

# 2022年初贵阳机场三次雨雪天气过程对比分析

杨凤婷, 刘贵萍, 向曦子

民航贵州空管分局, 贵州 贵阳

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

## 摘要

利用常规观测资料及FNL  $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料, 采用合成、诊断和对比的方法, 对2022年初贵阳机场出现的三次雨雪天气过程的环流形势和物理量场异同点展开分析, 结果表明: 三次雨雪过程分别对应了“ $\Omega$ ”流型的酝酿、建立、崩溃阶段, 南支槽、切变、低空急流提供抬升和水汽条件; 地面锋面活动影响雨雪天气的发生; 孟加拉湾和南海是水汽源地, 水汽输送主要来自大气中层; 湿层厚度、云顶温度、逆温层结、上升运动等的差异造成三次过程降水强度和相态的不同。

## 关键词

雨雪, “ $\Omega$ ”流型, 南支槽, 水汽, 温湿结构

# Comparison and Analysis of the Three Freezing Rain and Snow Events in Guiyang Airport in Early 2022

Fengting Yang, Guiping Liu, Xizi Xiang

Guizhou Sub-Bureau of Southwest Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation of China, Guiyang Guizhou

Received: Aug. 12<sup>th</sup>, 2022; accepted: Sep. 8<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 15<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Using datasets of conventional observations and FNL reanalysis grid data with  $1^\circ \times 1^\circ$  resolution, and select methods of synthesis, diagnosis and comparison, we have analyzed the three freezing rain and snow event in Guiyang Airport in early 2022. The main results are as follow. The three processes corresponded to the brewing, the establishment and the collapse of the “ $\Omega$ ” synoptic situation, respectively, the south branch trough, the shear line and the low level jet provided upward movement condition and water vapor conditions. The frontal activities affected the occur-

rence of events. Water vapor came from the bay of Bengal, the South China Sea and the middle atmosphere. The height of the wet layer, the temperature of the cloud top, the inversion stratification and the upward movement have important influence on the difference of the three events and the precipitation phases.

## Keywords

Freezing Rain and Snow, “ $\Omega$ ” Synoptic Situation, Southern Branch Trough, Water Vapor, Temperature and Humidity Structure

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

冻雨和降雪是冬季影响贵州的主要灾害性天气[1]。丁一汇[2]、陶诗言[3]、赵思雄[4]等研究指出,在拉尼娜气候背景下,中高纬阻塞高压异常长时间维持、西风带南支槽活跃、低纬西风急流异常偏强、副热带高压位置偏西偏北,使得2008年初南方地区出现严重的大范围持续性雨雪天气。甘文强等[5]研究发现,2018年初贵州出现低温雨雪天气时,有强冷空气影响和静止锋的西推,“前暖湿后冷湿”的温湿层结造成降水相态的不同。何玉龙等[6]认为,贵州凝冻天气时大气多有逆温,地面气温多在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下,降雪时不一定存在逆温,地面气温多在 $-3^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 之间,降雪需要的水汽条件更高,但两种天气在垂直方向上大气均处于较稳定状态。

冬季影响飞行正常和安全的雨雪天气主要是降雪、雨夹雪和冻雨,会导致飞机机身部件的积冰,同时易形成跑道和设备的积冰或积雪等[7]。贵阳机场位于贵州省中部贵阳市东郊( $26.54^{\circ}\text{N}$ ,  $106.8^{\circ}\text{E}$ ),2022年初贵阳机场出现了三次雨雪天气过程,分别为1月29日~2月2日(简称“0129”过程)、2月7~9日(简称“0207”过程)及2月20~22日(简称“0220”过程),对机场运行造成了不同程度影响(见表1)。因此,研究贵阳机场雨雪天气的形成机制,提升预报预警能力,具有重要意义。本文利用常规观测资料、NCAR FNL  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 逐6h再分析资料及机场自动气象观测数据,采取同一过程先合成再诊断和三次过程对比分析的方法,探讨三次雨雪过程的环流形势、物理量特征,以期对贵阳机场雨雪天气预报预警提供参考。

## 2. 过程概况

根据民航气象观测定义,降雪时能见度大于等于1000m为小雪、能见度500~1000m为中雪、能见度小于500m为大雪[8]。统计机场观测资料(表1)可知,“0129”过程持续5d,冻雨出现7h,降水相态以小雪为主,30日夜间出现中雪,持续22min,31日早晨积雪深度5cm。“0207”过程持续3d,雨夹雪与冻雨交替出现,无积雪,降水相态复杂。“0220”过程持续3d,冻雨持续约2h,降水相态也以小雪为主,22日下午出现中雪,持续13min,22日夜间积雪深度4cm。

