

李生艳,梁嘉颖,覃皓,等. 2022年广西两次低温雨雪冰冻过程分析[J]. 气象研究与应用,2023,44(4):85-90.

LI Shengyan, LIANG Jiaying, QIN Hao, et al. Analysis of two low temperature rain and snow freezing processes in Guangxi in 2022[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2023, 44(4): 85-90.

2022年广西两次低温雨雪冰冻过程分析

李生艳, 梁嘉颖, 覃皓, 董雪晗, 黄 晴, 刘国忠

(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要: 利用常规观测资料和美国国家环境预报中心(NCEP)、美国国家大气研究中心(NCAR)再分析资料,通过天气诊断分析方法,对2022年初广西两次低温雨雪冰冻天气过程进行分析。结果表明:(1)两次过程共同点是亚洲中高纬稳定的西高东低异常经向环流和活跃的南支波动,使冷暖气团长时间在广西交绥,造成持续低温雨雪冰冻天气;特殊温湿层结导致降水相态复杂;冬季强降水发生在弱对称不稳定层结条件下。(2)2月18—25日比1月28—2月5日过程雨雪范围广、强度强,主要由于2月18—25日过程具有更强的动力、水汽条件和冷空气势力偏强。(3)两次过程降温主要受冷平流和垂直输送的共同作用,非绝热加热项均起到增温的作用,2月18—25日过程冷空气更为深厚,垂直输送项在降温前期贡献较大,中层潜热加热作用较明显,与水汽相变有一定联系。

关键词: 低温雨雪冰冻;冬季暴雨;降温机制;降水相态

中图分类号: P429

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.4.13

低温雨雪冰冻天气是华南地区冬季主要灾害天气之一,广西地处南疆,持续时间较长的低温雨雪冰冻天气对农林渔牧业、水利、电力、交通和民众生活等造成严重影响^[1-2]。近年来,在气候变暖背景下,低温雨雪冰冻天气时有发生,2008、2011、2016年冬季我国南方均发生较严重的低温雨雪冰冻天气,其中2008年过程强度、影响范围、持续时间、造成灾害为历史罕见。针对低温雨雪冰冻过程,国内学者从气候环流背景、天气动力成因、大气层结、环境场特征及数值预报产品性能等方面进行大量研究^[3-9]。预报一线工作者对广西低温雨雪冰冻天气成因及预报技术进行分析研究^[10-14]。李向红等^[15]对影响广西两次低温灾害及物理机制进行对比分析。赖珍权等^[16]对2016年初广西罕见的一次低温雨雪冰冻灾害天气的成因进行诊断分析。目前针对发生在同一气候背景下,广西长时间低温雨雪冰冻天气过程物理机制分析的研究少见,有必要开展进一步研究。

2022年1月28日至2月25日,广西出现大范围持续低温雨雪冰冻天气,低温持续时间长,降水量

历史同期最多,降雪范围大,是2009年来最严重的低温雨雪冰冻过程。期间共出现5次不同程度的低温雨雪冰冻过程,其中1月28日—2月5日和2月18—25日为两次较长时间的低温雨雪冰冻天气过程,过程期间出现多种灾害性天气,包括强降温及严重低温、暴雨、雪、雨夹雪、冻雨、冰粒、冰冻、霜冻及偏北大风等。持续低温雨雪冰冻天气对全区农林渔牧业造成严重影响,部分水陆交通管制,电力启动应急处置,灾情严重,据广西壮族自治区应急管理部门统计,直接经济损失超3.8亿元。本研究应用常规观测资料和NCEP/NCAR再分析资料,对上述两次低温雨雪冰冻天气过程进行分析,探讨广西低温雨雪冰冻天气过程的降温机制及冬季暴雨产生机制,以期今后的低温雨雪冰冻天气过程预报提供有益的思路和方法。

1 资料与方法

(1) 降雨量和气温资料来自国家地面气象观测站和广西区域气象观测站资料,雪、雨夹雪、冻雨或

收稿日期: 2023-11-20

基金项目: 中国气象局复盘总结专项(FPZJ2023-095)、广西壮族自治区气象局创新平台专项(BNCO-N202304)

