

吴古会,彭芳,崔庭,等. 2011 年冬季贵州低温雨雪冰冻天气的成因分析[J]. 气象,2012,38(3):291-299.

2011 年冬季贵州低温雨雪冰冻天气的成因分析^{* 1}

吴古会^{1,2} 彭 芳¹ 崔 庭³ 原 野⁴

- 1 贵州省气象台,贵阳 550002
- 2 贵州省山地气候与资源重点实验室,贵阳 550002
- 3 贵州黔东南州气象局,兴义 562400
- 4 贵州省气象局,贵阳 550002

提 要: 利用常规观测资料和 NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 及 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 格点再分析资料,对贵州 2011 年初的低温雨雪冰冻过程的天气成因进行了初步分析。结果表明:东亚地区 500 hPa 高度距平场“北高南低”分布以及中高纬阻塞高压的稳定维持,有利于引导冷空气频繁南下影响贵州,是持续低温的主要原因。滇黔准静止锋也是重要的影响系统,它的长期存在有利于阴雨天气维持;而大范围的冻雨(雪)天气则是伴随着东移的南支槽以及向上伸展的水汽辐合。由于西太平洋副高较弱和中亚地区低值系统不活跃,没有稳定持续的水汽向贵州输送,所以过程表现出短暂的间歇性,尤其是距离滇黔准静止锋区相对较远的贵州东部地区,受灾程度远不如 2008 年严重。因为有偏北路径的冷空气入侵,贵州中西部地区冰冻强度超过 2008 年;垂直结构的差异是影响范围最大强度最强的两次过程(第 1 和第 4 次)降水相态不同的重要原因;冰冻的形成与增长是多种气象因子综合影响的结果,在一定的降水条件下,日平均气温是影响冰冻强度的重要因子。

关键词: 低温雨雪冰冻天气, 灾害, 形势特征, 锋生函数, 冰冻强度

Analysis of Guizhou's Rare Freezing Catastrophic Weather in Winter 2011

WU Guhui^{1,2} PENG Fang¹ CUI Ting³ YUAN Ye⁴

- 1 Guizhou Meteorological Observatory, Guiyang 550002
- 2 Guizhou Key Lab of Mountounious Climate and Resources, Guiyang 550002
- 3 Xingyi Meteorological Office, Southwest Prefecture of Guizhou Province, Xingyi 562400
- 4 Guizhou Meteorological Service, Guiyang 550002

Abstract: After the extreme freezing catastrophe in year 2008, Guizhou Province experienced another rare freezing weather at the beginning of 2011. Analysis based on the conventional observational data as well as the NCEP reanalysis data indicates that the Ural blocking high and the height departure distribution of “negative in the south and positive in the north” are the key causes for the maintenance of low-temperature. Meanwhile, the quasi-stationary front in Guizhou and Yunnan plays an important role during the freezing days; the deep trough over Indian Ocean and abundant water vapor are very favorable to the vast area stricken by snow and freezing rain. The extent of calamity is weaker than that of 2008, especially in the eastern Guizhou, as it lacks for the continuous transportation of moisture. The route of cold air mass is also different from 2008. Moreover, the two strong processes are discussed, and they have different configuration in $T\text{-}\log p$ diagram. In addition, research on the relation among the maximum frozen rain diameter, the daily average surface temperature, lowest temperature, daily total rainfall, the daily mean surface velocity, and the daily average temperature shows a better correlation with freezing development when there has compatible precipitation.

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006010-7)资助
2011 年 4 月 8 日收稿; 2011 年 11 月 16 日收修定稿
第一作者: 吴古会,主要从事短期天气预报. Email: wuguhui@sina.com

Key words: freezing rain and snow weather, catastrophe, characters of synoptic situation, frontogenesis function, intensity of freezing

引 言

持续性的低温雨雪冻雨是一种严重的灾害性天气,会给农业生产、交通运输、电力传输、通讯设施、人民生活等带来极大影响和损害。继 2008 年 1 月中旬至 2 月上旬我国南方地区历史上罕见的低温雨雪冰冻过程之后,2011 年冬季(2010 年 12 月 31 日至 2011 年 2 月 1 日),我国南方多个省市又遭受低温雨雪冰冻灾害,尤以贵州受灾最为严重。贵州此次低温雨雪冰冻天气共持续 33 天,共有 78 县站发生灾情,占全省台站的 92.9%,超过 2008 年的 76 站,影响范围达历史之最。过程开始第 3 天,低温雨雪冰冻就达 70 站,来势迅猛。全省各地不同程度受灾,在各级政府部门的有效应对下,据贵州省民政厅统计,因灾直接经济损失还是高达 46.3 亿元,是自 1961 年以来,除 2008 年以外最为严重的一次。但全省的平均气温和平均最低气温均突破历史记录,且过程前期、后期的影响范围和西部地区的灾害均超过 2008 年,按照《贵州省凝冻灾害气象等级标准》已达特重等级。

已有许多专家对 2008 年的冰冻极端事件进行了相关研究,丁一汇等^[1]指出在拉尼娜事件影响下,南方冰灾发生的主要原因,并强调该极端冰灾事件是全球性气候异常的表现之一,但不能改变全球和中国气候变暖的趋势和格局;陶祖钰等^[2]用经典天气学方法研究了华南静止锋的三维空间配置;李崇银等^[3]研究表明大气环流的组合性异常是造成持续雨雪冰冻天气的直接原因;杨贵名等^[4]通过分析锋区特征得出冷暖气团的长期对峙是低温雨雪冰冻天气持续的主要原因;高辉等^[5]从气候角度分析了灾害的可能成因;在极端事件的评估方面,万素琴等^[6]利用 5 个指标对发生在湖北的冰冻极端事件作了研究。对于雨雪冰冻过程的天气成因方面气象工作者也作了较多分析^[7-9]。由于此类极端天气仍是预报中的难点和重点,所以广泛开展这方面的研究工作对于提高低温冰冻的精细化预报水平和服务能力都有重要意义。对于 2011 年冬季的低温雨雪过程,是否和 2008 年的持续冰冻有类似的成因以及这两次过程有哪些不同? 本文就这次过程的天气成因进行初步分析。

