

# 2024年2月黄石市两次低温雨雪冰冻过程对比分析

张东, 张炜, 费慧芬, 刘熠炎

黄石市气象局, 湖北 黄石

收稿日期: 2026年4月27日; 录用日期: 2026年6月30日; 发布日期: 2026年7月13日

## 摘要

本文利用常规观测资料、雷达、ERA5再分析资料等对2024年2月黄石市两次低温雨雪冰冻过程进行分析, 得到以下结论: (1) 两次过程均持续时间长、影响范围广, 雨雪相态复杂。第一次雨雪量更大, 主要以雨为主; 第二次降温幅度更大, 以冻雨、冰粒、雨夹雪、雪为主。(2) 两次过程均发生在高空槽东移与低层冷空气共同作用的环流背景下, 暖湿气流在冷垫上爬升, 低空急流提供充沛的水汽条件, 也使得中层逆温层和融化层建立并维持, 导致降水相态复杂。(3) 两次过程均存在逆温区, 但第二次逆温范围较第一次过程更广, 冷空气也更强, 冷垫更深厚, 冷中心温度更低, 融化层高度更高, 持续时间更长, 因此冻雨特征更明显, 固态降水以冰粒为主。(4) 数值模式对于第一次过程的强降水落区及强度把握较好, 第二次过程对风场预报存在偏差, 低层切变线位置预报偏南, 移动偏快, 中层风向辐合预报偏弱, 导致模式降水预报的量级较实况明显偏小。

## 关键词

低温雨雪冰冻, 西南急流, 降水相态, 融化层

## Comparative Analysis of Two Low-Temperature Rain-Snow and Freezing Weather Processes in Huangshi City in February 2024

Dong Zhang, Wei Zhang, Huifen Fei, Yiyang Liu

Huangshi Meteorological Service, Huangshi Hubei

Received: April 27, 2026; accepted: June 30, 2026; published: July 13, 2026

## Abstract

This paper analyzes two low-temperature, rain-snow and freezing weather events in Huangshi City in February 2024 by using conventional observation data, radar and ERA5 reanalysis data. The main conclusions are summarized as follows: (1) Both events were characterized by long duration, wide influence range and complex precipitation phases. The first event had larger precipitation amount and was dominated by rainfall; the second one witnessed a greater temperature drop, with dominant precipitation types including freezing rain, ice pellets, sleet and snow. (2) Both processes occurred under the circulation background of the eastward movement of the upper trough combined with low-level cold air. The warm and moist airflows climbed over the cold wedge. The low-level jet provided abundant water vapor conditions, facilitating the formation and maintenance of the mid-level inversion layer and melting layer, and consequently resulting in complicated precipitation phases. (3) Inversion layers existed in both events. Compared with the first process, the second one featured a wider inversion coverage, stronger cold air, a deeper cold wedge, lower temperature in the cold core, a higher melting layer and longer duration. Therefore, it presented more significant freezing rain features, with ice pellets as the major solid precipitation. (4) Numerical weather models performed well in predicting the falling area and intensity of heavy precipitation for the first event. However, obvious biases existed in the wind field forecast of the second event: the forecasted low-level shear line was located further south and moved faster, and the forecasted wind convergence in the middle level was weaker, which led to a significant underestimation of precipitation magnitude compared with the actual observation.

## Keywords

Low-Temperature Rain-Snow and Freezing Weather, Southwesterly Jet, Precipitation Phase, Melting Layer

Copyright © 2026 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、雨雪和冰冻都是冬季常见的气象灾害，当这类天气持续时间长、影响范围广时，往往会对交通、电力、林业、农业等行业造成严重影响[1]。2008年初我国南方地区遭遇大范围强低温雨雪冰冻天气，此后这类天气受到更多关注和研究[2]。低温雨雪冰冻天气的成因复杂，预报挑战大，主要预报难点包括降水相态转换以及固态降水如降雪、冻雨、冰粒等的形成机制和预报方法等[3]。研究指出阻塞形势下冷空气南下与来自孟加拉湾及南海、西北太平洋的暖湿气流长时间交汇产生锋生强迫，暖湿气流在冷垫上爬升是冬季强雨雪天气形成的重要动力机制，暴雪区位于低层冷平流和高层暖平流叠加区域，700 hPa西南急流和逆温层对强降雪的产生具有重要作用[4]。

2024年1月30日~2月7日、2月18~26日，黄石市出现两次低温雨雪冰冻天气过程，两次过程与春运叠加，对公路高铁保畅、电力保供、群众出行和生产生活带来严重影响，是2009年以来春运期间发生的最严重低温雨雪冰冻天气。第二次低温雨雪冰冻天气给黄石地区造成了严重灾害，且在强冷空气影响下，出现了明显冻雨。本文利用常规观测资料、雷达、卫星产品、ERA5再分析资料等对2024年2月黄石市两次低温雨雪冰冻过程进行分析，为今后黄石市低温雨雪冰冻天气预报预警提供参考。

