

许先煌,张芳华,2024. 2024 年 2 月大气环流和天气分析[J]. 气象, 50(5):642-648. Xu X H, Zhang F H, 2024. Analysis of the February 2024 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon, 50(5):642-648(in Chinese).

2024 年 2 月大气环流和天气分析

许先煌 张芳华

国家气象中心, 北京 100081

提 要: 2024 年 2 月北半球大气环流主要特征表现为极涡呈偶极型, 东半球极涡中心位于鄂霍次克海到勘察加半岛上空, 较常年同期偏强, 影响我国的冷空气路径偏东; 中纬度环流呈三波型, 位于西伯利亚的平均槽较常年偏强, 西风带短波槽活动频繁; 南支槽位置偏东, 西太平洋副热带高压显著偏强。2 月全国平均气温为 -1.8°C , 较常年同期 (-1.3°C) 偏低 0.5°C ; 平均降水量为 22.5 mm , 较常年同期 (16.3 mm) 偏多 38% 。月内有 3 次主要冷空气过程, 其中 2 月 17—22 日强寒潮造成剧烈降温 and 显著低温。受南下冷空气和强盛的西南暖湿气流共同影响, 月内出现 2 次大范围持续性低温雨雪冰冻天气过程, 冻雨强度大、范围广, 降水量具有极端性, 对春运造成严重影响。此外, 2 月还出现了年度首次沙尘和强对流天气过程。

关键词: 大气环流, 寒潮, 雨雪, 冰冻, 持续性低温, 极端性

中图分类号: P448, P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2024.041801

Analysis of the February 2024 Atmospheric Circulation and Weather

XU Xianhuang ZHANG Fanghua

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: The main characteristics of the atmospheric circulation in February 2024 are as follows. There were two polar vortex centers in the Northern Hemisphere. The eastern polar vortex, which was stronger than normal, was centered over the Sea of Okhotsk to the Kamchatka Peninsula, making the trajectory of cold air more eastward. In mid-latitude the circulation was distributed in a three-wave pattern, with the average trough in Siberia stronger than usual, causing the frequent occurrence of short-wave trough in the westerlies. The southern trough was more eastward than before and the Western Pacific subtropical high was significantly stronger. The monthly mean temperature was -1.8°C , 0.5°C lower than normal (-1.3°C), and the monthly mean precipitation was 22.5 mm , 38% more than normal (16.3 mm). There were three major cold air processes during the month, of which the strong cold wave during 17—22 February led to severe cooling and significant low temperatures. Due to the combined influence of southward cold air and the southwest warm-humid airflow, two extreme persistent low-temperature rainy and snowy weather processes occurred in the central and eastern regions of China. During the processes of low-temperature and freezing weather, the intensity and range of freezing rain were large, and the precipitation amount was somewhat extreme. Such a weather condition created many difficulties for the Spring Festival traffic. In addition, sandstorm and severe convective weather were monitored for the first time in this year.

Key words: atmospheric circulation, cold wave, rain and snow, freezing, persistent low temperature, extremity

2024 年 4 月 10 日收稿; 2024 年 4 月 18 日收修定稿

第一作者: 许先煌, 主要从事短期天气预报工作. E-mail: 870759294@qq.com

1 天气概况

1.1 降水

2024年2月,全国平均降水量为22.5 mm,较常年同期(16.3 mm)偏多38%(国家气候中心,2024)。从全国降水量空间分布(图1)可以看出,我国中东部大部地区累计降水量超过10 mm,其中,黄淮南部、江淮、江汉、江南及华南北部等地有50~220 mm,江西东北部和浙江西部等地超过250 mm,50 mm以上的强降水分布比较集中。从降水量距平百分率的空间分布(图2)可以看出,全国大部地区以正距平为主,新疆北部山区和南疆盆地、西藏、西北地区东部、内蒙古大部、华北大部、东北地区西