1 资 料

本文所用的资料包括:(1)贵州 84 县站地面实况观测资料,数据经贵州省气候中心质量审核,在分析贵州雨雪冰冻日数分布及逐日变化、各气象要素与冰冻关系中使用;(2)探空垂直结构分析使用的是 MICAPS 探空观测资料;(3)形势和物理量分析使用的是 NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料和全球 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 资料,气候平均值用 1971—2000 年的要素平均。

2 低温雨雪冰冻天气过程概况

2011 年冬季贵州的低温雨雪冰冻天气主要由 5 次天气过程造成,发生时间段分别为:2010 年 12 月 31 日至 2011 年 1 月 2 日、1 月 5—6 日、9—10 日、17—20 日及 27—29 日,影响冷空气较强。杜小玲^[10]的研究指出,当冷高压中心强度超过 1047 hPa,1030 hPa 线进入贵州时,雨雪冰冻范围将扩大,这 5 次天气过程中 1030 hPa 线都进入贵州范围,而且每次过程的冷高压中心强度都超过 1050 hPa。2011 年 1 月 1 日至 2 月 1 日,全省平均气温 0.8°C ,较常年偏低 4.2°C ,突破有气象记录以来的历史最低值(1978 年为 1.3°C);最低平均气温 -1.0°C ,较常年偏低 3.5°C ,突破有气象记录以来的历史最低值(1978 年为 -0.8°C);极端最低气温为威宁 -8.8°C ,比 2008 年的高 1.4°C (威宁 -10.2°C),极端最低气温低于 -4°C 的区域也小于 2008 年。

贵州低温雨雪冰冻共持续 33 天,影响范围达历史之最,主要严重区域集中在中西部地区(图 1a),共有 78 站出现低温雨雪冰冻,占全省台站的 92.9%,超过 2008 年的 76 站;来势也比 2008 年猛,2010 年 12 月 31 日至 2011 年 1 月 2 日大范围的冻雨(雪)天气,致使贵州在此次低温雨雪天气开始第 3 天影响范围就波及 70 县(市、区),而 2008 年过程开始第 16 天才超过 70 站,就前 6 天的影响范围而言较 2008 年(239 站日)多 101 站日,第 21—33 天,低温雨雪冰冻较 2008 年同时段(320 站日)也多 156 站日;从低温雨雪冰冻期间每天冻雨(雪)的站数变化而言,2011 年相较 2008 年起伏大,最多单日影响

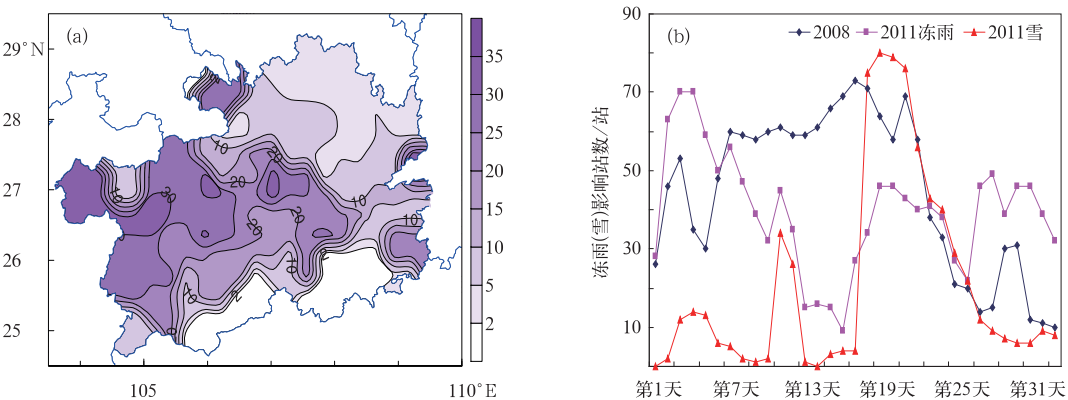


图 1 贵州 2010 年 12 月 31 至 2011 年 2 月 1 日低温雨雪冰冻日数分布(a)和雨雪冰冻站数逐日变化(b)

Fig. 1 Total days of the freezing rain of 2011 (from December 31, 2010 to February 1, 2011) in Guizhou Province (a) and daily changes of the number of stations with freezing rain or snow every day (b)

站数超过 70 站,最少少于 10 站,相邻两日增减数最大为 36 个,远大于 2008 年的 19 个;降雪也比 2008 年明显,17—20 日连续出现的大范围降雪,强度及影响范围都属贵州历史罕见(图 1b)。

3 环流形势特征

3.1 背景形势特征

2010 年 7 月以后,拉尼娜状态迅速发展,10 月,它的影响已经开始显现,副热带高压(以下简称副高)明显减弱,在这样的气候背景下,形成这次大范围雨雪过程的天气尺度形势是怎样的呢?

从 2011 年 1 月 500 hPa 平均环流图(NCEP 2.5°×2.5°)上可以看到(图 2a),极涡中心位于加拿

大北部(5080 gpm),极涡向东伸展至新地岛以西,即影响我国的冷空气中出现次数和达到寒潮强度最多的源地^[11]。结合 500 hPa 高度距平分布可以看到(图 2b),极涡中心存在 120 gpm 的正距平,强度明显偏弱,极区由约 80 gpm 的正距平区控制;亚洲高纬乌拉尔山到堪察加半岛地区为东北—西南向为高度正距平区,中心偏高 160 gpm(2008 年偏高 120 gpm),表明 2011 年的冷空气活动更加频繁,强度也更强;而东亚中纬度地区为负距平区,这种“南低北高”的分布有利于冷空气向南渗透,贵州表现为一致的重凝冻分布^[12]。温度场的分布与高度场相近(图略),高度距平正、负值区与温度距平正、负值区相对应,这样的配置有利于“南低北高”的形势维持和加强,具有强冻雨年的环流特征^[10]。分析 2011 年 5 次过程的形势图(图略),得知除了第三次过程阻塞

