

2008 年初“低温雨雪冰冻”灾害天气的 持续性原因分析^{* 1}

杨贵名 孔 期 毛冬艳 张芳华 康志明 宗志平

YANG Guiming KONG Qi MAO Dongyan ZHANG Fanghua KANG Zhiming ZONG Zhiping

国家气象中心,北京,100081

National Meteorological Center, Beijing 100081, China

2008-08-05 收稿,2008-09-12 改回.

Yang Guiming, Kong Qi, Mao Dongyan, Zhang Fanghua, Kang Zhiming, Zong Zhiping. 2008. Analysis of the long-lasting cryogenic freezing rain and snow weather in the beginning of 2008. *Acta Meteorologica Sinica*, 66(5):836-849

Abstract From the forecasting perspective, main characteristics of the cryogenic freezing rain and snow weather in the beginning of 2008 as well as associated circulation features have been analyzed. Meanwhile, we also studied the causes for the freezing rain and snow storms. During this period, the atmospheric circulation patterns were stable. The polar vortex was strong and located in the northern part of the East Hemisphere. The cold air from polar areas and warm air from the tropical sea confronted each other for a long time, which was considered as the main reason for this event. The blocking high in the west of the Baikal was robust, and the low trough (vortex) in central and western Asia was vigorous but less versatile in its position. The southwesterly flows were persistent at 700 hPa and there were active shears and vortex activities at 850 hPa, which provided a very favorable condition for the low-level convergence necessary for the subsequent rainfall. In mid-troposphere, vortex activities developed over the Tibetan Plateau with positive vorticity propagating eastward to the coastal regions of eastern China. The western Pacific subtropical high was intensive, stretching westward and northward. The subtropical frontal zone was puissant, and the north-to-south temperature gradient was large. The quasi-stationary fronts in Huanan and Yunnan-Guizhou were maintained steadily. The warm air over the tropical sea was active. The stable inversion layer and the thicker melting layer were one of the main reasons for the long-time freezing rain. There were four episodes associated with this event. The first episode was resulted from the interaction between the cold and warm air. Later, the other episodes were caused by the quasi-stationary front in Huanan and Yunnan-Guizhou, as well as the dispersed from the north cold air. The main reason for the snow storms in the beginning of 2008 was that positive vorticity in the Sichuan Basin propagated eastwards to the coastal regions of eastern China. Abundant water vapor and intense upward motion were very favorable for the intense snowfall.

Key words Cryogenic freezing rain and snow weather, Circulation characteristics, Cold and warm air, Inversion, Causal analysis of snowstorm

摘 要 从预报角度出发,初步分析了2008年初“低温雨雪冰冻”天气的主要特点和环流特征,对冻雨、暴雪的成因也进行了初步分析:2008年初低温雨雪冰冻期间,大气环流形势稳定,极涡中心偏向于东半球,强而稳定,来自极地的冷气团与来自热带洋面的暖气团长时间在长江中下游地区交汇是主要原因;贝加尔湖以西地区阻塞高压强而稳定,中亚、西亚低槽(涡)位置稳定、发展活跃;对流层700 hPa等压面西南气流稳定,850 hPa低层多切变、低涡活动,为降水提供了非常有利的低空辐合条件;对流层中层高原有低涡发展,高原不断有正涡度向东传播至东部沿海;西太平洋副热带高压(副高)强盛,位置偏西、偏北;副热带锋区强盛,南北温度梯度大;南支槽比较活跃;华南准静止锋、滇黔准静止锋稳定维持;热带洋面上暖气团活跃;逆温层

* 资助项目:科技部“科研院所社会公益研究专项课题”;不利气象条件对公路安全影响机理及对策研究项目(2004DIB3J100)。

作者简介:杨贵名,主要从事天气预报和研究。E-mail: yanggm0417@yahoo.com.cn

稳定,融化层厚度较厚,是长时间冻雨天气的主要原因之一。2008年初低温雨雪冰冻期间的第1次过程为强冷、暖气流共同作用所致,其后是华南、滇黔准静止锋稳定,扩散冷空气渗透所为;2008年初暴雪天气的主要因四川盆地有正涡度向东传播至中国东部沿海地区,水汽充沛,上升运动强烈所致。

关键词 低温雨雪冰冻天气,环流特征,冷暖气团,逆温,暴雪成因分析

中图法分类号 P458.1+2.1 P441

1 引言

“低温雨雪冰冻”天气过程是指长时间(持续天数 ≥ 6 d)维持近地面低气温、并伴有连续降雪、冰冻天气的过程,即最高气温 ≤ 1 °C、平均气温 ≤ 0 °C并伴有冻雨和雨雪的天气过程。冻雨(又称冰雨、雨凇)天气,是一种严重的灾害性天气,它会给交通运输、电力传输、通讯设施、农业生产、群众生活带来极大影响。2008年1月10日至2月5日,中国出现了大范围的持续“低温雨雪冰冻”天气,给国民经济造成了巨大损失,此次低温雨雪冰冻天气范围广、强度大、持续时间长、过程之间基本无间歇期,灾害重。长江中下游及贵州连续低温日数和连续冰冻日数均超过1954/1955年冬季,达到历史最大值(王凌等,2008),给湖南、湖北、安徽、江西、广西、贵州等20个省(区、市)交通运输、能源供应、电力传输、通讯设施、农业生产、群众生活造成严重影响。过程分别出现于1月10—15日、18—22日、25—28日、1月31日至2月2日、2月4—5日。

冰冻一般包括冻雨、雨凇,唐熠(2003)将一次雨凇天气与一次飘雪天气过程做了异同分析,认为雨凇预报要着重700 hPa增温和850 hPa降温。贵州是中国冻雨最多的地方,大多数过程与滇黔静止锋相联系。吕胜辉等(2004)在分析天津机场冻雨时,得出低空急流、冰晶层、融化层、地面到1—2 km厚的冷层是冻雨出现的大气垂直结构。王晓兰等(2005)对2005年湖南省特大冰冻灾害天气进行了分析,得出逆温层底高度偏低,逆温层顶气温偏高,1000—925 hPa为较厚的过冷层是冰冻灾害的一个主要原因。朱明辉等(2006)对南岳雨凇的分析认为,南岳雨凇与冷冬及西太平洋副热带高压(副高)关系密切,冷冬年南岳雨凇偏多,暖冬年则偏少;副高偏弱时南岳冬季偏冷,反之则偏暖;副高西脊点偏东时南岳雨凇日数偏多,反之偏少。杜海信等(2006)的分析研究认为,吉林雨凇是在稳定形势下,高空槽发展为低涡,副冷锋缓慢南压是雨凇长时间

维持的原因,暖空气势力较强时近地面有辐射逆温的冷气层时,平原地区可出现明显雨凇。何玉龙等(2007)根据历年气候和探空资料,分析贵阳降雪和凝冻天气的大气层结特征,结果表明,出现凝冻天气时大气中多有逆温层存在,地面气温多在0 °C以下,中高层风速较降雪时大;降雪天气时中高层气温较凝冻天气要低,地面气温多在一3—3 °C;两种天气的大气在垂直方向上均处于比较稳定的状态。叶茵等(2007)总结贵州冻雨时得出,强冻雨年,500 hPa高度距平在中高纬度呈准对称分布,即极圈为负距平,极圈外围为正距平,尤其在欧亚地区,“南正北负”型分布更为明显;弱冻雨年,500 hPa高度距平在中高纬度仍呈对称分布,但正、负中心位置跟强冻雨年接近相反,主要表现为在欧亚地区上空呈“南负北正”的距平分布。Ronald等(1987)在研究冻雨期间南安大略湖的降水型的中尺度结构及发展时发现,与暖锋和冷锋相联系的降水带是主要原因,冻雨发生时逆温层中存在融化层和低层的冷层。George等(1988)对过冷却暖雨过程和冻雨的特性进行了分析,观测发现约30%的冻雨个例发生于次冻结大气中(与经典融化冰晶模式比较)。并用过冷却暖雨过程概念解释了这些个例:暖雨过程即使凝结核很少也可以在次冻结大气温度情况下产生液水凝结物,并发现在次冻结大气中所有冻雨个例均显示出红外云图云顶的水汽含量迅速减小特征,温度分布在0 °C—-10 °C。John等(2000)总结了北美大湖区的冻雨气候特征,冻雨时空分布表明,多数冻雨时间是短时的,持续不到1 h,7%的冻雨持续超过5 h,并出现于12月至次年3月,多数冻雨与温带气旋相联系,出现于气旋东北部,发生于近地面有低于0 °C的冷层和850 hPa高于0 °C的暖层层结条件下。Kathleen等(2004)用自动地面观测系统对2002年12月的冻雨风暴进行了分析。王东海等(2008)对2008年1月中国南方低温雨雪冰冻天气的特征和动力学成因做了初步分析,得出了一些有意义的结果。吴乃庚等(2008)分析了2008年初中国南方持续低温雨雪

