

## 海洋漩涡能否助力应对气候变化？

Yiming Guo<sup>1,2\*</sup> 和 Mary-Louise Timmermans<sup>1</sup>

<sup>1</sup>耶鲁大学, 地球与行星科学系 (美国, 康涅狄格州, 纽黑文)

<sup>2</sup>伍兹霍尔海洋研究所, 海洋化学与地球化学部、物理海洋学部 (美国, 马萨诸塞州, 伍兹霍尔)

少年审稿人



SIYU

年龄: 14

二氧化碳是维持地球温度与植物生长的关键气体, 但空气中过多的二氧化碳会导致气候变化。海洋中那些被称为“漩涡”的旋转水流在海洋与大气间的二氧化碳传输中扮演着重要角色。在某些海域, 这些漩涡能使进出海洋的二氧化碳量变化幅度超过 30%。根据其运动方向, 漩涡既能将大气中的二氧化碳吸入海洋, 也能将海洋储存的二氧化碳释放到大气中。理解海洋漩涡的运行机制, 对于认识海洋调控二氧化碳、应对气候变化的功能至关重要。通过研究这些旋转水流, 科学家能更准确地预判海洋如何响应气候变化, 及其如何长久支撑地球生命系统。

### 海洋: 吸纳二氧化碳的巨型海绵

海洋如同一块吸纳二氧化碳的巨型海绵, 在应对气候变化中发挥着关键作用。每年, 海洋能吸收约 26% 由化石燃料燃烧发电、森林砍伐和水泥生产等活动释放到大气中的二氧化碳。这意味着海洋吸收了巨量的二氧化碳, 有助于减少导致全球变暖的温室气体。通过吸收这些多余的二氧化碳, 海洋帮助维持地球气候更加稳定。若没有海洋来吸收二氧化

## 碳汇 (Carbon Sink)

吸收并储存大气中二氧化碳的海洋区域。

## 碳源 (Carbon Source)

向大气中释放二氧化碳( $\text{CO}_2$ )的海洋区域。

## 漩涡 (Eddies)

海洋中的小型旋转水流，类似微型涡流，能输送海水与营养物质。

## 墨西哥湾流 (Gulf Stream)

大西洋中一股强劲的暖洋流，从墨西哥湾沿美国东海岸流向欧洲。

碳，气候变化将严峻得多，因此海洋的碳调节功能对地球生态健康至关重要。

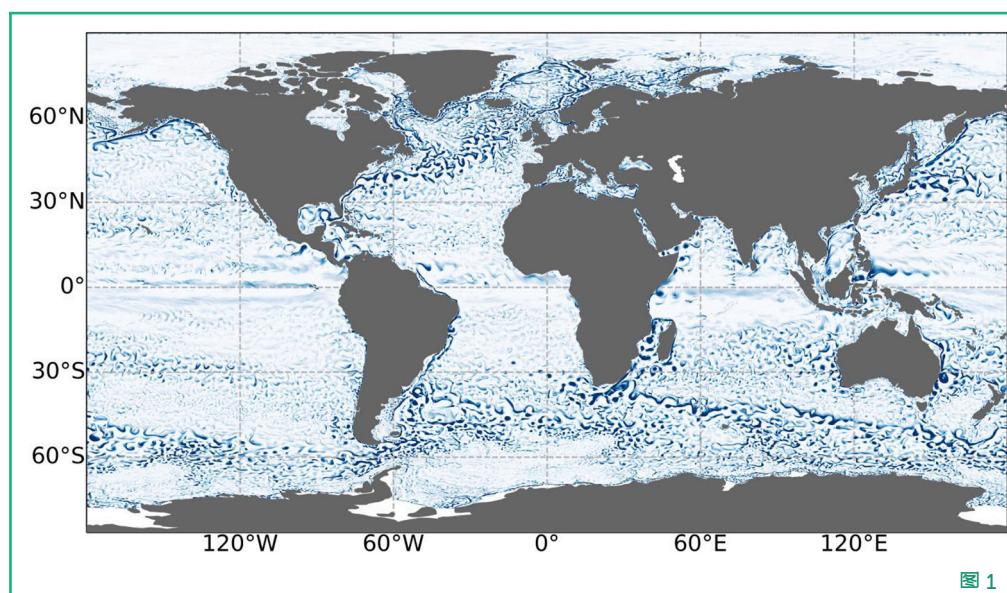
海洋与大气之间的二氧化碳交换量，会随着海水温度等因素的变化而改变。若某海域吸收二氧化碳，则称为“**碳汇**”；若向大气释放二氧化碳，则称为“**碳源**”。科学家通常使用电子传感器测量这种碳交换，但往往局限于小范围海域。大范围的海洋研究往往缺乏细节，可能遗漏一些关键过程，导致我们无法全面理解海洋中的微小变化对二氧化碳吸收起到多大的作用。深入研究这些细微变化，能帮助我们更准确地认识海洋参与维护地球健康的机制。而海洋**漩涡**正是引发这些微小变化的重要因素之一。

