

南岭准静止锋附近加热场特征 及其对锋面维持的作用*

何财福

(江西省气象台,南昌,330046)

吴宝俊 彭治班

(中国气象科学研究院,北京,100081)

提 要

利用锋面客观分析资料计算分析了南岭准静止锋锋面附近加热场的分布特征及非绝热加热锋生(以下简称加热锋生)对锋面维持和锋面移动的作用。结果表明:大尺度凝结加热主要分布在锋区附近,在经向剖面上呈带状分布,并反映锋面结构的中尺度特征。加热的锋生作用不仅对锋面形成和维持是重要的,而且对锋面的移动与准静止也有重要作用。分析还表明,凝结加热的锋生作用不利于南岭静止锋水平稳定层的维持。

一、引 言

非绝热加热对影响我国春季连阴雨准静止锋有没有作用?有什么作用?过去研究得不多,因此,开展此方面的研究很有必要。

一些学者的研究表明,饱和锋区上升气流区中释放的潜热会影响到条件对称不稳定,进而影响中尺度雨带的形成^[1],对锋区内云和降水的带状结构,具有决定性作用。三维数值模拟结果也表明^[2],在模式中引进湿过程并将对流显式处理后,能使锋面环流更接近实际,使锋面的中尺度结构更加清楚。由此可见,锋面附近的凝结加热直接涉及到锋面内部的中尺度过程,与锋面形成和维持密切相关。

另一方面,从锋生函数来看,非绝热加热项对锋面形成和维持有一定的贡献,但其作用究竟有多大,还没有进行过很好的分析研究。为此本文利用客观分析的1987年3月21日08时(北京时,下同)至23日20时的南岭准静止锋锋面资料^[3],使用郭晓岚改进的积云参数化方案^[4]、大尺度凝结加热计算方案^[5]及倒算法分别计算了积云加热、大尺度凝结

1990年11月20日收到,1991年5月13日收到修改稿。

*由“长江中下游连阴雨晴天气研究”课题及国家气象局“热带基金”共同资助。

加热和总非绝热加热在锋面附近的分布特征,并讨论了它们引起的锋生对锋面维持或移动的作用。

二、资料来源及锋面过程简介

本文使用 1987 年 3 月 21 日 08 时—23 日 20 时 6 个时次的资料,范围约 20°—45°N、100°—130°E,格距为 150km,详见文献[3]。这次锋面 21 日 08 时由北方南移并加强,但这时在计算范围内只有冷锋,以后该锋面持续加强并继续南移,但移速逐渐变慢。到 22 日 20 时出现锋面气旋及相应冷暖锋,冷锋趋于准静止,锋面坡度减小。23 日 20 时锋面开始减弱东缩,24 日消失。

三、加热场分布特征

积云加热采用郭晓岚(1974)改进方案计算,计算公式^[4]为:

$$Q_c = \frac{(1-b)ILg}{P_o - P_i} N(P) \tag{1}$$

其中 b 为湿润因子, $N(P)$ 为加热廓线, I 为水汽辐合量, P_o 为云底高度, P_i 为云顶高度, L 为水汽潜热,详见文献[4]。其中云底高度采用抬升凝结高度,云内温度用假绝热膨胀过程的变态方程进行迭代计算,并考虑云内再蒸发。计算积云加热的条件为:条件不稳定、云底为上升运动、 $I > 0$ 。

