

贵阳机场一次雨雪天气形成机制分析

宋 媛

中国民用航空西南地区空中交通管理局贵州分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2022年8月15日; 录用日期: 2022年9月12日; 发布日期: 2022年9月16日

摘 要

利用ECMWF ERA5再分析资料、贵阳机场地面观测资料, 分析了2022年1月28日~2月2日贵阳机场雨雪期间的环流形势及物理量场。结果表明: 1) 500 hPa南支槽, 700 hPa西南急流, 850 hPa切变线为贵阳机场此次过程提供了有利的环流背景; 2) 降雪湿层最高, 雨夹雪次之, 冻雨湿层最低; 降雪云顶温度最低, 雨夹雪次之, 冻雨云顶温度最高; 降雪、雨夹雪温度层结整层均为冷性结构, 冻雨存在逆温层、呈“冷-暖-冷”分布; 3) 降雪、雨夹雪、冻雨期间贵阳机场比湿大于3.5 g/kg、水汽通量散度小于0, 水汽充沛; 垂直速度小于0, 上升运动显著; 低层(高层)水汽通量散度小于(大于)0、水汽辐合上升(辐散)。

关键词

降雪, 冻雨, 环流特征

Analysis on the Formation Mechanism of a Rainy and Snowy Weather at Guiyang Airport

Yuan Song

Guizhou Sub-Bureau of Southwest Air Traffic Management Bureau of CAAC, Guiyang Guizhou

Received: Aug. 15th, 2022; accepted: Sep. 12th, 2022; published: Sep. 16th, 2022

Abstract

According to the ECMWF ERA5 reanalysis data, the ground observation data of Guiyang Airport, the circulation pattern and physical quantity field during rain and snow period from January 28 to February 2, 2022 at Guiyang Airport were analyzed. The results show that: 1) the south branch trough of 500 hPa, southwest jet stream of 700 hPa and shear line of 850 hPa provide favorable circulation background for the process of Guiyang Airport; 2) the snowfall wet layer is the highest,

followed by sleet, and the freezing rain wet layer is the lowest. The temperature of snowfall cloud top is the lowest, followed by sleet and the freezing rain is the highest. The whole layer of snowfall and sleet temperature stratification is cold structure, and there is an inversion layer in freezing rain, presenting a “cold-warm-cold” distribution; 3) during snowfall, sleet and freezing rain, the specific humidity of Guiyang Airport is more than 3.5 g/kg and the divergence of water vapor flux is less than 0, indicating abundant water vapor. The vertical velocity is less than 0, and the ascending movement is significant. Water vapor flux divergence in lower layer (upper layer) is less than (greater than) 0, water vapor convergence rises (diverges).

Keywords

Snowfall, Freezing Rain, Circulation Characteristic

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

低温雨雪凝冻天气是贵州冬季主要的灾害性天气之一，会对民航飞行、交通安全、人民生活造成严重影响。贵阳机场冬季受持续性低温雨雪凝冻天气影响，易造成机场关闭、航班取消、旅客大量滞留。

近年来，已有诸多气象专家对贵州冬季降雪天气开展了大量研究工作。如罗喜平等[1]对比分析了贵州降雪和冻雨的异同，发现冻雨过程逆温强，垂直温度呈“冷-暖-冷”层结结构，湿层薄云顶温度高；而降雪过程湿层深厚，云顶温度较低、且整层为冷性结构；许丹等[2]用合成分析方法分析了贵州重凝冻年和无凝冻年 500 hPa 高度场的分布特征；曾莉萍[3]对比分析了贵州两次凝冻天气的云物理结构；杜小玲[4]对 2011 年初贵州持续低温雨雪冰冻天气成因进行研究，发现冰粒、降雪、冻雨的大气运动状况及温度场差异明显；周文钰[5]则研究了 2018 年 12 月贵州省持续性低温雨雪天气过程，发现高空槽、孟加拉湾南支槽、700 hPa 切变线影响显著。而有关贵阳机场冬季雨雪天气的研究还相对较少。甘文强[6]研究了 2018 年 1 月底至 2 月初贵州低温雨雪天气形成机制，发现中高纬阻塞形势和两槽一脊型是造成贵州此次低温雨雪的重要背景，期间 4 次强冷空气及锋区西推是贵州自东向西出现低温雨雪天气的重要原因。

2022 年 1 月 28 日~2 月 2 日贵阳机场出现了长达 6 天的低温雨雪天气。其中最高温度为 4.4 度、最低温度为-1.8℃。期间降水相态复杂多变，出现了雨、小雪、中雪、冻雨、雨夹雪天气。造成机场跑道、停场航空器积冰或积雪，大量航班延误或备降。

