

孙劭,王东阡,尹宜舟,等,2018.2017 年全球重大天气气候事件及其成因[J].气象,44(4):556-564.

2017 年全球重大天气气候事件及其成因*

孙 劭^{1,2} 王东阡¹ 尹宜舟¹ 王国复¹ 柯宗建¹

1. 中国气象局国家气候中心,北京 100081

2. 中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

提 要: 2017 年全球主要温室气体浓度继续攀升,地表温度相比工业化前水平高出 1.1℃,位列 2016 年之后,为有气象观测记录以来的历史第二高值,也是有记录以来最暖的非厄尔尼诺年份。全球冰冻圈持续萎缩,冬季北极最大海冰范围创历史新高,南极海冰范围全年处于历史低位。全球海表面温度显著高于常年,海平面持续上升,海洋热含量创历史新高,海洋酸化的影响持续加剧。世界各地发生了许多重大天气气候事件,包括异常活跃的北大西洋飓风、印度次大陆的季风洪水、东非部分地区的持续干旱,以及全球多地的暴雨洪涝、高温热浪、低温寒流和强对流天气,2017 年成为有记录以来气象灾害造成经济损失最大的年份。本文总结了 2017 年全球重大天气气候事件及其影响,并重点分析了大西洋飓风季异常活跃和美国西海岸高温热浪天气两个典型事件的形成原因。分析表明,8 月底至 10 月初,加勒比海和热带西大西洋海温偏高,对流活动旺盛,风速垂直切变偏小,为飓风的发展加强提供了有利的背景条件,加之北美副热带高压出现阶段性减弱,导致 4 个强飓风接连登陆美国和加勒比海地区;7 月上旬,受副热带西风急流加强东伸,东北太平洋切断低压维持影响,北美副热带高压持续控制美国西南部地区,是当地高温热浪事件发生的主要原因。

关键词: 表面温度,降水量,极端事件,气象灾害

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.04.009

Global Major Weather and Climate Events in 2017 and the Possible Causes

SUN Shao^{1,2} WANG Dongqian¹ YIN Yizhou¹ WANG Guofu¹ KE Zongjian¹

1. National Climate Centre, Beijing 100081

2. Laboratory for Climate Studies, CMA, Beijing 100081

Abstract: The concentration of greenhouse gases continued to increase in 2017, and the global mean temperature was 1.1℃ above the pre-industrial levels, making the year 2017 become the second warmest year on record and the warmest year not influenced by El Niño event. The cryosphere continued its contraction. The maximum sea-ice extent of Arctic sea in winter broke the lowest record while the sea-ice extent of Antarctic was near the record low level throughout the year. Global sea surface temperatures were significantly above the 1981–2010 average, and the global mean sea level kept rising steadily. The ocean heat content reached new record highs due to the intensified impact of ocean acidification. Many significant weather and climate events occurred in 2017, including a very active North Atlantic hurricane season, major monsoon floods in the Indian subcontinent, severe droughts in East Africa as well as some torrential rains, heat waves, cold waves and severe convective weather at regional or local scale worldwide. Economic losses from the weather and climate related disasters set a new record in 2017. This paper summarizes the major events and its impact in 2017, and analyzes the formation causes of typical events including the exceptionally destructive hurricanes that occurred in rapid succession in the North Atlantic and the

* 国家自然科学基金项目(41701103)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506002)共同资助

2018 年 3 月 27 日收稿; 2018 年 4 月 3 日收修定稿

第一作者:孙劭,主要从事气候变化与灾害风险研究. Email:sunshao@cma.gov.cn

significant summer heat waves in the United States. Analysis of atmospheric circulation and external forcing shows that the positive SST anomalies of Caribbean and western tropical Atlantic enhanced the convective activity and decreased the vertical shear of wind speed, providing favorable background conditions for the development of hurricanes. In addition, the stage weakening of North American subtropical high caused four destructive hurricanes to make landfall successively in southern United States and the Caribbean region. In early July, the North American subtropical high that was influenced by the eastward extension and enhancement of subtropical westerly jet and the maintaining of Northeast Pacific cut-off low continued controlling the southwestern United States. This was the major reason for the summer heat wave on the west coast of the United States.

Key words: surface temperature, precipitation, extreme events, meteorological disaster

引 言

世界气象组织发布的《全球气候状况声明》显示,2017 年全球温度相比常年(以 1981—2010 年为基准期)偏高 0.46°C ($\pm 0.10^{\circ}\text{C}$), 超过工业化时代之前的全球温度 1.1°C ($\pm 0.10^{\circ}\text{C}$), 仅次于 2016 年, 成为有气象记录以来第二暖的年份(WMO, 2018)。全球主要温室气体浓度持续上升, 二氧化碳、甲烷和一氧化二氮浓度分别创历史新高。2017 年全球海洋表面温度略低于受厄尔尼诺事件影响的 2016 和 2015 年, 位列有记录以来的历史第三高, 海洋上层 0~700 和 0~2000 m 热含量同创历史新高, 全球海平面继续保持上升趋势。2017 年全球冰冻圈持续萎缩, 冬季北极海冰最大范围创历史新低, 南极海冰则全年处于历史低位, 格陵兰冰盖和北半球积雪范围接近或略高于常年平均水平(NOAA, 2018b)。

