

2004年末黄淮暴雪的特点分析和数值模拟

王东勇^{1,2} 刘 勇² 周 昆²

(1. 南京大学大气科学系, 210001; 2. 安徽省气象台)

提 要: 利用多普勒天气雷达资料和中尺度数值模式模拟分析了2004年12月20日夜里起到22日黄淮出现的大范围暴雪天气过程。发现黄淮地区暴雪天气形成的原因和特点明显不同于梅雨锋暴雨。多普勒雷达探测资料可以很好地反映这场暴雪的特点: 对流高度不高, 平均高度3~4km左右, 最高不超过8km。在强降雪时近地面925hPa附近伴有很强的超低空急流, 东北偏东风, 风速达12~14m·s⁻¹。高低空垂直切变明显, 有很强的斜压性。高分辨率的中尺度数值模式可以很好地模拟出这次过程的演变和特点。

关键词: 数值模拟 暴雪 诊断分析

Diagnosis and Numeric Simulation of Snowstorm Process in Huanghuai Basin in Dec. 2004

Wang Dongyong¹ Liu Yong² Zhou Kun²

(1. Department of Atmospheric Science, Nanjing University, 210001;
2. Anhui Meteorological Observatory)

Abstract: From the night of 20 to 22 in Dec. 2004, a heavy snow event occurred in Huanghuai basin. The event is analyzed with Doppler radar data and simulated with mesoscale numeric model. It shows that the generation and characteristics of heavy snow was definitely different from that of heavy rain in Meiyu front. The characteristics of the heavy snow could be well described with Doppler radar data; the average convective height was 3—4km, the maximal height less than 8km. When the snow was heavy, a very strong low-level jet was found. It was ENE, 12—14m·s⁻¹, near surface, at 925hPa. The vertical shear between

upper level and low level was obvious. The baroclinicity was very strong. The evolution and characteristics of this event could be well simulated with high resolution mesoscale numeric model.

Key Words: heavy snow Doppler radar Simulation

引 言

从 2004 年 12 月 20 日起到 22 日夜, 黄淮到江淮出现大范围雨雪天气过程, 其中山西大部、河北南部、河南大部、山东西部和南部地区、安徽沿淮淮北出现大雪或暴雪。虽然 12 月下旬出现大雪到暴雪有利于冬季农作物安全越冬, 但随着经济快速发展, 大雪或暴雪对城市交通以及高速公路的运输造成的影响也越来越大, 近年来对于大雪的预报也越来越受到关注。从 20 世纪 70 年代开始, 气象工作者进行了不少暴雪的天气气候特征分析和总结。近年来的研究已经从传统的天气学分析发展到非常规资料的应用分析^[1], 以及一些中尺度数值模拟分析^[2~5], 本文是利用多普勒天气雷达资料和中尺度数值模式模拟分析了 2004 年 12 月 20 日夜里起到 22 日黄淮出现的大范围暴雪天气过程。

1 天气实况和环流形势特征

这次降雪天气过程首先开始于河南, 到 2004 年 12 月 21 日早晨安徽淮北先后转雪, 淮北中北部出现了大范围的暴雪, 21 日 08 时到 22 日具体雨雪的范围和降水量见图 1。10mm 以上雨雪范围主要位于安徽沿淮淮北、河南东南部和湖北中东部, 其中湖北中东部降水以雨为主, 其他地区以降雪为主, 因而主要积雪区位于安徽和河南。22 日沿淮到沿江也先后转雪。23 日 08 时安徽江北普遍出现积雪, 其中淮北西北部和大别山区积雪深度达 6~13cm, 界首最大为 13cm。

这场降雪为 1991 年以来历史同期 (12 月份) 最大降雪。在北部出现降雪的同时长江中下游的降雨也较明显, 12 月 22 日 08 时到 23 日 08 时安徽南部和江苏南部出现大面积大雨 (图略)。

