

昆明准静止锋的准地转 Q 矢量分析^①

李英 段旭 潘里娜

(云南省气象台, 昆明 650034)

提 要

应用 Q 矢量理论, 对 1995 年 2 月一次与云南寒潮天气过程有关的昆明准静止锋进行了诊断分析。结果表明: 在 850 hPa 上, 云南东部地区存在明显的非地转辐合场, 从而引起昆明准静止锋锋生; 当 700 hPa 上 Q 矢量锋生函数值增大, 说明锋后冷空气加强, 昆明准静止锋容易南下; 低层 Q 矢量辐合带与昆明准静止锋两区有较好的对应关系。

关键词: 静止锋 Q 矢量 锋生

引 言

昆明准静止锋亦称云贵准静止锋, 是我国低纬高原地区的重要天气系统。其平均地理位置在云南沾益、贵州威宁以西, 云南昭通以南, 昆明的东北方, 锋面的走向大多呈西北~东南向, 主要存在于冬半年 11 月~4 月, 维持时间一般为 10 天左右, 长时可达 1 个月^[1]。昆明准静止锋天气一般比较稳定、单一, 锋前天气晴朗, 锋后冷雨绵绵。但当昆明准静止锋加强向西南移出其平均位置时, 常会引起云南省大部地区降温、降雨, 甚至引起寒潮天气过程, 有时还会触发大面积降雪^[2]。因此, 在日常对昆明准静止锋天气的预报中, 关键的问题是考虑锋面能否加强向西南移动越过昆明(下面简称南下)。

对于锋面的形成, 许多研究认为^[3], 首先存在一种天气尺度锋生背景, 通过其激发的非地转气流使温度梯度增大而产生锋面, 但真正的非地转运动在常规天气图和其它诊断图上是不容易发现的。Hoskins 的 Q 矢量分析理论表明^[4], 在对流层低层 Q 矢量与非地转速度成正比, 用 Q 矢量可表示低层的非地

转速度场。另外, Q 矢量散度还表示产生 ω 的强迫机制的强弱, 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。因此, 近年来 Q 矢量分析在强对流天气及锋面的诊断中得到广泛应用^[5,6]。本文应用 Q 矢量理论, 对 1995 年 2 月一次云南寒潮天气过程中的昆明准静止锋进行研究, 以探讨昆明准静止锋生成和加强南下的动力机制。

1 Q 矢量的表达式

根据文献[5], Q 矢量表达式为:

$$Q = Q(Q_1, Q_2) \\ = \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} \cdot \nabla \theta, -\frac{\partial V_y}{\partial y} \cdot \nabla \theta \right) \quad (1)$$

式中 Q_1 和 Q_2 分别是 Q 矢量在 x 和 y 方向的分量。 Q 矢量表示了作用在位温梯度上的地转变形的常数倍, 在对流层下层, Q 矢量可近似地表示非地转运动。 Q 矢量表示的 ω 方程为:

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

当 $\nabla \cdot Q < 0$, 则 $\omega < 0$, 为上升运动, 反之为下沉运动。式(2)表明, Q 矢量散度场实际

① 中国气象局和云南省气象局青年气象科学研究基金资助项目

上是准地转上升运动的强迫机制。

在准静力、绝热和无摩擦条件下, Q 矢量地转锋生函数为:

$$F_g = \left(\frac{\partial}{\partial t} + V_g \cdot \nabla \right) |\nabla_h \theta|^2 = 2Q \cdot \nabla \theta \quad (3)$$

当 $F_g > 0$ 时锋生, 反之为锋消。

本文采用国家气象局 T106 数值预报产品的实时资料, 对 1995 年 2 月 18~28 日昆明静止锋过程进行分析。资料范围为 15~40°N, 90~115°E, 经纬网格距是 1°×1°。

2 选例介绍

1995 年 2 月, 昆明准静止锋的活动非常活跃, 从 2 月 9 日开始, 云南东部地区都有静止锋出现。但锋面主要在其平均位置范围内摆动, 锋后降雨区仅限于云南东部地区, 2 月 25 日, 静止锋突然加强向西南移动, 造成云南中部和南部地区天气骤变, 并引发了一次云南省全省性的寒潮过程。图 1 给出了 21~25 日 20 时(北京时, 下同)的锋面动态。从高空天气形势来看(图略), 静止锋加强南下主要是与中高纬度冷空气的活动有关, 2 月 24 日, 500hPa 上青藏高原北侧到贝加尔湖一带高压脊在加强发展, 脊前有一小槽东移, 槽后的西北气流引导了冷空气南下, 小槽底部四川西部有一明显的温度槽, 25 日正好东移到云南东北部, 从而使处于该地静止锋后的冷空气加强, 静止锋西南移, 冷空气随之进一步南下。