2017 年世界各地发生了许多重大天气气候事件, 例如异常活跃的北大西洋飓风、印度次大陆的季风洪水、东非部分地区的持续干旱等, 给公众生命财产安全和经济社会可持续发展带来严重影响和损失。年内, 美国和加勒比海地区连续遭遇多个飓风袭击, 南亚、中国、塞拉利昂、秘鲁等地遭受严重暴雨洪涝及其引发的地质灾害, 非洲东部、欧洲西部和南部受持续性干旱影响, 美国西海岸和欧洲南部发生多起森林大火, 中国、菲律宾、印度等地遭受热带气旋袭击。据德国慕尼黑再保险公司统计, 2017 年全球气象灾害导致经济损失达 3200 亿美元, 成为有记录以来气象灾害造成损失最大的年份, 气象灾害占全年自然灾害总损失的 93%(Munich, 2018)。

极端天气气候事件不仅是国际社会应对气候变化的重要领域, 也是所有国家应对气候变化的当务之急和优先重点(秦大河, 2015)。在 1997—2016 年, 全球范围内发生了约 11000 次极端天气气候事件, 由此引发的气象灾害共导致 52.4 万人丧生, 经济损失(购买力评价)高达 3.2 万亿美元(Eckstein et al, 2018)。近年来, 国家气候中心持续关注全球范围内发生的重大天气气候事件, 并分析典型气候事件的形成原因, 为全球变化背景下极端天气气候事件和气象灾害风险管理的研究工作提供科学参考。本文系统性回顾了 2017 年全球气候概况和年内发生的重大天气气候事件, 并重点分析了典型事件的形成原因。所用资料包括 GPCP 全球降水量观测资料集、NCEP/NCAR 再分析资料集和 OISST 海温资料集。

1 全球重大天气气候事件概述

1.1 地表温度列历史第二位

2017 年全球温度相比常年(1981—2010 年)偏高 0.46°C ($\pm 0.10^{\circ}\text{C}$), 超过工业化时代之前(1850—1900 年)的温度 1.1°C ($\pm 0.10^{\circ}\text{C}$), 低于受厄尔尼诺事件影响的 2016 年, 成为有完整气象观测记录以来第二高值(图 1)。厄尔尼诺事件通常会导全球温度异常偏高 $0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$, 尤其在厄尔尼诺结束年这种影响最为明显(例如 2016 年)。2017 年由于前期厄尔尼诺事件造成的额外增温效应消退, 年内地表温度并没有再创历史新高, 但全球变暖的大趋势仍在持续, 2017 年也是有记录以来最暖的非厄尔尼诺年份。

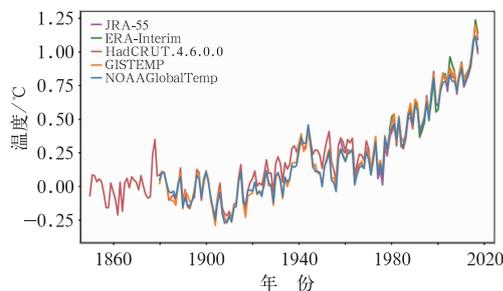


图1 全球平均温度距平(相对1850—1900年平均值)时间序列(WMO, 2018)

Fig. 1 Global average temperature anomalies (compared to the 1850—1900 average) (WMO, 2018)

观测资料表明,有气象记录以来最暖的9个年份均出现在2005年以后,2013—2017年也是历史上最暖的5年期,全球平均温度高出常年 0.4°C ,超过工业化时代之前的温度 1.0°C 。2017年内,1—3月全球地表温度偏高最为明显,温度距平值分别高于常年 0.5°C 以上,其中3月温度距平值最高,为 0.64°C ;4—12月温度距平维持在 $0.3\sim 0.5^{\circ}\text{C}$,其中6月距平值最低,为 0.34°C 。

从全球温度距平值的空间分布来看(以1981—2010年为基准期),俄罗斯、蒙古、中国北部等亚洲中高纬度地区,以及加拿大东北部、美国大部、墨西哥北部、澳大利亚东部等地温度高于常年值 1°C 以上,其中北半球高纬度部分区域偏高 2°C 以上;加拿大西部、非洲利比亚和南非等地温度低于常年平均水平;全球其余地区的温度与常年相比偏高幅度在 1°C 以内。在国家尺度上,阿根廷、毛里求斯、墨西哥、西班牙和乌拉圭地表温度创历史新高(图2)。

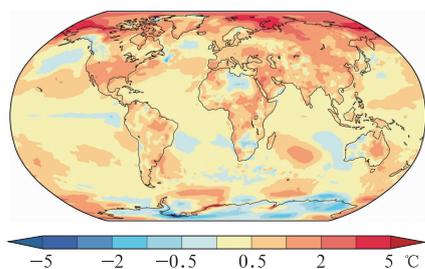


图2 2017年全球平均温度距平(相对1981—2010年平均值)空间分布(WMO, 2018)

Fig. 2 Global temperature anomalies in 2017 (compared to the 1981—2010 average) (WMO, 2018)

1.2 海冰范围创历史新低,海洋热容量突破纪录

在全球暖化的大背景下,2017年冰冻圈进一步萎缩。冬季北极海冰最大范围 1442万 km^2 ,创历史新低;随后春季和夏季北极海冰消融速度偏慢,夏季海冰最小范围 464万 km^2 ,位列历史第八低。南极海冰面积全年处于历史低位,冬季海冰最大范围 1803万 km^2 ,位列历史第二低,夏季海冰最小范围 211万 km^2 ,创历史新低。

格陵兰冰原从2016年秋季开始降雪量异常偏多,冰层总量在2016年9月至2017年8月期间明显高于常年(1981—2010年),随后9—12月与常年基本持平。从2017年全年来看虽然冰量有所上升,但多年来冰量逐渐减少的大趋势并未发生改变,从2002年起格陵兰冰原已经累计减少了约 3.6万亿吨 冰量。北半球积雪覆盖范围略多于常年,其中5月积雪范围达 9% ,为近20年来同期最高值,特别是俄罗斯西北部和斯堪的那维亚半岛地区偏多最为明显,夏季积雪逐渐融化后回到常年平均水平。

