

南京机场两次降雪天气过程对比分析

杨小银¹, 禹鑫², 汪刘冉³

¹春秋航空股份有限公司, 上海

²解放军66199部队, 北京

³上海吉祥航空股份有限公司, 上海

收稿日期: 2022年10月14日; 录用日期: 2022年11月11日; 发布日期: 2022年11月21日

摘要

2022年年初发生在苏皖南部地区两次不同量级的降雪天气, 分别对南京机场运行产生了不同影响, 利用相关气象资料及WRF模式, 对这两种天气形势和物理量场进行对比分析。结果表明: 暴雪产生在低空急流的左前方和700 hPa切变线的风速辐合区中, 水汽通量散度的辐合区和上升运动场的合理配置是暴雪产生的重要原因。通过对比分析物理量场, 得出南京机场大雪短期预报的着眼点: 700 hPa温度0℃线基本上都要南压到31°N或以南地区, 850 hPa温度0℃要南压到30°N以南, 地面温度 ≤ 0℃, 925~800 hPa温度 ≤ -3℃或-4℃, 700 hPa温度 < 0℃, 800~700 hPa存在逆温; 可以通过对近地面大气层中冻结部分降水混合比在可凝结成降水水汽混合比中的比例 ≥ 0.80作为判断雨雪分界线的参考。

关键词

南京机场, 降雪, 对比分析

Comparative Analysis of Two Snowfall Weather Processes at Nanjing Airport

Xiaoyin Yang¹, Xin Yu², Liuran Wang³

¹Spring Airlines, Shanghai

²66199 Unit of PLA, Beijing

³Juneyao Airlines, Shanghai

Received: Oct. 14th, 2022; accepted: Nov. 11th, 2022; published: Nov. 21st, 2022

Abstract

In early 2022, two snowfalls of different magnitudes occurred in southern Jiangsu and Anhui provinces, which had different impacts on the operation of Nanjing Airport. Using meteorological

data and WRF mode, this paper focused on the comparison and analysis of the weather condition and the physical quantity fields of two different situations. The results show that the snowstorm occurs in the front left of the low-level jet stream and in the wind speed convergence area of the 700 hPa shear line. And the reasonable configuration of the convergence area of the water vapor flux divergence and the rising motion field can be regarded as an important reason for the occurrence of the snowstorm. Through the comparative analysis of these two snowfalls of different magnitudes, the focus of the short-term forecast of heavy snowfall at Nanjing Airport is preliminarily drawn: the 700 hPa temperature 0°C line should basically be pressed southward to the south of 31°N , and the 850 hPa temperature 0°C should be southerly pressed to the south of 30°N , surface temperature $\leq 0^{\circ}\text{C}$, 925~800 hPa temperature $\leq -3^{\circ}\text{C}$ or -4°C , 700 hPa temperature $< 0^{\circ}\text{C}$, and there is a temperature inversion in 800~700 hPa. Ratio of mixing ratio of frozen precipitation in the near-surface atmosphere to the mixing ratio of water vapor that can condense into precipitation is very important, which can be used to determine the evolution of rain and snow boundaries.

Keywords

Nanjing Airport, Snowfall, Comparative Analysis

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

强降雪天气会影响飞机性能,并导致机场场面严重积雪,危及飞机安全和机场的正常运行。以南京机场 2022 年 2 月 7 日为例,因降雪较大、持续时间长,当日南京机场航班积压较多,10 时 27 分首个出港航班才起飞,10 时 25 分首个进港航班才落地,当日 191 架次航班被迫取消,144 架次长时间延误,给人们春节假期首日返工造成重大影响。为保障机场和各航空公司航班正常运行,国内中大型机场运管委会依据天气预测提前分析次日航班结构,适时启动机场 MDRS (Massive Delay Response System, 大面积航班延误应急响应机制),MDRS 是近年来常见的一种预战术流量管理方式,空管单位通过对未来运行情况的预判,对民航用户发布航行通告,让机场和航空公司能够据此提前采取措施规避未来的运行风险[1]。由于天气预报存在一定偏差,MDRS 预警不能百分百准确,有时会造成航班结构调整错误。以 2022 年 1 月 28 日南京机场为例,1 月 27 日夜晚天气预报 1 月 28 日午后有中到大雪,机场运管委决策提前取消 74 架次航班,往后调时 11 架次航班,南京机场 28 日实况小雨,夜间短时雨夹雪,天气影响较小。