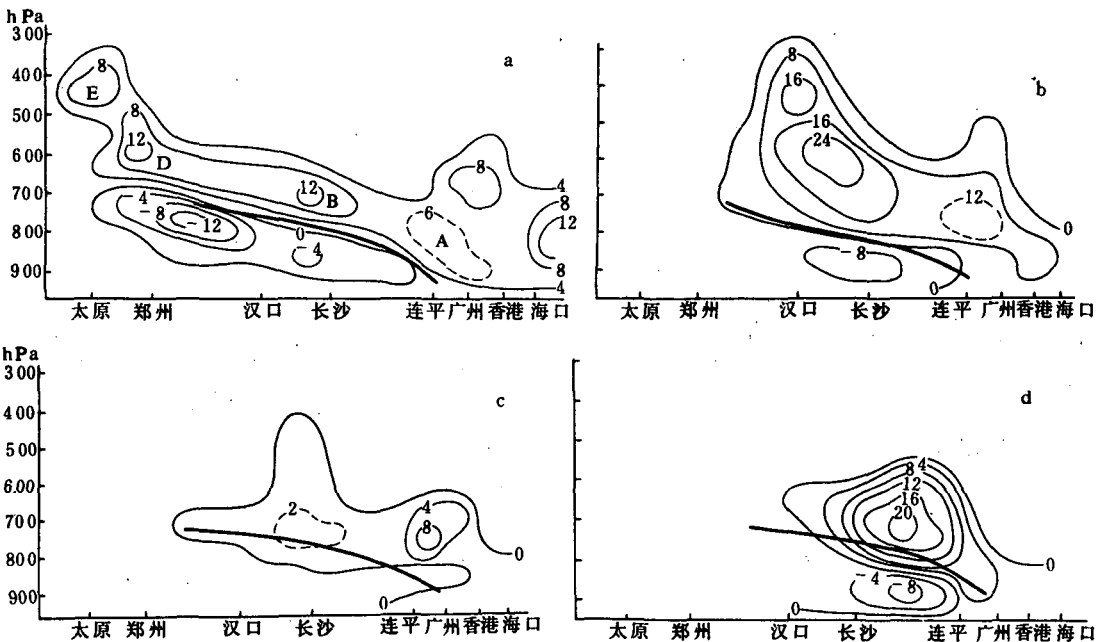


图 1 沿 115°E 大尺度凝结加热剖面图

(a)21 日 20 时 (b)22 日 08 时 (c)23 日 08 时 (d)23 日 20 时
(单位: $10^{-5} J g^{-1} s^{-1}$, 粗实线表示锋面)

大尺度凝结加热采用饱和法计算:

$$Q_c = \begin{cases} -L\omega\partial q_s/\partial p & \text{当 } \omega < 0, q_s < \eta q \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

这里, ω 为垂直速度, q 为比湿, q_s 为饱和比湿^[5]。其计算结果如图 1 所示。

从图 1 可见,大尺度凝结加热沿锋面呈带状分布,并主要分布在锋区附近。沿锋面存在几个加热极值区,其位置在冷锋上界上方。从相应的垂直运动分布图(图略)来看,各加热中心都与上升运动极大值中心相对应,如 21 日 20 时长沙上空的加热中心与长沙上空的上升运动极大值中心相对应。从水汽场分布图(图略)来看,有一湿舌伸向锋面,它和加热的大值带相对应。由于垂直运动在一定程度上反映了环流特征,因此,加热的分布也反映着锋面内部的中尺度特征。

在初期,随着锋面的加强,凝结加热逐渐增大。21 日 20 时(图 1a)最大值为 $13.9 \times 10^{-5} \text{Jg}^{-1}\text{s}^{-1}$ (相当于 $12^\circ\text{C}/\text{d}$ 的加热),这时锋面强度相对较弱。到 22 日 08 时(图 1b),锋面强度加强,这时凝结加热最大值增大到 $31.32 \times 10^{-5} \text{Jg}^{-1}\text{s}^{-1}$ 。22 日 20 时—23 日 08 时锋面准静止,这时凝结加热逐渐减小,22 日 20 时最大值减为 $18.88 \times 10^{-5} \text{Jg}^{-1}\text{s}^{-1}$,到 23 日 08 时(图 1c)为 $9.13 \times 10^{-5} \text{Jg}^{-1}\text{s}^{-1}$,23 日 20 时(图 1d)锋消时,凝结加热再次增大为 $21.51 \times 10^{-5} \text{Jg}^{-1}\text{s}^{-1}$ 。该加热场随时间演变的主要原因,从分析垂直运动剖面图可以发现,在锋面准静止时,垂直运动减弱,最大上升运动由 $-6.75 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 减为 22 日 20 时的 $-3.36 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同时最大值中心位置南移,由水平稳定层上空(汉口)南移到锋面前端(连平),其所在高度由 400hPa 降到 600hPa。从水汽条件来看,没有发生明显变化。也就是说,由于锋面环流的演变导致了凝结加热的演变。另外,我们看到,当出现锋面气旋后,加热集中在气旋区附近,其它区域加热较小,这从加热水平分布图(图略)和 23 日 20 时剖面图(图 1d)均可看到。

