

温暖的洋流正在融化南极洲的冰吗？

Mirjam S. Glessmer^{1*}, Nadine Steiger², Elin Darelus² 和 Anna Wåhlin³

¹Fascinocean, 德国基尔

²卑尔根大学数学与自然科学学院地球物理研究所（挪威, 卑尔根市）

³哥德堡大学海洋科学系（瑞典, 哥德堡市）

少年审稿人



ISABEL

年龄: 9



MARGARIDA

年龄: 12

冰盖 (Ice sheet)

覆盖格陵兰岛和南极洲的大冰块。随着下雪和下雨会有越来越多的冰堆积形成, 厚度可达 5 公里。

冰架 (Ice shelves)

大冰盖从陆地上漂走浮在海洋上, 但仍与陆地上的冰相连。它们的厚度可达数百米。

我们乘坐研究船前往南极洲, 在海里布置了仪器并进行了两年的测量。在仪器放置好后, 我们去了一个研究所, 设置了一个装满水的游泳池, 让它在大型旋转木马上旋转了两个月。通过做这些工作, 我们想了解暖洋流是否在融化南极洲的冰 [1]。答案是什么呢? 让我们从头开始解释……

又冷又远: 冰封陆地的重要性

南极洲——位于南极的巨大陆地——是唯一没有人类永久居住的大陆 (见图 1A-D)。这里非常寒冷——沿海地区的平均气温为 -10 摄氏度 (14 华氏度), 而内陆地区为 -60 摄氏度 (-76 华氏度)。南极洲几乎完全被一片冰雪覆盖。其冰盖厚达 5 公里 (3 英里), 而且随着降雪的增加而变得更加厚实。那些漂浮在海洋上但仍与冰层相连的冰层部分被称为冰架。它们可以在陆地外延伸数公里。在那里, 巨大的冰山会断裂, 并形成一道延伸至海洋底部 250-500 米 (820-1,640 英尺) 的冰墙。

尽管冰架、冰山和海冰都漂浮在海洋上, 但还是有必要区分一下它们 [2]。海冰是海洋中的水结冰形成的, 和湖水结冰是类似的道理。当

图 1

(A) 南极洲地图和我们感兴趣的区域 (红框)。(B) 绿点标记了我们系泊的位置。(C) 这就是将冰架切开并从侧面观察冰架的样子。它的一部分位于陆地和海底。它正流向公海, 并由于融化而逐渐变薄。部分冰架断裂并漂走。一股相对温暖的水流流向海底的冰架。(D) RV 沙克尔顿号科考船 (RV Shackleton) 正在前往南极洲, 在旅程中停泊在冰架附近。

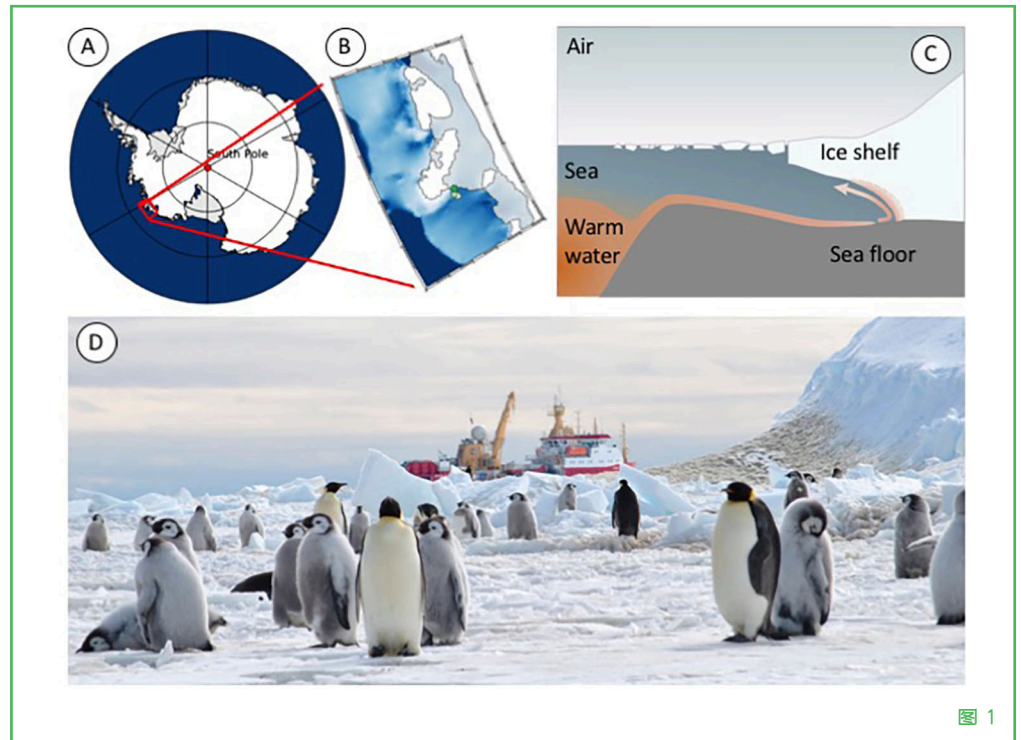


图 1

海冰

(Sea ice)

