

韩旭卿,张涛,2022. 2022 年 5 月大气环流和天气分析[J]. 气象,48(8):1070-1076. Han X Q, Zhang T, 2022. Analysis of the May 2022 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon, 48(8):1070-1076(in Chinese).

2022 年 5 月大气环流和天气分析^{*}

韩旭卿 张 涛

国家气象中心,北京 100081

提 要: 2022 年 5 月大气环流的主要特征是:北半球极涡呈单极型分布,强度偏强;中高纬完成了从冬季三波型向夏季四波型的转换,环流呈四波型,欧亚环流经向度较大,副热带高压和南支槽强度与常年相当。全国平均气温为 16.7℃,较常年同期偏高 0.2℃。全国平均降水量为 71.6 mm,较常年同期偏多 2%,其中西南及华南地区降水较常年显著偏多。月内,全国范围内共发生 4 次区域性暴雨天气过程,多省遭受风雹袭击,部分地区受灾较重。此外,3 次冷空气过程影响我国,3 次沙尘过程影响北方地区,黄淮、江淮等地气象干旱持续发展。

关键词: 大气环流,暴雨,强对流,沙尘

中图分类号: P448, P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2022.070901

Analysis of the May 2022 Atmospheric Circulation and Weather

HAN Xuqing ZHANG Tao

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: The main characteristic of the general atmospheric circulation in May 2022 is that the single polar vortex center in the Northern Hemisphere was stronger than usual. The circulation finished the transition from a three-wave pattern to a four-wave pattern, the 500 hPa geopotential height presented the distribution of a four-wave pattern in middle-high latitudes of the Northern Hemisphere, and the degree of meridionality was stonger than normal. The strength of Western Pacific subtropical high and the south branch trough were similar to those in normal years. The monthly mean temperature was 16.7℃, 0.2℃ higher than normal. The monthly mean precipitation amount was 71.6 mm, 2% more than normal, of which the precipitation in Southwest China and South China was significantly more than in the normal year. Four regional rainfall processes occurred in China this month and several provinces were attacked by gales and hailstorm, which led to economic losses and casualties to some degrees. In addition, three cold air processes occurred this month, and the northern part of China experienced three sand-dust weather events. The drought maintained or developed in the Huanghuai and Jianghuai Regions.

Key words: atmospheric circulation, torrential rain, severe convection, sand-dust

引 言

2022 年 5 月,全国平均气温为 16.7℃,较常年

同期(16.5℃)偏高 0.2℃。全国平均降水量为 71.6 mm,较常年同期(70.3 mm)偏多 2%。月内有 3 次冷空气过程影响我国;3 次沙尘过程影响北方地区。降水分布上,南强北弱的形势明显,西南、华南、

^{*} 国家重点研发计划(2017YFC1052000)资助

2022 年 7 月 1 日收稿; 2022 年 7 月 9 日收修定稿

第一作者:韩旭卿,主要从事强对流预报技术与规律研究. E-mail:hanxq07@163.com

东北北部部分地区降水较常年显著偏多,共有4次区域性暴雨过程影响我国西南地区、长江中下游地区、江南以及华南地区;多地遭受风雹袭击,部分地区受灾较重。黄淮、江淮等地气象干旱持续发展。

1 天气概况

1.1 降水

5月,全国平均降水量为71.6 mm,较常年同期(70.3 mm)偏多2%。从空间分布(图1)看,西南大部、华南、江南等地降水量普遍在100~200 mm,其中江南南部、华南等地超过200 mm;全国其余大部地区降水量不足100 mm,其中黄淮、江淮大部、新疆大部、内蒙古西部、甘肃西部和北部等地降水量不足10 mm。

从降水距平场可见(图2),与常年同期相比,我

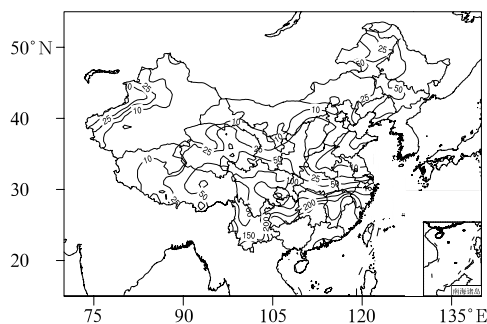


图1 2022年5月全国降水量分布(单位:mm)

