

文章编号: 1006-4354 (2003) 05-12-04

Q 矢量理论在暴雨分析中的应用介绍

周丽峰

(陕西省气象台, 陕西西安 710015)

摘要: 介绍 Q 矢量理论的产生、应用发展和 Q 矢量的几种常用形式以及 Q 矢量理论在暴雨中尺度诊断分析中的应用和 Q 矢量分解在天气分析中的应用; 分析不同类型暴雨过程 Q 矢量研究成果, 表明 Q 矢量可以很好地揭示暴雨天气过程中次级环流及一些中小尺度天气系统的分布演变, 为内陆地区暴雨中尺度分析提供更多的诊断方法。

关键词: Q 矢量理论; 暴雨; 诊断分析

中图分类号: P458.1

文献标识码: B

1 Q 矢量理论的产生背景和优越性

暴雨发生和持续的关键除了要有充足的水汽、湿不稳定层结等要素外, 强烈的垂直上升运动必不可少, 垂直运动常被作为天气系统生成和发展的一个重要指标。在暴雨诊断分析中, 垂直运动的诊断是十分困难和重要的一项, 在以往的诊断中大多采用 p 坐标的 ω 方程诊断垂直环流, 但是, ω 方程右边包含垂直导数值, 这使定量计算时, 至少需要 2 层的观测资料, 给定性诊断也带来不便。此外, 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拉普拉斯的强迫产生的。当这 2 项的符号相反时, 很难定性地判断垂直运动的方向, 并且这 2 项还存在部分抵消效应, 如果分别计算 2 项强迫的垂直运动时会得到不正确的结果, 所以这种形式的方程在定量计算 ω 及定性应用上有一定的困难。然而, 在科学文献中, Q 矢量被誉为业务垂直运动估算的高级方法^[1]。Hoskins 等^[2]用另一方法推导出了完全的准地转 ω 方程, 保留了准地转方程组所能描述的所有过程的作用, 避免了传统 ω 方程的缺点, 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 ω 的大小分布能避免直接求解 ω 方程的大量计算, 只需一层等压面资料即可计算, 这在定量计算上比惯

用的 ω 方程简便。同时也能表示出产生 ω 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。此外, Q 矢量不仅能用来诊断垂直环流, 而且由于它决定了流场和温度场热成风的个别变化, 亦即决定了水平温度的个别变化, 因而还可用来预报锋生或锋消, 用 Q 矢量可方便地表示出准地转锋生函数。

2 Q 矢量理论的应用和发展

自 Hoskins 等在 1978 年提出准地转垂直运动可由 Q 矢量散度来诊断后, 人们对 Q 矢量的认识又进入了一个新阶段。在 80 年代后期, Q 矢量在实际业务工作中得到了广泛的应用, 与此同时, Q 矢量亦被用于锋生的研究。白乐生^[3]用准地转 Q 矢量理论的方法分析了辽宁地区发生的一次强对流天气过程, 表明 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。郁淑华、骆红^[4]对一次川东北涡暴雨过程进行了 Q 矢量分析, 说明 Q 矢量散度辐合产生的强迫作用为低涡生成提供了触发条件。杨小燕^[5]等应用准地转 Q 矢量理论分析了一次连续暴雨过程, 指出: Q 矢量理论固有的非常有用的特性, 对造成强对流天气的不稳定斜压大气有很好的适用性。Q 矢量与非地转风的对应关

