

2021年成为有现代海洋观测记录以来的“海洋最暖年”，多个海区温度创新高

海洋加速变暖，碳排放“加热”效应将持续数百年

■魏科 许琦敏

近期发布的国际份2021年海洋变暖报告，再次揭示了一个惊人事实：全球海洋正在加速变暖。

数据显示，2021年海洋升温持续，这一年成为有现代海洋观测记录以来海洋最暖的一年。同时，地中海、北大西洋、南大洋、北太平洋海区温度均创历史新高。

这份报告由中国科学院大气物理研究所牵头，联合全球14个研究单位的23位科学家组成的国际研究团队共同完成，发表于国际学术期刊《大气科学进展》(AAS)上。

全球变暖90%以上的热量储存在海洋中。最新数据表明，2021年，全球海洋上层2000米吸收的热量与2020年相比增加了 14×10^{21} 焦耳，这些热量大致相当于中国2020年全年发电量的500倍。

过去80年中，以十年为间隔，海洋在持续不断地变暖。而海洋变暖会引发一系列影响人类活动和生态系统的严峻后果。

大自然再一次给人类敲响了警钟。

过去80年，海洋每一个十年都比前十年更暖

如果让外星人给地球起个名字，“水球”或者“蓝球”应该是不错的选择。在宇宙中，地球看起来就一颗蓝色的水球，海洋覆盖了地球面积的约71%，平均厚度达4千米，储存着97%的水资源。

地球上，海洋总质量达到 1.4×10^{21} 吨，与之相比，大气总质量仅为 5×10^{18} 吨，仅约为海洋总质量的0.36%。由于海水的比热容远大于大气与陆地表面，因此海洋的热储存能力更强，是全球变暖的主要调节器。

进入地气系统的太阳辐射，经过大气、云层和表面的反射，以及大气的吸收之后，只有约51%可以加热地球表面，而这其中的70%被海洋吸收，然后再以长波辐射、潜热感热等多种能量形式释放出去。

过去100多年里，全球温室气体逐渐增加，使地球系统“困住”了更多热量，直接驱动了全球变暖，这些能量90%以上都存储在海洋中，因此海洋热含量变化是气候变化的一个核心指标；海洋变暖实际上就等于全球变暖。

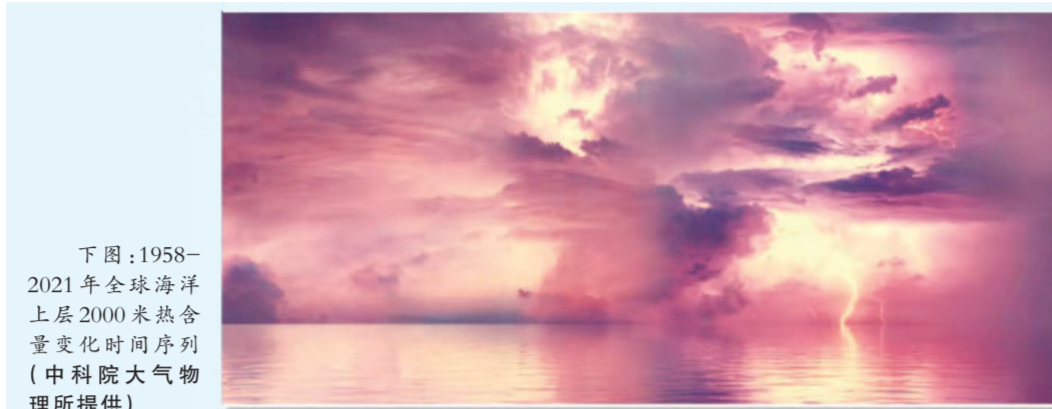
当考虑全球能量或热量变化时，甚至可以忽略大气和陆地表面温度的变化，只分析海洋热容量的变化，就可较为准确地了解地球气候系统的变化状况。