2017年全球海表温度低于2016和2015年,位列历史第三高值。海洋热容量突破历史纪录,海洋上层 $0\sim 700\text{m}$ 和 $0\sim 2000\text{m}$ 的热容量分别达 1.6×10^{23} 和 $2.3\times 10^{23}\text{J}$,同创历史新高。在海洋热膨胀和海冰融化的共同作用下,2017年全球海平面继续保持上升趋势。

在海洋升温的影响下,海洋的理化特征发生了显著变化,从而直接影响了海洋食物链和生态系统。调查表明,澳大利亚东岸的大堡礁地区已连续2年温度明显偏高,珊瑚白化现象日益加剧;密克罗尼西亚和关岛等热带西太平洋地区也发生了珊瑚白化现象;大洋洲塔斯马尼亚岛南部海域和新西兰附近海域的鱼类资源分布特征出现了明显改变(NOAA, 2018a)。此外,由于二氧化碳的排放量持续增加,海洋酸化的程度也在加剧,有研究表明夏威夷北部海域的海水PH值已经从1980年的 8.10 下降到近5年的 $8.04\sim 8.09$,海洋酸化将进一步加大暖化对海洋生态系统的影响(WMO, 2018)。

1.3 全球多地遭遇暴雨洪涝侵袭

相对于受厄尔尼诺事件影响的2015—2016年而言,2017年全球大范围降水异常偏多的区域明显减少。从全球降水量距平的空间分布来看(以1951—2000年为基准期),只有欧洲东北部、青藏高原、澳洲西部、阿拉斯加北部、加拿大北极群岛、格陵

兰东部及东南亚的部分地区降水量偏多 25% 以上(图 3)。

尽管全球累计降水量整体平稳,但区域性极端降水事件频发,在世界各地造成了严重人员伤亡和财产损失,其中南亚地区受灾最为严重。印度北部、孟加拉国北部和尼泊尔东部等地在雨季期间(6—9月)频繁遭遇严重洪水,8月中旬印度和尼泊尔边境地区的单日降水量一度超过 400 mm;季风洪水导致印度、尼泊尔和孟加拉国超过 1200 人丧生,4000 万人受灾,并且出现了不同程度的大范围传染病事件。

夏季,中国南方持续性暴雨引发了流域汛情和区域性洪涝灾害。6月下旬,中国南方大部连续遭受 2 次大范围强降水过程,湖南、江西和广西的局地累计雨量超过 500 mm,导致长江中下游地区发生区域性大洪水,西南、江南及华南多条河流发生超历史洪水,造成湖南、江西、广西、四川等省(区)发生严重洪涝及地质灾害,56 人因灾死亡,直接经济损失高达 50 亿美元。

在欧洲地区,1月上旬德国东北部海岸遭遇 2006 年以来最大规模的洪水袭击,波罗的海水位比平时高 1.7 m,导致多个沿岸城市受灾,造成大量交通事故和财产损失。

在南美洲地区,3月秘鲁遭遇持续性强降水天气,引发特大洪水及山体滑坡,许多道路、桥梁被毁,全国半数以上地区宣布进入紧急状态,75 人因灾死亡,63 万人受灾,7 万余人流离失所;4月1日,哥伦比亚南部地区由于连日暴雨导致多个区域发生泥石流,造成 320 人死亡,100 余人失踪。

在非洲地区,8月1—14日塞拉利昂遭遇强降水过程,累计降水量达 1459.2 mm,超过历史同期 4 倍以上,首都弗里敦及周边地区因强降雨引发洪水

和泥石流灾害,造成 500 余人死亡,超过 2000 人无家可归。

1.4 非洲和地中海沿岸多国受干旱影响

非洲是世界范围内受干旱影响最严重的地区。2月,苏丹北达尔富尔省旱情严重,莱索托、津巴布韦和南非大多数省份宣布进入灾害状态。由于过去两年降雨急剧减少,干旱天气导致非洲多国的粮食歉收,水库干涸,大批牲畜死亡,约 3200 万人面临饥荒。3—5月,索马里、肯尼亚和埃塞俄比亚南部地区降水量比常年同期(1981—2010 年)偏少 20% 以上,其中肯尼亚北部和索马里局部地区偏少 50% 以上。索马里南部持续干旱引发饥荒和霍乱,仅 2 天就有 110 人死亡。索马里半数人口面临粮食短缺,约有 670 万人急需粮食援助,每天有超过 3000 人因干旱逃离家园。埃塞俄比亚和肯尼亚分别有 560 万和 270 万人急需救助。

2017 年地中海地区降水量普遍偏少,其中意大利全年降水量比常年偏少 26%,创历史新低。西班牙、葡萄牙、摩洛哥、法国、土耳其和以色列等其他地中海沿岸国家的降水量也远低于历史同期,分别遭受了不同程度的干旱影响。此外,北美洲中部地区(美加边境地带)在下半年经历了严重旱情,引发了多起森林大火;南美洲的巴西、智利等地延续了多年来的干旱状态;亚太地区的朝鲜半岛在上半年也出现了异常旱情,下半年逐渐得到缓解。

1.5 超强飓风重创北美和加勒比海

2017 年,全球范围内共生成 84 个热带气旋,与常年基本持平;北大西洋飓风异常活跃,9月累积气旋能量指数(accumulated cyclone energy, ACE)创历史新高;太平洋地区气旋数量接近常年,但气旋能量偏低;南半球气旋数量和能量都低于常年,其中西南印度洋和西南太平洋气旋数量明显偏少,南半球累积气旋能量指数创历史新低。

