

## 更高的海温，更强的台风，和更难以估量的气候灾害 | 数洞

极端暴雨灾害不再只是偶然。



2024年9月2日，菲律宾黎刹省卡恩塔，今年第11号台风“摩羯”（Yagi）席卷菲律宾后，致使当地发生洪灾。摄：Aaron Favila/AP/达志影像

今年第11号台风“摩羯”（Yagi）来势汹汹。9月1日在菲律宾附近增强为热带风暴（轻度台风）的“摩羯”，席卷菲律宾后，致使当地发生洪灾、河水暴涨，也引发山泥倾泻，造成16人死亡。而后“摩羯”进入南海并一路西移，在短短3日后，于4日晚升级为超强台风。最终，“摩羯”于6日下午登陆中国海南，为1949年以来登陆中国的第三强台风，登陆时中心附近的最大风力达17级以上，达最高风力级数。

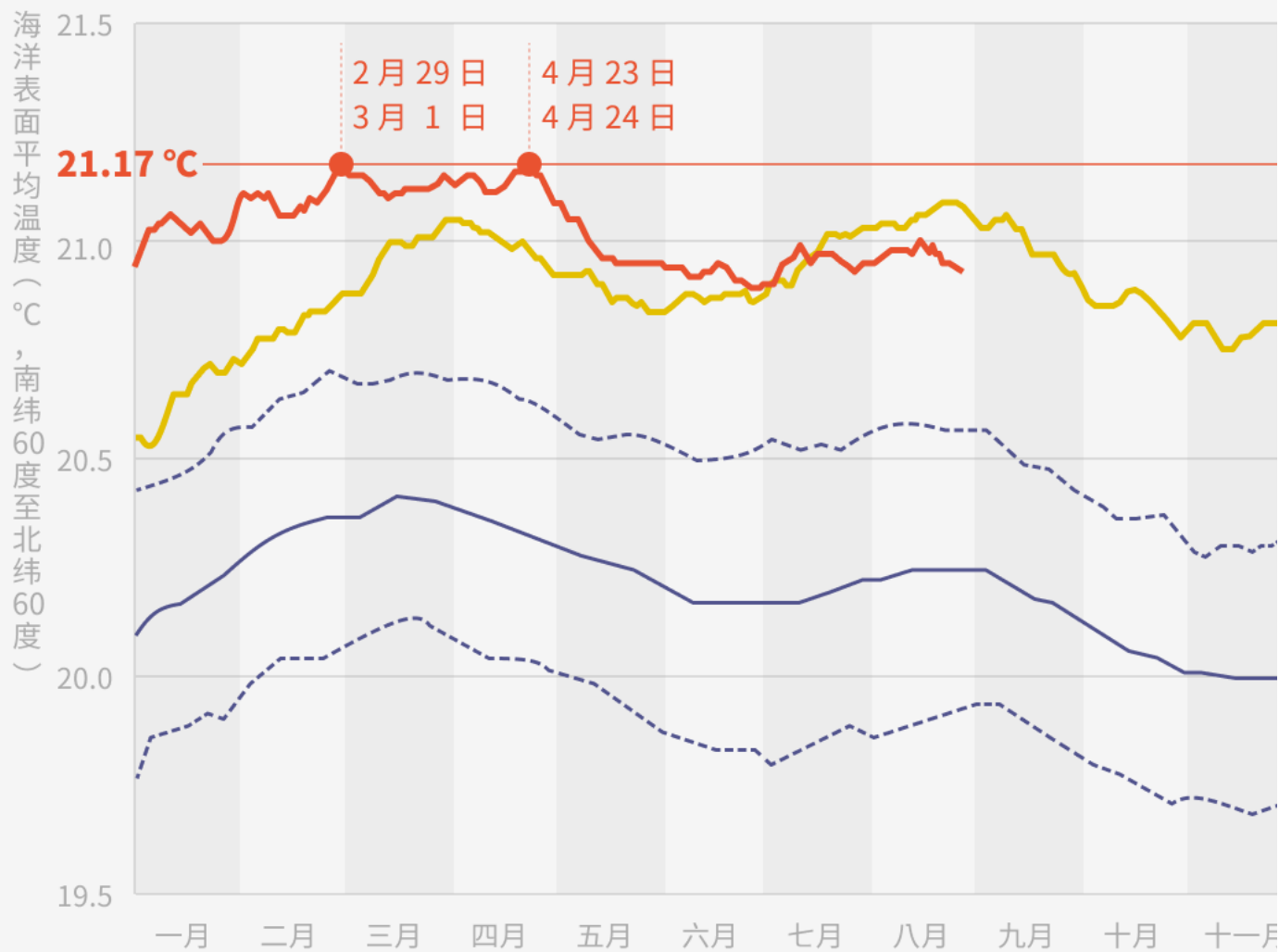
台风变得愈发强悍？极端暴雨事件不再只是偶发？这背后是一个漫长且复杂的气候变迁过程。