Fig. 1 Distribution of precipitation over China in May 2022 (unit: mm)

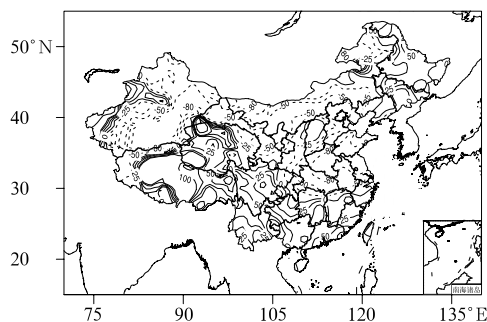


图2 2022年5月全国降水量距平百分率分布(单位:%)

Fig. 2 Distribution of precipitation anomaly percentage over China in May 2022 (unit: %)

国西南地区及华南降水显著偏多,黄淮、江淮、华北大部、西北地区大部降水显著偏少。其中华南大部、西南大部、东北北部部分地区及西藏大部、青海大部、新疆西北部部分地区降水偏多2成至1倍;全国其余地区降水以偏少为主,其中江南北部、黄淮、江淮、华北东北部及辽宁西北部、新疆大部、内蒙古大部、甘肃、宁夏等地降水偏少2~8成,新疆中东部部分地区、黄淮大部、江淮大部偏少8成以上。

1.2 气温

2022年5月,全国平均气温为16.7℃,较常年同期(16.5℃)偏高0.2℃(图3)。除山东东南部、江苏东北部,我国中东部大部地区气温接近常年同期或偏低1℃左右,其中华南大部、江南南部及贵州南部、云南东部等地气温偏低2~4℃;西北地区大部及内蒙古西北部、新疆、西藏大部气温偏高1℃以上,其中新疆大部、甘肃西北部等地偏高2~4℃,局部偏高4℃(国家气候中心,2022)。

2 环流特征和演变

2.1 环流特征

2022年5月北半球500 hPa平均位势高度场及距平场的水平空间分布如图4所示,5月北半球环流形势相比常年平均而言具有以下特点。

2.1.1 极涡呈单极型分布

5月,北半球极涡呈单极型分布(图4a),极涡位于北冰洋中心,中心强度低于524 dagpm。与常年相比(华珊等,2021;麦子和张涛,2020;关良和张涛,

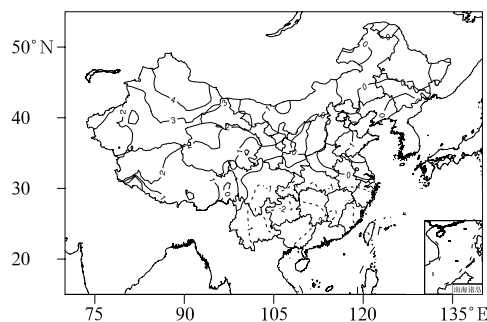


图3 2022年5月全国平均气温距平分布(单位:℃)

Fig. 3 Distribution of monthly mean temperature anomaly over China in May 2022 (unit: °C)

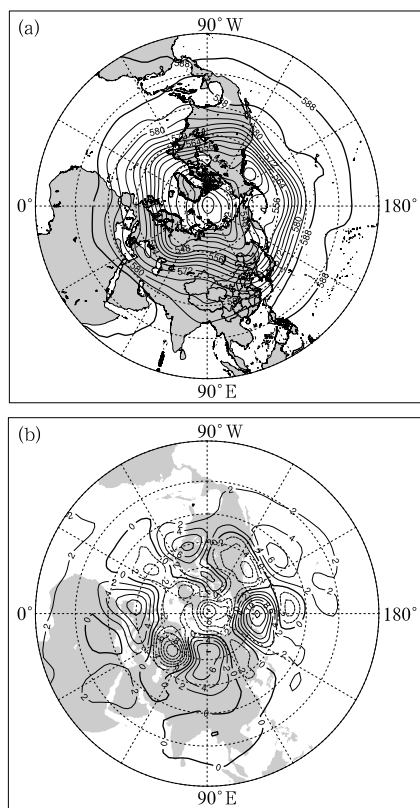


图4 2022年5月北半球500 hPa平均(a)高度场和(b)距平场(单位: dagpm)