8月底至10月初,相继有 4 个极具破坏力的飓风登陆美国及加勒比海地区,其中飓风厄玛和玛丽亚都是最高等级的 5 级飓风,给当地造成巨大损失。8月25日至9月1日,美国遭遇超强飓风哈维袭击,飓风在美国得克萨斯州停留数天,狂风暴雨造成 44 人死亡,130 万人受灾,10 万间房屋被损毁,直接经济损失高达 1250 亿美元,位列美国飓风史第三位(仅次于 2005 年飓风卡特里娜和 2012 年飓风桑迪);9月6—10日,5 级飓风厄玛横扫美国和加勒比

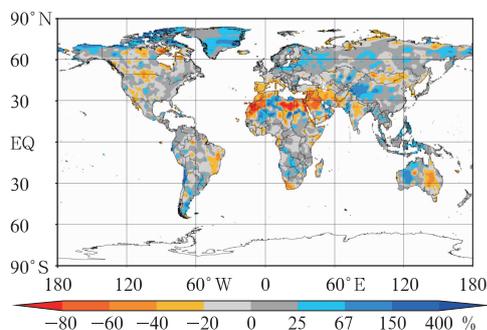


图 3 2017 年全球降水量距平百分率(相对于 1951—2000 年平均值)分布

Fig. 3 Percentages of total precipitation anomaly in 2017 (compared to the 1951—2000 average)

海地区,共造成100多人死亡,直接经济损失500亿美元,其中美国580万户家庭断电,700万人紧急撤离,加勒比海地区巴布达岛受灾最为严重,创纪录的强降水和3 m高的风暴潮摧毁了当地90%以上的财产,整座岛屿几乎沦为废墟;9月19—23日,飓风玛丽亚袭击加勒比海地区,造成60多人死亡,直接经济损失900亿美元,其中多米尼克和波多黎各受灾最为严重,数十万群众被疏散撤离;10月初,飓风纳特在中美洲地区引发局地洪涝,造成30人死亡,随后分别于7和8日在美国路易斯安那州和密西西比州两次登陆,造成美国超过10万户断电。

在东亚地区,8月23日台风天鸽在中国广东沿海登陆,最大风力达 $45\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,广东、广西、云南、贵州、香港和澳门等地出现强风暴雨,造成246万人受灾,40人死亡失踪,直接经济损失60亿美元。在东南亚地区,12月下旬台风天秤穿越菲律宾东南部,引发洪水导致当地129人死亡。在南亚地区,5月29日气旋风暴莫拉在孟加拉国登陆,暴雨洪涝导致当地177人死亡,109人失踪;12月上旬气旋风暴奥奇袭击印度西南部,25人因灾死亡,86人失踪,失踪人员多为出海作业的渔民。在非洲地区,3月中旬南印度洋热带气旋爱娜沃袭击了马达加斯加,引发暴雨洪涝导致81人丧生,给当地基础设施和农业生产造成重大损失。在大洋洲地区,3月下旬飓风黛比袭击了澳大利亚东海岸,昆士兰州2.5万人被紧急疏散,飓风带来的强风暴雨导致码头设施被损坏和电力供应中断,直接经济损失达13亿美元。

1.6 世界各地经受高温热浪天气,北美和欧洲林火频发

在全球变暖的大背景下,2017年北美洲、欧洲、西南亚、东亚、大洋洲、南美洲等多个地区都遭受到高温热浪天气的影响。在北美洲地区,美国西南部经受了异常炎热的夏季,7月加州死亡谷地区月均气温达到 41.9°C ,突破历史极值;7月7日凤凰城最高气温达 47°C ,创造历史同日最高气温纪录(1905年7月7日凤凰城的日最高气温是 46°C);7月8日洛杉矶好莱坞受高温影响出现大面积断电,约14万人受影响;由于连续高温,7月上旬美国西部多个州山火频发,加拿大西部的不列颠哥伦比亚省也发生多起森林火灾;9月初加州海岸带地区气温再次刷新历史同期纪录,其中旧金山最高温度达到 41.1°C ;10月上中旬,美国加州北部再次遭遇山火,过火面积达 750 km^2 ,导致5700栋房屋被烧毁,44人因灾

死亡,直接经济损失超过94亿美元。

在欧洲地区,6月上旬至7月上旬土耳其和塞浦路斯经受高温热浪天气,其中7月1日土耳其安塔利亚最高气温达 45.4°C ;6月17—18日,葡萄牙中部地区发生森林大火,造成64人死亡,160多人受伤;6月27日,西班牙南部发生大规模森林火灾,高温和强风天气加剧火势;7月8—15日,欧洲南部遭遇罕见热浪袭击,意大利、西班牙和希腊等国多地的日最高气温超过 40°C ,西班牙科尔多瓦、格拉纳达、巴尔霍斯等多个城市的最高气温突破历史极值(其中科尔多瓦7月13日最高气温达到 46.9°C),意大利南部地区及西西里岛由于大风、干燥等因素频繁发生林火;8月上旬,意大利及巴尔干半岛地区再次出现高温热浪天气,意大利佩斯卡拉、坎波巴索等多个气象站观测到创纪录的极端高温事件;10月17—18日,葡萄牙北部和中部以及西班牙北部发生森林大火,造成45人死亡。

