 矢量的差别并没有被很好地揭示出来。本文将结合一次典型的江淮梅雨锋暴雨过程,通过对各种 Q 矢量散度场分别与同时次实况雨量图的对应关系,来定量地比较分析它们之间对降水场反映能力的差异。最后,从理论上加以详细探讨与分析。

1 降水概况及资料说明

1991年7月5日20:00~6日20:00在江淮流域发生一次典型梅雨锋暴雨过程。7月5日20:00(北京时间,下同)、6日08:00及6日20:00基本上代表了这次江淮梅雨锋暴雨发展、强盛、衰弱3个阶段。5日20:00(图略),在河南中部出现了孤立的降水区,然后向东扩展,降水中心东移。到6日08:00(图1),降水增幅达最大,出现1h最大降水量达37.10mm。强盛的雨团随着整个雨区的东部边缘迅速移动,而雨区西边缘的移动则相对缓慢,雨团主要沿引导气流在江淮之间向东北方向移动,6日20(图略),在苏北形成一个中心值达59.90mm/h的暴雨雨团,同时在贵州北部也有一个较弱的降水区。

为了便于说明问题,我们选取1991年7月5日20:00、6日08:00、6日20:00这3个时次的1h实况降水量分布图作为比较的背景条件。为了使比较结果有一定的实际应用价值,考虑到台站实际工作需要,我们选取上述3个时次的850hPa、700hPa及500hPa作为比较层次。计算所用资料为上述3个时次的实况资料,这也是为了确保比较的可靠性。由于所拥有的实况雨量资料范围大约为 $29.25^{\circ} \sim 38.80^{\circ} \text{N}$ 、 $109.717^{\circ} \sim 126.33^{\circ} \text{E}$,因而这个区域成为本文的主要分析范围。

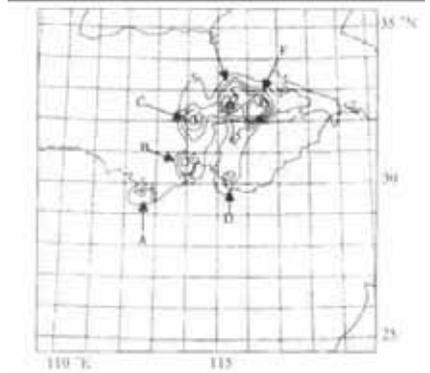


图1 1991年7月6日08:00(北京时间,下同)1h地面实况降水雨量分布图
(单位::mm,图中A、B、C...代表1h降水雨量中心)

2 几种 Q 矢量的表达式

$$Q = (Q_x, Q_y) = \left[-\frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial x} \cdot \nabla \left(-\frac{\partial \phi}{\partial p} \right), -\frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial y} \cdot \nabla \left(-\frac{\partial \phi}{\partial p} \right) \right] \quad (1)$$

$$Q^{\wedge} = (Q_x^{\wedge}, Q_y^{\wedge}) = \left\{ \frac{1}{2} \left[-\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial x} \cdot \nabla \left(-\frac{\partial \phi}{\partial p} \right) - f \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial p} \cdot \nabla v_g + v\beta \frac{\partial v_g}{\partial p} \right], \right. \\ \left. \frac{1}{2} \left[-\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial y} \cdot \nabla \left(-\frac{\partial \phi}{\partial p} \right) + f \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial p} \cdot \nabla u_g - v\beta \frac{\partial u_g}{\partial p} \right] \right\} \quad (2)$$

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

$$\frac{1}{2} [f(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial y}) - h \frac{\partial V}{\partial y} \cdot \nabla \theta] \quad (3)$$

$$Q^* = (Q_x^*, Q_y^*) = \{ \frac{1}{2} [f(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial x}) - h \frac{\partial V}{\partial x} \cdot \nabla \theta - \frac{\partial}{\partial x} (\frac{LR\omega}{C_p \cdot p} \frac{\partial q_s}{\partial p})] , \quad (4)$$

$$\frac{1}{2} [f(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial y}) - h \frac{\partial V}{\partial y} \cdot \nabla \theta - \frac{\partial}{\partial y} (\frac{LR\omega}{C_p \cdot p} \frac{\partial q_s}{\partial p})] \}$$