气候变迁会给人类社会带来什么？这一问题已经成为从学界到政界、以及公众日常生活中频频关注的对象。大到两极冰川融化、太平洋岛国图瓦卢面临“灭国”危机和频频发生的台风、暴雨、高温、干旱，小到持续仅几十分钟的强对流天气……气候变化牵动每个人的生活，也变得越来越可感。

近年来，[极端天气](#)愈发频繁地在各地出现。2021年[郑州暴雨](#)、2023年[北京暴雨](#)和2023年[香港暴雨](#)等天气事件，给城市防灾韧性带来前所未有的挑战。已有不少研究显示，气候变迁、海温升高、热带气旋和极端暴雨事件有着不可分割的关系。

# 海洋表面温度屡破纪录， 2024年迄今最高温度达 21.17°C

● 2024年平均海温 ● 2023年平均海温 ● 1982-2011年平均海温及正负2个标准差



注：数据截止 2024 年 8 月 27 日

资料来源：美国国家海洋和大气管理局 (NOAA)

端傳媒 Init

## “发热”的海洋

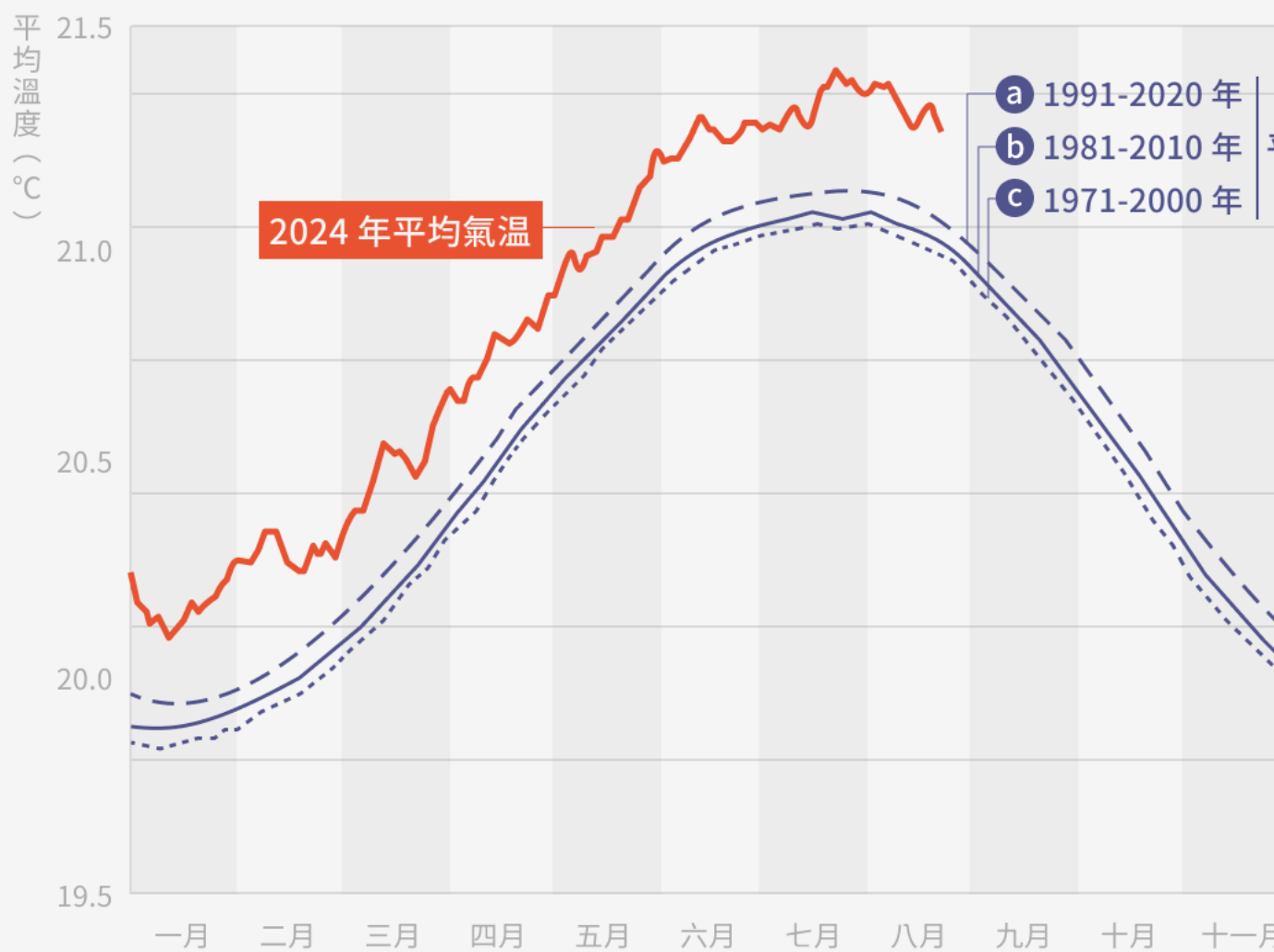
近两年，海洋频频给地球敲响警钟。自2023年起，海洋温度不断打破历史最高纪录。在今年2月，全球平均海温达到21.17摄氏度，相对于1982年至2011年的平均值，高出1摄氏度。以海洋大约13亿立方千米的体积计算，相当于增加了 $5.46 \times 10^{24}$ J的热量，堪比台湾所有发电厂六百万年的总发电量。

