

# 2005年3月一次寒潮天气过程的诊断分析

许爱华<sup>1</sup> 乔林<sup>2</sup> 詹丰兴<sup>1</sup> 牛星球<sup>1</sup>

(1. 江西省气象台, 南昌 330046; 2. 国家气象中心)

**提 要:** 利用 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  的 6 小时分析资料和常规观测等资料, 对 2005 年 3 月 10~13 日一次全国性寒潮天气过程的环流背景、影响天气系统及成因进行了分析。结果表明: 这次寒潮及寒潮天气主要成因是 (1) 西欧上空 500hPa 强暖平流致使在西伯利亚地区形成阻塞高压, 建立横槽, 横槽北侧的东北气流引导超极地冷空气和西路冷空气合并加强; 形成了异常强的冷高压、锋区、冷温度中心和冷温度平流。(2) 两个短波槽东移侵入阻塞高压, 使得横槽两次建立和转为竖槽, 导致强冷空气大举南侵。(3) 寒潮带来大范围强降温、700hPa 西南急流与冷空气交汇、1000hPa 以上层气温在  $0^\circ\text{C}$  以下的垂直分布, 为南方大到暴雪提供了动力、水汽和凝结的温度条件。

**关键词:** 寒潮 大到暴雪 诊断分析 上升运动

## Diagnosis of a Cold Wave Weather Event in March 2005

Xu Aihua<sup>1</sup> Qiao Lin<sup>2</sup> Zhan Fengxing<sup>1</sup> Niu Xingqiu<sup>1</sup>

(1. Jiangxi Meteorological Observatory, Nanchang 330046; 2. National Meteorological Center)

**Abstract:** Based on NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  6h interval reanalyzed data and daily observation data, the circulation background, synoptic weather systems and the formation mechanism of the cold wave event covering the whole country on 10—13 March 2005 are discussed. The results show that the formation mechanisms of the event are as follows. (1) The strong warm advection of 500hPa over the west Europe led to a blocking high created in Siberia area, and a zonal trough, the north-east stream in the north edge of the trough led to super polar cold air and the cold air from west together and got to strengthen, and then the abnormally strong

cold high, front zone, cold temperature center and cold temperature advection appear. (2) The two short-wave troughs moving eastwards intruded into the blocking high, which made the zonal trough created and became a meridional one for two times, resulting in the strong cold air greatly moved into southern area. (3) The three conditions, involving the temperature sharp drop, the convergence of west-south jet stream and the cold air stream at 700hPa, and the vertical temperature distribution of the area below  $0^{\circ}\text{C}$  above 1000hPa, provided the main factors of dynamics, moisture and condensation for severer snow in southern China.

**Key Words:** cold wave severe snow diagnostic analysis ascending movement

## 引 言

寒潮是我国冬半年严重的灾害性天气,其最突出的天气是大风、剧烈降温、暴风雪和沙尘暴,常给工农业、渔业生产和交通运输等带来巨大影响。因此做好寒潮天气预报服务,采取积极防范其危害措施有相当的现实意义。近年来不少学者对我国错综复杂的寒潮天气过程进行了天气动力学诊断和数值模拟研究<sup>[1~4]</sup>,得到了不少有益的成果。但因我国幅员辽阔,气候条件差异很大,寒潮过程也不尽相同,故深入分析研究一些特殊寒潮天气个例很有必要。

2005年3月10~13日,我国大部地区爆发了一次罕见的寒潮天气过程。受其影响,西北地区大部、华北、东北地区南部、

黄淮、汉水流域、江淮、江南、华南北部和四川盆地东部出现了5~6级偏北风,短时风力达7~9级,我国东部海区出现了7~8级偏北风;上述大部地区48小时的最低气温下降了 $8\sim 12^{\circ}\text{C}$ ,其中华北西部和北部、江淮、江南、华南北部等地降温 $14\sim 18^{\circ}\text{C}$ ,局部地区超过 $20^{\circ}\text{C}$ ;11~13日,陕南、豫南、皖中南、浙、鄂、湘中北、赣中北以及闽西北等地伴有5~15mm大到暴雪和出现冰冻,其中鄂西南、湘北、赣东、闽西北部部分地区降雪量达 $18\sim 25\text{mm}$ ,湖南岳阳日降雪量26mm(图1a),湘、赣一些地区还出现了冰凌;上述大部地区积雪深度在5cm以上,鄂、皖、浙、赣等地局部地区雪深10cm以上(图1b),安徽枞阳县最深30cm,其次江西庐山28cm,江西的积雪面积和深度是有气象记录以来最大的。这场范