冰冻天气过程的成因,结果表明,此次罕见天气过程是在近年来最严重的一次“拉尼娜”事件背景下发生的,与欧亚地区持续大气环流异常密切相关。在“北脊南槽”和西太平洋副高偏北偏强的形势下,北方冷空气不断从青藏高原东北侧南下,同时孟加拉湾和南海地区源源不断的水汽往北到东北方向输送,冷暖气流在中国南方地区频繁交汇,使对流层中低层形成逆温层和局地经向环流产生异常,造成了持续低温雨雪冰冻过程。由此可见,对于冻雨问题的研究国内外已有很多,但对长时间低温雨雪冰冻天气过程少有人进行研究,本文试图分析2008年初发生于中国的低温雨雪冰冻天气过程的持续性特征,及为什么低温雨雪冰冻天气会持续这么长。

本文使用的资料主要包括:(1)2008年1—2月的NCEP/NCAR每日4次的再分析资料,水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度;(2)2008年1—2月的NCEP/NCAR日平均再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度;(3)1985—1996年1—2月的NCEP/NCAR再分析日长期平均资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度;(4)2008年1—2月每日8次的地面

观测资料,6、24 h降水资料等;(5)2008年1月FY-2C红外云图射出长波辐射(OLR)资料。

2 低温雨雪冰冻天气过程概况及特点

2.1 过程概况

从2008年1月10日至2月2日的中国降水量分布(图1)看出,青藏高原东部、西北地区东部、华北西南部、黄淮西部和南部、江淮、江汉、江南、华南、云贵高原、四川东部和南部、重庆以及西藏西南部、新疆西南部等地的累计降水量均在10 mm以上,降水量较大的区域集中在江淮、江汉东部、江南、华南及云南西北部等地,过程降水量50—250 mm;贵州、湖南、江西以及广西东北部、安徽南部等地出现了冻雨或冰冻天气;贵州累积降水量较小,以冻雨天气为主。

2008年1月10日至2月2日中国降水距平分布图(图略)表明,东北地区、华北东北部和内蒙古东部等地降水量偏少5—9成,其余大部分地区降水量偏多1—2倍,西北地区大部、华南中南部等地偏多超过2倍。

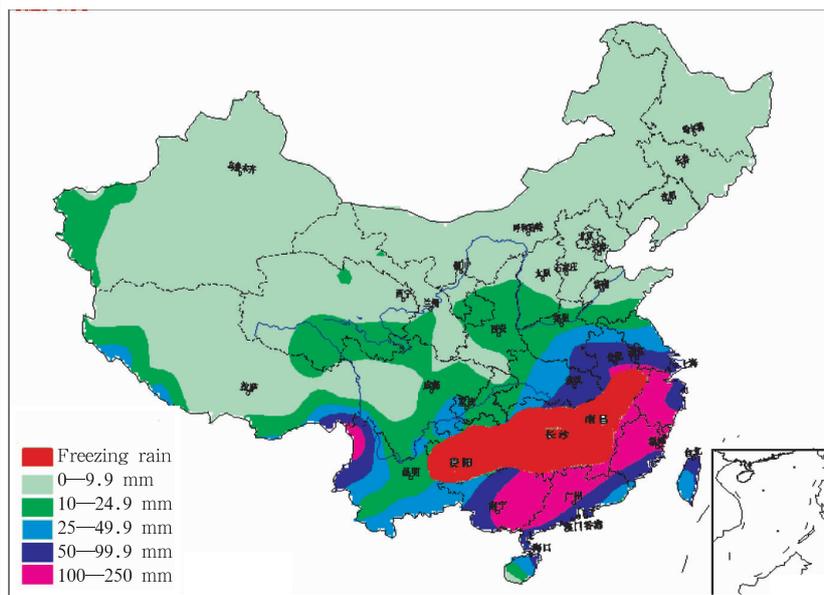


图1 2008年1月10日至2月2日中国降水量分布(单位:mm)

Fig. 1 Total rainfall (unit: mm) in China during 10 January to 2 February 2008

上述长时段的低温雨雪冰冻天气,可划分为5次过程(王凌等,2008),本文主要就强度较强的前4次过程进行分析。

2.2 “低温雨雪冰冻”天气过程主要特点

2.2.1 灾情特点

此次低温雨雪冰冻灾害造成的损失极为严重。

据民政部统计,中国受灾人口1亿多,直接经济损失达1500多亿元,农作物受灾面积和直接经济损失均已超过2007年全年低温冻害造成的损失。受灾严重的有湖南、湖北、江西、安徽、贵州等省,冰冻灾害对电力、交通运输、农业及人民群众生活造成了严重影响和损失(王凌等,2008)。

湖南省除一个站外,全省各站均出现冰冻,影响范围达99%;出现17 d冰冻的站数超过全省总站数的50%,出现8 d冰冻的站数超过全省总站数的75%;1月29日冰冻站数达全省站数的95.9%,是这次过程单日出出现冰冻范围最大的一天;宁乡、冷水江、湘乡、新宁、邵阳县、通道、桂阳等7县市冰冻持续20 d以上。全省过程雨淞持续天数达28 d(除衡山外),超过1949年以来最长的1983年(23 d);单站雨淞持续天数达27 d,超过1949年以来最长的1954年(20 d)。

贵州省自2008年1月12日开始,全省各地自东北向西南先后受到强冷空气影响,气温急剧下降,出现冻雨天气过程。持续时间普遍超过23 d。截止到2月17日,贵州省的西部部分县市冰冻已维持达36 d。

江西自1月24日至2月2日共出现9 d大范围冻雨。

广西北部共有226站次出现冰冻,101站次出现冻雨,冰冻、冻雨最长连续日数分别为22和21 d。

单就冻雨造成的电线积冰而言,河南省的积冰直径最大。河南省的冰冻天气持续时间短,仅仅发生在2008年1月10日14时(北京时、下同)至11日23时。10日14时雨淞于许昌、郑州、开封等豫中地区生成,之后迅速向东南方向扩展。从11日08时电线积冰直径观测来看,大值区位于豫中、豫东附近,全省共20站的降雨量 $R \geq 50$ mm,其中6站 $R \geq 100$ mm,最大的许昌站降雨量达160 mm。12日08时电线积冰直径大值区位于豫东南、豫中和豫东,全省共31站 $R \geq 50$ mm,其中12站 $R \geq 100$ mm,最大站鸡公山达160 mm。

南方除江西庐山84 mm和安徽黄山光明顶的电线积冰直径为61 mm外,电线积冰最严重的主要出现在贵州省中东部地区,电线积冰直径普遍为30—60 mm,以1月29日铜仁地区万山出现的电线积冰83 mm为最大。

2008年中国南方气象灾害无论范围、强度以及

持续时间,很多地区为50年一遇,部分地区百年一遇,属历史罕见。较美、加大湖区历史罕见的1998年1月5—9日的冻雨过程严重得多(John,2000)。

2.2.2 主要天气特点

这次低温雨雪冰冻天气雨雪、冻雨范围广,降雪强度大,雨雪、冻雨持续时间长,过程之间基本无间歇,地面温度(百叶箱温度)明显偏低且持续时间长,低温阴冷天气特征突出。

将每日8次观测资料的冻雨站数(以中央气象台接收到的965个测站为基数)进行统计,然后相加得出日冻雨站次(2008年1月10日至2月2日每日8次冻雨站数累加得出总站次)(图2a),每日冻雨总站次的时间演变与4次过程极为吻合,冻雨首先于1月10—11日出现在河南郑州附近,随后于13日开始在贵州、湖南出现,4次过程中第2次(18—22日)、第3次(25—28日)雨雪、冰冻最强,其中25日共出现283站次,为此次过程中冻雨范围最大的一天;黔湘赣2008年1月10日至2月2日每日8次冻雨站数累加数总站次图(图2b)显示了同样的特征,贵州、湖南的冻雨最多站次分别出现在19、20日,而江西则在27日冻雨站次最多,达100站次。

由4次冻雨过程水平分布范围(图略)可知,第1次过程的冻雨范围主要分布在贵州中部、湖南南部和云南东部,呈现东西带状分布;第2次过程冻雨范围迅速扩大、几乎覆盖整个贵州和湖南;第3次过程的冻雨区向东扩展至江西、安徽南部和浙江西北部,且向南波及到广西东北部的桂林地区,西段呈东西带状分布,东段呈东北—西南走向,是4次过程中冻雨范围最大的一次;第4次冻雨范围迅速缩小,但有向云南东部发展趋势,东西带状分布特征仍很明显。

3 低温雨雪冰冻天气成因分析和中短期预报——预报员重点关注的问题

3.1 环流特征及成因分析

3.1.1 概述

1月10日至2月2日的500 hPa平均环流(图3a)显示,极涡呈2波型,主中心略偏于东半球,中心区位势高度低达496 dagpm,较多年平均偏低16 dagpm(图3b);极涡轴线沿140°E向南伸至55°N,即鄂霍次克海附近,形成次中心,使该地区的位势高