当人们谈论气候变化，很容易将视线集中在陆地表面。事实上，全球气候变暖的影响已深深蔓延到海洋——这片覆盖地球表面70%的水体，犹如一个无休无止的大型吸热器，正吸纳着人类社会产生热量。数十年来，海洋不仅吸收了人类产生约四分之一的二氧化碳，还有九成因温室气体增加而导致滞留在大气层中的多余热量——而海洋吸收的热量远远超过陆地、大气层和冰盖。

气象资讯权威机构、联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 发布的《2019年气候变化中的海洋和冰冻圈特别报告》指出，自1982年以来，海洋变暖速度几乎增加一倍，海洋热浪事件的频率也几乎增加一倍。

科学家们对此十分忧虑。英国南极调查局的教授Mike Meredith对BBC表示，“海洋在某些方面的暖化速度比我们想像的要快，这是令人非常忧心的事实。”

# 全球平均气温持续攀升，今年达到历史新高 17.16°C



资料来源：欧洲中期天气预报中心 (ECMWF)

端傳媒 Init

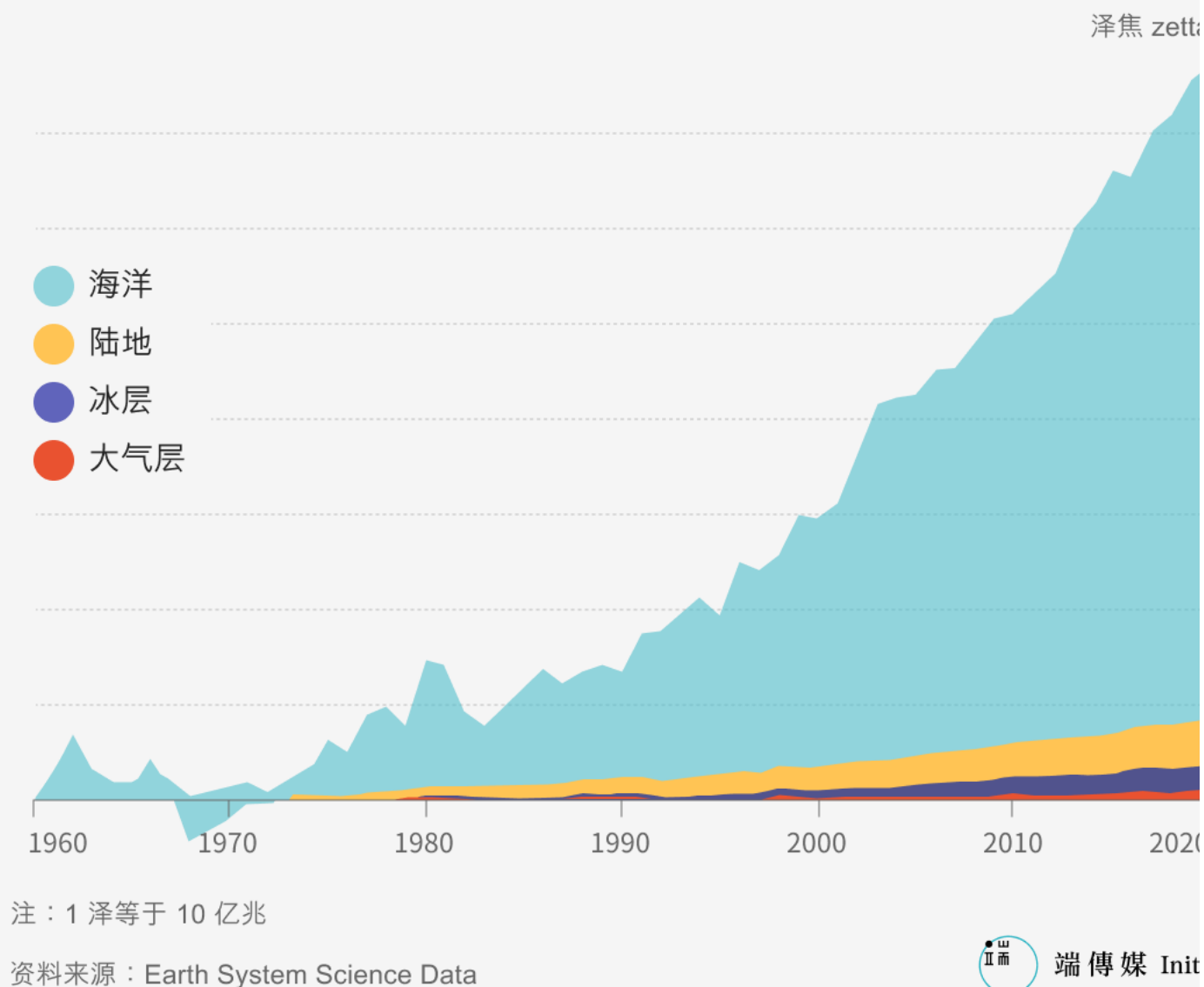
海洋暖化的成因复杂，目前科学界也难以给出完整的解释。但一些因素值得留意。首先是气候变暖。根据欧盟气候监测机构哥白尼气候变化服务局的[记录](#)，今年7月出现了两个有记录以来最热的日子，全球平均气温达到17.16摄氏度；同时，今年7月的平均气温几乎追平2023年7月——这是有记录以来最热的月份。