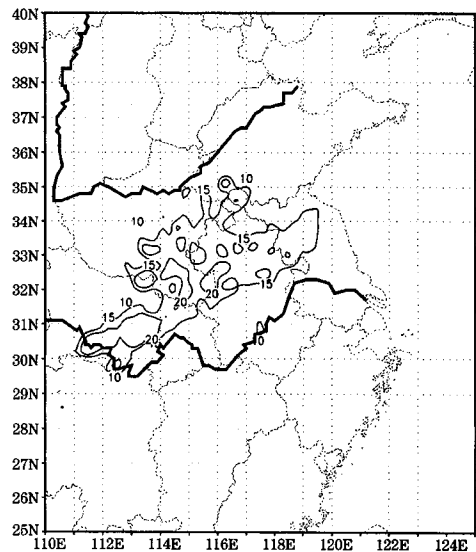


图 1 2004 年 12 月 21 日 08 时至 22 日 08 时降水量 (mm)

1.1 大尺度环流形势和冷空气特点

12 月 20 日 08 时 500hPa 图上亚欧中高纬度为两槽一脊形势, 两个低涡中心, 一个位于 60°N、130°E, 低涡中心 5080gpm, 并有一 48°C 的冷中心相配合, 另一个低涡中心位于 55°N、75°E 附近。中低纬度环流平直, 西太平洋副热带高压势力较弱, 华东沿海为一低槽。20 日 20 时 850hPa 图上四川到重庆东部有小低涡形成, 21 日 08 时低涡前部的暖式切变线已经东伸到江淮流域; 22

日 08 时低涡到达大别山区,是这次降雪过程的主要影响系统。

从 12 月 21 日 08 时 117°E 温度场垂直剖面图上(图 2a)可见,冷空气自北向南

900hPa,逆温层在 700~800hPa;而在 31~33°N 江淮一带,冷空气高度降低到 900~1000hPa,逆温层也降低到 950~800hPa 附近,温度分布反映了典型的锋面特征,大气的斜压性明显。

再从同一时刻的东西风沿 117°E 垂直剖面图上(图 2b)可见,与冷空气伴随,近地面有很强的偏东气流,强中心位于 33°N,高度在 950hPa 以下;高空急流中心在 27~28°N,200hPa 附近,最大偏西风达 $68\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

1.2 湿度状况和能量分析

从 21 日 08 时 117°E 相对湿度垂直剖面图上(图 2c)可见,大于 90% 的相对湿度从北到南逐渐下降,到 32°N 附近已经降到 600hPa 以下,触发降雪的对流高度不高,以浅对流为主。从大气的对流有效位能来看(图略),地面的 CAPE 值在过程前后的值均很小,热力因素在过程中所起的作用很小,触发浅对流的能量主要应来源于近地面强劲东风的动力抬升。

2 多普勒天气雷达资料的特征

2.1 基本反射率等因子状况

关于强降水和强对流天气的多普勒天气雷达特征预报人员较为了解,一般强降水回波强,暴雨的回波平均在 40~50dBz,强对流通常在 55dBz 以上;而冬季降雪回波与它们明显不同,总体来说降雪回波的基本反射率相对较弱,强度多数在 20~30dBz 之间,30dBz 以上的回波范围很小,且相对较强回波出现在降雪开始之前的降水回波中(图略)。从垂直液态水含量 VIL 产品上看,降雪前后垂直液态水含量始终很低,远不同于强降水或强对流天气的特征,分析其中原因