Fig. 4 (a) Monthly average geopotential height and (b) anomaly at 500 hPa in the Northern Hemisphere in May 2022 (unit: dagpm)

2019;周晓敏和张涛,2018),极涡强度偏强;距平场表明(图4b),相比于气候平均态,极涡中心对应负距平约为 $-8\sim-6$ dagpm,强度明显偏强。

2.1.2 中高纬环流呈四波型,副热带高压强度与常年相当

从5月平均位势高度场(图4a)可知,5月北半球中高纬度500 hPa环流呈四波型分布,四个长波槽分别位于亚洲东部、北美西部、北美东部和欧洲东部,标志着冬季三波型向夏季四波型转换完成。从距平场看(图4b),欧洲东部槽区较常年偏强 $8\sim10$ dagpm,北美西部槽区较常年偏强 $4\sim6$ dagpm,北美东部槽区较常年偏强 $2\sim4$ dagpm,亚洲东部槽区较常年偏强 $0\sim2$ dagpm。欧亚地区中高纬度形势呈“两槽一脊”型,表现出明显的经向性,高压脊位于西西伯利亚地区,强度较常年偏强 $4\sim6$ dagpm,我国新疆中北部地区处于脊区控制,且强度较常年偏强 $2\sim4$ dagpm,在该形势下,新疆中北部气温明显偏高,与常年相比气温偏高 $3\sim4^{\circ}\text{C}$;同时东亚槽

位置偏东,强度较常年偏强,表现为东北冷涡活动频繁,槽偏深,该环流形势有利于引导冷空气南下影响我国,导致我国5月冷空气过程偏多,并有2次冷空气过程达到寒潮标准。深槽有利于冷空气南下至华南与暖湿气流交汇,造成华南、云南降水明显偏多,气温明显偏低;在北方,深槽造成大部地区位于槽后西北气流控制,天气晴朗一方面有利于5月强烈日晒升温,造成平均气温在冷空气活跃的背景下反而略偏高,另一方面造成北方大部降水偏少,黄淮气象干旱显著。

低纬度地区,西太平洋副热带高压(以下简称副高)较常年位置明显偏东偏南;南支槽平均位置位于 90°E 附近(图4a),强度与常年相当。由于东亚槽偏深,副高偏南,冷空气偏强,冷锋常位于江南和华南地区,黄淮、江淮地区多晴晒少雨天气,因此,月内我国华北东部、黄淮、江淮降水与常年相比显著偏少。同时受东亚大槽与副高的共同影响,我国江南、华南以及西南地区月内出现数次暴雨过程。

2.2 环流演变与我国天气

图5分别给出了5月上、中、下旬欧亚地区500 hPa的旬平均位势高度场分布。

5月上旬(图5a)欧亚大陆中高纬为“两槽一脊”型,东半球极涡位置偏北,位于巴伦支海附近,巴尔喀什湖附近为一弱脊,东亚槽位置偏东,位于鄂霍次克海附近,我国大部分地区位于槽后冷空气影响之下,同时北方干燥少雨,这也造成北方多沙尘天气。5—7日,北方多地出现扬沙或浮尘天气,其中内蒙古西部、甘肃中部、宁夏北部局地出现沙尘暴。6—8日,在东北冷涡影响下,东北大部、华北大部、内蒙古大部及山东北部等地最大降温幅度达 $8\sim12^{\circ}\text{C}$,局部超 12°C 以上。南方地区,副高位置偏东偏南,受北方南下冷空气和低层暖湿气流共同影响,5月上旬末开始我国南方出现了强降水天气,5月9—10日,四川中东部、重庆西部、贵州南部、湖南大部、江西中部、广西北部、广东中部降水量在50 mm以上,其中广西东北部、湖南东部、广东中部部分地区降水量在100 mm以上。

5月中旬(图5b),欧亚地区中高纬环流形势有所调整,但仍为“两槽一脊”型。相比上旬而言,极涡减弱北收,东亚大槽加深发展,位置较上旬偏西,控制我国东北地区,蒙古附近脊区加强,控制我国大部