式(1)~(4)分别为准地转 Q 矢量、半地转 Q 矢量、非地转 Q 矢量及湿 Q 矢量的计算表达式^[7-10]。式(1)各计算项中均包含地转风;式(2)中不仅含有地转风,同时还包括了实际风;式(3)各计算项都包含实际风;式(4)不仅全部为实际风计算,同时还包括了凝结潜热加热项。最近,姚秀萍等^[11,12]用另外一种方法推导出与此类似的计算公式。在上述 4 个表达式中,下标 x, y 各自代表 x 方向、 y 方向的分量。其它为气象上常用物理量。

此外,用几种 Q 矢量表示强迫项的 ω 方程有共同的形式即为

$$\nabla^2 (\sigma\omega) + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = -2 \nabla \cdot Q \quad (5)$$

当 ω 场具有简谐波状特征时,有以下关系: $\omega \propto \nabla \cdot Q$, 所以可推断出,当 $\nabla \cdot Q < 0$ 时, $\omega < 0$ 为上升运动,反之则为下沉运动。

3 具体比较分析

在通常情况下,对于暴雨过程中垂直速度的计算结果,一般将其与云雨分布对比来评估其可信程度。具体方法是,将雨带走向及中心位置与垂直速度作对比,只要两者大体一致就被视为基本可信^[13]。本文将变换成 Q 矢量的散度场分布特征与雨带走向及中心位置之间的对比。

3.1 平面比较分析

1991 年 5 月 20 日(图略),准地转 Q 矢量及半地转 Q 矢量仅 700 hPa 散度辐合区能反映出个别雨区,其它两层对雨区基本无反映。非地转 Q 矢量、湿 Q 矢量在 850 hPa 上散度散、合特征不明显,在 700 hPa、500 hPa 上对雨区的反映明显强于准地转 Q 矢量、半地转 Q 矢量,尤其在 700 hPa 上,二者的散度辐合场将主要降水中心的位置都准确地反映出来,并且在该层湿 Q 矢量的散度辐合强度与降水强度对应得也非常好,也就说 700 hPa 湿 Q 矢量的散度辐合中心的位置与其散度辐合强度对降落的落区及降落的强度有非常好的指示作用,这也是其它 Q 矢量无法比拟的。但不可否认,位于(31.8°N, 114°E)附近的降水中心在湿 Q 矢量散度辐合场上也没能表现出来。

在梅雨锋暴雨强盛时期(图 2),各 Q 矢量的表现有着明显的不同:准地转 Q 矢量在三层的散度辐合场分布对雨区均无反映。半地转 Q 矢量在 850 hPa、700 hPa 能反映出个别降水区,但降水强度是无法表现出来的,500 hPa 上对雨区无反映。非地转 Q 矢量对实际降落的反映明显优越于半地转 Q 矢量,其 850 hPa 散度辐合场能将主雨带反映出来,但强度偏弱。700 hPa 散度辐合场能将所有雨区及降水中心的位置反映出来。所有雨区

