

# 准地转Q矢量分析及其在短期天气预报中的应用

白乐生

(北京大学地球物理系)

## 提 要

本文介绍了准地转Q矢量分析理论和方法;给出用Q矢量散度表示强迫项的准地转 $\omega$ 方程和Q矢量的物理意义。

用Q矢量分析方法诊断了1987年8月4日在辽宁出现的一次强对流天气过程,并与数值预报结果进行了比较,结果表明,这种方法能够较清楚地揭示强对流天气过程中大尺度环境场的变化,可以为业务预报提供一些有参考价值的信息。

## 一、引言

准地转理论是近代动力气象学的基础。中纬度大气的许多基本结构都可以使用准地转理论加以描述,因此它是中纬度天气学,或者说是中纬度地区天气预报的主要理论依据。从某种角度讲常规方法的天气预报就是这一理论的定性应用。早在40年代后期,准地转方法就被用来诊断中纬度斜压扰动所产生的垂直运动。Sutcliffe<sup>[1]</sup>将对流层上下层的“相对散度”作为环流系统的发展指标。这一发展指标可以表示成熟成风对地面地转涡度的平流和对熟成风涡度平流之和。50年代以后,得到了一般形式的 $\omega$  ( $p$ 坐标系中的垂直速度)方程,大气中的垂直运动可以认为是由绝对涡度的差动平流和温度平流的Laplace的强迫产生的。该形式方程的物理意义Holton<sup>[2]</sup>已作过详细的讨论。实际上该方程中的两个强迫项的量级相近,但是符号相反,如果分别计算两项强迫出的垂直运动有时会得出不正确的结果。所以这种形式的方程在定量计算 $\omega$ 及定性应用上有一定的困难。Trenberth<sup>[3]</sup>指出这种抵消现象在对流层中层最明显。为了克服这个缺点,他用类似Sutcliffe的方法将 $\omega$ 方程的强迫项表示成成熟成风涡度平流。同Sutcliffe一样,在该形式的强迫项中忽略了地转变形项的作用,因此这种形式的 $\omega$ 方程仅适用于斜压性比较小的对流层中层。

Hoskins等<sup>[4]</sup>用另一方法推导出了完全的准地转 $\omega$ 方程,保留了准地转方程组所能描述的所有过程的作用,不仅避免了传统 $\omega$ 方程的缺点,而且有物理意义清楚、计算简单的特点,适用于整个对流层(或者说斜压性较大的情况)。他将准地转强迫项表示成一个矢量的散度,将这个矢量称为Q矢量。用Q矢量散度表示 $\omega$ 的大小及分布,不仅能

避免直接求解 $\omega$ 方程的大量计算,表示出产生 $\omega$ 的强迫机制的强弱,而且由于在对流层低层Q矢量与非地转速度成正比,所以Q矢量亦可表示低层的非地转速度场。同时用Q矢量可将准地转锋生函数表示成物理意义清楚,表达式简单的形式。对一个理想斜压波和一个实际个例的分析结果表明用这种方法能得到清晰的动力学特征,特别是斜压扰动中二级垂直环流的分布。

Hoskins的这一发展可称为“Q矢量分析方法”。Bornes<sup>[5]</sup>用这个方法建立了一个微机诊断分析系统,并用其分析了几个夏季中尺度云团系统的个例,将分析结果与有限区域数值预报进行了比较。根据所得的结果,他认为Q矢量分析方法可以作为一种诊断工具用于短期天气预报业务。

本文在第二节中简单讨论传统 $\omega$ 方程的缺点,在第三节介绍HoskinsQ矢量分析方法,第四节用准地转理论诊断分析一个夏季中纬中尺度云团的个例,最后简单介绍Barnes<sup>[5]</sup>的准地转诊断分析系统。

## 二、传统 $\omega$ 方程的缺点

在绝热条件下,一般形式的准地转 $\omega$ 方程可写成如下形式:

$$\delta \nabla^2 \omega + f_0^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = F \quad (2.1)$$

$$F = f_0 \frac{\partial}{\partial p} \left[ \mathbf{V}_g \cdot \nabla (\zeta_g + f) \right] +$$