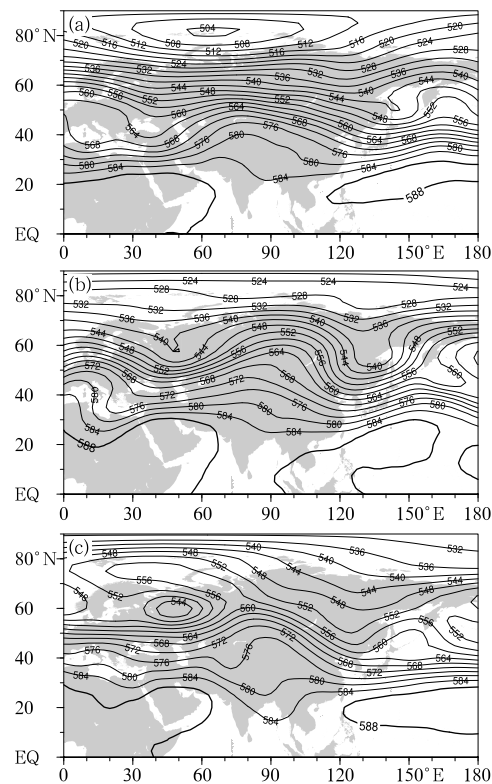


图 5 2022 年 5 月 (a) 上旬、(b) 中旬、(c) 下旬
500 hPa 平均位势高度场 (单位: dagpm)
Fig. 5 The average geopotential height at 500 hPa
for the (a) first, (b) second, and (c) third dekads
in May 2022 (unit: dagpm)

分地区,东北地区环流经向性加强。旬内,在东北冷涡影响下,西北地区东部和东北地区局地出现雷暴大风和冰雹天气,其中 14 日午后,在黑龙江五常市出现龙卷。低纬地区副高西伸北抬,其外围利于暖湿气流输送,华南、东南沿海整层水汽量增加,出现一次区域性强降水过程。11—14 日,在低空急流和低层切变线的共同影响下,广西中南部、广东、福建南部、海南岛出现暴雨,累计降水量在 50~100 mm,其中上述地区局地出现大暴雨,累计降水量在 100 mm 以上。

5 月下旬 (图 5c), 欧亚地区仍维持“两槽一脊”形势。巴尔喀什湖附近的脊发展西伸, 切断欧洲东部附近的槽形成切断低压, 东亚大槽较上旬进一步偏西, 控制我国东北地区, 内蒙古、华北、西北地区处于东亚大槽后部, 冷空气活跃; 副高东退, 西界位于 120°E, 南支槽发展, 给西南地区、江南、华南带来强降水过程。23—24 日, 受低层切变系统影响, 贵州南部、湖南南部、江西南部、广西北部、云南中东部出现强降水过程, 局地有大暴雨。5 月 26 日至 6 月 1 日, 东北冷涡加强东移, 蒙古附近横槽转竖, 造成冷空气南下与副高外围暖湿气流汇合, 影响我国南方大部分地区, 江南、贵州、广西出现暴雨, 局部大暴雨, 其中江西上饶、贵州黔南州和黔西南州、广西梧州局地累计降水量为 300~352 mm。

3 主要降水过程和强对流过程

3.1 概 况

5 月我国出现 4 次大范围强降水过程, 分别发生在 9—14 日, 23—24 日, 26—28 日, 5 月 29 日至 6 月 1 日 (表 1), 主要分布在西南地区、长江中下游地区、江南以及华南。其中 9—14 日暴雨过程强度强, 影响范围广。

3.2 5 月 9—14 日大范围降水过程分析

受东移高原槽和西南涡共同影响, 9—14 日, 西南地区东部、江南、华南出现自西向东、自北向南移动的强降水天气过程, 西南东部、江南、华南等地出现大到暴雨, 广东、广西东部和中南部、湖南中东部和南部、江西中部、浙江西部、福建及四川中部、云南西部等地累计降雨量为 100~300 mm, 其中广东珠海 (584.0 mm)、斗门 (485.7 mm)、佛冈 (413.0 mm)、恩平 (346.6 mm)、台山 (326.2 mm) 和龙门 (321.2 mm)