近几年对暴雪的研究已经引起了许多学者的关注,肖蕾等[2]对遵义市 2016 年 3 月 8~9 日和 2017 年 2 月 21~22 日的两次寒潮降雪天气过程进行对比分析,指出地面冷高压中心强度及南下速度是预报寒潮的关键;吕翔等[3]对发生在江苏的两次降雪天气进行对比,指出中雪和暴雪发生时在急流强度和物理量场上存在明显区别;Zhou He-ling 等[4]采用复合分析方法对 2010 年 1 月华北地区暴风雪天气过程进行诊断分析,认为地面高压槽底部的暖湿气流和高压槽后部的强冷平流的共同影响是降雪的主要天气系统。本文对 1 月 28 日和 2 月 7 日这两次天气过程进行对比分析,着重分析两种天气形势和物理量场的区别,研究强降雪天气形成机理,以期预报苏南地区强降雪提供思路。

2. 环流形势分析与对比

分析两次过程的环流形势演变,发现这两次过程都属于西风槽型。2022 年 1 月 27~28 日(以下简称

01.28 过程), 亚洲高纬度地区 500 hPa 上两脊两槽的形势, 高压脊分别位于乌拉尔和蒙古国西部, 除东北地区外全国基本呈经向性环流, 结合 700 hPa 风场和相对湿度, 孟加拉湾附近的南支槽呈中等较强水平。2022 年 2 月 6~7 日(以下简称 02.07 过程), 500 hPa 上两槽一脊的形势维持, 高压脊位于蒙古西部到巴尔喀什湖东北部地区, 蒙古西南部地区有阻塞高压, 高压脊两侧为低槽, 华东地区呈经向性环流特征。两次过程中孟加拉湾均有稳定南支槽维持, 槽前西南气流从云南东部地区一直延伸至华东地区, 长江中下游地区均在高湿区里, 水汽条件较好。850 hPa 上(图 1) 0 度线均南压至湖南中部 - 江西北部 - 安徽南部 - 浙江北部, 阻塞高压东部低槽西部携带的冷空气与暖湿空气在长江中下游地区上空交汇, 是长江中下游区域大范围雨雪天气过程的直接原因, 与胡玉玲等[5]的研究环流形势相似。

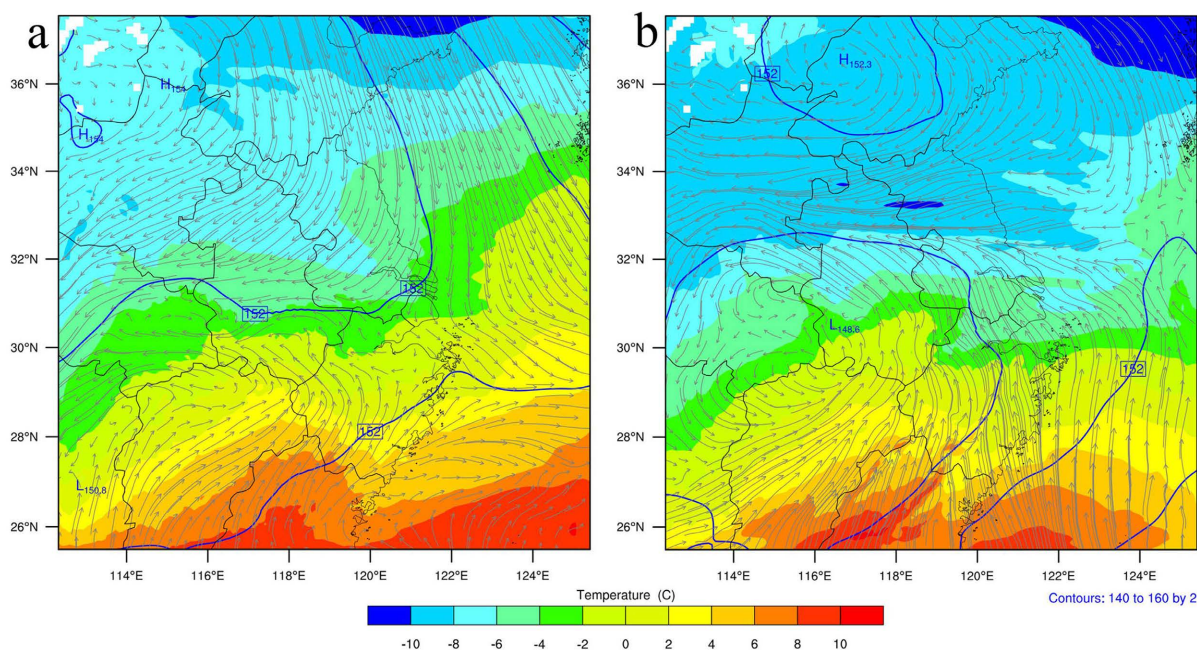


Figure 1. 850 hPa weather map of two weather processes (a) 08:00 on January 28th; (b) 08:00 on February 7th
图 1. 两次天气过程 850 hPa 天气图, (a) 1 月 28 日 08 时; (b) 2 月 7 日 08 时