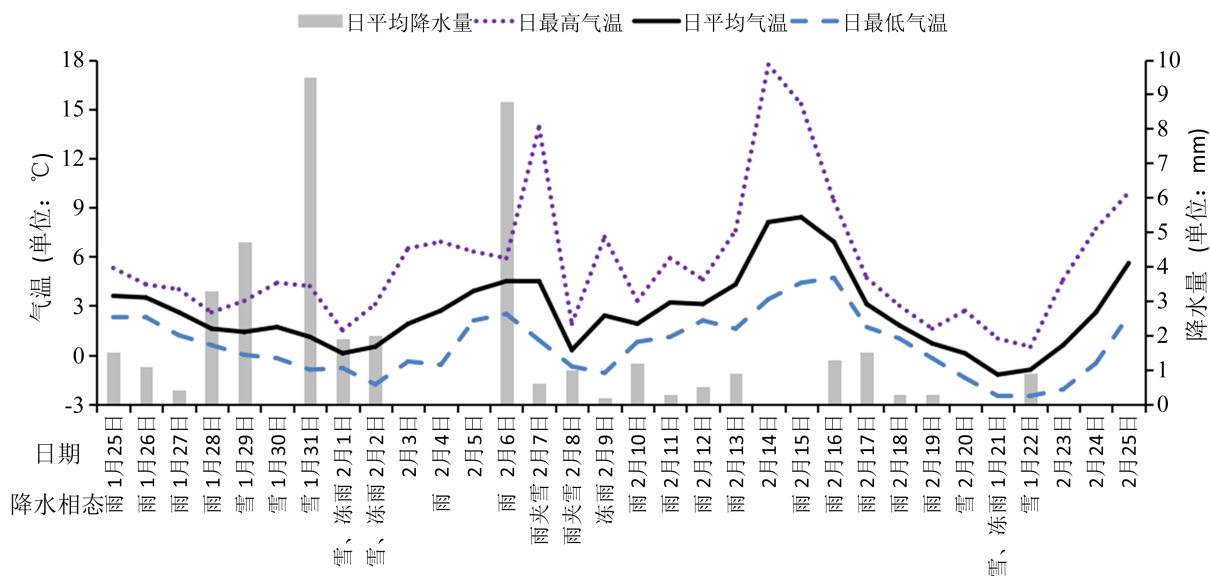
雨雪天气下,当跑道道面可用部分25%以上的面积有厚度超过3cm的积雪时,或飞机积冰至一定程度,都能影响机场运行[9]。“0129”过程与“0220”过程中,由于出现短时中雪致使跑道道面被积雪快速污染,对运行影响较大,“0207”过程无积雪,仅对地面飞机采取防除冰措施,故对运行影响较小。可见,跑道道面是否被积雪污染,是影响机场运行的重要因素,而对地面飞机采取及时的防除冰操作可

降低天气对运行的影响。

**Table 1.** Observation and statistics of the three freezing rain and snow event in Guiyang Airport (Beijing time, the same as below)  
**表 1.** 贵阳机场三次雨雪天气过程观测统计(北京时, 下同)

| 日期             | 雨雪天气演变  | 对机场运行的影响  |
|----------------|---|---|
| 1月29日<br>~2月2日 | 小雪: 29日 01:00~08:00<br>30日 19:10~20:40、22:10~31日 06:36<br>31日 08:45~10:22<br>1日 01:50~08:25<br>2日 05:00~12:00、22:04~23:35<br>中雪: 30日 23:42~31日 00:04<br>冻雨: 1日 22:00~2日 05:00 | 29~30日: 35个航班因飞机除冰延误, 1个航班因跑道湿滑备降<br>31日: 15个航班备降<br>1日: 3个航班延误<br>2日: 3个航班延误 |
| 2月7~9日         | 雨夹雪: 7日 03:45~04:42<br>8日 11:44~12:21<br>冻雨夹雪: 8日 04:00~10:10<br>冻雨: 8日 23:51~9日 07:49  | 7日: 3个航班因换跑道延误<br>8日: 飞机除冰<br>9日: 16个飞机除冰, 其中1个航班延误                           |
| 2月20~22日       | 小雪: 20日 00:50~02:30、03:25~07:40、20:25~20:42<br>21日 12:00~14:00、16:00~22日 11:12<br>22日 13:22~17:36<br>中雪: 22日 15:33~15:46、16:18~16:42<br>冻雨: 21日 05:00~06:42                   | 20日: 飞机除冰<br>21~22日: 62个航班延误  |

从日最高气温、最低气温、平均气温的逐日演变来看(图1), 1月下旬至2月下旬贵阳机场主要有三次降温过程, 分别在1月26日~2月1日、2月7~8日、2月15~21日, 日平均气温降温幅度分别为3.5℃、4.2℃、9.6℃。从平均降水量的逐日演变来看, 雨雪天气过程中平均降水量最大出现在1月31日, 达9.5 mm, 除了1月29日、31日、2月1~2日平均降水量大于1.0 mm, 其余时段平均降水量均不足1.0 mm。



(折线: 日平均气温, 单位: °C; 柱形: 日平均降水量, 单位: mm)

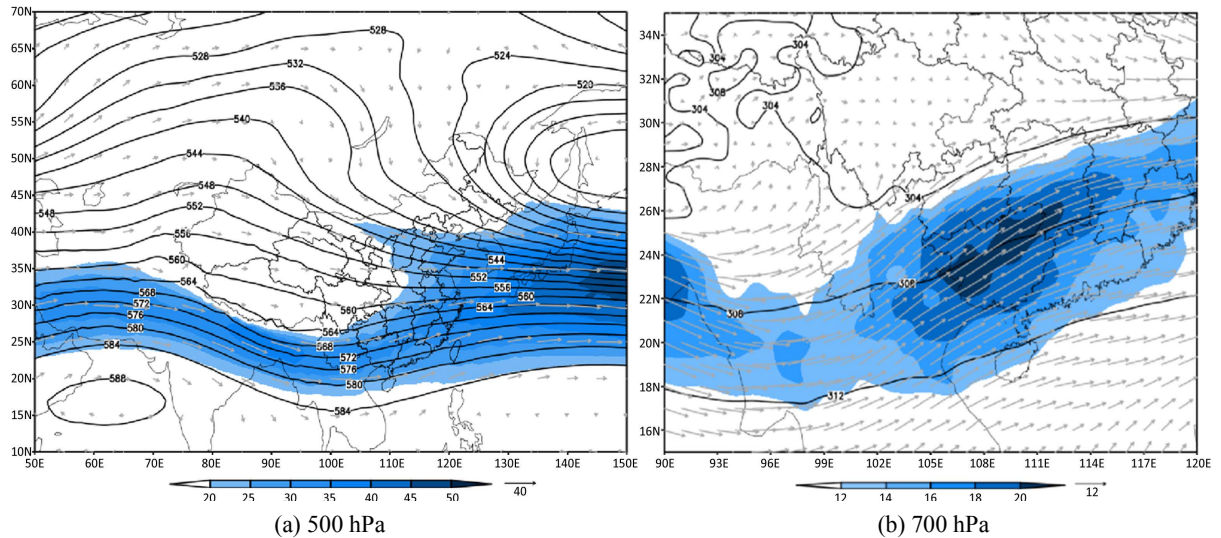
**Figure 1.** Daily evolution of average temperature and average precipitation at Guiyang Airport from January 25 to February 25, 2022

