

一次冬季暴雪过程锋生次级环流的诊断分析*

朱爱民** 寿绍文

(南京气象学院气象系, 南京, 210044)

摘要 利用 Sawyer-Eliassen 次级环流方程讨论了一次冬季暴雪过程中由地转强迫、非地转强迫以及非绝热加热和总的强迫所引起的次级环流, 并指出南北方和上下层次级环流的可利配置对暴雪的形成起了促进作用。

关键词 冬季暴雪, 次级环流, 诊断分析, 锋生

分类号 P458.121

在长江中下游地区, 冬季暴雪和夏季暴雨都是严重的灾害性降水事件, 以往的研究, 多偏重于夏季梅雨期暴雨, 而较少研究冬季暴雪。本文通过一次暴雪过程的分析, 试图探讨该地区暴雪形成的机制。

1 天气过程概述

1984年1月17~19日, 在江淮和江南地区, 出现了大范围的降雪过程, 降水量一般在20~40mm, 部分地区达40~60mm, 杭州达84mm; 积雪深度一般为15~40cm, 霍山和无锡达49cm, 超过了历史记录(图1), 是长江中下游地区有气象记录以来所罕见的一次暴雪过程。

这次降水过程从1月17日开始, 18日达最大, 到19日上午基本结束。从12h降水分布图上可以看到, 17日08时, 降水区主要位于江南地区, 降水形式为雨夹雪。17日20时, 降水向北扩展到江淮之间, 降水形式转为降雪。18日08时, 降水强度迅速增大, 在沙市、武汉和合肥附近一带, 出现了一条降水量大于20mm的强降雪带。18日20时, 降雪带南移至九江、杭州一带, 强度开始减弱。19日08时, 降雪带继续南移, 范围迅速减小, 强度进一步减弱, 降雪过程基本结束。从降雪的时空演变情况可以看出, 尽管本次降雪的范围很大, 持续时间较长, 但降雪中心的时间和空间尺度却具有明显的中尺度特征。

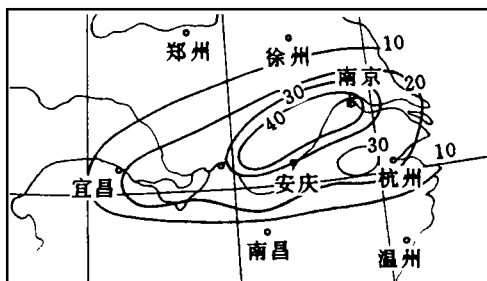


图1 1984年1月19日积雪深度分布图

单位: cm

在这次暴雪过程中, 高低纬地区的环流形势均有较明显的特征, 在欧亚上空为稳定的两槽

* 国家自然科学基金资助项目

** 现在中国气象局工作

收稿日期: 1993-03-14; 改回日期: 1993-06-24

一脊,从巴尔喀什湖到东亚沿海为一宽广的低压槽,槽中不断有冷空气分裂南下影响我国。从 14~19 日,有一股较强冷空气南下,受其影响,华北和东北大部分地区的气温普遍下降 6~10℃,江南最低气温降到 0~-2℃。同时,在 500hPa 上,低纬地区有南支槽发展东移,1 月 17 日移出高原。受槽前西南气流的影响,在 850hPa 上,西南地区有低涡发展东移,17 日 20 时,低涡移出四川盆地后,开始沿切变线向东迅速发展。18 日 08 时,低涡移到安庆附近,并引起强烈锋生,使降水达到最强阶段,此后,低涡开始减弱并向东南方向移动,19 日,随着低涡东移出海,大雪过程随之结束。

2 锋生次级环流与暴雪的关系

由上述可知,锋生作用是造成 1 月 18 日暴雪增强的原因之一,现利用 Sawyer-Eliassen 锋面横向次级环流方程来诊断次级环流并讨论它对暴雪形成的作用。原始方程模式的 Sawyer-Eliassen 锋面横向次级环流方程可写为

$$-\gamma \frac{\partial}{\partial p} \frac{\partial \psi}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial m}{\partial p} \frac{\partial \psi}{\partial y \partial p} - \frac{\partial m}{\partial y} \frac{\partial \psi}{\partial p^2} = Q_g + Q_{ng} + Q_H \quad (1)$$