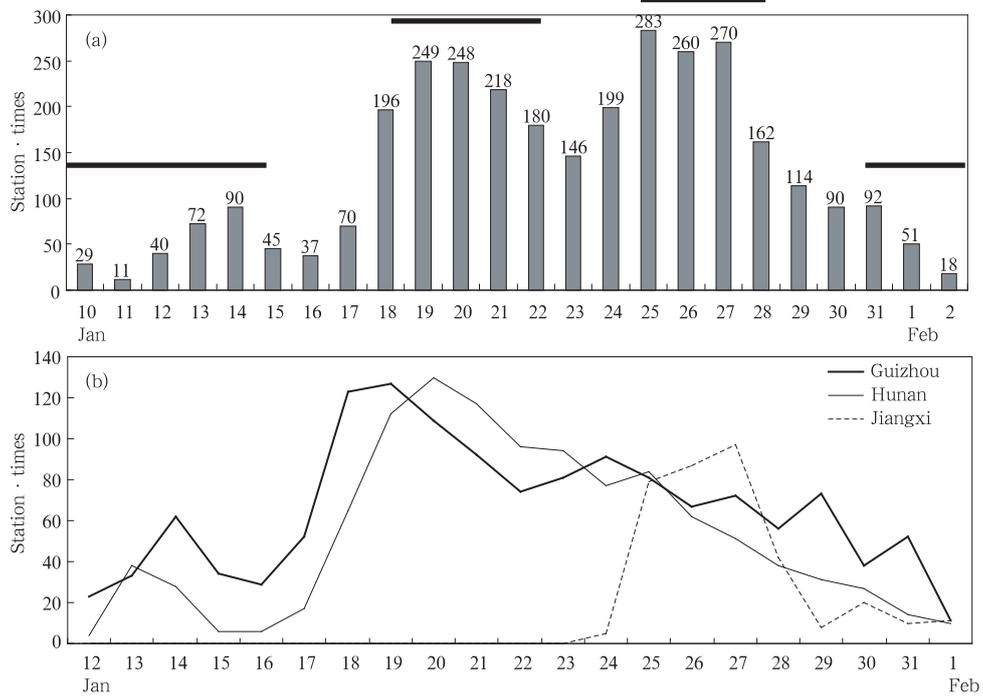


图2 2008年1月10日至2月2日中国(a)和贵州、湖南、江西(b)每日8次冻雨站数累加总站次 (图a中粗线为逐次过程标示线,下同)

Fig. 2 Total numbers of the stations with freezing rain in China (a) and Guizhou, Hunan, and Jiangxi provinces (b), observed eight times everyday during 10 January to 2 February 2008 (The thick solid are the remarks of the four episodes, the same with other pictures)

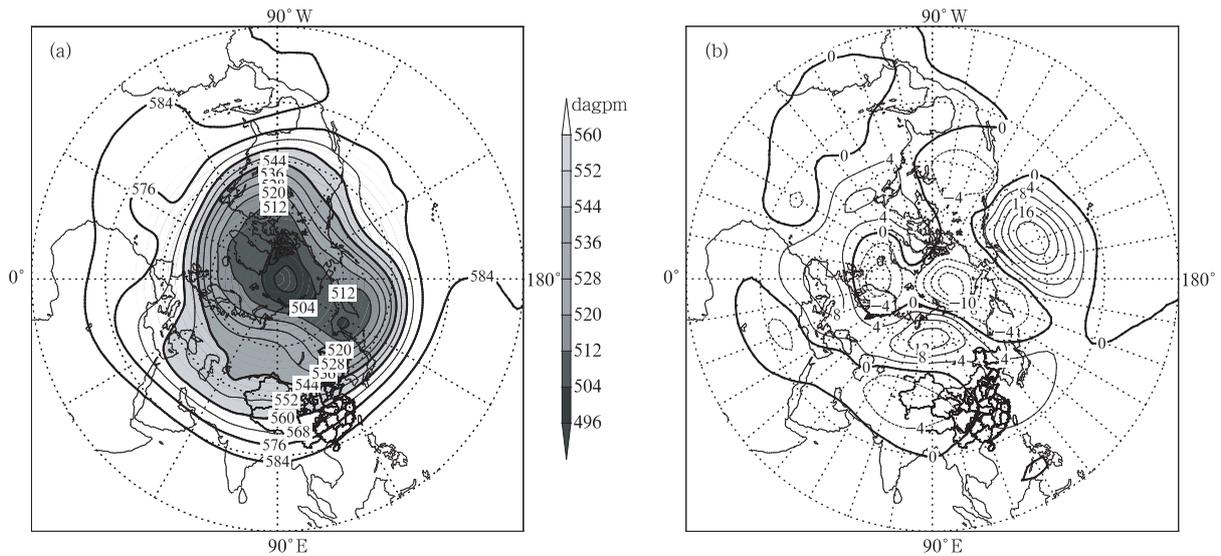


图3 2008年1月10日至2月2日500 hPa平均高度(a)与距平(b)
Fig. 3 500 hPa average height (a) and anomaly (b) during 10 January to 2 February 2008

度较多年平均偏低 4 dagpm (图 3b); 在逐次过程 500 hPa 平均环流图上(图略), 鄂霍次克海域及以北的低槽或低涡稳定, 贝加尔湖以西地区强大的阻塞高压稳定, 并伴有 12 dagpm 的位势高度正距平;

两个强盛的系统之间形成了西北—东南向的强气压梯度, 使得中国中东部地区长时间维持高空西北气流, 对应地面为庞大的冷高压所控制, 是持续低温雨雪冰冻天气的稳定环流形势, 在此环流形势下, 不断

有冷空气分股南下;东太平洋 40°N 附近西风带高压脊异常强盛,位势高度正距平达 20 dagpm;西北太平洋副高也较多年平均强,同时东亚大槽偏弱。逐次过程 500 hPa 平均环流图上(图略)584 dagpm 北抬至中国华南沿海,并且 10—17 日、25—28 日两次过程均在西北太平洋有 588 dagpm 的环流出现,反映出副高异常强盛;上述准静止超长波使日本及其以东洋面上空的东亚急流非常强盛。大西洋东岸的副高也较强,并有 8 dagpm 的位势高度正距平相伴;地中海到北非东部的槽较强,逐次过程 500 hPa 平均环流图上(图略)尤为清楚,与中亚到西亚的低槽组成宽广的低槽区,致使北非到东亚横贯东西的副热带锋区或副热带纬向气流非常强盛;中亚到西亚的低涡或低槽稳定(图略),该系统使得来自西西伯利亚的冷气流到达中国新疆以西地区后,由于帕米尔高原的地形阻挡而分岔,向南的气流沿青藏高原南麓向东南移动,到达孟加拉湾后使得南支槽强烈发展;向北的一支气流,当其较强时翻越新疆西部山区取东路进入新疆地区,而后沿着河西走廊向东移动,这正是南疆地区连续大雪、甘肃等地出现创记录的暴雪的主要影响系统和原因;强盛的西亚低槽对此次“低温雨雪冰冻”天气的贡献是:从槽中不断分裂冷空气东移,到达孟加拉湾后使得西南气流加强,从而提供热量和充沛的水汽;低纬度副热带锋区

平直、强盛(图 3a)。平直而强盛的西风锋区上,常有波动生成或从上游(西亚或中亚)移来(图略),产生很强的西南气流或低空急流,为中国长江流域的降水输送动量、热量和水汽。

1 月 10 日至 2 月 2 日的 500 hPa 位势高度距平图(图 3b)表明,欧亚地区从极地到中低纬度“负—正—负”的位势高度距平分布,意味着东半球极涡、阻高、中低纬锋区较多年平均强盛,这种 AO 正位相分布是强冻雨年的较典型分布(叶茵等,2007;王东海等,2008)。特别是与负距平相伴的长轴沿 140°E 经向的强极涡分布,使得西北太平洋急流强而稳定,欧亚大陆东岸正处于西北太平洋急流的入口区,非常有利于贝加尔湖以西地区阻高的长时间稳定维持和中国东部地区冷暖气流长期交汇。

分析表明,大气环流在整个低温雨雪冰冻期间异常稳定。

3.1.2 阻高特征和成因分析

分析图 3 得知,低温雨雪冰冻期间,亚欧阻塞高压(阻高)异常强盛稳定。为什么会出现这么稳定的形势呢?

