

代潭龙,洪洁莉,李莹,等,2024. 2023 年全球重大天气气候事件[J]. 气象,50(3):370-376. Dai T L, Hong J L, Li Y, et al, 2024. Global significant weather and climate events in 2023[J]. Meteor Mon, 50(3):370-376(in Chinese).

2023 年全球重大天气气候事件*

代潭龙 洪洁莉 李 莹 刘 远 王国复 翟建青

国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

提 要: 2023 年,全球平均气温比工业化前高出约 1.45°C ($\pm 0.12^{\circ}\text{C}$),是有观测记录以来最热的一年。全球海平面继续上升,且全球平均海平面达到了有卫星记录(1993 年至今)以来的最高水平,反映了持续的海面变暖以及冰川和冰盖的融化。北极海冰面积仍远低于常年值,南极海冰面积创下历史新低。巴基斯坦、中国京津冀地区、意大利、巴西圣保罗州北部沿海地区、新西兰北岛等地遭受暴雨洪涝灾害,非洲西北部、中国云南、中美洲和南美洲北部发生严重干旱,南欧、北美、南美、东亚和南亚等地遭遇创纪录高温热浪,欧洲和北美等地遭遇寒流和暴风雪侵袭,强对流天气频繁袭击世界各处,全球热带气旋活动频繁。

关键词: 重大天气气候事件,气象灾害,山火,高温热浪

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2024.022101

Global Significant Weather and Climate Events in 2023

DAI Tanlong HONG Jieli LI Ying LIU Yuan WANG Guofu ZHAI Jianqing

Laboratory of Climate Studies, National Climate Centre, CMA, Beijing 100081

Abstract: In 2023, the global mean temperature was about 1.45°C ($\pm 0.12^{\circ}\text{C}$) above pre-industrial level, making it the warmest year on record. Global sea level continued to rise, and the global mean sea levels reached the highest level since satellite records began from 1993, reflecting the persistent ocean warming and the melting glaciers and ice sheets. The Arctic sea ice extent remained well below normal values, and the Antarctic sea ice extent hit a record low. Pakistan, Beijing—Tianjin—Hebei Region of China, Italy, northern coastal areas of Sao Paulo State of Brazil, North Island of New Zealand and other places suffered from torrential rains and floods. Severe droughts occurred in north-western Africa, Yunnan Province of China, central American and northern South America. Record-breaking heat waves hit southern Europe, North America, South America, East Asia and South Asia. Europe and North America experienced cold snaps and blizzards. Severe convective weather frequently stroke here and there on the globe, and tropical cyclones were frequently active around the world.

Key words: significant weather and climate event, meteorological disaster, wildfire, heat wave

引 言

世界气象组织最新数据显示,2023 年全球平均

温度比工业化前(1850—1900 年)高出约 1.45°C ($\pm 0.12^{\circ}\text{C}$),是第六暖年份,同时 2015—2023 年是有记录以来最暖的 9 年(WMO, 2023)。全球海洋热容量持续升高,2022 年海洋热容量是有记录以来

* 中国气象局气象能力提升专项(22NLTSY016)、中国气象局决策气象服务专项(JCZX2023026)和中国气象局创新发展专项(CXFZ2024J037)共同资助

2024 年 1 月 23 日收稿; 2024 年 2 月 21 日收修定稿

第一作者:代潭龙,主要从事气候变化与灾害风险研究. E-mail: daitl@cma.gov.cn

通讯作者:翟建青,主要从事灾害风险研究. E-mail: zhajq@cma.gov.cn

最高,过去 20 年,海洋变暖率上升幅度特别明显。全球平均海平面继续上升,近 10 年的上升速率超过了 $4.72 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ (WMO et al, 2022)。2023 年北极海冰面积在大部分时间都低于 1981—2020 年平均值(C3S, 2023),南极海冰面积创历史纪录,比历史最低纪录少 100 万 km^2 (WMO, 2023)。