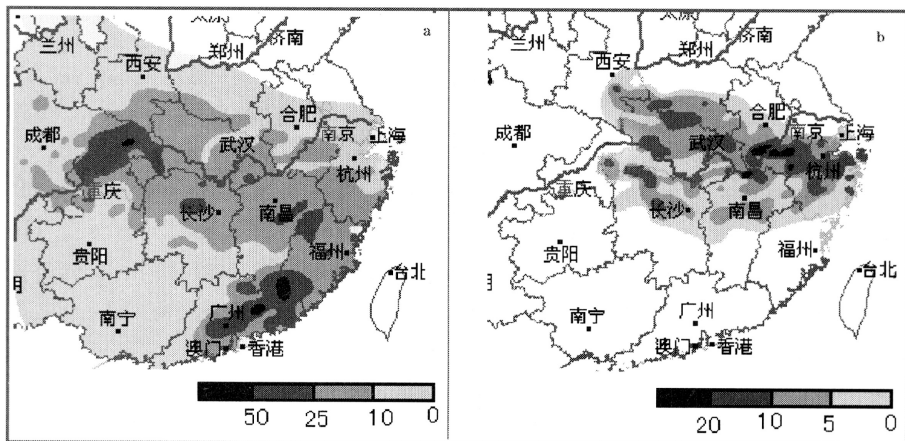


图 1 2005年3月11日08时至13日08时降雪(雨)量(a,单位:mm)和积雪深度(b,单位:cm)

围大、强度强、积雪深的暴风雪在历史同期极为少见。

本文利用 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  的 6 小时分析资料和常规观测等资料, 对本次寒潮天气过程进行了天气动力学诊断分析, 着重分析寒潮和南方强降雪的成因, 为春季寒潮和南方大雪的实时预报业务提供参考依据。

## 1 大尺度环流特征和主要影响系统

这次大范围寒潮天气过程是在欧亚中高纬环流发生西长东消不连续后退形势下爆发的。过程前 3~4 天, 欧亚中高纬呈两槽一脊型经向环流, 两长波槽分别位于贝加尔湖以东到东西伯利亚 (以下简称东亚槽) 和欧洲西部, 贝加尔湖以西至东欧是一长波脊 (图略)。南支槽在阿拉伯海到印度半岛西部; 西太平洋副热带高压 (以下简称副高) 呈带状分布在中印半岛到菲律宾以东洋面, 较常年偏强, 利于暖湿气流向北输送。

### 1.1 冷空气的聚积

早在 4 日, 从西欧槽中分裂一短波槽沿高纬东移, 由于西欧低槽斜压不稳定发展, 黑海到里海、咸海上空盛行一支强暖平流, 暖平流动力加压作用导致低槽前高压脊发展成阻塞高压 (以下简称阻高)。上述短波槽亦随其往南加深, 该槽中冷平流使阻高分裂东移并减弱。8~9 日, 巴伦支海有冷空气并入西欧低槽中, 低槽强烈发展, 同时一部分冷空气东移, 推动阻高北端东移与东亚槽北侧高纬弱高压脊合并加强, 脊前西北气流顺转成东北气流, 与东亚槽西南部的西北气流形成一横槽。使东西伯利亚超极地冷空气和西欧东移冷空气得以在蒙古国聚积加强 (图 2)。

8 日 20 时, 当西欧分裂槽移到蒙古国西部到我国新疆西部时, 700hPa 上冷温度中心已降至  $-32^\circ\text{C}$  以下, 锋区强度达到  $20^\circ\text{C} \cdot (5 \text{ 纬距})^{-1}$ 。在地面图上, 随着西