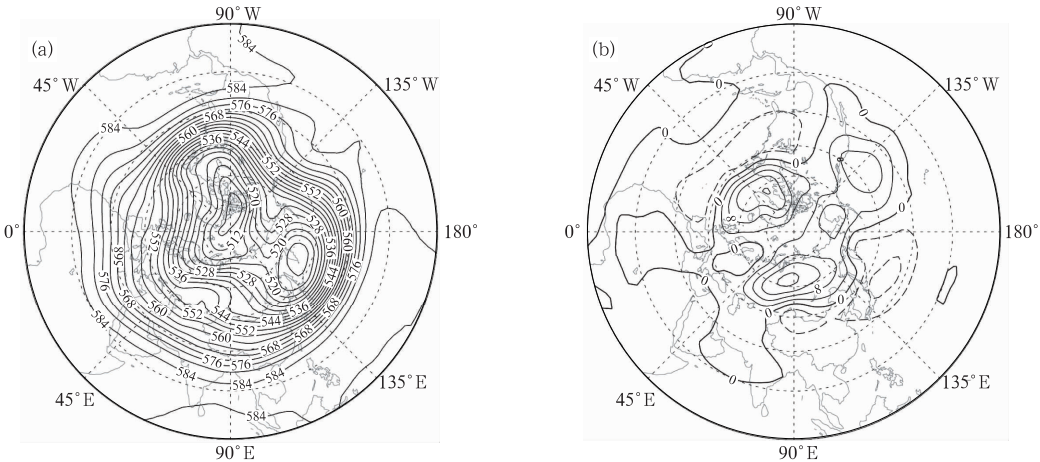


图 2 2011 年 1 月 500 hPa 高度场(单位: dagpm)(a)及其距平场(单位: dagpm)(b)
Fig. 2 The 500 hPa geopotential heights averaged over January 2011 (a) and its departures (b) (unit: dagpm)

高压较弱以外,其余 4 次过程乌拉尔山至贝加尔湖地区都有阻塞形势的建立和发展,致使地面冷空气长期堆积并不断南下,加之较明显降水过程以外时段频繁的冷空气活动,造成我国大范围持续低温,贵州的平均气温、平均最低及最高气温均创 1961 年以来的新低。与 2008 年的另一差异在于低纬地区的形势,副高 5840 gpm 线较 2008 年的偏南约 3 个纬距,西太平洋地区为明显的高度负距平区,而 2008 年为正距平区,即 2011 年副高较弱,这种“西高东低”的形势有利于冷空气的东移南下,但对西太平洋及南海暖气流的向北输送却不利;中亚地区的低槽或低涡也不活跃,该地区位势高度较常年偏高,即南支浅槽的活动没有 2008 年频繁,由偏西南气流输送的暖气流也比 2008 年弱,仅有第四次即 17—20 日全省出现大范围降雪过程时在 90°E 以东的孟加拉湾地区有较明显的南支槽,表明水汽输送条件的差异是 2011 年雨雪冰冻总体影响比 2008 年稍小的原因之一。

在低层 850 hPa 上,主要影响系统是切变线,其两侧的风向可以一定程度说明冷空气入侵路径。第一次过程切变线在 26°N,为冷高压底部偏东风与偏南风形成的切变,表明冷空气是以东北回流形势进入贵州,第二、三及第五次过程切变均位于偏北风与偏南风之间,由北向南推进至广西,冷空气以偏北路径入侵,第四次过程前期切变位于 25°N,形成于偏东风与偏南风之间,过程后期南北风切变南移至贵州南部边缘,即偏东和偏北路径冷空气先后影响。

比较这两年低温雨雪冰冻期间 850 hPa 的平均风场也发现(图略),2011 年影响贵州的偏北风风量比 2008 年大,相应冷空气进入贵州的路径,第一次天气过程贵州自东向西发生冻雨(雪)天气,但西南部受影响较小,而随后的几次过程贵州西南部都受到较大影响;从雨雪冰冻的分布可知,2011 年贵州西部受冰冻影响的范围和强度超过 2008 年,这与冷空气入侵的方向不无关系^[13]。

海平面气压场上,控制我国大陆的冷高压中心位于贝加尔湖西南部,平均中心值达到 1047.5 hPa (图 3a),与 2008 年接近,1030 hPa 线都到达长江沿线,地面锋区位于云贵之间(滇黔准静止锋);与 30 年同期相比,我国除西南部(主要是云南中西部、西藏)地区海平面气压略低以外,其余地区为气压正距平(图 3b),正距平中心位于冷高压中心,比常年平均高 12.5 hPa。分析地面实况观测资料发现,滇黔准静止锋在 2008 和 2011 年的持续低温雨雪冰冻过程中都扮演了重要角色,2008 年的过程前期,进入贵州的冷空气以偏东路径为主,低温冰冻灾害集中在贵州中东部,西部地区则以准静止锋区的阴雨天气居多,过程后期,有偏北路径冷空气补充,贵州西部地区受冰冻影响范围扩大;而 2011 年的主要严重区域位于贵州中西部(准静止锋区),这与冷空气以偏北路径为主入侵贵州有关,在冷空气势力相当的情形下,2008 和 2011 年为什么会有这样的差异呢?下文将从物理量场特征作进一步分析。

