

李多,章大全,2026. 2025/2026 年冬季北半球大气环流特征及对我国天气气候的影响[J]. 气象,52(7):880-892. Li D, Zhang D Q, 2026. Characteristics of atmospheric circulation in Northern Hemisphere in the 2025/2026 winter and its impact on weather and climate of China[J]. Meteor Mon, 52(7):880-892(in Chinese).

2025/2026 年冬季北半球大气环流 特征及对我国天气气候的影响^{*}

李 多 章大全

国家气候中心,中国气象局气候预测研究重点开放实验室,北京 100081

提 要: 文章利用台站观测资料和再分析资料,分析了 2025/2026 年冬季(2025 年 12 月至 2026 年 2 月)我国主要气候特征、大尺度大气环流异常和东亚冬季风特征,并重点探讨了 2 月沙尘天气异常活跃成因。结果表明:2025/2026 年冬季,全国平均气温为 -1.5°C ,较常年同期偏高 1.5°C ,为 1961 年以来历史同期次高;全国平均降水量为 27.4 mm,较常年同期偏少 35.3%,降水量距平呈“北多南少”分布。欧亚大陆中高纬 500 hPa 位势高度场以纬向型环流为主,西风带较为平直,东亚冬季风强度偏弱。冬季共发生 6 次沙尘天气过程,较常年同期偏多 4.2 次,其中沙尘暴过程 3 次,沙尘日数 7.7 d,为 1991 年以来冬季最多。成因分析表明,沙源地暖干气候特征显著,降水偏少、气温偏高导致植被覆盖偏低,地表抗风蚀能力大幅下降,为沙尘暴发生提供了充足的物质基础。在此背景下,强冷空气与蒙古气旋的协同作用形成强气压梯度并引发极端大风,加之高低空温差增强热力抬升,导致沙尘被大量卷扬并向下游输送。全球气候变暖进一步加剧了沙源地的干旱化趋势,使得暖干配置与强天气过程叠加的频率增加。

关键词: 冬季气候异常,中高纬大气环流,沙尘天气,西太平洋副热带高压

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2026.050703

Characteristics of Atmospheric Circulation in Northern Hemisphere in the 2025/2026 Winter and Its Impact on Weather and Climate of China

LI Duo ZHANG Daquan

CMA Key Laboratory for Climate Prediction Studies, National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: Using station observation data and the NCEP/NCAR reanalysis data, this paper analyzes the main climatic characteristics, large-scale atmospheric circulation anomalies, and East Asian winter monsoon features in China during the winter of 2025/2026 (December 2025 to February 2026), with a focus on the causes of the abnormally active sand-dust weather in February 2026. The results show that in the winter of 2025/2026, the national average temperature was -1.5°C , which is 1.5°C higher than the climatological average, ranking as the second highest for the same period since 1961. The national average precipitation was 27.4 mm, 35.3% less than normal, with a spatial distribution of more precipitation anomaly in the north and less in the south. The 500 hPa geopotential height field over the mid-high latitudes of Eurasia was dominated by a zonal circulation, the westerly was in a relatively straight pattern, and the East

^{*} 京津冀环境综合治理国家科技重大专项(2025ZD1204800)、国家重点研发计划(2024YFC3013100)、国家自然科学基金气象联合基金项目(U2442207)、中国气象局创新发展专项(CXFZ2024J004)、中国长江电力股份有限公司科研项目(2423020054)、贵州新气象科技有限责任公司“揭榜挂帅”项目(2024-N69)和中国气象局复盘总结专项(FPZJ2026-163)共同资助

2026 年 4 月 7 日收稿; 2026 年 5 月 7 日收修定稿

第一作者:李多,主要从事短期气候预测研究. E-mail:liduo@cma.gov.cn

通讯作者:章大全,主要从事短期气候预测研究. E-mail:zhangdq@cma.gov.cn

Asian winter monsoon was weaker than normal. During the 2025/2026 winter, a total of six sand-dust weather events occurred in China, 4.2 times more than the climatological average. Among them, there were three sandstorm events, which was 2.7 times more than the climatological average (0.3 times). Moreover, the number of sand-dust days reached 7.7 d, the highest in winter since 1991. The analysis on the formation causes of sand-dust weather indicates that the sand source areas experienced significantly warm and dry conditions in this winter. Precipitation was below average but temperature was above average. This situation led to low vegetation coverage and a substantial reduction in surface resistance to wind erosion, thereby providing abundant material conditions for sandstorms. Against this background, the synergistic effect of strong cold air and the Mongolian cyclone generated a large pressure gradient triggering extreme gale winds. This condition, combined with enhanced thermal lifting due to large temperature differences between upper and lower levels, resulted in large amounts of sands and dusts being lifted into the atmosphere and transported to downwind areas. Besides, global climate warming has further exacerbated the drying trend in the sand source regions, increasing the frequency of the superposition of such warm-dry conditions with intense weather processes.

Key words: abnormal winter climate, mid-high latitude atmospheric circulation, sand-dust weather, western Pacific subtropical high

引 言

中国地处亚洲季风系统影响的关键区域,气候状况深受季风活动的调节与影响。朱乾根(1990)、黄荣辉等(2014)研究表明,冬季的东亚冬季风(EAWM)异常能够直接影响我国的天气与气候。强EAWM年份,欧亚大气环流往往伴随西伯利亚高压、阿留申低压及乌拉尔山阻塞高压同步增强的特征,同期东亚大槽加深、对流层上层西风急流增强及东亚沿岸低层偏北风盛行(Chen et al, 2000; Wang and Chen, 2010),这样的环流配置有利于驱动中高纬冷空气向热带地区输送(Zhang et al, 1997; Chen et al, 2000)。在此影响下,除青藏高原、东北北部及西南地区外,我国大部分地区气温偏低(郭其蕴, 1994; 高辉, 2007; Huang et al, 2007; 陈文等, 2013),极易触发强降温、暴雪、寒潮等灾害性天气,进而引发严重的低温冷冻灾害,从而对农林、畜牧、交通、电力等行业及人民生命财产安全构成重大威胁(Zhou et al, 2009; 郑国光, 2019; Li et al, 2022)。在EAWM偏弱的年份,乌拉尔山阻塞高压与西伯利亚高压强度往往偏弱,冷空气活动路径偏向中高纬度并滞留于此,导致我国易出现暖冬(孙林海和赵振国, 2004; 高辉, 2007; 聂羽等, 2016)。

沙尘暴是一种由强风与疏松地表相互作用而引发的天气现象,其判断标准为能见度降至1 km以

下(Shepherd et al, 2016; Shao, 2001)。在东亚地区,塔克拉玛干沙漠与中蒙边境戈壁沙漠是最活跃的沙尘源区。这些区域因植被覆盖度低、降水稀少、风速较大且温差显著,为风蚀作用提供了有利条件(Chen et al, 2017)。从长期变化来看,我国的沙尘暴频率表现出明显的年代际变化特征:20世纪50—70年代为高发期,80年代后出现大幅下降(Guo et al, 2018);21世纪以来,沙尘暴总体呈减少趋势,但自2010年代后又出现明显回升(Gui et al, 2021; Wang et al, 2024)。值得关注的是,2025/2026年冬季(2025年12月至2026年2月),影响我国的沙尘天气异常活跃,强度偏强且影响范围广。同时,全国平均气温较常年同期偏高 1.5°C ,达到1961年以来历史同期次高值,其中内蒙古中西部、新疆南部等沙源地的气温偏高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。

基于上述背景,本文以2025/2026年冬季主要气候异常特征为切入点,重点分析与沙尘过程密切相关的大气环流背景、沙源累积条件及天气扰动机制,旨在深化对极端沙尘暴事件成因的理解,为提升极端天气气候事件的预测能力提供科学参考。

1 资料和方法

本文采用的数据主要包含以下方面:

(1)台站气温与降水数据源自国家气象信息中心整编的“中国地面基本气象要素日值数据集

(V3.0)”。该数据集收录了 1951 年 1 月以来全国 2474 个基准、基本及一般气象站的逐日气温与降水记录。基于逐日数据,进一步计算得到逐月及季节平均值。

(2) 沙尘天气监测数据取自全国基本气象站与基准气候站。此外,2026 年 2 月 20—23 日的逐小时 PM_{10} 质量浓度数据来自中国环境监测总站,可通过公开平台(<https://quotsoft.net/air/>)获取。