2023 年全球多地发生重大天气气候事件,多地遭遇严重暴雨洪涝灾害(WMO, 2023),北半球多地遭受高温热浪、干旱和山火(UN, 2023; NCEI, 2024)。北大西洋、东太平洋和南印度洋气旋活动频繁,世界各地遭受强对流天气。灾害破坏了健康安全、粮食安全、能源安全和水安全以及基础设施,造成了重大经济损失和人员伤亡。据突发事件数据库(Emergency Events Database, EM-DAT) (EM-DAT, 2023)和慕尼黑再保险公司(Munich, 2024)公布的统计数据,2023 年全球自然灾害共造成约 2500 亿美元的经济损失,与 2022 年及近 5 年平均经济损失持平。

气候变化导致的天气、气候极端事件的数量在不断增加,2000 年以来,全球天气、气候相关灾害造成的年度经济损失显著增加,在低收入和中低收入国家,干旱灾害占有所有损害和损失的 82%。及时总结和梳理全球气候特征和重大天气气候事件影响有助于更好地理解气象灾害风险并加快采取降低风险的行动,从而支撑气象灾害风险管理工作更好地开

展(秦大河等, 2015)。国家气候中心长期关注中国和全球主要天气气候事件的发生、发展和影响(翟建青等, 2021; 刘远等, 2023a; 2023b),并对极端天气气候事件影响及风险评估开展了大量总结和复盘(李莹等, 2023; 梅梅等 2023; 张颖娴等, 2022; 高歌等, 2023; Liu et al, 2023; Li et al, 2023)。本文侧重对 2023 年全球主要气候特征及重大天气气候事件进行综述,所用的资料包括 2023 年全球气候状况报告(WMO, 2023)、GPCC 全球降水量观测资料集和 NCEP/NCAR 大气再分析数据集等。

1 全球重大天气气候事件概述

1.1 全球多地遭遇严重暴雨洪涝灾害

2023 年,东亚、北亚部分地区,西印度夏季风区、海洋大陆部分地区,新西兰北部,澳大利亚北部内陆,西非、中非和东非部分地区,东南欧和地中海东部地区,斯堪的纳维亚半岛南部,北美洲西北部、西南部 and 东南部等地降水量较常年偏多;南美洲东南部,亚马孙盆地,中美洲大部,加拿大南部,地中海西部地区 and 欧洲西南部,西非、中非、东非和南非部分地区,中亚,东印度季风地区,东南亚和海洋大陆部分地区,澳大利亚西南部、东南部和北部沿海以及诸多太平洋岛屿等地降水量较常年偏少(图 1)。

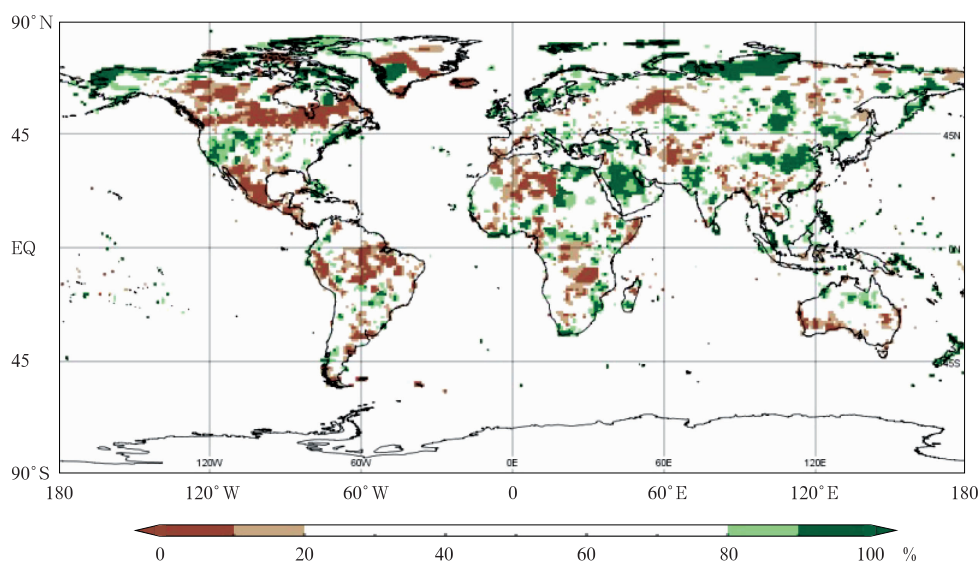


图 1 2023 年全球总降水量在历史基准期(1991—2020 年)百分位序列中的位置(WMO, 2023)