在西南亚地区,5月下旬巴基斯坦、伊朗、阿曼、阿联酋等国家遭遇极端高温天气,上述国家的局部地区日最高温度均突破 50°C ,其中5月28日巴基斯坦西南部城市图尔伯德最高气温达到 54.0°C ,刷新历史纪录。在东亚,7月中下旬中国南方地区出现大范围持续高温天气,浙江、江苏、安徽、重庆、陕西、湖北、湖南的部分地区日最高气温超过 40°C ,7月21日上海徐家汇最高气温达 40.9°C ,打破了徐家汇1873年以来的历史纪录。

在大洋洲地区,澳大利亚新南威尔士州北部的莫里市从2016年12月28日至2017年2月19日连续54天气温高于 35°C ,创造该州历史最高纪录;其中2月11—12日,新南威尔士州的多个城市刷新了历史单日最高温度纪录,持续性高温导致该州东部地区发生森林大火。

在南美洲地区,2016年12月至2017年2月智利经历了持续性干燥和高温天气,引发史上最严重的森林大火,过火面积达 $61.4\text{ 万}\text{ km}^2$,11人因灾死亡;与此同时,1月下旬智利和阿根廷的多个气象站观测到突破历史极值的最高气温,其中1月27日阿根廷玛德琳港气温一度达到 43.4°C 。

1.7 北美和欧洲遭受寒流和暴风雪袭击

1月上旬美国加州大部分地区出现暴风雪天气,高速公路部分路段封闭。1月6—7日,美国东海岸受到暴雪天气影响,导致交通事故多发、电力中断、航班取消,5人因灾死亡。2月9日,美国东北部

地区遭遇暴雪,约6000万人生活受到影响。3月14日,暴风雪再次肆虐美国东北部,5000多万人生活受到严重影响,6500余次航班被取消。此外,2017年年底至2018年年初,美国东部和加拿大遭遇被称为“炸弹气旋”的大范围持续性寒潮过程,大部地区气温连续两周以上低于冰点;多地迎来创纪录的低温,纽约、费城等地最低气温达 -13°C ,波士顿则连续7天最高温度低于 -7°C ,刷新历史纪录;严寒天气导致美国22人死亡。

在欧洲中部和东南部地区,许多国家经历了近30年来最寒冷的1月。其中,1月6—11日意大利、捷克、波兰、罗马尼亚、塞尔维亚、保加利亚、克罗地亚、希腊、土耳其、拉脱维亚和俄罗斯等多国遭遇低温寒流和暴风雪袭击,在塞尔维亚南部,一些地区的积雪高达2 m。导致交通瘫痪,学校停课,居民日常生活受到严重影响,60人在寒流中丧生。此外,4月下旬瑞士、奥地利、乌克兰、罗马尼亚、斯洛文尼亚等国家遭遇了“倒春寒”天气,霜冻导致农业生产严重受损,直接经济损失达33亿美元。

在全球其他地区,1月中旬日本多地连降暴雪,部分地区积雪达到2 m以上,6人因灾死亡,300人受伤。这次过程导致日本交通出现严重混乱,全日空和日航两家航空公司两天内取消约130次航班,东海道新干线严重延误。2月上旬阿富汗各地连降大雪,中部和北部省份发生多起雪崩事件,摧毁众多民宅,造成超过100人死亡,有两座村庄被掩埋。阿富汗邻国巴基斯坦也因气候恶劣造成灾情,西北部地区有13人死于雪崩或暴风雪。

1.8 强对流天气袭击美国、欧洲等地

美国是世界上遭受龙卷风侵袭最为频繁的国家之一。1月1—3日,美国东南部地区遭遇风暴袭击,暴雨、冰雹和龙卷风导致5人死亡,数万住宅停电。1月19—23日,美国南部多个州遭遇致命龙卷风和强风暴,造成广泛破坏,有19人在风灾中丧生。2月7日,美国路易斯安那州东南部遭龙卷风袭击,风灾造成约20人受伤,当地约1万户民居停电。

春、夏季,欧洲中部和东部地区强对流天气多发。3月6—7日,法国西北部地区遭遇2010年以来最强风暴宙斯袭击,最大风速达 $54\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;5月29日,莫斯科遭遇雷暴天气,风速超过 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,造成11人丧生;7月10日,维也纳南部地区遭遇龙卷风和冰雹袭击;7月27—30日,伊斯坦布尔多次遭遇强风和冰雹袭击,风速高达 $46\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,冰雹最

大直径超过9 cm;8月12日,芬兰遭遇大范围雷暴天气,超过5万间房屋电力中断;9月11日,克罗地亚突发暴雨山洪,12 h内降水量达283 mm,突破历史极值;10月下旬,奥地利和捷克遭遇暴风雨袭击,最大风速 $47\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,共计11人丧生。