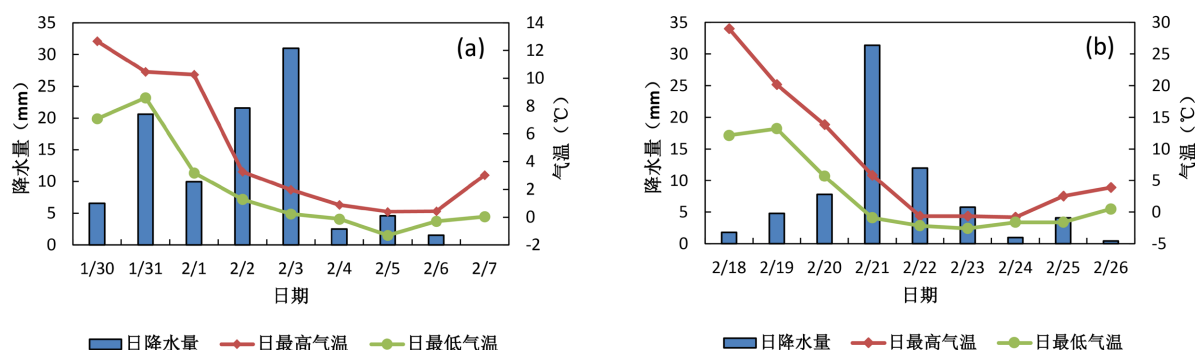
## 2. 实况与灾情

### 2.1. 实况特征

1月30日至2月8日,黄石出现持续低温雨雪天气,伴有冰粒和冻雨,累计雨雪量黄石95.8毫米、大冶91.8毫米、阳新107.3毫米。其中4日凌晨出现冻雨及雨夹雪,累计冻雨量黄石4.2毫米,大冶5.9毫米。最强时间段出现在2月3日20时~4日20时。

2月18日至27日,黄石再次经历低温雨雪天气,伴有冻雨、雨夹雪、冰粒和雪,并有明显积雪。累计雨雪量黄石66.1毫米、大冶91.7毫米、阳新49.2毫米,最大积雪深度11厘米(大冶)。21日夜间出现冻雨,持续时间长达三天,累计冻雨量黄石6.9毫米,大冶10.6毫米,阳新0.6毫米。冻雨导致大范围电线积冰,最大为8毫米(黄石)。最强时段出现在2月21日20时~22日20时。

两次过程均有持续时间长、累计雨雪量大、影响范围广、降水相态复杂的特点,但也有明显差别。对比分析可知:(1)第一次过程雨雪量更大,但主要以雨为主,第二次过程相态转换更为复杂,冻雨影响范围广、有明显积雪,冰冻灾害严重。(2)第二次过程降温幅度更大,如图1所示,第一次过程国家站日最低气温出现在2月5日,为 $-1.3^{\circ}\text{C}$ ,第二次过程国家站日最低气温出现在2月23日,为 $-2.6^{\circ}\text{C}$ ,最低气温降幅达 $15.8^{\circ}\text{C}$ 。



**Figure 1.** Daily mean precipitation, daily maximum temperature and daily minimum temperature at national meteorological stations in Huangshi City during January 30~February 7, 2024 (a) and February 18~26, 2024 (b)

**图 1.** 2024 年 1 月 30 日~2 月 7 日(a)、2024 年 2 月 18 日~26 日(b)黄石市国家站日降水量、日最高气温、日最低气温均值

### 2.2. 灾情

第一次过程导致全市 12437 人受灾,紧急转移安置及避险人口 6 人,需紧急生活救助 614 人,农作物受灾 260.8 公顷,严重损坏房屋 3 户 5 间,一般损坏 10 户 12 间,直接经济损失 185.3 万元。

第二次过程导致全市 45779 人受灾,严重损坏房屋 6 户 12 间,一般损坏房屋 9 户 13 间,农作物受灾 2945.73 公顷,成灾 1407.87 公顷,绝收 608.76 公顷,经济损失 23337.83 万元(主要为工矿商贸业损失 16492.53 万元,农业损失 5818.67 万元)。

对比可知,第二次过程受灾范围更大,影响更严重。

## 3. 强降雪成因及预报偏差分析

### 3.1. 强降水成因

#### 3.1.1. 环流形势和主要天气系统发展演变

两次过程均发生在高空槽东移与南下冷空气相互作用的大尺度环流背景下,但在冷暖气流强度及关

键系统配置方面存在差异。

从环流形势来看(图略),第一次过程期间,500 hPa 中低纬地区南支槽活跃,低槽深厚,副热带高压稳定维持在南海及以南地区,副高外围盛行西南气流,为本次过程提供稳定持续的水汽输送,黄石处于南支槽前西南气流影响中。另外,黄石地区位于 850 hPa 切变线附近。

第二次过程期间,500 hPa 低纬度地区,南支槽平浅,副热带高压北界北抬至华南沿海一带,西南急流较第一次过程偏强,强度达到了 26 m/s,急流出口区位于湖北南部,强劲的西南急流向湖北东部输送源源不断的水汽,为本次雨雪天气的产生提供了充沛的水汽条件。