根据常年观测数据统计，过去80年，海洋每一个十年都比前十年更暖。近年来，海洋变暖引发的一系列严峻后果逐浮出水面，包括推升全球海平面，降低海洋二氧化碳吸收效率，增加海洋热浪发生概率，造成更多强台风/飓风和极端降水等事件。

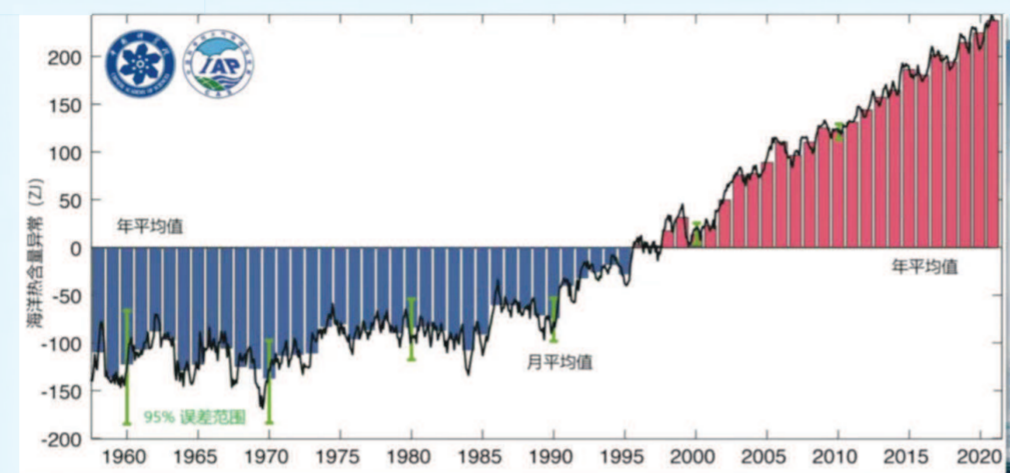
此次，研究团队同时发布了两个国际机构的2021年海洋热含量数据，分别来自中国科学院大气物理研究所的IAP/CAS海洋观测格点数据，以及来自美国海洋和大气管理局国家海洋信息中心(NOAA/NCEI)的NCEI格点数据。

2021年海洋变暖报告表明，海洋变暖在南大洋、中低纬度大西洋、北太平洋等区域更为剧烈。实验表明，温室气体增加是驱动海洋变暖空间结构的主要原因。此外，工业和生物气溶胶排放、土地利用变化等对海洋变暖也有一定影响。

与陆地相比，海洋对大气温室气体增加的响应较为缓慢和滞后，过去的碳排放导致的海洋变暖等影响将持续至少数百年之久，这一现象凸显了海洋在全球气候变化中的重



下图：1958—2021年全球海洋上层2000米热含量变化时间序列(中科院大气物理所提供)



要作用。研究团队指出，需要充分将海洋变暖的影响纳入气候风险、气候影响评估和应对当中。

重建长期资料，补足海洋观测“缺失的拼图”

随着全球温室气体浓度不断攀升，全球升温已成既定事实，海洋变暖多少的问题一直是科学家致力解决的难题。而海洋观测历史数据不足，数量偏少且质量不佳，是困扰研究的“硬伤”。

地球表面分布着数以万计的气象观测站，其中最悠久的已有200多年的连续观测历史。这些观测对于了解过去100多年、尤其是近50多年的陆地表面气候变化，发挥了至关重要的作用。相比之下，气候监测的海洋资料极为匮乏。

自1998年起，国际上开始筹建Argo全球实时海洋观测网，以便长期、自动、实时和连续获取大范围、深层海洋资料。这一计划被视为“海洋观测手段的一场革命”。该计划于2000年正式实施以来，包括美国、澳大利亚、法国、英国、德国、日本、韩国、印度和中国在内的近40个国家和团体在全球海洋共布放了超过1.4万个Argo浮标，从而真正实现了全球海洋中上层的实时观测。