其中 $Q_g = -2J_{xy}(u_g, \theta)$; $Q_{ng} = -\frac{\partial u_g}{\partial x} \frac{\partial u_n}{\partial p} + 2\gamma \frac{\partial \theta}{\partial x} \frac{\partial u_n}{\partial y}$; $Q_H = -\gamma \frac{\partial H}{\partial y}$

m 为绝对角动量, ψ 为流函数, u_g 和 v_g 为地转风分量, u_n 和 v_n 为非地转风分量, θ 为位温, H 为

非绝热加热, $\gamma = \frac{R}{f p_0} \left(\frac{p_0}{p} \right)_{\theta}^{\theta}$ 。

2.1 次级环流各因子及其对暴雪的影响

从方程(1)可知,控制次级环流的因子有 3 个,即地转强迫项(Q_g)、非地转强迫项(Q_{ng})以及非绝热加热项(Q_H),它们对总环流的贡献各不相同,下面以 1 月 18 日 08 时通过 117°E 位于安庆附近的经向剖面为例,分别予以讨论。

(1)地转强迫作用 图 2a 为地转强迫作用产生的次级环流。由图可见,大体上以 30°N 为界,把环流分成南北两个部分:北边的为正环流,南边的为反环流。正环流中心位于 38°N 附近的 400hPa,中心流函数值为 $-343 \text{ m} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$;反环流中心位于 22°N 附近的 300hPa,中心流函数值为 $742 \text{ m} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在 30°N 附近的长江中下游地区,两环流的上升支迭加在一起,形成了较强的整层上升运动,最强值位于 500~600hPa 附近,达 $-0.55 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,这对该地区暴雪的发展和增强十分有利。

(2)非地转强迫作用 图 2b 为非地转强迫作用产生的次级环流,同样可以把环流分成南北两个部分,北边的为正环流,南边的为反环流。正环流中心位于 38°N 附近的 400hPa,中心流函数值为 $-171 \text{ m} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$;反环流中心位于 22°N 附近的 300hPa,中心流函数值为 $616 \text{ m} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。两环流的上升支位于 30°N 附近,整层表现为较强的上升运动,最强值位于 400~300hPa 附近,为 $-0.35 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(3)非绝热加热作用 图 2c 为非绝热加热作用产生的次级环流。可以看出,环流形势和前面的基本相同。在 30°N 附近,有两个对称的环流圈,北边的为正环流,南边的为反环流。正环流中心位于 32°N 附近的 500hPa,中心流函数值为 $-97 \text{ m} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$;反环流中心位于 28°N 附近的 700~600hPa,中心流函数值为 $235 \text{ m} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。两环流的公共上升支集中在 30°N 附近。上升运动最强值位于 700~500hPa 附近,为 $-1.0 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,这对于该地区降雪的增强非常有利。

图 3(b)为地转强迫、非地转强迫以及非绝热加热共同作用所产生的总环流。由图可见,总

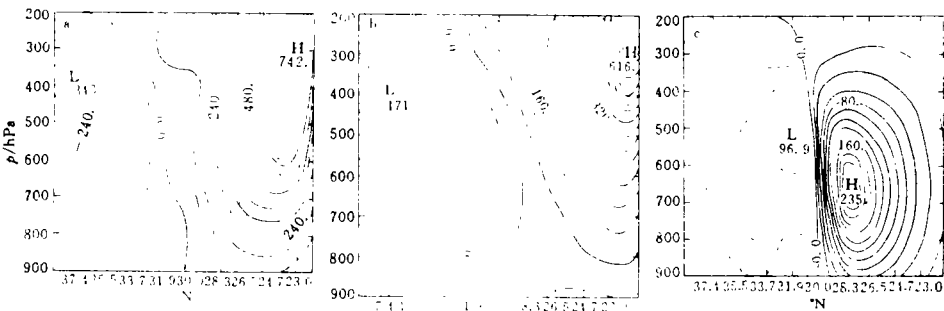


图 2 1984 年 1 月 18 日 08 时沿 117°E 经向垂直剖面图上的次级环流图
a. 地转强迫作用产生的次级环流； b. 非地转强迫作用产生的次级环流；
c. 非绝热加热作用产生的次级环流