欧分裂槽东移发展, 槽后西西伯利亚南部的地面冷高压范围不断扩大, 强度明显增强; 而中东西伯利亚地面冷高压也随东北气流加强而增强, 并向西扩展。9 日 08 时, 这两个高压脊合并, 初期在黄河上游形成锢囚锋, 中西伯利亚的高压中心增至 1050hPa, 然后继续加强, 当两股冷空气完全合并后, 锢囚锋消失变成一强冷锋, 11 日 08 时, 蒙古地面冷高压中心最强达 1070hPa, 在此季极为少见。至此, 500~850hPa 高空横槽、地面冷锋和蒙古冷高压是本次寒潮主要影响天气系统。

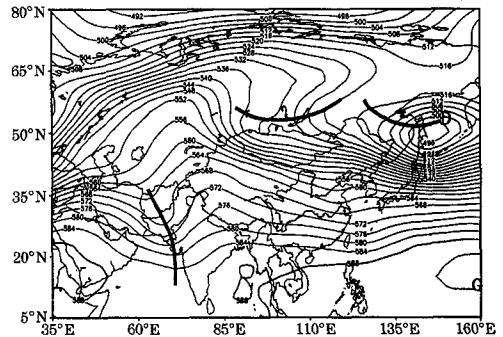


图2 2005年3月9日08时500hPa高度场

### 1.2 冷空气的爆发

9~10 日, 巴伦支海有一短波槽沿高纬东移, 使阻高东北部脊区向东南方移动, 贝加尔湖脊前横槽逐步南压至蒙古国, 槽前等高线疏散形成正涡度平流和冷平流产生负变高; 横槽后部东北气流逆转为西北气流出现暖平流的正变高, 预示着横槽将要转竖。10 日 08 时横槽转为竖槽, 引导中、东西伯利亚强冷空气向南迅猛爆发。同时从西欧低槽中又分裂一短波槽沿阻高南侧东移, 11 日 08 时抵达蒙古国中西部。伴随着阻高脊轴顺转, 在贝加尔湖一带建立一支东北气流, 与刚转竖的低槽后部西北气流及移至蒙古国的短波槽之间重建一横槽, 并在蒙古国仅维持 24 小时便转成竖槽, 又带来一股冷空气,

加强了冷空气南侵的势力。另外, 8 日从印度半岛南支槽中分裂一短波槽东移。10 日 08 时与转竖的北支槽同相叠加, 新建一东亚大槽。南支槽前西南气流与副高北侧偏南气流汇合, 把孟加拉湾和南海丰沛的水汽输向降雪(雨)区。中低层的锋生变形场使得冷空气加速向南爆发, 形成大范围寒潮天气过程。故此, 10~13 日, 强冷空气取西北路径从黄河流域大举南下, 经长江中下游地区入侵华南, 造成我国大部地区出现大风、强降温和淮河以南地区的暴风雪(雨)天气。

### 1.3 冷空气影响的结束

11 日, 从欧洲低槽中又分裂一短波槽沿高纬东移, 与喀拉海低涡同相迭置向南加深, 导致阻高一分为二, 东部分裂脊快速东移, 使东亚大槽减弱东移。13 日 20 时, 强冷空气对我国影响结束。

## 2 强降温形成的原因

某地温度的变化可用热流量方程来表示:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{V} \cdot \nabla T - (\gamma_d - \gamma) \cdot W +$$

$$\frac{\gamma_d}{\rho g} \left( \frac{\partial P}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla P \right) + \frac{1}{C_p} \frac{dQ}{dt}$$

式中, 对于近地层  $W$  可近似为 0, 变压和气压平流引起的温度局地变化也很小。因此, 某地温度的变化主要决定于温度平流和非绝热因子的作用。温度平流主要考虑平流冷暖性质和强度, 非绝热因子考虑辐射、水汽凝结、蒸发和地面感热对气温的影响。气温的非绝热变化主要表现为气温的日变化和气团变性。在本次寒潮过程中, 由于有大范围的锋面云系, 太阳辐射和地表辐射引起的气温日变化较小, 淮河以南降雪(雨)过程中水汽凝结和蒸发作用会使气温有所下降, 但气温骤降则是强冷平流所引起的。故本节只讨论 850hPa 上冷平流的演变情况。