3 诊断分析结果

3.1 Q 矢量场

Q 矢量理论表明^[4], 在对流层低层 Q 矢量近似代表非地转风, 而锋面通常是由于非地转气流使温度梯度增大而产生的。分析 850hPa 上的 Q 矢量分布, 发现在昆明准静止锋维持期间, 云南东部地区 Q 矢量绝对值明显要大于其它地方, 这说明该处存在较强的非地转气流, 从图 2a 来看, 锋后 Q 矢量绝对

值明显比锋前大, 锋两侧 Q 矢量的方向相对, 且与等位温线近乎垂直, 这样, 非地转风场就形成一条南北向的辐合线, 使得位温(实线)梯度增大, 产生锋生。根据 Q 矢量的定义可知, 锋生是由地转风的伸展变形造成的。而当锋后 Q 矢量场箭杆增长且其向南的分量加大时, 静止锋容易南下。在 700hPa 高度上(图 2b), 一般情况下锋面附近的 Q 矢量绝对值较低层小, 它所表示的非地转风辐合也很弱, 但当锋面加强南下时, 静止锋附近仍有明显的 Q 矢量辐合, 使位温梯度增大, 产生锋生倾向。我们知道, 昆明准静止锋是一个较为浅薄的系统, 温度梯度通常只在 700hPa 以下有明显反映, 而在 700hPa 上位温梯度明显的静止锋已具备了一定强度, 故容易移出平均位置, 扩大其影响范围。从图 2 中不难发现, 在静止锋以北的川西地区具有更强的 Q 矢量地转锋生作用, 位温梯度更为明显, 造成了附近地区的强降温降水天气, 但已不属于本文的讨论范围。

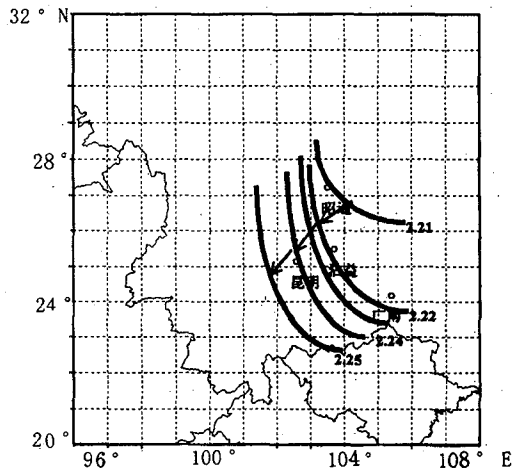


图 1 1995 年 2 月 21~25 日 20 时地面昆明准静止锋(粗实线, 下同)动态图

3.2 Q 矢量锋生函数(F_g)

分析 1995 年 2 月 21~28 日 20 时 850hPa 的 F_g 图, 发现最强锋生中心位于昆

明准静止锋后的冷气团内,锋面处于最强锋生区西南部相对弱的锋生区内,且其北段的锋生函数值较南段要大,2月26日以后,锋面退至104°E以东,云南东部地区锋生函数强度亦大为减弱,趋近于0或负值。图3a是2月24日20时850hPa上的 F_g 分布,图中,在静止锋后部有一明显的锋生中心,另外,在35°N、99°E附近又有一较强锋生中心出现,25日20时,随着北边的强锋生区向东南移动,两个锋生中心趋于合并,这使得静止锋后的 F_g 值增大,且 F_g 的正值范围向南扩展,锋面向西南移动。在700hPa上,静止锋维持少动时锋生函数值很小,一旦 F_g 值有明

显增大,就意味着锋面极有可能南下。图3b给出沿103°E F_g 时间演变,可以看出,700hPa上锋后 F_g 的增强与锋面南下有较好的对应关系,这与上述 Q 矢量场分析的结果是一致的。从天气图的分析可知,静止锋的锋生及 F_g 值的增大是由锋后冷空气及中高纬地区冷空气南下补充造成的。当冷空气不断在云南东北部堆积,到了一定程度,昆明静止锋就能克服山地和暖气团的阻挡作用而南下。 Q 矢量锋生函数的变化较好地反映了昆明准静止锋的强弱,可为预报锋面南移提供依据。