**图 1.** 2022 年 1 月 25 日~2 月 25 日贵阳机场平均气温及平均降水量逐日演变

可见，“0129”过程降温幅度最小，降水量最大，“0207”过程与“0220”过程降水量都偏小，但“0207”过程降温幅度小，“0220”过程降温幅度最大。

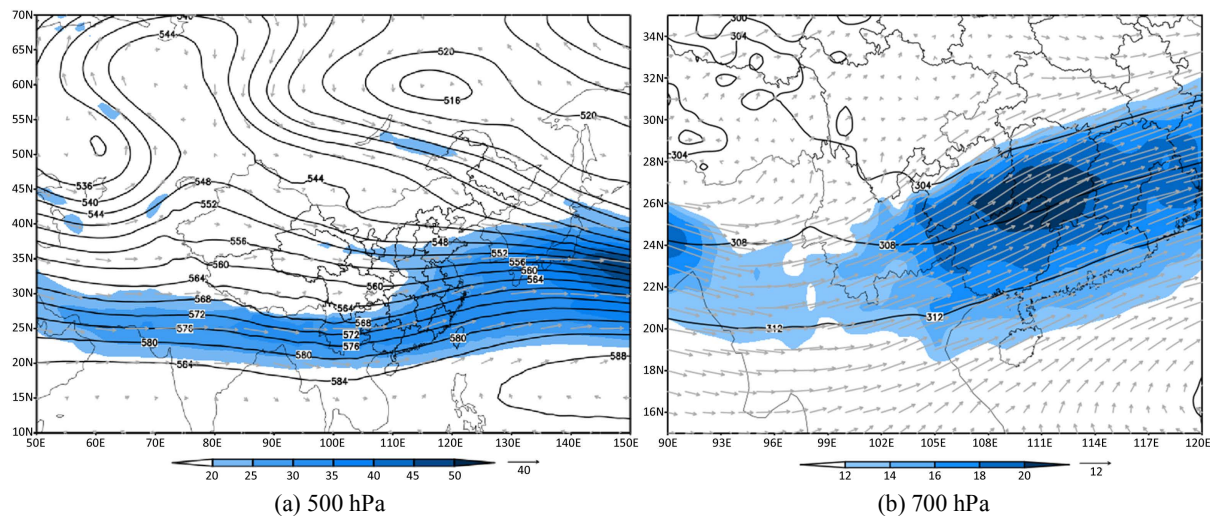
### 3. 环流形势分析

大气环流对天气的发生发展具有重要影响。“0129”过程 500 hPa (图 2(a))中高纬有一槽一脊，广阔的高压脊从巴尔喀什湖南部向东北伸展至中西伯利亚，呈东北-西南走向，蒙古中东部形成一东西向横槽。中低纬青藏高原东侧的高原槽南段与南支槽北段相接，形成深厚的大槽，移动缓慢，贵州受槽前西



**Figure 2.** Average height field and wind field of 500 hPa and 700 hPa from 20:00 on January 28 to 02:00 on February 3, 2022 (contors: mean geopotential height, unit: dagpm; arrows: mean wind vector, unit:  $m \cdot s^{-1}$ ; shaded field: large value areas of wind speed, unit:  $m \cdot s^{-1}$ )

**图 2.** 2022 年 1 月 28 日 20 时~2 月 3 日 02 时 500 hPa 及 700 hPa 平均高度场和平均风场(等值线: 平均位势高度, 单位: dagpm; 箭头: 平均风矢量, 单位:  $m \cdot s^{-1}$ ; 阴影区: 风速大值区, 单位:  $m \cdot s^{-1}$ )



**Figure 3.** Average height field and wind field of 500 hPa and 700 hPa from 20:00 to 14:00 on February 6, 2022 (contors: mean geopotential height, unit: dagpm; arrows: mean wind vector, unit:  $m \cdot s^{-1}$ ; Shaded field: large value areas of wind speed, unit:  $m \cdot s^{-1}$ )