图 3 给出了 3 月 9 日 20 时至 12 日 20 时 850hPa 上温度平流, 从图 3a 中可看到, 与横槽相对应在蒙古国中南部到我国内蒙古大部至新疆出现了东西向的带状冷平流区, 有两个中心分别位于中蒙边境和新疆东部。中心值为  $-65 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $-20 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ , 表明冷空气非常之强。10 日 20 时, 伴随横槽转为竖槽, 带状冷温度平流区变为东北—西南向, 两个强冷平流中心移至渤海和河套地区, 极值为  $-51 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $-40 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$  (图 3b), 24 小时后, 第 2 个横槽崩溃, 带来另一股冷空气。如图 3c 所示, 除华南和东北大部地区外, 我国其它地区均被冷平流区所控制, 但强冷平流区在西部呈东北—西南向,  $-35 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$  平流中心分布在四川东部, 表明第二股冷空气主力从黄河上游经西南地区东部南移, 路径偏西。在东部呈东西向带状位于黄河下游到江南北部一带,  $-65 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$  的强中心在黄海东南部。反映两股冷空气合并后势力更强。到 12 日 20 时 (图 3d), 主要冷平流区在江南和华南, 平流中心一个位于广西、云南交界处, 极值为  $-25 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ , 另一个在日本国南部洋面上, 冷空气强度略有减弱。由此可见, 这次大范围寒潮天气是强盛的冷平流所造成的。致使我国大部地区 48 小时的最低气温下降了  $8^\circ\text{C}$  以上, 其中华西北部 and 北部、江淮、江南、华南北部等地降温达  $14 \sim 18^\circ\text{C}$ , 局部地区超过  $20^\circ\text{C}$ , 显示出冷空气的强大势力。

## 3 南方大到暴雪成因分析

3 月 11~12 日, 强冷空气南下影响长江以南地区。除给很多地区带来大风和强降温外, 最引人关注的是江淮、江南大部出现罕见的大到暴雪天气。700hPa 和 850hPa 上的切变线和西南暖湿气流是强降雪直接影响天气系统。以下就温度垂直结构、动力学和水汽条件分析这次强降雪的形成原因。