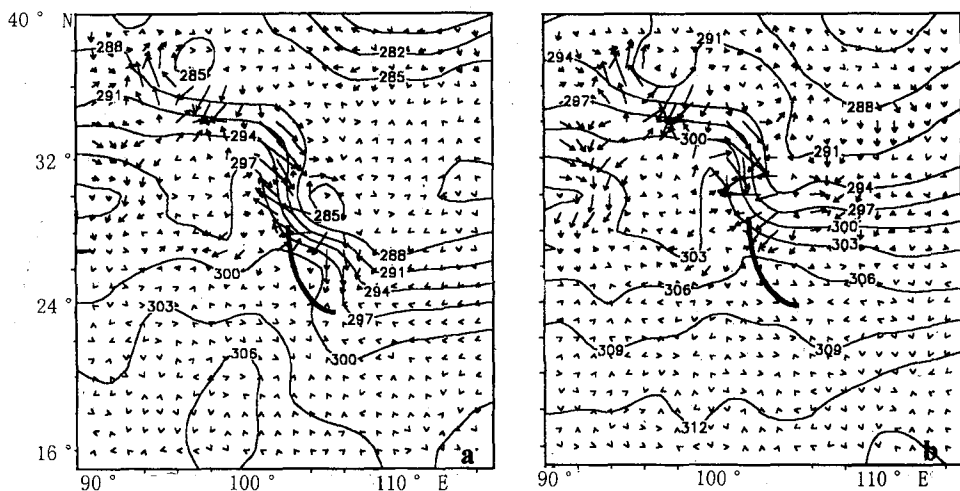


图2 1995年2月24日20时 Q 矢量(箭头所示,箭杆长短与 Q 矢量大小成正比)以及位温 θ (单位:K)分布

a. 850hPa b. 700hPa

3.3 Q 矢量散度

从昆明准静止锋过程850hPa上的 Q 矢量散度分布来看,在静止锋维持期间, Q 矢量辐合中心分别出现在锋面的北段和南段,锋面中段为辐散下沉区(图略)。此时的锋面降雨区呈分散的片状,主要出现在锋面的北段和南段。在锋面加强时,锋面北段的 Q 矢量辐合区增强且其范围向南扩展,在静止锋附近形成一条西北~东南向的 Q 矢量辐合带(如

图4a)。此时降雨明显,锋后片状雨区已南北相连成为带状。从位置来看,降水区域与 Q 矢量辐合带有较好的对应关系,强降水中心出现在强辐合中心附近。在700hPa上(如图4b), Q 矢量散度的分布情况与850hPa上的相似,锋面附近也具有带状辐合区,但这种特征只在锋面加强南移过程中(24~25日)才表现明显,一般情况下相应地区为弱的 Q 矢量辐合或辐散区,这说明静止锋南下过程也是

锋面准地转上升运动增强的过程,上升运动的增强同时又加大了锋后的降水强度。从图4中我们注意到,在锋后与锋线相距大约两个经距的地方,具有较强的 Q 矢量辐散区域,这

说明该处存在下沉气流。锋面附近的上升气流和下沉气流可能是锋面中尺度垂直环流的反映。

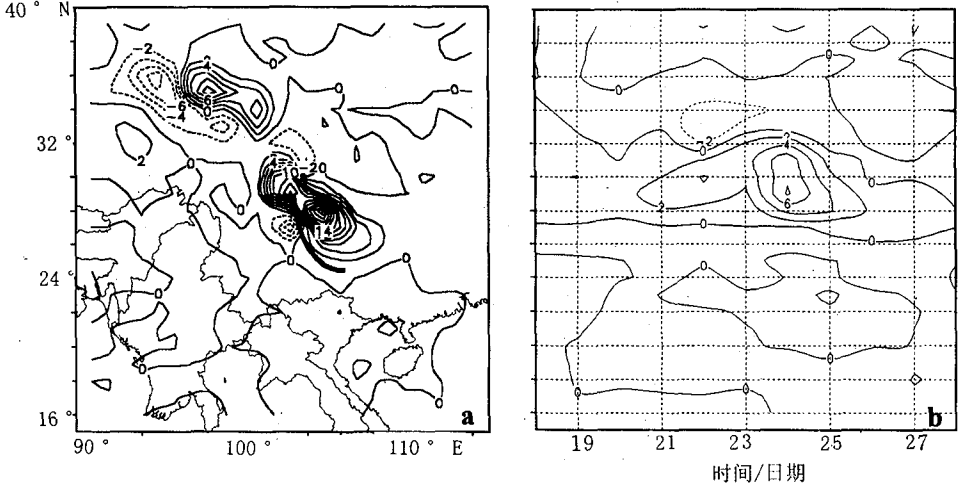


图3 (a)1995年2月24日20时850hPa上的 F_g (单位: $10^{-14}K^2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-2}$)
(b)1995年2月19~27日700hPa上沿103°E F_g 演变