Fig. 1 Position of global total precipitation in 2023 in the percentile sequence of the 1991—2020 reference period (WMO, 2023)

在亚洲地区,6月巴基斯坦遭遇暴雨袭击,造成至少30人死亡、210人受伤。6月中下旬,印度阿萨姆邦受持续降雨影响造成超过1300个村庄被淹,近50万人受灾,1.4万 hm^2 农作物被毁,7人死亡。7月上中旬印度北部多地遭遇持续暴雨,引发洪水、山体滑坡以及内涝,造成91人死亡。7月29日至8月1日,中国华北、黄淮等地出现极端降水过程,海河流域发生编号洪水,京津冀等地多个蓄滞洪区启用,局地累计降水量达650~1003 mm;强降水引发山洪、城市内涝等次生灾害,受灾严重。

在欧洲地区,5月18日,极端暴雨席卷意大利北部艾米利亚-罗马涅大区,造成超过3.6万人无家可归,至少15人死亡,数十亿欧元的经济损失。7月27日,莫斯科遭遇破纪录强降雨,几小时内降水量达46 mm,超过了1894年记录值(42.5 mm)。8月上旬风暴汉斯在北欧多国肆虐,瑞典、挪威、丹麦等国多地发生洪涝灾害。9月,飓风丹尼尔导致希腊、保加利亚南部等地出现极端降雨。其中,9月5日,希腊色萨利地区降水量最大为759.6 mm;9月4—5日,保加利亚斯科提16 h降水量达329 mm;希腊和保加利亚共有19人死亡。

在美洲地区,2月巴西圣保罗州北部沿海地区多个城市遭受暴雨灾害,造成65人死亡。4月12日,美国佛罗里达州南部城市劳德代尔堡遭遇“千年一遇”强降雨引发洪水。5月18日,极端暴雨席卷意大利北部艾米利亚-罗马涅大区,造成超过3.6万人无家可归,至少15人死亡,数十亿欧元的经济损失。7月15日,美国费城北部巴克斯郡遭遇连续山洪和强降雨,45分钟时间内降水量达到170 mm,造成5人死亡,2人失踪。

在大洋洲地区,1—2月,新西兰北岛遭受了多次极端降雨和洪水事件。1月27—28日,奥克兰遭遇暴雨引发局部洪水,造成4人死亡。2月13—14日,飓风加布里埃尔导致新西兰北岛部分地区日降水量超500 mm,奥克兰气压(971.5 hPa)达到有记录以来最低水平,并造成11人死亡,两次暴雨灾害共造成新西兰53~86亿美元的经济损失。

在非洲地区,5月卢旺达西方省和北方省遭受强降雨和洪水灾害,造成130人死亡,5000多座房屋倒塌。5月刚果(金)东部南基伍省连降暴雨引发洪水,造成至少438人死亡,超过5500人失踪。

9月10—11日风暴丹尼尔造成利比亚北部24 h降水量达414.1 mm,强降雨导致两座水坝溃坝;造成利比亚至少4345人死亡,8500人失踪(截至10月11日)。10月,加纳东部的强降雨给该地区带来严重洪水,迫使近2.6万人撤离。10月开始的暴雨还导致埃塞俄比亚、索马里和肯尼亚50多万人流离失所,并导致至少130人死亡。11月上旬,索马里再次遭受连续暴雨,共造成96人死亡,230万人受灾。