$F_1$

$$\nabla^2 \left[ \mathbf{V}_g \cdot \nabla \left( -\frac{\partial \Phi}{\partial p} \right) \right]$$

$F^2$

其中 $\delta = -\frac{1}{\rho \theta} \frac{\partial \theta}{\partial p}$ 为静力稳定度参数,  $\zeta_g$

为地转涡度,  $\varphi$  为位势高度。F 为准地转强迫项,  $F_1$  为地转涡度差动平流,  $F_2$  为地转风温度平流的 Laplace。根据偏微分方程理论, 当  $\omega$  在三维空间近似呈正弦函数分布时, 有如下关系:

$$\omega \propto -F$$

由此可推断, 在气压槽的东部, 如果气旋式涡度平流随高度增加(减小), 则对应上升(下沉)运动。 $F_2$  表示强的暖(冷)平流区对应上升(下沉)运动。从表面上看, 可以分别计算  $F_1$ ,  $F_2$  各自强迫出的垂直运动, 再将得到的结果相加就可得到总的  $\omega$ 。但实际上这两项是相关的, 每一项中都包含着与另一项中一部分相抵消的成分, 这使得分别计算的结果不能表示实际的  $\omega$ 。

为了说明这种抵消的存在, 将  $F_1$ ,  $F_2$  改写成如下形式:

$$F_1 = f_0 \frac{\partial V_g}{\partial p} \cdot \nabla \zeta_g + f_0 V_g \cdot \nabla \frac{\partial \zeta_g}{\partial p} + f_0 \beta \frac{\partial u_g}{\partial p} \quad (2.2)$$

A                      B                      C

$$F_2 = f_0 \frac{\partial V_g}{\partial p} \cdot \nabla \zeta_g - f_0 V_g \cdot \nabla \frac{\partial \zeta_g}{\partial p} -$$

A                      B

$$2 \left[ J \left( u_g, \frac{\partial u_g}{\partial p} \right) + J \left( v_g, \frac{\partial v_g}{\partial p} \right) \right] \quad (2.3)$$

D

其中  $J(\alpha, \beta) = \frac{\partial \alpha}{\partial x} \frac{\partial \beta}{\partial y} - \frac{\partial \beta}{\partial x} \frac{\partial \alpha}{\partial y}$  为 Jacobi 算子。(2.2) 和 (2.3) 式各项所表示的意义如下:

- A: 热成风相对涡度平流
- B: 地转风对热成风涡度的平流
- C: 热成风的牵连涡度平流
- D: 地转变形项

在 (2.2)、(2.3) 式中, B 项, 即地转风对热成风涡度的平流是抵消的, 总的强迫为:

$$F = 2A + C - 2D$$

即热成风涡度平流、热成风牵连涡度平流、地转变形作用三部分之和。C 项的作用是当热成风  $y$  方向分量指向赤道, 即地转风随高度减小时强迫出上升运动, 在一般情况下(如系统的尺度不很大时) 其为小项, 可以忽略。B 项的量级与 A 相当, 但因抵消, 对总的  $\omega$  无贡献。

D 项写成如下形式:

$$2D = E \frac{\partial D'}{\partial p} - D' \frac{\partial E}{\partial p} \quad (2.4)$$

其中  $D' = \partial v_g / \partial x + \partial u_g / \partial y$ ,  $E = \partial u_g / \partial x - \partial v_g / \partial y$ ,  $u_a = u - u_g$  为非地转风分量,

$\partial v_g / \partial y$ 。Wiin-Nielsen<sup>[6]</sup> 讨论了 500hPa 的地转变形项的作用, 得出以下结论:

- 1) 当地转风与等温线平行时  $D = 0$
- 2) 在局地 D 的量级比 A 小, 其平均值约为 A 平均值的一半
- 3) D 的尺度比 A 小<sup>[3]</sup>