气候变暖的主因，是化石燃料生成温室气体，蕴藏在大气层中。除了人为因素外，2023年自然天气现象厄尔尼诺 (El Niño，也称为圣婴现象) 的出现，也使得海温或整体气温有升高的表现。尽管厄尔尼诺发生在赤道中东太平洋区，但观测数据显示，其他海洋区域也正经历海洋热浪。

值得注意的是，根据欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 显示的全球2011-2020年的海温数据，相对于1951-1980年的海温，在全球暖化、海温普遍升高的过程中，北极地区的海温上升特别显著，由此造成的海冰融化又进一步升高了海洋的吸热能力，使得海温上升形成正反馈循环。

# 温室效应背景下， 多余的热量约 89% 被海洋吸收

以 1960 年为基准，2020 年地球累积的热量估计达 381 泽焦，约 89% 被海洋吸收，仅 700 米以上的浅层海水就吸收了总热量的 55%。



随着海温的不断上升，海洋生态系统正遭受冲击。珊瑚礁是海洋生态系统的基础，处于食物链的最底层，能让深海内较小鱼类得以繁衍。近年热带地区的珊瑚，由原本健康的斑斓色彩，出现病理特征“白化”。目前全球正经历第四波珊瑚白化，影响覆盖至少56个国家，全球渔业也会被动摇。此外，海温升高使得海洋内的氧气减少，一些鱼类可能得被迫迁徙、一些物种未来可能灭绝。氧气减少的同时，海洋中二氧化碳含量也在增加，导致“海洋酸化”，溶解珊瑚、蛤蜊、蚌类等海洋生物的外壳。