从海平面气压场来看(图略),第一次过程冷空气主体位置偏东,冷高压中心在蒙古维持,中心强度超过 1040 hPa,我国中东部地区受冷气团控制。从华北至华中地区等压线呈南北向,表明冷空气南下的势力强劲,等压线在华南和西南东部形成密集区,表明冷空气在这些地区堆积,进而形成锋区。第二次过程冷高压中心强度更强,中心强度超过 1050 hPa,冷锋已抵达华南沿海,引导寒潮主体自内蒙古中东部向南影响我国,冷空气补充南下,使地面温度更低,有利于积雪。

因此,从环流形势和主要天气系统发展演变来看,两次过程均具备产生大范围低温雨雪冰冻天气的条件,但第二次过程西南急流和冷空气强度均比第一次过程强,且锋区更强,降温幅度更大。从而导致两次过程的强度和相态变化有所不同。

### 3.1.2. 雨雪相态转化、强降雪和冻雨等物理成因分析

对比两次过程雨雪相态发生转换、出现最强雨雪时段,两次过程均有东北-西南向带状云系位于湖北上空。第一次过程云系整体结构相对松散,呈现北部密实、南部松散形态,较密实云团位于湖北北部,黄石主要受松散云团影响。第二次过程云系结构更密实,对流特征较明显,强降水云团处于黄石上空。相对应的第一次过程(图 2(a))雷达强回波区位于江汉平原一带,黄石受外围分散性回波影响;第二次过程(图 2(b))回波呈西南-东北带状分布,缓慢东移南压,具有明显的“列车效应”。两次过程强回波质心高度均在 1.5 km 附近,但第二次过程最大反射率因子达 50 dBZ 以上,40 dBZ 强回波伸展高度达 4 km 左右,回波顶高度以及强回波伸展高度均更高,回波强度更强。

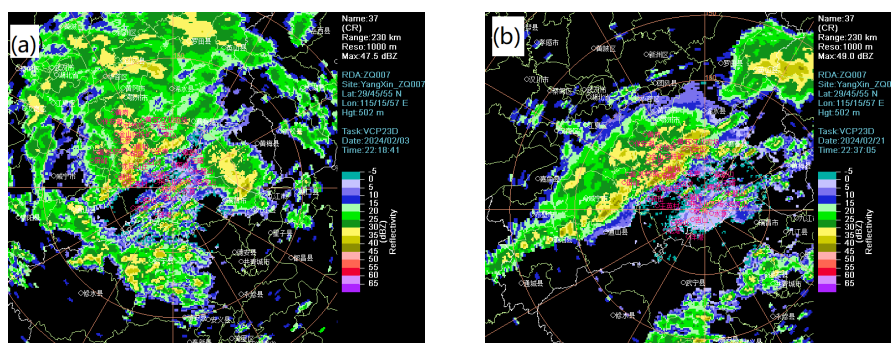


Figure 2. Radar echoes at 22:18 on February 3 (a) and 22:37 on February 21 (b)

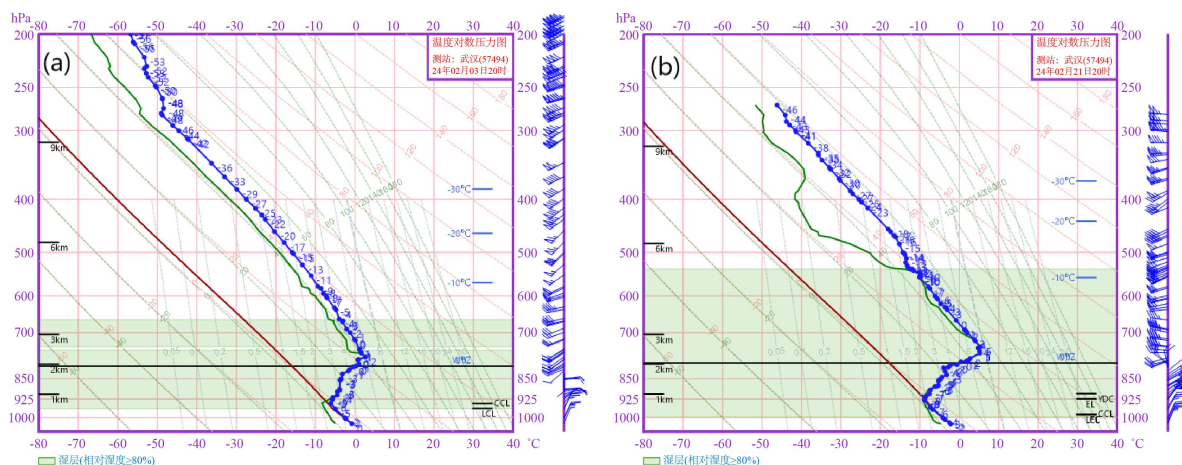
图 2. 2 月 3 日 22:18 (a)与 2 月 21 日 22:37 (b)的雷达回波