阻高稳定的原因:从 1 月 10 日至 2 月 2 日 75°—85°E 平均位势高度纬度—时间演变图(图 4a)看出,同期多年平均(黑线),该区域气流平直,有小振幅波动传播,代表极锋区的特征线之一的 544 dagpm 线

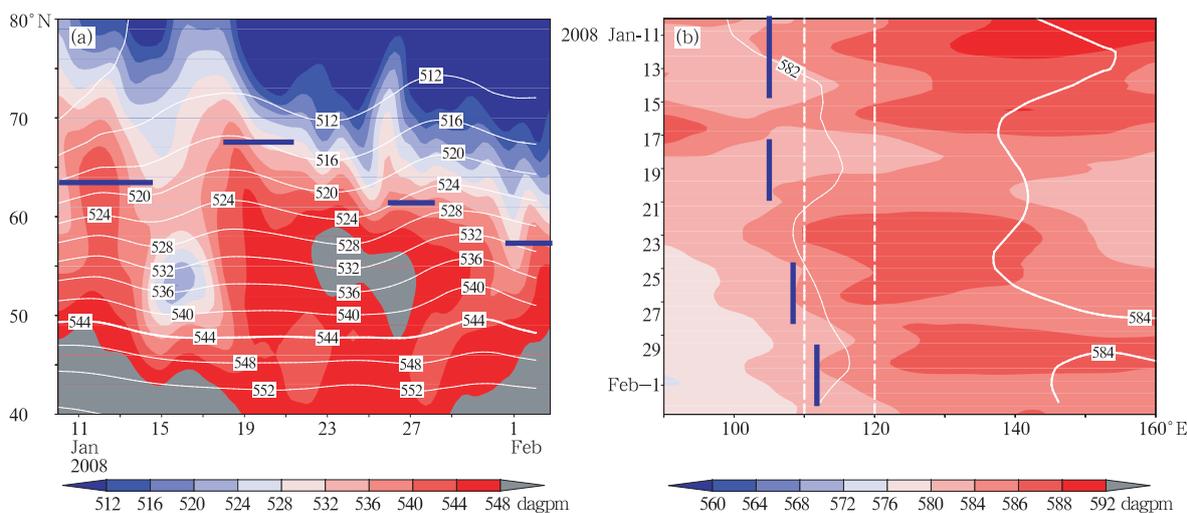


图 4 2008 年 1 月 10 日至 2 月 2 日 75°—85°E 范围平均的 500 hPa 位势高度(阴影,单位:dagpm)和同期多年平均位势高度(实线)纬度-时间演变(a)、15°—25°N 范围平均的 500 hPa 位势高度(阴影,单位:dagpm)和同期多年平均位势高度纬度-时间演变(b)

Fig. 4 Temporal variations of the zonal geopotential height at 500 hPa over 75°—85°E (a), 15°—25°N (b) during 10 January to 2 February 2008 (shaded, unit:dagpm) and the multi-year mean geopotential height in the same period (solid lines)

在 50°N 附近,而 1 月 10 日至 2 月 2 日(阴影区)显示,11—30 日除了 15—17 日外,多数时间 544 dagpm 位于 $55^{\circ}\text{—}60^{\circ}\text{N}$,其中 12 日 540 dagpm 线一度北推到 67°N 附近,之后急剧南落,发生了一次中高纬度波动调整,540 dagpm 线于 15 日自 67°N 迅速南移到 47°N 附近,于 16 日前后,在 53°N 附近位势高度急剧下降(中心区域位势高度低达 524 dagpm),引发了第一次强冷空气爆发。随后阻高于 18—19 日再度北推至 67°N (而且持续稳定于 60°N 附近),导致了 18—22 日的中国大部地区大范围低温雨雪天气和南方冰冻天气。当 23—27 日 55°N 附近位势高度增大,阻高加强时,也正是 25—28 日最强雨雪冰冻天气过程发生的前兆,具有明显指示意义。30 日阻高明显南落。

整个低温雨雪冰冻过程期间阻塞高压异常强盛,为什么?王东海等(2008)的初步分析认为,阻塞高压上游 50°N 区域有极强的负涡度平流持续输送到阻塞区,使濒临崩溃的阻塞形势得以重新加强,从而使阻塞形势长时间稳定维持。

3.1.3 中亚低涡特征分析

分析 1 月 10 日至 2 月 2 日 $35^{\circ}\text{—}45^{\circ}\text{N}$ 平均的 500 hPa 位势高度经度—时间演变(图略)可知,中亚低涡的强度稳定、活跃,在此次低温雨雪冰冻天气过程中起了非常重要的作用。多年同期平均,低值系统多位于里海(50°E)附近。1 月 10 日至 2 月 2 日,中亚低涡较多年平均明显偏强且位置偏东约 20 个经度,位于 70°E 附近,且在 18—22、25—28 日的 2 次过程中向东传播,并在东部沿海地区发展加强,造成这 2 次大范围(18—22 日第 2 次,25—28 日第 3 次)强天气过程,东传过程之中也给甘肃、青海等地造成了创历史记录的低温天气。

3.1.4 副高特征及成因分析

由 1 月 10 日至 2 月 2 日 $15^{\circ}\text{—}25^{\circ}\text{N}$ 平均的经度—时间演变图(图 4b)看出,多年同期平均 584 dagpm 线(黑粗线)在 140°E 以东,而 1 月 10 日至 2 月 2 日(阴影区) $15^{\circ}\text{—}25^{\circ}\text{N}$ 平均的副高强盛,西脊点曾

达 110°E 。第一次副高无论从西伸脊点位置、还是强度都远远超过多年同期平均^①,当其西脊点和强度到达最盛后迅速东退减弱时,发生了低温雨雪冰冻天气的第 1 次强冷空气过程,说明中高纬西风带系统与低纬副热带系统是密切关联、同步发展的。第 2 次过程是副高先东退再西进的发展过程所致,第 3—4 次副高呈逐渐缓慢东退趋势,与低温雨雪冰冻天气过程逐渐向南发展、强天气主要出现于中国南方大部分地区非常一致,可见中国降水区域与副高的位置关系极为密切。

分析 $110^{\circ}\text{—}120^{\circ}\text{E}$ 平均的 500 hPa 高度经度—时间剖面图(图略)得知,584 dagpm 线多年平均位于 20°N ,588 dagpm 线多年平均位置在 15°N , $110^{\circ}\text{—}120^{\circ}\text{E}$ 区域平均的副高强盛,其北界的进退与 4 次过程对应较好,第 2—4 次过程副高北界南退与过程逐渐向南发展非常一致。

副高偏西、偏北、偏强是 1 月 10 日至 2 月 2 日连续出现 4 次大范围强雨雪冰冻天气的主要原因之一。

2008 年 1 月 5 日 20 时红外云图(图略)上,从澳大利亚北侧洋面经印尼群岛越过赤道至菲律宾附近洋面上空有明显的对流云带;由 2008 年 1 月 OLR 距平图(填色部分为负距平区)(图 5a)可看出,从澳大利亚北侧洋面经印尼群岛越过赤道至菲律宾附近洋面上空为大片的负距平区域,反映出与常年相比,西太平洋热带对流旺盛,负距平强;对流旺盛意味着上升气流或上升运动强烈,则其北侧的下沉运动也应强烈,下沉动力增温可能是副高偏强、位置偏北的重要原因之一。

从 2008 年 1 月 10 日至 2 月 2 日 $110^{\circ}\text{—}130^{\circ}\text{E}$ 范围平均的 $v\text{—}\epsilon$ 距平环流(图 5b)看出,在赤道以北地区整个对流层有一个深厚的距平气流反环流,距平气流下沉支位于 $3^{\circ}\text{—}12^{\circ}\text{N}$,上升支位于 12°N 以北地区。整个反环流使副高加强,也使副高西北侧的上升运动加强。这可能是副高较多年平均强盛的另一原因。

^① 与朱明辉,王琪等(2006)“冷冬年份南岳雨淞日数偏多,暖冬年份南岳雨淞日数偏少;副高偏弱时南岳冬季偏冷,副高偏强时南岳冬季偏暖”不一致。这种不一致有待于进一步研究。

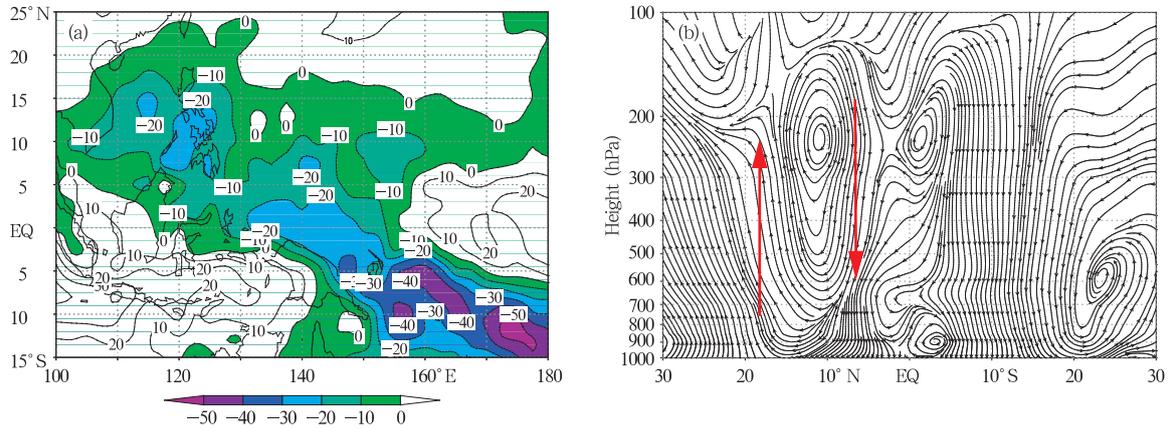


图5 2008年1月 OLR 距平(填色部分为负距平区)(a),2008年1月10日至2月2日 110°—130°E 范围内平均的 $v-\omega$ 经向距平环流(b)

