

徐冉,桂海林,尤媛,等,2024.2023 年 12 月大气环流和天气分析[J].气象,50(3):387-392. Xu R,Gui H L,You Y,et al,2024. Analysis of the December 2023 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon,50(3):387-392(in Chinese).

2023 年 12 月大气环流和天气分析*

徐 冉 桂海林 尤 媛 王继康

国家气象中心,北京 100081

提 要: 2023 年 12 月大气环流的主要特征是:北半球极涡呈多极型分布,欧亚中高纬环流经向度大,东亚大槽偏强,西太平洋副热带高压异常强盛。12 月,全国平均降水量为 12.2 mm,较常年同期(11.9 mm)偏多 2.5%;全国平均气温为 -2.6°C ,比常年同期(-3.0°C)偏高 0.4°C 。月内共出现 6 次冷空气过程、1 次沙尘天气过程和 1 次大范围持续性雾-霾天气过程。其中 13—16 日,我国大部地区遭遇的强寒潮过程具有影响范围广、降温幅度大和低温极端性显著等特点。

关键词: 大气环流,冷空气,沙尘,雾-霾

中图分类号: P448,P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2024.022601

Analysis of the December 2023 Atmospheric Circulation and Weather

XU Ran GUI Hailin YOU Yuan WANG Jikang

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: The main characteristics of the general atmospheric circulation in December 2023 are as follows. There were several polar vortex centers in the Northern Hemisphere. The atmospheric circulation presented a great meridionality in mid-latitudes in Eurasia. The East Asian trough was stronger, and the subtropical high ridge in the Western Pacific Ocean was also abnormally stronger this month. The monthly mean precipitation (12.2 mm) over China was 2.5% more than normal (11.9 mm), and the monthly average temperature was -2.6°C , which is 0.4°C above that in the same period of normal years. Totally, there were six cold air processes, one sand-dust weather process and one large-scale fog-haze event reported this month. In particular, the 13—16 December intense cold wave that was encountered in most parts of China heavily was featured with wide influence range, large cooling range and remarkable low temperature extremes.

Key words: atmospheric circulation, cold air, sand-dust, fog-haze

1 天气概况

1.1 降 水

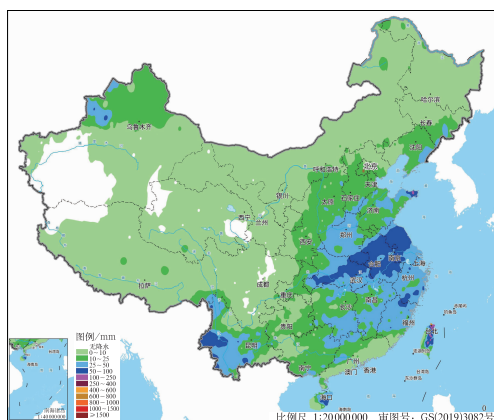
2023 年 12 月,全国平均降水量为 12.2 mm,较常年同期(11.9 mm)偏多 2.5%,河北、山西和内蒙

古降水量为 1961 年以来历史同期最多,北京为第二多,而四川为历史同期最少(国家气候中心,2023)。从空间分布看,华北大部、华东、华中、华南大部、西南地区南部等地累计降水量有 10~50 mm,江苏中部、安徽中南部、湖北西南部和东部、云南西部等地累计降水量超过 50 mm,全国其余大部地区降水量在 10 mm 以下(图 1)。与常年同期相比(图 2),内