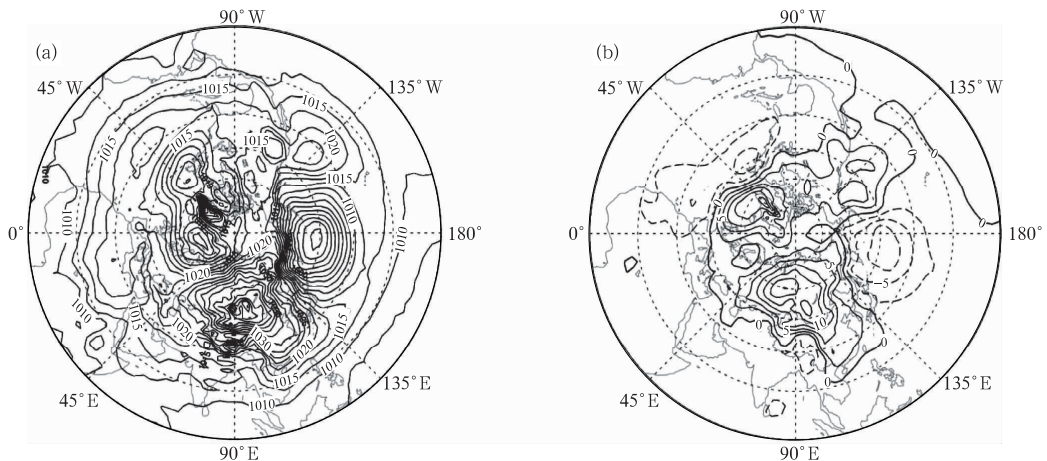


图 3 2011 年 1 月海平面气压场(a)及其距平场(b)(单位: hPa)
Fig. 3 As in Fig. 2, but for the sea level pressure field (unit: hPa)

3.2 物理量场特征

基于 NCEP 1°×1°再分析资料计算得到以下物

理量场,分析(24°~29°N、104°~109°E)范围内平均温度随时间的高度剖面可知(图 4a),除了第二次和第五次过程在 700 hPa 附近有弱的略高于 0℃ 的暖

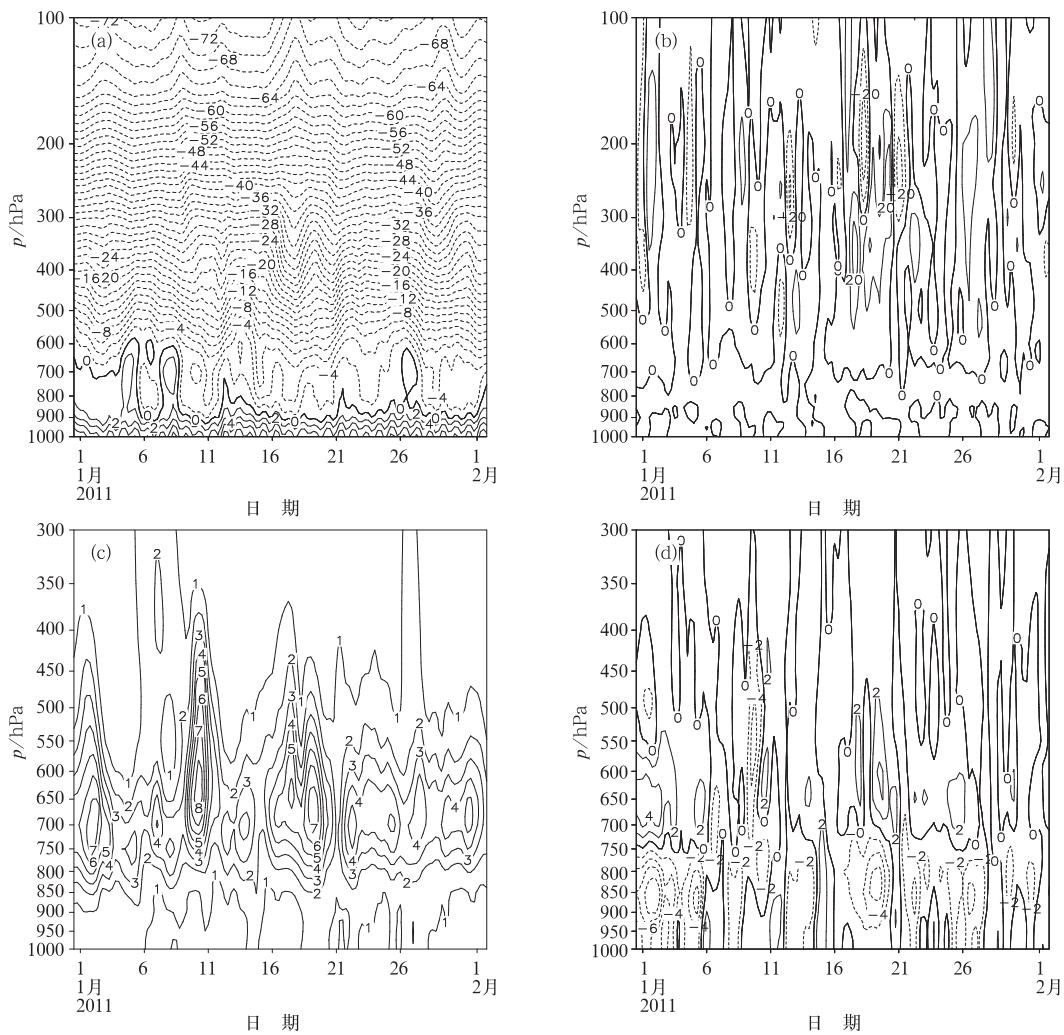


图 4 (24°~29°N、104°~109°E)内平均温度(a, 单位: °C)、平均涡度平流(b, 单位: 10^{-7} s^{-2})、平均水汽通量(c, 单位: $10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)、平均水汽通量散度(d, 单位: $10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)高度-时间变化图

Fig. 4 Height-time cross sections of average temperature (a, unit: °C), average vorticity advection (b, unit: 10^{-7} s^{-2}), average moisture flux (c, unit: $10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), and average moisture flux divergence (d, unit: $10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) over the region (24°–29°N, 104°–109°E)

层之外,其余时段均为深厚的冷层,相比 2008 年的暖层(大于 4℃)弱,明显的暖层(融化层)不利于降雪,所以 2011 年降雪较 2008 年显著应该与此也有关系,此外也能一定程度上表明 2008 及 2011 年产生冻雨的垂直结构有所不同。从这个范围内平均涡度平流的高度时间剖面图上可以看到另一个明显的现象(图 4b),1 月 17—21 日期间,贵州上空 600~300 hPa 都处于强烈的槽前正涡度平流区,中心强度达 $20 \times 10^{-7} \text{ s}^{-2}$,有利于槽的加强和东移,而其余时间段内的正涡度平流较弱,这与形势场上只在第四次过程时有明显南支槽的体现一致。