Fig.5 (a) OLR anomaly in January 2008 (shaded areas represent the negative anomaly); (b) Average anomalous circulation of $v-\omega$ over 110°—130°E during 10 January to 2 February 2008

3.1.5 锋区特征及其与低温雨雪冰冻的关系

从 105°—120°E 平均的锋区强度 $T_{20^{\circ}N} - T_{30^{\circ}N}$ (图6)看出,1月10日以后 750 hPa 以下气层副热

带锋区逐渐加强,最强时在 10 个纬度内南北温差达 22 °C,强锋区使中国副热带地区长时间维持低温天气,也使得冷暖气流在中国长江流域长期处于交汇

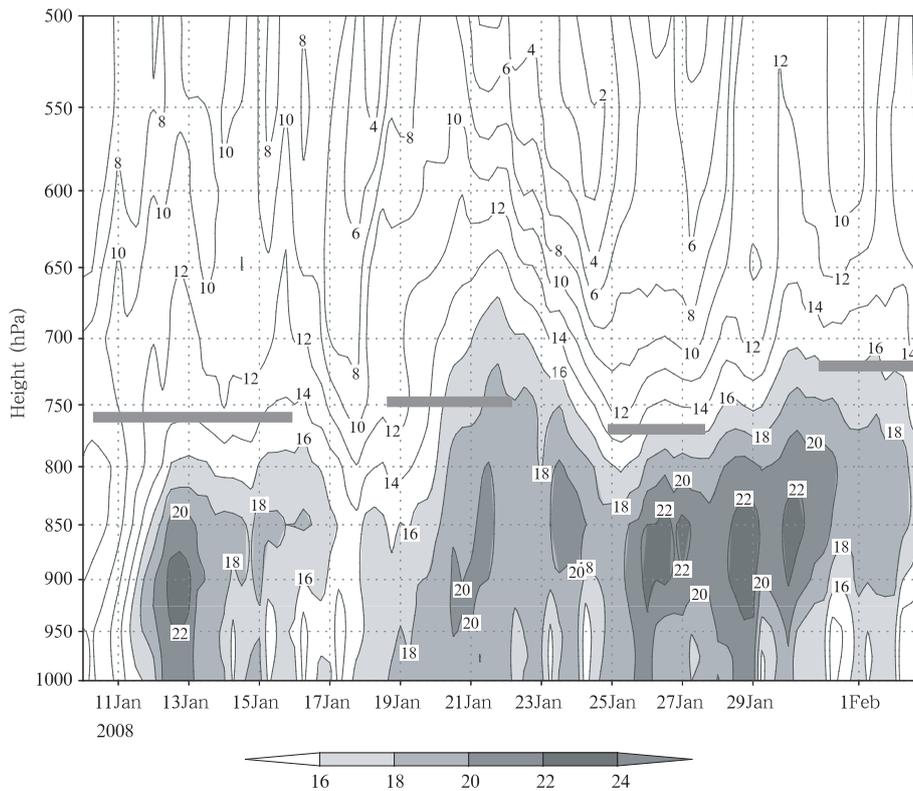


图6 2008年1月10日至2月2日 105°—120°E 平均的锋区强度 ($T_{20^{\circ}N} - T_{30^{\circ}N}$) 高度-时间演变图(单位: °C)

Fig.6 Height-time section of the average intensity of the frontal zone over the region 105°—120°E ($T_{20^{\circ}N} - T_{30^{\circ}N}$; unit: °C) during 10 January to 2 February 2008

状态,特别是1月13日、26—30日 105° — 120° E平均的南北温差超过了 22°C ,且大于 22°C 的范围呈逐渐略微上升趋势,说明形成冻雨的融化层高度在升高,向有利于冻雨形成的大气层结发展,与13日冻雨在贵州、湖南加强、25—28日整个低温雨雪冰冻强度最强吻合较好。

分析1月28日08时沿 110°E 温度、假相当位温经度剖面图(图略),若以310K作为锋区上界,以285K作为锋区下界,则锋区下界以下为冷气团,锋区上界以上为暖气团,锋区两侧的暖气团和冷气团都较强,锋区逆温显著。锋面坡度小($\text{tg}\alpha\approx 1/500$),锋面降水带宽,且脱离地面锋线。所以此次低温雨雪冰冻天气是极地大陆冷气团与热带洋面暖气团长时间频繁、强烈交汇所致。

1月10日至2月2日850hPa等压面 105° — 120°E 平均的经向风速 v 的纬度—时间演变图(图略)表明,表征锋区的另一指标南北风交界线($V=0$ 等值线)的移动趋势与4次低温雨雪冰冻过程逐渐

向南推进非常一致,第1次自10日开始从 37°N 迅速向南移动到 23°N ,诱发了强冷空气过程,过程开始在南岭附近还伴有南风加大的过程;第2次迅猛北推到 40°N 以北地区,南风于19日再度加强,引发了范围最大的低温雨雪天气;之后交界线相对稳定徘徊于 26° — 29°N ,此间随着南风的一次次加强,导致了几次大的雨雪冰冻天气。逐日资料分析(图略),4次过程都伴有低空强偏南风的加强,且在第3、4次过程中在华南的部分地区出现了暴雨。交界线的移动趋势与大降水向南发展非常一致。

3.1.6 南支槽与高原槽的活动特征

这次低温雨雪冰冻天气还与高原槽和南支槽的活跃与否有很大关系,若以 90°E 附近 30° — 35°N 、 20° — 25°N 分别表示高原槽和南支槽的活动区域,则由2008年1月10日至2月2日 85° — 95°E 平均的500hPa位势高度纬度—时间演变图(图7)可以看出,1月10日至2月2日共有5—6次高原槽活动,分别出现于1月11、14、21、23、26和29—30日;共

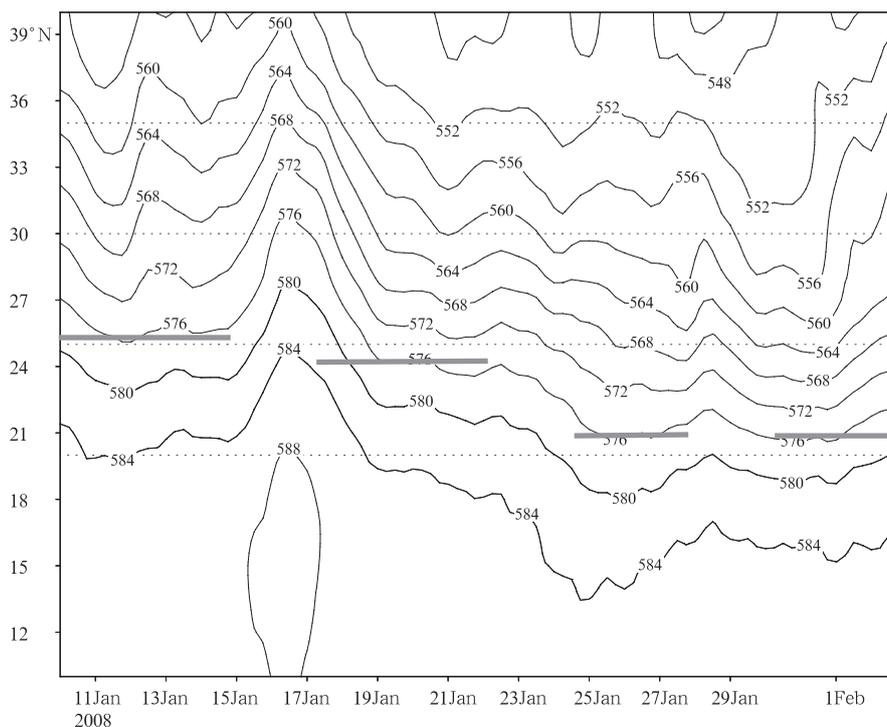


图7 2008年1月10日至2月2日 85° — 95°E 平均的500hPa位势高度纬度—时间演变

Fig. 7 Latitude-time section of the average geopotential height at 500 hPa over 85° — 95°E during 10 January to 2 February 2008