1.2 全球多地遭遇高温热浪、干旱和火灾

在亚洲地区,4月中旬印度马哈拉施特拉邦、比哈尔邦等多地遭遇高温热浪袭击,白天最高气温超过40℃,孟买有13人中暑死亡。4月泰国遭遇持续高温天气,多地最高气温超过40℃,泰国来兴府最高气温为45.4℃,刷新该国历史纪录。4月缅甸多地创下近60年高温纪录,造成超过10人中暑死亡。5月,东南亚地区多国出现创纪录高温天气,泰国北部地区达到45℃、老挝琅勃拉邦市43.5℃、越南北部地区44.2℃、新加坡37℃、印度部分地区44℃,极端高温造成基础设施损坏、电力短缺、中暑病例激增。4月11日,韩国东北部江原道江陵地区发生山火,造成17人死亡,70多栋民宿和住宅损毁。5月,中国云南发生严重冬春连旱,影响春播作物生长,造成发电量下降。6月,中国高温日数为1961年以来历史同期第二多;华北黄淮地区出现3次高温过程,造成多起高温中暑、热射病等病例发生,并给电力部门造成压力。6月11日,蒙古国东部多地发生火灾,过火面积达20万 hm^2 ,造成1人死亡。

在欧洲地区,7月下旬,高温热浪席卷欧洲东南部,出现严重且异常持续的高温。7月24日,意大利撒丁岛洛特佐拉伊和耶尔祖气温达到48.2℃,仅比2021年西西里岛欧洲最高记录低0.6℃。7月25日,阿尔巴尼亚地拉那气温达到43.0℃,创当地高温纪录。8月下旬和9月初,希腊东北部发生了欧盟有史以来最大的火灾。

在美洲地区,1月阿根廷产生75个最高和最低温度记录。1月14日,乌拉圭佛罗里达省的最高气温达到44℃,追平1943年1月创下的全国最高气温纪录。6月中旬至下旬,美国南部和墨西哥出现异常高温天气,大部分地区最高气温较常年同期偏高4℃以上。4—10月,加拿大野火烧毁总面积超过1850万 hm^2 ,比近10年(2013—2022年)平均值高出6倍,远高于此前所创纪录,并造成6人死亡。美

国夏威夷野火造成至少115人死亡,850人失踪,是2023年最致命的一场野火,也是美国野火史上死亡人数最多的一次。南美洲亚热带地区是今年干旱最为严重的区域之一,造成阿根廷小麦产量较近5年平均水平减产30%以上。8月,阿根廷北部和中部大部分地区8月的气温比常年值低20%~50%,各地区降水量连续第四年显著低于常年值。

在非洲地区,阿尔及尔(7月23日,49.2℃)、突尼斯(7月24日,49.0℃)和摩洛哥阿加迪尔(8月11日,50.4℃)等多地经历创纪录高温。非洲西北部长期持续干旱,造成该地区270万人流离失所,农作物产量受到严重影响。

1.3 印度洋和北太平洋热带气旋活动频繁

2023年,全球共生成45个热带气旋,数量低于历史水平,强度高于常年值。北大西洋的气旋活动接近正常,东太平洋、北印度洋、南印度洋高于正常水平,其他地区的气旋活动都低于正常水平,其中西太平洋连续4年低于正常水平。

在印度洋,2月6日在澳大利亚西海岸外生成的热带气旋弗雷迪是世界上持续时间最长的热带气旋之一,该热带气旋于3月11日在莫桑比克最后登陆,然后作为残余低气压向内陆移动。受“弗雷迪”影响,莫桑比克和马拉维出现特大降雨(莫桑比克降水量高达672 mm),马拉维、莫桑比克和马达加斯加发生洪灾、山体滑坡和泥石流等灾害,导致马拉维至少679人死亡,65万余人在国内流离失所;莫桑比克165人死亡,马达加斯加和津巴布韦也有伤亡报告;“弗雷迪”横穿南印度洋并造成南印度洋主要航线一度中断,影响了东亚—南美、东亚—南非的贸易运输。5月,热带气旋穆查是孟加拉湾观测到的最强气旋之一,其10分钟持续风速最高达 $55\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;从斯里兰卡到缅甸、印度和孟加拉国共造成170万人流离失所,并造成缅甸21人死亡。