第一作者简介: 李生艳(1976—),女,硕士,高级工程师,主要从事天气预报与研究工作。E-mail: 872027663@qq.com

冰冻等天气实况来自国家地面气象观测站,再补充广西气象部门及社会报告;利用上述资料对低温雨雪冰冻实况进行统计分析。

(2)利用高空、地面常规观测及雷达资料,通过天气诊断方法,分析低温雨雪冰冻天气成因。

(3)采用美国环境预报中心和国家大气研究中心(NCEP/NCAR)逐日再分析资料,分辨率 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 。利用温度倾向方程对降温机制进行诊断:

$$\frac{\partial T}{\partial t}=-\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\omega(\gamma_d-\gamma)+\frac{1}{c_pQ}\tag{1}$$

式中, γ_d 和 γ 分别为干空气和环境温度递减率, c_p 为定压比热容。 $\frac{\partial T}{\partial t}$ 为温度局地变化项,将后一日与当日的温度做差得到,表征当日的温度局地变化; $-\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}\right)$ 为温度平流项,反映冷暖空气水平运动引起的局地温度变化; $\omega(\gamma_d-\gamma)$ 为垂直输送

项,反映由垂直运动带来的绝热膨胀冷却或绝热压缩增温; $\frac{1}{c_pQ}$ 为非绝热加热项,包含辐射、湍流交换、水汽相变等过程,由其他三项倒推得到。

2 结果与分析

2.1 低温雨雪冰冻实况

1月28日—2月5日(过程1,下同),桂北、桂东出现80站日雪、雨夹雪、冻雨或冰冻等凝冻天气(表1),其中30日08时—31日08时雨雪冰冻范围最大。降雨主要出现在1月27日20时—2月3日20时(图1a),最强降雨出现在1月30日20时—31日20时(图1b),桂中、桂南部分地区出现中到大雨,局部暴雨。降温主要出现在28—29日,桂西、桂南降温 $6\sim 10^{\circ}\text{C}$,局部 12°C 以上,桂东北降温 $2\sim 6^{\circ}\text{C}$,过程最低气温出现在31日凌晨,高寒山区为 $-6\sim 0^{\circ}\text{C}$,桂北为 $1\sim 4^{\circ}\text{C}$,桂南为 $5\sim 9^{\circ}\text{C}$ 。

表 1 两次过程逐日(08 时—08 时)凝冻天气站数统计

日期(月-日)	01-29	01-30	01-31	02-01	02-02	02-03	02-04	02-05	02-06
01-29—02-06									
站数/个	5	11	15	7	12	9	10	11	6
日期(月-日)	02-19	02-20	02-21	02-22	02-23	02-24	02-25	02-26	
02-19—02-26									
站数/个	8	17	31	29	32	27	10	9	