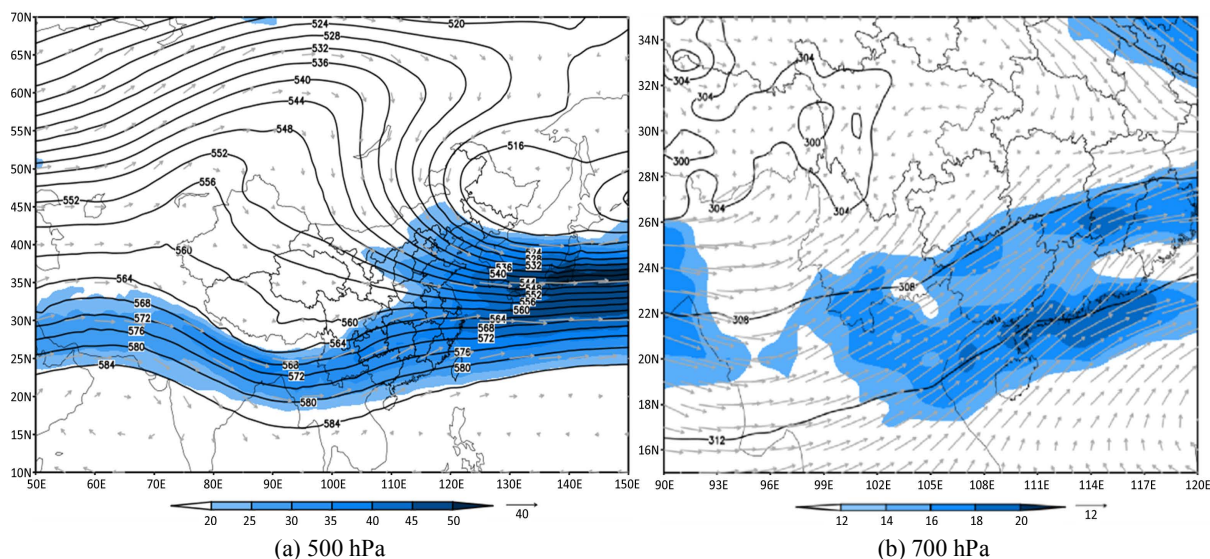
**图 3.** 2022 年 2 月 6 日 20 时~9 日 14 时 500 hPa 及 700 hPa 平均高度场和平均风场(等值线: 平均位势高度, 单位: dagpm; 箭头: 平均风矢量, 单位:  $m \cdot s^{-1}$ ; 阴影区: 风速大值区, 单位:  $m \cdot s^{-1}$ )



南气流控制,有助于水汽输送和动力抬升,槽后强盛的西北气流引导强冷空气入侵贵州。700 hPa (图 2(b)) 四川东南部存在东西向切变,切变南部有较好动力条件,西南气流在贵州中南部加强为低空西南急流,中心风速在  $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上,为该过程提供了有利的水汽条件。850 hPa (图略)东北气流带来弱冷空气影响贵州,滇黔交界存在温度锋区。

随着中高纬脊不断向西发展向北隆起,“0207”过程 500 hPa 在乌拉尔山附近建立起“ $\Omega$ ”流型(图 3(a)),脊转为南北向,在中西伯利亚形成中心强度为  $516 \text{ dagpm}$  的低压,低压中心延伸出的东西向横槽加深。中低纬区,由于副热带高压有所发展阻碍槽东移,纬向环流分量加大,贵州转为槽底偏西气流,对冷空气和水汽的输送减少。700 hPa 低空西南急流加强(图 3(b)),在贵州东南部至湖南中南部有大风速中心,中心风速达  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,强盛的暖湿气流对该层的增温增湿有显著作用。850 hPa (图略)贵州东北冷空气减弱,但滇黔交界仍存在温度锋区。

“0220”过程 500 hPa 的“ $\Omega$ ”流型崩溃,稳定在乌拉尔山附近的长波脊下塌并南退(图 4(a)),低槽逆转为东北~西南向并移至我国东北至华北,引导槽后积累的强冷空气迅速南下入侵我国。中低纬南支槽调整,径向度加大,贵州转为槽前西南气流,水汽输送带重新建立。700 hPa 川黔交界受低涡影响(图 4(b)),贵州西北部有东西向低涡切变,为该雨雪过程增加动力条件,同时促进北方冷空气的加入,低空西南急流收缩南退至华南,风速在贵州不足  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,是该层气温再次降低的原因。850 hPa (图略)影响贵州的偏北气流加强,有强冷空气加入,温度锋区被推至云南东部。



**Figure 4.** Average height field and wind field of 500 hPa and 700 hPa from 20:00 on February 19 to 20:00 on February 22, 2022 (contors: mean geopotential height, unit: dagpm; arrows: mean wind vector, unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; shaded field: large value areas of wind speed, unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

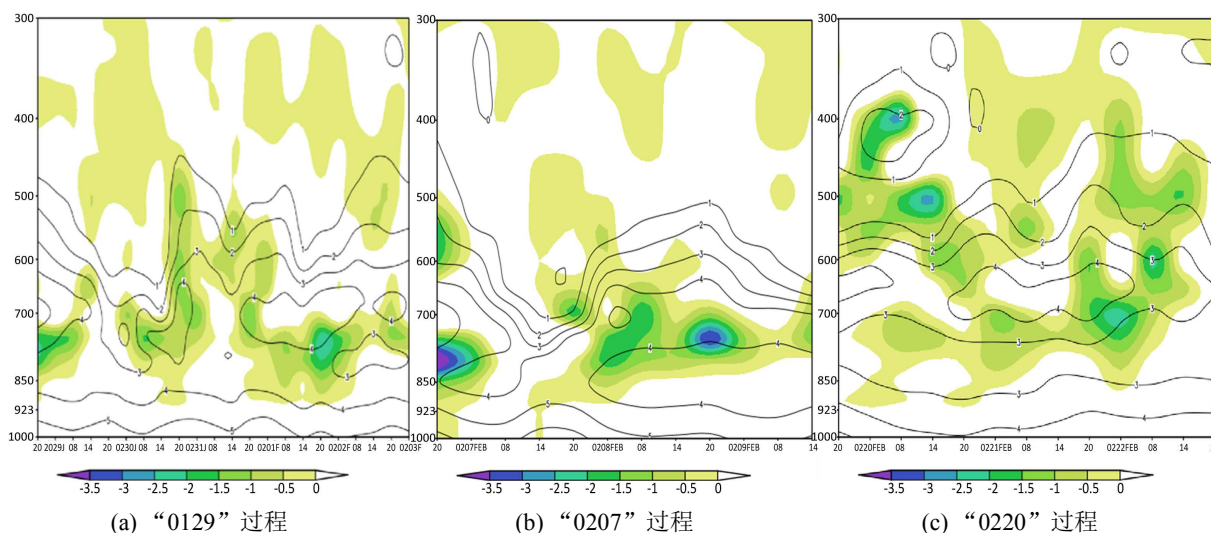
**图 4.** 2022 年 2 月 19 日 20 时~22 日 20 时 500 hPa 及 700 hPa 平均高度场和平均风场(等值线: 平均位势高度, 单位: dagpm; 箭头: 平均风矢量, 单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 阴影区: 风速大值区, 单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