(3) 再分析资料采用 NCEP/NCAR 提供的逐日及逐月再分析数据集(Kalnay et al, 1996),水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$,资料时间跨度为 1948 年 1 月至 2026 年 2 月。

(4) 分析中采用的东亚冬季风强度指数、西伯利亚高压指数、西太平洋副热带高压各项指数均来自国家气候中心的“气候与气候变化监测预测系统”。东亚冬季风强度指数遵循朱艳峰(2008)的定义,计算方法为将 $25^\circ \sim 35^\circ \text{N}$ 、 $80^\circ \sim 120^\circ \text{E}$ 范围内 500 hPa 纬向风的平均值,减去 $50^\circ \sim 60^\circ \text{N}$ 、 $80^\circ \sim 120^\circ \text{E}$ 范围内的 500 hPa 纬向风的平均值,并对差值进行标准化处理。西伯利亚高压指数定义为 $40^\circ \sim 60^\circ \text{N}$ 、 $80^\circ \sim 120^\circ \text{E}$ 范围内海平面气压的面积加权平均值。

本文部分图形由国家气候中心开发的“气候监测预测分析系统(CIPAS3.1)”“气象灾害影响评估系统”“风云卫星遥感气候业务平台”生成。如无特别说明,文中所采用的气候常年值为 1991—2020 年平均值,冬季定义为前一年 12 月至次年 2 月。

2 2025/2026 年冬季我国主要气候特征

2.1 气温

2025/2026 年冬季,全国平均气温为 -1.5°C ,较常年同期偏高 1.5°C ,为 1961 年以来历史同期次高(仅低于 2016/2017 年冬季, -1.4°C)(图 1a)。从气温距平的空间分布看,除内蒙古东部部分地区、黑龙江中部、云南西部部分地区气温较常年同期偏低 $0.5 \sim 2^\circ \text{C}$ 外,全国其余大部地区均接近常年同期或偏高,其中内蒙古西部、江南西南部、华南中部、西北地区北部、新疆大部、西藏西北部等地偏高 $2 \sim 4^\circ \text{C}$;安徽、广东、贵州、河南、湖南、江西、宁夏、陕西、四川、新疆、重庆平均气温均为 1961 年以来历史同期最高(图 1b)。

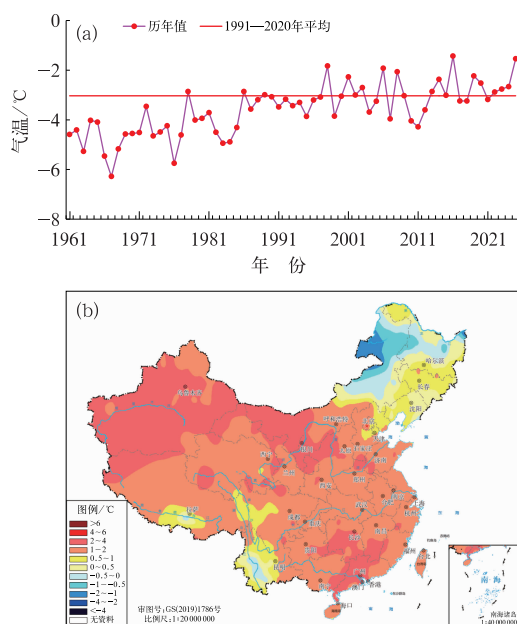


图 1 (a)1961/1962—2025/2026 年冬季全国平均气温历年变化及(b)2025/2026 年冬季全国平均气温距平空间分布

Fig. 1 (a) Interannual variation of average temperature over China from 1961/1962 winter to 2025/2026 winter and (b) spatial distribution of average temperature anomaly over China in the 2025/2026 winter

2025/2026 年冬季各月气温均偏高,2025 年 12 月、2026 年 1 月和 2 月全国平均气温分别为 -1.2 、 -4.4 和 0.9°C ,分别较气候常年值偏高 1.70 、 0.79 和 2.10°C ,其中 2025 年 12 月和 2026 年 2 月分别为 1961 年以来历史同期次高和第三高。从空间分布看:2025 年 12 月,除内蒙古东北部、黑龙江中部和北部、云南西南部气温偏低外,全国其余地区气温偏高 $1 \sim 4^\circ \text{C}$ (图 2a);2026 年 1 月,我国东北部地区气温偏低区较 2025 年 12 月有所扩大,华东南部、华南东南部出现冷区,全国其余大部地区气温明显偏高(图 2b);2 月全国绝大部分地区气温较常年偏高(图 2c),尽管气温总体偏高,但季内全国平均气温距平剧烈波动,冷暖起伏大(图 2d)。从逐日气温距平变化来看,2025 年 12 月初、12 月中旬前期、12 月下旬中期和 2026 年 1 月初、1 月中旬、2 月上旬后期气温出现多次骤降。内蒙古林西(-33.1°C , 2026 年 1 月 20 日)、辽宁苏家屯(-30.2°C , 2026 年 1 月 20 日)和河南黄泛区(-13.1°C , 2026 年 1 月 21 日) 3 个气象站日最低气温突破或持平当地冬季历史极小值;青海兴海(降温 17.8°C , 2025 年 12 月 13 日)和

贵南(降温 15.6℃,2025 年 12 月 13 日)、河北沙河(降温 13.7℃,2026 年 1 月 11 日)日降温幅度突破历史极值。根据国家气候中心冷空气监测标准(中国气象局,2017;王遵娅等,2017),2025/2026 年冬季有 13 次冷空气过程影响我国,较常年同期(10.3 次)偏多 2.7 次,冷空气累计日数为 42 d(表 1)。其中,2025 年 12 月 11—15 日为入冬以来首场全国型寒潮。受其影响,我国北方和中东部地区出现大幅降

温,山西岢岚(−19.8℃)、辽宁清原(−19.4℃)、陕西富县(−19.0℃)等 167 个气象站最大降温幅度达到或超过 14.0℃,过程最大降温幅度超过 8℃的面积约为 494.7 万 km²。2026 年 1 月 16—17 日和 19—21 日,由强冷空气和全国型寒潮引起的低温灾害事件接连影响我国,其中 16—21 日全国 24%的气象站(570 个)过程最大降温幅度超过 14℃,吉林靖宇(−29.3℃)、江源(−29℃)和通化(−28.6℃)

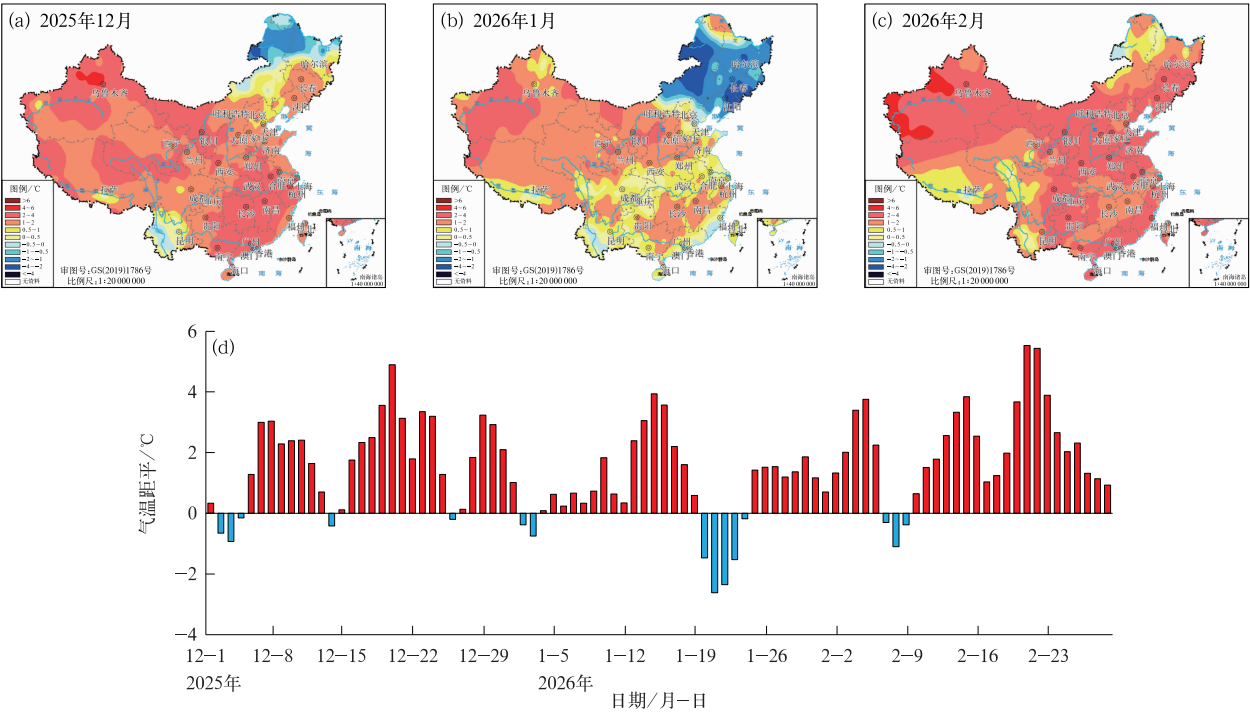


图 2 2025/2026 年冬季全国(a~c)逐月平均气温距平分布和(d)平均气温距平逐日演变

Fig. 2 (a~c) Spatial distribution of monthly average temperature anomaly and (d) daily variation of average temperature over China in the 2025/2026 winter