从(24°~29°N、104°~109°E)范围内的平均水汽通量及其散度随时间-高度的变化(图 4c 和 4d)可以看到对应 5 次过程对流层中低层都有不同强度的水汽通量,除第二次过程的水汽通量较弱外,其余 4 次在 850~500 hPa 层都有较强的水汽通量,自孟加拉湾和南海向北输送水汽;在同等强度的水汽输送下,降水强弱会有不同,还需看是否有水汽辐合;之所以第一次和第四次过程的冻雨(雪)强度和范围都较其余过程大,和底层的水汽辐合不无关系,从水汽通量辐合图上可以看到,第一次过程 750 hPa 以下为强水汽辐合区,辐合中心达 $-10 \times 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$

• hPa⁻¹ • s⁻¹ 以上,而第四次过程水汽辐合高度伸展到 700 hPa 附近,辐合中心强度超过 -6×10^{-9} kg • m⁻² • hPa⁻¹ • s⁻¹,其余时间段内底层辐合都较弱,其中 14—16 日低层并没有水汽辐合,虽然冷空气影响频繁,但由于水汽条件与 2008 年相比要弱,所以降水过程表现出短暂的间歇期,尤其是距离滇黔准静止锋区相对较远的贵州东部地区,受灾程度远不如 2008 年严重。

3.3 锋生特征分析

所采用的锋生函数公式如下:

$$F = \frac{d}{dt} |\nabla \theta_{se}| = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$
$$F_1 = \frac{1}{|\nabla \theta_{se}|} \left[(\nabla \theta_{se}) \cdot \nabla \left(\frac{d\theta_{se}}{dt} \right) \right]$$

$$F_2 = -\frac{1}{2} \frac{1}{|\nabla \theta_{se}|} (\nabla \theta_{se})^2 D_h$$
$$F_3 = -\frac{1}{2} \frac{1}{|\nabla \theta_{se}|} \left\{ \left[\left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)^2 - \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)^2 \right] A_f + 2 \frac{\partial \theta}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial y} B_f \right\}$$
$$F_4 = -\frac{1}{|\nabla \theta_{se}|} \frac{\partial \theta}{\partial p} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \theta}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial y} \right)$$
$$A_f = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}, B_f = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, D_h = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$$

其中 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 分别为非绝热加热项、水平辐散项、水平变形项及与垂直运动有关的倾斜项。将 (26°N、105°E) 作为锋区的代表格点,分析该点的锋生函数的高度时间演变(图略),发现整个低温雨雪冰冻期间,在对流层 750 hPa 以下的低层都有锋生,锋生中心位于 800 hPa 附近,500 hPa 以上的高空,

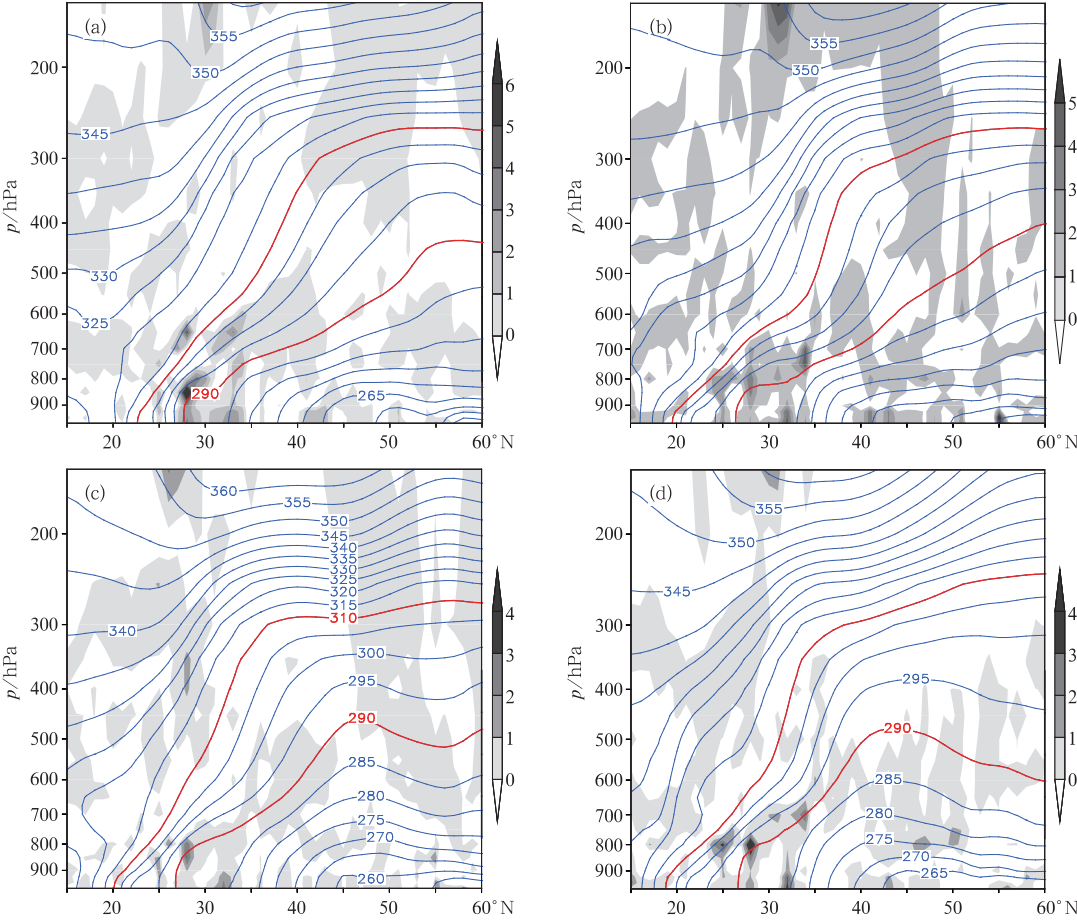


图 5 2010 年 12 月 31 日至 2011 年 1 月 2 日(a)、5—6 日(b)、17—21 日(c)、27—29 日(d) 逐次过程 104°~109°E 平均的 θ_{se} (等值线,单位:K)和锋生函数