01.28 过程中, 27 日 20 时(以下均为北京时), 700 hPa 急流呈东北 - 西南带状, 分布在贵州 - 湖南 - 苏皖南部, 风速与 27 日 08 时相比明显增强, 急流轴整体风速在 18~24 m/s, 28 日 08 时增大至 22~28 m/s, 急流出口的左前端位于苏皖南部, 通过急流带将来源于孟加拉湾南支槽的水汽源源不断向北输送, 从而形成经广西 - 湖南伸向苏皖南部地区的水汽通道, 且与苏南雨雪时段相对应。850 hPa 上(图 1(a))切变明显, 切变两侧为东北风或偏东风与西南风的辐合, 20 时切变线在 27°N~30°N, 苏皖地区 0 度线位于 28°N~30°N, -4 度线位于 33°N~35°N, 28 日 08 时略有南压至 25°N~28°N, 0 度线位于 26°N~29°N, -4 度线位于 31°N~33°N, 雨雪天气主要位于切变线冷区一侧。冬季雨雪天气过程主要受 700 hPa 系统控制, 但 850 hPa 以下的天气系统能够对降水性质、量级产生较大影响, 地面图上, 苏皖南部温度在 2°C~4°C, 安徽南部的山区温度在 0°C~2°C, 南京机场 27 日 20 时温度 4°C, 28 日 4~6 时温度最低 2°C, 后又缓慢上升至 14 时的 5°C, 19 时后温度降低至 1°C~2°C, 小雨此时转为小雨夹雪。可见, -4°C 层的高度以及 850 hPa 以下大气层的温度层结始终高于 1°C 是这次雨雪天气最终以降雨或雨夹雪形态呈现的重要原因。

对 02.07 过程具体来说, 6 日 20 时, 700 hPa 上四川东北地区转为偏北气流, 与暖区切变线南部的西南风一起在河南西部地区形成了气旋环流, 850 hPa 上(图 1(b))长江上游形成暖切变线, 广西、湖南区域

低空急流初步形成，急流轴风速在 16~20 m/s，江淮流域的风向由偏东风转为东南风，近地面冷空气逐渐南下控制河南、湖北，随着辐合中心东移，冷温槽缓慢东移，同时西南暖湿气流开始北上。

7 日 08 时，随着冷空气不断的补充南下，700 hPa 上的低涡环流东移减弱为一条东北西南向的低压槽，位于山东半岛经苏皖南部一直延伸到湖北南部，850 hPa 上在湖北、安徽的交接处形成低涡环流，低涡环流较前几个小时更加清楚。苏皖南部地区位于 700 hPa 急流轴左侧出口区和 850 hPa 低涡环流的东北象限，中尺度切变提供的动力抬升作用加强了正涡度的发展，苏皖南部的暴雪就产生在此切变线区域。

850 hPa 的-4℃的等温线从 06 时开始缓慢南压，刚好压在长江沿岸，位于 29°N~30°N，由于东部的东南风加强，温度槽径向度加强，-4℃等温线呈现明显的东北西南向，沿江及以北地区雨雪转换时间早，降雪持续时间长。24 时 850 hPa 上由于受阻塞高压脊前补充南下冷空气和槽后东北气流带来的冷空气的夹击，低涡环流逐渐填塞，西南急流减弱，降雪基本结束。因此，中低层的气旋式环流及其东侧的暖式切变线是这次暴雪天气的主要影响系统，中低层的冷空气南下较深是这次降雪维持的主要因素。

2 月 6 日南京机场地面气温在 4℃~5℃，7 日 2 时降至 2℃，开始雨夹雪天气，04 时降至 0℃，转为小雪天气，随后温度一直维持在-1~0 之间，期间以中到大雪为主。对比两次过程可见：南京机场下暴雪时 700 hPa 温度 0℃线南压到 32°N 或以南地区，850 hPa 温度 0℃南压到 30°N 以南，-4℃线南压到 29°N~30°N，地面温度 ≤0℃。