随着相关技术的不断创新发展，Argo计划又提出继续向有冰覆盖的两极海区、赤道、西边界区和重要边缘海拓展，并派生出了“生物地球化学Argo”和“深海Argo”等两个子计划。如今，Argo数据已成为海洋和大气研究中重要的数据来源和参考依据。

那么，如何了解50年乃至100年前海洋中上层热含量的变化状况呢？目前，国际海洋研究领域一般推荐用海洋次表层XBT(抛弃式测温仪器)温度观测数据。XBT是1970年到2001年海洋次表层最主要的温度观测仪器，占1970—2001年所有次表层温度数据的41%。尽管基于这个仪器的观测数据存在各种问题，但这是目前仅有的历史资料里的核心

部分。自2008年起，各国科学家都在致力于订正历史XBT数据的系统性偏差。2014年，中国科学院大气物理研究所研究团队提出的海洋数据偏差订正方案，成为目前国际上推荐的最佳订正方案。

另外，海洋中存在大量缺测的区域，需要利用已有的观测去“推算”无观测区域的温度变化。中科院大气物理所研究团队利用海洋丰富的时空相关性，提出了一个新的空间插值方案，并重建了一个自1940年以来全球海洋上层2000米的温度数据集，并不定期对数据进行更新。

变暖从未停滞，海洋升温“滞后效应”正在显现

根据大气物理所重建的数据集进行重新评估，科学家得出一个惊人结果：以此估计出的海洋变暖速度，比政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告中的估计快约13%——全球变暖速率比我们以为的更快。而且，该研究从能量角度表明，海洋和地球系统在加速吸收热量，特别是深海变暖在加速。

2019年，中外科学家在美国《科学》杂志上撰文，他们利用当时最新改进的数据，重新估算了海洋上层热含量的变化。结果表明，各个数据使用新的方法之后，显示出高度一致性——自1955年以来，全球海洋热含量上升趋势明显。而且，全球海洋上层2000米变暖速率在上世纪90年代后显著加速，这直接反映了人类活动持续排放的温室气体对海洋的影响。

这项研究还利用可信度较高的模型，预估假设未来不采取任何减排的气候政策可能带来的后果：2081—2100年间，整个海洋上层2000米将平均变暖0.78℃(相对于1991—2005的气候状态)，这是过去60年海洋变暖总量的6倍！倘若未来气候政策可以接近或达到《巴黎协定》目标，到2081—2100年，海洋上层2000米将平均变暖0.4℃。

这一研究表明，人类活动已经深刻改变了海洋环境，海洋升温已经造成了海平面上升、溶

解氧下降、极端事件加剧、珊瑚白化等后果。然而，由于海洋对温室气体响应的“滞后效应”，海洋正在加速变暖，更强的海洋增暖将发生在本世纪。即使全球升温幅度接近或达到《巴黎协定》目标，海洋升温及其带来的影响也将持续。若不积极应对，未来人类和地球生态系统都将面临严重的气候风险。

温度影响氧在水中的溶解度，海水温度越高，能够容纳的氧气就越少。全球变暖在海水表层增温更高，而深水的增温更慢，这会使得海水下层的层结(稳定性)更强，不利于表层和深水区的物质交换，氧气向下的输送会更加困难，这会让海洋缺氧更加“雪上加霜”。二氧化碳增多引起海洋酸化和全球变暖引起海洋缺氧正同步发生，其对海洋生物和生态系统的影响还在持续，需要高度警惕。

过往十年，“全球变暖停滞”曾一度成为气候变化领域的热门话题。因为在1998的超强厄尔尼诺现象之后，全球地表气温的增温幅度有限。然而，随着2013年之后温度重新飙升，全球变暖停滞的概念似乎又成了“明日黄花”。不过，全球地表气温资料中显示出的“停滞”是如何形成的，确实还需要更合理的科学解释。

如果利用全球海洋热含量的数据来回看过去50年的气候变化，可以发现，海洋热含量序列里根本就没有变暖停滞期，其变化表现出稳定的增长趋势。这说明，如果要考察地球的气候变化，需要将大气与海洋一起综合考虑。