* 国家重点研发计划(2022YFC3701205)和中国气象局复盘总结专项(FPZJ2024-164)共同资助

2024 年 2 月 9 日收稿; 2024 年 2 月 27 日收修定稿

第一作者:徐冉,主要从事环境气象预报工作. E-mail: xuran9011@163.com



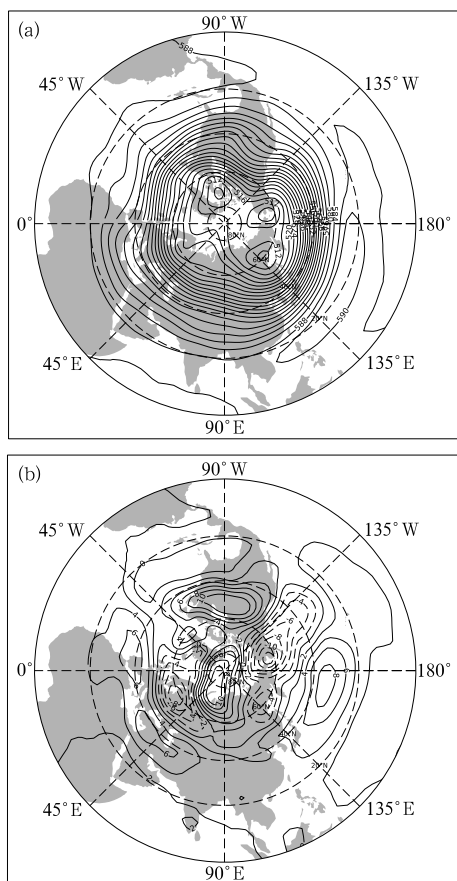


图4 2023年12月北半球500 hPa(a)平均位势高度场和(b)距平场(单位: dagpm)

Fig. 4 (a) Average geopotential height at 500 hPa and (b) its anomaly in the Northern Hemisphere in December 2023 (unit: dagpm)

2.3 副热带高压异常强盛

低纬地区,南支槽平均位于 90°E 附近,强度较常年同期略偏弱。副热带高压呈带状分布,几乎环绕整个北半球副热带地区(图4a),强度较常年明显偏强(图4b)。南支槽前西南暖湿气流与来自高纬地区的冷空气交汇,导致12月我国中东部地区出现大范围的降水天气;而云南、青海和四川等地受偏强的西太平洋副热带高压(以下简称副高)影响,部分地区出现了显著的极端偏暖事件。

2.4 环流演变与我国天气

2023年12月上、中、下旬欧亚地区500 hPa平均高度场如图5所示。总体来看,新地岛附近至乌拉尔山北部有高压脊发展,相较常年同期,东亚大槽位置偏东、偏北且略偏强,东亚中高纬地区环流经向度较大,我国东北部为槽区控制,因此北方冷空气活

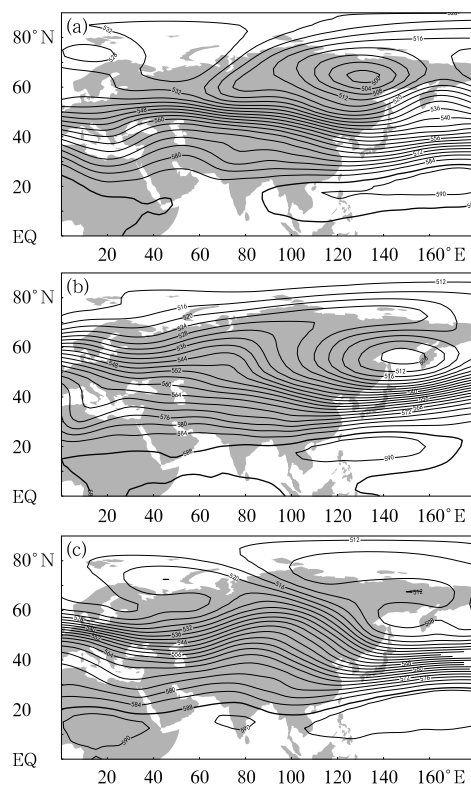


图5 2023年12月(a)上旬、(b)中旬、(c)下旬欧亚地区500 hPa平均位势高度场(单位: dagpm)

Fig. 5 Average geopotential height at 500 hPa over Eurasia in the (a) 1st, (b) 2nd and (c) 3rd dekads of December 2023 (unit: dagpm)

动较为频繁,大气扩散条件整体偏好,内蒙古中东部、华北、黄淮东北部以及东北地区大部气温较常年同期偏低。低纬地区副高异常强盛,不断西伸加强直至与青藏高原西部的伊朗高压打通,几乎贯穿了北半球,造成月内南方大部地区气温偏高。具体如下:

上旬(图5a),亚洲极涡中心位于鄂霍次克海以北的俄罗斯远东地区,极涡为负距平控制,强度明显偏强。欧亚中高纬度环流整体呈现“两槽一脊”型,巴伦支海至地中海一带,以及鄂霍次克海至我国江淮地区均存在一个明显低槽。受槽后西北气流控制,旬内我国冷空气活动较为频繁,12月5—7日和9—11日接连有两股较强冷空气分别影响我国北方和中东部大部地区,东北地区、华北、黄淮、江淮等地大风降温显著。此外,受冷锋系统过境影响,5—9日北方地区还伴有一次明显的扬沙天气过程。