## 3.2. 关键物理量诊断分析

### 3.2.1. 探空资料

分析两次过程武汉探空可知(图 3),中层均存在明显暖区,但第一次过程暖层高度 1944~2810 m,厚度 866 m,强度 2.6℃;第二次过程暖层高度 2079~3169 m,厚度 1090 m,强度 5.3℃,对比发现第二次过程暖层明显更高更厚、强度更强。同时第一次过程冷垫厚度 1915 m,强度-6.1℃,而第二次过程冷垫

厚度 1976 m, 强度为 $-8.9^{\circ}\text{C}$ , 明显强于第一次过程。此外, 第二次过程地面温度更低, 为 $-2.2^{\circ}\text{C}$ , 湿层更加深厚, 向上伸展到 5 km 附近, 0~6 km 垂直风切变较大, 达 24.7 m/s, 850 hPa 以下偏北风明显更强, 更有利于产生伴有较明显对流的暴雪天气。



**Figure 3.** Sounding charts at Wuhan Station at 20:00 BT on February 3 (a) and 20:00 BT on February 21 (b)

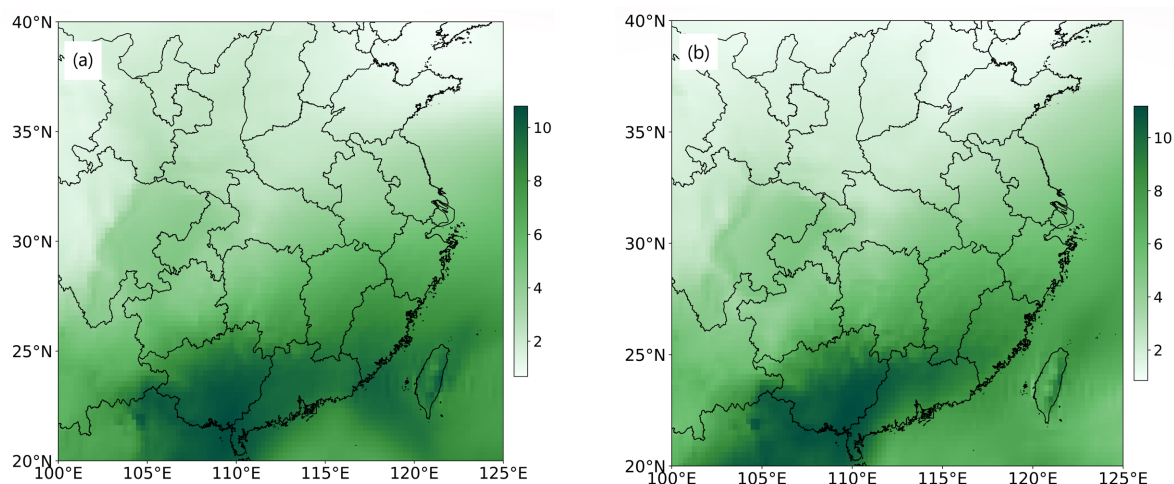
**图 3.** 2 月 3 日 20 时(a)、2 月 21 日 20 时(b)武汉站探空图