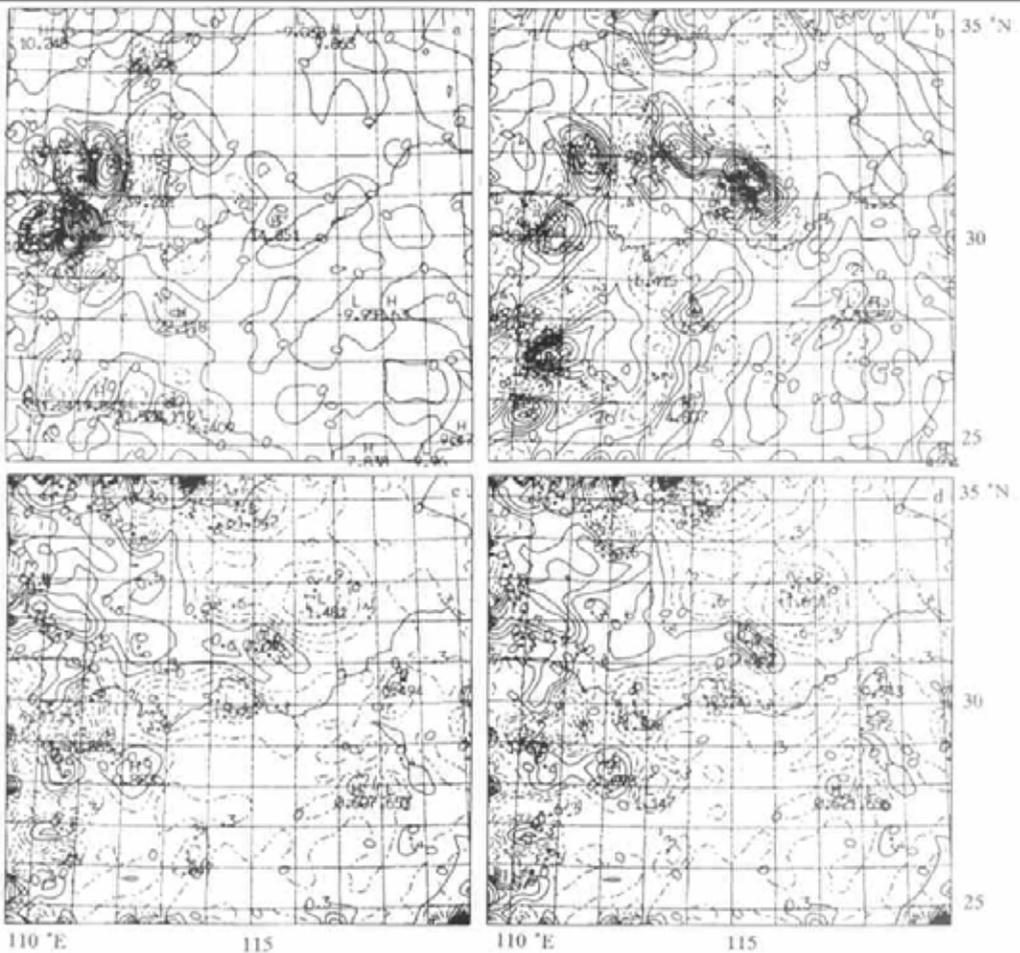


图2 1991年7月6日08:00 700 hPa各 Q 矢量的散度($2 \nabla \cdot Q$)场分布

(a) 准地转 Q 矢量, (b) 半地转 Q 矢量,

(c) 非地转 Q 矢量, (d) 湿 Q 矢量

(图中实线代表辐散, 虚线代表辐合, 单位: $10^{-15} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$)

也都处在500 hPa非地转 Q 矢量散度辐合区中,但辐合中心与降水中心在位置及强度配置上不理想。在各个层次中,湿 Q 矢量表现出其良好的诊断特性,850 hPa湿 Q 矢量散度辐合场能将主雨带及降水中心反映出来。700 hPa湿 Q 矢量散度辐合场不仅将所有雨区都反映出来了,而且整个雨区的降水不均匀性也被表现的淋漓尽致,每个降水中心都有湿 Q 矢量散度辐合中心与其对应,二者不仅在位置上,而且在强度上对应得都异常的好。500 hPa湿 Q 矢量散度辐合场对雨区的反映较其它 Q 矢量也有不错的表现。从总体情况而言,湿 Q 矢量的诊断特性比其它 Q 矢量都好,在梅雨锋暴雨强盛时期表现得尤为明显。从总的预报效果来看,700 hPa湿 Q 矢量散度辐合场对降水预报有最好的指示意义。