有5次南支槽活动,分别出现在1月11、14—15、19、25日、2月1日。若以580 dagpm表征其强度,则其中25日、2月1日两次过程的特征线南侵到 20°N 以南,说明强度较强。每次南支槽的活动及加强阶段与低温雨雪冰冻天气过程的发展加强非常一致,如25—28日第3次过程,南支槽强烈发展,10个纬距内有6—7条4 dagpm间隔的等值线,副高西伸加强,两个系统相向而行,使南支槽前的水汽输送明显加大,为整个低温雨雪冰冻期间最强的一次过程起了非常重要的作用。

与多年同期平均相比(图略),1月10—23日 $85^{\circ}\text{—}95^{\circ}\text{E}$ 范围内 25°N 以南的孟加拉湾副高较多年同期强,500 hPa位势高度曾在15—17日达588 dagpm;23日以后584 dagpm与多年同期相当,但自17日以后南支槽呈逐渐加强趋势,这与后期(23日以后)冻雨天气逐渐向云南东部发展有非常密切的关系。

3.2 冻雨成因分析

犹如王晓兰等(2006)和《大气科学词典》(1994年版)所指出的,中层的逆温以及有一层温度高于 0°C 的暖层,是冻雨产生的天气条件。上述是大多数冻雨发生时所具有的结构,不妨称为冻雨产生的典型天气条件。另一种能够产生冻雨的不常见的温度廓线是云层顶部的温度高于 -10°C ,因此冰粒子或者不能够形成或者非常小。这种条件下也能够形成冻雨,即使是整层的温度廓线都低于 0°C 。Huffman等(1988)将冻雨的这种形成归结为“过冷却暖雨过程”。中国近年的研究表明,冻雨也可在逆温层温度低于 0°C 的大气层结下发生,被称为“一层模式”,即指600 hPa高度以下至地面的中低空处于冷湿的环境,各层温度均低于 0°C 。近期有专家认为,此次发生在中国南方的灾害性冰冻天气,除具有典型冻雨形成特征外,还具有如下的2个典型特征:(1)冰雪、过冷水混合冻结过程;(2)存在过冷云(雾)环境下较均匀冻结过程。地形对后1种形成机理有重要影响。

关于冷层或冷垫,过去研究不少,2008年初的低温雨雪冰冻过程期间的冷垫特征与许梓秀等(1965)的分析总结一致。从2008年1月19—29日($26^{\circ}\text{—}28^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{—}116^{\circ}\text{E}$)(大致代表黔湘赣地区)

范围平均的温度、水平风、相对湿度的高度-时间演变图(图8)可以看出,黔湘赣地区上空 $T\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的暖层约位于800—600 hPa,22日以后暖层内的温度上升到 4°C 及以上,且暖层中心区域高度在逐渐降低,暖中心出现在25日的750 hPa($T\geq 6^{\circ}\text{C}$);暖层内伴有西南风,当800—600 hPa的西南气流加强时,暖层内相应高度上的温度明显升高,对应关系非常一致,暖平流的增温效果明显,对预报冻雨天气有指示意义;800 hPa以下的冷层内多为2—4 m/s的东北或东风,相对湿度多在90%以上,自23日开始,冷层的温度明显降低,最低出现在27日900 hPa气层高度($T\leq -6^{\circ}\text{C}$),而且分析发现当有持续、较大的东北风出现时,冷平流加强,冷层的温度明显下降,冻雨加强,如1月27日是冻雨最强的一天,但是暖层并非最强。

分析结果认为,当出现暖层较强、冷层也较强的上下层温度层结配置时,冻雨最明显、最强,这对于预报典型冻雨天气非常重要。

分析1月10日至2月2日逆温区(700 hPa的 $T=0^{\circ}\text{C}$ 线与850 hPa的 $T=0^{\circ}\text{C}$ 线所围成的区域)水平分布图(图略),逆温区横跨贵州、湖南、江西;逆温区水平分布图表明,4次过程的逆温区呈逐渐南移趋势;前3次过程范围呈逐渐扩大趋势,第4次渐渐缩小,其发展变化趋势与冻雨发展趋势非常一致。

3.3 暴雪成因分析

3.3.1 概述

2008年初低温雨雪冰冻期间,自北而南出现了大范围的大降雪天气,其中第3、第4次过程较强,苏南、皖中、浙北出现了历史罕见的暴雪天气。

1月25—28日的降雪是5次过程中降水最强、冻雨范围最大的,淮河以南地区的暴雪天气共持续近4 d,其中,江苏南部、浙江北部等地的区域性暴雪过程范围广、强度大,为历史罕见。为江苏省1961年有观测记录以来持续时间最长的一次暴雪过程,江苏全省共有42个站点出现暴雪,范围之大为1961年来排名第2(仅次于1984年1月18日49个站点出现暴雪);截止1月29日08时,与1961年以来历史记录对比,有23个市、县(区)最大积雪深度超过同站历史极值,1个站与历史记录持平。

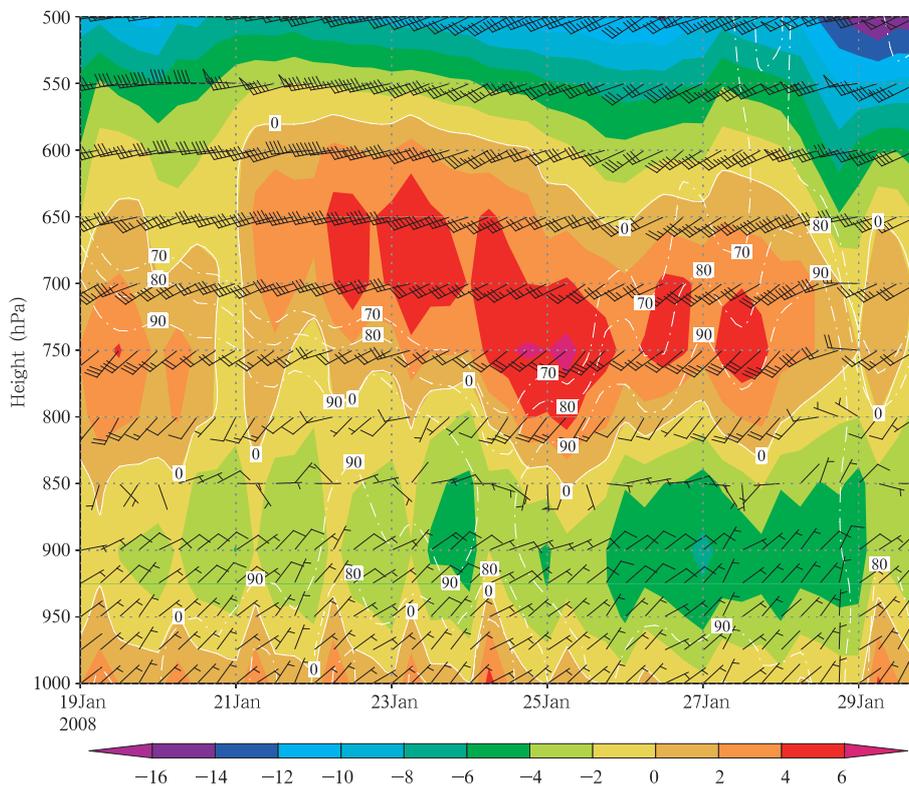


图8 2008年1月19—29日,黔湘赣(26°—28°N,105°—116°E)范围内平均的温度(阴影区,单位:°C)、风、相对湿度(白点线,单位:%)高度-时间演变图

Fig. 8 Height-time section of the average temperature (shaded areas, unit: °C), wind and the relative humidity (white dot lines, unit: %) over the region (26°—28°N, 105°—116°E) around Guizhou, Hunan and Jiangxi during 19—29 January 2008

截至2月2日08时,安徽中南部、江苏南部、浙江北部以及湖南中部和江西北部的局部地区积雪深度20—35 cm,安徽中部、湖南中部、江西北部局地35—40 cm,浙江省出现了历史上罕见的强度特强、范围特广的暴雪天气,其强度为浙江省有气象记录以来所罕见,浙北大部分地区的积雪深度为50年不遇。

1月10日—2月6日,安徽省雨雪持续时间达28 d,超过1954年(持续16 d)和1969年(持续16 d),成为有资料以来降雪持续时间最长的一年。

为何会出现如此之强的暴雪天气?其主要原因何在?