2. 资料与方法

本文利用 ECMWF ERA5 逐 3 小时再分析资料(空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$)、贵阳机场地面观测资料对该过程环流形势和物理量场进行诊断分析，以期探讨其形成机制。为贵阳机场冬季雨雪天气预报提供一定的科学依据。

3. 天气过程概况

本文所用时间均为世界协调时(世界协调时 = 北京时间 - 8 小时)。

民航气象地面观测规范定义当主导能见度小于 1000 米时的降雪为中雪[7]。贵阳机场位于贵州中部，经度为 106.8°E 、纬度为 26.5°N 。

根据贵阳机场观测簿纪要栏数据,由2022年1月28日~2月2日贵阳机场天气现象演变(表1)可见,1月28日贵阳机场以小雨为主;1月29日夜间至30日早晨出现了小雪天气(持续时间为7.5小时);1月30日夜间至31日中午出现了小雪、短时中雪(持续时间为14小时);1月31日夜间至2月1日早晨出现小雪(持续时间为6小时);2月1日夜间出现冻雨(持续时间为7小时);2月2日早晨至夜间出现间歇性小雪转短时雨夹雪天气(持续时间为6小时)。

Table 1. Evolution of weather phenomena at Guiyang Airport from January 28 to February 2, 2022 (-RA: light rain; -DZ: light drizzle; -RASN: light rain and snow; -SN: light snow; SN: moderate snow; -FZRA: light freezing rain)

表 1. 2022 年 1 月 28 日~2 月 2 日贵阳机场天气现象演变(-RA: 小雨; -DZ: 小毛毛雨; -RASN: 小雨夹雪; -SN: 小雪; SN: 中雪; -FZRA: 弱冻雨)

1 月 28 日	时间	16:30~17:36	18:50~20:11	21:33~22:45	23:50~02:51	04:45~05:32
	天气现象	-RA	-RA	-RA	-RA	-RA
	时间	10:40~11:20	13:45~14:10	15:10~15:15	15:15~15:45	15:45~16:00
1 月 29 日	天气现象	-DZ	-RA	-RA	-RASN	-RA
	时间	16:00~16:08	16:08~16:30	16:30~19:35	20:40~23:21	01:35~04:30
	天气现象	-RA	-RASN	-SN	-SN	-RA
1 月 30 日	时间	09:42~11:10	11:10~12:40	12:40~13:15	14:10~15:42	15:42~16:00
	天气现象	-RA	-SN	-RA	-SN	SN
	时间	16:00~16:04	16:04~22:36	00:45~02:22		
1 月 31 日	天气现象	SN	-SN	-SN		
	时间	17:50~00:25	09:15~13:54	13:54~16:00		
	天气现象	-SN	-RA	-FZRA		
2 月 1 日	时间	16:00~20:51	20:51~23:35	00:30~03:50	14:04~14:20	14:20~15:35
	天气现象	-FZRA	-SN	-SN	-SN	-RASN

由表2可见,1月28日~2月2日贵阳机场最高温度为4.4℃,最低温度为-1.8℃。低温雨雪天气持续了6天,期间出现了雨、小雪、中雪、冻雨、雨夹雪,降水相态复杂,造成了机场跑道、停放航空器积冰或积雪,给航班正常性带来了极大的影响。

Table 2. The highest and lowest temperatures at Guiyang Airport from January 28 to February 2, 2022

表 2. 2022 年 1 月 28 日~2 月 2 日贵阳机场最高温及最低温

时间	最高温度(℃)	最低温度(℃)
1 月 28 日	2.6	0.6
1 月 29 日	3.3	0.0
1 月 30 日	4.4	-0.2
1 月 31 日	4.2	-0.9
2 月 1 日	1.5	-0.8
2 月 2 日	3.1	-1.8

4. 大尺度环流背景

4.1. 500 hPa 环流形势

由图 1(a)可以看出, 1 月 28 日 12 时 500 hPa 中高纬地区呈一槽一脊型分布。槽较浅、位于东欧平原, 脊位于中西伯利亚。低纬地区南支槽位于川南到中南半岛北部, 南支槽深厚、槽底向南延伸至 20°N 附近。温度槽落后于高度槽, 未来高度槽会继续东移发展。我国西南地区中东部受南支槽前西南气流控制, 有源源不断的暖湿空气输送, 利于后期的降雪天气形成。31 日 12 时前南支槽略微东移, 形势变化不大(图略)。2 月 1 日 12 时南支槽西退至中南半岛西部, 贵州处于南支槽前强盛的西南气流控制(图 1(b))。