收稿日期: 2003-06-10

作者简介: 周丽峰 (1966-), 女, 广西桂林人, 学士, 工程师, 从事短时天气预报工作。

系有助于了解揭示非地转运动造成的大尺度不稳定能量释放的本质和造成暴雨的内在机制, 这是其它准地转理论所不及的。汪克付^[6]等应用 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, 揭示了梅雨锋暴雨期对流低层 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。正是由于 Q 矢量分析方法在实际业务中有着广泛的应用价值, 对 Q 矢量理论的研究也更加深入和具体。在准地转近似下, 对非地转锋的消弱作用很大, 在应用于非地转性明显的中尺度系统诊断研究时就存在一定的缺陷, 因此李柏^[7]等引入一种新的 Q 矢量即半地转 Q 矢量 (\hat{Q})。为了较真实反映大气状况, 张兴旺^[8]推出 p 坐标系中的非地转 Q 矢量以及用非地转 Q 矢量散度作唯一强迫项的 ω 方程, 以上对 Q 矢量的研究都是在假定大气绝热的条件下进行的。张兴旺^[9]在考虑了大气凝结潜热作用的情况下, 提出了湿 Q 矢量 (Q^*) 的概念, 并由非绝热的原始方程出发, 推导出非地转的湿 Q 矢量表达式以及用湿 Q 矢量散度作唯一强迫项的非地转方程。岳彩军^[10]分析对比了准地转 Q 矢量、半地转 Q 矢量、非地转 Q 矢量以及湿 Q 矢量的诊断特性发现各 Q 矢量的矢量辐合场在 700 hPa 高度上较 850 hPa、500 hPa 与同时刻地面实况降水场对应的更好, 且湿 Q 矢量的诊断特性优于其他 Q 矢量。卢焕珍^[11]对一次渤海湾暴雨进行了湿 Q 矢量的诊断分析, 得到了低层湿 Q 矢量散度辐合场和暴雨区的对应关系。

3 Q 矢量分解及应用

Keyser 等^[12]研究表明, Q 矢量分解是一个有用的工具, 应用 Q 矢量分解能分离出具有气象意义的过程和结构, 而这些仅靠“总”的 Q 矢量是无法展示的。传统的做法是将 Q 矢量分解在沿着等温线的自然坐标系中, 与等温线平行的 Q 矢量为 Q_s , 垂直于等温线的 Q 矢量为 Q_n , 这种 Q 矢量的分解被广泛地应用在天气学中。例如 Barnes^[13]将此分解法应用于对 1987 年圣诞节在科罗拉多州东北部地区出现的一次风暴过程的诊断分析, 非常清楚地解释了在此次天气过程中一个发展成

主导涡旋的次级最大涡度值出现的成因。Martin^[14]也采用沿等温线分解 Q 矢量的方法来诊断分析气旋锢囚阶段的上升运动, 发现在气旋锢囚象限内的上升运动主要是由 Q_n 辐合强迫产生的, 因此, 这主要是天气尺度动力过程的结果, 而不是锋区尺度的结果, 即 Q_n 的辐合强迫对锢囚象限的垂直上升运动有着非常小的贡献, 同时也证明, Q_s 不能揭示出由锋区过程强迫产生的准地转垂直运动。

以上的分解方法仅仅对于准地转 Q 矢量的研究, 也只能进一步揭示出大尺度、准地转天气过程中垂直运动的强迫机制。岳彩军^[10]将分解准地转 Q 矢量的思想用于湿 Q 矢量的分解, 深入研究了不同尺度在梅雨锋暴雨过程中对于垂直运动场的激发与产生所起的作用, 对其形成机理有了更进一步的认识。发现具有大尺度特征的 $2\nabla \cdot Q_s^*$ 对垂直运动的强迫作用是非常重要的, 在大尺度 $2\nabla \cdot Q_s^*$ 强迫作用下诱发中尺度 $2\nabla \cdot Q_n^*$ 强迫作用的产生, 随着 $2\nabla \cdot Q_n^*$ 强迫作用的增强, 其强迫作用产生的次级环流增强, 降水的强度也同时随着增大, 最终由 $2\nabla \cdot Q_n^*$ 强迫作用产生次级环流直接导致梅雨锋暴雨的发生。卢焕珍^[11]在对渤海湾的一次暴雨中运用了湿 Q 矢量的分解方法, 得出了和岳彩军一致的诊断结果。

4 Q 矢量的几种应用形式

4.1 准地转 Q 矢量的表达式

由准静力、准地转、绝热无摩擦、 f 平面的 p 坐标系运动方程组推得的 Q 矢量的表达式为:

$$Q = (Q_x, Q_y) = \left\{ -\frac{R}{P} \left(\frac{\partial u_g}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial v_g}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial y} \right), -\frac{R}{P} \left(\frac{\partial u_g}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial v_g}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right\} \quad (1)$$