联合国教科文组织[估计](#)，根据目前全球气温升高的速度，到2100年，一半以上的海洋物种或濒临灭绝；气温升高1.5°C有可能摧毁70%至90%的珊瑚礁，升高2°C则意味着几乎100%丧失，而这一过程是不可逆的。

事实上，气候问题中的任何一环都可能造成多米诺骨牌效应。高温海洋也会通过其他渠道为人类社会带来反馈——以极具破坏性的灾害方式——乘着猛烈的风暴席卷而来。



2024年6月20日，热带风暴 Alberto 吹袭墨西哥圣地亚哥，一只青蛙坐在 Presa de la Boca 的岸边。摄：Daniel Becerril/Reuters/达志影像

## 海温上升对热带气旋造成什么影响？

热带气旋是一个包含巨大能量的云团和雷暴气象系统，在纬度为10至20度的热带海域生成。热带气旋的形成需要有效的动力机制，在大气底层必须有气旋式气流辐合，大气高层则需提供气流辐散通道。当潮湿和温暖的空气从海洋表面上升，地球自转偏向力提供风暴的初始动量，一个类似扁平圆盘的漩涡便会逐渐形成。

一旦热带气旋的中心持续风速达到118公里/小时，它们会被归类为破坏力极强的风暴。在北大西洋、北太平洋中部及东部，被称之为“飓风”；在北太平洋西部，耳熟能详的名称为“台风”。

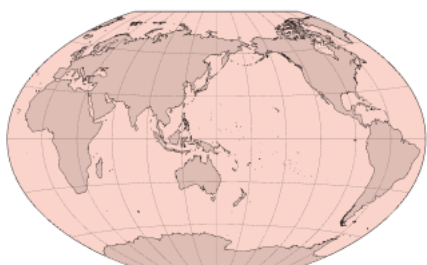
当海洋中的水汽蒸发上升，在高空凝结时释放出热量，这是热带气旋的能量来源。若海洋温度升高，水汽蒸发便会越强烈，释放出更多能量，极限强度也可能随之增强。

另一方面，随着海洋整体温度的升高，支持热带气旋生成的暖水区面积，将会向着更高纬度地区**扩张**。这意味着，不仅只有沿海城市需要警惕热带气旋带来的灾害，原本受到热带气旋侵袭较少的地区，在未来可能会遭受热带气旋正面袭击。

政府间气候变化专门委员会（IPCC）在2021年年度报告中特别指出，北纬30度以北的西北太平洋和北大西洋沿岸暴露于热带气旋的风险将会增加。这大致对应中国的华北和东北地区、朝鲜半岛、日本，以及美国东海岸，相对于原本更易受台风影响的热带低纬度滨海地带，这些地区应对台风的基础设施和防灾经验都更显不足。