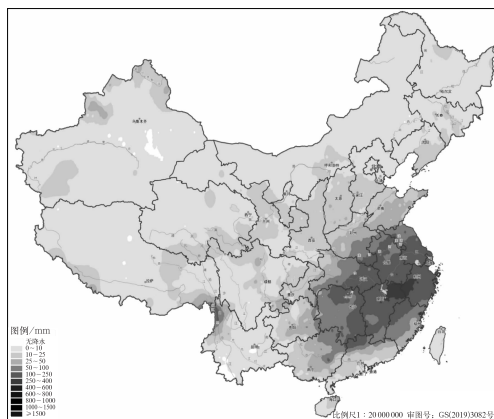


图1 2024年2月全国降水量分布

Fig.1 Distribution of total precipitation over China in February 2024

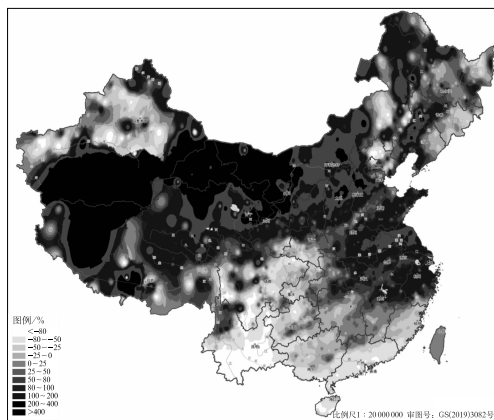


图2 2024年2月全国降水量距平百分率分布

Fig.2 Distribution of precipitation anomaly percentage over China in February 2024

部、黄淮、江淮、江汉、江南北部等地降水偏多5成以上,部分地区偏多2~4倍以上;而新疆北部、东北地区东部、河北北部以及西南地区东部和南部、华南等地偏少5成以上,部分地区偏少8成以上。

1.2 气温

2024年2月,全国平均气温为 -1.8°C ,较常年同期(-1.3°C)偏低 0.5°C (国家气候中心,2024)。从2月气温距平的空间分布(图3)可以看出,全国大部地区气温以偏低为主,其中,内蒙古大部、新疆北部、甘肃、陕西南部、黄淮南部、江淮西部、江汉、西南地区东部、江南西部和华南北部等地较常年同期偏低 1°C 以上,其中新疆北部、内蒙古东部、甘肃西北部、湖南北部和湖北中东部等地偏低 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$,局地偏低 4°C 以上;东北地区东部、西南地区南部和华南南部等地气温较常年同期偏高 1°C 以上,四川南部、云南东部等地偏高 2°C 以上。

