



气候变暖背景下全球平均海洋环流在加速

吴立新^{1,2*}

1. 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室/海洋高等研究院, 青岛 266003;

2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋动力过程与气候功能实验室, 青岛 266237

* 通讯作者, E-mail: lxwu@ouc.edu.cn

收稿日期: 2020-01-23; 收修改稿日期: 2020-02-20; 接受日期: 2020-03-31; 网络版发表日期: 2020-04-24

在温室气体持续排放的背景下, 地球在过去的几十年中经历了非常快速的增暖. 作为地球气候系统的主要储热器, 海洋将表层长期增暖的额外热量大量地转移到深层海洋(IPCC, 2019). 大尺度海洋环流是海水运动的基本形式之一, 对海洋热量和质量进行着再分配, 是塑造地球海洋环境的基本动力过程之一(Macdonald和Wunsch, 1996; Forget和Ferreira, 2019).

日前, *Science Advances* 刊发了Hu等(2020)的论文“Deep-reaching acceleration of global mean ocean circulation over the past two decades”. 该文作者团队通过集成有关全球海洋环流的大量数据资料, 包括多源观测资料、再分析资料、同化资料和模式资料并结合理论诊断, 对全球平均海洋环流在过去20多年中的变化趋势进行了研究.

对全球海洋环流变化的准确评估是理解地球气候系统变化和预测其未来变化趋势的一个关键. 长期以来, 人们在海洋环流与气候方面存在着一个迫切希望回答的基础性科学问题: 地球的海洋环流系统在全球变暖背景下是如何变化的?

然而, 回答这个问题却存在很大的困难. 一方面, 地球海洋环流的变化具有非常强的区域性和复杂性. 在温室气体排放的强迫下, 不同区域的海洋环流对气候变化的响应存在显著差异. 比如, 副热带西边界

流、太平洋风生环流和印尼贯穿流等存在加强的趋势并导致相关区域增暖较快(Chen和Wu, 2012; Wu等, 2012; England等, 2014; Lee等, 2015), 安格拉斯流自20世纪90年代以来并无加速趋势(Beal和Elipot, 2016), 而大西洋经向翻转环流却显示出减缓趋势. 这些区域性差异主要是由于气候系统内部的动力过程调节导致的, 不同区域的海洋环流受到的动力学调整差别巨大, 导致对其年代趋势的估计亦存在很大差异(Hu等, 2015). 另一方面, 人类仍然缺乏对地球海洋环流的系统性连续直接观测. 历史上对全球海洋环流的观测多数集中在一些特定的域和特定的时间段, 海洋环流的区域性差异导致难以用这些特定的观测来监测地球环流系统整体的变化.

由于不同海域的海洋环流存在显著的区域差异, 某一特定海域或者某一特定海洋环流对气候变暖的响应会有明显差别. 为此, Hu等(2020)通过对大尺度海洋动能在全球全海深范围内进行积分, 用积分的海洋动能作为判断海洋环流变化的指标, 有效地克服了区域差异性.

Hu等(2020)发现, 自20世纪90年代以来全球海洋动能存在显著的增长趋势, 其增长速率达到每十年增长(15±12)%, 这表明全球平均海洋环流存在显著的加速趋势. 这种大尺度海洋动能增加主要集中在全球热带海域, 并且延伸至数千米的深海. 研究团队进一步

中文引用格式: 吴立新. 2020. 气候变暖背景下全球平均海洋环流在加速. 中国科学: 地球科学, 50: 1021–1022, doi: 10.1360/SSTe-2020-0017

英文引用格式: Wu L. 2020. Acceleration of global mean ocean circulation under the climate warming. Science China Earth Sciences, 63: 1039–1040, <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9610-9>