地面锋面活动也影响着雨雪天气的发生(图略)。受冷空气影响,1 月 28~29 日锋面由  $110^{\circ}\text{E}$  西进至  $103^{\circ}\text{E}$ , 锋后高压为  $1027.5 \text{ hPa}$ , 此时为冷锋影响阶段, 随着 1 月 30 日~2 月 1 日冷空气的不断补充, 冷锋转为准静止锋, 在  $102^{\circ}\sim 108^{\circ}\text{E}$  之间摆动, 影响时间长, 使得“0129”过程近地面温度保持在  $0^{\circ}\text{C}$  附近。2 月 7 日凌晨冷空气再次入侵, 但冷锋强度偏弱, 使得“0207”过程持续时间短, 降温幅度小。新一轮强冷空气于 2 月 19 日夜间开始影响, 冷锋后高压达  $1032.5 \text{ hPa}$ , 冷空气强, 冷锋过境迅速, 使得“0220”过程持续时间短但近地面降温幅度最大, 达  $9.6^{\circ}\text{C}$ 。

## 4. 物理量条件分析

### 4.1. 水汽条件

雨雪天气的发生离不开充足的水汽。分析水汽通量可知(图略), 贵州大部水汽主要依赖 700 hPa 输送, 孟加拉湾和南海是水汽的主要源地。由贵阳机场上空比湿与水汽通量散度随时间的变化可知(图 5), 雨雪天气发生前, 比湿值开始增大, 且对应出现水汽的辐合, 说明降水前有水汽的大量聚集。“0207”过程水汽辐合中心多在 850~700 hPa 之间, 最大值达  $-3 \times 10^{-5} \cdot \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 等比湿线密集区上升至 600 hPa 附近, 比湿中心强度达  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 位于 850 hPa, 水汽集中于中低层, 此时降水多以雨夹雪或冻雨等弱降水形式出现。“0129”过程与“0220”过程水汽辐合中心上冲到 500~400 hPa, 最大值为  $-2 \times 10^{-5} \cdot \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 等比湿线密集区上升至 550 hPa 附近,  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的比湿中心也抬升至 700 hPa, 表明中高空有深厚的水汽聚集, 水汽更为充沛, 故以降雪为主且有短时中雪出现。



**Figure 5.** Height-time profile of the divergence between specific humidity and water vapor flux along point (26.54°N, 106.8°E) (contours: Specific humidity, unit:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; Shaded field: water vapor flux divergence, unit:  $10^{-5} \cdot \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
**图 5.** 沿点(26.54°N, 106.8°E)比湿与水汽通量散度高度 - 时间剖面(等值线: 比湿, 单位:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 阴影区: 水汽通量散度, 单位:  $10^{-5} \cdot \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

### 4.2. 温湿垂直结构

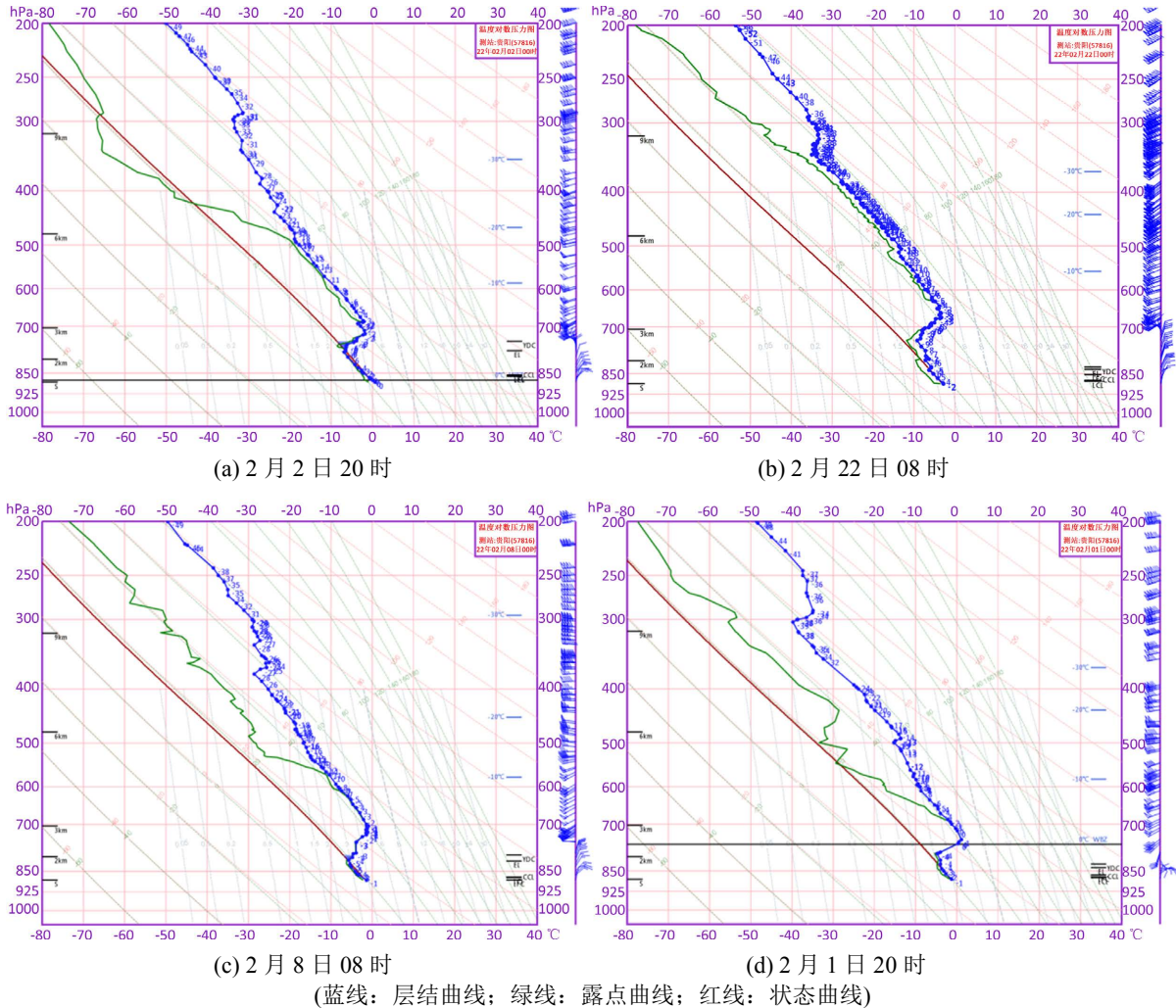
降水相态与大气温湿垂直结构密不可分。分析四种降水相态典型的 T-logP 结构(图 6)可知, 在大气中低层均存在锋面逆温, 低层风向由东北逆转为西南, 有冷平流加入。