2 环流特征与演变

2.1 环流特征

图4为2024年2月500 hPa平均位势高度场及距平场的水平分布。与常年同期相比,2月北半球环流形势有以下主要特征。

北半球极涡呈偶极型,主要中心位于西半球加拿大北部到格陵兰岛上空,中心强度低于504 dagpm;次中心位于东半球鄂霍次克海到勘察加半岛上空,

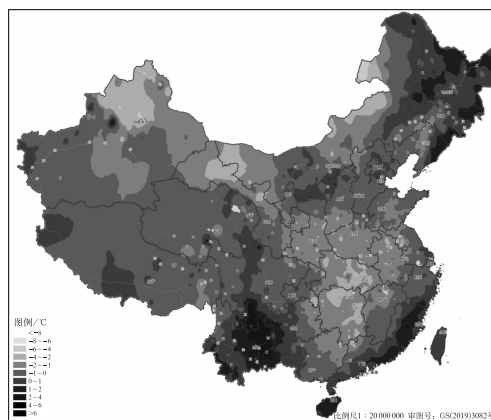


图3 2024年2月全国气温距平分布

Fig.3 Distribution of temperature anomaly over China in February 2024

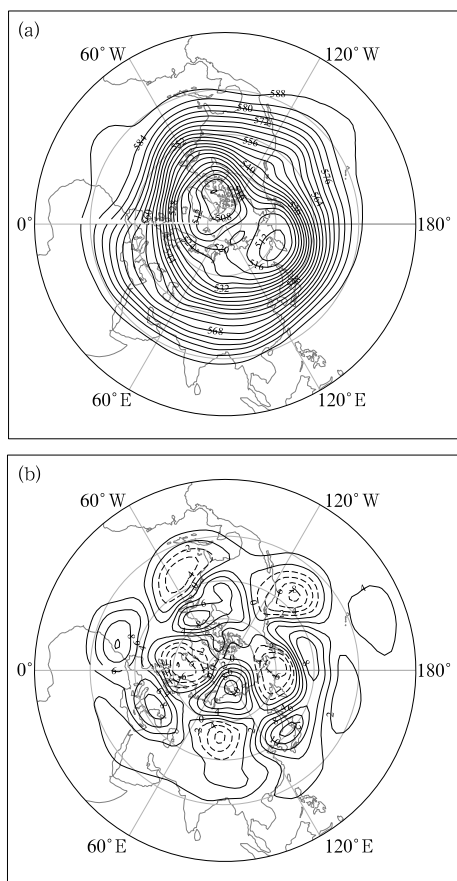


图 4 2024 年 2 月北半球 500 hPa(a)平均位势高度场和(b)距平场(单位: dagpm)

Fig. 4 (a) Monthly average geopotential height and (b) its anomaly at 500 hPa in the Northern Hemisphere in February 2024 (unit: dagpm)

中心强度低于 512 dagpm(图 4a)。相应的高度场距平分别为 2~8 dagpm 和 -6~-2 dagpm(图 4b), 表明东半球极涡中心较常年偏强, 对应影响我国的冷空气路径较偏东(尤媛等, 2023), 中东部地区先后受 3 次冷空气影响, 大部地区平均气温偏低。中高纬度西风带呈现三波型, 平均槽分别位于西伯利亚、日本海以东和大西洋西部(图 4a), 较常年平均位置偏东(权婉晴和孙军, 2023); 其中位于西伯利亚的平均槽强于常年同期, 对应高度距平为 -6~-2 dagpm(图 4b), 因而我国频繁受西风带波动影响, 月平均气温偏低、降水偏多。

在副热带地区, 南支槽平均位于 100°E 附近(图 4a), 强度接近常年, 位置偏东约 10 个经距(图 4b), 有利于来自孟加拉湾和阿拉伯海的西南暖湿气流流向我国输送水汽。副热带高压(以下简称副高)呈带状环绕全球分布, 面积偏大、强度显著偏强(图略); 相

应的副高脊线偏北, 有利于南支槽前西南暖湿气流向北扩展至我国北方地区, 与频繁南下的冷空气共同作用, 产生大范围雨雪天气。此外, 对流层中低层强盛的西南暖湿气流在低层冷垫上爬升, 形成“冷-暖-冷”的温度层结, 有利于产生冻雨或冰粒等复杂降水相态(漆梁波和张瑛, 2012)。

2.2 环流演变与我国天气

图 5 分别为 2024 年 2 月上、中、下旬欧亚地区 500 hPa 平均高度场。上旬(图 5a), 欧亚中高纬度环流呈现“两槽一脊”型分布, 两个低压槽分别位于欧洲到亚洲西部以及勘察加半岛附近, 高压脊则位于西伯利亚地区。结合逐日环流演变(图略)分析, 北支锋区上有短波槽东移引导冷空气南下, 我国中东部地区持续受冷高压控制, 旬平均气温较常年偏低, 湖北、湖南、贵州等地偏低 4~5℃。受南下冷空气与南支槽前西南暖湿气流共同影响, 1 月 31 日至 2 月 6 日, 中东部地区出现大范围雨雪冰冻天气过

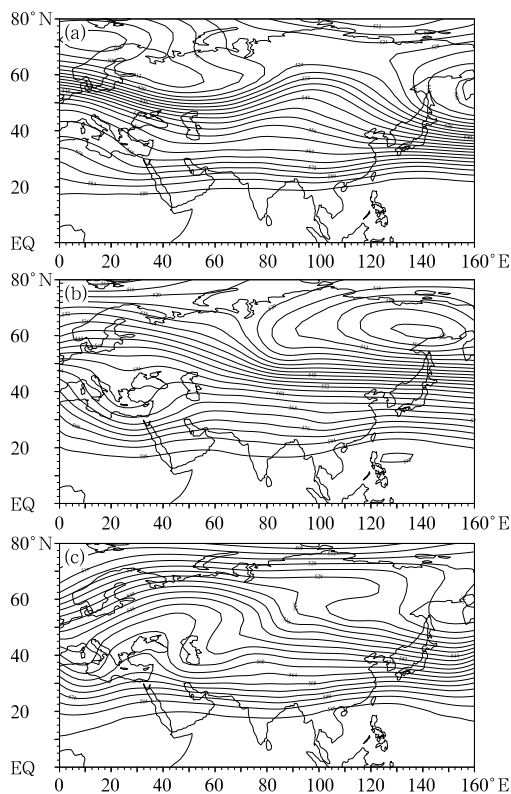


图 5 2024 年 2 月(a)上旬、(b)中旬和(c)下旬 500 hPa 平均位势高度场(单位: dagpm)