## 什么是海洋漩涡？

将海洋想象成一大碗热汤：当你对着这碗汤吹气时，汤面便会漾开一圈圈旋转的纹路。同理，风吹过海面也会产生被称为“**漩涡**”的圆形旋转水流（图 1）。海洋漩涡通常由强劲洋流的扭曲形成，例如沿美国东海岸流动的**墨西哥湾流**。当这些强流蜿蜒摆动时，便会在水中形成旋转乱流。随着时间推移，这种乱流逐渐增强并最终从主流中“脱离”，形成环状漩涡。尽管漩涡直径可达 200 公里，但与全球的浩瀚海洋相比仍属微小——例如，太平洋宽度就有约 2 万公里！漩涡能将暖水带往寒冷海域，将冷水带往温暖海域，促进海洋物质混合。这有助于海洋微生物和营养物质的传输，为鱼类及其他海洋生物创造更健康的生活环境。可以说，漩涡正是海洋自我调节的方式——仿佛在不断搅动一口巨大的汤锅，让一切保持平衡、充满生机！

**图 1**

一张呈现全球海洋中的旋转水流（即漩涡）的分布图。蓝色区域表示海水旋转强度，深蓝色表示漩涡所在位置。



**图 1**

## 海洋漩涡如何影响海气碳交换？

科学家仍在探索海洋漩涡如何影响海气间的二氧化碳交换量。由于现有观测数据有限，并且漩涡研究的计算量大且较为复杂，相关探索充满挑战。最新研究表明，在某些海域，漩涡能有效将二氧化碳吸入海洋 [1]。但科学家仍在努力厘清漩涡如何从整体上影响全球海洋的碳吸收。目前还有不少疑问，例如漩涡是否会增强特定海域的碳捕集能力？现有研究是否可能遗漏了某些关键细节？

为探究漩涡对海气碳交换的影响，我们采用了一种名为“粗粒化”的方法 [2, 3]。该技术通过超级计算机运行的高精度海洋模拟系统，从大规模洋流中分离出面积小于 200 公里的漩涡特征 [4]。借助该模拟海洋，我们得以估算漩涡对海气碳交换的影响（图 2）。在此过程中，我们发现了一些有意义的结果。

### 粗粒化 (Coarse-Graining)

一种将细节整合为更大单元以观察宏观格局的研究方法。

### 海气碳交换 (Air-Sea CO<sub>2</sub> Exchange)

二氧化碳在海洋与大气间交换的过程，可调节大气中的二氧化碳浓度，进而影响气候变化。

图 2

一张呈现漩涡如何影响海气间二氧化碳交换量的全球分布图。不同颜色表示世界各海域中由漩涡导致的海气二氧化碳交换差异比例。例如，在日本近海、南极洲附近的南大洋以及美国与巴西海岸，漩涡促成了超过 25% 的二氧化碳交换；而在赤道附近等区域，漩涡作用较小，仅占 5% 左右。黄色区域表示漩涡对二氧化碳交换影响显著，深蓝色区域则表示影响较弱。