[阴影,单位:10⁻⁹ K • (m • s)⁻¹]高度-纬度剖面图

Fig. 5 Vertical cross-sections of zonal pseudo-equivalent potential temperature (contour, unit:K) averaged over 104°–109°E and the frontogenesis function [shade, unit: 10⁻⁹ K • (m • s)⁻¹] during 31 December 2010–2 January 2011 (a), 5–6 January (b), 17–21 January (c), and 27–29 January (d), 2011

12月31日、1月16日及18—20日也有较强的锋生,与第一次及第四次大范围冻雨(雪)相对应。

分别分析5次过程在 $104^{\circ}\sim 109^{\circ}\text{E}$ 范围平均的锋生函数及 θ_{se} 剖面得出,第一次过程的近地层锋区位于 $23^{\circ}\sim 27^{\circ}\text{N}$ 之间(分别以 θ_{se} 的310和290 K线为锋区的上下界面,下同),在锋区内,锋生函数 $\geq 2\times 10^{-9}\text{ K}\cdot(\text{m}\cdot\text{s})^{-1}$ 的区域位于700 hPa以下,中心强度达 $6\times 10^{-9}\text{ K}\cdot(\text{m}\cdot\text{s})^{-1}$,位于850 hPa, 27°N 附近(图5a);第二次过程近地面锋区较偏南(图5b),位于 $20^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$ 之间,锋生函数正值主要集中在700 hPa以下,强度较弱,贵州范围内($23^{\circ}\sim 29^{\circ}\text{N}$)锋生函数值 $\leq 2\times 10^{-9}\text{ K}\cdot(\text{m}\cdot\text{s})^{-1}$;第三次过程的锋区较第二次更偏南,位于 $19^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 之间,锋生函数分布特征与第二次过程相似(图略);第四次过程近地面锋区位于 $20^{\circ}\sim 27^{\circ}\text{N}$ 附近(图5c),锋生函数 $\geq 2\times 10^{-9}\text{ K}\cdot(\text{m}\cdot\text{s})^{-1}$ 的区域位于800 hPa以下,位于 27°N 附近,相较第一次过程弱,说明随着降雪过程的发展,冷暖空气交绥诱发的锋区侧向环流对锋生的发展有所抑制;第五次过程近地面锋区位于 $19^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$ (图5d),600 hPa以下都是锋生函数正值区, $\geq 2\times 10^{-9}\text{ K}\cdot(\text{m}\cdot\text{s})^{-1}$ 的区域位于700 hPa以下,中心值达 $4\times 10^{-9}\text{ K}\cdot(\text{m}\cdot\text{s})^{-1}$,800 hPa, $25^{\circ}\sim 27^{\circ}\text{N}$ 之间;相较2008年的低温雨雪过程,锋区的平均位置偏南,这也是贵州西部冰冻灾害超过2008年的原因之一。

3.4 探空垂直结构特征

3.4.1 不同相态降水的特征

2011年低温雨雪冰冻期间的降水相态相比2008年呈现出多样性,降水以冻雨为主,伴有雨、雨夹雪、雪等天气,为作出更精细的预报服务,有必要对各种相态降水的特征进行分析。以国家基准观测站贵阳为例,根据逐小时天气现象及气温资料分析发现:(1)该次过程中,气温明显 $< 0^{\circ}\text{C}$ 时,液态降水并不少见,而在气温 $> 0^{\circ}\text{C}$ 的条件下,也有冻雨出现,如1月4日15—20时,整点气温 $0.1\leq T\leq 0.4^{\circ}\text{C}$,9日13—16时,整点气温 $0.3\leq T\leq 1.0^{\circ}\text{C}$,但一直有冻雨发生,这与文献[10]中冻雨发生的条件($T\leq 0^{\circ}\text{C}$)不一致;另外几次发生冻雨当天的最高整点气温相对较高,冻雨都结束在气温 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 的时刻,但由于气温 $> 1^{\circ}\text{C}$ 时也没有其他相态的降水发生,因此,冻雨的产生对气温的要求,还需依靠大量的观测事

实验证。(2)降雪时气温都 $\leq 0^{\circ}\text{C}$,几乎都伴有冻雨,从当天的探空特征可知,都有逆温层存在,融化层较弱,云顶温度平均约为 -10°C ,只有1月17—20日云顶伸展较高,其余都较低,云中冰晶比例不大,所以降雪不明显;而无降雪时(雨、雨夹雪、冻雨)云顶较低,单一相态的降水较少出现。

3.4.2 两次明显过程的探空特征对比

2010年12月31日至2011年1月2日及1月17—21日是这次低温雨雪冰冻天气的两次显著过程,前一次以冻雨为主,后一次降雪更为明显,两次过程的影响范围都广,几乎覆盖贵州全省,根据上述分析,它们在背景形势、水汽等方面都有着相似的条件,但两者的降水相态却明显不同,下面就这两次过程的探空垂直特征进行分析,以期发现它们的差异之处。

根据MICAPS 08和20时实况探空资料,从怀化(57749)、贵阳(57816)及威宁(56691)这3个探空站12月31日20时至1月2日08时(图6a~6c)及1月17日08时至21日08时的平均探空图上可以看到(图6d~6f),前一次过程中怀化站云顶在600 hPa附近,温度高于 -10°C ,逆温层位于850~750 hPa之间,没有融化层,云层中以过冷却水滴为主,此时段内该站及贵州东部地区为冻雨天气——冻雨一层模式^[10],同时注意到,平均而言,该站近地面气温略大于 0°C 。贵阳站平均云顶位于680 hPa附近,平均气温略低于 0°C ,即云中包含过冷却水滴,逆温层位于830~730 hPa之间,有融化层,近地层为低于 0°C 的冷垫结构——冻雨二层模式^[10]。威宁站云顶较低,位于700 hPa附近,平均低于逆温层顶,也就是说大于 0°C 的逆温层并非融化层,云中的雨滴降落过程中由于近地面的冷垫作用形成冻雨——冻雨一层模式。后一次过程中3个站的云顶高度都比前一次过程的高,怀化、贵阳及威宁站的云顶分别达到575、560和600 hPa,气温分别为 -16°C 、 -12°C 和 -17°C ,从高空到低层都是低于 0°C 的冷层,即云中包括过冷却水滴、冰晶及雪花,但就逆温梯度而言,威宁和贵阳在这两次过程中相近,怀化站的逆温梯度较前一过程变小,究其原因,分析发现怀化的逆温厚度随着深厚的暖湿气流而明显增加,有利于降雪(贵州东部)的出现,而贵阳和威宁(贵州中西部)则为冻雨和雪共同发生,后一次过程这三个站的冻雨模型都是一层模式。