Fig. 5 Average geopotential height at 500 hPa over Eurasia in the (a) first, (b) second and (c) third dekads of February 2024 (unit: dagpm)

程,部分地区出现强降雪或冻雨。

中旬(图 5b),欧亚中高纬度环流演变为“一脊一槽”型,乌拉尔山阻塞高压向东北方向强烈发展,平均低涡中心位于亚洲东北部,逐日环流演变(图略)表现为东西向分布的多个低值中心,中心值最低达 484 dagpm,对应的冷温度中心最强达 -52°C 。冷涡旋转引导冷空气南下,13—15 日、17—22 日我国先后出现寒潮天气。同时,寒潮到来之前地面气旋强烈发展,气温显著回升,导致旬内气温起伏剧烈而旬平均气温显著偏高。地面气旋及其与冷高压之间形成的强气压梯度,产生大范围大风天气,17—20 日中西部地区出现今年首次沙尘天气过程。另外,中旬后期南支波动亦有所加强,18—25 日中东部地区再次出现大范围雨雪冰冻天气,冻雨范围大于上旬过程,但强度不及上次;由于副高较上旬进一步北抬增强,强盛的西南暖湿气流向北挺进,东北地区、华北等地先后出现强降雪,江南部分地区出现强对流。

下旬(图 5c),欧亚大陆继续维持“一脊一槽”环流型,平均槽和脊较中旬东移,横贯亚洲大陆中北部。这种形势有利于槽前冷空气频繁南下影响我

国,旬前期的强寒潮过程之后,旬后期冷空气势力明显减弱,但地面锋区在江南、华南等地维持并伴有持续阴雨天气,25 日前后气温才开始缓慢回升,导致旬平均气温较常年显著偏低。除了 18—25 日大范围雨雪冰冻天气外,28—29 日受新一股冷空气和暖湿气流共同影响,江南、华南等地出现中到大雨。

3 冷空气活动

3.1 概 况

2024 年 2 月共有 3 次冷空气过程影响我国(表 1),整体势力偏强,中旬至下旬前期连续出现 2 次寒潮天气过程。同时,1 月 31 日至 2 月 2 日较强冷空气和 2 月 17—22 日强寒潮过程均造成大范围持续性低温雨雪冰冻天气,后者使全国大部地区气温普遍下降 $8\sim 16^{\circ}\text{C}$,部分地区下降 18°C 以上,降温幅度非常剧烈,中西部地区出现 2024 年第一次沙尘天气过程,南方地区还出现大范围强对流天气。下文将重点分析 2 月 17—22 日强寒潮天气过程。

表 1 2024 年 2 月主要冷空气过程

Table 1 Major cold air processes in February 2024

影响时段	强度	影响区域	降温	大风
1 月 31 至 2 月 2 日	较强冷空气	内蒙古中东部、华北、东北地区、黄淮、江淮、江汉、江南等地	内蒙古中东部、东北地区东部和南部、华北、黄淮、江淮、江汉、江南、华南北部等地气温下降 $4\sim 8^{\circ}\text{C}$,其中,内蒙古中部、吉林东部、辽宁东北部等地降温 10°C 以上	中东部地区先后出现 4~6 级风,阵风 7~8 级;东部沿海地区平均风 7 级,阵风 8 级左右
2 月 13—15 日	寒潮	西北地区、东北地区、华北、黄淮、江淮、江汉、江南、华南北部、西南地区东部	新疆北部及中东部大部地区气温下降 $4\sim 8^{\circ}\text{C}$,其中,新疆北部、西北地区东部、内蒙古中东部、东北地区、黄淮东部等地部分地区降温 12°C 以上	西北地区及中东部大部先后出现 4~6 级风,阵风 7~9 级;其中,新疆、内蒙古以及黄淮、江汉、华东沿海等地平均风力 7~8 级,阵风 9~10 级
2 月 17—22 日	强寒潮	西北地区、东北地区、华北、黄淮、江淮、江汉、江南、华南、西南地区东部	全国出现大范围强降温,气温普遍下降 $8\sim 16^{\circ}\text{C}$,其中,新疆、内蒙古、东北地区、黄淮南部、江淮西部、江汉、江南大部、华南北部和西部及贵州等地累计降温 18°C 以上	全国大部先后出现 4~6 级风,阵风 7~9 级;其中,西北地区、青藏高原及东部沿海地区平均风力 7 级以上,新疆山口地区阵风 11~13 级;江西北部、浙江东部和南部局地出现 8~10 级雷暴大风