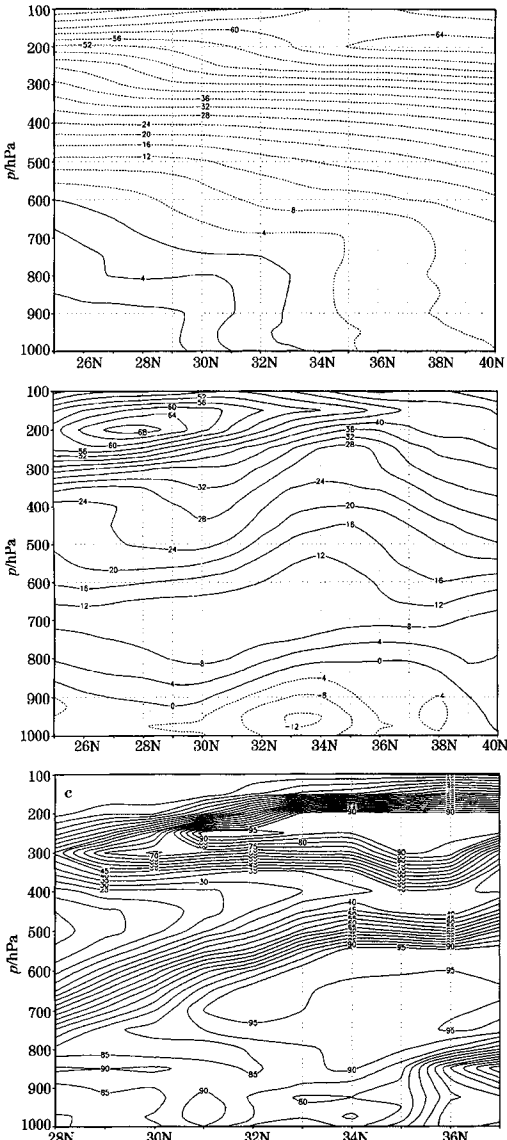


图 2 2004 年 12 月 21 日 08 时沿 117°E 温度、东西风和相对湿度的垂直剖面

a. 温度,单位:°C; b. 东西风,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;

c. 相对湿度: %

冷舌逐渐降低, 35~40°N 其冷舌在 800~

之一可能是降雪的回波高度相对较低造成的，因为强度回波较弱，容易给预报人员形成错误的判断。

2.2 基本径向速度特征

多普勒天气雷达的基本径向速度可以很好的反映强降雪天气的特征。12 月 22 日上午 9 时，即在雷达站（合肥）降雪之前，在 1.5° 仰角的径向速度图（图 3a）上，在近地面层有一对牛眼，正负速度中心，高度在 800m 附近，东北偏东风，风速在 $13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。而在 2km 以上基本维持西南风，垂直切变非常明显，零速度线呈明显的“S”型。从低层到高层暖平流特征明显。中午 12 时，在 1.5° 仰角的速度图（图 3b）上可见图像的对称性十分完美，近地面一对牛眼清楚，在 800m 附近仍有强劲东北偏东风，风速在 $13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。垂直方向风速切变很强，近地面风和中高层风向完全相反。到这次过程后期 20 时（图 3c）， 1.5° 仰角速度图上近地面仍有强劲东北偏东风，但仅在朝向雷达的速度场的牛眼仍完整，在远离雷达的径向速度场的牛眼开始出现形变，而且零速度线在低层仍呈“S”型，但在中低层到中层呈反“S”型，表明中低层到高层已经出现冷平流。

2.3 水平风的垂直廓线特征

利用 VAD 技术产生的水平风的垂直廓线也可以很好地反映降雪前后的大气的风场特征。从 12 月 22 日 09~20 时逐时风廓线演变（图略），可见在 22 日 09~12 时近地面的强风速在 600~900m 之间，到 12 时后强风速中心有所抬高，大约在 900m 附近。雷达站在 11 时前后开始降雪，在降雪的前期和中间（14 时以前），从低层到中层风向随高度呈一致的顺转，即从上到下为一致