7月6日20:00基本上为此次梅雨锋气旋的衰亡起始时刻,气旋已移至苏北地区,且

气旋的东部已入海,江淮地区中西部上空主要受偏西及西北气流控制,无降水发生。各 Q 矢量的散度场(图略)在此阶段的表现有以下特点:准地转 Q 矢量、半地转 Q 矢量 3 层散度场对雨区几乎无反映,非地转 Q 矢量、湿 Q 矢量散度场的表现则明显较前二者优越。湿 Q 矢量与非地转 Q 矢量在 850 hPa 及 700 hPa 上的散度散、合特征分布基本相似,且前者的辐合强度比后者大。二者散度辐合区基本上将主要降水区反映出来了,但在中心位置配置上偏南一个纬度左右。500 hPa 湿 Q 矢量散度分布则明显好于其它 Q 矢量,但较自身 700 hPa 差。显然,非地转 Q 矢量及湿 Q 矢量的散度辐合场在气旋衰亡阶段对降水的反映能力要小于二者在气旋的形成阶段及气旋的强盛时期。

3.2 剖面比较分析

为了能更清楚说明问题,我们作出沿上述 3 个时刻的 1 h 最大降水中心的几种 Q 矢量散度垂直剖面图,来进一步探讨它们诊断特性的差异。

1991 年 7 月 5 日 20:00 垂直剖面图(图略)上,降水中心上空没有准地转 Q 矢量散度辐合中心与其对应。从半地转 Q 矢量散度垂直剖面图上也很难判断出雨区的大致位置及降水强度。700~650 hPa 非地转 Q 矢量与湿 Q 矢量散度辐合区的分布对实际降水的位置及强度有指示作用,但与降水中心对应的散度辐合中心的强度后者大于前者,更能反映出实际降水强度。

从图 3 可以看出,任一层的准地转 Q 矢量及半地转 Q 矢量在此时刻的散度辐合场对实际降水不能作出理想反映。湿 Q 矢量及非地转 Q 矢量对此时刻降水的位置与强度反映较半地转 Q 矢量及准地转 Q 矢量优越。其中,湿 Q 矢量的指示作用较非地转 Q 矢量表现得更为准确。在此时刻最大湿 Q 矢量散度辐合中心位于 600 hPa 高度上,其垂直对应于 32.8°N 附近,较最大降水中心的位置略偏北。由于湿 Q 矢量散度分布随高度向北倾斜,因而 700 hPa 的散度辐合场恰好与地面降水的位置有准确的垂直对应,这说明了最大散度辐合中心不在 700 hPa 但 700 hPa 的散度场却与雨区有最好的对应原因。这也从另一个角度说明前文在 Q 矢量散度平面图上对几种 Q 矢量诊断能力的分析比较是客观的。

6 日 20:00(图略)几种 Q 矢量的最大散度辐合中心与最大降水中心在位置对应上都存在着偏差,但从整个雨区上空 Q 矢量散度分布情况来看,任一层的准地转 Q 矢量及半地转 Q 矢量的散度辐合场都无法将整个雨区反映出来。非地转 Q 矢量及湿 Q 矢量散度辐合区随垂直高度向北倾斜,最大散度辐合中心位于 700~650 hPa,湿 Q 矢量散度辐合强度大于非地转 Q 矢量的辐合强度。650 hPa 上湿 Q 矢量散度向北延伸得最远,最大散度辐合中心的垂直位置大约在 32.8°N 附近,较雨团中心偏南一个纬度左右。这对于此时刻平面图上 700 hPa 湿 Q 矢量散度中心为什么偏南,850 hPa 及 500 hPa 湿 Q 矢量散度为什么不仅偏南而且偏弱给出了很好的解释。

上述比较分析表明, Q 矢量垂直剖面图的分析结果从另一角度支持了前述平面图上分析所得到的结论是可靠的,同时进一步表明 700 hPa 湿 Q 矢量散度辐合场对实际降水预报有指示意义。