中旬(图5b),亚欧大陆“两槽一脊”环流形势更为明显,槽脊位置和强度较上旬均发生明显变化:乌拉尔山附近的阻塞高压向东北方向发展,脊前横槽位于贝加尔湖至巴尔喀什湖一带;鄂霍次克海偏东地区存在切断低涡,中心强度达508 dagpm。与上

旬相比,我国中高纬地区环流经向度明显加大,冷空气势力增强。受 13—16 日强寒潮和 18—21 日较强冷空气过程影响,我国西北地区及中东部大部出现了“断崖式”降温,气温普遍下降 4°C 以上,并伴有大范围雨雪天气。山西、河北、内蒙古等地有 11 个国家级气象观测站最低气温突破当地建站以来历史纪录。另外,旬内副高异常加强西伸,与青藏高原西部的伊朗高压打通贯穿 20°N 以南大部地区,北脊点临近 25°N ,强大的副高虽然造成西南地区中东部、华南等地高温少雨(四川为历史同期降水最少),但却在其北侧裹挟了海上的大量水汽进入内陆地区,在南支槽及地面冷锋的配合下,冷暖交汇导致华北、黄淮等地出现了大范围强降雨雪天气,部分地区达到暴雪量级。

下旬(图 5c),随着极涡东移入海,我国中高纬环流经向度减小,冷空气势力较前期有所减弱,25—27 日和 30—31 日有两股中等强度冷空气分别影响我国北方和中东部地区。在冷空气间歇期,我国整体处于气温回暖态势,北方大气静稳形势逐渐建立,扩散条件转差,28—31 日我国中东部地区出现了一次极端性较强的大范围持续性雾-霾天气过程。此外,副高稳定维持在低纬地区,并控制欧亚大陆,不利于水汽向北输送;同时,冷空气主体影响范围偏北、势力较弱,造成本旬我国大部地区降水稀少。

3 冷空气活动

3.1 概 况

依据中央气象台冷空气划分标准,12 月有 6 次冷空气过程影响我国(表 1),与历史同期相比(迟茜元等,2021;尤媛等,2022;王继康等,2023),冷空气活动频次较 2020 年(2 次)、2021 年(3 次)和 2022 年(3 次)明显偏多,其中 13—16 日为全国型强寒潮过程,9—11 日和 18—21 日为全国型较强冷空气过程。

3.2 2023 年 12 月 13—16 日强寒潮过程

12 月 13—16 日,受西伯利亚强冷空气南下影响,我国大部地区经历了入冬以来最强寒潮天气过程,其综合强度位列 1961 年以来同期(12 月)最强。过程总体具有影响范围广、降温幅度大和低温极端性显著等特点。受寒潮影响,多地出现明显大风降温天气,西北地区及中东部地区气温普遍下降 6°C 以上,西北地区中西部、华北北部和西部、江淮东部、

江南中东部以及西南地区东南部等地部分地区降温幅度 $10\sim 18^{\circ}\text{C}$,局地达 20°C 以上(表 1)。经统计,共有 95 个国家级气象观测站过程最大降温幅度达到或超过 20°C ,其中以山西大同过程降温幅度最大,为 26.3°C 。过程最大降温幅度超过 8°C 的面积约为 596.7 万 km^2 ,占全国国土面积的 62.2% ,其中,降温幅度超过 14°C 的约有 162.5 万 km^2 。寒潮过程期间,华北、黄淮以及东北部分地区累计降雪量达 10 mm 以上;南方多地出现强降水天气,苏皖中部等地累计降水量超过 25 mm;贵州和湖南局地出现冻雨(表 1)。