2017年全球重大天气气候事件如图4所示。

2 典型重大天气气候事件可能成因分析

2.1 飓风接连重创北美和加勒比海

2017年大西洋飓风异常活跃,8月底至10月初,强飓风哈维、厄玛、玛丽亚和纳特相继登陆美国和加勒比海地区,造成上述地区人员伤亡和重大经济损失。

这一时段内,大西洋暖池区海表温度(sea surface temperature, SST)偏高、对流活动活跃及垂直风切变偏弱,为飓风的活跃提供了有利的背景条件。SST对飓风的发生频次及其所能达到的强度有显著的影响,SST越高,飓风发展的潜在强度(empirical potential intensity, EPI)越强。前人研究发现,飓风发生的基本条件是SST必须在 26°C 以上,而飓风强度发展到四级以上则需要SST超过 28°C (Merrill, 1988; Lighthill et al, 1994);此外,对长期变化趋势的研究也表明,SST升高是导致飓风活动增加的重要原因(Emanuel, 2005; Webster et al, 2005; Mark et al, 2012; Varotsos et al, 2015)。分析8月21日至10月10日平均的海表温度和距平分布可以发现(图5),大西洋暖池中心区海温超过 30°C ,加勒比海及热带西大西洋SST较常年同期偏高 $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$ 左右,区域平均($10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 、 $85^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{W}$)的SST较气候均值(1982—2010年平均)偏高 0.7°C ,为1982年以来第三高值(仅次于2005和2010年同期)。受海温偏高的影响,加勒比海地区向外长波辐射较常年同期偏低 $10\sim 20\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (图6),表明这一区域对流活动相对活跃,而大西洋飓风前期云团活动区附近,如果低空辐合运动(对流活动)发展强烈,则有利于强飓风的发展。风速垂直切变是热带气旋能否发展的另一个重要条件,较小的风速垂直切变有利于飓风生成时暖心结构的维持,使飓风容易进一步发展成强飓风(Gallina and Velden, 2002; Wong and Chan, 2004)。从2017年飓风异常活跃期高、低空风切变异常的分布特征看(图7),在加勒比海及热带西大西洋地区高低空

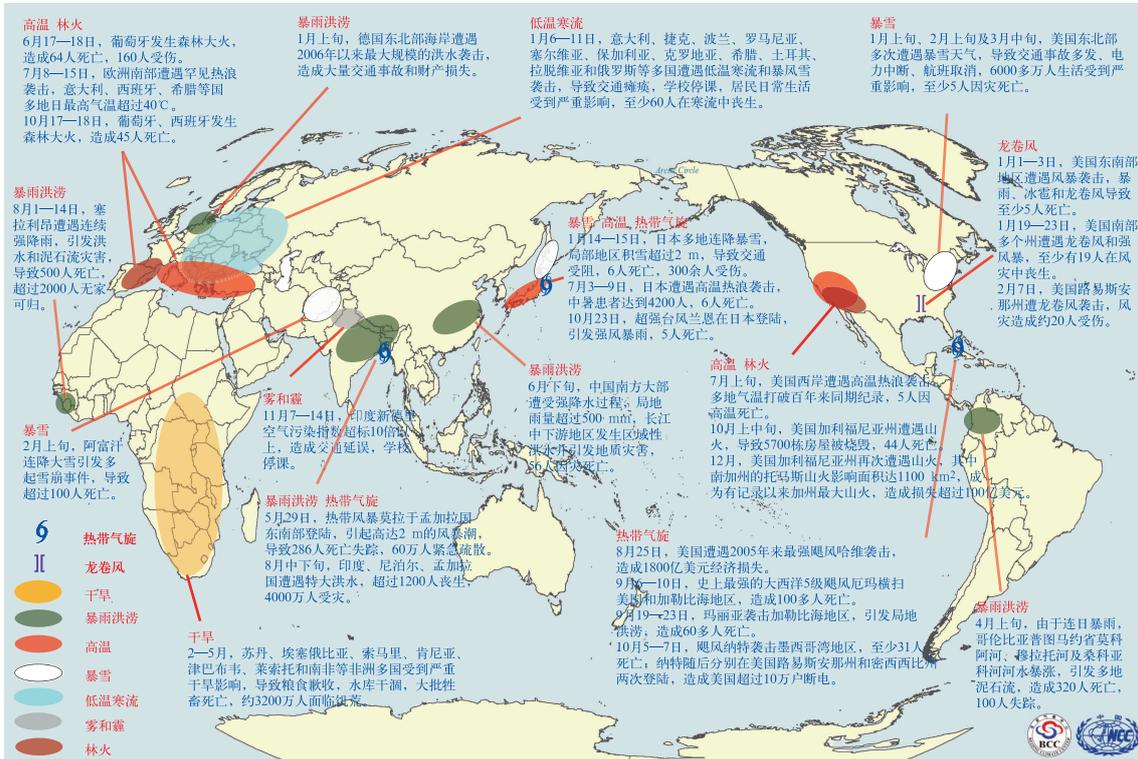


图 4 2017 年全球重大天气气候事件示意图

Fig. 4 Diagram of global major weather and climate events in 2017

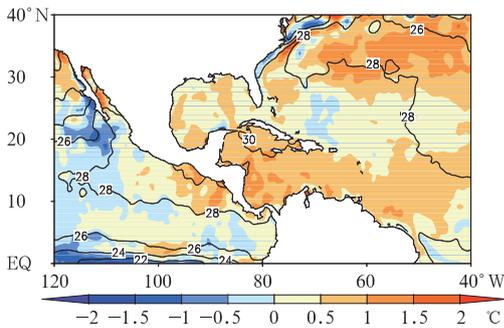


图 5 2017 年 8 月 21 日至 10 月 10 日海面温度(等值线)及其距平(阴影)分布
Fig. 5 Sea surface temperature (contour) and its anomalies (shadow) from 21 August to 10 October 2017

风切变与常年同期相比明显偏弱, 这样的切变动力条件更加有利于飓风暖心结构的维持和发展。

2017 年夏季以来, 北美副热带高压(以下简称副高)面积总体偏大、强度偏强, 加勒比海及热带西大西洋地区受北美副高影响, 对流层中层大部分时段内为下沉气流控制, 不利于深对流的发展加强; 但北美副高强度逐日演变表明(图 8), 8 月下旬开始, 北美副高出现 4 次明显的阶段性减弱。北美副高阶