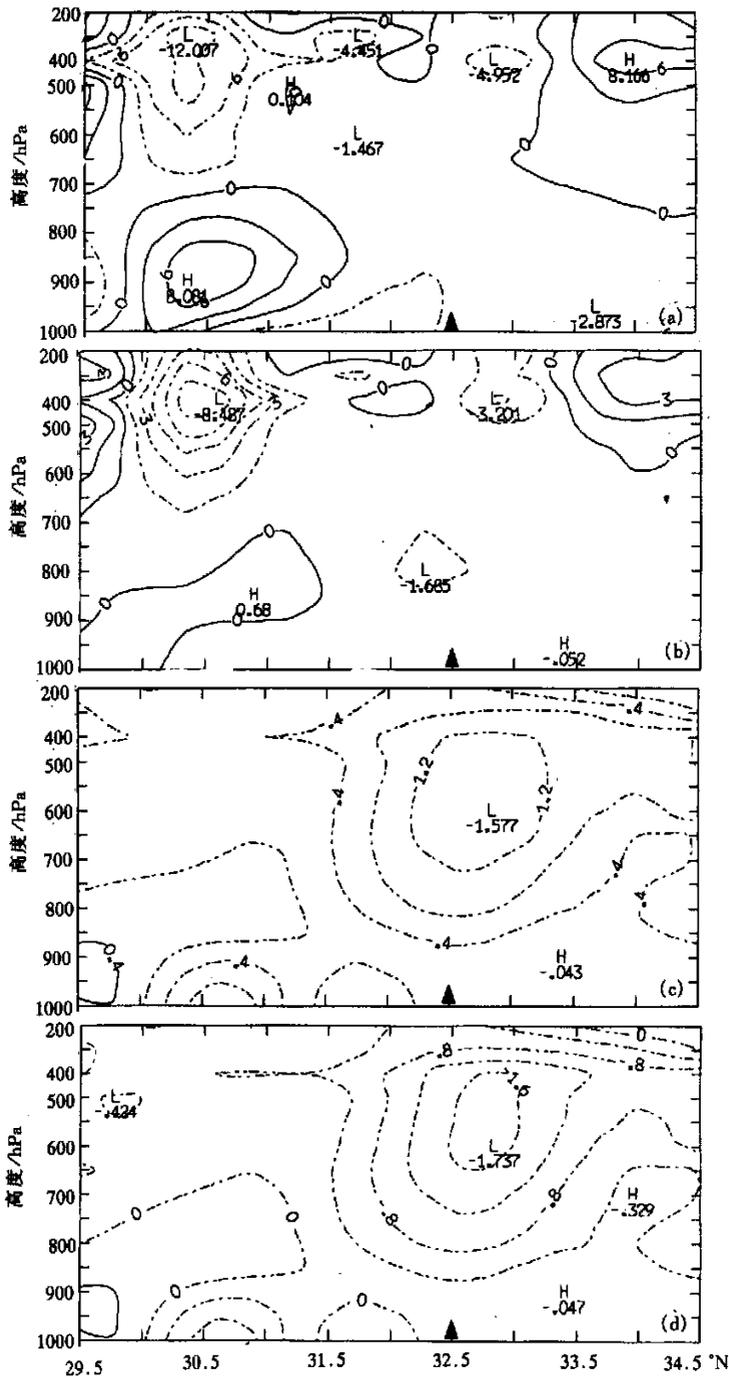


图3 1991年7月6日08:00各Q矢量散度沿116.5°E ($j=28$)的垂直剖面图
 (a) 准地转Q矢量, (b) 半地转Q矢量, (c) 非地转Q矢量, (d) 湿Q矢量
 (图中实线代表辐散, 虚线代表辐合, 单位: $10^{-15} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ ▲代表最大降水中心)

4 结 论

(1) 就对降水的落区及强度的反映能力而言,半地转 Q 矢量与准地转 Q 矢量基本无表现。非地转 Q 矢量好于准地转 Q 矢量及半地转 Q 矢量。湿 Q 矢量的诊断分析特性最好。