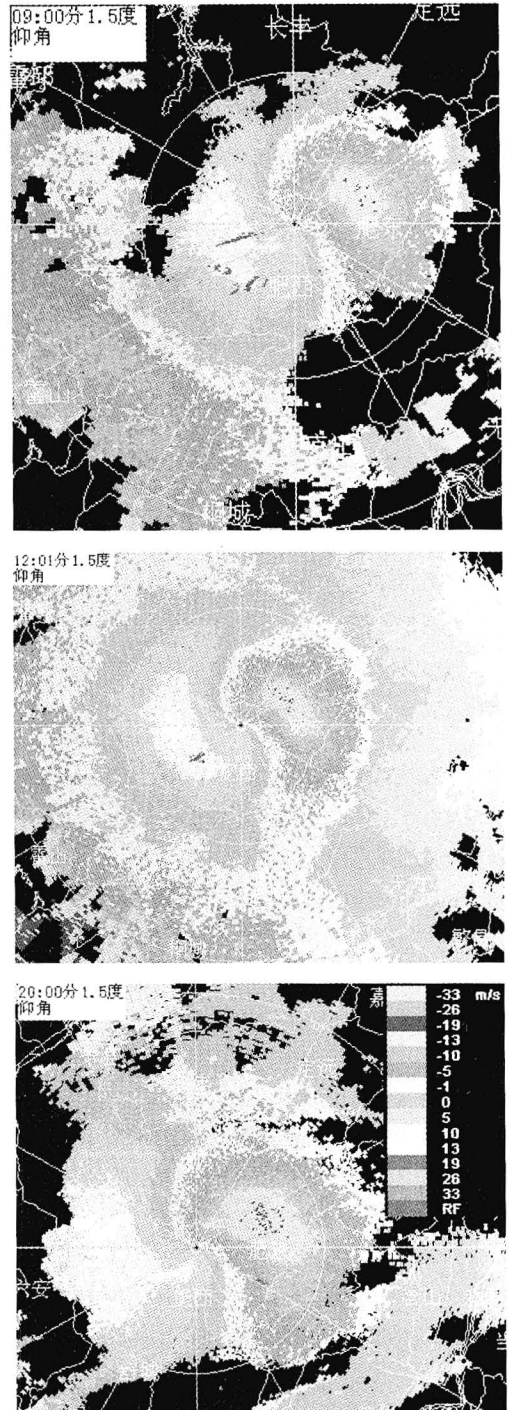


图 3 2004 年 12 月 22 日 1.5° 仰角的径向速度场
a. 09 时；b. 12 时；c. 20 时

的暖平流；到降雪后期，下午 15 时，2000m 到对流中层以上出现冷平流。可见在降雪过程前后高低空的风切变始终较强，大气斜压性明显，强切变主要发生在 1800m 附近。

3 中尺度数值模拟结果分析

3.1 模式简介

我们采用 NCAR/PSU 联合研制的 MM5V3.6 中尺度模式，利用三重嵌套网格模拟了这次降雪过程，水平格距分别为 54、18、6km，垂直层数为 23 层，模式顶气压 100hPa。主要方案有：非静力平衡动力方案、大气辐射及显式水汽方案、Grell 积云对流参数化方案、MRF 边界层高分辨参数化方案、侧边界条件 Domain1 松弛/流入流出方案，而 Domain2, 3 采用时间依赖/嵌套方案。初始条件和每 6 小时侧边界资料为 NCEP 分析资料。积分时间为 2004 年 12 月 20 日 20 时到 22 日 20 时，合计 48 小时，模式结果每小时输出一次。

3.2 模拟结果分析

首先降水过程的降水总量、开始时间、雨雪区的位置与实际情况较为吻合（见图 4），从 12 月 21 日 08 时到 22 日 08 时降水量的模拟可见降水量级、雨雪区位置模拟得较为理想。

再从模拟的物理量特征分析，从逐时 850hPa 的风场和散度场看，从 21 日 08 时开始安徽沿淮淮北西部受暖式切变线影响，在湖南出现了 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的低空急流；到 21 日 20 时暖式切变线进一步加强，低空急流的东端东伸略北抬；到 22 日 08 时，模拟出大别山区西部有一低涡东移；模拟低涡的强度比实际弱，但低涡位置和风场特征与实际

较为吻合（图略）。22 日 08 时散度场在沿淮模拟出 $-3\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ 的辐合中心，也恰好是当时强降雪发生的位置。从位涡场的垂直剖面图（图略）也可以发现，在大气中层 500~600hPa 附近有正异常区，随冷空气南下向南移动，恰好在 22 日 08 时位于江淮上空，有利于地面弱波动发展。

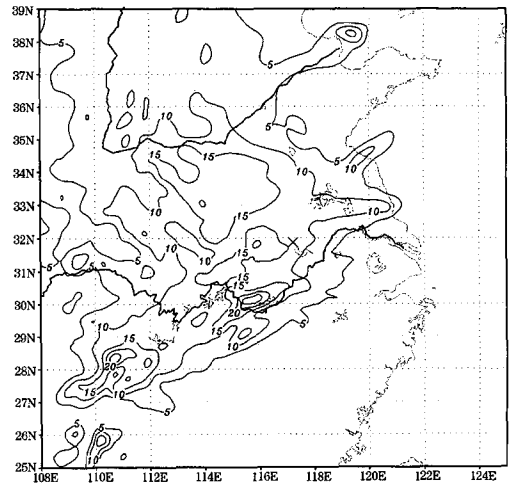


图 4 2004 年 12 月 21 日 08 时至
22 日 08 时预报降水量 (mm)

从这次降雪过程模拟的垂直结构特征看，从过程开始到过程结束相对湿度的大值区（大于 90% ）始终位于 500hPa 以下层，说明过程主要发生在对流层的中下层，与雷达观测一致。从模式输出 22 日 14 时的垂直速度沿 117°E 垂直剖面图看，在 31.5°N 的近地面有很强的上升运动，中心速度达 $0.08\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ （见图 5）。