12 日,从 500 hPa 位势高度场可见(图 6),乌拉尔山附近的阻塞高压向东北方向强烈发展,脊前横槽位于贝加尔湖至巴尔喀什湖一带。同时,鄂霍次克海附近形成了一个中心值为 504 dagpm 的切断低涡,低涡后部偏北气流将冷空气源源不断向南输送,堆积于新疆以北的西西伯利亚平原,横槽不断西伸加强。13 日起,随着横槽转竖,冷空气主体大举南下,自西北向东南席卷我国大部地区。与此同时,贝加尔湖以东的极涡也逐渐东移南压,东亚大槽不断加深并稳定维持,槽后西北气流引导冷空气沿偏东路径南下影响我国东北地区以及华北、黄淮等地。由于传输距离短,冷空气势力强,因此造成本轮严寒北方地区“超长待机”。此外,当强冷空气途经渤海湾时,海面上空形成明显的冷流云系,给山东半岛带来了大范围持续性的强降雪天气,威海、烟台等地均出现典型的冷流暴雪,其中文登降雪量达到 35.6 mm,属特大暴雪。

4 沙尘天气过程

12 月冷空气活动较为频繁,西北大部地区降水量较常年同期明显偏少,地表无明显积雪覆盖且土壤含水量较低。月内共发生了 1 次沙尘天气过程,总频次与 2022 年同期持平,相较 2020 年和 2021 年(无)呈现偏多态势。5—9 日,新疆南部、内蒙古中西部、宁夏、甘肃中东部、陕西中北部、山西、北京、天津、河北、河南、山东、江苏中北部、安徽北部、四川北部等地出现了扬沙或浮尘天气。根据中央气象台沙尘天气过程划分标准,此次过程为扬沙天气过程。

本轮沙尘天气主要由地面冷锋过境引发。5 日白天,地面冷高压主体位于新疆北部,冷锋前沿压至甘肃中西部、内蒙古西部至宁夏一带,阵风风力达到 $8\sim 9$ 级,局地 10 级。受冷空气大风影响,上述部分

表 1 2023 年 12 月主要冷空气过程

Table 1 Main cold air processes in December 2023

时间	影响区域和冷空气强度	降温幅度	大风、沙尘及雨雪天气
5—7 日	北方较强冷空气	内蒙古东部、东北地区、华北、黄淮、江淮等地出现 4~8℃降温,黑龙江中东部、吉林中东部、辽宁中部等地降温幅度达 10~15℃,黑龙江哈尔滨和七台河、吉林白山局地超过 20℃	新疆北部、内蒙古东北部、黑龙江西部和东部、吉林东部、西藏东部、云南西北部等地部分地区出现小到中雪或雨夹雪;云南西部出现中到大雨;北方大部地区出现 6~9 级阵风,部分地区风力超过 10 级。新疆南部、内蒙古中西部、宁夏、甘肃中东部、陕西中北部、山西、北京、天津、河北、河南、山东、江苏中北部、安徽北部、四川北部等地出现了扬沙或浮尘天气
9—11 日	全国较强冷空气	东北地区、华北、黄淮、江汉、江淮、江南西部和北部等地气温下降 6~10℃,东北地区中部、华北南部、黄淮等地降温幅度达 12℃以上	内蒙古东北部、黑龙江东部、吉林东北部、天津南部、河北东部和南部、河南、山东、苏皖北部等地部分地区出现 6~8 级阵风,局地 9~10 级;新疆北部、西藏东部等地部分地区出现小到中雪或雨夹雪,华北、黄淮北部及内蒙古中部偏南地区、陕西中北部等地出现中到大雪或雨夹雪,陕西中部、山西南部、河南北部、新疆伊犁等地的部分地区出现暴雪,山西临汾、河南郑州等地局地降雪量 20~22.4 mm
13—16 日	全国强寒潮	西北地区及中东部地区气温普遍下降 6℃以上,新疆北部、甘肃、宁夏、内蒙古中西部、陕西北部、山西、河北北部、江苏东部和南部、安徽南部、上海、浙江、江西、湖南南部、贵州等地部分地区降温幅度 10~18℃,局地达 20℃以上	中东部大部伴有 6~8 级阵风,局地 9~11 级;中东部出现大范围雨雪天气,华北、黄淮及辽宁等地出现强降雪,部分地区降雪量达大雪或暴雪,贵州、湖南、河南等地局地出现冻雨。华北东南部、华东大部、华中北部和中部等地累计降水量普遍超过 10 mm,江苏中部、安徽中部、湖北中部等地超过 25 mm,局地超过 50 mm
18—21 日	全国较强冷空气	内蒙古中西部、西北地区东部、华北地区、黄淮、江淮、江南中东部、华南东部等地部分地区气温下降 4~8℃,山西北部、辽宁东部、吉林东部等地局部地区降温 10℃以上	内蒙古东部、河北中北部、山西、北京、天津、山东半岛、闽浙沿海及青海南部、西藏北部等地部分地区出现 6~9 级阵风;新疆北部、山东半岛出现小到中雪,山东烟台、威海出现大到暴雪、局地大暴雪
25—27 日	北方中等强度冷空气	华北、东北地区有 4~5 级偏北风,阵风 6~7 级,气温下降 4~6℃,局地降温达 8℃	新疆北部、内蒙古东北部、黑龙江东部、吉林东部等地部分地区出现小雪或雨夹雪,新疆北部局地中雪或大雪
30—31 日	全国中等强度冷空气	中东部部分地区气温下降 4~6℃,内蒙古东北部、东北地区、江南东部等地部分地区下降 8℃以上	新疆北部、内蒙古中部、黑龙江南部、吉林、辽宁、河北西北部、山西北部等地部分地区出现小雪或雨夹雪,局地中雪