4.2 湿 Q 矢量 (Q^*) 表达式

考虑大气中水气凝结潜热释放作用, 从包含非绝热效应的“ p ”坐标系原始方程出发, 推导出非地转的湿 Q 矢量表达式:

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

上式中的 Q^* 矢量为 p 坐标系中的湿 Q 矢

量, Q_x^* 和 Q_y^* 分别为 x 方向和 y 方向的湿 Q 矢量的分量。

4.3 非地转湿 Q 矢量表征的 ω 方程为:

$$\nabla^2 (\sigma\omega) + f^2 \frac{\partial \omega}{\partial p^2} = -2\nabla \cdot Q^* \quad (3)$$

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

5 Q 矢量研究结果比较

白乐生^[3]在一次辽宁强对流天气诊断分析中发现降水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。

汪克付等^[6]在江淮梅雨锋暴雨分析中指出在沿锋面的纬向剖面上, 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 km 和 200 km 左右, 在径向剖面图上, 上升运动区和下沉运动区是相间出现的, 一般是 700 hPa 切变线北侧, 副热带高压内部为辐散区, 而切变线南侧和副高西北侧为辐合区, 辐合区最大水平尺度 400 km。500 hPa 上辐合最强, 反映锋区附近的上升运动较其它纬度上明显偏强。从而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 400 km, 最强上升运动在 500 hPa, 下沉区水平尺度为 300 km。从 700 hPa 水平分布看, 在切变线两侧、短波槽前、低空急流及低涡附近都是 Q 矢量的辐合区域。

郁淑华等^[4]分析指出在川东北涡形成前 12~24 h 盆地内维持一 Q 矢量辐合带, 且盆地内大部分区域 Q 矢量散度为负值。低涡就在此负值中心区下层形成。

寿绍文等^[15]在一次梅雨锋大尺度切变线雨带的动力结构中指出雨带南北两侧都各有一个正反环流形成, 但在暴雨增幅期雨带上空 Q 矢量辐合和雨带两侧的 Q 矢量辐散明显增强, 表明雨带附近的垂直环流比暴雨增幅前期有明显的增强。

卢焕珍^[11]在分析中指出, 雨区都处于湿 Q 矢

量散度辐合区内, 湿 Q 矢量散度最大辐合中心基本上与强降雨中心对应, 或与强对流云团相对应。运用了湿 Q 矢量的分解方法分析发现在整个过程中的不同阶段, 不同尺度所起的作用不同, 有明显的主次之分, 在低值系统生成逐渐发展的阶段, 大尺度对垂直运动场的强迫起主导作用, 而中尺度对垂直运动场的强迫起次要作用, 在低值系统发展成熟时, 大尺度及中尺度对垂直运动的强迫作用较前面的时段发生了根本性的变化, 此时, 中尺度对垂直运动场的强迫起主导作用, 而大尺度对垂直运动场的强迫起次要作用。在低值系统逐渐减弱阶段, 大尺度与中尺度对垂直运动的强迫作用相当。

6 讨论

近年来, Q 矢量理论在国内暴雨分析研究中的应用较为广泛, 用 Q 矢量及其散度来诊断暴雨过程中的次级环流及一些中小尺度天气系统的分布演变较为简捷, 在业务上用来估算垂直运动较为实用。但在内陆地区的暴雨诊断分析中还应用较少, 如何在实际业务中依据 Q 矢量理论研制出适合内陆地区台站日常天气预报的系统化的 Q 矢量诊断分析工具软件还需做大量工作。

参考文献:

- [1] Lawrence B. Dunn. Evaluation of vertical motion: Past, Present, and Future [J]. Wea. Forecasting, 1991, 6 (1): 65-73.
- [2] Hoskins B. J., Dagbici, and H. Cdaries. A new look at the ω -equation, Quart [J] J. R. Meteor. Soc., 1978, 104 (1): 31-38.
- [3] 白乐生. 准地转 Q 矢量分析及其在短期预报中的应用 [J]. 气象, 1988, 4 (8): 25-30.
- [4] 郁淑华, 骆红. 川东北涡暴雨环境场及 Q 矢量分析 [J]. 高原气象, 1991, 10 (1): 70-76.
- [5] 杨小燕, 曹希孝. 准地转 Q 矢量诊断场与暴雨关系的分析 [J]. 气象, 1995, 21 (11): 17-21.
- [6] 汪克付, 叶金印. 江淮梅雨锋暴雨过程 Q 矢量分析及落区预报 [J]. 气象, 1995, 21 (3): 30-34.
- [7] 李柏, 李国杰. 半准地转 Q 矢量及其在梅雨锋暴雨研究中的应用 [J]. 大气科学研究与应用, 1997, 12 (1): 31-38.
- [8] 张兴旺. 修改的 Q 矢量表达式及其应用 [J]. 热