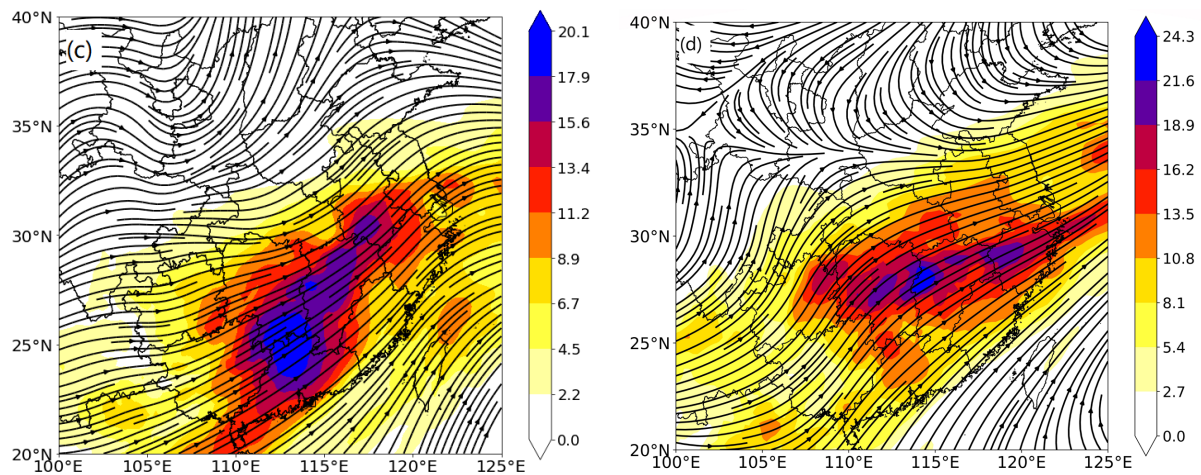
### 3.2.2. 水汽条件

畅通的水汽通道和源源不断的水汽输送是冬季大范围雨雪天气形成的必要条件[5]。如图 4(a)、图 4(b)所示, 两次过程期间, 黄石 700 hPa 比湿在 4~6 g/kg, 且位于水汽通道左前方, 水汽条件较好。第一次过程高空槽东移与南支槽同位相叠加, 槽前西南风加强, 形成南北打通的水汽输送通道, 如图 4(c)所示, 黄石的水汽通量在 7~9 g/(s·hPa·cm)。第二次过程, 副高北界明显北抬, 其外围西南气流与南支槽前西南气流合并加强, 黄石的水汽通量为 13.5~16 g/(s·hPa·cm), 水汽条件更好(图 4(d))。

### 3.2.3. 动力条件

对流层中层西南暖湿气流在冷垫上的爬升运动以及低层风场的水平辐合是产生大范围雨雪天气的重要动力机制[6]。图 5 为黄石地区( $114.31^{\circ}\text{E}\sim 115.30^{\circ}\text{E}$ ,  $29.30^{\circ}\text{N}\sim 30.15^{\circ}\text{N}$ )区域平均垂直速度(色斑)和散度(等值线)的高度-时间剖面图。从垂直速度来看, 两次过程均出现多个上升运动中心, 第一次过程(图 5(a))



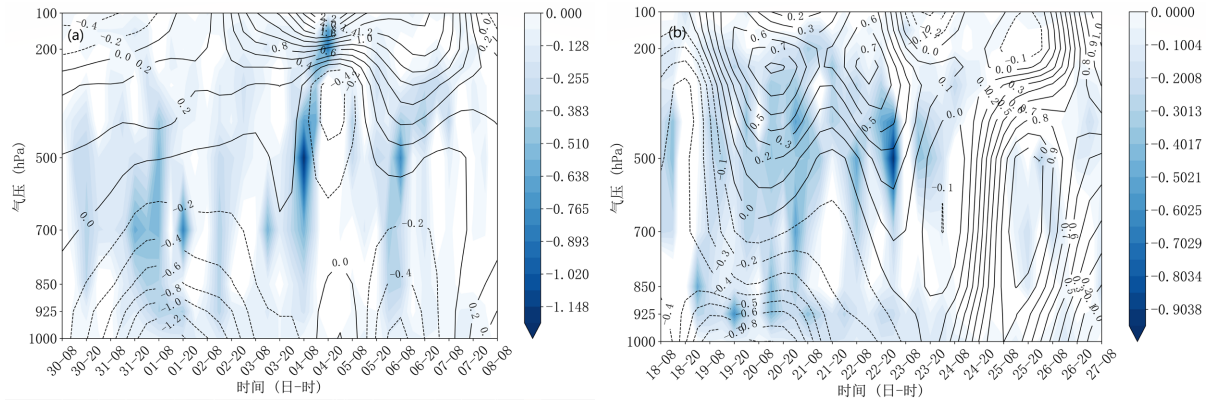


注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2019)1719 号的标准地图制作，底图无修改。

**Figure 4.** Spatial distribution of specific humidity (unit: g/kg) from January 30 to February 7, 2024 (a) and from February 18 to 26, 2024 (b), as well as 700 hPa wind field (arrows) and water vapor flux (shaded, unit:  $\text{g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})$ ) at 08:00 on February 4 (c) and 20:00 on February 21 (d)

**图 4.** 2024 年 1 月 30 日~2 月 7 日(a)、2024 年 2 月 18 日~26 日(b)的比湿(单位: g/kg)、2 月 4 日 08 时(c)、2 月 21 日 20 时(d) 700 hPa 的风场(箭头)及水汽通量(填色, 单位:  $\text{g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})$ )空间分布

主要出现在 1 月 31 日夜间至 2 月 1 日白天、2 月 3 日以及 5 日夜间, 其中 2 月 3 日夜间上升运动最为强烈, 中心在 500 hPa 附近, 中心值达  $-1.1 \text{ Pa/s}$ 。第二次过程(图 5(b))的强上升运动出现在 2 月 19 日至 21 日、2 月 22 日至 23 日, 对比发现, 第一次过程阶段性特征明显, 且伸展高度更高, 第二次过程的时段更为集中, 这可能与西南暖湿气流提供持续的水汽输送有关。从散度来看, 两次过程中, 700 hPa 以下为辐合区, 其上为辐散区, 辐合层厚度和强度以及高层辐散强度与上升运动有较好的对应关系, 但第二次过程的低层辐合、高层辐散配合更好, 更有利于产生较强降水。