表 1 2025/2026 年冬季冷空气过程

Table 1 Cold air events over China in the 2025/2026 winter

序号	开始时间/年-月-日	结束时间/年-月-日	持续天数/d	冷空气类型
1	2025-12-1	2025-12-4	4	寒潮
2	2025-12-8	2025-12-9	2	强冷空气
3	2025-12-11	2025-12-15	5	全国型寒潮
4	2025-12-20	2025-12-22	3	寒潮
5	2025-12-24	2025-12-26	3	全国型一般冷空气
6	2025-12-31	2026-1-3	4	一般冷空气
7	2026-1-7	2026-1-8	2	一般冷空气
8	2026-1-11	2026-1-12	2	强冷空气
9	2026-1-16	2026-1-17	2	强冷空气
10	2026-1-19	2026-1-21	3	全国型寒潮
11	2026-2-5	2026-2-9	5	全国型强冷空气
12	2026-2-15	2026-2-18	4	全国型强冷空气
13	2026-2-22	2026-2-24	3	寒潮

等 63 个气象站最大降温幅度达到或超过 20.0°C ；最大降温幅度超过 12°C 的面积约为 278万 km^2 ，自新疆北部、内蒙古西部及河套地区向东南延伸至黄淮南部、江淮、江南中西部等地，南北方多地公路、铁路运输受到影响，湖南部分地区电线覆冰，南方局地遭受低温冷冻害，用电负荷创冬季历史新高。

2.2 降水

2025/2026 年冬季，全国平均降水量为 27.4 mm ，较常年同期偏少 35.3% (图 3a)。降水空间分布不均，除东北地区西北部、内蒙古东部和西部、甘肃中部和西北部、陕西南部、山西西南部、河南大部等地降水量偏多 2 成至 2 倍外，其余大部地区接近常年同期或偏少 2~8 成，其中南疆局地、西藏中部和西部、青海东南部、四川中部、云南中部和北部等地偏少 8 成以上 (图 3b)。西藏、云南降水为历史同期最少，青海为次少。

2025 年 12 月，全国平均降水量为 8.6 mm ，较常年 (11.8 mm) 偏少 27.1% ；降水量距平总体呈“北多南少”空间分布，其中东北地区西北部、华北大部、西北地区中部及东部等地降水量较常年同期偏多 1 倍以上 (图 4a)。2026 年 1 月，全国平均降水量为 6.2 mm ，较常年同期 (14.4 mm) 偏少 57.0% ；东北地区中南部、内蒙古中东部和西部、黄淮西部至江淮西部、西南地区东部等地降水量较常年同期偏多 2~5 成以上，其余地区以偏少为主 (图 4b)。2 月，全国平均降水量为 12.7 mm ，较常年同期 (16.3 mm) 偏少 22.1% ；内蒙古东部、东北地区北部、黄淮西部至西北地区东南部、江南西部至西南地区东南部、新疆北部等地降水量偏多 2~5 成或以上，其余大部地区降水量偏少 (图 4c)。

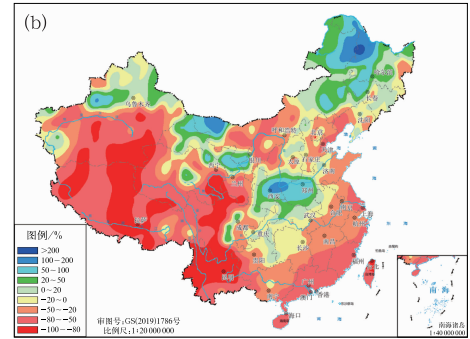
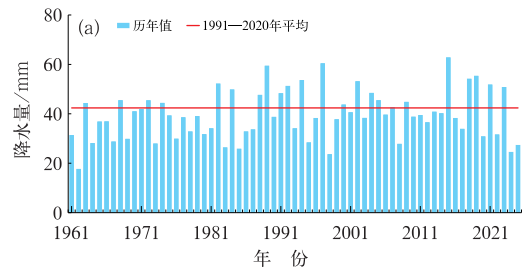


图 3 (a)1961/1962—2025/2026 年冬季全国平均降水量变化及(b)2025/2026 年冬季全国降水量距平百分率空间分布

Fig. 3 (a) Interannual variation of average precipitation over China from 1961/1962 winter to 2025/2026 winter and (b) spatial distribution of precipitation anomaly percentage over China in the 2025/2026 winter

3 2025/2026 年冬季北半球大尺度环流及东亚冬季风活动特征

3.1 北半球大尺度环流背景

2025/2026 年冬季，欧亚大陆中高纬 500 hPa 位势高度场以纬向型环流为主，西风带较为平直。

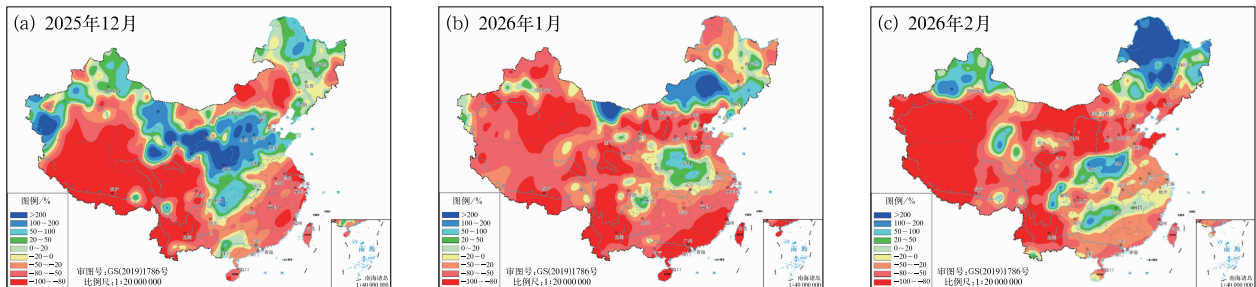


图 4 2025/2026 年冬季全国逐月平均降水量距平百分率分布

Fig. 4 Spatial distribution of monthly average precipitation anomaly percentage over China in the 2025/2026 winter

乌拉尔山附近地区为高度场负距平控制,表明季内乌拉尔山阻塞高压活动偏弱。贝加尔湖以东到我国东北地区北部为位势高度场负距平,日本海上空为位势高度场正距平,对应东亚槽强度偏弱,位置偏西、偏北。我国大部地区为高度场正距平控制,有利于气温总体偏高(图 5a)。

在低层距平风场上,2025/2026 年冬季东北亚上空为气旋式环流异常,有利于日本海上水汽随气旋底部的引导气流回流至我国东北部地区,为该地区带来较常年偏多的降水;同时,低纬度地区菲律宾以东洋面上空也为气旋式环流异常控制,导致我国南方大部地区受气旋西部的偏北风控制,不利于降水发生(图 5b)。监测显示:入冬后,江南北部气象干旱一度发展,特别进入 2 月后,我国西南地区西部、华南东部及华东南部等地气象干旱迅速发展,西南地区西部、华南东南部等地出现中至重度气象干旱,部分地区出现特旱。