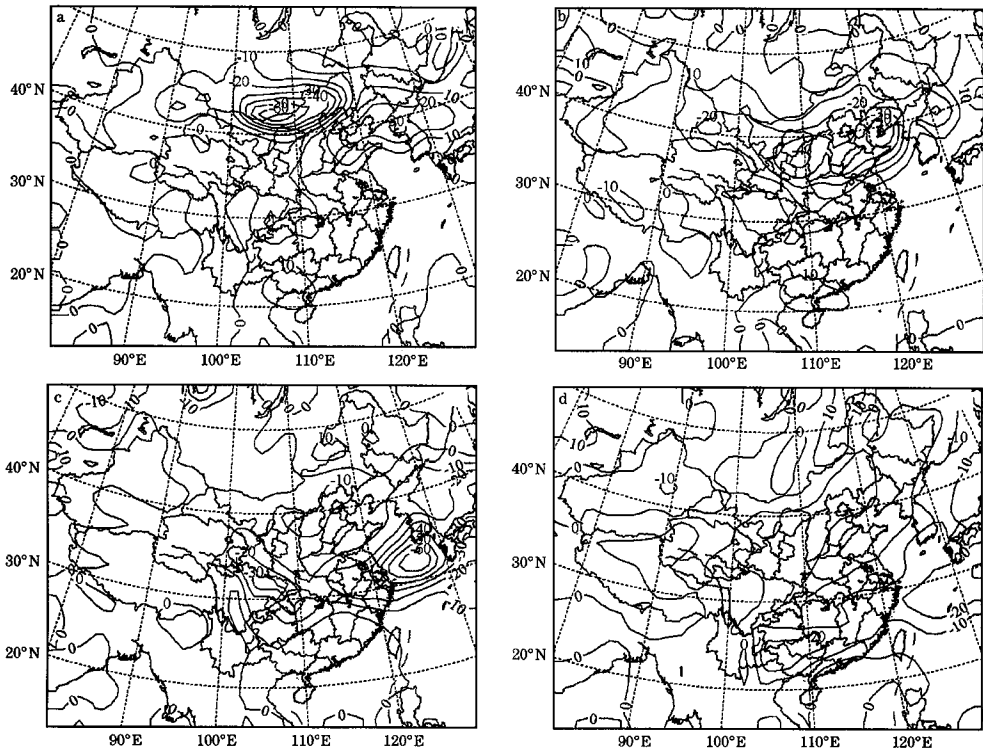


图 3 2005 年 3 月 9 日 20 时至 12 日 20 时 850hPa 冷平流分布图

a. 9 日 20 时; b. 10 日 20 时; c. 11 日 20 时; d. 12 日 20 时, 单位:  $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$

### 3.1 低层大气温度结构的特征

降雪形成条件较之降雨更为复杂。主要是温度条件不同, 尤其对于南方的降雪预报温度条件至关重要。为了更好地分析雨转雪气温条件, 找出降雪和降雨过程气温之差异, 我们选取了 2004 年 12 月 27~28 日南方一次雨转中到大雪过程和本次雨转大到暴雪过程进行了分析。从表 1 可看出, 在这两次雨雪天气过程中代表站降雪时 850hPa 及以上层温度  $\leq -4^\circ\text{C}$ , 925hPa 温度  $\leq -2^\circ\text{C}$  和 1000hPa 温度  $\leq 0^\circ\text{C}$ 。而降雨时, 代表站 1000hPa 温度  $\geq 2^\circ\text{C}$ , 925hPa  $\geq -1^\circ\text{C}$ , 这两层均高于降雪温度。因此, 925hPa 以下层大气温度是南方降水相态的关键, 降雪时 925hPa 气温  $\leq -2^\circ\text{C}$  则可作为固态降水(雪)的预报判据。

表 1 降雪和降雨低层温度特征

站名	降水性质	时间 /年.月.日.时	温度/ $^\circ\text{C}$			
			地面	1000hPa	925hPa	850hPa
南昌	雨	2004.12.27.20	2.7	2	-1	-4
南昌	雨	2005.3.11.20	6.0	5	4	8
长沙	雨	2005.3.11.20	4.6	3	0	4
达川	雨	2004.12.27.20	4.7	3	1	-3
长沙	雪	2004.12.27.08	0.7	-1	-2	-4
长沙	雪	2004.12.27.20	1.3	0	-2	-4
南昌	雪	2004.12.28.08	0.2	-4	-4	-6
汉口	雨夹雪	2005.3.11.20	1.4	1	-3	-2
南昌	雪	2005.3.12.08	0.6	-2	-4	-4

### 3.2 动力学条件分析

#### 3.2.1 散度场特征

经对 11~12 日逐 6 小时 925hPa 到 200hPa 散度场分析发现, 700hPa 冷暖空气强烈的辐合和 200hPa 强辐散是南方大到暴雪形成的有利动力条件。11 日 08 时, 在 925hPa 至 500hPa 之间  $40^\circ\text{N}$  以南为大范围

辐散区；14 时，700hPa 上我国西南地区建立了西南急流并逐渐向东扩展，冷暖空气交汇在 30~40°N，形成了东西向辐合区，700hPa 辐合中心位于陕西南部，强度为  $-24 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ；20 时辐合区南移加强（图 4a），中心位于湖北东部，达到  $-32 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ 。江淮地区的大到暴雪随之开始。12 日 02~08 时辐合区继续南移到 27~30°N，强度稍有减弱，江南中北部的大到暴雪即发生在该区中。14 时以后，辐合区南移到南岭至武夷山西部一带，强度为  $-4 \times 10^{-6} \sim -8$