但是 2)、3) 不适用于对流层中层及斜压性较小的情况下, 可以忽略地转变形项的作用。

根据以上分析, Trenbenth<sup>[3]</sup> 忽略地转变形项及  $\beta$  效应, 将准地转  $\omega$  方程的强迫项表示成如下形式:

$$F = 2f_0 \frac{\partial V_g}{\partial p} \cdot \nabla \zeta_g \quad (2.5)$$

其意义是上升运动出现在热成风对气旋式涡度平流(即正的热成风涡度平流)处。这种简化的优点是, 仅用一张有位势高度和厚度的图(或涡度、厚度图)就可估计出  $\omega$ 。但是在锋区和斜压性较大的情况下, 地转变形项的量级与 (2.5) 式的量级相同, 不应略去。

### 三、Q 矢量分析方法

准地转、准静力、绝热无摩擦的 p 坐标动力学方程组如下:

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + V_g \cdot \nabla \right) u_g - f v_a = 0 \quad (3.1)$$

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + V_g \cdot \nabla \right) v_g + f u_a = 0 \quad (3.2)$$

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + V_g \cdot \nabla \right) \left( -\frac{\partial \varphi}{\partial p} \right) - \delta \omega = 0 \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial u_a}{\partial x} + \frac{\partial v_a}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial p} = -\alpha \quad (3.5)$$

$$f u_g = -\frac{\partial \varphi}{\partial y} \quad f v_g = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad (3.6)$$

$$f \frac{\partial u_g}{\partial p} = \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{\partial \varphi}{\partial p} \right) \quad f \frac{\partial v_g}{\partial p} = -\frac{\partial}{\partial x} \left( -\frac{\partial \varphi}{\partial p} \right) \quad (3.7)$$

其中  $\delta = -\frac{\alpha}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial p}$  为静力稳定度参数,

$\alpha = \frac{1}{\rho}$  为比容,  $\varphi$  为重力位势。为简化推导过程, 设  $f = \text{常数}$ 。将 (3.1)、(3.2) 对  $p$  求导, (3.3) 分别对  $x$ ,  $y$  求导得

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V}_g \cdot \nabla\right) f \frac{\partial u_g}{\partial p} - f^2 \frac{\partial v_a}{\partial p} = -f \frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial p} \cdot \nabla u_g \quad (3.8)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V}_g \cdot \nabla\right) \left[ \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right) \right] - \frac{\partial}{\partial y} (\delta\omega) = -\frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial y} \cdot \nabla \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right) \quad (3.9)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V}_g \cdot \nabla\right) f \frac{\partial v_g}{\partial p} + f^2 \frac{\partial u_a}{\partial p} = -f \frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial p} \cdot \nabla v_g \quad (3.10)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V}_g \cdot \nabla\right) \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right) \right] - \frac{\partial}{\partial x} (\delta\omega) = -\frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial x} \cdot \nabla \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right) \quad (3.11)$$

利用热成风关系及  $\frac{\partial u_g}{\partial x} + \frac{\partial v_g}{\partial y} = 0$ , 消去 (3.8)

— (3.11) 中的时间导数项得:

$$\frac{\partial}{\partial x} (\delta\omega) - f^2 \frac{\partial u_a}{\partial p} = -2Q_1 \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (\delta\omega) - f^2 \frac{\partial v_a}{\partial p} = -2Q_2 \quad (3.13)$$

$$\text{其中 } \mathbf{Q} = (Q_1, Q_2) = \left( -\frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial x} \cdot \nabla \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right), -\frac{\partial \mathbf{V}_g}{\partial y} \cdot \nabla \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right) \right) \quad (3.14)$$

将 (3.12) 对  $x$  求导, (3.13) 对  $y$  求导, 再利用 (3.4) 消去含  $u_a, v_a$  的项, 即得用  $\mathbf{Q}$  矢量表示强迫项的准地转  $\omega$  方程:

$$\nabla^2_k (\delta\omega) + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = -2\nabla \cdot \mathbf{Q} \quad (3.15)$$