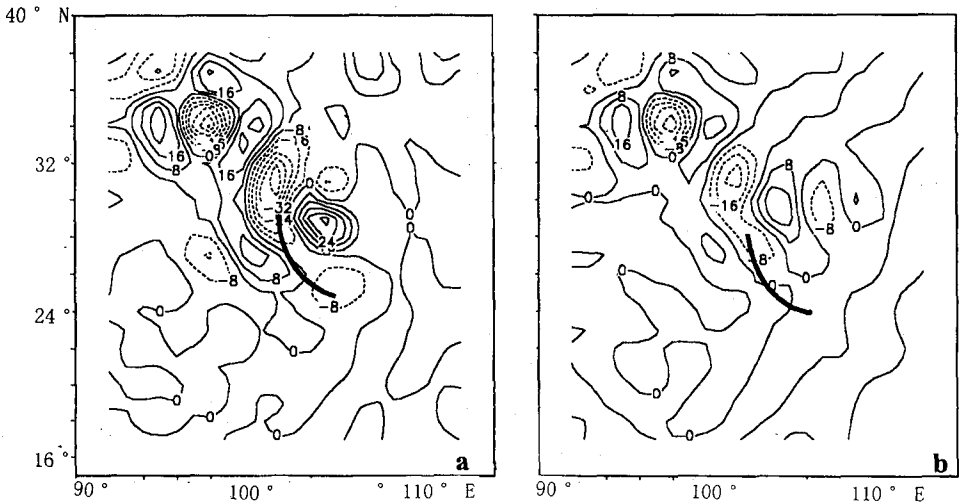


图4 1995年2月24日20时的 Q 矢量散度(单位: $10^{-15}K \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)
a. 850hPa b. 700hPa

4 小结

综合上述分析,发现 Q 矢量理论帮助我们认识了昆明准静止锋锋生和南下的机制:

(1)昆明准静止锋锋生是由于存在地转

风的伸展变形,从而激发非地转流使位温梯度加大而造成的。

(2)当700hPa上的 F_g 值有明显增强,那么锋面就很可能南下,700hPa上 Q 矢量锋生

函数的变化可为预报锋面移动提供参考。

(3)昆明准静止锋雨区与850hPa上的 Q 矢量辐合区有较好的对应关系。

(4)云南1995年2月25日静止锋寒潮天气过程主要是由于北方冷空气南下补充,使越过锋面的非地转流加大,锋生作用增强,从而促使锋面移出,引导冷空气南下造成的。

参考文献

1 秦 剑,解明恩,琚建华.低纬高原天气与气候.北京:气

象出版社,1997.

- 2 李 英,段 旭.冰雹大风天气下昆明准静止锋的结构分析.云南气象,1998(4):35~39.
- 3 谈哲敏,伍荣生.锋面、锋面气旋结构和动力学若干问题.现代大气科学前沿和展望.北京:气象出版社,1998:138~142.
- 4 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,1998,14(8):25~30.
- 5 杨 洋,俞伏命.一次西南准静止锋的准地转锋生函数分析.高原气象,1995,14(3):365~369.
- 6 杨小艳,曹希孝.准地转 Q 矢量诊断场与暴雨关系的分析.气象,1995,21(11):17~21.

A Quasi-geostrophic Q -vector Analysis of Kunming Quasi-stationary Front

Li Ying Duan Xu Pan Lina

(Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034)

Abstract

The quasi-geostrophic Q -vector method was applied to diagnose the southward movement of Kunming Quasi-stationary Front (KQF) in association with a cold wave in Yunnan province in February 1995. The results show that the convergence of geostrophic wind in east Yunnan at 850hPa is an important factor responsible for the frontogenesis of KQF. When the value of geostrophic frontogenesis function increases greatly at 700hPa, KQF will move southward. Furthermore, it is found that frontal rain area is correlated well to the position of the Q -convergence at the lower level.

Key Words: Kunming Quasi-stationary Front Q -vector frontogenesis