(2) 700 hPa 湿 Q 矢量散度辐合场对同时刻梅雨锋暴雨的强度及落区都有很好的指示作用,基本上能够准确地反映出同时刻降水的落区及降水的强度。

不可否认,在个别时刻湿 Q 矢量散度辐合中心在位置上与同时刻降水中心的对应还存在一定的偏差,“空报”及“夸张”现象也是不容忽视的,因而在利用湿 Q 矢量散度辐合场来作实际降水预报时,最好还要结合实况天气图及其它可利用的物理量诊断工具,从而作出更为合理的判断。

5 分析与讨论

准地转 Q 矢量及其表示的准地转 ω 方程是 Hoskins 等(1978)在准地转、准静力及绝热无摩擦的假设条件下推得的。然而在准地转近似下,对非地转风的作用消弱很大,因而无论是准地转 Q 矢量还是准地转 Q 矢量表示的准地转 ω 方程,并不考虑地形作用或中尺度现象,只能给预报员提供了一个评价与对流作用无关的大尺度强迫作用,在用于非地转性明显且伴有大量凝结潜热释放的中尺度系统诊断研究时就存在一定的缺陷^[14]。半地转 Q 矢量及其表示的半地转 ω 方程是在半地转、准静力及绝热无摩擦的假定条件下推得的,在半地转近似下的运动方程与准地转运动方程的不同之处在于保留了非地转风造成的地转动量平流;热力学方程与准地转的不同之处是,多了由非地转风引起的温度平流项。另外,在准地转模式中忽略了 β 效应,而半地转近似模式则令 $f = f_0 + \beta(Y - Y_c)$ ^[8]。一般来说,对于降水强度不是很大,非地转特征不是很强及凝结潜热释放也不是很多的尺度较大的天气现象,准地转 Q 矢量与半地转 Q 矢量对降水还能有所反映,并且半地转 Q 矢量在理论上的优越性在此时刻也能很好地反映出来。但对于降水强度大、非地转风特征显著并伴有大量水汽凝结潜热释放的梅雨锋暴雨中尺度天气来说,与准地转、准静力及非绝热假定下的准地转 Q 矢量一样,同样不太适应,因此二者的表现都很差,此时半地转 Q 矢量也无优势可言了。也就是说,在实际诊断分析工作中,半地转 Q 矢量优于准地转 Q 矢量,只不过没有理论上分析的那么明显、突出,有时甚至无优势可言。

赵瑞星、陶诗言^[15]在对梅雨锋暴雨的不平衡场研究中指出,无论强降水区还是弱降水区均存在非地转作用,在强降水区的低层非地转作用尤为明显,其量总值几乎是弱降水区的两倍。梅雨锋区均存在明显的非地转作用,在较强的降水区这种作用更为明显。非地转 Q 矢量有非常好的非地转特征,能非常接近实际降水时大气的非地转风特性,这也是其优越于准地转 Q 矢量、半地转 Q 矢量原因之所在。非地转 Q 矢量还存在一定的缺陷,主要原因在于它是在绝热情况下产生的,而实际大气在降水时,肯定会有大量凝结潜热释放,而且释放的潜热与周围的大气相互作用,促进降水的进一步加强,凝结潜热已成