3.2 2 月 17—22 日强寒潮天气过程

17—22 日,受强寒潮影响,我国大部地区气温先后下降 $8\sim 16^{\circ}\text{C}$,其中,新疆、内蒙古、东北地区、黄淮南部、江淮西部、江汉、江南大部、华南北部和西部以及贵州等地累计降温幅度 18°C 以上,贵州、湖南、广西等局地降温甚至超过 25°C ;大部地区伴有 4~6 级风,阵风 7~9 级,新疆沿天山和东疆地区风力达 11~13 级,局地 15~16 级,西北地区出现沙尘暴。

冷暖气流共同作用使得中东部地区出现大范围降雨、降雪或雨转雪、冻雨、冰粒等复杂的天气现象,剧烈降温和雨雪天气使得中东部地区出现持续低温天气。17—19 日,寒潮主要影响长江以北地区;20—22 日,寒潮继续南下,影响中东部大部地区。23 日早晨最低气温 0°C 线南压至浙江北部、江西中部、湖南南部、贵州中东部一带;22—24 日,江淮、江南西部等地最高气温持续在 0°C 以下,较常年同期显著偏低。

由 17 日 08 时(北京时,下同)500 hPa 和海平面气压场分布(图 6a)可以看出,亚洲中高纬度地区受庞大的低涡系统控制,其两侧分别有阻塞高压发展,有利于低涡维持和冷空气堆积;西伯利亚高压中心强度达 1050 hPa 以上,高压前部在蒙古国东部至我国内蒙古地区为东北—西南走向的气旋,冷锋首先从新疆北部进入我国,强气压梯度和变压梯度导致西北地区出现强风和沙尘暴天气。19 日 08 时(图 6b),低涡中心旋转东移至俄罗斯远东地区,其后部横槽稳定在我国新疆以北地区,500 hPa 和 850 hPa 相应的冷中心分别达 -48°C 和 -32°C 以下(图略),表明冷空气势力非常强大。西伯利亚高压主体东移,高压东半部轴向呈西北—东南走向,寒潮沿此路径自内蒙古中东部向南影响我国大部地区。

综上所述,由于此次冷空气势力非常强大,而寒潮到来之前,中东部地区受气旋或暖低压控制,气温显著回升,局地甚至突破同期极值,两方面共同作用产生非常剧烈的降温。此外,强降温之后中东部地区仍受冷高压控制,地面锋区在江南至华南一带维持,并维持雨雪冰冻天气,因而出现大范围持续性低温天气。中东部地区气温由前期显著偏高转为显著偏低,从 2 月下旬平均气温来看,黄淮、江淮、江汉、江南大部、华南大部以及贵州等地较常年同期偏低 $5\sim 7^{\circ}\text{C}$,湖南南部、广西东北部等地偏低 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。

4 主要降水过程

4.1 概 况

2 月我国出现 3 次雨雪天气过程(表 2),其中,1 月 31 日至 2 月 6 日和 2 月 18—25 日这 2 次过程影响范围广,雨雪强度大,有一定的极端性;降水相