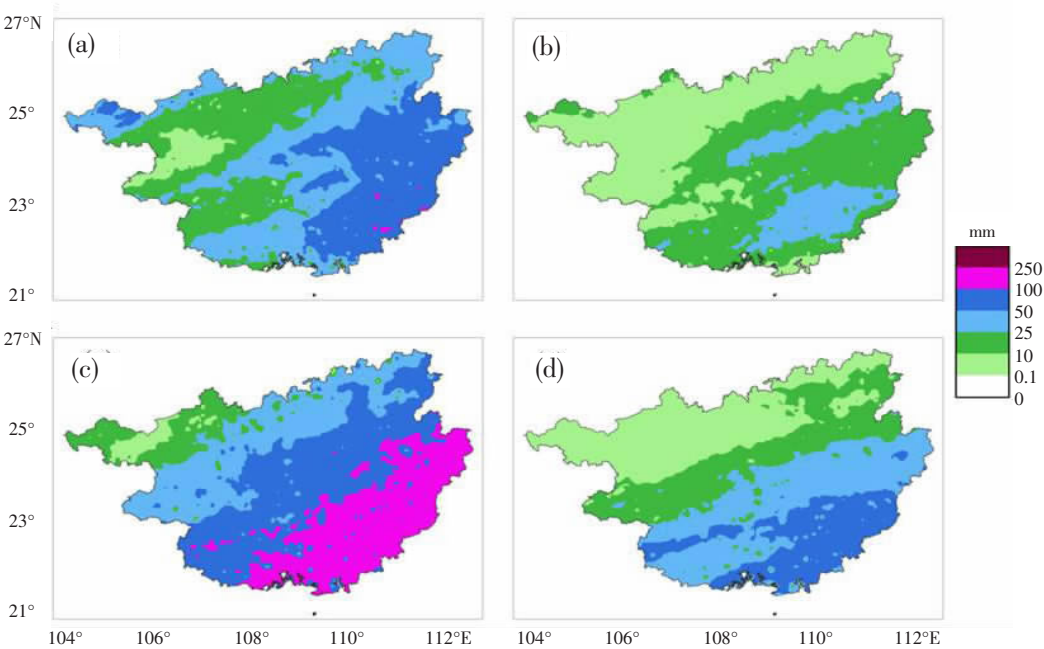


图 1 2022 年广西两次低温雨雪冰冻过程降雨实况图

(a)2022 年 1 月 27 日 20 时—2 月 3 日 20 时;(b)1 月 30 日 20 时—31 日 20 时;
(c)2 月 17 日 20 时—23 日 20 时;(d)2 月 18 日 20 时—19 日 20 时

2 月 18—25 日(过程 2, 下同), 桂北、桂东出现 154 站日雪、雨夹雪、冻雨或冰冻等凝冻天气(表 1), 其中 22 日 08 时—23 日 08 时雨雪冰冻范围最大。降雨主要出现在 2 月 17 日 20 时—23 日 20 时(图 1c), 其中 2 月 18 日 20 时—19 日 20 时降雨最强(图 1d), 桂中、桂南大部出现大到暴雨, 局部大暴雨。降温主要出现在 18—20 日, 桂西、桂南降温 6~12℃, 局部 13℃以上, 桂东北降温 4~6℃。过程最低气温出现在 23 日凌晨, 高寒山区 -8~-1℃, 桂北 0~4℃, 桂南 4~7℃。过程 2 雨雪范围更广、强度更强; 降温幅度更大, 最低气温更低, 集中降温时段更长。

2.2 雨雪冰冻及冬季暴雨成因分析

2.2.1 环流背景及影响系统

1 月 27 日—2 月 24 日 500 hPa 平均高度与距平场上, 亚洲中高纬西高东低, 冷涡偏南, 中高纬的经向环流分布有利于冷空气连续不断补充南下影响华南地区; 同时, 孟加拉湾高度明显偏低, 有利于南支波动活跃偏强, 西南暖湿气流持续向江南、华南输送, 有利广西降水持续。850 hPa 南北风均偏强, 冷暖气团长时间在广西交绥。地面冷高压控制欧亚大陆, 冷高中心明显偏南偏强, 准静止锋位于华南沿海, 有利于低空暖空气沿锋面爬升, 形成持续低温雨雪冰冻天气。

在有利的环流背景下, 过程 1 广西有 3 次南支槽配合北支槽东移影响过程, 其中 1 月 27—29 日为南支深槽缓慢东移(图 2a); 850 hPa 切变线先南移

后北抬并再次南压, 伴有偏南急流加强; 1 月 29 日 20 时 850 hPa 锋区最强达 $16^{\circ}\text{C}\cdot(10^{\circ}\text{纬距})^{-1}$, 低空急流在 31 日 20 时最强达 $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 0°C 线在桂北摆动; 地面有 3 股冷空气影响广西(图略), 其中 1 月 27—29 日冷空气最强, 过程冷高压中心 4 日 08 时最强达 1 070 hPa, 中心位于蒙古国西北部。

过程 2 广西有 2 次南支槽配合北支深槽东移影响过程, 其中 2 月 17—19 日蒙古横槽转竖加深东移(图 2b); 850 hPa 切变线在广西摆动, 偏南急流异常加强; 2 月 19 日 08 时低空急流和锋区最强, 分别达 $14\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $20^{\circ}\text{C}\cdot(10^{\circ}\text{纬距})^{-1}$, 0°C 线在桂中、桂南摆动; 地面有 2 股冷空气影响广西(图略), 冷高压中心 2 月 18 日 08 时最强达 1 062.5 hPa, 中心位于蒙古国西北部。