从欧亚中高纬大气环流的季节内变化来看:2025 年 12 月(图 6a),500 hPa 位势高度距平场上乌拉尔山地区和里海至贝加尔湖以东为负距平区,东

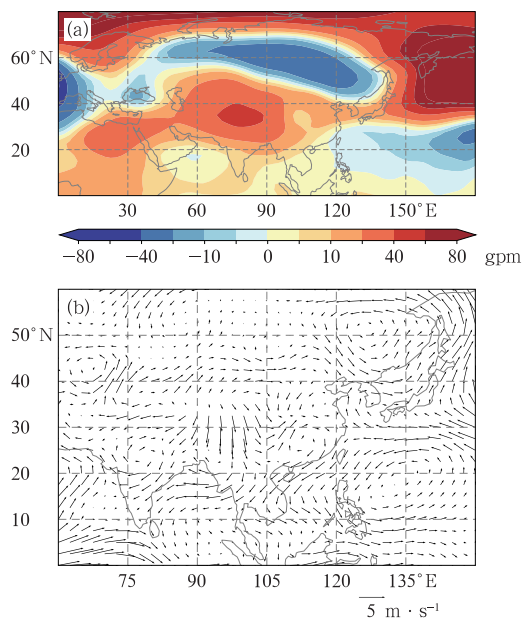
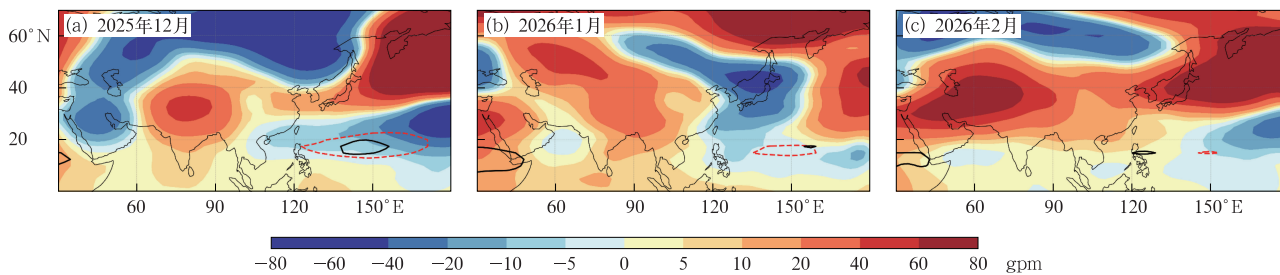


图 5 2025/2026 年冬季(a)500 hPa 位势高度距平场及(b)850 hPa 风场距平
Fig. 5 (a) The 500 hPa geopotential height anomaly and (b) 850 hPa wind anomaly in the 2025/2026 winter



注:黑色粗实线和红色虚线分别为实况、气候态 5880 gpm 线。

图 6 2025/2026 年冬季逐月 500 hPa 位势高度距平场
Fig. 6 Monthly geopotential height anomaly at 500 hPa in the 2025/2026 winter

亚上空呈现“北低南高”分布特征,我国大部为正距平控制区,有利于气温偏高。2026 年 1 月(图 6b),乌拉尔山地区转为受位势高度正距平控制,表明乌拉尔山阻塞高压阶段性增强,配合东亚沿岸位势高度场偏低,引导极地冷空气南下影响我国,1 月中旬接连出现 2 次强冷空气过程和 1 次全国寒潮过程(表 1),导致我国东北部地区气温偏低;2 月(图 6c),欧亚中高纬地区环流经向度较 1 月明显减弱,我国大部分地区受位势高度正距平控制,气温再次显著偏高。

3.2 东亚冬季风活动特征

东亚冬季风是东亚气候系统的重要组成部分,其强弱对我国冬季气候异常具有重要影响。2025/2026 年冬季,东亚冬季风强度标准化指数(朱艳峰,2008)为 -0.97 ,西伯利亚高压强度距平指数为 -1.31 hPa,两者均显示该年冬季东亚冬季风强度较常年同期偏弱(图 7a,7b),对应我国冬季气温较常年同期显著偏高的特征。为进一步分析东亚冬季风的阶段性变化特征,图 7c 和 7d 分别给出了东亚

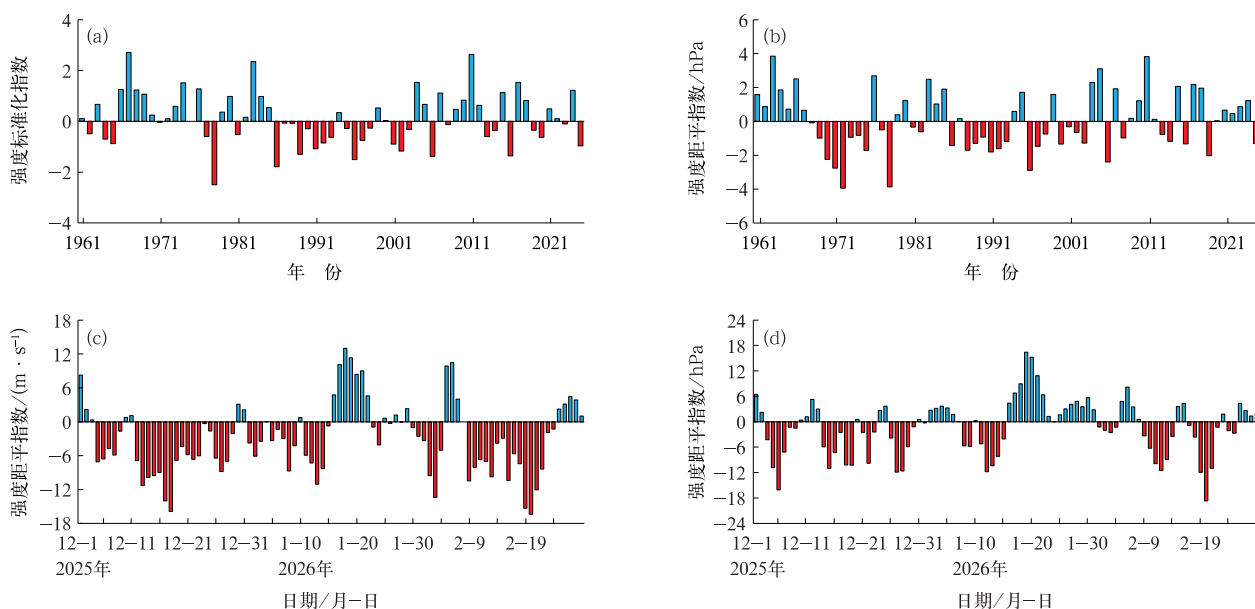


图 7 (a,b)1961/1962—2025/2026 年冬季(a)强度标准化指数和(b)强度距平指数历年变化,(c,d)2025/2026 年冬季强度距平指数逐日演变
(a,c)东亚冬季风,(b,d)西伯利亚高压

Fig. 7 (a, b) Interannual variation of (a) intensity normalization index and (b) intensity anomaly index from 1961/1962 winter to 2025/2026 winter, and (c, d) daily variation of intensity anomaly index in 2025/2026 winter
(a, c) East Asia winter monsoon, (b, d) Siberian high

冬季风和西伯利亚高压强度距平指数的逐日演变。2025 年 12 月初、12 月中旬前期、12 月底和 2026 年 1 月初、1 月中旬、2 月上旬及 2 月末为冬季风与西伯利亚高压的偏强阶段,除 2 月末外,各时段均与季节内气温偏低时段相对应(图 2d)。东亚冬季风的阶段性特征与全国平均气温的季节内进程呈现清晰的负相关关系,该关系在 2025/2026 年冬季尤为显著,表明东亚冬季风对我国冬季气温具有直接而重要的影响,这与支蓉和郑志海(2022)、李想和王永光(2023)、章大全和刘芸芸(2024)、赵玉衡和丁婷(2025)研究结论一致。

2025/2026 年冬季东亚冬季风强度偏弱,一方面是由于冬季极涡的中心主要偏向西半球(图 5a),乌拉尔山阻塞高压和西伯利亚高压持续偏弱(图 5a,图 7b),东亚大槽位置偏东(图 5a),导致极区冷空气缺乏南下动力,影响我国的冷空气强度总体偏弱、路径偏北;另一方面,尽管 2025 年 10 月赤道中东太平洋进入 La Niña 状态,但其强度较弱且持续时间短(图略),对冬季风影响有限。在上述大气环流异常与外强迫信号的共同作用下,最终导致