在锋区下方为大尺度冷却区,其成因是由于沿锋面存在湿舌而导致锋区下方饱和比湿随高度增加的缘故,但冷却区极大中心不与相应的垂直运动中心相对应。

由图 1 还可看到,随着锋面发展加强、准静止、减弱,最大加热中心所在高度逐渐下降。21 日 20 时在 600hPa,到 22 日 20 时下降到 650hPa,23 日 08 时出现锋面气旋后,最大值加热高度下降到 700hPa 的最低位置。另外,在发展阶段,最大加热高度与上升运动最大中心相对应,但当锋面准静止后,加热最大中心不再与垂直运动中心相对应。

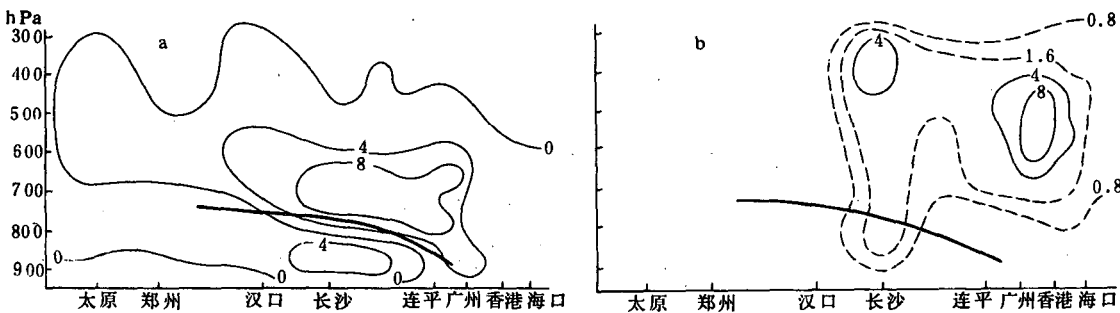


图 2 大尺度凝结加热(a)与积云加热(b)比较(说明同图 1)

从各时次平均的大尺度凝结加热分布场来看(见图 2a),加热主要分布在锋面上方且沿锋面呈带状分布,最大加热中心在水平稳定层前方 650hPa 高度,在锋区下方为大尺度冷却区。从平均垂直运动场看,环流呈双圈环流型,在锋后为一约 600km 左右的下沉区,而锋区附近的上升运动对应凝结加热的加热中心。

积云加热主要分布在冷锋前沿的暖区附近,其量值比大尺度凝结加热小得多(图 2b)。表明这时对流活动可能较弱,至少在该剖面附近平均情况是如此。积云加热最大值在 400hPa 附近,高度也较低。在初期锋面加强时,积云加热逐渐增大,在锋面准静止时,积云加热减小,而在锋面减弱时,与大尺度凝结加热类似,积云加热也增大。由于春季积云对流活动较弱(至少该剖面附近如此),积云加热量值较小,这里不作详细讨论。

四、加热锋生对锋面维持和移动的作用

记加热场为 H ,则锋生函数方程(南北方向)中加热锋生项的表达式为:

$$F_H = \frac{1}{c_p} \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{R/c_p} \cdot H \right] \quad (3)$$