3. 相态演变对比

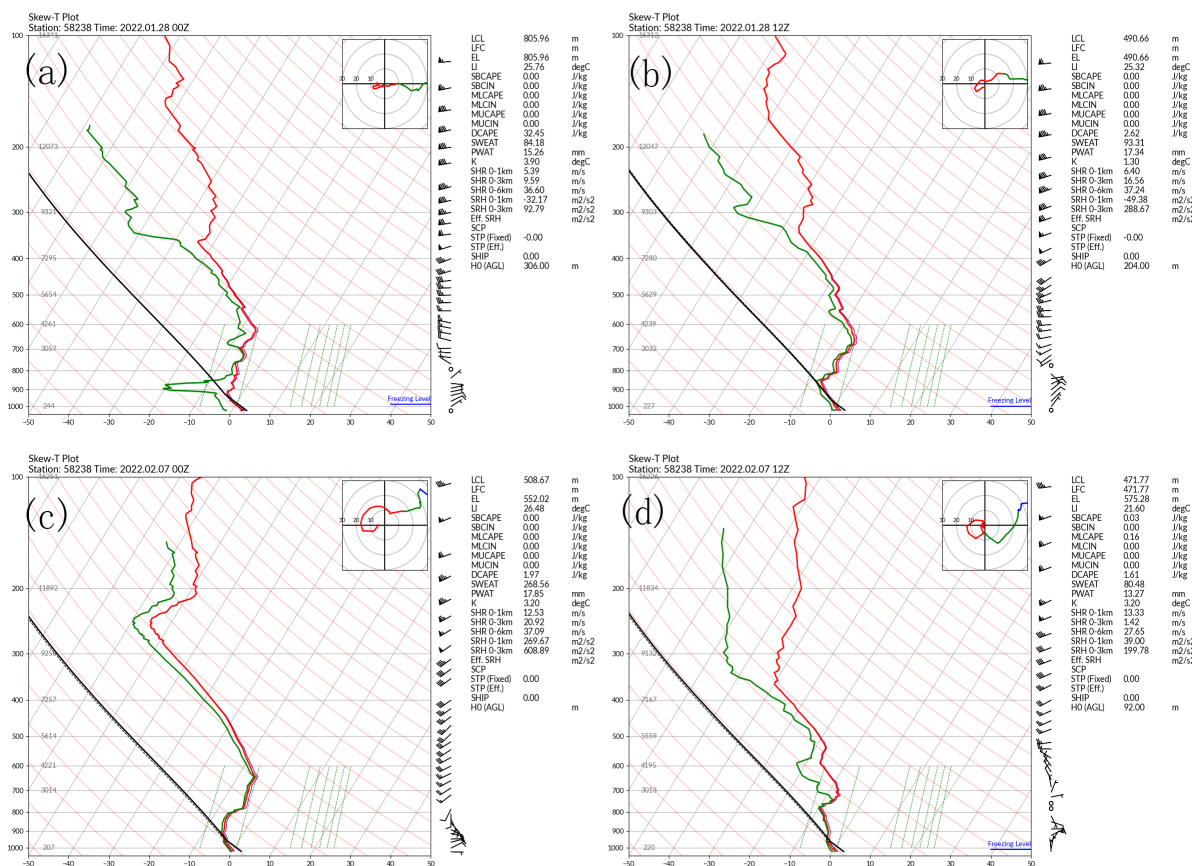


Figure 2. Sounding map of Nanjing Station (wmo id: 58238): (a) 08:00 on 28 January; (b) 08:00 on 7 February; (c) 20:00 on 28 January; (d) 20:00 on 7 February

图 2. 南京站(58238)的探空图: (a) 01 月 28 日 08 时; (b) 02 月 07 日 08 时; (c) 01 月 28 日 20 时; (d) 02 月 07 日 20 时

雪的增长主要发生在 500 hPa 以下的中低层, 其形成主要是由于在混合云中冰水共存, 从而使冰晶不断凝华增大, 成为雪花。当云下气温低于 0℃时, 雪花可以维持落到地面, 如果云下气温高于 0℃时, 则可能出现雨夹雪或冻雨。因此, 0℃层的高度以及 500 hPa 以下大气层的温度层结分布对降雪的形成有着重要影响[6]。

1月28日08时(图2(a))南京地面温度在3℃, -4℃位于800 hPa, 近地面为干区, 中层的降雪在下降过程中逐渐升华或升温后转为降水, 20时(图2(c))地面温度降至1℃, -4℃位于900 hPa, 这与南京机场19时由小雨转为雨夹雪天气相一致。