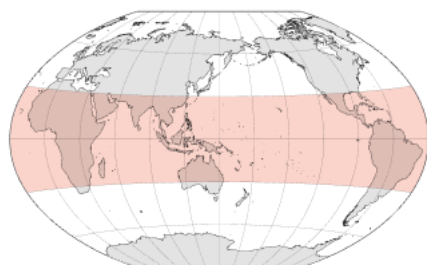
# 全球持续变暖，各地风暴如何变化？

## 全球变化



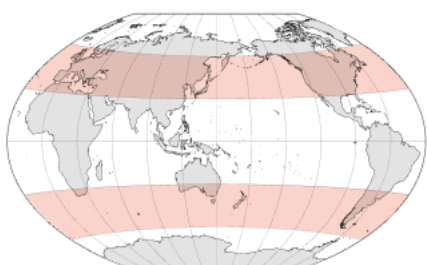
平均和最大降水量**增加**

## 热带气旋



强度**增加**，生成频率**下降**或不变

## 温带气旋



随部分地区气旋路径向极地方向移动，风速发生变化（**增加**或**下降**）

## 区域变化

### 热带气旋

### 强对

菲律宾

日本、朝鲜半岛、  
中国华北和东北地区

美国东岸

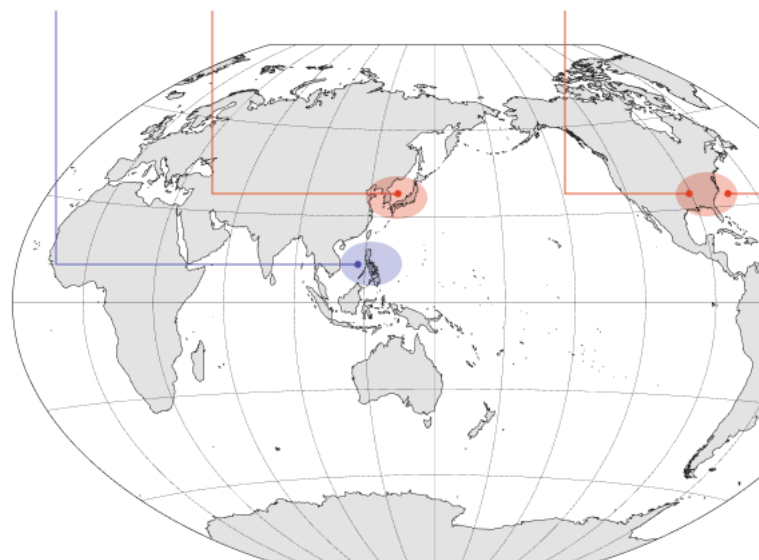
美

暴露**下降**

暴露**增加**

移速**减慢**

活动



资料来源：政府间气候变化专门委员会（IPCC）2021年年度报告

端傳媒 Init

值得注意的是，对于热带气旋的生成，海水热含量是一个直接影响参数。由于海水热含量的增加会体现在不同方面，包括表层海水温度上升、暖水层厚度增加、深层海水温度上升等，可以说，海温的升高会直接促进热带气旋的产生、发展频率和强度上升。

根据目前的研究显示，暂时未能得知气候变迁是否会使得风暴更为频繁地生成。但可以观察到，已经形成的风暴变得更具威力。随着海水热量升高，热带气旋经过更暖的洋区时，会获得更多助燃热量。知名学术期刊《自然通讯》（Nature Communications）2019年的一项[文章](#)就显示，风暴快速增强的情况一直在出现。

另有研究佐证了这个发现。一篇[论文](#)如此写道：有研究显示，通过1979年至2017年的同质化热带气旋强度记录，发现全球主要热带气旋的超标概率，每十年显著增加约6%；预计在本世纪末，人为导致的气候变迁，将使得热带气旋强度增加高达11%。

虽然全球海温的升高，可能使某些特定海区的热带气旋生成频率降低，例如IPCC在2021年的报告中曾指出，菲律宾受到的台风袭击频率可能下降。但这并非是非致灾因子下降的正面变化，而是伴随着强度的增强、移速的下降、台风季的延长等连锁反应。

热带气旋生成频率在部分区域或会降低的同时，必须留意到热带气旋的平均强度已经变得更加强劲。2021年，IPCC分布的关于“气候变化中的天气与气候极端事件”的[报告](#)中指出，全球有更高比例的热带气旋强度达到萨菲尔-辛普森飓风风力等级（Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale）的三级或以上，这也意味着它们达到了中港标准下的超强台风级别。

台风在本质上是地球能量重新分布的一种自然现象。热带海洋的热量增加，必然需要通过自然途径释放，而台风就是这种能量释放和向极地转移的一种平衡过程。即使某段时间内，某一地区受到台风的袭击减少，不代表气象灾害在消失，应被视为此消彼长或者空间分布重整的一种现象。从整体而言，气候暖化带来的影响是更极端的天气、更频繁的危害。



2024年7月24日，强烈台风“凯米”登陆台湾，淡水的一棵树被吹歪。摄：陈焯焯/端传媒

## 未来，不再只有沿海地区需要警惕台风

台风的特点是风速极高、降雨量大，也会带来风暴潮，使得海平面在短期内上升。台风加强，意味着台风会携带更多水汽，引发更猛烈的降雨，并影响一个区域内的大气环流形势。

以今年7月登陆台湾的台风“格美”为例，这场风暴造成台湾11人死亡、1人失踪。台风的外围暴雨亦在后续给其他地区造成严重灾情。在菲律宾，至少有33人死于强降雨引发的洪水和山体滑坡。中国湖南则受“格美”的残余环流引发的特大暴雨影响，死亡失踪人数多达94人。