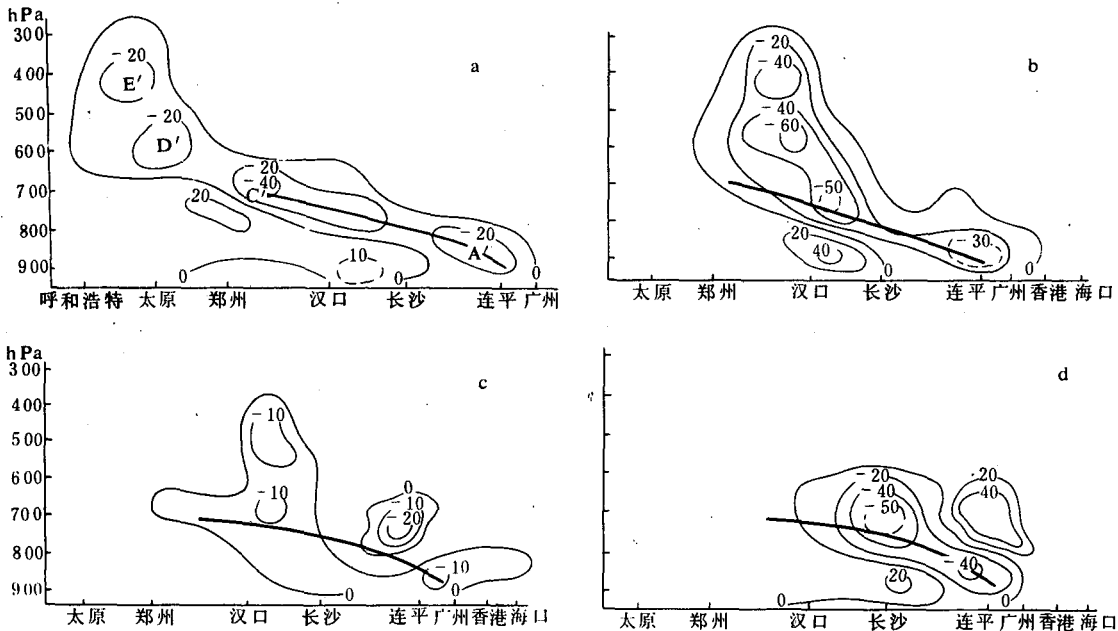


图 3 沿 115°E 大尺度凝结加热锋生剖面图 (单位: $10^{-11} \text{K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a)21日 20时 (b)22日 08时 (c)23日 08时 (d)23日 20时

大尺度凝结加热的锋生分布如图 3 所示,沿锋面基本都是锋生作用。在初期,随着锋面的加强与大尺度凝结加热的加大,加热锋生作用也增大。21日 08时最大值为 -27.9 (单位 $10^{-11} \text{K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,下同),到 21日 20时(图 3a)增大到 -46.6 。与加热分布类似,沿锋区存在几个锋生大值区,高度在 700—850hPa 之间,但位置并不与各加热中心一一对应。

以 21 日 20 时为例(见图 1a 和图 3a), 锋生极值区 A' 在连平以北 850hPa 处, 但相应加热中心在连平以南, 而加热极值 B 没有锋生极大值区与之对应, 锋生极值区 C' 无加热中心与之对应, 相应锋生极值区 D' 与 E' 和加热极值区 D 与 E 位置都有偏移。由此可见, 加热大值处锋生作用不一定大, 关键要看加热场的空间分布。实际上这从加热锋生表达式也可以看出。从图 3 还可以看到, 在锋面准静止以前, 加热锋生作用一直在增大, 22 日 08 时(图 3b)最大值达 -62.0, 但当锋面开始准静止时, 加热锋生作用减小, 到 23 日 08 时, 最大值只有 -24.6。但是当锋面开始南移, 并开始锋消时, 凝结加热锋生反而增大, 如图 3d 所示, 最大值 -53.3。这似乎表明, 凝结加热锋生作用的大小可能与锋面移速有某些关系。