段性减弱期内, 受有利的下垫面及动力学环境影响, 飓风发展加强并沿副高外围的引导气流移动, 给美国和加勒比海地区造成重大损失。

2.2 美国西岸遭受高温热浪袭击

2017 年 7 月上旬, 美国西岸遭受“地狱热浪”袭击, 凤凰城和洛杉矶市区日最高气温打破一百多年来同期纪录, 并导致美国西部多个州山火频发。

IPCC 第五次评估报告指出 (IPCC, 2013),

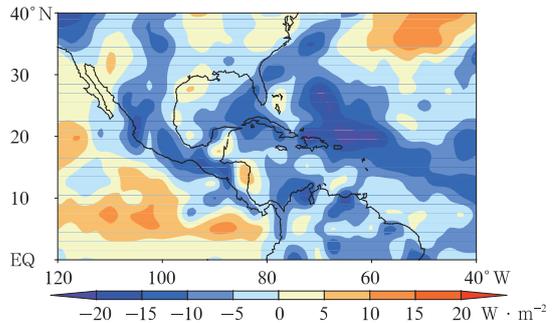


图 6 2017 年 8 月 21 日至 10 月 10 日向外长波辐射距平分布
Fig. 6 Outgoing long-wave radiation anomalies from 21 August to 10 October 2017

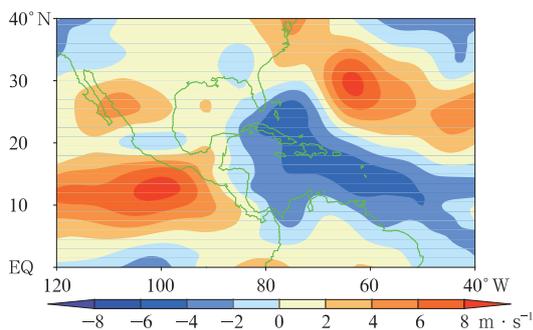


图 7 2017 年 8 月 21 日至 10 月 10 日
200 与 850 hPa 风速差异分布

Fig. 7 Difference of wind velocity
at 200 hPa and 850 hPa from 21 August
to 10 October 2017

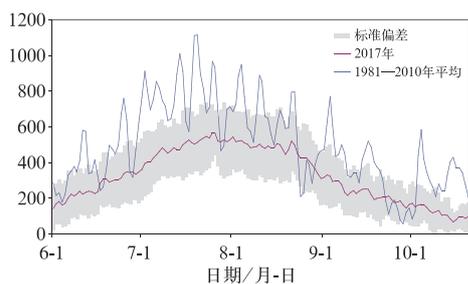


图 8 2017 年 6 月 1 日至 10 月 20 日
北美副高强度指数逐日演变

Fig. 8 Daily variation of North American
subtropical high intensity index from
1 June to 20 October 2017

1880—2012 年,全球地表平均温度约升高 0.85℃;WMO 发布的 2017 年全球气候报告显示(WMO, 2018),2013—2017 年平均全球平均气温是有记录以来的 5 年平均气温最高值,较 1850—1900 年偏高约 1℃。全球变暖是近年来高温热浪事件频发的大气候背景。近期的研究也表明,受全球变暖影响,尽管处于 ENSO 循环的不同位相,近年来北美和欧洲等地夏季均出现严重的高温热浪事件(王东阡等, 2013;王艳姣等,2014;孙劭等,2017)。

2017 年 7 月上旬,北美副高加强西伸(图 8),副高强度持续较常年同期偏高 1.5~2 倍标准差,7 月 1—10 日平均的副高强度较气候均值(1981—2010 年平均)偏高 80%,为 1951 年以来第二位(仅次于 2016 年同期);500 hPa 位势高度及其异常分布显示(图 9),受副高持续偏强影响,位势高度正距平控制美国西部大部分地区。北美西部地区盛行下沉气流,以晴好天气为主,太阳短波辐射加热及下沉增温

效应共同作用下,出现高温热浪。这一时段内,西北太平洋上空形成准静止的切断低压,阻挡上游波动向下游传播,导致北美大陆经向型环流维持,有利于北美副高稳定控制美国西南部地区。进一步分析发现,7 月 1—10 日,北太平洋区域副热带西风急流显著加强东伸(图 10),其激发的次级环流有利于急流出口左前侧上升运动的发展,为切断低压的形成和维持提供了有利的动力条件。

3 结 论

2017 年全球主要温室气体浓度继续攀升,地表温度相比工业化前水平高出 1.1℃,位列 2016 年之后,为有气象观测记录以来第二暖的年份,也是有记录以来最暖的非厄尔尼诺年份。全球冰冻圈继续萎

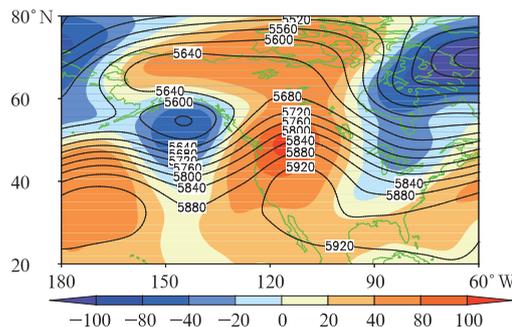


图 9 2017 年 7 月 1—10 日 500 hPa
位势高度(等值线)及其距平
(阴影)分布(单位:gpm)

Fig. 9 Geopotential height at 500 hPa
(contour) and its anomalies (shadow)
from 1 to 10 July 2017 (unit: gpm)

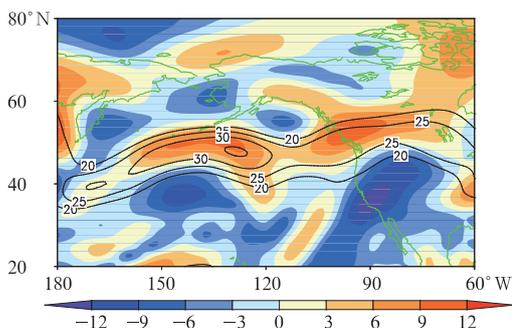


图 10 2017 年 7 月 1—10 日 200 hPa
风速(等值线)及其距平(阴影)
分布(单位:m·s⁻¹)