2025/2026 年冬季东亚冬季风明显偏弱、我国大部地区气温异常偏高。

4 冬季影响我国沙尘过程异常偏多的成因分析

2025/2026 年冬季,共有 6 次沙尘天气过程影响我国,较常年同期(1.8 次)偏多 4.2 次,其中有 3 次沙尘暴过程,较常年同期(0.3 次)偏多 2.7 次;沙尘日数为 7.7 d,为 1991 年以来冬季沙尘日数最多年份(图 8a)。2 月 20—23 日的沙尘过程影响范围最广(图 8b),西北、华北、内蒙古、东北地区及河南等地伴随 7~9 级阵风、部分地区 10~12 级,内蒙古锡林郭勒、山西忻州等局地 13~15 级。新疆东部和南部、内蒙古西部、甘肃大部、宁夏、陕西中北部、山西、北京、天津、河北、河南、山东、江苏大部、上海、安徽北部、浙江北部、湖北北部、吉林大部、辽宁中西部等地出现扬沙或浮尘天气,内蒙古中西部、新疆西部的部分地区出现沙尘暴,其中内蒙古吉兰太、大余太、海力素、乌拉特中旗等站出现强沙尘暴。

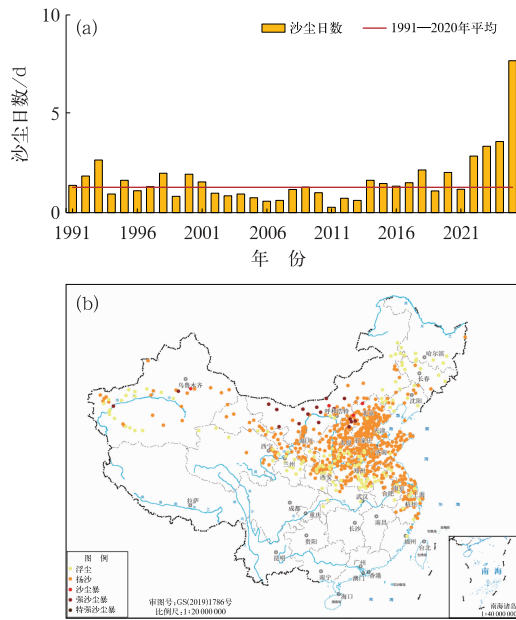


图8 (a)1961/1962—2025/2026 年冬季沙尘日数历年变化及(b)2026 年 2 月 20—23 日全国沙尘过程强度分布

Fig. 8 (a) Interannual variation of sand-dust days from 1961/1962 winter to 2025/2026 winter, and (b) distribution of the sand-dust event intensity over China in 20—23 February 2026

我国沙尘天气主要分为偏北路径型、西北路径型和偏西路径型三类,分别将蒙古国东南部、新疆

南部塔里木盆地及内蒙古中西部等主要沙源地的沙尘输送至西北、华北、黄淮乃至江淮等广大区域(中国气象局,2022;徐冉等,2023;高磊等,2025)。沙尘暴的发生与强度,根本上取决于沙源地的起沙条件(叶笃正等,2000;钱正安等,2006)和传输路径上的输送条件(冷空气路径、风场强度及环流维持机制等)(周秀骥等,2002;Zhou et al, 2002;秦豪君等, 2022),蒙古国中南部、内蒙古中西部及新疆南部等主要沙源地地区 2025/2026 年冬季降水量较常年平均偏少 5~8 成以上(图 9a),其中 2026 年 1—2 月,南疆地区和内蒙古中西部地区降水量分别较常年平均偏少 96.5% 和 97.3%,位列历史同期第五少和第三少(图 9b, 9c),导致土壤含水量长期处于极低水平,地表物质结构松散,抗风蚀能力显著下降。与此同时,2025/2026 年冬季我国西北地区及蒙古国中西部气温显著偏高,主要沙源地平均气温较常年同期偏高超过 2~4℃,局地甚至超过 4℃(图 10a),2026 年 2 月内蒙古、甘肃、宁夏、新疆的平均气温偏高 2.6℃,其中 2 月中旬为最显著的偏暖时段(图 10b)。异常高温加剧土壤表层水分蒸发,并导致冻土层提前解冻,地表失去冻结保护,裸露沙土的起沙阈值显著降低。此外,2025/2026 年冬季沙源地积雪覆盖偏少(图 11a),叠加暖干气候对植被生长的抑制,致使西北地区大部植被覆盖度较常年偏低(图 11b)。地表粗糙度因此下降,风蚀作用进一步增强,共同构

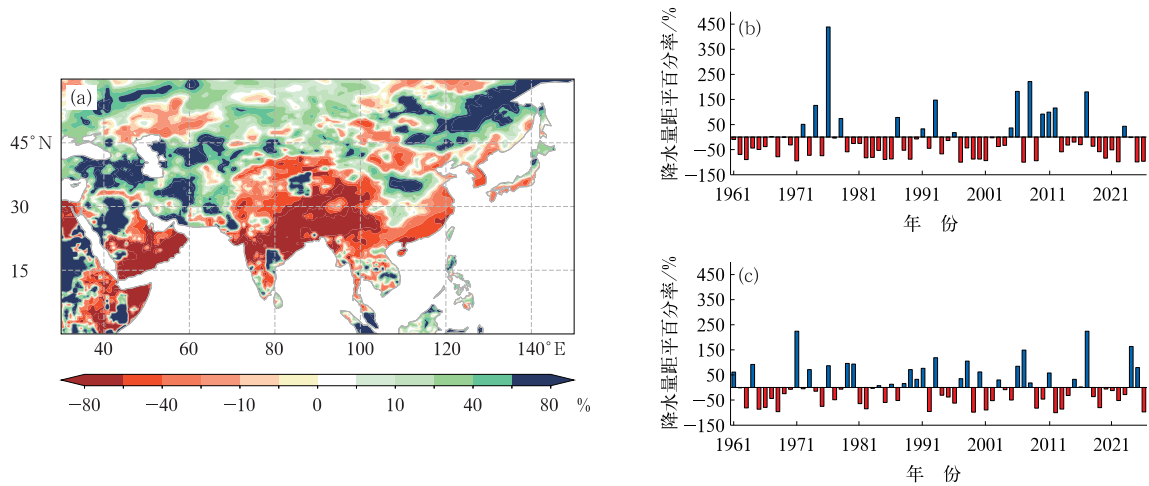


图9 (a)2025/2026 年冬季亚洲地区降水量距平百分率空间分布及(b,c)1961/1962—2025/2026 年冬季我国(b)南疆地区和(c)内蒙古中西部降水量距平百分率历年变化

Fig. 9 (a) Spatial distribution of precipitation anomaly percentage in Asia in the 2025/2026 winter, and (b, c) interannual variation of precipitation anomaly percentage in (b) southern Xinjiang and (c) central and western Inner Mongolia in China from 1961/1962 winter to 2025/2026 winter

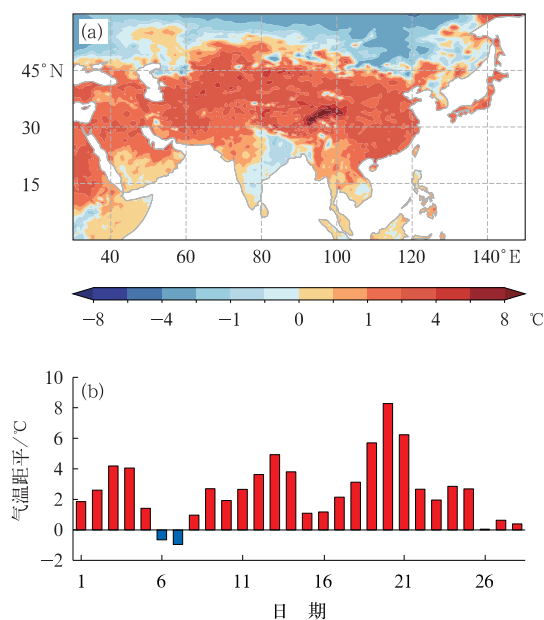


图 10 (a)2025/2026 年冬季亚洲地区气温距平空间分布及(b)2026 年 2 月我国内蒙古、甘肃、宁夏、新疆地区平均气温距平逐日演变
Fig. 10 (a) Spatial distribution of temperature anomaly in Asia in 2025/2026 winter, and (b) daily variation of average temperature anomaly in Inner Mongolia, Gansu, Ningxia, and Xinjiang in China in February 2026