$\times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ，明显减弱，降水也随之减弱。

经对沿 115°E 散度经向垂直剖面分析发现，降雪区上空始终维持高层辐散、中低层辐合的结构，这种高低空配置使上升运动得到发展，造成大到暴雪。11 日 08~20 时，高层辐散与低层辐合呈加强趋势；11 日 20 时，300hPa 辐散和 700hPa 辐合达最强，极值分别为  $48 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$  和  $-32 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ （图 4b）；12 日 02~30 时，辐散层高度下移至 500hPa，辐合层厚度减小，降雪减弱。

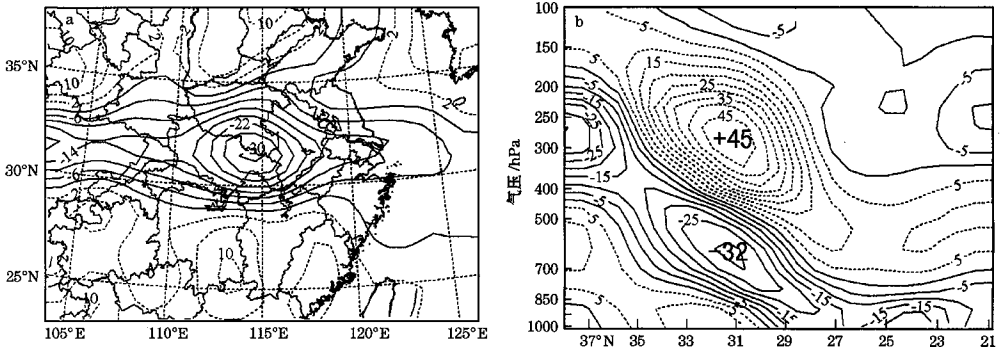


图 4 2005 年 3 月 11 日 20 时 700hPa 散度 (a) 和沿 115°E 散度剖面 (b) (单位:  $10^6 \text{s}^{-1}$ )

### 3.2.2 垂直运动特征

从沿 115°E 经向垂直速度和沿 30°N 纬向垂直速度剖面图上分析表明，这次降雪过程垂直运动发展快，为大到暴雪提供了抬升条件。在 11 日 14 时垂直速度经向剖面图上，降雪区上空垂直速度为  $0.06 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，20 时增加到  $0.19 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，上升运动从 925hPa 伸展到 100hPa 上，最大上升运动中心位于 400hPa。强上升运动区恰好位于武汉上空，致使武汉 20~23 时降雪并伴有雷电的罕见现象。同时，陕西南部和江淮出现了大范围大到暴雪。12 日 2~14 时，上升运动减弱，上升运动及强上升运动的高度分别下降到 300hPa 和 500hPa 层，其中 12 日 08 时强上升运动中心在 28°N，为  $0.07 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，与江南中北部大到暴雪对应。12 日 14 时以后，上升运动南移到 25°N 以南地

区；其伸展高度在 600hPa 以下，垂直运动极值仅为  $0.02 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，明显减弱，最大降雪（雨）也减弱。

### 3.2.3 水汽条件分析

通过分析逐 6 小时 850hPa 和 700hPa 的水汽通量、水汽通量散度及流场可知，这次大到暴雪过程的主要水汽是由 700hPa 上从印度半岛到孟加拉湾北部盛行的一支强西南气流所携带，然后经青藏高原南侧向东输送至长江流域。700hPa 上西南气流从 11 日 14 时开始加强并向东推进，11 日 20 时最大风速加强  $16 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，并位于湖南东北部，12 日 20 时南移到华南，西南气流的偏西分量加大。从 700hPa 水汽通量图（图略）上可看到：这支西南急流将大量水汽带到江南至华南上空，在湘赣中部交界地区和广东中东部分别有两个水汽通量大值中心，强度都

达  $12\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ; 大到暴雪区位于  $700\text{hPa}$  水汽通量密集区北侧。  $850\text{hPa}$  水汽通量大值区位于华南, 其值为  $11\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。  $700\text{hPa}$  和  $850\text{hPa}$  水汽通量大小相当。图5是3月11日20时  $700\text{hPa}$  和  $850\text{hPa}$  水汽通量散度及流场, 由图5b可看出,  $700\text{hPa}$  上北方冷空气南下和西南气流交汇在长江流域, 形成了一条东西向风辐合区, 并与水汽通量辐合区重叠, 水汽通量辐合大值区位于湖北中南部, 中心值