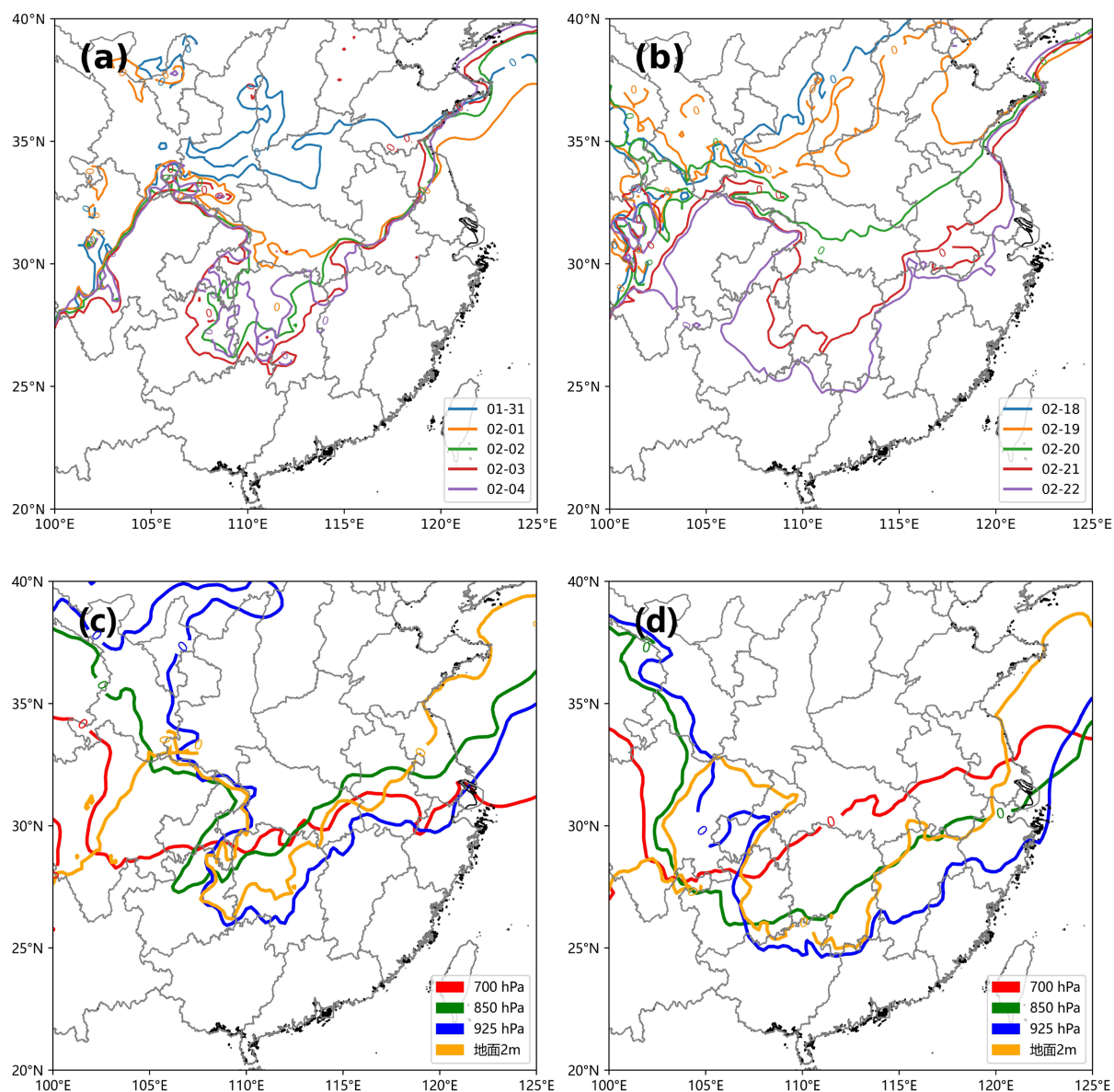
**Figure 5.** Height-time cross sections of average divergence (contour, unit:  $10^{-5}/\text{s}$ ) and vertical velocity (shaded, unit:  $\text{Pa/s}$ ) in Huangshi area during 08:00 BT on 30 January to 08:00 BT on 8 February 2024 (a) and 08:00 BT on 18 February to 08:00 BT on 27 February 2024 (b)

**图 5.** 2024 年 1 月 30 日 08 时~2 月 8 日 08 时(a)、2024 年 2 月 18 日 08 时~27 日 08 时(b)黄石地区平均散度(等值线, 单位:  $10^{-5}/\text{s}$ )和垂直速度(填色, 单位:  $\text{Pa/s}$ )的高度 - 时间剖面图

### 3.3. 冻雨形成机制及强度分析

两次过程期间均出现冻雨, 第二次过程冻雨更明显, 导致大范围电线覆冰, 给交通运输、电力输送

和能源保供造成较大影响。如图 6(a)、图 6(b)所示,第一次过程中地面 2 m 的  $0^{\circ}\text{C}$  等温线在 1 日位于鄂西北至江汉平原南部,次日进一步南下开始影响黄石。第二次过程,前期黄石地区处于暖低压倒槽中,最高气温达  $27^{\circ}\text{C}$ , 20 日  $0^{\circ}\text{C}$  等温线位于鄂西北附近,次日强冷空气南下,黄石地面温度维持在  $0^{\circ}\text{C}$  附近,降温幅度明显更大。此外,图 6(c)、图 6(d)显示,两次过程中,黄石地区均存在逆温区,有明显融化层,但由于第二次过程地面温度更低,且逆温范围较第一次过程更广,因此,黄石地区第二次过程的冻雨比第一次过程更加明显。