图 6 给出了 22 日 08~20 时合肥上空风廓线的模拟结果，可见，模拟结果与雷达观测极为相似。其中低空强的东北偏东风，最大风在 950hPa 附近，风速达 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在中午 11 时以前，从低层到中高层风向随高度呈一致的顺转，即从上到下为一致的暖平流；11~15 时 750hPa 到对流中层以上风向

基本不随高度变化, 到 16 时以后 750hPa 以上风随高度呈逆时针变化, 即中层和高层出现冷平流。与雷达 VAD 产品吻合很好, 在降雪过程前后高低空的风切变始终较强, 大气斜压性明显, 强切变主要发生在 800hPa 附近, 与雷达观测的 1800m 极为近似。

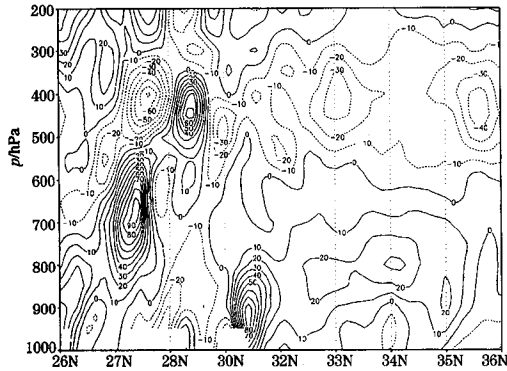


图 5 模式输出的 2004 年 12 月 22 日 14 时沿 117°E 垂直速度垂直剖面图

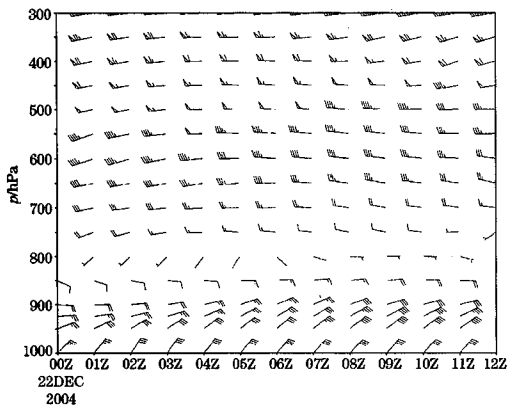


图 6 12 月 22 日 09~20 时逐时风廓线演变模拟
(图中时间为世界时 UTC)

4 小 结

利用多普勒天气雷达资料和中尺度数值模式, 模拟和分析了 2004 年 12 月 20 日夜起至 22 日黄淮出现的大范围暴雪天气过程。有如下主要结果:

(1) 这次降雪过程主要影响系统为大气中低层一次弱气旋波, 它产生于大别山区西部。

(2) 黄淮地区的暴雪天气的多普勒雷达资料有与梅雨锋暴雨或强对流明显不同的特征, 对流高度不高, 平均高度 3~4km 左右, 最高不超过 8km; 但多普勒风场特征清晰。

(3) 在强降雪时近地面 925hPa 附近伴有很强的超低空急流, 高低空风切变强, 主要强切变发生在 1800m 附近。

(4) 利用高分辨率的中尺度数值模式可以很好的模拟上述特征, 模拟出主要影响系统江淮气旋、对流高度低、近地面持续暖平流特征和近地面的强风等等。

参 考 文 献

- 1 Xu Yinlong, Qian Fenlan, Chen Zhi. Observational Analyses of Baroclinic Boundary Layer Characteristics during One Frontal Winter Snowstorm. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2002, 19 (1): 153-168.
- 2 刘建军, 程麟生. "97.12" 高原暴雪过程中尺度热量和水汽收支诊断. *气象*, 2002, 28 (6): 16-22.
- 3 隆霄, 程麟生. "95.1" 高原暴雪及其中尺度系统发展和演变的非静力模式模拟. *兰州大学学报*, 2001, 37 (2): 141-148.
- 4 董安祥, 罗琦, 周陆生. 青藏高原东部一次大雪过程的湿位涡分析. *甘肃科学学报*, 2001, 14 (3): 43-46.
- 5 宗志平, 刘文明. 2003 年华北初雪的数值模拟和诊断分析. *气象*, 2004, 30 (11): 2-8.