过去，建筑因抗风能力不足，房倒屋塌成为台风来临时最具冲击力的灾情。不过，对于现代化建筑而言，现今的钢筋混凝土房屋已经足以抵挡强风，暴雨、洪水、内涝等及其造成的次生灾害，反而更具威力。

由于城市聚居的高密度和人们对于基础设施的高度依赖，一旦出现断水断电、内涝淹水，数十万乃至数百万居民的日常生活将立即陷入困顿。而在远离城市的乡村地区，由于基础设施不足，发生灾害后容易由于交通中断形成“孤岛”，加之本身地形容易出现山洪、滑坡、泥石流等次生灾害，极端天气造成的威胁往往也会更大。

此外，城市化的发展本身就会使城市内部形成不同于周边的小气候区，这也使得在极端暴雨事件发生时，城市内部的降雨量可能比周边地区更高。

一篇关于气候变化和城市化复合影响的[论文](#)写道：随着沿海人口增加、都市化和气候变迁，热带气旋造成的经济损失也在增加；研究发现，由于地表阻力与城市暖化的影响，热带气旋中的对流与水汽通量汇聚增强，由热带气旋诱发的降雨强度及特大洪水的概率均会上升。

长远来看，台风不再只会对沿海城市造成威胁。2021年郑州暴雨和2023年北京周边的暴雨，都和台风之间存在关系，体现出极端天气加诸于内陆大城市和城市郊区的影响。

以郑州暴雨为例。当时在西北太平洋上有两个台风同时活动，形成了两条水汽输送通道，其中一条是台风“烟花”在副热带高压南侧的水汽输送，另一条则是刚刚登陆广东的台风“查帕卡”形成的水汽输送带。两条水汽输送带汇聚于河南上空，水汽受到太行山及伏牛山等地形抬升的影响，在河南集集成雨，并以郑州为强降水中心形成了极端暴雨。

可以看到，极端暴雨并不必然出现在台风登陆地附近，而是可能根据具体的天气形势，在远离台风核心区的位置出现，地形、冷空气、副热带高压等因素都在其中发挥作用，最终使得受到台风间接影响的外围地区，可能出现超过台风登陆地的雨强和灾害。



2024年9月2日，菲律宾马尼拉通多，台风“摩羯”（Yagi）吹袭当地沿海城镇后，一名居民在岸边的垃圾上行走。摄：Daniel Ceng/Anadolu via Getty Images

那么在未来，海温升高对台风影响的空间格局将产生什么变化？

西北太平洋是台风高发海域，全球有三分之一的台风于此孕育。东海是西北太平洋的边缘海域。通常来说，东海纬度较高、海水较为寒冷，三面被大陆、台湾和琉球群岛包围，本身的海洋条件并不适合台风发展。不过，现在情况有所不同。2020年在台湾东部外海形成的台风“巴威”（Bavi），进入东海后不断增强，最终形成强烈台风，并在登陆时仍保持中度台风级别。

若海温继续攀升，未来进入东海的台风可能不会像以前那样迅速减弱，反而可能维持或增强其强度，在靠近东海沿岸时仍保持强大的破坏力。

极端天气的增加，将会改变所有基于原有气候平均状态的设计和预期。以城市防御内涝为例，如果原有的“百年一遇”暴雨不再是“百年一遇”，而成为“二十年、十年一遇”，甚至可能出现超出历史极值的强降雨，带来的必然结果便是降雨量超出城市设施的排水能力，从而出现更频繁、更严重的内涝。工程质量不再只是抵抗灾害的基础，气候变化作为一个改变基准值的因素，或会使抗灾系统运作失去原有的锚定点，这也许才是气候变化带给人类社会的最大挑战。

[#气候变暖](#) [#海温](#) [#全球气候变暖](#) [#极端天气](#) [#台风](#)

本刊载内容版权为端传媒或相关单位所有，未经[端传媒编辑部](#)授权，请勿转载或复制，否则即为侵权。