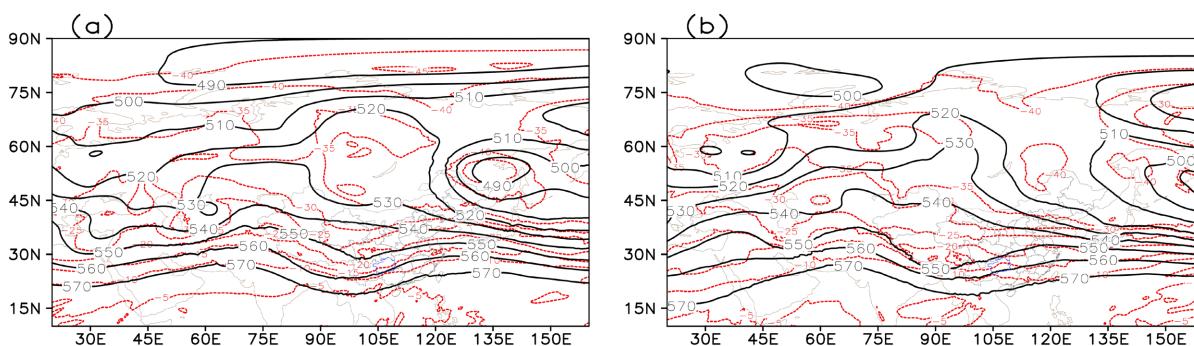


Figure 1. Circulation situation at 500 hPa (black solid line: height, unit: dagpm; red dotted line: temperature, unit: °C): January 28, 2022 at 12:00 (a); February 1, 2022 at 12:00 (b)

图 1. 500 hPa 环流形势(黑实线: 高度, 单位: dagpm; 红虚线: 温度, 单位: °C): 2022 年 1 月 28 日 12 时 (a); 2 月 1 日 12 时 (b)

4.2. 700 hPa 环流形势

由图 2(a)可见, 1 月 30 日 09 时贵阳机场受西南急流控制、风速为 12 m/s, 切变线位于川渝交界处; 700 hPa 0°C 等温线位于贵州中部以南。2 月 1 日 12 时四川东南部至重庆的低涡切变维持, 贵州大部西南急流加强, 贵阳机场 700 hPa 风速为 20 米/秒。0°C 等温线位置变化不大(图 2(b))。

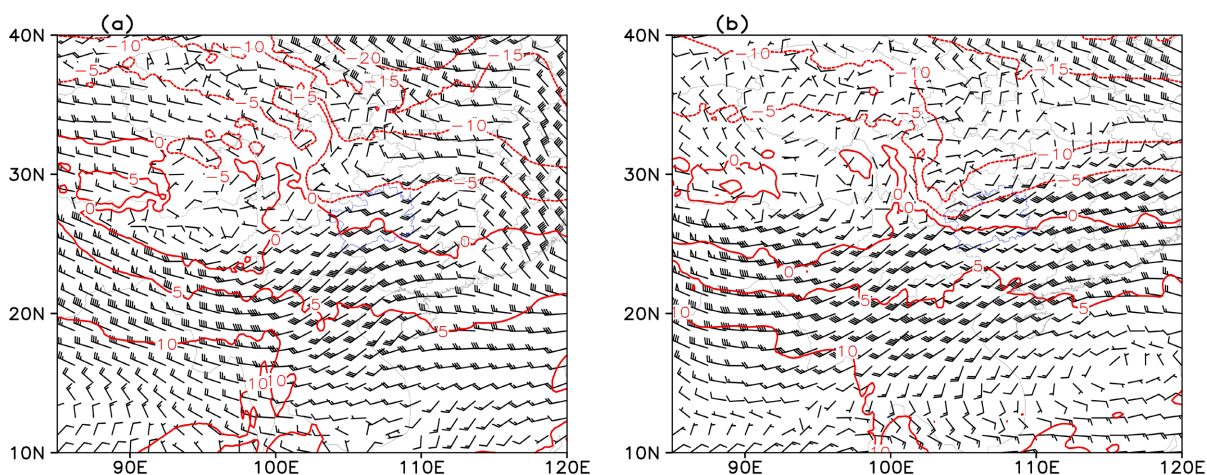


Figure 2. Circulation situation at 700 hPa (wind feather: wind, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; red line: temperature, unit: °C): January 30, 2022 at 09:00 (a); February 1, 2022 at 12:00 (b)

图 2. 700 hPa 环流形势(风羽: 风, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; 红线: 温度, 单位: °C): 2022 年 1 月 30 日 09 时 (a); 2 月 1 日 12 时 (b)