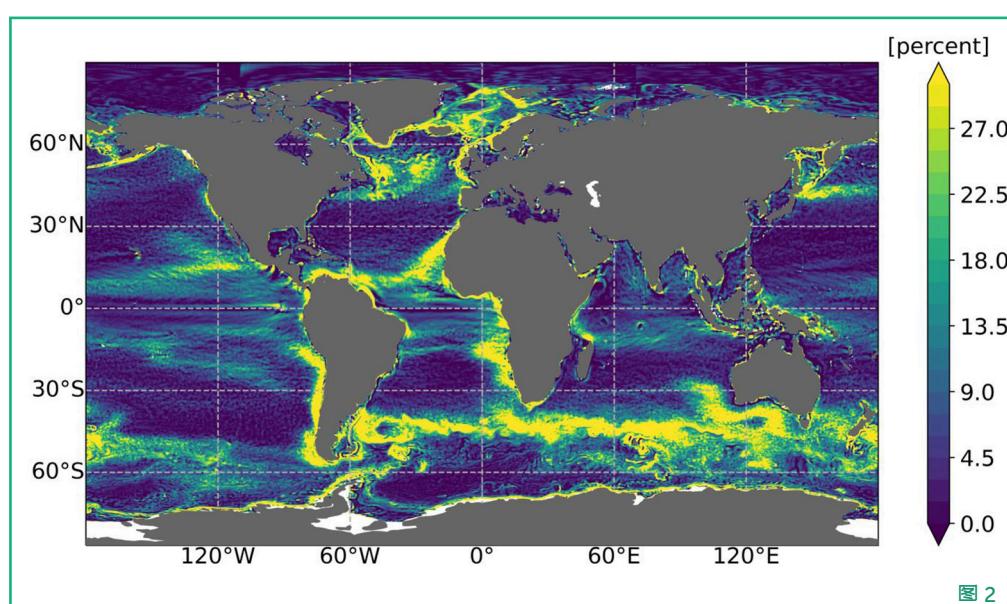


图 2

在极地附近及中纬度海域（南北纬 30–45°）的强流交汇区，漩涡对碳交换的影响最为显著。这些漩涡活动频繁的区域，超过 30% 的海气碳通量变化由漩涡主导，直接决定二氧化碳的吸收或释放强度。而在海洋平静区域，漩涡几乎不影响碳交换。这表明，深入理解和研究漩涡现象对于全面把握海洋碳吸收与释放机制至关重要。

## 漩涡如何影响局部碳吸收？

我们目前已知海洋漩涡是驱动海气二氧化碳交换的因素之一，但核心问题在于：这些漩涡究竟促进海洋吸收更多二氧化碳（使其成为碳汇），还是加速二氧化碳释放（使其成为碳源）？为解答这一问题，我们对全球海洋进行了分析，发现某些海域的漩涡确实促进海洋碳吸收。

而另一些海域的漩涡则导致海洋向大气释放二氧化碳（图3）。综合来看，漩涡每年影响的二氧化碳吸收/释放量超过30万吨——相当于3万辆汽车绕地球行驶一周的碳排放量！由此可见，这些相对微小的海洋漩涡对海气碳交换影响巨大，并且在不同海域呈现出显著差异。

图3

一张呈现漩涡如何影响海洋吸收或释放二氧化碳总量的全球分布图。蓝色区域表示漩涡促进海洋吸收二氧化碳，红色区域表示漩涡促使海洋向大气释放二氧化碳。颜色越深，代表二氧化碳吸收或释放量越大。

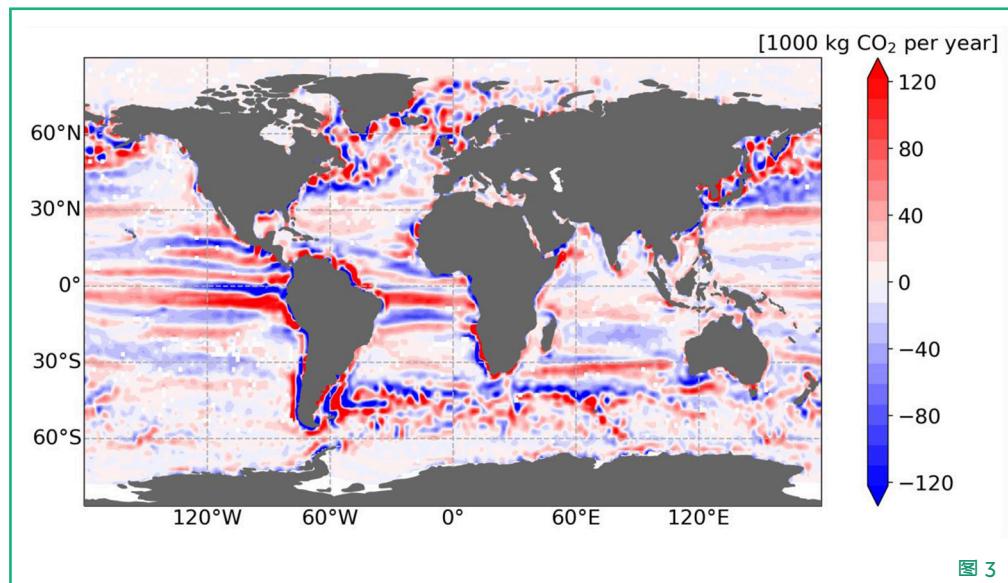


图3

海洋成为碳源或碳汇取决于漩涡的旋转模式。研究发现，若漩涡将二氧化碳浓度较高的海水带向低浓度海域，接收区域会因碳过饱和而向大气释放二氧化碳；反之，若漩涡将二氧化碳含量较低的海水带向原本碳浓度较低的海域，则会促进海洋从大气吸收更多二氧化碳。简言之，海洋漩涡的旋转方向决定了局部海域的碳源/碳汇属性，这种效应在海洋不同区域存在动态变化。

随着全球变暖导致海洋持续升温，科学家预测漩涡活动可能会变得更活跃，对海气碳交换的影响也将加剧[5]。例如，海洋热浪频发导致水温升高，可能改变漩涡的运行模式，进而影响二氧化碳在海洋与大气之间的输送。为了更好地理解这一过程，科学家需要加强海洋监测并优化计算机模型，从而更准确地预测漩涡对气候系统的影响。深化对海洋漩涡的认知，将帮助我们制定更有效的地球气候保护策略。