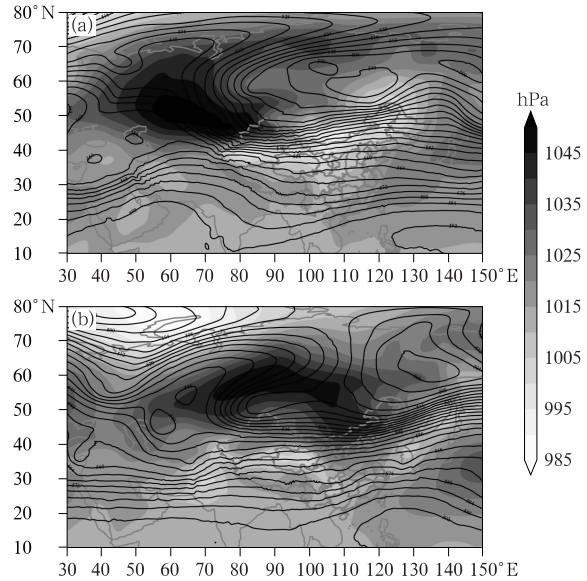


图 6 2024 年 2 月(a)17 日 08 时及(b)19 日 08 时 500 hPa 位势高度(等值线,单位:dagpm)和海平面气压场(阴影)

Fig. 6 Geopotential height at 500 hPa (contour, unit: dagpm) and sea level pressure (shaded) at (a) 08:00 BT 17 and (b) 08:00 BT 19 February 2024

态变化复杂,黄淮、江淮、江南及贵州等地部分地区出现冻雨,南方还伴有对流性天气。半月之内 2 次极端雨雪冰冻天气相继出现,且在春运高峰期,影响很大,尤其是第一次过程正值节前返乡高峰,造成了严重的交通拥堵。其中,第一次过程冻雨强度大,影响范围较广,为 2009 年以来最强的冻雨天气过程,中央气象台发布了冰冻预警标准设立以来首个最高级别的橙色预警。下面将着重分析第一次过程,并与第二次过程进行简要对比。

表 2 2024 年 2 月主要降水过程

Table 2 Major precipitation events in February 2024

降水时段	主要影响系统	影响区域及降水强度
1 月 31 至 2 月 6 日	高空槽、低涡切变线、低空急流、锋面	西北地区大部、内蒙古中西部、华北、黄淮、江淮、江汉、江南北部和西部等地出现降雪或雨转雪,其中,黄淮、江汉、江淮西部等地出现大到暴雪、局地大暴雪,贵州、湖南、湖北、安徽、河南等地出现冻雨;江淮东部、江南中东部、华南北部等地出现中到大雨,局地暴雨
2 月 18—25 日	高空槽、低涡切变线、低空急流、锋面	西北地区东部、内蒙古中西部、东北地区、华北、黄淮、江淮、江汉、江南西部和北部等地出现降雪或雨转雪,其中,东北地区、华北、黄淮、江汉、江淮西部等地出现大到暴雪、局地大暴雪;河南、山东、江苏、安徽、湖北、湖南、贵州等地出现冻雨或冰粒;江南中东部出现大到暴雨、局地大暴雨,并伴有强对流天气
2 月 28—29 日	高空槽、低涡切变线、低空急流、锋面	西北地区东部、内蒙古东北部、东北地区、华北西部、苏皖北部及川西高原北部等地出现小到中雪或雨夹雪;江淮东部、江南大部、华南北部等地出现中到大雨

4.2 1月31日至2月6日雨雪冰冻天气过程

1月31日至2月6日,受高空槽、低空急流、低涡切变线及地面冷锋等系统的共同影响,我国出现大范围雨雪冰冻天气过程。该过程具有持续时间长、降水相态复杂、雨雪和冻雨范围广且强度大等特点,局地降水量具有同期极端性。过程期间,黄淮南部、江淮、江汉、江南西部和北部、西南地区东部等地出现雨夹雪、雨转雪、雪、冻雨等降水相态反复变化;贵州中东部、湖南中北部、湖北中东部、安徽中部、河南东南部等地出现大范围冻雨;黄淮、江汉、江淮西部等地出现大到暴雪、局地大暴雪,累计降水量达40~80 mm,局地超过90 mm,过程最大积雪深度在8~20 cm,最大达27 cm;江淮东部、江南中东部和华南北部等地降雨80~120 mm(图7)。湖南、江苏、贵州、上海等省(市)有10个国家级气象观测站日降水量突破当地2月极值。