表 1 2022 年 5 月主要降水过程
Table 1 Main precipitation processes in May 2022

降水时段	主要影响系统	影响区域及降水强度
9—14 日	西南涡、低空西南急流、低层切变	四川东部、重庆西部、湖南中东部和南部、江西中部、广西中南部、广东中南部、福建南部、海南岛东部出现暴雨, 局地有大暴雨
23—24 日	低空西南急流、低层切变	贵州南部、湖南南部、江西南部、广西北部出现暴雨
26—28 日	低层切变	云南南部、广西中北部、广东中东部、福建中南部出现暴雨
5 月 29 日至 6 月 1 日	低层切变	云南南部、贵州南部、广西中北部、湖南中部、广东北部、江西北部、安徽东南部、浙江中西部、福建北部出现暴雨

6个站超过300 mm。全国累计雨量在50 mm及以上的覆盖面积为115.0万 km^2 ,其中耕地面积达30.2万 km^2 ;累计雨量在100 mm及以上的覆盖面积为42.6万 km^2 ,其中耕地面积达11.7万 km^2 。据应急管理部门统计,受此次强降水过程影响,广东、广西、福建、湖南、江西、四川、重庆等省(自治区、直辖市)累计有365个县次遭受洪涝灾害,90余万人受灾,农作物受灾面积达6.0万 km^2 ,其中广东、湖南、广西等省(自治区)受灾较严重。

高空500 hPa高度场和低空850 hPa风场演变的形势可以看出(图6),9日08时,高原槽东移至四川东部,槽前偏南风输送暖湿气流,在槽前正涡度平流和低空暖平流的共同作用下,西南涡在四川东部、重庆西部生成,并伴有明显的暖式切变线,从四川东部延伸至湖南北部,为以上地区提供了强的抬升作用。此外,在持续的水汽输送下,四川东部、重庆西部整层可降水量达到40 mm以上,为强降雨提供了充沛的水汽条件。9日,四川东部、重庆西部、湖南中西部出现暴雨,其中四川东部局地大暴雨,累计降水量达100 mm以上。10日,高空槽东移南压至江南、华南地区,暖式切变线位于湖南中部至江西中北部,暖式切变线南侧西南急流加强,850 hPa风速达 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,湖南南部、江西中南部、广西东南部、广东整层可降水量达50 mm以上,在良好的动力条件和水汽条件配合下,上述地区产生了大范围强降雨天气。

之后,随着高空槽的南压,低空切变线也持续南压,在广西、广东、福建南部造成持续性的强降雨天气,11—14日,广西、广东以及福建南部出现大范围暴雨、局地大暴雨天气,广东西南部沿海局地出现极

端小时降水,最大小时雨量达123.6 mm。14日夜间,随着低空切变线南移入海,高空槽减弱,本轮强降水过程结束。

3.3 强对流概况

5月我国主要发生5次强对流过程(表2),主要分布在华北、东北、西南、江南、华南等地,其中,北方在东北冷涡影响下以雷暴大风和冰雹天气为主,南方受副高外围暖湿气流影响以短时强降水天气为主。

5月24—25日,在东北冷涡和低层切变线影响下,华北、黄淮北部、东北地区出现大范围强对流天气。黑龙江东部、吉林西部、辽宁西部、河北大部、北京、山东西部、河南北部等地出现了较大范围的雷暴大风天气,黑龙江东部出现 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (11级)的雷暴大风,山西东北部出现 $28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (10级)雷暴大风;黑龙江东部、内蒙古中部、辽宁西南部、山西东北部等地局地出现冰雹。从实况来看(图略),强对流主要在锋前地面辐合线附近触发,之后随着横槽下摆,冷涡南压,线状对流随锋面快速扫过华北、东北、黄淮地区,同时配合高空动量下传等因素,给上述地区带来此次大风过程。总体来看,此次过程为一次干环境下强动力强迫影响下的强对流过程。