主要差异在于地面温度、逆温层厚度、逆温层顶温度、低层冷平流的厚度、云顶高度和温度等的垂直配置。降雪时地面温度不一定小于  $0^\circ\text{C}$ , 可稍高于  $0^\circ\text{C}$ , 逆温层较厚, 逆温层顶温度小于  $0^\circ\text{C}$ , 700 hPa 以下有冷平流, 整层温度低, 小雪时云顶高度伸展至 500 hPa, 云顶温度低于  $-16^\circ\text{C}$ , 中雪时云顶高度可至 400 hPa 以上, 云顶温度低于  $-30^\circ\text{C}$ 。

雨夹雪时地面温度在  $0^\circ\text{C}$  附近, 逆温层较薄, 逆温层顶温度小于  $0^\circ\text{C}$ , 750 hPa 以下有冷平流, 整层温度较低, 云顶高度介于 600~500 hPa, 云顶温度约  $-12^\circ\text{C}$ 。

冻雨时地面温度小于  $0^\circ\text{C}$ , 逆温层较厚, 逆温层顶温度大于  $0^\circ\text{C}$ , 冷平流集中于 800 hPa 以下, 温度垂直分布表现为明显的“冷 - 暖 - 冷”结构, 有利于暖层冰晶融化, 云顶高度不足 600 hPa, 云顶温度不低於  $-6^\circ\text{C}$ 。

为得到不同降水相态时的温湿度指标，统计了三次过程贵阳站的探空资料，如表 2~4 所示，以温度露点差小于等于 3℃ 的高湿区为云层，定义  $T_s$  为地面温度， $T_c$ 、 $H_c$  分别为云顶温度、高度， $T_p$ 、 $H_p$  分别为逆温层顶温度、高度， $T_b$ 、 $H_b$  分别为逆温层底温度、高度， $D_i$  为逆温层厚度， $G_i$  为逆温强度。



**Figure 6.** Real T-logP diagram of four precipitation phases (a. Light snow; b. Moderate snow; c. Sleet; d. Freezing rain)  
**图 6.** 四类降水相态实况 T-logP 图(a. 小雪; b. 中雪; c. 雨夹雪; d. 冻雨)

**Table 2.** Statistics of temperature and humidity sounding parameters (Snow)  
**表 2.** 温湿度探空参数统计(降雪)

| 时间      | 探空参数                 |                      |                  |                      |                  |                      |                  |                  |                      |
|---------|----------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|----------------------|
|         | $T_s/^\circ\text{C}$ | $T_c/^\circ\text{C}$ | $H_c/\text{hPa}$ | $T_p/^\circ\text{C}$ | $H_p/\text{hPa}$ | $T_b/^\circ\text{C}$ | $H_b/\text{hPa}$ | $D_i/\text{hPa}$ | $G_i/^\circ\text{C}$ |
| 28日 20时 | 1.1                  | -7.9                 | 589              | 3.2                  | 750              | -2.6                 | 811              | 61               | 5.8                  |
| 29日 08时 | -0.1                 | -14.3                | 536              | -1.4                 | 727              | -5.3                 | 786              | 59               | 3.9                  |
| 30日 20时 | 0.9                  | -16.8                | 506              | -0.6                 | 732              | -2.7                 | 764              | 32               | 2.1                  |
| 1日 08时  | -1                   | -20.7                | 475              | -0.9                 | 713              | -4.7                 | 808              | 95               | 3.8                  |
| 2日 08时  | -1.3                 | -19.5                | 471              | -2                   | 703              | -5.8                 | 796              | 93               | 3.8                  |
| 2日 20时  | 0.6                  | -18.9                | 488              | -1.8                 | 722              | -6.9                 | 778              | 56               | 5.1                  |
| 20日 20时 | 0.1                  | -10.3                | 566              | -0.7                 | 698              | -8.1                 | 782              | 84               | 7.4                  |