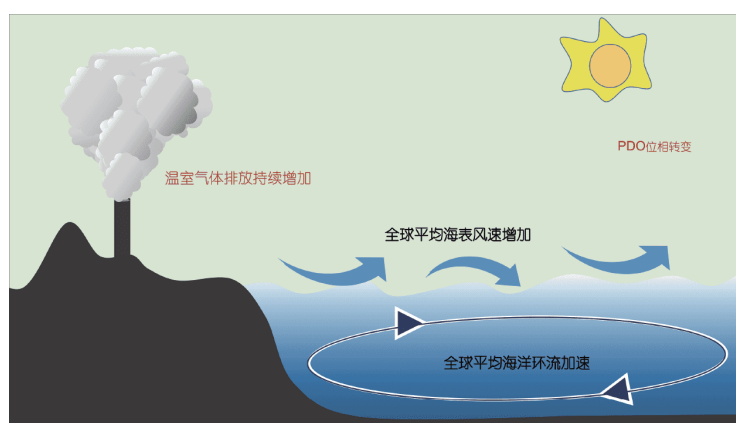


图1 全球平均海洋环流加速的物理过程卡通示意图

据Hu等(2020)绘制

分析全球平均的风速变化,指出这种延及深海的海洋环流加速主要是由行星尺度的海表面风加速引起的。尽管自20世纪90年代以来的太平洋年代际变化发生的位相转变对这种加速做出了一定贡献,数据却显示全球平均海洋环流的加速主要是一种长期的变化趋势,而温室气体持续排放在其中扮演了非常重要的角色。通过比较IPCC历史情景下(HIST RUN)的全球平均风速和未来温室气体高排放情景下(RCP8.5)的全球平均风速,发现温室气体排放增加可导致全球平均风速的显著增长趋势,这表明温室气体排放驱动全球平均风场和全球平均海洋环流加速过程中扮演着非常重要的角色。

这项工作首次揭示了全球平均海洋环流在过去20多年以来存在显著的加速现象,同时阐明了全球平均海洋环流加速的能量来源、物理机制以及人类温室气体排放在其重要的作用。在IPCC(2019)最新发布的报告中,大西洋经向翻转环流、南极绕极流和印尼贯穿流等区域性海洋环流在未来变暖背景下的变化都被给予了特别关注,但一直缺乏对全球平均海洋环流的估计,因此Hu等(2020)为认识未来海洋变化提供了新的视角。由于缺乏对全球海洋环流的系统观测,在全球平均海洋环流的估算中还存在一定的不确定性,但这也凸显出加强全球性海洋观测的重要性和紧迫性。未来,世界各国应加强海洋观测国际合作,共建透明海洋,深化理解和更好地预测未来海洋,服务于全人类的海洋命运共同体。

参考文献

- Beal L M, Elipot S. 2016. Broadening not strengthening of the Agulhas Current since the early 1990s. *Nature*, 540: 570–573
- Chen Z, Wu L. 2012. Long-term change of the Pacific North Equatorial Current bifurcation in SODA. *J Geophys Res*, 117: C06016
- England M H, McGregor S, Spence P, Meehl G A, Timmermann A, Cai W, Gupta A S, McPhaden M J, Purich A, Santoso A. 2014. Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nat Clim Change*, 4: 222–227
- Forget G, Ferreira D. 2019. Global ocean heat transport dominated by heat export from the tropical Pacific. *Nat Geosci*, 12: 351–354
- Hu D, Wu L, Cai W, Gupta A S, Ganachaud A, Qiu B, Gordon A L, Lin X, Chen Z, Hu S, Wang G, Wang Q, Sprintall J, Qu T, Kashino Y, Wang F, Kessler W S. 2015. Pacific western boundary currents and their roles in climate. *Nature*, 522: 299–308
- Hu S, Sprintall J, Guan C, McPhaden M J, Wang F, Hu D, Cai W. 2020. Deep-reaching acceleration of global mean ocean circulation over the past two decades. *Sci Adv*, 6: eaax7727
- Lee S K, Park W, Baringer M O, Gordon A L, Huber B, Liu Y. 2015. Pacific origin of the abrupt increase in Indian Ocean heat content during the warming hiatus. *Nat Geosci*, 8: 445–449
- Macdonald A M, Wunsch C. 1996. An estimate of global ocean circulation and heat fluxes. *Nature*, 382: 436–439
- IPCC. 2019. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. 1170
- Wu L, Cai W, Zhang L, Nakamura H, Timmermann A, Joyce T, McPhaden M J, Alexander M, Qiu B, Visbeck M, Chang P, Giese B. 2012. Enhanced warming over the global subtropical western boundary currents. *Nat Clim Change*, 2: 161–166

(责任编辑: 陈大可)