3.3.2 影响系统分析

从2008年1月25日至2月2日30°—33°N平均的500 hPa相对涡度时间—经度演变图(图9a)看出,从四川盆地有3次(26日、28日和31日)正涡度向东传播至中国东部沿海地区,正涡度的东传使得

低空气旋性涡旋或切变发展,垂直运动加强,给长江流域带来雨雪天气。25—26日500 hPa正涡度在盆地发展,26日正涡度向东传播过程中强度虽呈减弱趋势,但低层850 hPa上气旋性环流却是增强的(图9b),因此造成了安徽中部、江苏中部和南部26日02—14时部分测站6 h降水量为5—6 mm的较强降雪天气(图略)。27—28日,正涡度在四川盆地强烈发展(中心区域相对涡度达 $11 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$),并向东传播,在 115° — 120° E 相对涡度虽有减弱,但仍然达 $7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,低空850 hPa有切变线配合,使安徽中部、江苏南部于27日08时至28日14时部分测站出现了6 h降水量8—13 mm的暴雪天气(图略)。1月31日至2月1日,500 hPa又一个正涡度发展东移,在其东移的过程中一度减弱,但到 114° E 附近时开始强烈发展,低空亦有西北与西南风的辐合区相伴,使浙江北部(30° N 以北)多数测站于2月1日08时至2日14时出现了6 h降水量5—9

mm 的暴雪天气(图略)。105°—120°E 的正涡度大值区的演变与图 9b 中 30°N 纬度带上 850 hPa 气旋

式环流的演变趋势非常一致;正涡度的发展、东传与创历史记录的暴雪天气过程的对应关系较好。

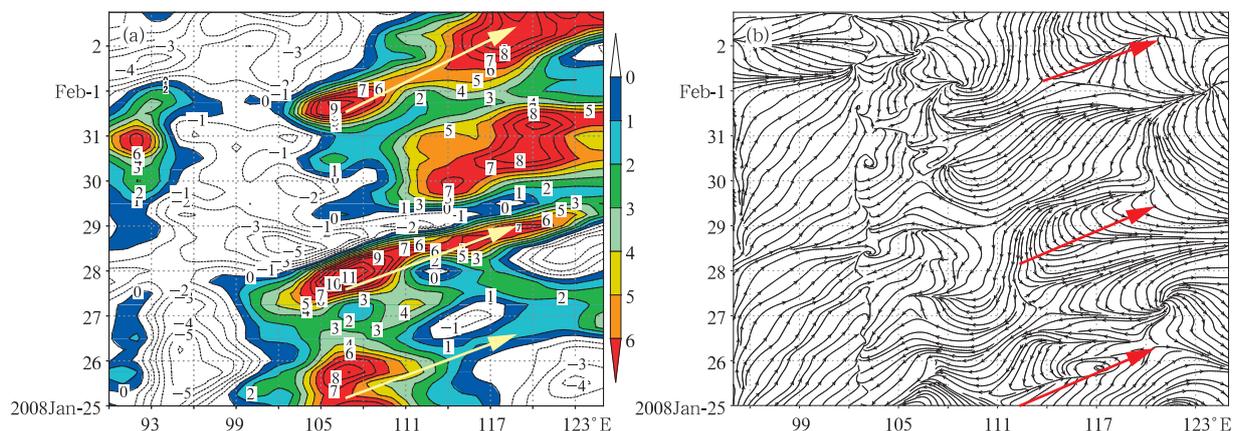


图 9 2008 年 1 月 25 日至 2 月 2 日 30°—33°N 范围平均的 500 hPa 相对涡度(单位 10^{-5}s^{-1})(a); 沿 30°N 的 850 hPa 流场(b)时间-经度剖面

Fig. 9 Time-longitude sections of the average relative vorticity (unit: 10^{-5}s^{-1}) at 500 hPa over 30°—33°N (a) and the stream line field at 850 hPa along 30°N (b) during 25 January to 2 February 2008

3.3.3 水汽条件分析

暴雪的产生条件与暴雨的产生条件一样,需要充沛的水汽条件、强烈的上升运动和较长的持续时间。在实时天气预报中,水汽通量散度是分析降水形成条件的一个重要物理量。

分析安徽中部(31°—33°N, 116°—119°E)平均的水汽通量散度高度-时间演变图(图 10a)可知,在安徽中部出现 6 h 降水量 $\geq 5 \text{ mm}$ 的降雪期间(26 日 02—14 时),700—500 hPa 气层有较强的水汽通量辐合,当该气层水汽通量辐合由 26 日 20 时前后的 $4 \times 10^{-11} \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 急剧增大到 27 日 08 时的 $10 \times 10^{-11} \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 时,于 27 日 08 时至 28 日 08 时在安徽中部出现了 6 h 5—9 mm 的降雪,当水汽通量散度发展到最强并开始减弱时,降雪急剧减小,强降雪出现于水汽通量散度最强时。

江苏南部(31°—33°N, 118°—121°E)平均的水汽通量散度高度-时间演变(图略)以及水汽通量散度与强降雪的关系同上述类似。

浙江北部(30°—32°N, 119°—121°E)平均的水汽通量散度高度-时间演变(图 10b)则与安徽中部略有不同,水汽通量辐合大值中心分别出现在 500—400 hPa 和 900—700 hPa,而在 700—500 hPa 气层为辐散,强降雪发生在对流层下层 900—700 hPa 气层、与高空锋区相联系的 500—400 hPa 气层

水汽通量辐合、700—500 hPa 水汽通量辐散急剧增强阶段。

上述 3 个区域的水汽通量散度的变化与(20°—30°N, 100°—120°E)大范围内平均的水汽通量散度高度-时间演变图(图略)也基本一致。

3.3.4 垂直运动分析

由于垂直运动的计算精度不易满足,我们只做定性分析。安徽中部(31°—33°N, 116°—119°E)平均的垂直速度高度-时间演变图(图 10c)显示,当安徽中部 600—300 hPa 气层的上升运动开始增强时,大降雪同时出现(26 日 02—14 时降雪 5—6 mm),当上升运动急剧增强(上升运动中心强度为 $42 \times 10^{-2} \text{ Pa/s}$)、且上升运动扩展至整层时降雪也急剧增大(27 日 08 至 28 日 08 时降雪 5—9 mm),上升运动最强时降雪最强。

江苏南部(31°—33°N, 118°—121°E)平均的垂直速度高度-时间演变图(图略)以及垂直速度与强降雪的关系同上述类似。

由浙江北部(30°—32°N, 119°—121°E)平均的垂直速度高度-时间演变图(图 10d)看出,浙江北部强降雪发生于 700 hPa 附近气层垂直上升运动最强阶段、350 hPa 与高空锋区相连的垂直上升运动迅速加强阶段,中间 550 hPa 气层则为弱下沉运动。