从图 3 可以看到, 加热锋生极大值连线与锋区位置基本一致。初期锋面发展时(21 日 20 时), 在锋面前端, 锋区上界连线经过加热锋生极大值区, 而在水平稳定层附近, 锋生极大值区在锋区的上方。我们知道, 如果锋生最大区和锋面位置不一致, 当不考虑其他因素时, 则锋生的作用使锋面在下一时刻出现在锋生极大值连线处, 亦即锋面发生移动。最大锋生区距锋越远, 表示锋生的作用使锋移动越快。上述加热锋生的分布表明, 加热的作用使锋面南移并且水平稳定层附近锋面南移速度比地面附近的移动速度更快, 因而使锋面坡度加大。当锋面准静止时, 如图 3b 所示, 在水平稳定层附近, 锋生大值区仍在锋区的上方, 但在锋面前端, 锋生大值区在锋区内。这时加热的作用使低层地面附近锋面准静止, 使中层锋面向上, 向前移, 因而在准静止时, 加热作用使锋面坡度加大。当开始锋消时, 如图 3d 所示, 加热锋生的分布与初期类似。在锋面前端, 锋区上界连线穿过锋生大值区, 而在水平稳定层附近, 加热锋生大值区在锋区上方, 因而这时加热的作用使锋面南移并使锋面坡度加大。从实况来看, 实际锋面移动和加热锋生导致的锋面移动基本一致。

从前述分析可以看出, 加热锋生的作用将使锋面坡度加大。这可解释实况中锋面由准静止转为南移时锋面坡度常常加大的现象。但在准静止时存在水平稳定层, 其坡度很小, 这说明加热锋生作用不利于水平稳定层的维持。

我们把锋生函数方程中加热锋生项与形变项、切变项、倾斜项等作用的大小相比, 形变项平均为 -103 单位, 切变项为 25 单位, 倾斜项为 51 单位^[6], 而加热锋生项极值可达 -62 单位。可见加热项与切变项、倾斜项大小相当, 与形变项同量级, 而比形变项为小(将在另文中详细讨论)。因此, 尽管对锋生及锋面维持的作用中, 形变项是最重要的, 但凝结加热的锋生作用也是不容忽视的。

另外, 我们还利用温度场反算了包括辐射加热在内的总加热场, 并利用它计算了相应的锋生作用, 反算方案^[7]如下:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v}_s \cdot \nabla T - \frac{RT\omega}{pg}(\gamma_s - \gamma) = \frac{h}{c_p} + K_s \cdot \nabla^2 T + D_z \quad (4)$$

其中 D_z 为垂直扩散,

$$D_z = g^2 \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{p^2}{R^2 T^2} K_z \frac{\partial T}{\partial p} \right) \quad (5)$$

垂直扩散系数 K_z 取为:

$$K_z = \begin{cases} [5 + A(1 - e^{10(\gamma_c - \gamma)})] \cdot [1 + 0.3(K - 1)] & \gamma_c \leq \gamma \leq \gamma_s \\ \{3 + 2[1 + 10(\gamma_c - \gamma)]\} \cdot [1 + 0.3(K - 1)] & \gamma < \gamma_c \end{cases} \quad (6)$$

考虑日变化, A 取 10, γ_c 取 $0.6^\circ\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$, K (订正因子) 从 1000—100hPa 取 5.5—1.0。 K_s

由调试决定, 试验初值取 $3 \times 10^5 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ [8], 并针对锋面, K_1 调试值限制在 $1 \times 10^5 \text{m}^2 \text{s}^{-1} - 5 \times 10^6 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ 之间。

总加热锋生(图略)在低层特别在锋面前端, 沿锋面为锋生作用, 数值达 $-32.7 (10^{-10} \text{K} \cdot \text{m}^{-1} \text{s}^{-1})$, 最大值在 800hPa 附近, 而在水平稳定层附近锋生作用较小甚至为锋消。在高空锋区附近, 在左端为锋生作用, 与利用锋生函数计算的形变项、辐合辐散项、倾斜项三项之和的结果刚好相反。这可解释高空锋区的部分维持机制, 即辐射冷却及次网格尺度输送作用对高空锋区的维持可能是重要的(这里不作详细讨论)。