4.3. 850 hPa 环流形势

如图 3(a)可见, 1 月 30 日 17 时切变线在贵州中部维持, 0°C 等温线位于贵州中部, 贵阳机场受切变线影响, 850 hPa 温度为 0°C 左右。2 月 1 日 12 时切变线及 0°C 线均南压至贵州南部, 贵阳机场 850 hPa 温度为 -4°C 左右(图 3(b))。

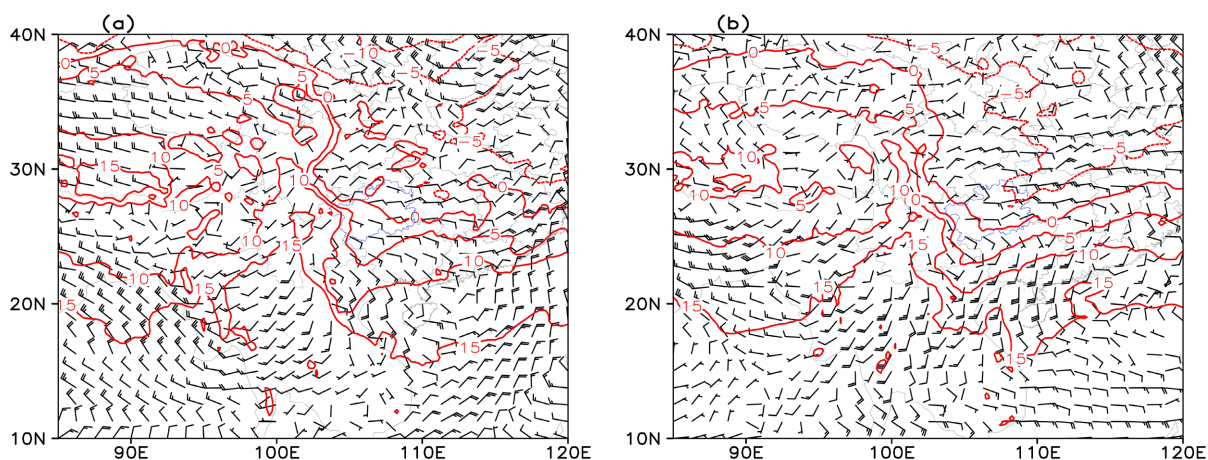


Figure 3. Circulation situation at 850 hPa (wind feather: wind, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; red line: temperature, unit: $^{\circ}\text{C}$): January 30, 2022 at 09:00 (a); February 1, 2022 at 12:00 (b)

图 3. 850 hPa 环流形势(风羽: 风, 单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; 红线: 温度, 单位: $^{\circ}\text{C}$): 2022 年 1 月 30 日 09 时 (a); 2 月 1 日 12 时 (b)

4.4. 近地面形势

如图 4(a)可见, 1 月 30 日 17 时 40°N 以北蒙古冷高压已形成, 中心气压为 1035 hPa。云贵静止锋位于贵州西部, 贵州大部受静止锋后冷空气影响。1025 hPa 等压线位于湖南中部。2 月 1 日 12 时 1025 hPa 等压线向西向南推进至贵州中部, 贵阳机场处于地面冷锋后的冷空气控制, 云贵静止锋西推至云南东部(图 4(b))。