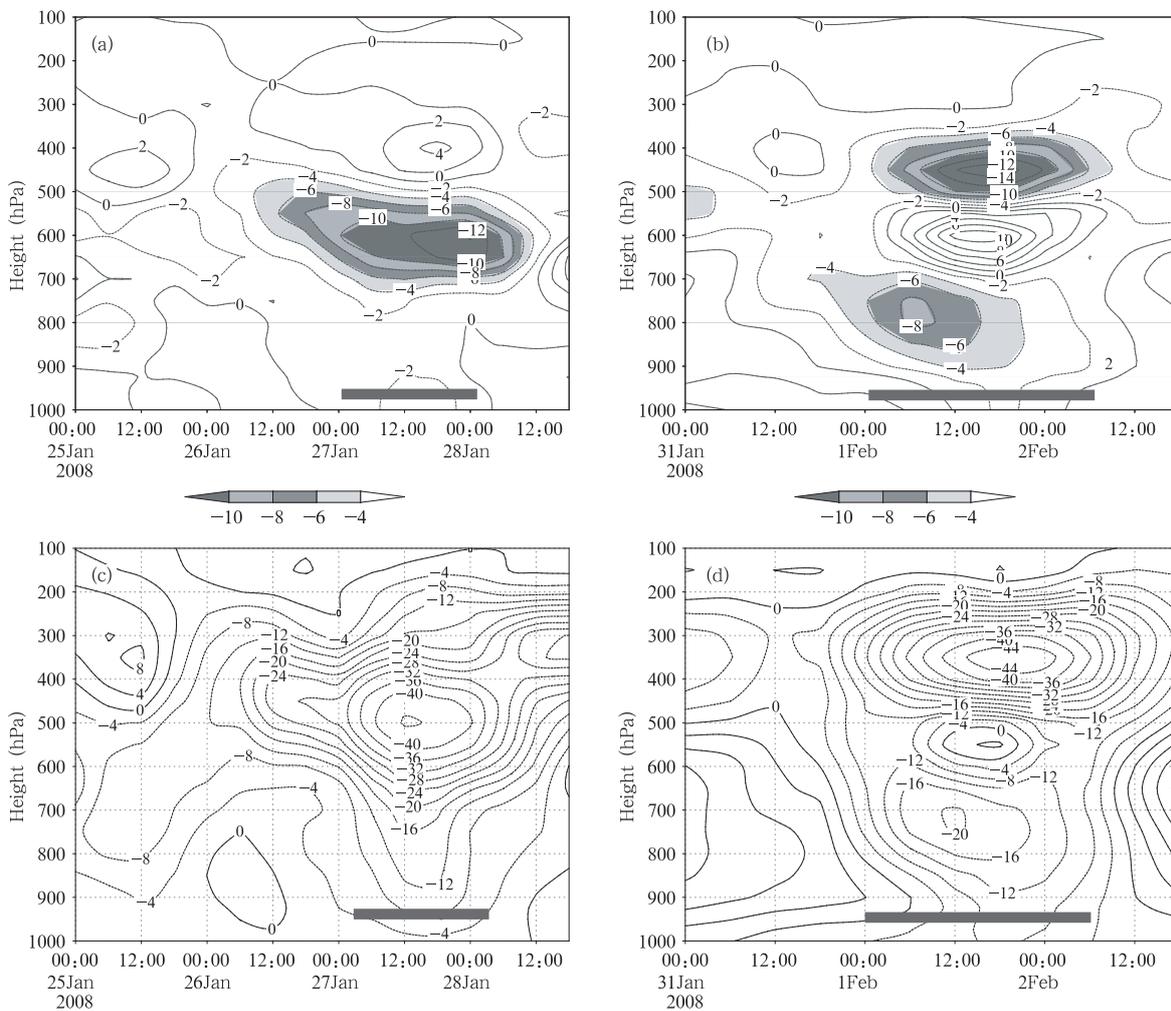


图 10 2008 年 1 月 25 日至 2 月 2 日安徽中部(a,c)和浙江北部(b,d)平均水汽通量散度

(a,b, unit: $10^{-11} \text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$)及垂直速度(c,d, unit: $10^{-2} \text{Pa}/\text{s}$)的高度-时间演变

Fig. 10 Height-time sections of the average divergence of the moisture flux (a,b; unit: $10^{-11} \text{g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$) and the vertical velocity (c,d; unit: $10^{-2} \text{Pa}/\text{s}$) over the central region of Anhui province (a,c) and the north of Zhejiang province (b,d) during 25 January to 2 February 2008

同样, 3 个区域的垂直上升运动也与 110° — 120°E 大范围平均的垂直上升运动基本一致(图略)。

4 结 论

(1) 2008 年 1 月低温雨雪冰冻期间, 大气环流形势稳定, 极涡中心偏向于东半球, 强而稳定, 亚欧高、低纬环流呈现反位相特征, 稳定的超长波是持续“低温雨雪冰冻”天气的大气环流背景条件, 来自极地的冷气团与来自热带洋面的暖气团长时间交绥, 是主要原因。

(2) 贝加尔湖以西地区阻塞高压强而稳定; 中

亚、西亚低槽(涡)稳定、活跃, 北非东部槽稳定。西太平洋副高强盛, 偏西、偏北。

(3) 对流层 700 hPa 等压面西南气流稳定, 850 hPa 低层多切变、低涡活动。对流层中层相对涡度演变表明, 高原有低涡发展; 高原以东不断有正涡度向东传播至东部沿海。

(4) 副热带锋区强盛, 南北温度梯度大。南支槽比较活跃。南支锋区强而稳定。华南准静止锋、滇黔准静止锋稳定维持, 热带洋面上暖气团活跃。逆温层稳定, 融化层厚度较厚。

(5) 2008 年年初低温雨雪冰冻期间的第一次过程为强冷空气和暖湿气流共同作用所致, 第 2 至

第4次过程是华南、滇黔准静止锋稳定少动,冷空气呈扩散、渗透形式所致。

(6) 2008年初暴雪天气的主要原因是:四川盆地正涡度向东传播至中国东部沿海地区,水汽通量散度辐合多位于对流层中层。

References

- Atmospheric Science Glossary compiling committee. 1994. Atmospheric Science Glossary (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 156pp
- Du Haixin, Huang Shilin, Li Jianping, et al. 2006. Analysis of a glaze weather in late autumn and early winter. *Jilin Qixiang* (in Chinese), 1:28-31
- Gao Hui, Chen Lijuan, Jia Xiaolong, et al. 2008. Analysis of the severe cold surge, ice-snow and frozen disasters in South China During January 2008: II. Possible Climatic Causes. *Meteor Mon* (in Chinese), 34(4):101-106
- George J H, Gene A N Jr. 1988. The supercooled warm rain process and the specification of freezing precipitation. *Mon Wea Rev*, 116:2172-2182
- He Yulong, Huang Jianfei, Ji Tingyan. 2007. Atmospheric stratification characteristic of the snow and condensation weather in Guiyang. *J Guizhou Meteor* (in Chinese), 31(4):12-13
- Huffman G J, Norman Jr G. A. 1988. The supercooled worm rain process and the specification of freezing precipitation. *Mon Wea Rev*, 116:2172-2182
- Hsu Tsing-hsiu, Wang Muwei. 1965. Analysis of the weather process of the eastward moving trough in the south Branch of westerlies over the Cushion of cold air in south China in Spring. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 35(2):117-125
- John C Jr. 2000. A climatology of freezing rain in the great lakes region of North America. *Mon Wea Rev*, 128(10):3574-3588
- Kathleen F J, Allan C R, Neal J L. 2004. Icing severity in the december 2002 freezing-rain storm from ASOS data. *Mon Wea Rev*, 132:1630-1644
- Lü Shenghui, Wang Jiguo, Qiu Ju. 2004. Analysis of the freezing rain around the aerodrome in Tianjing. *Meteor Sci Tech* (in Chinese), 32(6):456-460
- Ronald E S, Patrick K. 1987. Freezing precipitation in winter Storms. *Mon Wea Rev*, 115:1270-1280
- Tang Yi. 2003. Analysis of the similarities and differences of a glaze weather and a snowing weather. *J Guangxi Meteor* (in Chinese), 24(3):21-22 (to 45)
- Wang Donghai, Liu Chongjian, Liu Ying, et al. 2008. A preliminary analysis of features and causes of the snow storm event over

the Southern China in January 2008. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 66(3):405-422

- Wang Ling, Gao Ge, Zhang Qiang, et al. 2008. Analysis of the severe cold surge, ice-snow and frozen disasters in South China during January 2008: I. Climatic Features and Its Impact. *Meteor Mon* (in Chinese), 34(4):95-100
- Wang Xiaolan, Li Xiangyu, Li Zuxian, et al. 2006. Analysis of freezing-hazard event in 2005 in Hunan Province. *Meteor Mon* (in Chinese), 32(2):87-91
- Ye Yin, Du Xiaolin, Yan Xiaodong. 2007. Temporal and spatial distribution of the freezing rain in Guizhou and nowcasting circulation characteristic analysis. *J Guizhou Meteor* (in Chinese), 31(6):11-13
- Zhu Minghui, Wang qi, Liu Tiantian, et al. 2006. Analysis of glaze in Nanyue mountain. *Meteor Sci Tech* (in Chinese), 34(4):436-440
- Wu Naigeng, Lin Liangxun, Li Tianran, et al. 2008. Causality analysis of the cryogenic freezing rain and snow weather in Guangdong province at the beginning of. *Guangdong Meteor* (in Chinese), 30(1):4-7

附中文参考文献

- 《大气科学辞典》编委会. 1994. 大气科学辞典. 北京: 气象出版社, 156pp
- 杜海信, 黄式琳, 李建平等. 2006. 秋末冬初的一场雨淞天气过程分析. *吉林气象*, 1:28-31
- 高辉, 陈丽娟, 贾小龙等. 2008. 2008年1月中国大范围低温雨雪冰冻灾害分析: II. 成因分析. *气象*, 34(4):101-106
- 何玉龙, 黄建菲, 吉廷艳. 2007. 贵阳降雪和凝冻天气的大气层结特征. *贵州气象*, 31(4):12-13
- 吕胜辉, 王积国, 邱菊. 2004. 天津机场地区冻雨天气分析. *气象科技*, 32(6):456-460
- 唐熠. 2003. 一次雨淞天气与一次飘雪天气过程形势异同分析. *广西气象*, 24(3):21-22(45)
- 王东海, 柳崇健, 刘英等. 2008. 2008年1月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析. *气象学报*, 66(3):405-422
- 王凌, 高歌, 张强等. 2008. 2008年1月中国大范围低温雨雪冰冻灾害分析. I. 气候特征与影响评价. *气象*, 34(4):95-100
- 王晓兰, 李象玉, 黎祖贤等. 2006. 2005年湖南省特大冰冻灾害天气分析. *气象*, 32(2):87-91
- 吴乃庚, 林良勋, 李天然等. 2008. 2008年初广东罕见低温雨雪冰冻天气的成因初探. *广东气象*, 30(1):4-7
- 许梓秀, 王慕维. 1965. 春季华南在冷空气垫上空南支西风槽东移时的天气过程分析. *气象学报*, 35(2):117-125
- 叶茵, 杜小玲, 严小冬. 2007. 贵州冻雨时空分布及对应临近环流特征分析. *贵州气象*, 31(6):11-13
- 朱明辉, 王琪, 刘甜甜等. 2006. 南岳雨淞分析. *气象科技*, 34(4):436-440