为大气发生降水时的一个主要特征因子,而非地转 Q 矢量是无法将其描述出来的,所以在将其用于实际个个例诊断分析时,当然也会产生一定的误差。

上述 3 种 Q 矢量都是在假定大气是干绝热条件下得到的,而实际天气过程不是干绝热的。湿 Q 矢量是在考虑大气中水汽凝结潜热释放作用,并由非绝热的原始方程组出发推导出来的,无论是从理论上讲,还是从实际天气过程诊断分析来看,湿 Q 矢量在散度场上与雨区的配合都远远好于准地转 Q 矢量、半地转 Q 矢量,较非地转 Q 矢量而言,在散度辐合强度上湿 Q 矢量明显优于非地转 Q 矢量,并且其与实际降水强度的配合更为准确。我们知道,湿 Q 矢量与非地转 Q 矢量一样都具有非地转的特性,且湿 Q 矢量考虑了大气水汽凝结释放潜热作用。众所周知,大气中产生中尺度降水时,非地转、水汽凝结释放潜热是两大主要特征,对于非地转 Q 矢量而言,它只有一个描述特性那就是非地转,因而它将大气的非地转特性反映的淋漓尽致,所以也有非常好的表现。而对于湿 Q 矢量来讲,它不仅包含了非地转风的平流项而且包含了非绝热潜热加热项,因而它表现的是一种混合特性,非地转特性只是其一部分。因此,湿 Q 矢量较非地转 Q 矢量能更好地描述实际大气特征,在散度场上它的优越性就完全展露出来了,是其它 Q 矢量无法比拟的。许多研究结果表明^[16~21],水汽的凝结潜热作用,在梅雨锋暴雨过程中扮演着重要的角色,对促进梅雨锋气旋发展等动力学过程起着重要的作用。因此,对于梅雨锋暴雨的诊断来讲,它是一个不可忽视的物理因素,考虑到它的作用将会使诊断工作的效果变得更加完善,忽略了它将会给诊断工作带来明显的缺陷,这也是湿 Q 矢量优越于其它 Q 矢量的很好说明。诚然,湿 Q 矢量也有不足之处,其所包含的凝结潜热加热项,只是考虑了大尺度凝结加热,而中尺度对流凝结加热的信息并没有包括,对于中尺度梅雨锋暴雨过程来讲,其作用肯定存在,因而现在所使用的湿 Q 矢量缺点也是明显的,这也是其散度辐合场与雨区的配合出现误差的重要原因之一。关于湿 Q 矢量的改进工作我们将另文发表。

本文讨论的是几种 Q 矢量应用于中尺度天气的诊断情况,如果将它们应用于大尺度天气诊断,可能没有现在这么大的差别,因为在大尺度运动中它们之间的理论差异相对来说要小些。另外, Q 矢量只能分析大气中的垂直速度,而暴雨产生所需的上升运动有多种,天气尺度的强迫(Q 矢量作用)只是其中一种,其它如有效位能释放所引起的浮力作用,还有地形抬升等作用。况且 1991 年 7 月 5~6 日这场暴雨对流性甚强,范围亦大,因而强降水的出现不能完全用 Q 矢量强迫来解释。此外,本文的比较工作也并非包含所有 Q 矢量如 Davies-Jones^[22] 的广义 Q 矢量、Xu Qin^[23] 的三维 Q 矢量以及彭春华等^[14] 得到的一种非地转 Q 矢量,这也是本文的缺憾之处。具体比较工作有待将来进一步研究。

参 考 文 献

- 1 宋丽. 计算垂直运动的三种方法及其比较. 军事气象, 1980, (4): 8~14.
- 2 林本达. 大气中垂直环流的成因和诊断. 见: 北方天气文集编委会编. 北方天气文集(6). 北京: 北京大学出版社, 1987. 152~175.
- 3 郑良杰. 中尺度天气系统的诊断分析和数值模拟. 北京: 气象出版社, 1989. 41.
- 4 Lawrence B D. Evaluation of vertical motion: past, present, and future. *Wea. Forecasting*, 1991, 6(1): 65~73.
- 5 岳彩军. Q 矢量及其在天气诊断分析中应用研究的进展. 气象, 1999, 25(11): 3~8.