注: 该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2019)1719 号的标准地图制作, 底图无修改。

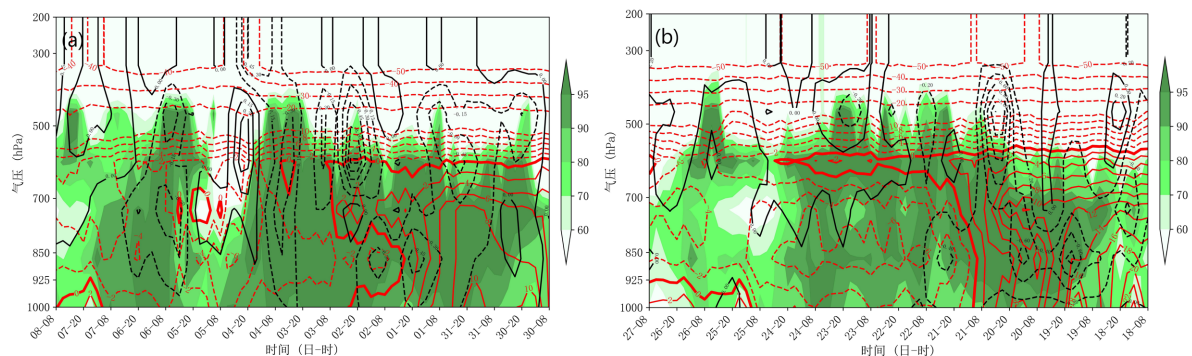
**Figure 6.** Evolution of daily 2 m surface  $0^{\circ}\text{C}$  isotherms at 20:00 BT from 31 January to 4 February 2024 (a) and from 18 February to 22 February 2024 (b); and positions of  $0^{\circ}\text{C}$  isotherms at 700 hPa, 850 hPa, 925 hPa and 2 m surface at 20:00 BT on 2 February (c) and 08:00 BT on 22 February (d)

**图 6.** 2024 年 1 月 31 日~2 月 4 日(a)、2024 年 2 月 18 日~22 日(b)逐日 20 时地面 2 m  $0^{\circ}\text{C}$  等温线演变, 2 月 2 日 20 时(c)、2 月 22 日 08 时(d) 700 hPa、850 hPa、925 hPa 及地面 2 m 的  $0^{\circ}\text{C}$  等温线位置

### 3.4. 降水相态变化原因分析

如图 7 所示,第一次过程(图 7(a))前期,湿度层深厚,配合一定的上升运动,导致黄石出现持续阴雨天气,1 日夜间至 2 日温度场在 600~800 hPa 附近存在暖层,同时高湿区位于 500 hPa 以下,温度场和湿度场由上而下形成了“冷湿-强暖湿-冷湿”的夹心结构,但由于 2 月 1 日 20 时至 2 日 20 时,黄石的地面温度仍在 0℃ 以上,仅 2 日夜间具备冻雨形成条件,因此该时段降水仍以雨为主,伴有短时冰粒。3~4 日暖层减弱,高湿区向上伸展到 400 hPa 附近,形成深厚的湿柱,有利于产生较强降水,4 日凌晨,上升运动明显增强,600~700 hPa 存在明显融化层,该时段开始出现雨夹雪或雪。4 日夜间至 5 日,高层受干空气入侵,整层温度处于 0℃ 以下,700 hPa 附近存在短时融化层,该时段降水主要为雨夹雪或雪,伴有冰粒和冻雨,6 日中层再次出现冷湿结构,雨雪天气维持,7 日后近地面湿度减弱,温度升高,转为降雨且强度减弱。第二次过程(图 7(b))期间,700 hPa 及以上的融化层持续时间较第一次过程明显偏长,低层冷垫增厚且温度明显偏低。21 日前,伴随较强上升运动和较高的地面温度和相对湿度,黄石出现持续降雨。21 日,由于冷空气加强南下,低层冷垫形成、湿层增厚,上下冷湿区扩大,自上而下形成“冷湿-暖湿-强冷湿”的夹心结构。由于湿层伸展高度到 400 hPa 以上,顶部温度降至-10℃ 以下,低层冷垫冷中心温度在-4℃ 附近,此阶段出现了明显冻雨,22 至 24 日白天,上升运动显著发展至 400 hPa 附近,覆盖了 0~-30℃ 等温层所在高度,融化层底部高度抬升,低层冷垫增厚且更冷,冷中心温度达-6℃ 以下,期间黄石的降水相态主要以冰粒为主,24 日夜间至 25 日,融化层消失,700~850 hPa 出现干层,低层湿度条件减弱,湿湿层结满足降雪条件,降水相态为小雪或雨夹雪,26 日后,地面温度回升,湿度条件进一步减弱,降水过程趋于结束。