24日14时,华北北部、东北地区南部850 hPa有一条明显的西南—东北向的切变线(图7),500 hPa处于冷涡西南侧,有较强的动力抬升作用,有利于对流的触发,850 hPa西南风最大风速达 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,西南急流输送暖湿气流,整层可降水量为20 mm以上,具备发生对流的水汽条件。从温度场上看(图8),热力不稳定条件较强,低层850 hPa有一条

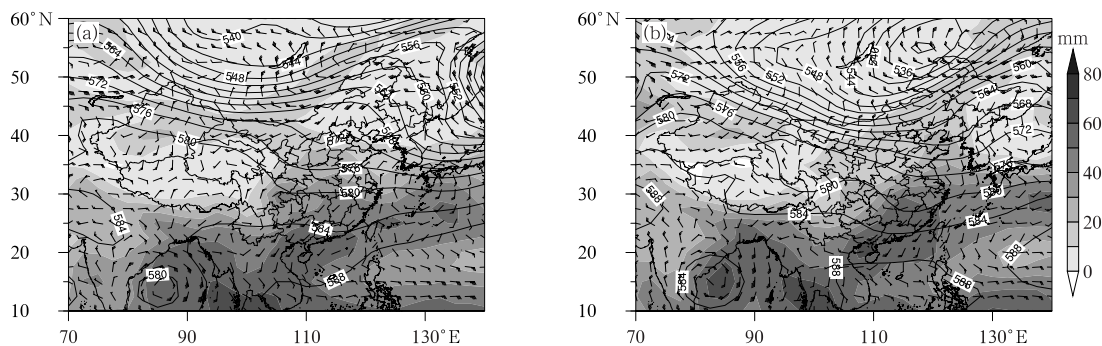


图6 2022年5月(a)9日08时、(b)10日14时500 hPa位势高度场(实线,单位:dagpm)、850 hPa风场(风羽)和整层可降水量分布(阴影)

Fig. 6 The 500 hPa geopotential height (solid line, unit: dagpm), 850 hPa wind field (barb) and PWAT (shaded) at (a) 08:00 BT 9 and (b) 14:00 BT 10 May 2022

表 2 2022 年 5 月主要强对流过程

Table 2 Main severe convective weather processes in May 2022		
时段	主要影响系统	影响区域和强度
14 日	冷涡、切变线	黑龙江五常约 13:45 出现龙卷,五常市卫国乡保家村十二户屯、福利屯遭遇对流大风天气,伴有雷电和降雨。对流天气造成部分民房、育秧大棚不同程度受损。现场灾调初步确定为弱到中等强度
21 日	冷涡、切变线	黑龙江东部和西部、吉林中东部、辽宁北部、内蒙古中部、河北北部、山西中北部、陕西北部等地局地出现 8~9 级雷暴大风,吉林东部局地出现 10 级雷暴大风。陕西南部、四川中东部、重庆北部、云南中南部、广东南部、广西东南部、海南出现短时强降水
24—25 日	冷涡、切变线	黑龙江东部、吉林西部、辽宁西部、河北大部、北京、山东西部、河南北部等地出现了较大范围的雷暴大风天气,黑龙江东部出现 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (11 级) 的雷暴大风,山西东北部出现 $28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (10 级) 雷暴大风;黑龙江东部、内蒙古中部、辽宁西南部、山西东北部等地局地出现冰雹。山西中部、山西西南部、河南南部、安徽中北部、江苏中北部、贵州中西部、重庆中西部、湖南东部、江西南部、福建中南部、云南中南部、广东、广西等地出现较大范围的短时强降水,最大小时雨量达 94.5 mm (贵州)
29—30 日	冷涡、切变线	黑龙江西南部和东部、吉林中东部、辽宁中西部、河北中北部、北京南部、天津、山东中西部、安徽中南部、江苏西南部等地出现较大范围的雷暴大风,辽宁局地出现 10 级雷暴大风;江南、华南出现较大范围短时强降水,其中贵州、湖南局地出现 $100\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上的短时强降水
31 日至 6 月 1 日	冷涡、切变线	四川东部和南部、重庆、贵州、湖南中北部、湖北南部、河南南部、安徽中南部、江西、浙江、福建、广西、广东、海南出现较大范围短时强降水,最大小时雨量达 122 mm ;四川南部、贵州西部、湖南中部、广西中东部、广东中东部、福建中南部等地局地出现 8~10 级雷暴大风