上式的意义是, 在  $f$  平面上准地转的垂直运动仅由  $\mathbf{Q}$  矢量的散度决定。 $\mathbf{Q}$  为作用在水平温度梯上的地转速度形变的常数倍。由以下关系:

$$\omega \propto \nabla \cdot \mathbf{Q}$$

可推断出, 当  $\nabla \cdot \mathbf{Q} < 0$  时  $\omega < 0$  为上升运动, 反之为下沉运动。为了进一步说明  $\mathbf{Q}$  的意义, 取  $x$  轴与等温线相切,  $y$  轴指向冷空气。这

时  $\partial T / \partial x = 0$ , 即  $\frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right) = 0$ , 方程 (3.14)

化成:

$$\mathbf{Q} = \left( -\frac{\partial v_g}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right), -\frac{\partial v_g}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial p}\right) \right)$$

$\partial v_g / \partial x, \partial v_g / \partial y$  分别为地转运动的水平切变与汇合项, 分成图 1 所示的两种情况讨论:

1) 如图 1 (a) 所示, 对于  $\mathbf{Q}$  指向  $x$  轴正向的情况, 有  $\nabla \cdot \mathbf{Q} < 0$ 。 $\mathbf{Q}$  指向  $x$  负向时  $\nabla \cdot \mathbf{Q} > 0$ 。这表明空气团向北运动时将上升, 向南运动时下沉。

2) 如图 1 (b) 所示, 在暖空气中有  $\nabla \cdot \mathbf{Q} < 0$ , 在冷空气中有  $\nabla \cdot \mathbf{Q} > 0$ 。这表示暖空气上升, 冷空气下沉。

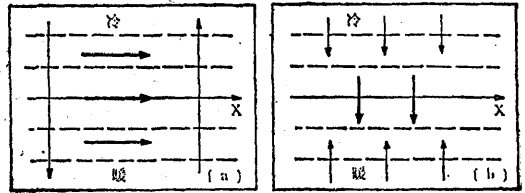


图 1  $\mathbf{Q}$  的水平切变和汇合项

a 为水平切变,  $\frac{\partial v_g}{\partial x} > 0, Q_1 > 0, Q_2 > 0$

b 为汇合,  $\frac{\partial v_g}{\partial y} < 0, Q_1 = 0, Q_2 = 0$

虚线为等温线, 细箭头为  $\mathbf{V}_g$ , 粗箭头为  $\mathbf{Q}$  矢量

方程 (3.14), (3.12) 和 (3.13) 表示三维非地转环流与  $\mathbf{Q}$  矢量的关系。将 (3.12) 对  $y$  求导, (3.13) 对  $x$  求导, 利用 (3.4) 消去含  $(\delta\omega)$  的项得:

$$f^2 \frac{\partial}{\partial p} \left[ \frac{\partial v_a}{\partial x} - \frac{\partial u_a}{\partial y} \right] = 2 \left( \frac{\partial Q_1}{\partial x} - \frac{\partial Q_2}{\partial y} \right) \quad (3.16)$$

即非地转风涡度的垂直梯度与  $\mathbf{Q}$  矢量的旋度成正比。根据尺度分析<sup>[4]</sup>, (3.15) 式可简化成下面的形式:

$$\nabla_k \cdot \frac{\partial \mathbf{V}_a}{\partial p} = \frac{1}{f^2} \nabla \cdot \mathbf{Q} \quad (3.17)$$

上式表示非地转风垂直切变的散度与  $\mathbf{Q}$  矢量散度成正比。在对流层下层, 近地面的非地转风最大, 设下标  $L, u$  分别表示近地面层与上层非地转风较小的层次, 则有以下近似关系:

$$\frac{\partial v_a}{\partial p} = \frac{V_{au} - V_{aL}}{p_u - p_L} = \frac{V_{aL}}{p_L - p_u} = \frac{V_{aL}}{\Delta p} \quad (3.18)$$