文章编号: 1006-4354 (2003) 05-15-03

榆林干旱特征分析

刘子林, 刘晓丽

(榆林市气象局, 陕西榆林 719000)

摘要: 用 1960—2000 年榆林市 12 个县的降水和气温资料, 计算了各县 41 a 3—11 月的湿润指数, 分析表明: 干旱发生频繁, 且较严重。干旱空间分布北部风沙草滩区多, 南部丘陵沟壑区少; 具有明显的持续性和季节性特点; 年际变化大体上有 20 a 振荡周期。降水特征和地理状况是榆林多干旱发生的主要因素。

关键词: 湿润指数; 干旱; 分析; 榆林市

中图分类号: P426.6

文献标识码: B

造成干旱的因素很多, 受大气、土壤的水热状况、作物结构影响, 涉及到水分状况、地貌、土壤性质、温度、湿度、作物种类以及前期土壤含水量等因素。长期以来, 用于分析干旱的方法很多, 吕从中提出的湿润指数^[1] m 能较好地反映一个月内的水热状况, 且获取资料容易。采用湿润指数: $m = R / (T + (T/10)^2)$ 为干旱判据, 式中: R 为月降水量, T 为月平均气温, 并确定 $m \leq 2$ 时, 该月为干旱月。本文利用榆林 12 个县的逐月降水和气温资料, 计算 1960—2000 年 41 a 3—11 月的湿润指数 m 值。

1 干旱的气候特征

1.1 空间分布

长城沿线风沙草滩区的定边、横山、榆林、神木、府谷和黄河沿岸的吴堡、佳县是干旱多发区, 其中西部的定边县干旱发生最多, 369 个月中 197 个月为干旱月, 年均 4.8 个月, 干旱发生率为 53%, 南部的清涧县干旱次数最少, 年均 3.1 月, 干旱发生率为 35%。表明风沙区及地势低、温度高的地区干旱发生较多。

1.2 年际变化

对榆林市 1961—2000 年 (3—11 月) 12 个站

收稿日期: 2003-04-17

作者简介: 刘子林 (1966-), 男, 陕西榆林人, 学士, 工程师, 从事气象分析研究。

带气象学报, 1999, 15 (2): 162-167.

[9] 张兴旺. 湿 Q 矢量表达式及其应用 [J]. 气象, 1998, 24 (8), 3-7.

[10] 岳彩军. Q 矢量分析及其在梅雨锋暴雨过程中的应用 [D]. 南京气象学院, 2000.

[11] 卢焕珍. 渤海高压西侧中尺度低值系统发生发展及其与暴雨关系的诊断 [D]. 南京气象学院, 2001.

[12] Keyser D., B. D. Schmidt and D. G. Duffy. Quasi-geostrophic vertical motions diagnosed from along and cross-isentropic components of the Q vector [J]. Mon. Wea. Rev., 1992, 20 (5): 731-741.

[13] Barnes S. L. and B. R. Colman. Quasigeostrophic diagnosis of cyclogenesis associated with a cutoff extratropical cyclone-The Christmas 1987 storm [J]. Mon. Wea. Rev., 1993, 121 (6): 1613-1614.

[14] Martin J. E.. Quasigeostrophic forcing of ascent in the occluded sector of cyclones and the trowal airstream [J]. Mon. Wea. Rev., 1999, 127 (1): 70-88.

[15] 寿绍文, 励申申, 张诚忠. 梅雨锋中尺度切变线雨带的动力结构分析 [J]. 气象学报, 2001, 59 (4): 405-413.