两次过程相似点是: 南支活跃、东移缓慢, 急流轴穿过广西; 切变线长时间在广西摆动, 锋区强, 切变线南侧偏南急流强, 低空急流最强时段对应强降水时段; 蒙古冷高不断分裂冷空气南下影响广西, 冷高压中心强。不同点是: 过程 1 南支槽深, 北支偏北偏弱; 低空急流在中后期显著加强, 0°C 线位置偏北; 冷空气南移速度慢, 冷高压中心强, 冷空气主体偏北。过程 2 南支槽移速偏慢, 东亚槽偏强偏南; 低空急流前期强, 锋区强, 0°C 线位置偏南; 冷空气南移速度快, 冷空气主体偏南。

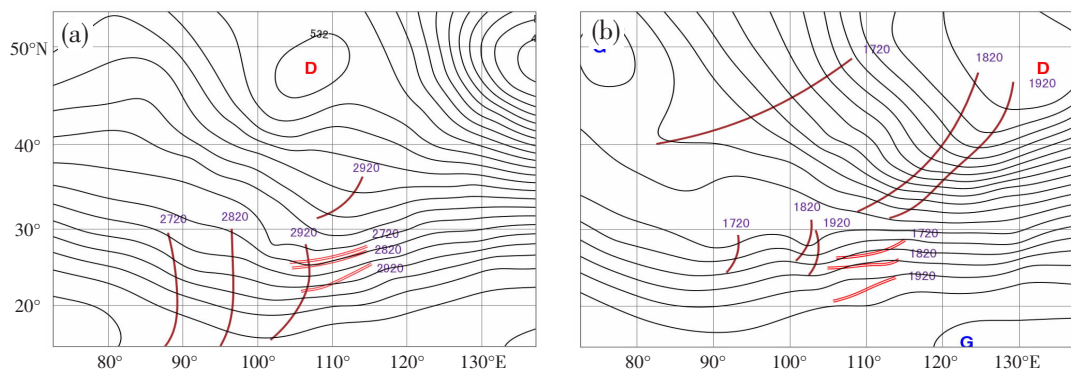


图 2 500 hPa 和 850 hPa 天气系统演变图

(a) 2022 年 1 月 27—29 日(等值线为 29 日 20 时 500 hPa 高度); (b) 2022 年 2 月 17—19 日(等值线为 19 日 20 时 500 hPa 高度)

两次过程较强降水, 高空急流起到重要作用。过程强降水时段 200 hPa 风场上高空西风急流显著增强, 广西处于高空急流南下侧辐散区, 有强的风垂直切变和水平切变; 高空西风急流引起的对称不稳定有利于中尺度上升运动加强。过程 2 的风水平切变更强, 对应产生的降水更强, 范围更大。

2.2.2 环境条件

2.2.2.1 大气层结特征

选取两次过程桂林、梧州站探空曲线进行分析, 两次过程均有厚的湿层, 低层存在逆温层, 风随高度顺转, 有较强暖平流, 桂林探空 0.5~2 km 高度存在冷层。二者温湿层结存在一些差异, 1 月 31 日 08

时,湿层伸展高度集中在中下层,桂林湿层伸展到 6 600 m 高度,500 hPa 温度达 -14°C ,冰晶层薄;融化层位于 2~3 km 高度,厚度约 1 km,融化层也薄。2 月 19 日湿层深厚,桂林湿层伸展到对流层上层,冰晶含量多;融化层位于 2~4 km 高度,厚度 2 km,融化层较厚,桂北特殊的温湿层结导致降水相态复杂。梧州 700 hPa 以下的温度均高于 0°C ,实况表现为强降雨。

2.2.2.2 水汽条件

两次过程广西湿层较深厚,为雨雪产生提供较好的水汽条件。过程 1 $5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 比湿线伸展高度维持在 700 hPa 附近,低层比湿达到 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。过程 2 在 19—20 日强降雨时段, $5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 比湿线伸展到 500 hPa 附近,低层桂南比湿达到 $13\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。比湿变化与降水强度、范围大小相对应。从水汽通量来看,两次过程水汽输送来自于孟加拉湾和南海,过程 2 低层水汽通量中心值始终超过 $18\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,来自孟加拉湾和南海的充足水汽接力输送,使其降雨强度更强,范围更广。

2.2.2.3 动力条件

两次过程假相当位温在低层存在明显的等值线密集区,并随高度向冷空气一侧倾斜,说明有冷空气不断从北边侵入,冷空气势力较强,地面锋区位于 21°N 附近,在近地面的锋区坡度均明显增大,有利于锋区的加强和冰冻雨雪天气的发生。锋区之上,低层强暖湿气流沿锋面爬升,1 月 31 日广西上升运动最强位于 700 hPa,中心达 $-1.5\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$;2 月 19 日广西上升运动最强位于 600 hPa,中心达 $-2.4\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,明显上升运动区可伸展到 300 hPa,整层上升运动且更强,这也是后者降雨更强原因之一。