2月7日08时(图2(b))和20时(图2(d))整层的气温均在0℃以下, 地面温度0℃, 850 hPa达到-5℃, -4℃位于900 hPa, 为降雪提供了充分的气温条件。在暴雪发生期间800 hPa与750 hPa之间有逆温存在, 这与前人研究暴雪天气发生时: 空气层结有逆温特性, 空气层结中暖下冷, 中层有明显逆温层的结论相一致[6]。

对比可以见: 南京机场下大雪时中低层水汽饱和且无干区, 925~800 hPa 温度 $\leq 3^\circ\text{C}$ 或 -4°C , 地面温度 $\leq 0^\circ\text{C}$, 800~700 hPa 存在明显逆温。

4. 模式结果诊断分析

4.1. 水汽的输送

分析700 hPa的西南急流(图略): 01.28过程中27日08时急流中心为16~22 m/s, 呈东西向带状, 主要位于湖南、贵州, 之后急流中心不断向偏东方向移动, 27日20时, 低空急流等风速线变得密集, 28日01~06时, 18~22 m/s的西南风速稳定位于江西-安徽交界区域, 28日07时开始, 西南风速明显东压到长江以南, 14时后急流逐渐南压减弱。02.07过程中, 急流中心走向较01.28过程纬向性更强一些, 呈西南-东北向, 6日20时急流中心为18~22 m/s, 7日09时达到18~26 m/s, 覆盖整个江南地区, 急流出口区位于安徽南部、浙江北部和江苏中南部, 7日20时后急流带缓慢东移减弱。可见强劲的西南急流为这两次雨雪过程输送充足的水汽, 雨雪主要发生在急流的出口内侧区域。

4.2. 垂直运动的诊断

大气中的水汽凝结与上升运动有着密不可分的联系[5]。通过分析沿南京机场逐时次的垂直剖面图发现, 01.28过程(图3(a)), 700 hPa以下以下下沉运动为主, 上升大值在1月28日0时至10时, 位于500 hPa附近, 期间500米高度以下温度在 1°C ~ 2.5°C 之间。02.07过程(图3(b))从近地面到400 hPa均为上升运动, 且2月6日22时至7日06时上升中心大值一直维持在500 hPa, 与水汽通量散度的辐合层次相对应; 从7日0时开始500米以下温度低于 0°C , 03~10时地面温度低于 0°C , 有利于降雪形成。

4.3. 降水相态预报分析

本次模拟采用的微物理过程为WSM6方案, 它含有水汽、云水、雨、雪、霰五类水凝物粒子, 方案中包含冰、雪和霰过程[7][8], 因此模式输出结果中包含大气中的雨水混合比(qrain)和冻结部分的冰混合比(qice)、雪混合比(qsnow)和霰混合比(qgraup), 尝试利用这些物理量进行降水相态变化分析[9]。01.28过程中冰、雪、霰主要出现在皖南山区(图4(a)~(c)), 02.07过程冰粒子位于4~5 Km高度(图4(d)), 横跨皖南至苏中等地区, 霰粒子与01.28过程类似主要出现在皖南山区(图4(e)), 雪粒子分布在 30°N ~ 32°N 范围内2 Km以下近地面区域(图4(f))。对比可见4~5 Km高度是冰相粒子形成的源区, 良好的温度层结是冰雪粒子维持的重要原因, 近地面的雪混合比可以作为降雪预报的重要参考。

利用近地面大气层中的冻结部分降水混合比在可凝结成降水的水汽混合比中的比例,判断雨雪分界线及雨夹雪区或雨、雪过渡区[9]。假设: $snf = (qsnow + qice + qgraup)/qpr$, 其中 $qpr = qrain + qsnow + qice + qgraup$, 结合实况情况,此次模拟以 0.80 为判断降雪阈值,即 $snf \geq 0.80$ 降水相态为雪,而 $0 < snf < 0.80$,降水类型为雨夹雪、雨、雪(霰、冰粒等)混合态, $snf = 0$,降水类型仍为雨。

从模拟范围来看,01.28 过程(图 5(a))降雪区域位于皖南和浙西北,02.07 过程(图 5(b))位于安徽大部、江苏中南部、浙西北地区,模式对两次天气系统影响下的降水相态预报基本与实况范围一致,两次降雪天气均是由雨、雪、雨转雪或雨夹雪等混合相态降水共同组成的大范围过程的一部分,整个过程的降水量和落区基本都是准确的,因此利用 $snf \geq 0.80$ 作为苏皖南部雨雪分界线及降水相态随时间的演变情况是可行的。