在北太平洋,5月台风玛娃掠过美国关岛北部,带来强风和暴雨天气,引发大范围停电,给日本带来强降水、洪水、山体滑坡灾害,造成3人死亡,近千座房屋被淹,多地停电断水。7月下旬,台风杜苏芮登陆菲律宾北部卡加延省,造成25人死亡,52人受伤,239人受灾。8月中下旬台风卡努造成俄罗斯、韩国多地受灾,上万人疏散避险。8月,台风苏拉导致菲律宾41.8万人受灾,2人死亡,1人受伤,1人失踪,2.5万人被转移至临时避难场所。

1.4 欧洲和北美等地遭受低温寒流和暴风雪侵袭

1月中旬,俄罗斯部分地区持续遭遇极寒天气,西伯利亚最冷地区气温达到 -73°C ,打破北半球历史最低气温纪录。1月,阿富汗经历近15年来最寒冷的冬天,严寒天气等灾害造成阿富汗158人死亡。2月,一场强大的冬季风暴席卷美国多地,从西南部的加州一直延伸至东北部的缅因州,一些地区遭遇强风、结冰、极端寒冷、暴雪、雨夹雪、强降雨及洪水等恶劣天气,造成部分地区学校停课、航班延误、电力中断以及道路封闭等,民众生活受到严重影响。2月7日,新罕布什尔州芒特华盛顿天文台记录下的夜间风寒温度为 -78°C ,创美国有相关记录以来最低纪录。11月底,乌克兰遭遇冬季风暴,造成5人死亡,1人失踪。

1.5 强对流天气频繁袭击世界各地

3月24—31日,美国南部密西西比州和亚拉巴马州等地区遭遇龙卷风灾害,致58人死亡。4月7日,加拿大东部遭遇冰雹袭击,冻雨和强风导致树木倒下、电线被压断,造成3人死亡,数十万用户断电。4月美国中部及密苏里州遭遇龙卷风袭击造成至少7人死亡,数万家庭处于断电状态。5月11日,孟加拉国马古拉县和拉杰巴里县发生雷击事故,造成5人死亡,1人受伤。6月17日,巴西南部南里奥格兰德州因风暴过境引发的强降雨导致15人死亡,20人失踪,受灾城市多达41个。6月中国辽宁、江苏等多地遭遇龙卷风;美国多地遭遇龙卷风等恶劣天气袭击,造成至少9人死亡,上百人受伤,数十座房屋受损。2023年全球重大天气气候事件如图2所示。

2 典型重大天气气候事件成因分析

2.1 2023年6月北美南部异常高温成因分析

6月中旬至下旬,美国南部和墨西哥出现异常高温天气,大部分地区最高气温较常年同期偏高 4°C 以上(图3)。美国得克萨斯州大部、新墨西哥州南部、亚利桑那州南部和墨西哥北部等地气温超过 $37\sim 40^{\circ}\text{C}$,其中,墨西哥的索诺拉州、塔毛利帕斯州、新莱昂州、科阿韦拉州以及美国的得克萨斯州部分地区最高气温达 $44\sim 46^{\circ}\text{C}$,局部 47°C ,得克萨斯州



图 2 2023 年全球重大天气气候事件示意图

Fig. 2 Diagram of global significant weather and climate events in 2023

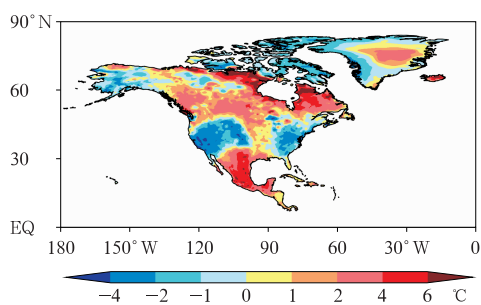
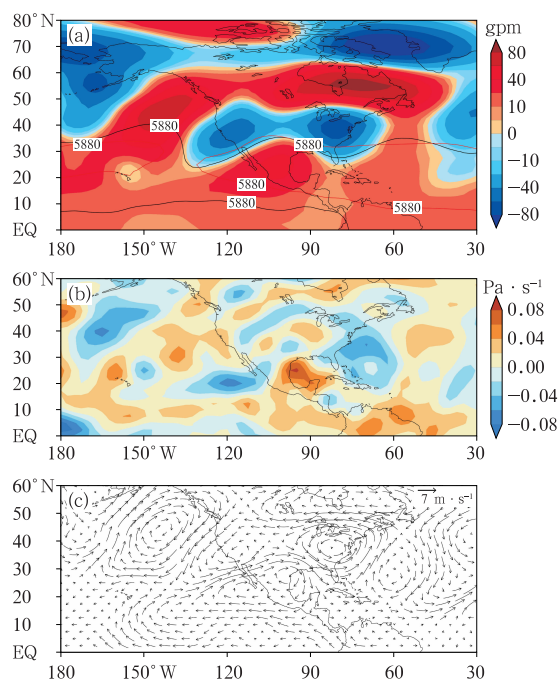