达  $-3.2 \times 10^{-7} \cdot \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 11日14时至12日14时, 水汽和流场辐合重合区维持。从图5a中可看出, 11日20时  $850\text{hPa}$  水汽通量辐合区位于江南南部到华南东部, 在湖南南部有一辐合中心。流场上的辐合区比  $700\text{hPa}$  偏南  $2 \sim 4$  个纬距, 可能是本次降水范围大的原因之一。由此可见, 中低层水汽和动力的辐合是造成南方大到暴雪天气的重要条件。

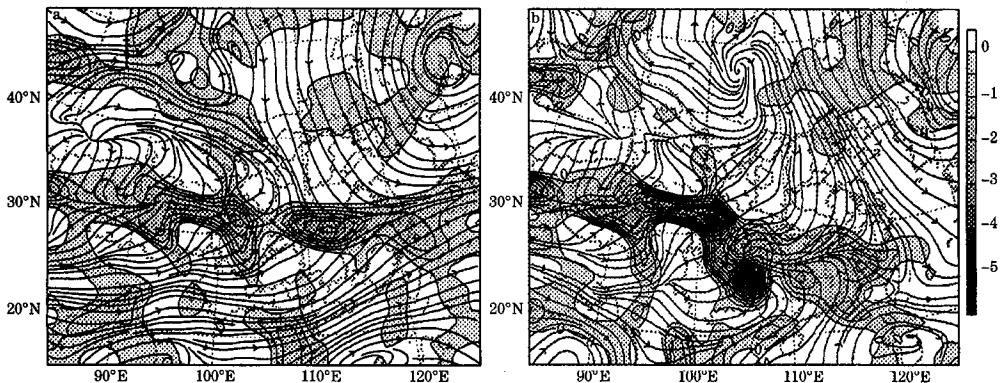


图5 2005年3月11日20时  $700\text{hPa}$  (a) 和  $850\text{hPa}$  (b) 水汽通量散度及流场  
阴影区表示水汽通量辐合区, 单位:  $10^{-7} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$

#### 4 小结

(1)  $500\text{hPa}$  黑海到里海、咸海一带强劲的暖平流致使在西伯利亚地区建立阻塞高压, 形成横槽, 横槽北侧的东北气流引导超极地冷空气和西路冷空气合并加强; 形成了异常强的冷高压、锋区、冷温度中心和冷温度平流, 是造成本次寒潮大风降温的主要原因。

(2) 两个短波槽东移侵入阻高, 48小时内横槽出现两次建立和南移转为竖槽, 阻塞高压崩溃, 导致冷空气大举南侵。

(3) 寒潮爆发带来剧烈的降温形成了有利于降雪的温度,  $925\text{hPa}$  以下低层大气温度是降水相态变化关键。  $1000\text{hPa}$  上温度  $\leq 0^\circ\text{C}$ ,  $925\text{hPa}$  上温度  $\leq -2^\circ\text{C}$ , 可作为固态降水(雪)的预报判据。

(4)  $700\text{hPa}$  上切变线和江南西南急流是造成这次大到暴雪的直接影响系统, 西南急流与冷空气的交汇形成了较强动力辐合和水汽辐合, 对江淮和江南中北部大到暴雪的形成起了重要作用。大到暴雪区上空维持高层辐散、低层辐合有利的动力条件。

#### 参考文献

- 1 宗志平, 刘文明. 2003年华北初雪的数字模拟和诊断分析. 气象, 2004, 30 (11): 3~7.
- 2 樊明, 冯军, 尚学军. “2001.4.9”寒潮天气形成过程分析. 气象, 2002, 28 (3): 54~57.
- 3 刘丽. 低纬高原冬季寒潮个例分析. 气象, 2001, 27 (8): 53~55.
- 4 张培忠, 陈光明. 影响中国寒潮冷高压的统计研究. 气象学报, 1999, 57 (4): 493~501.
- 5 朱红, 黄玲琳. 南方大雪预报温度浅析. 浙江气象, 2003, 24 (1): 26~28.