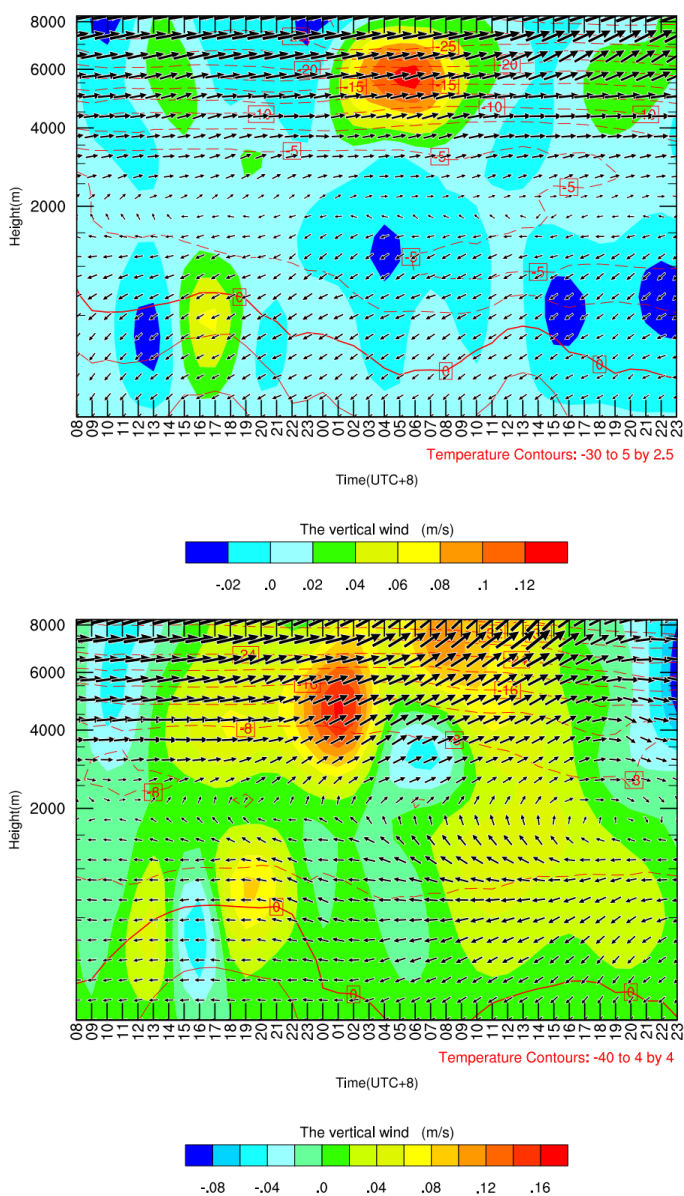


Figure 3. Hourly vertical section with airport as the center
图 3. 以机场为中心的逐时次垂直剖面图