Fig. 10 Wind speed at 200 hPa
and its anomalies (shadow)
from 1 to 10 July 2017 (unit: m·s⁻¹)

缩,冬季北极海冰最大范围创历史新低,南极海冰则全年处于历史低位。全球海洋表面温度略低于受厄尔尼诺事件影响的 2016 和 2015 年,位列有记录以来的历史第三高,海洋上层 0~700 和 0~2000 m 热含量创历史新高,全球海平面继续保持上升趋势。在海洋升温的影响下,海洋的理化特征发生了显著变化,从而直接影响了海洋食物链和生态系统,澳大利亚东岸的大堡礁地区和热带西太平洋部分地区的珊瑚白化现象日益加剧,新西兰附近海域的鱼类资源分布特征也出现了明显改变。

在全球变暖的大背景下,年内北美洲、欧洲、东南亚、东亚、大洋洲、南美洲等地遭受高温热浪天气的影响,许多地区观测到突破历史极值的极端高温,美国、加拿大、西班牙、葡萄牙、智利等地由于高温干燥引发森林大火;全球区域性极端降水事件频发,暴雨洪涝及其引发的地质灾害在南亚、中国、南美、非洲等地造成了严重人员伤亡和财产损失,其中南亚东北部地区受灾最重;非洲和地中海沿岸国家遭受干旱影响,非洲索马里、肯尼亚、埃塞俄比亚、苏丹等多个国家连年干旱导致粮食短缺,约 3200 万人面临饥荒;北大西洋飓风异常活跃,8 月底至 10 月初,相继有 4 个极具破坏力的飓风登陆美国及加勒比海地区,累计造成 200 余人死亡,直接经济损失高达 2650 亿美元;年初,美国东部及欧洲中部和东南部地区遭受寒流和暴风雪袭击,导致部分地区交通瘫痪、电力中断、航班取消,数千万居民日常生活受到严重影响;年内,美国南部及欧洲中部和东部地区强对流天气多发,龙卷风、强风暴、雷暴、冰雹等天气造成局部地区一定人员伤亡和财产损失。

对环流和外强迫的进一步分析表明,8 月底至 10 月初,加勒比海和热带西大西洋海温偏高,有利于对流活动活跃,风速垂直切变偏小,有利于飓风发展时暖心结构的维持,为飓风的形成和发展加强提供了有利的下垫面和动力学环境。这一时段内,北美副高出现 4 次明显的阶段性减弱,导致强飓风哈维、厄玛、玛丽亚和纳特相继重创美国和加勒比海地区。2017 年 7 月上旬,北太平洋区域副热带西风急流显著偏强,东北太平洋出现切断低压,有利于北美地区维持经向环流,加之北美副高加强西伸,导致位势高度正异常持续控制美国西部地区,致使当地遭受高温热浪袭击。

参考文献

- 秦大河,2015. 中国极端天气气候事件和灾害风险管理与适应国家评估报告[M]. 北京:科学出版社.
- 孙劭,李多,刘绿柳,等,2017. 2016 年全球重大天气气候事件及其成因[J]. 气象,43(4):477-485.
- 王东阡,王腾飞,任福民,等,2013. 2012 年全球重大天气气候事件及其成因[J]. 气象,39(4):516-525.
- 王艳姣,高蓓,周兵,等,2014. 2013 年全球重大天气气候事件及其成因[J]. 气象,40(6):759-768.
- Eckstein D, Künze V, Schäfer L, 2018. Global Climate Risk Index 2018[R/OL]. <http://germanwatch.org/en/crri>.
- Emanuel K A, 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years[J]. *Nature*,436:686-688.
- Gallina G M, Velden C S, 2002. Environmental vertical wind shear and tropical cyclone intensity change utilizing enhanced satellite derived wind information[R]. San Diego: Extended Abstracts, 25th Conf on Hurricanes and Tropical Meteorology, Amer Meteor Soc:172-173.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis[M]. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lighthill J, Holland G, Gray W, et al, 1994. Global climate change and tropical cyclones[J]. *Bull Am Meteorol Soc*,75(11):2147-2157.
- Mark R J, Rosimar R B, Eduardo G, 2012. Caribbean hurricanes: changes of intensity and track prediction[J]. *Theor Appl Climatol*,107(1/2):297-311.
- Merrill R T, 1988. Environmental influences on hurricane intensification[J]. *J Atmos Sci*,45(11):1678-1687.
- Munich Re, 2018. Natural catastrophe review 2017[R/OL]. <https://www.munichre.com/en/media-relations/publications>.
- NOAA, 2018a. Coral Reef Watch Satellite Monitoring and Modeled Outlooks[R/OL]. <https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/index.php>.
- NOAA, 2018b. Global Climate Report Annual 2017[R/OL]. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713>.
- Varotsos C A, Efstathiou M N, Cracknell A P, 2015. Sharp rise in hurricane and cyclone count during the last century[J]. *Theor Appl Climatol*,119(3/4):629-638.
- Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al, 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment[J]. *Science*,309:1844-1846.
- WMO, 2018. WMO statement on the status of the global climate in 2017[R/OL]. https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=4453.
- Wong M L M, Chan J C L, 2004. Tropical cyclone intensity in vertical wind shear[J]. *J Atmos Sci*,61:1859-1876.