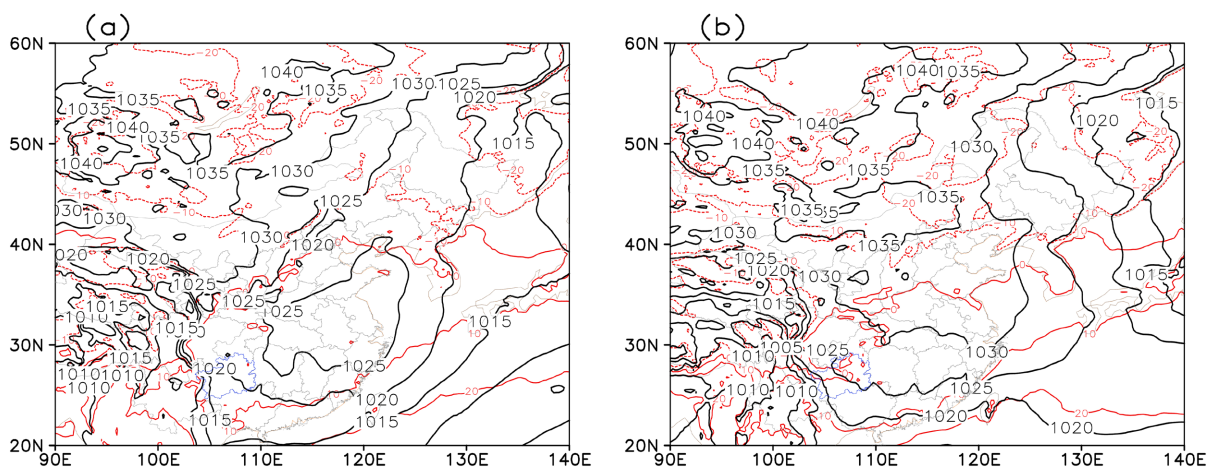


Figure 4. Near-surface circulation situation (black solid line: sea level air pressure, unit: hPa; red line: temperature, unit: $^{\circ}\text{C}$): January 30, 2022 at 09:00 (a); February 1, 2022 at 12:00 (b)

图 4. 近地面环流形势(黑实线: 海平面气压, 单位: hPa; 红线: 温度, 单位: $^{\circ}\text{C}$): 2022 年 1 月 30 日 09 时 (a); 2 月 1 日 12 时 (b)

5. 物理机制分析

5.1. 温湿条件

图5可见, 1月30日12时~31日00时、2月2日00时~04时相对湿度 > 90%的湿层达到 400 hPa, 云顶温度达到-25℃, 且整层为冷性结构; 1月31日00时~2月1日00时, 湿层下降至 500 hPa、云顶温度为-15℃; 2月1日06时~2日00时, 湿层下降至 700 hPa, 云顶温度为-5℃, 期间垂直方向上存在“冷-暖-冷”结构; 2月2日14时~16时湿层上升至 450 hPa, 云顶温度为接近-20℃。对应表1相应时段内贵阳机场的天气现象可知, 当湿层达到 450 hPa 及以上、云顶温度达到-25℃、且整层为冷性结构时出现降雪; 若湿层在 700 hPa 附近, 且云顶温度为-5℃时多为降雨, 若存在“冷-暖-冷”结构则可能出现冻雨; 若整层为冷性结构, 温度层结呈“上湿-中干-下湿”则可能出现雨夹雪。

降雪湿层最高, 雨夹雪次之, 冻雨湿层最低; 降雪云顶温度最低, 雨夹雪次之, 冻雨云顶温度最高; 降雪、雨夹雪温度层结整层均为冷性结构, 冻雨存在逆温层、呈“冷-暖-冷”分布。

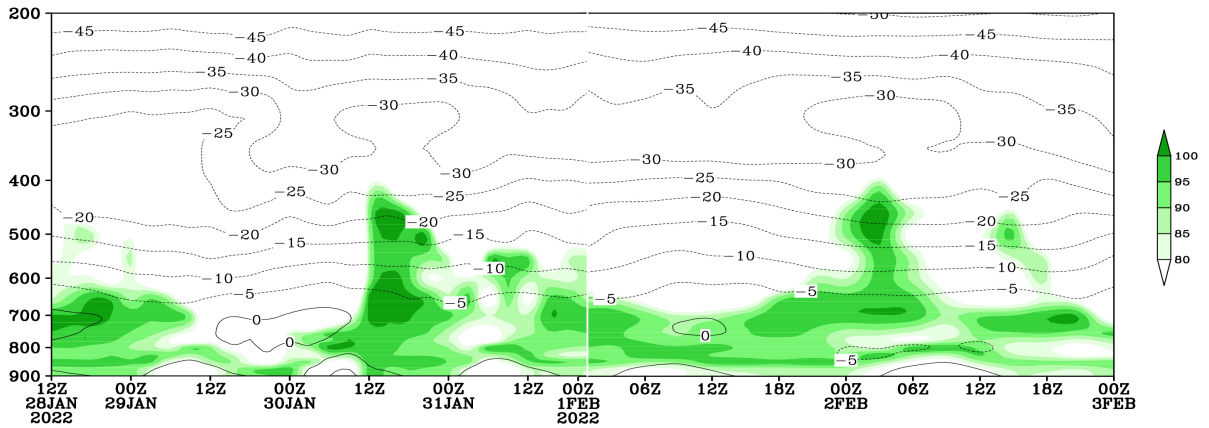


Figure 5. Time-altitude profile of temperature and humidity (shadow: relative humidity, unit: %; isoline: temperature, unit: °C) at Guiyang Airport (106.8°E, 26.5°N) from 12:00 on January 28, 2022 to 00:00 on February 3, 2022

图5. 2022年1月28日12时~2月3日00时温度湿度(阴影:相对湿度,单位:%;等值线:温度,单位:℃)在贵阳机场(106.8°E, 26.5°N)的时间-高度剖面