利用上式, 可得 (3.16)、(3.17) 在对流层下层的近似表达式:

$$\mathbf{k} \cdot (\nabla \times \mathbf{V}_{aL}) = \frac{2\Delta p}{f^2} \mathbf{k} \cdot (\nabla \times \mathbf{Q})$$

$$\nabla \cdot \mathbf{V}_{aL} = \frac{\Delta p}{f^2} \nabla \cdot \mathbf{Q}$$

即在对流层下层非地转风的涡度、散度分别与  $\mathbf{Q}$  向量的旋度、散度成正比。这表明在对流层下层，可以用  $\mathbf{Q}$  矢量近似表示非地转运动。

为了导出用  $\mathbf{Q}$  矢量表示的准地转锋生函数，将 (3.9)、(3.11) 合并与成矢量式：

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V}_g \cdot \nabla \right) \nabla \left( -\frac{\partial \varphi}{\partial p} \right) = \mathbf{Q} + \nabla_k(\delta\omega)$$

在上式两端同时点乘  $\nabla \left( -\frac{\partial \varphi}{\partial p} \right)$  得：

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V}_g \cdot \nabla \right) \left| \nabla \left( -\frac{\partial \varphi}{\partial p} \right) \right|^2 = 2\mathbf{Q} \cdot \nabla \left( -\frac{\partial \varphi}{\partial p} \right) + 2\nabla(\delta\omega) \cdot \nabla \left( -\frac{\partial \varphi}{\partial p} \right)$$

或写成：

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V}_g \cdot \nabla \right) |\nabla T|^2 = \frac{P}{R} [2\mathbf{Q} \cdot \nabla T + 2\nabla(\delta\omega) \cdot \nabla T]$$

上式即为  $\mathbf{Q}$  矢量形式的准地转锋生函数。等式右端第一项表示，当  $\mathbf{Q} \cdot \nabla T > 0$  即  $\mathbf{Q}$  指向冷空气时，气团锋生，反之锋消；第二项表示当  $\omega$  向冷空气方向减小时，气团锋生，这项的量级较小可略去，准地转的锋生函数可近似表示成：

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{V}_g \cdot \nabla \right) |\nabla T|^2 = \frac{2p}{R} \mathbf{Q} \cdot \nabla T \quad (3.19)$$

上述讨论分析说明，用  $\mathbf{Q}$  矢量散度表示强迫项的  $\omega$  方程，形式简明，物理意义清楚，即无传统形式  $\omega$  方程的缺点，也避免了 Sutcliffe 和 Trenberth 方法的不足。用  $\mathbf{Q}$  矢量表示的锋生函数也比较简明。另外，可以用  $\mathbf{Q}$  矢量来估计低层的非地转运动的分布与强度。

#### 四、实际天气个例的诊断

##### 1. 天气实况与数值预报的结果

本文分析的个例是1987年8月4—5日在辽宁地区出现的一次强对流天气过程。图2为1987年8月4日20时和5日02时的云图。在4日08时，辽宁北部  $45^\circ\text{N}$  处有由小块积云组成的冷锋云线向东南移动（图略），4日20时冷锋云系移到辽宁中部，其上已形成几块发展强盛的对流单体。到5日02时，这些