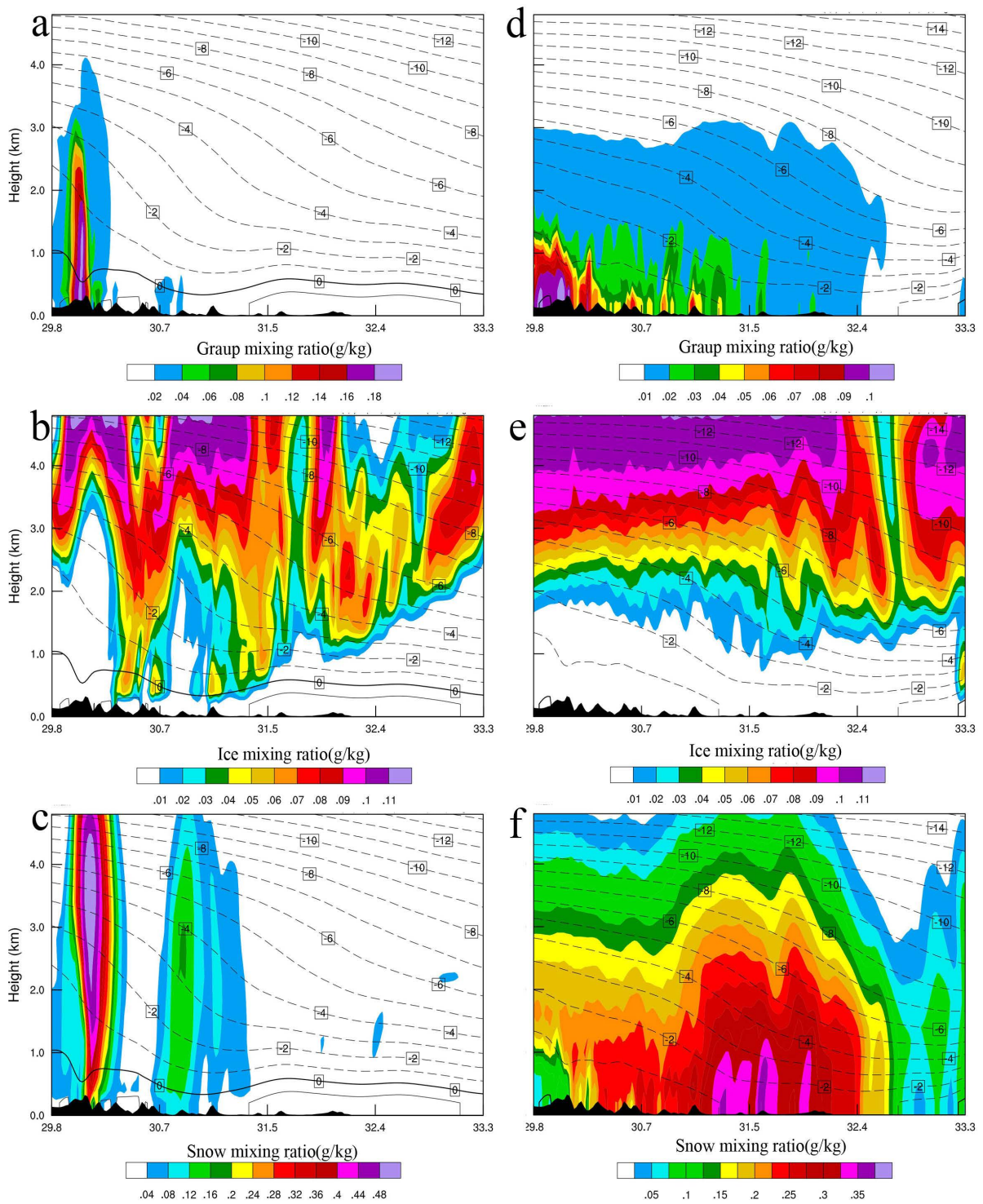


Figure 4. Cross-section of water-material mixing ratio (unit: g/kg) and temperature (unit: °C) along the center of the airport. (a) Ice mixing ratio at 12:00 on January 28; (b) Graupel mixing ratio at 12:00 on January 28; (c) Snow mixing ratio at 12:00 on January 28; (d) Ice mixing ratio at 10:00 on February 07; (e) Graupel mixing ratio at 10:00 on February 07; (f) Snow mixing ratio at 10:00 on February 07

图 4. 沿机场中心的水物质混合比(单位: g/kg)和温度(单位: °C)剖面图; (a) 01 月 28 日 12 时冰混合比; (b) 01 月 28 日 12 时霰混合比; (c) 01 月 28 日 12 时雪混合比; (d) 02 月 07 日 10 时冰混合比; (e) 02 月 07 日 10 时霰混合比; (f) 02 月 07 日 10 时雪混合比