地区陆续出现了沙尘天气。5 日夜间至 6 日白天(图 7),冷高压逐渐东移南下,期间中心海平面气压值最高达到 1045 hPa,沙尘在西北风的作用下快速输送至下游地区并逐渐沉降,导致西北地区东部、华北大部、黄淮、江淮等地空气质量迅速转差,首要污染物为 PM₁₀。其中,5 日夜间山西中北部多个城市空气质量指数日均值“爆表”,6 日 04 时 PM₁₀ 小时质量浓度超过 1000 μg · m⁻³,达到严重污染级别。

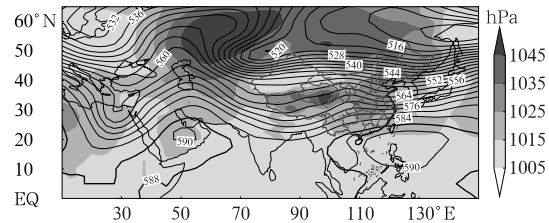


图 6 2023 年 12 月 12 日 08 时 500 hPa 位势高度场(等值线,单位:dagpm)和海平面气压(阴影)
Fig. 6 Geopotential height at 500 hPa (contour, unit: dagpm) and sea level pressure (shaded) at 08:00 BT 12 December 2023

由于冷锋移动速度较快,6 日中午上游沙尘快速输送至华北、黄淮地区,12 时起开始影响北京,截至 21 时北京 PM₁₀ 质量浓度平均峰值攀升至 376 μg · m⁻³,空气质量达中度污染;山东济南连续 10 h 维持 PM₁₀ 中至重度污染水平。8 日白天,随着东部大部地区的气压梯度明显减弱,地面风速减小,沙尘

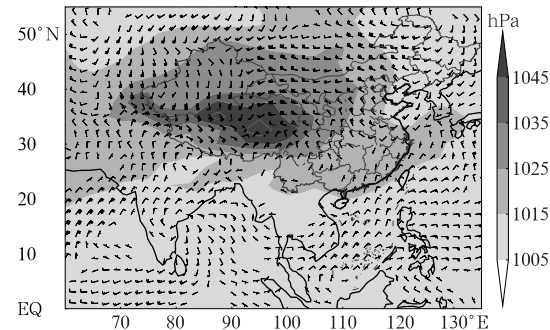


图 7 2023 年 12 月 6 日 02 时海平面气压(阴影)和 10 m 风场(风羽)
Fig. 7 Sea level pressure (shaded) and 10 m wind field (barb) at 02:00 BT 6 December 2023

天气趋于结束。但华北中部后期仍受上游沙源补充影响,9 日白天大气扩散条件才彻底转好。

5 雾-霾过程

12 月 28—31 日,我国中东部出现大范围持续性雾-霾天气,其中河北、山东、安徽、江苏、湖北、四川等 20 个省(自治区、直辖市)出现了强浓雾或特强浓雾(图 8),并伴有 $\text{PM}_{2.5}$ 重度以上污染,上述低能见度天气极端性较强,为此中央气象台于 2023 年 12 月 29—30 日连续发布 3 期大雾红色预警,是历史上第二次连续发布大雾红色预警。此次大雾天气为 2018 年以来最强,大雾影响面积达 280.2 万 km^2 ,与中央气象台发布的首个大雾红色预警过程(2016 年 12 月 31 日至 2017 年 1 月 4 日)基本相当,但浓雾、强浓雾和特强浓雾的影响面积均大于首次红警过程。