2.2.3 雷达回波特征

分析两次过程主要雨雪时段雷达回波可知,1 月 31 日,广西有多条平行窄带回波自西南向东北移动,最强达 40 dBZ,最大小时雨量 16 mm,零度层亮带不明显。2 月 18—20 日,较强回波在广西维持时间长,强回波主要位于桂南、桂东。18 日多条平行窄带回波自西南向东北移动,19—20 日为层状云积云混合降水回波,最强达 50 dBZ,强回波高度在 5 km 以下,最大小时雨量 32 mm,零度层亮带特征明显,零度层高度桂北约 3 km,桂南约 4.5 km。表明冬季强降水发生在弱条件对称不稳定层结条件下。过程 2 较厚的融化层更有利于暴雨产生。

2.3 降温机制分析

由区域平均各项时间演变可以看到,过程 1 降温主要受冷平流和垂直输送(上升绝热冷却,下同)的共同作用。其中,冷平流的影响集中在近地面层 925 hPa 以下(图 3b),在 850 hPa 以上仍为暖平流(图 3a),表明冷空气厚度较为浅薄。垂直输送项则表现为高度越高作用越明显。整个过程非绝热加热项均起到增温的作用,但不足以抵消温度平流和垂直输送带来的冷却。后期冷平流和垂直输送的作用逐渐减弱,温度回升。

过程 2 降温同样是由冷平流和垂直输送主导,而非绝热加热项仍然起到增温作用。不同的是,此次过程冷平流的影响可以达到 850 hPa,表明冷空气更为深厚(图 3c)。垂直输送项在降温前期贡献较大,后期逐渐由上升绝热冷却转为下沉绝热膨胀,促使温度回升(图 3d)。值得注意的是,温度平流项和非绝热加热项均在 19 日达到极值,此时为广西降水最强时段,达到暴雨量级,表明冷空气活动造成降水的作用显著,伴有明显的水汽潜热释放。

进一步选取两次过程具有典型特征的时段进行分析,分别选取降温最强的 1 月 28 日以及降水最强的 2 月 19 日。

1 月 28 日,温度局地变化项呈现广西 1 000~700 hPa 均为 $-7\sim-3^{\circ}\text{C}$ 的降温。近地面层广西受偏北风控制,为一致的冷平流,而在 850~700 hPa 则转为偏南风,带来暖平流,冷空气较为浅薄。垂直输送项上,1 000~700 hPa 广西均处于上升运动区,上升绝热膨胀导致冷却降温。同时,随着高度增高,上升运动增强,降温效应更为显著。此外,还可以看到强上升区位于桂西北,与当天较强降水的落区相对应。非绝热加热的作用桂西北强于桂东南,这也与桂西北降水较强密切相关,降水带来更多的潜热释放,这一特征在 850 hPa 以上的高度更为明显。

2 月 19 日,广西 1 000~700 hPa 为 $-7\sim-1^{\circ}\text{C}$ 的降温,此时 1 000~850 hPa 均为冷平流控制,700 hPa 才转为偏南风带来的暖平流,冷空气较 1 月的过程略深厚。冷暖空气在桂南交汇,造成较强降水,强上升区位于冷垫之上(850 hPa 以上)桂南一带,上升绝热膨胀导致明显的冷却降温。同时,桂南较强降水对应更多的潜热释放,降水落区与较强非绝热加热区在中层对应更好,表明中层潜热加热作用占非绝热加热较大比重,这与水汽相变集中在中层有一定联系。