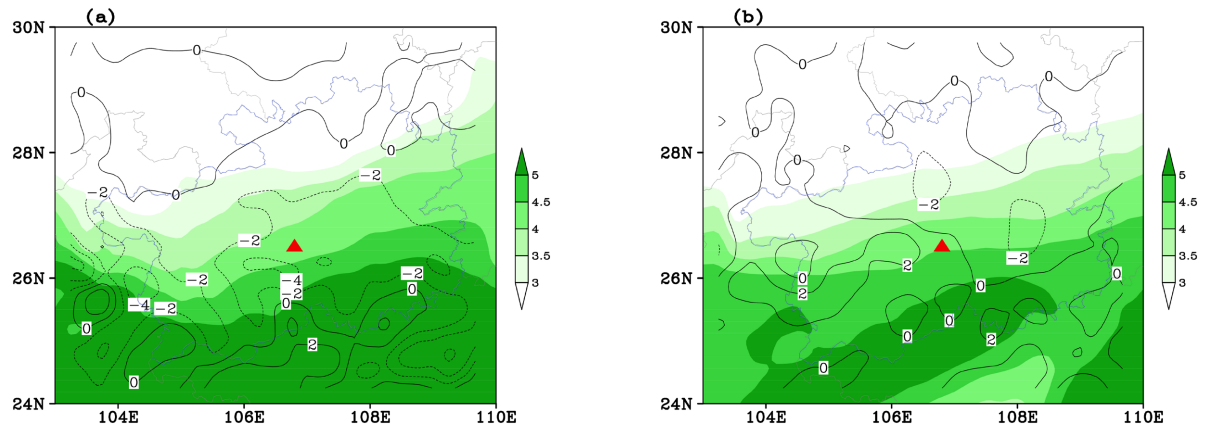


Figure 6. The zonal vertical profile of temperature and humidity along 26.5°N (latitude of Guiyang Airport) January 30, 2022 at 15:00 (a), February 2 at 18:00 (b) (green shadow: relative humidity, unit: %; gray shadow: terrain; isoline: temperature, unit: °C)

图6. 2022年1月30日15时(a)、2月2日18时(b)温度湿度沿26.5°N(贵阳机场所在纬度)的纬向垂直剖面(绿色阴影:相对湿度,单位:%;灰色阴影:地形;等值线:温度,单位:℃)

为进一步研究降雪期间、降雪结束时温湿特征的差异, 本文选取 2022 年 1 月 30 日 15 时、2 月 2 日 18 时温度湿度沿 26.5°N (贵阳机场所在纬度) 的纬向垂直剖面进行分析。降雪期间(如图 6(a))所示, 1 月 30 日 15 时 105°E~110°E 相对湿度大于 90% 的湿度层达到 400 hPa 以上, 云顶温度最低为-25°C, 且整层为冷性结构。配合强冷空气影响, 贵州大部出现大范围降雪天气, 与当日实况比较一致。2 月 2 日 18 时湿层降低至 600 hPa 附近、相对湿度在 80%~90% 间, 贵州大部降雪天气结束(图 6(b))。

如图 7(a)所示, 2022 年 1 月 30 日 15 时贵阳机场降雪期间比湿大于 3.5 g/kg、水汽通量散度小于 0, 水汽辐合。如图 7(b)所示, 2 月 2 日 18 时贵阳机场降雪结束, 贵州大部比湿减小, 贵州西部、西南部及中部 700 hPa 水汽通量散度均大于 0, 水汽辐散。