综上,第一次过程温湿场在垂直方向上具有“冷湿-强暖湿-冷湿”的结构,但暖层持续时间较短,第二次过程有“冷湿-暖湿-强冷湿”特征,逆温持续时间长,冷垫更深厚,冷中心温度更低,融化层高度更高,在 600 hPa 附近,持续时间长。因此,第一次过程降水相态主要以雨为主,伴有冰粒和冻雨,第二次过程降水相态冻雨特征明显,固态降水以冰粒为主。



**Figure 7.** Height-time vertical cross sections of temperature (red contours, unit: °C), relative humidity (shaded, unit: %) and vertical velocity (black contours, unit: Pa/s) over Huangshi from 08:00 BT on January 30 to 08:00 BT on February 8, 2024 (a) and from 08:00 BT on February 18 to 08:00 BT on February 27, 2024 (b)

**图 7.** 2024 年 1 月 30 日 08 时~2 月 8 日 08 时(a)、2024 年 2 月 18 日 08 时~27 日 08 时(b)黄石的温度(红色等值线,单位: °C)、相对湿度(填色,单位: %)和垂直速度(黑色等值线,单位: Pa/s)的高度-时间垂直剖面图

### 3.5. 预报偏差成因分析

第一次过程模式整体较为稳定,强降水中心略有调整,第二次过程模式预报偏差较大。从两次过程 EC 模式的 700 hPa 风场及温度场来看,两次过程的实况风力均比预报偏强,且温度略高于预报值,第二次过程中,模式预报急流较实况偏弱 4~6 m/s,以武汉站为例,模式预报为西风,实况为西北风,辐合更

强。从 850 hPa 风场及温度场来看,第一次过程模式风场与实况较为一致,但温度较实况略偏高,第二次过程模式预报在鄂东地区风向存在偏差,北风分量预报偏强,东风分量偏小,实况切变线位置较预报偏北,且维持时间较长,导致 21 日夜间出现较长时间强降水。因此,由于第二次过程数值模式对风场预报存在偏差,低层切变线位置预报偏南,移动偏快,中层风向辐合预报偏弱,导致模式降水预报的量级较实况明显偏小。

#### 4. 总结与讨论

本文通过对 2024 年黄石市两次低温雨雪冰冻过程进行综合分析,得出如下结论:

(1) 两次过程均造成大范围低温雨雪冰冻天气,且持续时间长、范围广,雨雪相态复杂。第一次过程雨雪量更大,但主要以雨为主,第二次过程以冻雨、冰粒、雨夹雪、雪为主,降温幅度更大,相态转换更为复杂,冻雨、积雪更加明显,出现大到暴雪,大冶特大暴雪,冻雨范围广、冰冻严重。

(2) 两次过程均发生在高空槽东移与低层冷空气共同作用的环流背景下,南支槽前和西太副高外围的西南急流稳定维持。暖湿气流在冷垫上的爬升,冷暖气流叠加,暖湿急流为雨雪天气提供充沛的水汽条件,也使得中层逆温层和融化层建立并维持,导致降水相态复杂。

(3) 两次过程均存在逆温区,但第二次过程逆温范围较第一次过程更广,且冷空气也更强,冷垫更深厚,冷中心温度更低,融化层高度更高,持续时间更长,因此冻雨特征更明显,固态降水以冰粒为主。

(4) 偏北冷空气及西南急流的强弱、上升运动分布、融化层和冻结层的厚度与强度、温度层结分布等对降水相态均有重要影响。

#### 注 释

本文图片由 Excel、MICAPS、PUP、湖北省一体化平台、Python 软件制图。

#### 参考文献

- [1] 张芳华,许先煌,权婉晴,等. 2024 年春运期两次极端雨雪冰冻天气过程对比分析[J]. 暴雨灾害, 2024, 43(4): 371-383.
- [2] 秦明月,李双林. 2018 年和 2008 年 1~2 月影响我国的持续低温事件及其对比分析[J]. 气候与环境研究, 2020, 25(6): 601-615.
- [3] 谷秀杰,郭紫薇,杨慧,等. 2024 年 2 月初河南一次罕见雨雪冰冻过程的诊断分析[J]. 暴雨灾害, 2024, 43(4): 469-478.
- [4] 杜小玲,蓝伟,何东坡,等. 2024 年 2 月初贵州东部及长江中下游低温雨雪冰冻天气基本特征及成因[J]. 暴雨灾害, 2024, 42(5): 160-171.
- [5] 吕春艳,等. 我国南方两次低温雨雪天气成因对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(1): 96-104.
- [6] 宗海锋,布和朝鲁,彭京备,等. 中国南方大范围持续性低温、雨雪和冰冻组合性灾害事件: 客观识别方法及关键特征[J]. 大气科学, 2022, 46(5): 1055-1070.