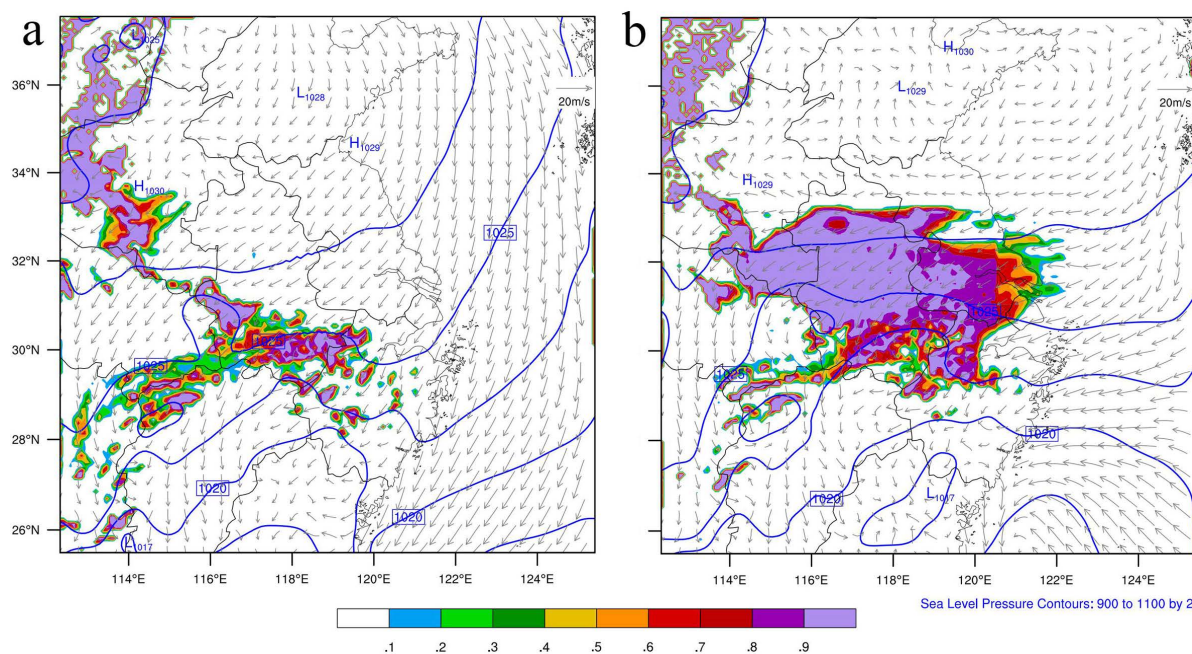


Figure 5. Distribution of snowfall phase (a) 12 o'clock on 28 January; (b) 10 o'clock on 7 February

图 5. 降雪相态分布(a) 01 月 28 日 12 时; (b) 02 月 07 日 10 时

5. 小结

1) 两次过程南支槽均稳定维持, 槽前西南气流伸展到我国华东地区, 阻塞高压东部低槽西部携带的冷空气与暖湿空气在长江中下游地区上空激烈交汇, 雨雪天气主要发生在低空急流的出口内侧和 700 hPa 切变线的风速辐合区中, 水汽通量散度的辐合区和上升运动场的合理配置是暴雪产生的重要原因。

2) 通过两次不同强度雨雪过程的对比分析, 初步得出南京机场大雪短期预报的着眼点: 南京机场下暴雪时 700 hPa 温度 0°C 线南压到 32°N 或以南地区, 850 hPa 温度 0°C 南压到 30°N 以南, -4°C 线南压到 29°N~30°N, 925~800 hPa 温度 $\leq -3^\circ\text{C}$ 或 -4°C , 地面温度 $\leq 0^\circ\text{C}$, 800~700 hPa 存在明显逆温。

3) 模式对两次天气系统影响下的降水相态预报基本与实况范围一致。4~5 Km 高度是冰相粒子形成的源区, 良好的温度层结是冰雪粒子降落维持的重要原因, 近地面的雪混合比可以作为降雪预报的重要参考。可以通过对近地面大气层中冻结部分降水混合比在可凝结成降水水汽混合比中的比例 ≥ 0.80 作为判断雨雪分界线的参考。

参考文献

- [1] 梁秋枫, 郭秀凤, 苏蕾. 从一次强雷雨气象保障看如何提高 MDRS 气象支持[J]. 民航管理, 2020(5): 52-53.
- [2] 肖蕾, 唐海, 张云秋, 谢和林. 遵义市冬末初春两次寒潮降雪天气过程对比分析[J]. 贵州气象, 2018, 42(3): 73-79.
- [3] 吕翔, 王珂玮, 张庆池, 等. 江苏省一次强降雪天气成因及冷空气作用分析[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(S2): 194-199, 284.
- [4] Zhou, H.-L. and Chen, M. (2012) Diagnostic Analysis of a Snowfall Weather in Beijing, Tianjin and Hebei in 2010. *Meteorological and Environmental Research*, 3, 32-35+40.
- [5] 胡玉玲, 谢义明, 汪婵娟, 孙忠德, 杨柳. 淮河以南一次罕见暴雪天气的成因以及数值预报产品的诊断分析[C]// 中国气象学会. 中国气象学会 2008 年年会极端天气气候事件与应急气象服务分会场论文集. 2008: 521-527.
- [6] 郑婧, 许爱华, 刘波, 许彬. 江西省冬季大雪气候概况和环流特征分析[J]. 气象与减灾研究, 2009, 32(1): 32-38.

- [7] 李正金, 李菁, 刘冬晴, 束宇. 南京 2018 年 1 月两次强降雪过程的对比分析[C]//中国气象学会. 第 35 届中国气象学会年会 S1 灾害天气监测、分析与预报. 2018: 947-953.
- [8] 廖镜彪, 王雪梅, 夏北成, 等. WRF 模式中微物理和积云参数化方案的对比试验[J]. 热带气象学报, 2012(4): 461-470.
- [9] 崔锦, 周晓珊, 阎琦, 张爱忠, 李得勤, 宋国云, 陈雨. WRF 模式不同微物理过程对东北降水相态预报的影响[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(5): 1-6.