由于海洋面积巨大、热容量庞大，海洋热容量比地表温度序列更能准确反映过去几十年里所发生的气候变化。温室气体排放增加引起的全球增暖，其热量分配与流动在整个气候系统里进行，所以短期地表/海表温度变化的“停滞”，仅仅是海气相互作用的自然变率的产物，是由于海洋能量在不同深度间的输送导致的，全球变暖其实并未停滞。所以，当综合考察海-气系统的变化之后，“全球变暖停滞”基本上就成了伪命题。

(魏科系中国科学院大气物理研究所副研究员)

海温可用于预测全球大气甲烷变化

■本报记者 许琦敏

一项由中国科学院大气物理研究所参与的合作研究发现，2010—2019年热带陆地排放对全球甲烷浓度变化的贡献超过了80%，该研究首次提出海温可用于预测全球大气甲烷变化。相关研究成果日前在线发表于国际学术期刊《自然-通讯》。

甲烷是首要非二氧化碳温室气体，在20年尺度范围内，甲烷的增温潜势是二氧化碳的84倍。自工业革命以来，大气中的甲烷浓度增加了一倍多，甲烷加倍所产生的温室效应在全球变暖中的贡献约为20%。

“甲烷的寿命仅有8—11年(约为二氧化碳的十分之一)，其减排能在较短时间内实现抑制全球升温过快的目的。”论文作者之一、中国科学院大气物理研究所研究员刘毅说。

热带是甲烷的重要排放源地，该地区甲烷排放量约占全球排放总量的60%，该地在2010—2019年的排放变化可以解释同时期约84%的大气甲烷浓度增长率。“如何利用现有的观测预报手段预测大气甲烷浓度变化？”刘毅说，“这个问题比较困难，目前这方面还是一个研究空白。”

此次，研究人员利用日本碳监测卫星甲烷观测数据，结合碳同化模型采用天地一体化新方法，首次发现海温变化与南美热带地区和非洲中部的甲烷排放变化(通过降雨和温度变化)之间存在强的季节相关性。

“我们认为，当前的海温预报可用于帮助预测全球大气甲烷的变化。”来自英国爱丁堡大学地球科学学院的论文第一作者冯量说。

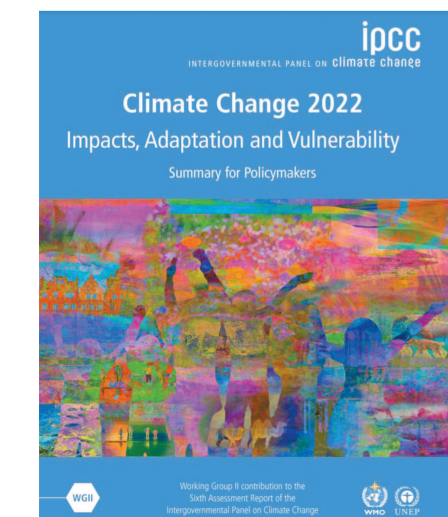
刘毅表示，未来，团队将进一步利用多平台观测数据提供更加精确的中国甲烷排放评估结果，为我国“碳中和”目标提供科技支持。

IPCC发布《气候变化2022：影响、适应和脆弱性》报告——

全球变暖把地球生态推向“硬性极限”

■希区客/编译

日前，联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布《气候变化2022：影响、适应和脆弱性》报告。该报告指出，气候变化正改变着地球，未来几十年，世界将不可避免地遭遇



IPCC《气候变化2022：影响、适应和脆弱性》报告封面 (来源：IPCC网站)

灾难性影响。气候变暖把地球上的大量生态系统推向了科学家一再强调的“人类适应的硬性极限”——在到达这个极限后，人类社会将没有能力再适应更多的变化。

联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯表示：“在我年轻的时候，也有很多关于气候问题的科学报告，但情况从未像现在这样糟糕。今天的IPCC报告就是一本‘人类苦难地图集’，也是对我们气候问题方面无所作为的控诉。”