的形势和前面的基本相同，所不同的是由于上述各因子强迫作用的同位相迭加，使得北南两正反环流的中心强度大大增强，中心流函数值分别达到 $-528\text{m} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $1369\text{m} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由于两环流的强度大大增强，所以，在两环流上升支处，上升运动也大大增强，在 30°N 附近，最大的上升运动值达 $-1.9 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ，与该地区出现的强降雪是一致的。

从上述分析得出，在总强迫作用所产生的上升运动中，各因子的贡献是不一样的。3 个因子中，以非绝热加热强迫作用所产生的上升运动最强，其数值相当于另外两项强迫作用的总和。由此可以看出，在有降水发生时，由降水所伴随的非绝热加热效应对降水的增强有重要的反馈作用。

如果再细分析，在地转强迫项中又可以分为地转拉伸形变强迫和地转切变形变强迫，在非地转强迫项中又可以分为垂直切变形变强迫和水平切变形变强迫。计算结果表明，在地转强迫项中，地转拉伸形变强迫起主要作用，它基本决定了地转强迫环流的性质；在非地转强迫项中，两强迫作用基本相当，水平切变形变作用稍大。

2.2 次级环流演变与降雪的关系

图 3 是 1 月 17 日 20 时~18 日 20 时沿 117°E 剖面上的次级环流图。由图可见，1 月 17 日 20 时，在沿 117°E 的经向垂直剖面上，有两个大小不一的环流圈，南边小的为反环流，北边大

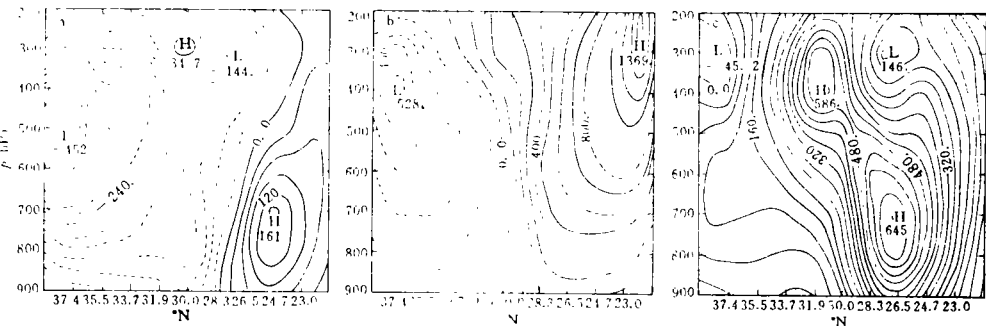


图 3 1984 年 1 月 17 日 20 时~18 日 20 时沿 117°E 经向垂直剖面上总的次级环流图
a. 1 月 17 日 20 时； b. 1 月 18 日 08 时； c. 1 月 18 日 20 时

的为正环流。反环流中心位于 25°N 附近的 700hPa ，中心流函数值为 $161\text{m} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ，正环流中心位于 38°N 附近的 500hPa ，中心流函数值为 $-462\text{m} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ，正环流较强，反环流较

弱。在 30°N 附近,有两个上升运动区,一个在 $30\sim 26^{\circ}\text{N}$ 之间的 $900\sim 600\text{hPa}$,上升运动值为 $-0.5\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$;另一个在 $34\sim 31^{\circ}\text{N}$ 之间的 $700\sim 400\text{hPa}$,上升运动值为 $-0.6\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。1月18日08时,最强的上升运动区在 $31\sim 28^{\circ}\text{N}$ 之间的 $700\sim 500\text{hPa}$ 附近,正反环流都明显增强,在20时整个剖面被一强大的反环流所控制。反环流中心有3个,分别位于 31°N 附近的 400hPa , 27°N 附近的 700hPa 和 300hPa ,中心流函数值分别为 $566\text{m}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$, $645\text{m}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $146\text{m}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。反环流的上升支位于 27°N 以北的地区,最强的上升运动区在 $30\sim 27^{\circ}\text{N}$ 之间的 $800\sim 600\text{hPa}$ 附近,上升运动值为 $-1.4\times 10^{-3}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$,和当时降雪区的位置基本一致。