明显的暖舌自华北伸向黑龙江东南部,500 hPa 为明显的冷槽,高低层温差最高达 36°C ,上冷下暖的温度场配置有利于发生雷暴大风天气。低层(850 hPa、925 hPa)相对湿度在 40% 以下,低层较干,DCAPE 较大也有利于雷暴大风。此外,垂直风切变较大,0~3 km、0~6 km 垂直风切变均达 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,有利于对流的组织化以及进一步发展。上述特征从北京站的探空曲线也可以清楚看到(图 9),经过 14 时地面温度和露点的订正后,对流有效位能(CAPE)为 $1000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,低层较干,DCAPE 达 $700\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,高空风随高度逆转为冷平流,低空风随高度顺转为暖平流,综合环境条件有利于雷暴大风的发生。

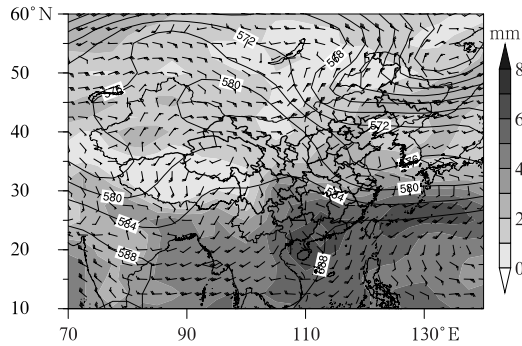


图 7 2022 年 5 月 24 日 14 时 500 hPa 位势高度场(实线,单位:dagpm)、850 hPa 风场(风羽)和整层可降水量分布(阴影)

Fig. 7 The 500 hPa geopotential height (solid line, unit: dagpm), 850 hPa wind field (barb) and PWAT (shaded) at 14:00 BT 24 May 2022

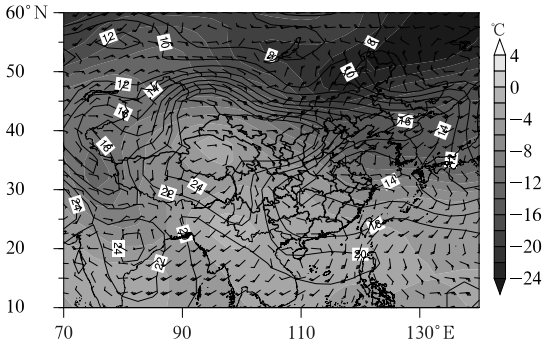


图 8 2022 年 5 月 24 日 14 时 500 hPa 温度(阴影)、850 hPa 温度(实线,单位: $^{\circ}\text{C}$)和 925 hPa 风场(风羽)

Fig. 8 The 500 hPa temperature (shaded), 850 hPa temperature (solid line, unit: $^{\circ}\text{C}$) and 925 hPa wind field (barb) at 14:00 BT 24 May 2022

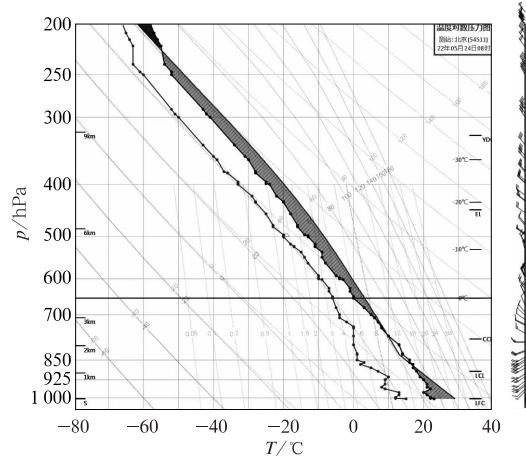


图 9 2022 年 5 月 24 日 08 时北京站探空资料经过 14 时地面温度和露点订正后的探空曲线
Fig. 9 T-lnp diagram of Beijing Sounding Station at 08:00 BT 24 May 2022 after being corrected by the surface temperature and dew point temperature at 14:00 BT 24 May 2022