气候变暖负面影响比预期更严重

这份长达2000多页的最新报告由270位科学家在回顾分析了大量独立研究后编写而成。该报告侧重于气候变化对生态系统、野生动植物和人类社会的影响，而2021年夏天发布的那一版报告更关注气候变化的物理学——变暖如何改变世界并增加干旱、火灾、风暴和洪水的风险。

报告所呈现的画面令人担忧：由于气候变化，疾病向更多地区扩张；更多物种灭绝；动植物种群死亡或迁移，不可逆转地改

变着当地生态系统；由于干旱和热浪，植物和哺乳动物大量死亡；过去的碳汇，如亚马逊热带雨林和北冰洋永久冻土，转变为温室气体排放源。

如今，全球一半的人口至少在一年的部分时间内面临水资源短缺。粮食系统面对的风险非常严重：如果升温达到1.5℃，全球约8%的农田都将无法使用。如果情况变得更糟，到本世纪末，可能将有多达900万人死于气候相关的疾病。

IPCC报告主要作者之一、美国得克萨斯大学奥斯汀分校生态学家卡米尔·帕尔马森表示：“我们看到的负面影响比之前报告中预期的更严重，也更广泛。”

由于人类活动过度依赖化石燃料，目前全球平均气温已经比工业化前水平高出1.09℃。而《巴黎协定》设定了将升温控制在2℃以下，甚至争取实现1.5℃以下的目标。

向着这个目标，人类正不断努力，希望在正确的道路上成功扭转严峻的形势。努力当然会带来令人欣慰的变化，但人类仍需明白，随着永久冻土融化、热浪和干旱加剧、生态系统永久性改变，只要稍有不慎，世界仍将承受“不可逆转的”影响——1.5℃和2℃之间那0.5℃的差值，意味着每年将有6500万人经历极端热浪。

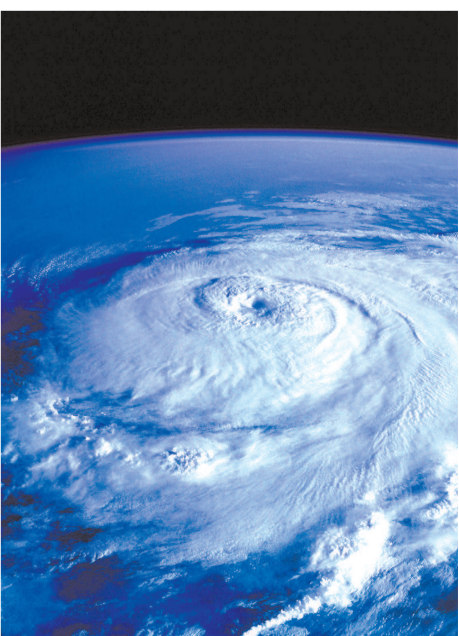
摆脱化石能源依赖成变局关键

IPCC上一次发布这类报告是在2014年。从那以后，追问气候变化根源的科学研究取得巨大进展，让我们更深入地理解了气候变化与其影响之间的具体关系。

此外，报告也指出，人类仍有可能避免最坏的影响，但这需要我们对积极变暖带来的各种后果，采取措施将地区损失最小化。在接下来的几十年内，各国需要了解气候变化将如何影响所在地区，认清“情况将会变得更糟”的事实。

该报告另一位作者、华盛顿大学的流行病学专家克里斯蒂·埃比表示，如果有些地区没有做好准备，居民生命就会危在旦夕。去年，袭击太平洋西北部并造成数百人死亡的热浪就是一个典型案例。

“眼下，对于我们来说，至关重要的事情是开始关注极端天气和气候事件的动态，关注处于危险中的人们，特别是贫困人口和边缘化群体。”埃比认为，人类必须全力摆脱对化石燃料的依赖，这是扭转变暖趋势的关键，“解决温室气体排放的问题没有捷径可走，每一项举措、每一步行动都至关重要”。



飓风卫星云图 本版图片除注明外均pixabay