图 3 2023 年 6 月 11—30 日北美最高气温距平(相对 1991—2020 年平均值)空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of maximum temperature anomaly over North America in 11—30 June 2023 (compared to the 1991—2020 average)

和墨西哥多地最高气温突破 6 月同期历史极值。

从环流形势来看, 6 月中旬至下旬, 墨西哥和美国南部上空是显著的正高度异常区, 尤其墨西哥北部位于高值中心, 这种环流表现为北美副热带高压异常强盛(图 4a), 副热带高压控制区以下沉气流为主(图 4b), 下沉气流因绝热压缩作用使空气变暖, 气温偏高; 同时副热带高压阻挡冷空气南下和暖湿气流北上, 低层风场异常导致降水偏少(图 4c), 加剧了高温影响。



注: 图 a 中黑色、红色等值线分别为实况和气候态 5880 gpm 特征线。

图 4 2023 年 6 月 11—30 日西北半球 500 hPa(a)位势高度距平, (b)垂直速度距平场和(c)700 hPa 矢量风距平场(相对 1991—2020 年平均值)

Fig. 4 500 hPa (a) geopotential height anomaly, (b) vertical velocity anomaly and (c) 700 hPa vector wind anomaly in the Northwest Hemisphere in 11—30 June 2023 (compared to 1991—2020 average)

2.2 美国夏威夷山火成因分析

2023年8月,受环境干旱、强风等多因素综合影响,美国夏威夷毛伊岛等地爆发大规模山火灾害,毛伊岛大部分地区被火灾与浓烟隔绝。此次野火是夏威夷自1959年建州以来死亡人数最多的自然灾害,也是美国近年来死伤最严重的野火灾害。

2023年7月以来,美国夏威夷州毛伊岛大气可降水量持续偏低(图5),显示大气非常干燥,实际降水量不足5 mm(常年同期气候值为30 mm),几乎无有效降水,同时气温总体较常年同期偏高(图6),达到中到重度气象干旱。

前期温高雨少是由大气环流异常导致的。从环流形势来看(图7),7月1日至8月10日太平洋副热带高压整体偏强,夏威夷州及周边海域位于其异常中心,下沉气流强盛,造成当地持续晴热少雨天气;此外,飓风多拉于8月上旬经过夏威夷州附近(图8),给毛伊岛带来大风,有助于火势快速蔓延。

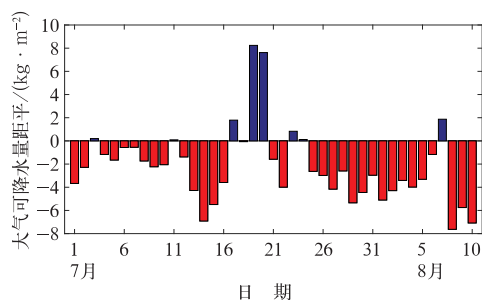


图5 2023年7月1日至8月10日
夏威夷毛伊岛大气可降水量距平变化
Fig. 5 Variation of atmospheric precipitable
water anomaly in Maui Island, Hawaii,
from 1 July to 10 August 2023