成了有利于沙尘暴发生的下垫面条件。

上文所述的暖干气候背景与疏松干燥的下垫面条件,为沙尘暴的发生提供了充足的物质基础,而强冷空气与蒙古气旋的协同作用是触发沙尘过程的天气扰动机制。以 2 月 20—23 日的沙尘暴过程为例:18 日,蒙古气旋已经建立,但其后部的冷高压还处于发展初期,强度相对较弱(图略);19 日(沙尘暴发生前夕),冷高压迅速加强发展,中心强度超过 1030 hPa,而蒙古气旋中心气压达到 990 hPa,冷高压与气旋之间形成强气压梯度力,同时沙源地上方高空温差超过 25℃(图略),大风的卷扬作用以及大气热力不稳定抬升作用导致大量沙尘被卷向空中,不稳定抬升作用强劲(图 12a)。20 日,冷高压再次加强发展并向东南方向延伸,引导大量高纬度冷空气南下(图 12b),引发极端大风天气,新疆北部、内蒙古中西部、甘肃西北部、宁夏北部等地普遍出现 8 级以上大风,其中内蒙古西部局部风力达 10 级以上(图 13a),强风区与沙源地高度重叠,显著增强地表风蚀作用,促使大量沙尘被卷扬进入大气,内

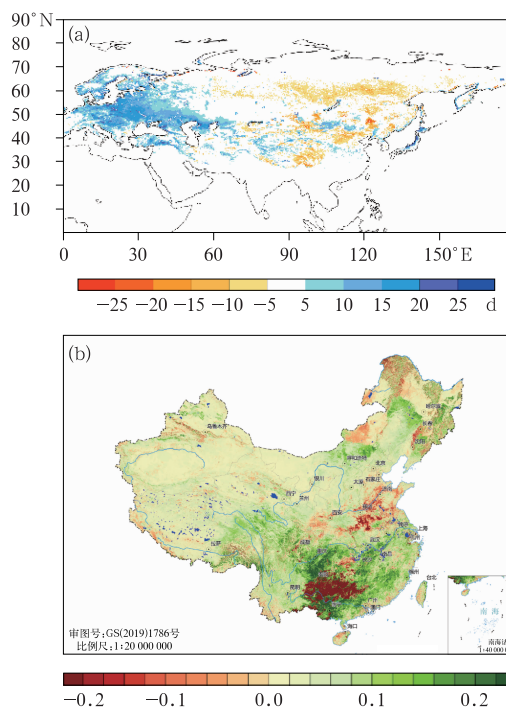


图 11 2026 年(a)1 月欧亚地区积雪日数距平及(b)2 月全国归一化植被指数距平分布
Fig. 11 Distribution of (a) anomaly of snow cover days over Eurasia in January, and (b) normalized vegetation index anomaly over China in February 2026

蒙古西部出现沙尘暴(图 13d),内蒙古乌海的 PM_{10} 小时质量浓度峰值达 $561 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,全国平均 PM_{10} 质量浓度为 $69.5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。21—22 日,随着蒙古气旋的东移和冷高压持续南压(图 12c),发生大风天气的范围较 20 日明显东扩,主要出现在内蒙古东部、西北地区东部、华北、东北地区西南部等地(图 13b),沙尘随西北气流向东南方向快速输送,全国平均 PM_{10} 质量浓度由 $122.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 增加至 $146.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,污染核心从内蒙古(21 日平均 $553.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)转移至陕西(22 日平均 $380.5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)、山西(22 日平均 $363.8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$),并继续南下影响黄淮海平原(图 13e)。23 日,随着蒙古气旋的减弱北退(图 12d),仅在内蒙古东北部局部及东北地区中部受大风天气持续影响(图 13c),全国平均 PM_{10} 质量浓度降至 $95.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,沙尘强度及影响范围明显减弱减小(图 13f)。此次过程的环流配置与沙尘传输路径中的西北路径型及偏北路径型高度吻合,体现了典型沙尘输送的动力机制。

上述分析表明,2025/2026 年冬季强冷空气与

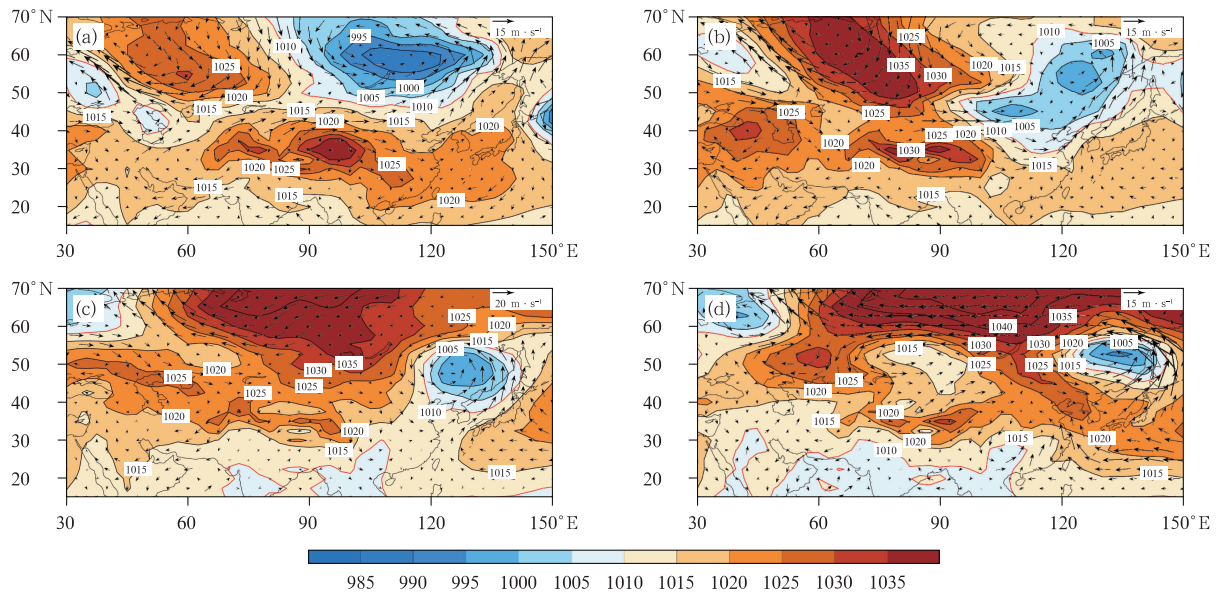


图 12 2026 年 2 月 (a)19 日, (b)20 日, (c)21—22 日及 (d)23 日海平面气压
(等值线和填色, 单位: hPa) 和 850 hPa 风场距平 (风矢)

Fig. 12 Sea level pressure (contour and colored, unit: hPa) and 850 hPa wind anomaly (vector) on (a) 19, (b) 20, (c) 21—22, and (d) 23 February 2026

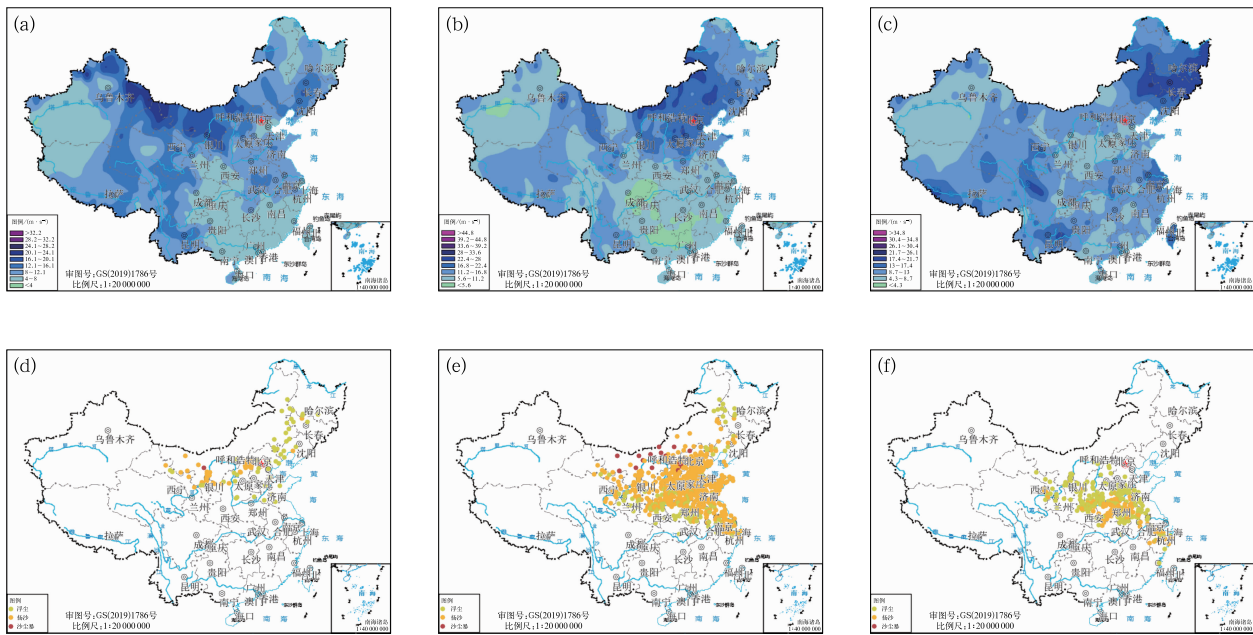


图 13 2026 年 2 月 (a, d)20 日, (b, e)21—22 日及 (c, f) 23 日的全国
(a~c)地面风速及 (d~f)沙尘过程强度分布