4 其他灾害性天气

4.1 干旱

4月以来,由于长时间晴晒少雨,黄淮、江淮等地气象干旱持续发展。截止5月31日,华东中北部、华中北部、华北东北部、西北东部等地存在中度及以上气象干旱,其中山东东南部、河南东北部、江苏北部、安徽北部等地出现特旱;5月29日该4省中等及以上强度气象干旱面积达51.8万 km^2 ,其中重旱以上面积为37.2万 km^2 ,特旱面积为18.9万 km^2 ,为4月以来最大(国家气候中心,2022)。

4.2 冷空气过程

5月,我国北方大部地区遭受3次冷空气过程影响:6—8日、13—14日、30—31日,较常年同期(2.3次)略偏多。其中6—8日和30—31日两次冷空气过程达到寒潮标准。5月出现寒潮天气过程,近30年(1991—2020年)只发生过6次。6—8日,东北大部、华北大部、内蒙古大部及山东北部等地最大降温幅度达8~12 $^{\circ}\text{C}$,局部超12 $^{\circ}\text{C}$ 以上。最大降温幅度超过8 $^{\circ}\text{C}$ 的国土面积达160.4万 km^2 。30—31日,华北大部及吉林东南部等地最大降温幅度为5~10 $^{\circ}\text{C}$,局地超10 $^{\circ}\text{C}$ 以上。最大降温幅度超过8 $^{\circ}\text{C}$ 的国土面积有30.1万 km^2 。受冷空气过程影响,甘肃、内蒙古、宁夏、陕西、青海、贵州、四川等地局部遭受低温冷冻害(国家气候中心,2022)。

4.3 沙尘

5月,北方出现3次沙尘天气过程:5—7日、12—14日和23—26日,等级均为扬沙过程。沙尘天气过程次数接近2000—2020年同期平均值(2.9次)。

5—7日,新疆南疆盆地、内蒙古中西部、甘肃中

西部、宁夏、青海西北部、辽宁北部、吉林西部、黑龙江西南部、河北南部、河南北部、山东西部等地的部分地区出现扬沙或浮尘天气,其中内蒙古西部、甘肃中部、宁夏北部局地出现沙尘暴。12—14日,新疆东部和南疆盆地、甘肃西部、内蒙古西部等地出现扬沙或浮尘天气,新疆南疆盆地局地有沙尘暴。23—26日,内蒙古西部、甘肃河西、宁夏北部、青海西北部、新疆东部和南疆盆地等地出现扬沙和浮尘天气,内蒙古西部、甘肃西部、新疆南疆盆地有沙尘暴,内蒙古西部局地出现强沙尘暴。沙尘天气过程过程造成空气质量、能见度下降,并对人体健康和交通出行造成不利影响(国家气候中心,2022)。

致谢:感谢国家气象中心气象服务室宋文彬为本文提供月降水量、降水距平百分率和温度距平资料。

参考文献

- 关良,张涛,2019.2019年5月大气环流和天气分析[J].气象,45(8):1181-1188. Guan L, Zhang T, 2019. Analysis of the May 2019 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon, 45(8):1181-1188(in Chinese).
- 国家气候中心,2022.2022年5月中国气候影响评价[EB/OL]. https://cmdp.ncc-cma.net/influ/moni_china.php. National Climate Centre, 2022. Assessment of climate impact over China in May 2022[EB/OL]. https://cmdp.ncc-cma.net/influ/moni_china.php. (in Chinese).
- 华珊,张涛,张宸,2021.2021年5月大气环流和天气分析[J].气象,47(8):1021-1028. Hua S, Zhang T, Zhang C, 2021. Analysis of the May 2021 Atmospheric Circulation and Weather[J]. Meteor Mon, 47(8):1021-1028.
- 麦子,张涛,2020.2020年5月大气环流和天气分析[J].气象,46(8):1122-1128. Mai Z, Zhang T, 2020. Analysis of the May 2020 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon, 46(8):1122-1128(in Chinese).
- 周晓敏,张涛,2018.2018年5月大气环流和天气分析[J].气象,44(8):1110-1116. Zhou X M, Zhang T, 2018. Analysis of the May 2018 atmospheric circulation and weather[J]. Meteor Mon, 44(8):1110-1116(in Chinese).

(本文责编:王婷波)