Continued

|           |      |       |     |      |     |      |     |    |     |
|-----------|------|-------|-----|------|-----|------|-----|----|-----|
| 21 日 08 时 | -3.1 | -12.1 | 568 | -0.6 | 700 | -8.4 | 796 | 96 | 7.8 |
| 21 日 20 时 | -1.3 | -13.2 | 522 | 0    | 689 | -6.3 | 787 | 98 | 6.3 |
| 22 日 08 时 | -2.8 | -35   | 342 | -3.3 | 672 | -9.2 | 740 | 68 | 5.9 |
| 平均        | -0.7 | -16.9 | 506 | -0.8 | 710 | -6   | 784 | 74 | 5.2 |

**Table 3.** Statistics of temperature and humidity sounding parameters (Sleet)**表 3.** 温湿度探空参数统计(雨夹雪)

| 时间       | 探空参数                 |                      |                  |                      |                  |                      |                  |                  |                      |
|----------|----------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|----------------------|
|          | $T_s/^\circ\text{C}$ | $T_c/^\circ\text{C}$ | $H_c/\text{hPa}$ | $T_p/^\circ\text{C}$ | $H_p/\text{hPa}$ | $T_b/^\circ\text{C}$ | $H_b/\text{hPa}$ | $D_i/\text{hPa}$ | $G_i/^\circ\text{C}$ |
| 6 日 20 时 | 3.9                  | -25.4                | 421              | -0.1                 | 728              | -0.8                 | 741              | 13               | 0.7                  |
| 8 日 08 时 | -1.4                 | -12.3                | 552              | -1.4                 | 730              | -5.7                 | 811              | 81               | 4.3                  |
| 平均       | 1.3                  | -18.8                | 486              | -0.7                 | 729              | -3.2                 | 776              | 47               | 2.5                  |

**Table 4.** Statistics of temperature and humidity sounding parameters (Freezing rain)**表 4.** 温湿度探空参数统计(冻雨)

| 时间       | 探空参数                 |                      |                  |                      |                  |                      |                  |                  |                      |
|----------|----------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|----------------------|
|          | $T_s/^\circ\text{C}$ | $T_c/^\circ\text{C}$ | $H_c/\text{hPa}$ | $T_p/^\circ\text{C}$ | $H_p/\text{hPa}$ | $T_b/^\circ\text{C}$ | $H_b/\text{hPa}$ | $D_i/\text{hPa}$ | $G_i/^\circ\text{C}$ |
| 1 日 20 时 | -1.3                 | -5.4                 | 646              | 1.1                  | 747              | -4.8                 | 791              | 44               | 5.9                  |
| 8 日 20 时 | -0.5                 | -12.6                | 560              | 1.2                  | 715              | -5.8                 | 797              | 82               | 7                    |
| 平均       | -0.9                 | -9                   | 603              | 1.2                  | 731              | -5.3                 | 794              | 63               | 6.5                  |

由以上结果可知,降雪时地面平均温度 $-0.7^\circ\text{C}$ ,逆温层平均厚度 74 hPa,逆温层顶平均温度 $-0.8^\circ\text{C}$ ,逆温强度 $5.2^\circ\text{C}$ ,云顶平均高度 506 hPa,云顶平均温度 $-16.9^\circ\text{C}$ 。

雨夹雪时,地面平均温度 $1.3^\circ\text{C}$ ,逆温层平均厚度 47 hPa,逆温层顶平均温度 $-0.7^\circ\text{C}$ ,逆温强度 $2.5^\circ\text{C}$ ,云顶平均高度 486 hPa,云顶平均温度 $-18.8^\circ\text{C}$ 。

冻雨时地面平均温度 $-0.9^\circ\text{C}$ ,逆温层平均厚度 63 hPa,逆温层顶平均温度 $1.2^\circ\text{C}$ ,逆温强度 $6.5^\circ\text{C}$ ,云顶平均高度 603 hPa,云顶平均温度 $-9^\circ\text{C}$ 。

统计结果与学者们研究得到的云顶温度小于等于 $-14^\circ\text{C}$ 是判断云中成雪的重要阈值[10];云顶温度大于 $-10^\circ\text{C}$ 、云中水滴维持过冷却水的状态、暖层出现与地面温度低于 $0^\circ\text{C}$ 是冻雨的重要特征[11]等结论较为一致。

### 4.3. 垂直运动

垂直运动也是雨雪天气发生的基本条件。通过垂直速度随时间的变化(图 7),三次过程发生时段,均有上升运动,上升速度呈现整体偏小短时有强中心的特点。2 月 22 日午后,大值中心主要出现在大气中低层,中心值达 $-1.4 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,对应“0220”过程中雪时段,1 月 30 日夜間和 2 月 7 日夜間,大值中心出现在大气中高层,中心值达 $-1.2 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ，“0129”过程有中雪,说明垂直运动还需与其他要素条件配合才会出现强度较大的降水。2 月 2 日早晨及 2 月 20 日早晨,大值中心出现在大气高层,中心值为 $-0.8 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,对应时段为小雪。