## 致谢

YG 与 M-LT 的研究工作获得了耶鲁大学自然碳捕集中心的资助。作者感谢 Elizabeth Grant 提出的宝贵意见，显著提升了论文质量。本研究获得耶鲁大学自然碳捕集中心的支持。谨此感谢美国国家大气研究中心计算与信息系统实验室提供的夏延与卡斯珀超级计算资源，该实验室由美国国家科学基金资助。

## AI 人工智能工具使用声明

本文中所有图表附带的替代文本（alt text）均由 Frontiers 出版社在人工智能支持下生成。我们已采取合理措施确保其准确性，包括在可行情况下经由作者审核。如发现任何问题，请随时联系我们。

## 原文

Guo, Y. 和 Timmermans, M.-L. (2024). 海洋中尺度变率在海气二氧化碳交换中的作用: 全球视角. *Geophys. Res. Lett.* 51:e2024GL108373. doi: 10.1029/2024GL108373

## 参考文献

1. Ford, D. J., Tilstone, G. H., Shutler, J. D., Kitidis, V., Sheen, K. L., Dall'Olmo, G., et al. 2023. Mesoscale eddies enhance the air-sea CO<sub>2</sub> sink in the South Atlantic Ocean. *Geophys. Res. Lett.* 50:e2022GL102137. doi: 10.1029/2022GL102137
2. Guo, Y., and Timmermans, M. L. 2024. The role of ocean mesoscale variability in air-sea CO<sub>2</sub> exchange: a global perspective. *Geophys. Res. Lett.* 51:e2024GL108373. doi: 10.1029/2024GL108373
3. Storer, B. A., and Aluie, H. 2023. FlowSieve: a coarse-graining utility for geophysical flows on the sphere. *J. Open Source Softw.* 8:4277. doi: 10.21105/joss.04277
4. Guo, Y., and Timmermans, M. L. 2024. Global ocean pCO<sub>2</sub> variation regimes: spatial patterns and the emergence of a hybrid regime. *J. Geophys. Res.: Oceans* 129:e2023JC020679. doi: 10.1029/2023JC020679
5. Guo, Y., Bachman, S., Bryan, F., and Bishop, S. Increasing trends in oceanic surface poleward eddy heat flux observed over the past three decades. *Geophys. Res. Lett.* 49:e2022GL099362. doi: 10.1029/2022GL099362

线上发布: 2026 年 2 月 13 日

编辑: Laura Lorenzoni

科学导师: Gui Wei

引用: Guo Y 和 Timmermans M (2026) 海洋漩涡能否助力应对气候变化? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2025.1471573-zh

英文原文: Guo Y and Timmermans M (2025) Can Ocean Swirls Help Fight Climate Change? *Front. Young Minds.* 13:1471573. doi: 10.3389/frym.2025.1471573

利益冲突声明: 作者声明本研究不涉及任何潜在商业或财务关系。

版权 © 2025 © 2026 Guo 和 Timmermans. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例，在

注明原作者和版权所有者，及在标明本刊为原始出处的前提下，允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款，则不得使用、传播或复制文章内容。

## 少年审稿人



SIYU, 年龄: 14

14岁的 Yu 是一位热情的北京少年, 热爱探索并追问“为什么”和“怎么办”。他在科学与数学领域表现优异, 经常与他人探讨不同的问题解题思路。课余时间,Yu 沉浸于书籍、纪录片与网络资源中寻找新课题, 并热切地与朋友分享见解。这份求知欲不仅限于课业——他常通过参观博物馆、阅读科学书籍来提升批判性思维, 并发现认识世界的新视角。

## 作者



YIMING GUO

Yiming 是伍兹霍尔海洋研究所物理海洋学部及海洋化学与地球化学部的一名海洋学家。其研究融合遥感技术、实地观测与计算机模型, 致力于探索不同规模的海洋动力学及其生物地球化学影响。闲暇时, Yiming 喜爱徒步、打网球、观看体育赛事及烹饪。

\*yiming.guo@whoi.edu



MARY-LOUISE TIMMERMANS

Mary-Louise 是耶鲁大学地球与行星科学系 Damon Wells 讲席教授。她的研究聚焦全球气候变化背景下的海洋动力学, 尤其关注北冰洋系统。她经常搭乘破冰船开展实地考察, 测量与监测持续变化的北冰洋与海冰。工作之余, Mary-Louise 热爱跑步, 尤其是在家乡的小径上慢跑, 还喜欢和两个女儿共度时光。

中文翻译由下列单位提供  
Chinese version provided by