本次持续雾-霾过程期间,欧亚中高纬地区呈纬向型环流,影响我国的冷空气势力偏弱,我国长江以北大部地区处于位势高度场正距平区。华北、黄淮盛行偏西气流,边界层内湍流运动弱,有效抑制了混合层高度的抬升,大气层结稳定,水汽和污染物在近地层堆积,有利于雾-霾天气的形成及发展。另外,过程前期(12 月 10—24 日)华北、黄淮等地雨雪过程频繁,降水量较常年同期显著偏多,近地面大气增

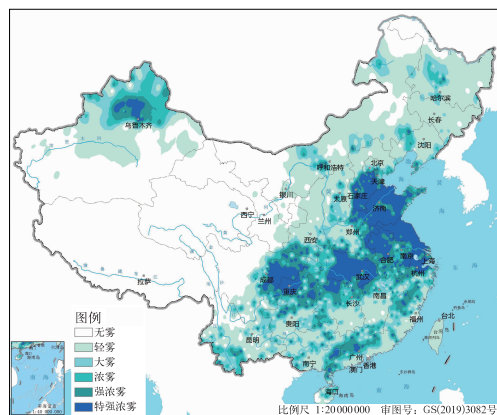


图 8 2023 年 12 月 28—31 日大雾过程实况
Fig. 8 Observation of the heavy fog process
from 28 to 31 December 2023

湿明显;特别是寒潮天气过后,地面积雪化冻有利于近地面维持高湿环境,这为低能见度天气的发生和维持提供了充沛的水汽条件。选取大雾发展最强时段(30 日 08 时)进行分析(图略),华北中南部、黄淮、江淮、江汉等地 2 m 相对湿度均接近饱和状态,850 hPa 晴空少云,长波辐射降温有利于近地面水汽达到饱和,从而形成大雾。黄淮北部、江淮、江汉等地的地面风速维持在 $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,以静小风为主,为水汽的积聚和污染物的跨区域输送提供了有利条件。过程期间,中东部出现了大范围 $\text{PM}_{2.5}$ 污染,一部分气溶胶粒子吸湿膨胀后可以活化为云雾的凝结核,进一步促进大雾的形成。本次污染北京地区 $\text{PM}_{2.5}$ 平均质量浓度呈现出明显的“双峰型”变化,峰值分别出现在 29 日 23 时($172\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)和 30 日 12 时($162\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),并在污染初期呈现爆发性增长,空气质量从良到重度污染仅用了 5 h,总污染时长为 25 h,其中中度及以上污染时长约占 4/5。自 30 日夜间起,受中等强度冷空气影响,北京、天津大气扩散条件转好。但由于该股冷空气势力较弱且影响范围偏北,华北南部、黄淮中东部、江淮、江汉以及东北地区西部等地的雾-霾天气仍继续维持,过程持续至 2024 年 1 月强冷空气到达后才彻底结束。

参考文献

- 迟茜元,马学款,江琪,等,2021. 2020 年 12 月大气环流和天气分析[J]. 气象,47(3):381-388. Chi X Y, Ma X K, Jiang Q, et al, 2021. Analysis of the December 2020 atmospheric circulation and weather [J]. Meteor Mon, 47(3):381-388(in Chinese).
- 国家气候中心,2023. 2023 年 12 月中国气候影响评价[R/OL]. http://cmdp.ncc-cma.net/influ/moni_china.php. National Climate Centre, 2023. Impact assessment of climate over China in December 2023[R/OL]. http://cmdp.ncc-cma.net/influ/moni_china.php(in Chinese).
- 王继康,桂海林,尤媛,等,2023. 2022 年 12 月大气环流和天气分析[J]. 气象,49(3):379-384. Wang J K, Gui H L, You Y, et al, 2023. Analysis of the December 2022 atmospheric circulation and weather [J]. Meteor Mon, 49(3):379-384(in Chinese).
- 尤媛,马学款,李思腾,等,2022. 2021 年 12 月大气环流和天气分析[J]. 气象,48(3):386-392. You Y, Ma X K, Li S T, et al, 2022. Analysis of the December 2021 atmospheric circulation and weather [J]. Meteor Mon, 48(3):386-392(in Chinese).

(本文责编:张芳)