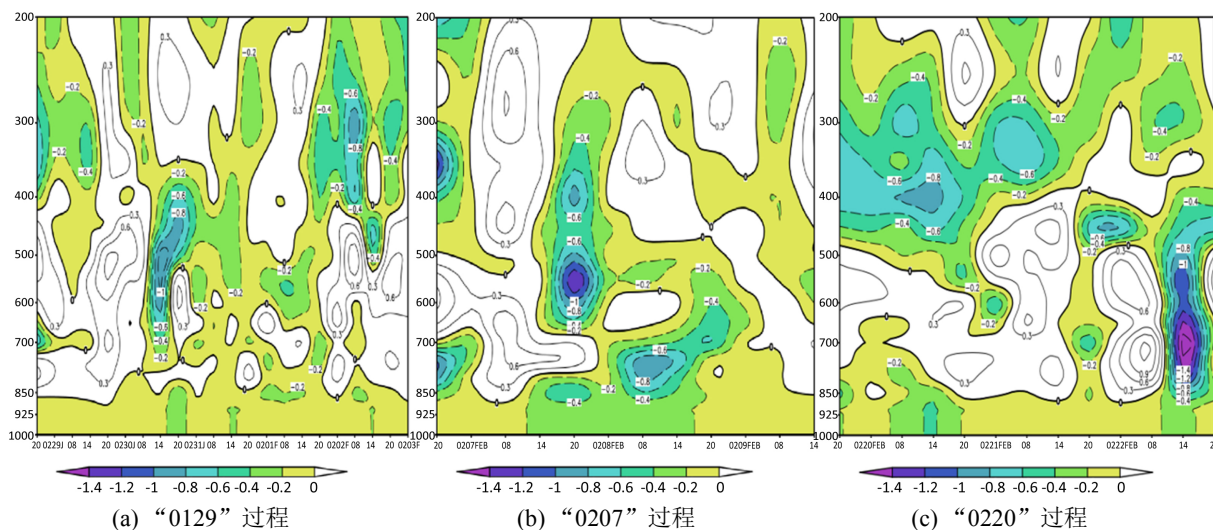
## 5. 结论

2022 年 1 月底至 2 月底,贵阳机场受到三次雨雪天气过程影响,通过对比分析,得到以下结论:



1) “0129”过程持续时间最长,降温幅度最小,降水量最大,以小雪为主,“0207”过程与“0220”过程持续时间相同且都偏短,降水量都偏小,但“0207”过程降温幅度小且降水相态复杂,“0220”过程降温幅度最大且以小雪为主。道面被积雪污染是“0129”过程与“0220”过程影响运行的重要原因。

2) 三次过程分别对应了“ $\Omega$ ”流型的酝酿、建立、崩溃阶段,南支槽活动、低涡切变前部、西南低空急流等提供动力抬升与水汽输送,冷空气与地面锋面活动也影响着雨雪天气的发生。“0129”过程槽



**Figure 7.** Vertical velocity height-time profile along point (26.54°N, 106.8°E) (contours: Vertical velocity, unit:  $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Shaded field: Upward movement field, unit:  $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ )

**图 7.** 沿点(26.54°N, 106.8°E)垂直速度高度-时间剖面(等值线: 垂直速度, 单位:  $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 阴影区: 上升运动区, 单位:  $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ )

深厚、移动慢,冷空气强且持久;“0207”过程槽偏浅,低空暖湿急流增温明显,冷空气弱;“0220”过程槽深厚并配合低层切变扰动,冷空气强但过境迅速。

3) 孟加拉湾和南海是水汽的主要源地,水汽输送主要来自大气中层,雨雪天气发生前上空有水汽的大量聚集。“0129”过程与“0220”过程中,水汽辐合与比湿大值中心可上升到大气中高层,湿层深厚,雨雪天气偏强;当水汽辐合与比湿的大值中心集中于大气中低层时,湿层相对较薄,使得“0207”过程强度偏弱。

4) 温湿结构上,降雪时地面温度不一定小于  $0^{\circ}\text{C}$ ,逆温层较厚,逆温层顶温度小于  $0^{\circ}\text{C}$ ,低层冷平流较厚,云顶高度最高,云顶温度最低;冻雨时地面温度小于  $0^{\circ}\text{C}$ ,逆温层较厚,逆温层顶温度大于  $0^{\circ}\text{C}$ ,低层冷平流较薄,云顶高度最低,云顶温度最高;雨夹雪时的温湿结构介于降雪与冻雨之间。

5) 冬季雨雪天气的发生不需要很强的垂直上升运动,低层至中高层较强上升运动是造成“0129”过程与“0220”过程出现短时中雪的重要原因。上升气流不明显时,降雪也不明显。

## 参考文献

- [1] 杜正静,熊方,何玉龙,等. 贵州严重冰冻天气过程典型模型及环流特征分析[J]. 贵州气象, 2009, 33(1): 7-10.
- [2] 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.
- [3] 陶诗言,卫捷. 2008 年 1 月严重冰雪灾害过程分析[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(4): 337-350.
- [4] 赵思雄,孙建华. 2008 年初南方雨雪冰冻天气的环流场与多尺度特征[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(4): 351-367.
- [5] 甘文强,蓝伟,杜小玲,等. 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.

- [6] 何玉龙, 黄建菲, 吉延艳. 贵阳降雪和凝冻天气的大气层结特征[J]. 贵州气象, 2007, 31(4): 12-13.
- [7] 吉世强. 国际航空航天质量管理体系认证要求[J]. 航空标准化与质量, 2014(6): 11-14.
- [8] AP-117-TM-2021-01R2 民用航空气象地面观测规范[S]. 北京: 中国民用航空局, 2021.
- [9] 周川, 张序, 谭力, 等. 强降雪天气对飞行的影响分析[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2015, 32(3): 78-83.
- [10] 荆浩, 于波, 张琳娜, 等. 北京及周边地区冬季降水相态的判别指标研究[J]. 气象, 2022, 48(6): 746-759.
- [11] 漆梁波. 我国冬季冻雨和冰粒天气的形成机制及预报着眼点[J]. 气象, 2012, 38(7): 769-778.