从以上分析可见,沿 117°E 剖面3个时次总环流的演变情况是:17日08时,正环流势力强,反环流势力弱;随着时间的增长,正环流势力不断减弱,反环流势力逐渐增强,到18日20时,反环流势力已占绝对优势。这种演变与锋的变化有很大关系,在17日20时的环流图上,正环流强,反环流弱,说明当时的水平温度锋生很强,对流层低层的锋面开始迅速增强。18日08时,正环流中心的流函数值增强至 $-528\text{m}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$,达到本次过程的最大值,此时的水平温度锋生也达到了最强,由锋面上激发的垂直上升运动也相应达到最强,产生最大降雪。与此同时,反环流势力也大大增强,中心流函数值达到 $1369\text{m}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$,并在长江中下游地区明显占有优势,说明随着垂直动量锋生的增强,该地低层的水平温度锋生开始迅速减弱,到18日20时,正环流趋于消失,占优势的反环流强度也明显减弱,只在低层出现了大的反环流中心。

3 结 论

根据分析,认为对暴雪的形成起重要作用的因子有:

(1)东亚中高纬地区稳定的长波槽存在,槽中有冷空气分裂南下;同时,低纬地区有南支槽发展东移;冷暖空气在长江中下游地区交汇;

(2)锋生次级环流的加强。

参 考 文 献

- 1 Shapiro M A. Frontogenesis and geostrophically forced secondary circulation in the vicinity of jet stream-frontal zone systems. J A S. 1981, 38: 954~973
- 2 Bennetts D A. Hoskins B J. Conditional symmetric instability: a possible explanation for rainbands. Q J R Met Soc. 105: 945~962
- 3 Lanc F. Bosart and frederick sanders. Mesoscale structure in the megalopolitan snow-storm of 11~12 February 1983, Part I, Frontogenetical forcing and symmetric instability. J A S. 1983, 42(13): 1398~1407
- 4 寿绍文. 中尺度天气动力学. 北京:气象出版社, 1993. 220~226

DIAGNOSIS OF FRONTOGENETICAL SECONDARY CIRCULATION IN A WINTER SNOWSTORM EVENT

Zhu Aimin Shou Shaowen

(Department of Meteorology, Nanjing Institute of Meteorology, 210044, Nanjing, PRC)

Abstract Based on Sawyer-Eliassen secondary circulation equations, the secondary circulations induced by geostrophic/ageostrophic forcings, diabatic heating and total forcing in a winter snowstorm event are investigated. Results show that a proper collocation of these circulations in the north and south and at upper and low levels are favorable for the formation of a snowstorm.

Keywords winter snowstorm, secondary circulation, diagnosis, frontogenesis

“自然科学基金项目与资料服务” 研讨会在我院举行

由国家自然科学基金委地学部 and 南京气象学院联合举办的“自然科学基金项目与资料服务”研讨会于 1994 年 3 月 18~19 日在南京气象学院召开。中国科学院大气物理研究所、兰州高原大气物理研究所、南京大学等单位的专家学者应邀出席。

国家自然科学基金委地学部陆则慰教授在会上宣布了“国家自然科学基金委员会地球科学部南京大气资料服务中心”(简称“南京大气资料服务中心”)正式成立,提出了成立中心的目的和任务,并对其前景作了展望。南京气象学院副院长孙照渤教授致贺词,热烈祝贺“南京大气资料服务中心”开始运行,表示要从各个方面保障该中心任务的完成。

会议着重研讨了在大气科学基金项目执行中资料和信息服务的重要性和迫切性,认为它是促进我国大气科学研究深入的重要基础,是当前急需解决的问题。专家们深入交流了消化、吸收国外大气资料以及对国内基金项目观测资料深加工方面的经验。一致认为我国的大气资料服务工作要尽快与国际接轨。一方面要积极开展国际交流,学习国外先进经验;同时要根据现有基础,探索我国大气资料服务的路子,努力实现大气资料共享。

(李文源)