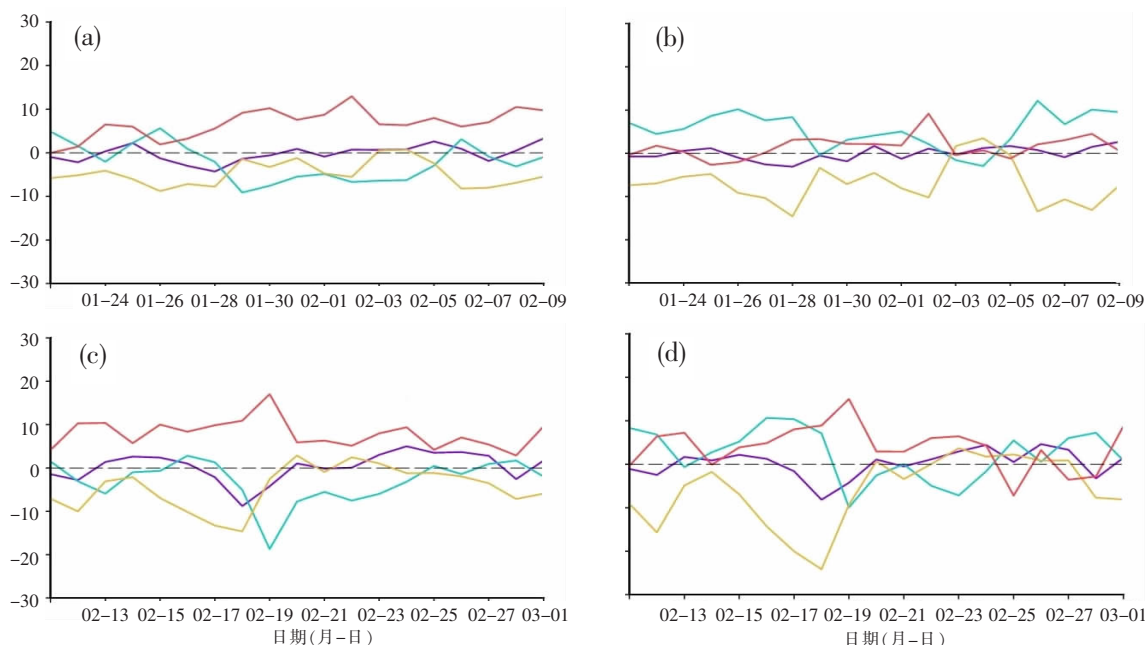


图3 区域平均(103~112°E, 21~27°N)的各项时间序列(紫色、蓝色、黄色和红色线分别为温度局地变化项、温度平流项、垂直输送项和非绝热加热项,单位: $10^{-5} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a) 1月22日—2月9日 925 hPa; (b) 1月22日—2月9日 850 hPa;

(c) 2月11日—3月1日 850 hPa; (d) 2月11日—3月1日 925 hPa

3 结论和讨论

通过对 2022 年初广西两次低温雨雪冰冻天气过程进行分析,得到主要结论如下:

(1) 亚洲中高纬稳定的西高东低异常经向环流和活跃的南支波动,使冷暖气团长时间在广西交绥,造成广西两次较长时间的持续低温雨雪冰冻天气。

(2) 过程 2 较比过程 1 雨雪范围广、强度强,主要由于过程 2 具有更好的动力、水汽条件和冷空气势力偏强。两次过程湿层均伸展到 500 hPa 以上,存在冰晶层,2~4 km 高度有融化层,0.5~2 km 高度存在冷层,特殊的温湿层结导致降水相态复杂;冬季强降水发生在弱条件对称不稳定层结条件下。

(3) 广西雨雪冰冻及冬季暴雨的成因为:①500 hPa 北支槽和南支槽同时活跃,冷暖空气对峙明显,华南形成强锋区;②低层切变线在广西摆动,切变线南侧强偏南急流将南海北部和孟加拉湾水汽输送到广西上空,切变线南侧、急流前端形成水汽辐合,产生雨雪冰冻天气;③前期冷空气影响,低空急流在冷垫上爬升,是高湿低能稳定层结条件下以稳定性降水为主的混合降水,局地对流较强;④200hPa 高空西风急流引起的对称不稳定有利于中尺度上升运动加强;⑤强的动力、水汽条件和冷空气配合,产生冬

季暴雨。

(4) 两次过程降温主要受冷平流和垂直输送(上升绝热冷却)的共同作用,非绝热加热项均起到增温的作用。过程 2 较过程 1 冷平流更为深厚,中层潜热加热作用较明显,与水汽相变有一定联系。在业务中温度预报既要考虑冷平流和上升绝热冷却的降温作用,也要考虑水汽相变的潜热加热作用。