- 6 岳彩军. Q 矢量分析及其在梅雨锋暴雨预报中的应用: [硕士学位论文]. 南京: 南京气象学院, 2000.
- 7 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, 4(8): 25 ~ 30.
- 8 李柏, 李国杰. 半地转 Q 矢量及其在梅雨锋暴雨研究中的应用. 大气科学研究与应用, 1997, 12(1): 31 ~ 38.
- 9 张兴旺. 修改的 Q 矢量表达式及其应用. 热带气象学报, 1999, 15(2): 162 ~ 167.
- 10 张兴旺. 湿 Q 矢量表达式及其应用. 气象, 1998, 24(8): 3 ~ 7.
- 11 姚秀萍, 于玉斌. 非地转湿 Q 矢量及其在华北特大台风暴雨中的应用. 气象学报, 2000, 58(4): 436 ~ 446.
- 12 姚秀萍, 于玉斌. 完全 Q 矢量的引入及其诊断分析. 高原气象, 2001, 20(2): 208 ~ 213.
- 13 吴宝俊, 刘玉玲, 杨越奎, 等. “91.7”梅雨锋横向次级环流稳定维持原因初探. 高原气象, 1995, 14(2): 176 ~ 184.
- 14 彭春华, 洪国平, 胡伯威. 一种适用中国夏季暴雨系统诊断的非地转 Q 矢量 ω 方程. 气象学报, 1999, 57(4): 483 ~ 492.
- 15 赵瑞星, 陶诗言. 梅雨锋暴雨的不平衡场. 应用气象学报, 1992, 3(1): 108 ~ 113.
- 16 赵瑞星, 陶诗言. 几种诊断模式的比较. 应用气象学报, 1990, 1(2): 135 ~ 141.
- 17 斯公望. 论东亚梅雨锋的大尺度环流及其次天气尺度扰动. 气象学报, 1989, 47(3): 312 ~ 323.
- 18 陈嘉滨, 季仲贞, 朱抱真. 一次降水气旋生成的数值模拟. 见:《暴雨文集》编委会编. 暴雨文集. 吉林: 吉林人民出版社, 1980. 94 ~ 102.
- 19 郭英华, Anthes R A. 亚洲东南部一个梅雨系统的数值模拟. 气象科技, 1985, (3): 10 ~ 17.
- 20 李毓芳, 黄安丽, 高坤. 对流加热在梅雨暴雨系统中的作用. 中国科学 B 辑, 1986, (7): 765 ~ 775.
- 21 王华报, 杨国祥. 急流锋环流对梅雨锋暴雨的作用. 见: 总参谋部气象局编. 华东中尺度试验论文集(3). 北京: 总参谋部气象局, 1986. 49 ~ 55.
- 22 Davies-Jones R. The frontogenetical forcing of secondary circulations. Part I: the duality and generalization of the Q vector. *J. Atmos. Sci.*, 1991, 48(4): 497 ~ 509.
- 23 Xu Q. Ageostrophic pseudovorticity and geostrophic Q -vector forcing—a new look at Q vector in three dimensions. *J. Atmos. Sci.*, 1992, 49(12): 981 ~ 990.

QUANTITATIVE ANALYSIS OF SEVERAL Q VECTORS

Yue Caijun Shou Shaowen

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Dong Meiyang

(Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310021)

Abstract

Considering a typical Jiang-Huai Meiyu rainstorm event during 5 - 6 July, 1991 and the operational requirements, the differences of the capability of reflecting precipitation area among quasi-geostrophic, semi-geostrophic, ageostrophic and wet- Q vector divergence fields at 850 hPa, 700 hPa and 500 hPa are examined in detail; in the meanwhile, the capability of reflecting precipitation area for each Q vector itself in the divergence fields at the three layers is analyzed. On a quantitative comparison basis, the diagnostic features of the four Q vectors are obtained: (1) quasi-geostrophic and semi-geostrophic Q vector divergence fields at the three layers respond less obviously to the synchronous rainfall, while ageostrophic and wet-

Q vector divergence fields are better than previous two; especially, the diagnostic capability of the wet- Q vector divergence field at each layer is greater than those of the others throughout the Meiyu-front rainstorm. (2) As far as each Q vector is concerned, the 700 hPa convergence field basically has good capability of reflecting precipitation area than those at the other two layers; in particular, the convergence of the wet- Q vector divergence at 700 hPa serves as a good indicator of precipitation intensity and fallout region. At last, the diagnostic property of each Q vector is documented on a theoretical basis, and not only the theoretical differences among four Q vectors are depicted in full but the results from the quantitative comparison are confirmed theoretically as well.

Key words: Q vector Divergence field Quantitative analysis Meiyu front rainstorm