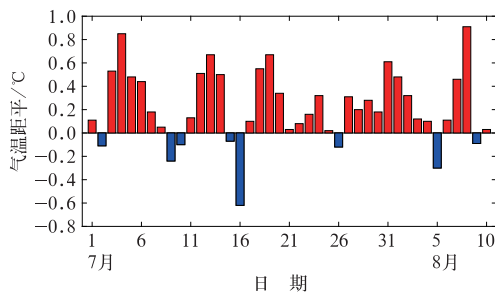
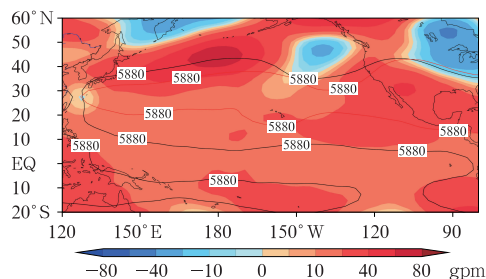


图6 2023年7月1日至8月10日
夏威夷毛伊岛气温距平
Fig. 6 Temperature anomaly in Maui Island,
Hawaii, from 1 July to 10 August 2023



注:黑色、红色等值线分别为实况和
气候态 5880 gpm 特征线。

图7 2023年7月1日至8月10日
500 hPa 位势高度距平(相对
1991—2020 年平均值)

Fig. 7 500 hPa geopotential height
anomaly from 1 July to 10 August 2023
(compared to 1991–2020 average)

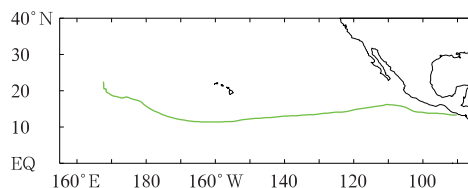


图8 2023年飓风多拉轨迹
Fig. 8 Track of Hurricane Dora in 2023

3 结 论

2023年,全球平均温度比工业化前高出约 1.45°C ($\pm 0.12^{\circ}\text{C}$),是174年来最暖年份,同时2015—2023年是有记录以来最暖的9年(WMO, 2023)。全球海洋热容量持续升高,2022年海洋热容量是有记录以来最高的,过去20年海洋变暖率上升幅度特别明显。全球平均海平面继续上升,近10年的上升速率超过了 $4.72\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 。2023年北极海冰面积在大部分时间都低于1981—2020年平均值,南极海冰面积创历史最低纪录。厄尔尼诺现象加剧了暴雨洪涝、高温热浪和干旱等灾害发生。巴基斯坦、中国京津冀地区、意大利、巴西圣保罗州北部沿海地区、新西兰北岛等地出现了极端降水,引发洪水,造成多人死亡。新西兰北岛遭受了多次极端降雨和洪水事件。高温热浪席卷了欧洲东南部,出现了严重且异常持续的高温。希腊、加拿大、美国等地野火非常活跃,其中美国夏威夷野火造成至少115人死亡,是今年最致命的一场,也是美国野火史

上死亡人数最多的一次。非洲西北部长期持续干旱,已造成该地区 270 万人流离失所,农作物产量受到严重影响。南美洲亚热带地区是今年干旱最为严重的区域之一,阿根廷、乌拉圭等地受灾严重。

进一步分析表明,6月中旬至下旬,墨西哥和美国南部上空是显著的正高度异常区,尤其墨西哥北部位于高值中心,这种环流表现为北美副热带高压异常强盛,副热带高压控制区以下沉气流为主,下沉气流因绝热压缩作用使空气变暖、气温偏高;同时副热带高压阻挡冷空气南下和暖湿气流北上,低层风场异常导致降水偏少,加剧了高温影响。美国夏威夷火灾主要是由于7—8月太平洋副热带高压整体偏强,夏威夷州及周边海域位于其异常中心,下沉气流强盛,造成当地持续晴热少雨天气;此外,飓风多拉于8月上旬经过夏威夷州附近,给毛伊岛带来大风,有助于火势快速蔓延。