在“拉尼娜”事件气候背景下,南方易出现严重低温雨雪过程,这两次过程与此前 2008 年、2016 年广西罕见低温雨雪天气相比,大气环流、温湿层结、降水相态和强度以及降温程度均有一定差别,低温雨雪冰冻形成物理过程及其预报预测技术仍有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 高安宁,陈见,李艳兰,等.2008 年广西罕见凝冻灾害评估及思考[J].灾害学,2008,23(2):83-86.
- [2] 唐熠,谢晓燕,周秀华,等.广西低温雨雪冰冻灾害危险性评估和区划[J].灾害学,2021,36(4):101-106.
- [3] 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与气候变暖的关系[J].气象学报,2008,66(5):808-825.
- [4] 陶诗言,卫捷.2008 年 1 月我国南方严重冰雪灾害过程分析[J].气候与环境研究,2008,13(4):337-350.

- [5] 刘国忠,唐毓勇,班荣贵,等.2008 年桂西低温雨雪冻害特点及成因分析[J].气象研究与应用,2008,29(2):15-18.
- [6] 黎惠金,韦江红,覃昌柳,等.2008 年广西罕见低温雨雪冰冻天气成因及数值预报产品性能分析[J].气象研究与应用,2008,29(1):16-19,33.
- [7] 王东海,柳崇健,刘英,等.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[J].气象学报,2008,66(3):405-422.
- [8] 杨贵名,毛冬艳,孔期,等.2008 年初“低温雨雪冰冻”天气过程锋区特征分析[J].气象学报,2009,67(4):652-665.
- [9] 曾明剑,陆维松,梁信忠,等.2008 年初中国南方持续性冰冻雨雪灾害形成的温度场结构分析[J].气象学报,2008,66(6):1 044-1 052.
- [10] 高安宁,陈见,李生艳,等.2008 年华南西部罕见低温冷害天气成因分析[J].热带气象学报,2009,25(1):110-116.
- [11] 陈见,高安宁,黄明策,等.2008 年广西严重低温雨雪冰冻天气过程分析[J].气象研究与应用,2008,29(2):5-8,14.
- [12] 陈业国,农孟松.2008 年初广西罕见低温雨雪冰冻天气的成因初探[J].气象研究与应用,2008,29(2):12-14.
- [13] 董雪晗,农孟松.2021 年 12 月 25-27 日广西寒潮天气过程分析[J].气象研究与应用,2022,43(2):41-44.
- [14] 李艳玉,王艳兰,蒋冬雁,等.2008 年初桂林低温雨雪冰冻灾害天气特征及预报技术分析[J].气象研究与应用,2009,30(增刊 1):50-52.
- [15] 李向红,陆虹,伍静,等.影响广西两次低温灾害及物理机制对比分析[J].灾害学,2018,33(4):60-64,77.
- [16] 赖珍权,翟丽萍,张禹德,等.2016 年初广西罕见的一次低温雨雪冰冻灾害天气分析[J].自然灾害学报,2017,26(1):156-164.

Analysis of two low temperature rain and snow freezing processes in Guangxi in 2022

LI Shengyan, LIANG Jiaying, QIN Hao, DONG Xuehan, HUANG Qing, LIU Guozhong
(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on the conventional observation data and NCEP/NCAR reanalysis data, two cold rain, snow and freezing weather processes in Guangxi in early of 2022 are analyzed through weather diagnostic analysis methods. Results show that: (1) There are similarities between the two processes. The stable abnormal circulation over Asia continent in mid-high latitude and active southern trough over low latitudes, make the cold and warm air cooperates over Guangxi for a long time, resulting in cold rain, snow and freezing weather. The special humidity and temperature stratification leads to complicated precipitation phases. The heavy precipitation occurs in weak conditional symmetric instability in winter. (2) The process on February 18 to 25 has a wider range of influence, stronger intensity than the process on January 28 to February 5, mainly due to the stronger dynamic condition, water vapour conditions and stronger cold air. (3) The cooling of the two processes is mainly due to the joint effect of cold advection and vertical transportation and the non-adiabatic heating play a role in warming. The process on February 18 to 25 has deeper cold air and vertical transportation contributing more in the pre-cooling period, and the mid-level latent heat being more obvious in connection with phase transition of water vapor.

Key words: cold rain, snow and freezing; winter rainstorm; cooling mechanism; precipitation phase