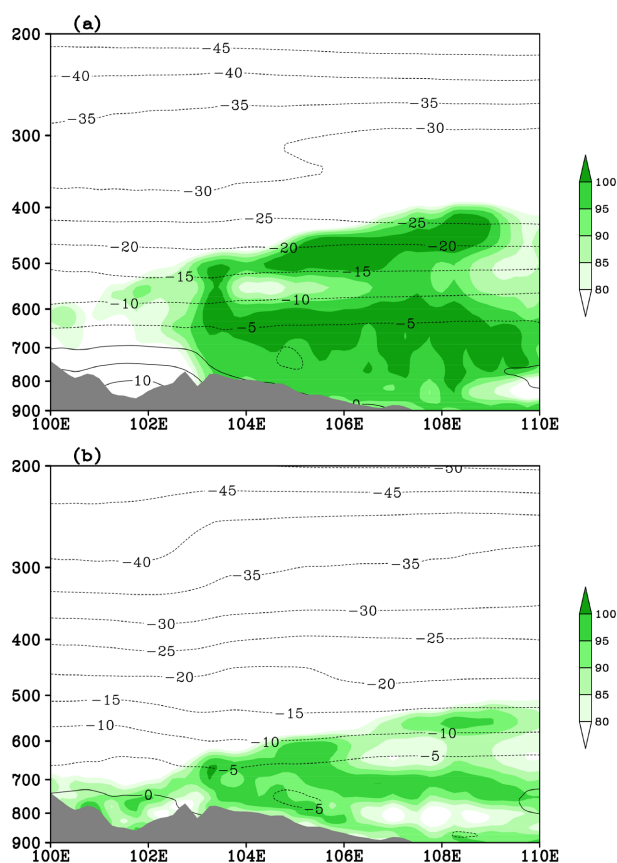


Figure 7. January 30, 2022 at 15:00 (a), February 2 at 18:00 (b) 700 hPa water vapor flux divergence and specific humidity distribution (shadow: specific humidity, unit: g/kg; isoline: water vapor flux divergence, unit: $10^{-8} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; the red triangle is the location of Guiyang Airport)

图 7. 2022 年 1 月 30 日 15 时 (a)、2 月 2 日 18 时 (b) 700 hPa 水汽通量散度及比湿分布(阴影: 比湿, 单位: g/kg; 等值线: 水汽通量散度, 单位: $10^{-8} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; 红色三角形为贵阳机场位置)

5.2. 动力条件

如图 8(a)分析了 2022 年 1 月 28 日 12 时~2 月 3 日 00 时贵阳机场上空风场、上升运动的时间-高度演变情况。由图可见, 500 hPa 西南急流维持、1 月 29 日 15~30 日 00 时南支槽过境转为偏北气流, 1 月 30 日 00 时后南支槽西退, 贵阳机场转为南支槽前西南急流控制; 700 hPa 西南急流维持, 1 月 29 日 12 时~15 时切变过境转为西北气流, 后续转西南急流维持; 850 hPa 主要为偏北气流到偏北急流控制, 1 月 29 日 15 时~30 日 11 时、2 月 03 时~15 时短时为偏南气流控制; 从垂直运动来看, 降雪或冻雨期间, 贵

阳机场上空上升运动显著(1月30日12时~31日00时、2月1日12时~18时、2月2日00时~04时、2月2日14时~16时垂直速度均小于0)。

由图8(b)可见,降雪或冻雨期间,贵阳机场上空低层水汽辐合上升、高层水汽辐散(1月30日12时~31日00时、2月1日12时~18时、2月2日00时~04时、2月2日14时~16时低层水汽通量散度小于0、水汽辐合;高层水汽通量散度大于0,水汽辐散)。