过程发生在东路冷空气与西风槽相互作用的背景下。从图8a可以看出,欧亚中高纬度环流呈“两槽一脊”型,乌拉尔山—伊朗高原的深槽底部分裂短波,分别自新疆和青藏高原东移影响我国,东北亚低槽后部的西北风引导较强冷空气南下,为雨雪天气提供动力和低温条件。南支槽位于100°E附近,位置比较偏东,副高中心强度达592 dagpm,较常年同期偏北并显著偏强。副高西侧与南支槽前部的暖湿气流持续向我国东部地区输送水汽,700 hPa比湿达 $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,同时也为冻雨、冰粒的形成提供融化层条件(王传辉等,2020)。3日夜间接至4日(图8b),西西伯利亚低涡旋转带动西北槽东移,与高原槽和

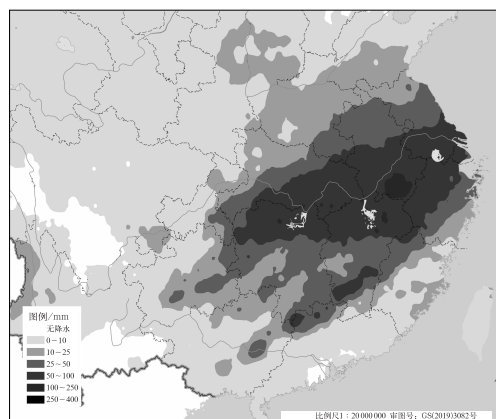


图7 2024年1月31日至2月6日
全国降水量分布

Fig.7 Distribution of total precipitation over
China from 31 January to 6 February 2024

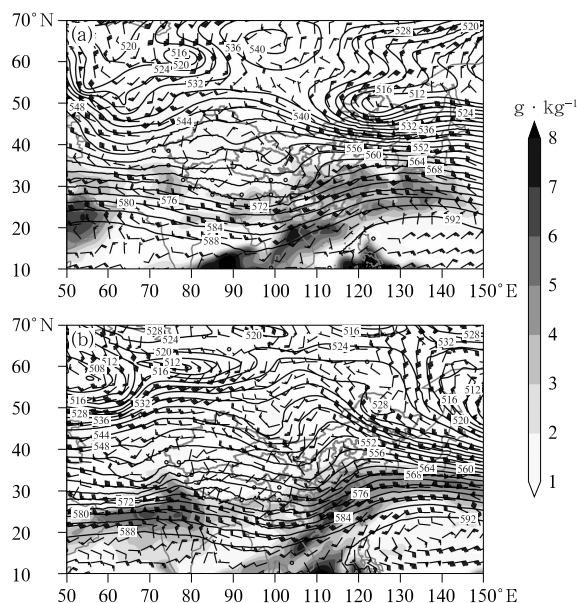


图8 2024年(a)1月31日08时和(b)2月4日
08时500 hPa高度场(等值线,单位:dagpm)、
700 hPa风场(风羽)和比湿(阴影)

Fig.8 Geopotential height (contour,
unit: dagpm) at 500 hPa, and the wind field
(barb) and specific humidity (shaded) on
700 hPa at (a) 08:00 BT 31 January and
(b) 08:00 BT 4 February 2024

南支槽近乎同位相叠加,自蒙古国西部至我国华西地区形成经向度很大的低槽,槽前700 hPa低空急流增强,风速达 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上, $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上的高比湿范围扩大,雨雪天气增强并随高空槽逐渐东移。5—6日(图略),受补充冷空气和新的南支波动影响,贵州、江南、华南等地雨雪天气自西向东发展,由于缺少明显的北支系统配合,降雪范围和强度较前期明显减小。

从降水相态演变来看,1月31日下午开始,随着较强冷空气南下,黄淮南部、江汉、江淮、江南西部和北部、贵州等地先后出现雨转雨夹雪或雪;2月1—6日,上述部分地区还出现了冻雨。以2月20时为例,对比郑州(图9a)和武汉(图9b)的探空曲线可知,两地600 hPa以下近乎饱和,湿层深厚,水汽条件有利于产生明显雨雪天气;受700 hPa附近西南急流和低层冷空气影响,对流层中低层出现逆温,但郑州整层气温都在 -5°C 以下,降水相态为雪;武汉在850~700 hPa出现明显的融化层,气温高达 5°C 左右,而850 hPa以下低于 0°C ,形成“冷-暖-冷”的温度层结,有利于产生冻雨(王宁等,2023)。