图2 日本GMS-3红外卫星云图  
a为1987年8月4日20时，b为1987年8月5日02时

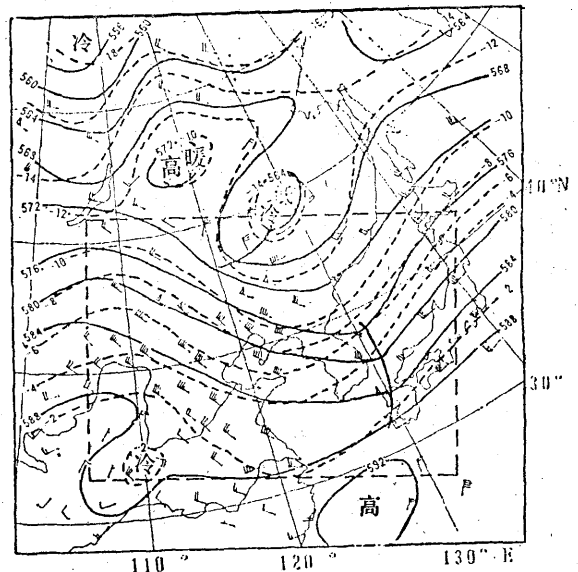


图3 1987年8月4日20时500hPa天气图

对流单体已合并形成一个中尺度对流复合体 (MCC) [7]。

从天气形势 (图 3) 上看, 这是一次东北冷涡过程。冷涡主体位于  $60^{\circ}\text{N}$ ,  $125^{\circ}\text{E}$  附近。与云图上位于朝鲜半岛南部到日本北部的的主要云系相对应, 朝鲜西部为一天气尺度槽。从 08 到 20 时该槽略向南移, 同时辽宁地区锋区加强, 并在槽前形成了一个次天气尺度的短波脊。原在主体冷涡的西南的较弱的次天气尺度横槽也略有加强。这个次天气尺度系统在  $850\text{hPa}$  比较清楚 (图略)。前述的中尺度对流复合体就形成在这个次天气尺度横槽的前部。

目前在辽宁及东北地区, 业务上常用的是日本有限区域数值预报的预报图。

对于这次过程, 这个模式的预报结果基本上能反应出大尺度场的变化, 但未报出前述的次天气尺度系统。辽宁形成中尺度云团的地区为模式所预报垂直运动的下沉区。对

于这次强对流过程的预报, 该模式的帮助不大。

## 2. 准地转 $Q$ 矢量分析

在图 3 所示的虚线框区内, 用 Barnes [6] 准地转诊断分析软件计算了  $Q$  矢量及其散度, 准地转锋生函数等物理量。

图 4 为  $400\text{hPa}$   $Q$  矢量散度。在 08 时, 有三个主要的  $Q$  矢量辐合中心分别位于东海北部, 日本海南部及辽宁与吉林之间的地区。前两个中心与云图上的主要云带相对应。位于辽宁北部的负值中心北侧有由小块对流单体组成的冷锋云线。  $800\text{hPa}$ 、 $600\text{hPa}$  上, 这个负值中心在吉林与黑龙江之间 (图略)。到 20 时, 这个负值中心略向南移, 强度变化不大。这时在这个负值中心附近偏南地区已形成发展强盛的对流单体。由于  $Q$  矢量散度所表示的是产生  $\omega$  的强迫机制, 在  $Q$  矢量辐合区的准地转上升运动会在一定时间内得以维持, 这就为强对流的发展提供了有利的动力条件。通过比较图 2b 和 4b 可以看到  $Q$  矢量辐合区与中尺度云团的位置有很好的对应关系。

为了与 Trenberth 的方法相比较, 我们计算了  $800\text{hPa}$ 、 $600\text{hPa}$  和  $400\text{hPa}$  的地转涡度及相应层次的厚度 (图略)。根据两者的配置情况可估计出准地转热成风涡度平流的大小。计算分析结果表明中尺度云团生成区有一定强度的正热成风涡度平流, 但其位置偏北, 与系统的对应关系不如  $Q$  矢量散度好。

我们还计算了准地转的锋生函数, 水汽、层结稳定度及稳定度倾向。用  $Q$  矢量表示的锋生函数基本上反映出强对流发生处锋区增强的情况。计算分析结果表明, 这次强对流过程发生、发展在准地转强迫上升中心附近, 水汽条件适合, 层结稳定度下降的地区。

以上分析结果表明, 至少对这次强对流天气过程,  $Q$  矢量分析方法能够为短期天气预报业务提供一些有一定参考价值的信息。

## 五、总结

本文简单介绍了三种形式的准地转  $\omega$  方程, 讨论了它们各自的特点。用准地转理论的方法分析了在辽宁地区发生发展的一次强对流天气过程。结果表明 Trenberth 的方法在一定程度上能够描述系统垂直运动的变