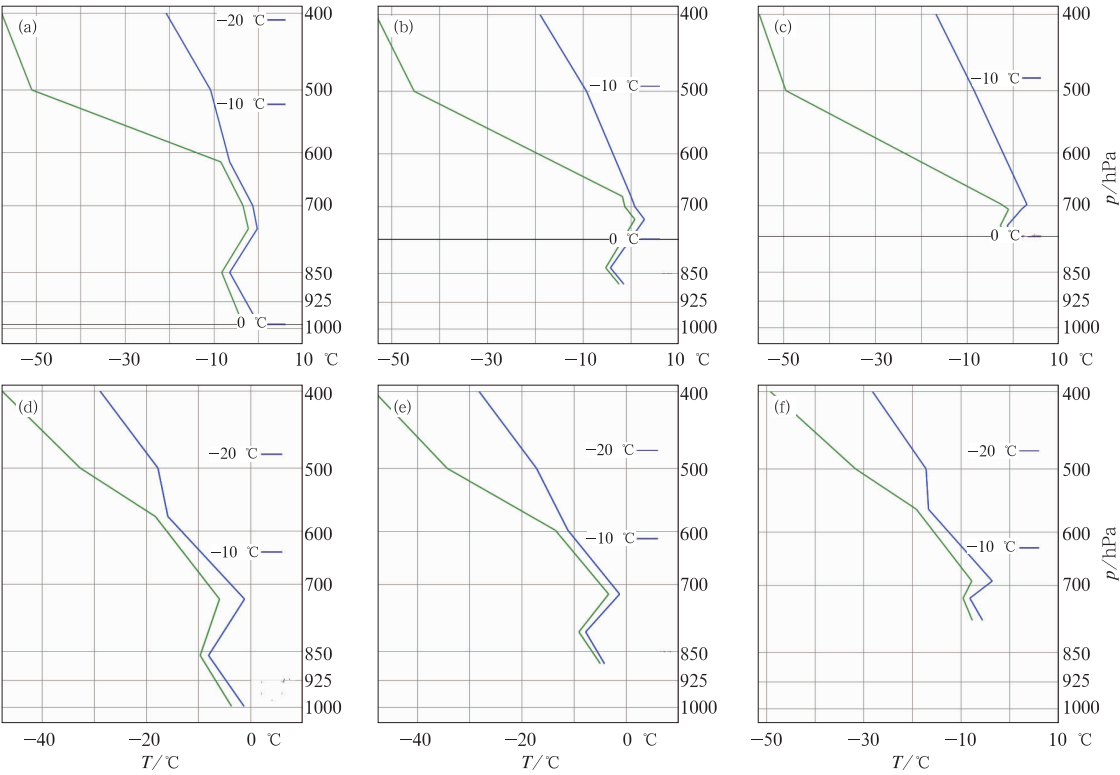


图 6 2010 年 12 月 31 日至 2011 年 1 月 2 日怀化(a)、贵阳(b)、威宁(c)及
1 月 17—21 日怀化(d)、贵阳(e)、威宁(f)的平均探空图

Fig. 6 Average T -log p diagrams at Huaihua (a, d), Guiyang (b, e) and Weining (c, f)
during 31 December 2010—2 January 2011 (a,b,c) and 17—21 January 2011 (d,e,f)

4 多种气象要素与冰冻强度的关系

黄小玉等^[7]在 2008 年初的雨雪冰冻过程研究中指出,湖南冰冻的形成与增长是多种气象因子综合影响的结果,地面日平均气温、700 hPa 风向风速等对冰冻强度预报有很好的指示意义,那么对于 2011 年贵州的冰冻过程,各气象要素与冰冻强度又有着怎样的关系呢?李登文等^[14]通过讨论贵州 2008 年电线积冰的气象条件,指出降水、气温对电线积冰的增长及融化有重要作用,2011 年冬季的这次过程是否存在类似的情况呢?选取此次过程中最大冰冻直径 ≥ 10 mm 的 10 个县站作为分析样本(集中在 $26^{\circ}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$ 纬度带内),将日平均气温、日最低气温、日降水量、地面平均风速及日最大冰冻直径分别取算术平均,据此分析各气象要素与冰冻强度变化的关系。首先来看本次过程中这 10 个站冰冻强度演变情况(图 7),1 月 1 日开始出现冰冻,并迅速发展,到 4 日 08 时,冰冻强度达本次过程最强,7 日以后明显减弱,并且维持较弱的冰冻状态。分析降水量变化可知,它与冰冻强度有一定的正相关,

但不具有线性关系,例如 18—21 日的降水量达最大,但冰冻强度并没有随之跃增,当降水量过大,由于冲刷作用,使得雨滴来不及凝固,同时与降水相态也有一定关系;统计结果表明,当日平均气温低于 0°C ,出现一定强度的大范围降水时,有利于冰冻的发生,但当日平均气温回升到 0°C 以上时,即使有明显降水出现,冰冻强度却非常微弱,如 14—15 日,即降水量与冰冻强度的关系受气温影响大。地面日平均风速约为 $1\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,变化不大,可能由于贵州地形复杂,地面风速难以反映冰冻强度的变化。