Fig. 13 Distribution of (a—c) surface wind speed and (d—f) sand-dust event intensity on
(a, d) 20, (b, e) 21—22, and (c, f) 23 February 2026

蒙古气旋活动是触发沙尘过程活跃的直接动力原因,而这一动力异常的背后,则受到更大尺度气候变化因素的深刻影响。全球气候变暖导致蒙古高原等

沙源地气温显著偏高,积雪期缩短、蒸发增强,使得土壤水分亏缺加剧,地表更易起沙(Nandintsetseg and Shinoda, 2014; Han et al, 2021; Liu and Yang,

2022),反映了气候变化对沙源地表条件的长期影响,在气候变暖背景下沙源地干旱化趋势持续,为沙尘暴的发生提供了日益充足的物质基础。

5 结论与讨论

本文利用站点观测资料和再分析资料,分析了 2025/2026 年冬季我国主要气候特征、大尺度大气环流异常、东亚冬季风特征,并重点讨论了 2 月沙尘天气异常活跃的可能成因,得出以下结论。

(1)2025/2026 年冬季,全国平均气温为 -1.5°C ,较常年同期偏高 1.5°C ,为 1961 年以来历史同期次高;全国大部地区气温较常年同期偏高,特别是内蒙古西部、江南西南部、华南中部、西北地区北部、新疆大部、西藏西北部等地偏高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。全国平均降水量为 27.4 mm ,较常年同期偏少 35.3% ,全国降水量距平百分率空间上呈现“北多南少”的分布形势。

(2)2025/2026 年冬季,欧亚大陆中高纬 500 hPa 位势高度场以纬向型环流为主,西风带较为平直,乌拉尔山附近地区、贝加尔湖以东至我国东北地区北部受位势高度负距平场控制,日本海上空及我国大部地区为位势高度正距平场控制。东亚冬季风强度标准化指数为 -0.97 ,西伯利亚高压强度距平指数为 -1.31 hPa ,两者均显示东亚冬季风强度较常年同期偏弱。

(3)2025/2026 年冬季,共有 6 次沙尘天气过程影响我国,较常年同期(1.8 次)偏多 4.2 次,其中有 3 次沙尘暴过程,较常年同期(0.3 次)偏多 2.7 次;沙尘日数为 7.7 d ,为 1991 年以来冬季沙尘日数最多年份。分析表明,2025/2026 年冬季,沙源地暖干气候特征显著,导致植被覆盖偏低,地表抗风蚀能力大幅下降,为沙尘暴发生提供了充足的物质基础。在此背景下,强冷空气与蒙古气旋的协同作用是直接动力触发机制,二者形成强气压梯度并引发极端大风,加之高低空温差增强热力抬升,导致沙尘被大量卷扬并向下游输送。此外,全球气候变暖进一步加剧了沙源地的干旱化趋势,使得此类暖干配置与强天气过程叠加的频率增加,成为冬季沙尘过程异常活跃的根本原因。

值得关注的是,2025 年秋季以来,赤道中东太平洋进入 La Niña 状态,同时北极海冰范围偏少(为 1979 年以来第四低值)。根据传统气候影响概念模型,这两类外强迫信号均倾向于引导东亚冬季风偏

强。然而,这一预期与 2025/2026 年冬季的实际观测结果不符。这种外强迫与大气环流响应之间的一致性,可能源于以下几方面原因:第一,ENSO 冷暖事件对东亚冬季风的影响具有不对称性,La Niña 的影响远不如 El Niño 显著(徐霈强等,2016),且 2025/2026 年赤道中东太平洋仅进入 La Niña 状态但未形成事件,其对东亚冬季风的影响可能更为有限(1991—2025 年冬季 Niño3.4 指数与同期东亚冬季风指数和西伯利亚高压指数相关系数分别为 -0.19 和 -0.20 ,未通过 0.10 显著性水平检验,图略);第二,在全球变暖背景下,一些经典统计关系可能已发生显著调整。例如 Zhang et al(2025)研究指出,秋季巴伦支—喀拉海海冰持续消融,已逼近“少冰”甚至“无冰”状态,导致海冰变化不再能有效调制东亚冬季风。因此,亟需深入揭示变暖背景下 ENSO、海冰等因子影响东亚冬季风的新规律。此外,2 月各级冷空气活动(一般性冷空气、强冷空气、寒潮)、冷空气总数及东亚冬季风强度与同期沙尘日数的相关分析显示,上述要素与沙尘日数均无显著相关(相关系数分别为 -0.09 、 0.07 、 0.11 、 0.03 和 0.14 ,图略)。这表明,2025/2026 年冬季沙尘天气的异常频繁并非由冷空气的强度或频次主导。尽管冬季风整体偏弱,但影响北方沙源地的局地动力条件并未同步减弱;同时,沙源区持续暖干导致地表退化、起沙阈值降低,使得沙尘事件更容易被触发。综上,2025/2026 年冬季沙尘天气的异常活跃趋势是否具有持续性,及其背后的气候系统响应机制,仍有待于后续进一步深入研究分析。

参考文献

- 陈文,魏科,王林,等,2013. 东亚冬季风气候变异和机理以及平流层过程的影响[J]. 大气科学,37(2):425-438. Chen W, Wei K, Wang L, et al, 2013. Climate variability and mechanisms of the East Asian winter monsoon and the impact from the stratosphere[J]. Chin J Atmos Sci, 37(2):425-438(in Chinese).
- 高辉,2007. 东亚冬季风指数及其对东亚大气环流异常的表征[J]. 气象学报,65(2):272-279. Gao H, 2007. Comparison of four East Asian winter monsoon indices[J]. Acta Meteor Sin, 65(2):272-279(in Chinese).
- 高磊,李璇,汤文博,等,2025. 甘肃省河西走廊 PM_{10} 的时空分布及其潜在源区分析[J]. 环境科学研究,38(10):2185-2195. Gao L, Li X, Tang W B, et al, 2025. Spatiotemporal distributions and potential sources of PM_{10} in the Hexi Corridor of Gansu Province, China[J]. Res Environ Sci, 38(10):2185-2195(in Chinese).
- 郭其蕴,1994. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系[J]. 应用气