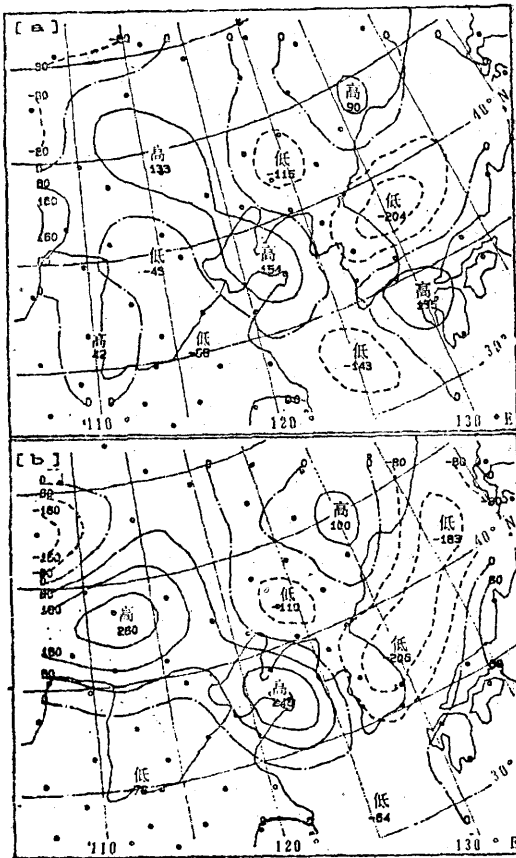


图 4  $400\text{hPa}$  的  $Q$  矢量散度 ( $10^{-18}\text{s}^{-1}\text{hPa}^{-1}$ )  
a 为 1987 年 8 月 4 日 08 时, b 为 8 月 4 日 08 时

化, Q矢量分析方法则能提供详细得多的信息。Q矢量分析比较清楚地揭示了这次过程中次天气尺度场的垂直运动的演变及其与强对流系统的联系。

本文承陈受钧教授指导, 谨致谢意。

### 参考文献

- [1] Sutcliffe, R. C., A contribution to the problem of development. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 73, 370—383. 1947.
- [2] Holton, J. R., An Introduction to Dynamic Meteorology. 2nd ed. *Int. Geophys. Ser.*, 23, Academic Press, 391pp. 1979.
- [3] Trenberth, K. E., On the interpretation of the diagnostic quasi-geostrophic omega equation. *Mon. Wea. Rev.* 106, 131—137. 1978.
- [4] Hoskins, I. Draghici and H. C. Davies, A new look at the  $\omega$ -equation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 104, 31—38. 1978.
- Hoskins, B. J. and M. A. Pedder, The diagnosis of middle latitude synoptic development.

- Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 106, 707—791. 1980.
- [5] Barnes, S. L., Mesoscale objective map analysis using weighted time-series observations. 60pp (NTIS Rep. No. COM-73-10781, National Technical Information Service, Springfield, VA); 1973.
- Barnes, S. L. Omega diagnostics as a supplement to LFM/MOS guidance in weakly forced convective situations. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 2122—2141, 1985.
- Barnes, S. L. Analysis of quasi-geostrophic forcing during the AIMCS project. Vol. 1, discussion. NOAA Tech. Mem. ERL ESG-27, 31pp. 1987.
- [6] Wiin-Nielsen, A., On a graphical method for an approximate determination of the vertical velocity in the mid-troposphere. *Tellus*, 11, 432—440, 1959.
- [7] Maddox, R. A., Mesoscale convective complexes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 61, 1374—1387. 1980.

## Quasi-geostrophic Q-vector analysis and its application in short-range forecasting

Bai Lesheng

(Department of Geophysics, Beijing University)

### Abstract

In this paper, the quasi-geostrophic Q-vector analysis method is introduced. By means of Q-vector analysis, we diagnosed a severe convective storm episode (4—5 August 1987) in Liaoning Province and compared the diagnostic result with LFM prediction. The results suggest that the Q-vector analysis can reveal the synoptic and sub-synoptic scale circulation change during the severe convection and provide some valuable information for local short range weather forecasting.