2 月出现的 2 次大范围雨雪冰冻过程在环流形势上有一定的相同之处,主要表现为,西风槽东移南下引导冷空气进入我国,副高强于常年同期,南支波动频繁带来更多的热量和水汽。不同的是第二次过程低空急流更强,水汽和能量条件优于第一次,南方降雨更强,并出现区域性强对流天气;冷空气强于第一次,融化层之下的冻结层深厚且温度较低,导致出现大范围冰粒,冻雨的强度不及第一次。

5 其他灾害性天气

5.1 沙尘天气

在 2024 年 2 月中旬的强寒潮过程中,受冷高压和地面气旋共同影响,我国自西向东出现大风天气。17—20 日中西部地区出现今年首次沙尘暴天气过程,较 2000 年以来平均首发日期略偏晚,但强度达到强沙尘暴级别。新疆沿天山地区和南疆盆地、甘肃、青海北部、内蒙古中西部、陕西、山西西南部、河南中西部、四川盆地、湖北中西部等地出现扬沙或浮尘,其中,南疆盆地、宁夏北部、内蒙古西部、陕西西北部等地出现沙尘暴或强沙尘暴,局地特强沙尘暴,最低能见度不足 50 m。强寒潮带来的大风,以及沙源地土壤湿度低、大部分地区前期平均气温偏高等

动热力条件,有利于起沙和沙尘传输。

5.2 强对流天气

2 月 19—21 日,我国出现今年首次区域性强对流天气过程。湖北东部、安徽南部、湖南中南部、江西中北部、浙江中南部等地出现 $20 \sim 40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水,局地最大小时降水量达 56.1 mm,安徽南部、江西中北部、浙江南部等地局地伴有 8~10 级雷暴大风和冰雹天气,最大冰雹直径超过 2 cm。此次强对流天气过程发生在南支槽前低空急流强烈发展并有冷空气南下的天气背景下,700 hPa 西南急流达 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,江南地区整层可降水量达 35 mm 以上,对流有效位能超过 $1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,暖湿气流在低层冷垫上爬升,为强对流天气发生发展提供了有利的水汽、能量和动力条件。

参考文献

- 国家气候中心,2024. 2024 年 2 月中国气候影响评价[R/OL]. http://cmdp.ncc-cma.net/influ/moni_china.php. National Climate Centre,2024. Assessment of climate impact over China in February 2024[R/OL]. http://cmdp.ncc-cma.net/influ/moni_china.php(in Chinese).
- 漆梁波,张瑛,2012. 中国东部地区冬季降水相态的识别判据研究[J]. 气象,38(1):96-102. Qi L B, Zhang Y, 2012. Research on winter precipitation types' discrimination criterion in eastern China[J]. Meteor Mon,38(1):96-102(in Chinese).
- 权婉晴,孙军,2023. 2023 年 2 月大气环流和天气分析[J]. 气象,49(5):633-640. Quan W Q, Sun J, 2023. Analysis of the February 2023 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon,49(5):633-640(in Chinese).
- 王传辉,姚叶青,苗开超,等,2020. 安徽省南部两次冻雨天气过程对比分析[J]. 气象,46(2):169-178. Wang C H, Yao Y Q, Miao K C, et al, 2020. Contrastive analysis of two freezing rain processes in southern Anhui Province[J]. Meteor Mon,46(2):169-178(in Chinese).
- 王宁,云天,布和朝鲁,等,2023. 中国东北地区两场罕见冻雨过程的对比分析[J]. 大气科学,47(4):1267-1282. Wang N, Yun T, Buhe C, et al, 2023. Comparative analysis of the two unusual freezing rain events in Northeast China[J]. Chin J Atmo Sci,47(4):1267-1282(in Chinese).
- 尤媛,饶晓琴,李思腾,等,2023. 2023 年 1 月大气环流和天气分析[J]. 气象,49(4):506-512. You Y, Rao X Q, Li S T, et al, 2023. Analysis of the January 2023 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon,49(4):506-512(in Chinese).

(本文责编:侯翠梅)