- 象学报, 5(2): 218-225. Guo Q Y, 1994. Relationship between the variations of East Asian winter monsoon and temperature anomalies in China[J]. Quart J Appl Meteor, 5(2): 218-225 (in Chinese).
- 黄荣辉, 刘永, 皇甫静亮, 等, 2014. 20 世纪 90 年代末东亚冬季风年代际变化特征及其内动力成因[J]. 大气科学, 38(4): 627-644. Huang R H, Liu Y, Huangfu J L, et al, 2014. Characteristics and internal dynamical causes of the interdecadal variability of East Asian winter monsoon near the late 1990s[J]. Chin J Atmos Sci, 38(4): 627-644 (in Chinese).
- 李想, 王永光, 2023. 2022/2023 年冬季北半球大气环流特征及对我国天气气候的影响[J]. 气象, 49(7): 881-891. Li X, Wang Y G, 2023. Atmospheric circulation characteristics of Northern Hemisphere in winter 2022/2023 and its impact on weather and climate of China[J]. Meteor Mon, 49(7): 881-891 (in Chinese).
- 聂羽, 孙冷, 王东阡, 等, 2016. 2015/2016 年前冬至隆冬北半球中高纬度暖冷急转及环流特征初析[J]. 气象, 42(10): 1223-1229. Nie Y, Sun L, Wang D Q, et al, 2016. Possible causes for the sudden drop of air temperature in the Northern Hemisphere from early- to mid-winter[J]. Meteor Mon, 42(10): 1223-1229 (in Chinese).
- 钱正安, 蔡英, 刘景涛, 等, 2006. 中蒙地区沙尘暴研究的若干进展[J]. 地球物理学报, 49(1): 83-92. Qian Z A, Cai Y, Liu J T, et al, 2006. Some advances in dust storm research over China-Mongolia areas[J]. Chin J Geophys, 49(1): 83-92 (in Chinese).
- 秦豪君, 杨晓军, 马莉, 等, 2022. 2000—2020 年中国西北地区区域性沙尘暴特征及成因[J]. 中国沙漠, 42(6): 53-64. Qin H J, Yang X J, Ma L, et al, 2022. Characteristics and causes of regional sandstorms in northwest of China from 2000 to 2020[J]. J Desert Res, 42(6): 53-64 (in Chinese).
- 孙林海, 赵振国, 2004. 我国暖冬气候及其成因分析[J]. 气象, 30(12): 57-60. Sun L H, Zhao Z G, 2004. Analysis of warm winter in China[J]. Meteor Mon, 30(12): 57-60 (in Chinese).
- 王遵娅, 司东, 段丽娜, 2017. 冷空气过程监测指标[M]. 北京: 气象出版社. Wang Z Y, Si D, Duan L N, 2017. Monitoring Indices of Cold Air Processes[M]. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese).
- 徐需强, 冯娟, 陈文, 2016. ENSO 冷暖位相影响东亚冬季风与东亚夏季风联系的非对称性[J]. 大气科学, 40(4): 831-840. Xu P Q, Feng J, Chen W, 2016. Asymmetric role of ENSO in the link between the East Asian winter monsoon and the following summer monsoon[J]. Chin J Atmos Sci, 40(4): 831-840 (in Chinese).
- 徐冉, 张碧辉, 安林昌, 等, 2023. 2000—2021 年中国沙尘传输路径特征及气象成因分析[J]. 中国环境科学, 43(9): 4450-4458. Xu R, Zhang B H, An L C, et al, 2023. Analysis of sand and dust storm transport paths characteristics and meteorological causes in China from 2000 to 2021[J]. China Environ Sci, 43(9): 4450-4458 (in Chinese).
- 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远, 等, 2000. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报, 55(5): 513-521. Ye D Z, Chou J F, Liu J Y, et al, 2000. Causes of sand-stormy weather in northern China and contral measures[J]. Acta Geogr Sin, 55(5): 513-521 (in Chinese).
- 章大全, 刘芸芸, 2024. 2023/2024 年冬季北半球大气环流特征及对我国天气气候的影响[J]. 气象, 50(7): 887-896. Zhang D Q, Liu Y Y, 2024. Characteristics of atmospheric circulation in Northern Hemisphere in the 2023/2024 winter and its impact on weather and climate of China[J]. Meteor Mon, 50(7): 887-896 (in Chinese).
- 赵玉衡, 丁婷, 2025. 2024/2025 年冬季北半球大气环流及对中国冬季气候异常的影响[J]. 气象, 51(7): 876-890. Zhao Y H, Ding T, 2025. The Northern Hemisphere atmospheric circulation in the 2024/2025 winter and its impact on the winter climate anomalies in China[J]. Meteor Mon, 51(7): 876-890 (in Chinese).
- 郑国光, 2019. 中国气候[M]. 北京: 气象出版社: 114-115. Zheng G G, 2019. Climate of China[M]. Beijing: China Meteorological Press: 114-115 (in Chinese).
- 支蓉, 郑志海, 2022. 2021/2022 年冬季中国气候异常特征及南方降水异常偏多成因分析[J]. 气象, 48(7): 925-935. Zhi R, Zheng Z H, 2022. Characteristics of climate anomalies over China in winter 2021/2022 and causes for precipitation anomalies over Southern China[J]. Meteor Mon, 48(7): 925-935 (in Chinese).
- 中国气象局, 2017. 冷空气过程监测指标: QX/T393—2017[S]. 北京: 气象出版社. China Meteorological Administration, 2017. Monitoring indicators for cold air processes: QX/T393-2017[S]. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese).
- 中国气象局, 2022. 沙尘天气年鉴 2019 年[M]. 北京: 气象出版社. China Meteorological Administration, 2022. Sand-Dust Weather Almanac 2019[M]. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese).
- 周秀骥, 徐祥德, 颜鹏, 等, 2002. 2000 年春季沙尘暴动力学特征[J]. 中国科学 D 辑, 32(4): 327-334. Zhou X J, Xu X D, Yan P, et al, 2002. Dynamic characteristics of spring sandstorms in 2000[J]. Sci China Ser D: Earth Sci, 32(4): 327-334 (in Chinese).
- 朱乾根, 1990. 我国的东亚冬季风研究[J]. 气象, 16(1): 3-10. Zhu Q G, 1990. A review of studies on East Asia winter monsoon in China[J]. Meteor Mon, 16(1): 3-10 (in Chinese).
- 朱艳峰, 2008. 一个适用于描述中国大陆冬季气温变化的东亚冬季风指数[J]. 气象学报, 66(5): 781-788. Zhu Y F, 2008. An index of East Asian winter monsoon applied to description the Chinese mainland winter temperature changes[J]. Acta Meteor Sin, 66(5): 781-788 (in Chinese).
- Chen S Y, Huang J P, Li J X, et al, 2017. Comparison of dust emissions, transport, and deposition between the Taklimakan Desert and Gobi Desert from 2007 to 2011[J]. Sci China Earth Sci, 60(7): 1338-1355.
- Chen W, Graf H F, Huang R H, 2000. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon[J]. Adv Atmos Sci, 17(1): 48-60.
- Gui K, Yao W R, Che H Z, et al, 2021. Two mega sand and dust storm events over northern China in March 2021: transport

- processes, historical ranking and meteorological drivers [J]. Atmos Chem Phys Discuss, 1: 36.
- Guo L, Fan B H, Zhang F Q, et al, 2018. The clustering of severe dust storm occurrence in China from 1958 to 2007 [J]. J Geophys Res Atmos, 123(15): 8035-8046.
- Han J, Dai H, Gu Z L, 2021. Sandstorms and desertification in Mongolia, an example of future climate events: a review [J]. Environ Chem Lett, 19(6): 4063-4073.
- Huang R H, Chen J L, Huang G, 2007. Characteristics and variations of the East Asian monsoon system and its impacts on climate disasters in China [J]. Adv Atmos Sci, 24(6): 993-1023.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bull Amer Meteor Soc, 77(3): 437-472.
- Li J D, Han X, Liao H, et al, 2022. Winter particulate pollution severity in North China driven by atmospheric teleconnections [J]. Nat Geosci, 15(5): 349-355.
- Liu Y X Y, Yang Y P, 2022. Detecting a declining trend of multidepth soil moisture over the Mongolian Plateau from 1950 to 2020 using ERA5-land reanalysis datasets [J]. IEEE Access, 10: 95509-95526.
- Nandintsetseg B, Shinoda M, 2014. Multi-decadal soil moisture trends in Mongolia and their relationships to precipitation and evapotranspiration [J]. Arid Land Res Manag, 28(3): 247-260.
- Shao Y P, 2001. A model for mineral dust emission [J]. J Geophys Res Atmos, 106(D17): 20239-20254.
- Shepherd G, Terradellas E, Baklanov A, et al, 2016. Global assessment of sand and dust storms [R]. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme (UNEP).
- Wang L, Chen W, 2010. How well do existing indices measure the strength of the East Asian winter monsoon? [J]. Adv Atmos Sci, 27(4): 855-870.
- Wang Y, Yu H J, Li L, et al, 2024. Long-term trend of dust event duration over Northwest China [J]. Sci Total Environ, 951: 175819.
- Zhang X, Wu B Y, Pang X Q, et al, 2025. Continuously shrinking early autumn Barents-Kara sea ice hinders East Asian winter monsoon forecasting [J]. Geophys Res Lett, 52(20): e2025GL117871.
- Zhang Y, Sperber K R, Boyle J S, 1997. Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: results from the 1979-1995 NCEP/NCAR reanalysis [J]. Mon Wea Rev, 125(10): 2605-2619.
- Zhou W, Chan J C L, Chen W, et al, 2009. Synoptic-scale controls of persistent low temperature and icy weather over southern China in January 2008 [J]. Mon Wea Rev, 137(11): 3978-3991.
- Zhou X J, Xu X D, Yan P, et al, 2002. Dynamic characteristics of spring sandstorms in 2000 [J]. Sci China Ser D: Earth Sci, 45(10): 921-930.

(本文责编:侯翠梅)