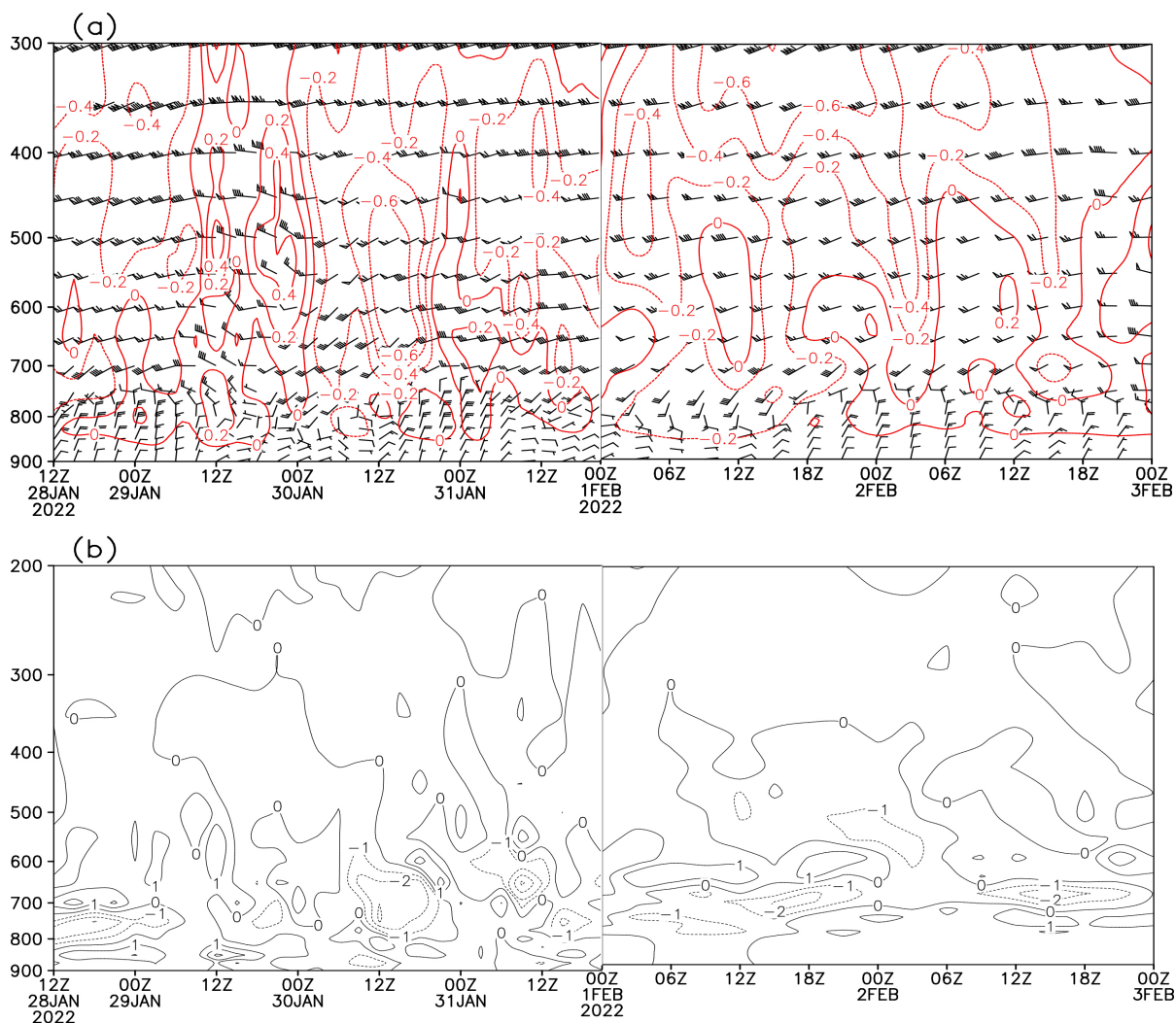


Figure 8. Time-altitude profile of wind field (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), vertical speed (unit: $\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$) (a) at Guiyang Airport (106.8°E , 26.5°N) from 12:00 on January 28, 2022 to 00:00 on February 3, 2022; water vapor flux divergence (unit: $10^{-8} \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) (b)

图8. 2020年1月28日12时~2月3日00时风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、垂直速度(单位: $\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$) (a), 水汽通量散度 (b) 在贵阳机场(106.8°E , 26.5°N)的时间-高度剖面

6. 结论

相比于前人研究,本文定性分析了降雪、雨夹雪、冻雨的湿层及云顶温度的差异,并定量分析了降雪、雨夹雪、冻雨的比湿及水汽通量散度。得到如下结论:

- 1) 500 hPa 南支槽, 700 hPa 西南急流, 850 hPa 切变线为贵阳机场此次过程提供了有利的环流背景。
- 2) 降雪湿层最高, 雨夹雪次之, 冻雨湿层最低; 降雪云顶温度最低, 雨夹雪次之, 冻雨云顶温度最

高；降雪、雨夹雪温度层结整层均为冷性结构，冻雨存在逆温层、呈“冷-暖-冷”分布。

3) 降雪、雨夹雪、冻雨期间贵阳机场比湿大于 3.5 g/kg、水汽通量散度小于 0，水汽充沛；垂直速度小于 0，上升运动显著；低层(高层)水汽通量散度小于(大于) 0、水汽辐合上升(辐散)。

参考文献

- [1] 罗喜平, 王兴菊, 汪超. 2015 年贵州首场降雪和冻雨天气对比分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2017, 39(1): 71-77.
- [2] 许丹, 罗喜平. 贵州凝冻的时空分布特征和环流成因分析[J]. 高原气象, 2003(4): 401-404.
- [3] 曾莉萍, 罗乃兴. 贵州两次凝冻天气云物理结构对比浅析[C]//中国气象学会. 第 29 届中国气象学会年会论文集. 北京: 中国气象学会, 2012: 1-13.
- [4] 杜小玲, 高守喜, 彭芳. 2011 年初贵州持续低温雨雪冰冻天气成因研究[J]. 大气科学, 2014, 38(1): 61-72.
- [5] 周文钰, 张东海, 杨琳. 2018 年 12 月贵州省持续性低温雨雪天气过程分析[J]. 现代农业科技, 2019(10): 167-172.
- [6] 甘文强, 蓝伟, 杜小玲, 朱文达, 齐大鹏, 唐磊, 胡亚文. 2018 年 1 月底至 2 月初贵州低温雨雪天气成因初探[J]. 暴雨灾害, 2018, 37(5): 410-420.
- [7] 中国民用航空局空管行业办公室. 民用航空气象地面观测规范[M]. 北京: 中国民用航空总局, 2012.