另外, 对积云加热引起的锋生, 由于积云加热的柱状性质, 且加热最大值一般在中高层, 对低层锋面无直接作用, 因而不作讨论。

五、结 语

(1) 在初期, 大尺度凝结加热主要分布在锋面附近并沿锋面呈带状分布, 位置在冷锋区上界的上方。当出现锋面气旋后, 凝结加热主要分布在气旋区附近。在锋面下方主要为大尺度冷却区。

(2) 沿锋面存在几个大尺度加热的极值区, 它们在加热锋生分布及垂直运动场上均有反映, 这些极值区反映了锋面的中尺度特性。

(3) 锋生函数加热项沿锋面都是锋生作用, 其大小与辐散项及倾斜项相当, 与形变项同量级但比它小, 因而非绝热加热锋生对锋面形成和维持具有重要作用。

(4) 在锋面加强及锋消南移时, 凝结加热的锋生作用使锋面南移并使锋面坡度加大。而在准静止时, 加热作用使地面附近锋面准静止, 800hPa 附近中低空锋区南移, 锋面坡度加大, 因而加热锋生作用不利于准静止锋水平稳定层的维持。加热作用的这种特性还可解释锋面由准静止转为南移时坡度加大的特性。

(5) 由于锋面附近凝结加热受锋面移动和发展的影响, 而锋面移动和发展又受凝结加热的影响, 同时加热使锋面坡度加大, 可见其间存在一种反馈作用, 凝结加热是锋面系统演变的反馈因子。

本文分析结果表明, 凝结加热的锋生作用对锋面的加强和维持是重要的, 同时加热的锋生作用与锋面移动密切相关。而加热的分布反映着锋面结构的中尺度特性, 因而在研究有关锋面问题时就尽可能考虑加热的作用。当然, 上述结论是仅根据一次个例得到的, 是否有普遍性, 尚待用更多个例验证。

参 考 文 献

- [1] Emanuel, K. A., On assessing weak conditional symmetric instability from atmospheric sounding, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 2016—2033, 1983.
- [2] Ross, B. B., and J. Orlanski, The evolution of an observed cold front, Part I: Numerical simulation, *J. Atmos. Sci.*, **39**, 297—327, 1982.
- [3] 朱光宇、吴宝俊、胡圣昌, 高原东侧水平稳定层的分析, 大气科学(待发表)。
- [4] Kuo, H. L., Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large scale flow, *J. Atmos. Sci.*, **31**, 1232—1240, 1974.
- [5] 丁一汇, 天气动力学中的诊断分析方法, 科学出版社, 1989年。

- [6]. 朱光宇、吴宝俊、胡圣昌,春季连阴雨双层锋区成因探讨,气象学报,(待发表)。
[7] Qian Yonfu, A five-layer primitive equation model with topography, 高原气象, 4, 2(增刊), 1985。
[8] Reeder M. J., and Keyser D., Balanced and unbalanced upper-level frontogenesis, *J. Atmos. Sci.*, 45, 3366—3386, 1988.

**CHARACTERISTICS OF HEATING DISTRIBUTION
AND ITS INFLUENCE ON THE FRONTAL MAINTENANCE
NEARBY THE FRONT WITH CONTINUOUS RAIN**

He Caifu

(*Jiangxi Meteorological Observatory, Nanchang, 330046*)

Wu Baojun Peng Zhiban

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences,
SMA, Beijing, 100081*)

Abstract

The character of heating distribution near the front and the action of diabatic heating frontogenesis on the frontal maintenance and movement are estimated by using the objective data. It is indicated that the large-scale latent heat is distributed mainly along the front with band feature in the meridional vertical profile, and that the meso-scale character of frontal structure is given. According to the computation, the action of heating frontogenesis is important to frontal formation, maintenance and its movement. It is also shown that heating frontogenesis is unfavourable to the maintenance of horizontal stable layer in the quasi-stationary front.