而从分析日最低气温和日平均气温的变化可知,它们的变化趋势较一致,1 月 1 日开始,气温明显下降至 0°C 以下,10—11 日,平均气温升至 0°C 附近,13—17 日,升至 0°C 以上,最低气温除 15 日外基本维持在 0°C 以下,日平均气温较日最低气温与冰冻强度具有更明显的反相关关系,即当有降水发生时,日平均气温低于 0°C ,则冰冻发生,持续下降则冰冻发展,高于 0°C 则冰冻迅速减弱或消失。从以上分析可知,在有一定的降水条件下,日平均气温是影响冰冻强度的重要因子。

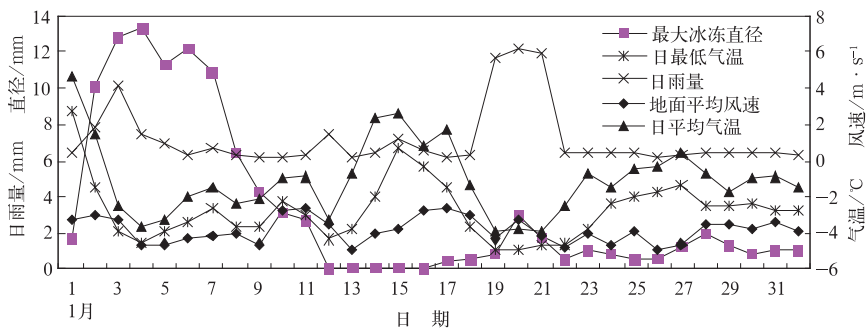


图 7 2011 年 1 月 1 日至 2 月 1 日日平均气温(单位:℃)、日最低气温(单位:℃)、日雨量(单位:mm)、地面平均风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)及日最大冰冻直径(单位:mm)随时间的变化

Fig. 7 Daily mean temperature (unit: $^{\circ}\text{C}$), lowest temperature (unit: $^{\circ}\text{C}$), daily rainfall (unit: mm), the daily mean surface velocity (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and maximum freezing rain diameter (unit: mm) averaged at 10 stations in Guizhou Province during 1 January—1 February, 2011

5 结 论

(1) 2011 年初发生在贵州的低温雨雪冰冻过程与 2008 年的低温雨雪冰冻过程一样都是在欧亚大气环流异常的大尺度背景下发生的,强冷空气的不断入侵是维持低温的主要原因,在 2008 及 2011 年的持续雨雪冰冻过程中,滇黔准静止锋都是重要的影响系统;而冷空气以不同路径入侵,贵州冻雨(雪)范围会有差异,当有偏北路径的冷空气时,贵州中西部受影响会比只有偏东路径冷空气时明显,这是 2011 年贵州中西部的雨雪冰冻强度超过 2008 年的原因之一;与 2008 年在形势上的差异还表现在副高位置强度和南支浅槽的活跃程度上,2011 年的副高及南支浅槽的活动都较 2008 年弱,即水汽输送条件不如 2008 年稳定持续。

(2) 伴随南支槽的东移及水汽辐合向上伸展,冻雨(雪)范围明显扩大,过程前期(2010 年 12 月 31 日至 2011 年 1 月 2 日)及中期(1 月 17—21 日)的水汽辐合伸展高度比其余时段高,随着水汽条件的不足,2011 年贵州的雨雪冰冻天气表现出间歇性,尤其是距离滇黔准静止锋区相对较远的贵州东部地区,受灾程度远不如 2008 年严重;低温雨雪冰冻期间的 5 次过程中低空锋生函数都为正值,表明伴随冷空气的补充影响,准静止锋增强活跃。

(3) 云顶高度及气温与降水的相态有密切的联系,冻雨的发生不一定需要融化层,对地面气温的要求有待进一步验证,而降雪的发生则需要云顶气温较低,而且逆温越弱越有利。

(4) 在日平均气温低于 0°C 的情形下,冰冻强度

与降水强度在一定程度上呈正比关系,所以有一定的降水条件时,日平均气温是影响冰冻强度的重要因子,但是降水量在哪个范围内有利于冰冻的发生及加强需要统计大量的个例,这将是下一步要进行的工作。

参考文献

[1] 丁一汇,王遵娅,宋亚芳,等. 中国南方 2008 年 1 月罕见低温雨雪冰冻灾害发生的原因及其气候变暖的关系[J]. 气象学报,2008,66(5):808-825.

[2] 陶祖钰,郑永光,张小玲. 2008 年初冰雪灾害和华南准静止锋[J]. 气象学报,2008,66(5):850-854.

[3] 李崇银,杨辉,顾薇. 中国南方雨雪冰冻异常天气原因分析[J]. 气候与环境研究,2008,13(2):113-122.

[4] 杨贵名,孔期,毛冬艳. 2008 年初“低温雨雪冰冻”灾害天气的持续性原因分析[J]. 气象学报,66(5):836-849.

[5] 高辉,陈丽娟,贾小龙,等. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析 II. 成因分析[J]. 气象,2008,34(4):101-106.

[6] 万素琴,周月华,李兰,等. 低温雨雪冰冻极端气候事件的多指数综合评估技术[J]. 气象,2008,34(11):40-46.

[7] 黄小玉,黎祖贤,李超,等. 2008 年湖南极端冰冻特大灾害天气成因分析[J]. 气象,2008,34(11):47-53.

[8] 王晓兰,李象玉,黎祖贤,等. 2005 年湖南省特大冰冻灾害天气分析[J]. 气象,2006,32(2):87-91.

[9] 覃志年,钟利华,刘莉红,等. 2008 年初广西异常低温雨雪冰冻天气影响因子分析[J]. 气象,2010,36(10):14-20.

[10] 杜小玲. 贵州省短期天气预报指导手册——冻雨[G].

[11] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2008:267.

[12] 李玉柱,许炳南. 贵州短期气候预测技术[M]. 北京:气象出版社,2001:54-59.

[13] 《贵州省短期天气预报指导手册》编委会. 贵州省短期天气预报指导手册[G]. 贵阳:贵州省气象局,1987.

[14] 李登文,杨静,吴兴洋. 2008 年低温冰冻雨雪灾害天气过程中贵州电线积冰气象条件分析[J]. 气象,2011,37(2):161-169.