参考文献

- 高歌,李莹,陈涛,等,2023. 2004—2019年中国干旱多承灾体灾损风险特征评估[J]. 气象,49(5):611-623. Gao G, Li Y, Chen T, et al, 2023. Characteristics and risk assessment of drought losses for different hazard bearing bodies in China from 2004 to 2019 [J]. Meteor Mon, 49(5):611-623(in Chinese).
- 李莹,叶殿秀,高歌,等,2023. 2022年夏季中国气候特征及主要天气气候事件[J]. 大气科学学报,46(1):110-118. Li Y, Ye D X, Gao G, et al, 2023. Climate characteristics and major meteorological events in China during the summer of 2022[J]. Trans Atmos Sci, 46(1):110-118(in Chinese).
- 刘远,代潭龙,尹宜舟,等,2023a. 2021年中国气候年景及主要气象灾害概述[J]. 灾害学,38(1):130-135. Liu Y, Dai T L, Yin Y Z, et al, 2023a. Overview of climatological year and major meteorological disasters in China in 2021[J]. Journal of Catastrophology, 38(1):130-135(in Chinese).
- 刘远,李莹,郭增元,等,2023b. 2022年全球重大天气气候事件[J]. 气象,49(9):1142-1148. Liu Y, Li Y, Guo Z Y, et al, 2023b. Global significant weather and climate events in 2022[J]. Meteor Mon, 49(9):1142-1148(in Chinese).
- 梅梅,高歌,李莹,等,2023. 1961~2022年长江流域高温干旱复合极端事件变化特征[J]. 人民长江,54(2):12-20. Mei M, Gao G, Li Y, et al, 2023. Characteristics of combined extreme events of high temperature and drought in the Yangtze River Basin from 1961 to 2022[J]. Yangtze River of China, 54(2):12-20(in Chinese).
- 秦大河,张建云,闪淳昌,等,2015. 中国极端天气气候事件和灾害风险管理及适应国家评估报告[M]. 北京:科学出版社. Qin D H, Zhang J Y, Shan C C, et al, 2015. China National Assessment Report on Risk Management and Adaptation of Climate Extremes and Disasters[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- 翟建青,代潭龙,王国复,2021. 2020年全球气候特征及重大天气气候事件[J]. 气象,47(4):471-477. Zhai J Q, Dai T L, Wang G F, 2021. Global climate features and significant weather and climate events in 2020[J]. Meteor Mon, 47(4):471-477(in Chinese).
- 张颖娴,孙劭,刘远,等,2022. 2021年全球重大天气气候事件及其成因[J]. 气象,48(4):459-469. Zhang Y X, Sun S, Liu Y, et al, 2022. Global major weather and climate events in 2021 and possible causes[J]. Meteor Mon, 48(4):459-469(in Chinese).
- C3S, 2023. Sea ice cover for September 2023 [EB/OL]. [2023-02-01]. <https://climate.copernicus.eu/sea-ice-cover-september-2023>.
- EM-DAT, 2023. EM-DAT: the international disaster database [DB/OL]. <http://www.emdat.be/>.
- Li Y, Zhao S, Zhao D, et al, 2023. Changes in tropical cyclone disasters over China during 2001—2020 [J]. Earth and Space Science, 10: e2022EA002795.
- Liu Y, Li Y, Wang G, et al, 2023. Quantifying multi-regional indirect economic losses: an assessment based on the 2021 rainstorm events in China [J]. Front Earth Sci. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1057430>.
- Munich R E, 2024. Record thunderstorm losses and deadly earthquakes: the natural disasters of 2023 [R/OL]. [2024-01-09]. <https://www.munichre.com/en/company/media-relations/media-information-and-corporate-news/media-information/2024/natural-disaster-figures-2023.html>.
- NCEI, 2024. Monthly tornadoes report for annual 2023, January 2024 [R/OL]. [2024-03-04]. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313>.
- UN, 2023. The sustainable development goals report 2023: special edition [R/OL]. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/>.
- WMO, 2023. State of the Global Climate 2023 [R/OL]. [2023-11-30]. <https://wmo.int/files/provisional-state-of-global-climate-2023>.
- WMO, WHO, FAO, et al, 2022. Multi-Agency Drought Alert-Immediate global action required to prevent Famine in the Horn of Africa, November 2022 [R/OL]. [2023-01-18]. <https://reliefweb.int/report/somalia/multi-agency-drought-alert-immediate-global-action-required-prevent-famine-horn-africa-november-2022>.

(本文责编:侯翠梅)