海水结冰时形成的冰。它漂浮在海洋上 (参见 <https://kids.frontiersin.org/article/10.3389/frym.2019.00079>)。

海平面上升

(Sea-level rise)

海洋水位的长期上升平均水平。南极和格陵兰冰盖的融化导致海平面上升。

气候变化

(Climate change)

气温、降水、洋流和海平面等气候模式的长期变化。气候变化自然发生并导致温暖和寒冷时期, 但最近它是由人类引起的。

洋流

(Ocean current)

海洋中水的平均流动。洋流可以由不同的因素驱动, 例如由风中或水中的不同密度差异驱动 (请参阅我的文章 <https://kids.frontiersin.org/article/10.3389/frym.2019.00085>)。

海冰融化时, 它不会向海洋中增加额外的水量, 因此海平面不会发生变化。然而, 源自陆地的冰融化会导致海平面上升。南极洲的冰川最初是陆地上的冰层, 但它们延伸出陆地的部分在海洋上漂浮。这些部分的作用是阻止陆地上的冰层流入海洋。如果漂浮的冰融化, 就会有更多的冰从陆地汇入海洋, 导致海平面上升。

最悲观的预测是海平面每年可能上升 5 厘米 (2 英寸)。这个速度非常快! 想象一下现在你站在海边, 脚趾头被海水打湿了。而四十年后, 海水可能已经没过了你的头部! 预测海平面上升的速度非常重要, 这样有助于我们做好准备。因此, 我们需要了解有多少冰正在融化, 以及什么原因导致融化。

过去几十年来, 越来越多的冰块断裂并且漂走了, 这是因为气温升高以及南极洲周围海水变暖。气候变化在加快冰融化这一过程 [3]。世界上最强大的洋流环绕在整个南极洲周围。在这里某些地方, 比如靠近冰架的地方, 海水温会相对温暖 (1-2°C; 34-36°F) [4]。水和冰接触, 水温度高会融化冰。但它们是否有接触呢?

由于南极洲周围的海底遍布窄而深的峡谷, 这些峡谷可以将温暖的水引导到冰川, 就像你在水滑梯上滑入游泳池一样。如果这些洋流流经冰架下方, 就可能加快冰层下部的融化。漂浮的冰架变得越薄, 就越容易从南极洲大陆上滑落到海里。

不过, 温暖的洋流很难进入漂浮的冰架下方。冰架最薄的地方也至少延伸到水下 250-500 米的深度。把海洋想象成一个房间, 海洋表面就

像它的天花板：天花板在冰架开始的地方会突然下降 250-500 米。这种高度变化使得洋流在下方流动变得更加困难。在我们想象的这个房间里，人们要想走到天花板变低的区域，甚至需要勾着身子爬行，当然某些人可能更擅长做这样的事。洋流也有不同类型，有靠近海底并能够潜入障碍物下方的洋流，也有无法潜入的洋流。在南极洲周围有哪些类型的洋流呢？温暖的水是否真的能够接触且融化冰块呢？有几种方法可以帮助我们找到答案。

冰融化的速度和原因

对我们来说，乘坐研究船前往南极洲并直接观察洋流并不难。但这也不容易，原因有几个。比如那里的天气糟糕，另外冬季被海冰覆盖的海洋会对船只和船员构成威胁。因此，我们只能将研究船开到海洋里一些既定的位置获取数据，而且只有夏季里短暂的一段时间内可以这么做。

还有一种替代方法是在海洋中放置仪器进行长时间测量（图 2）。系泊装置被锚定在海洋底部的固定位置上，因此只能在特定位置提供测量数据。浮标随洋流漂移，因此仅能提供它们随洋流经过地方的数据。仪器还可以安装在海豹身上，提供海豹游经地方的数据。可以控制类似小型潜水艇的滑翔器缓慢地在水中移动，但需要在附近配备一艘研究船。仪器靠近冰缘也是危险的，在部署和回收它们的过程中需要很多技巧和运气！整个过程从开始到最后都充满了悬疑让人紧张，我们都在想，能否再次找到仪器将它们带回船上呢？它们有没有从头到尾记录下来？我们也只有在仪器安全返回船上时才能读取其中的数据。

了解温暖洋流和冰架的第二种方法是建立迷你模型（类似微缩迷你铁路）来模拟整个系统。然后，我们可以改变模型中冰架或峡谷的形状，以了解每个变化对现实世界中洋流活动的影响。通过这种模型实验，我们可以更好地理解各种变化对洋流的影响。

海洋中直接测量

我们在三个地点设置了系泊装置和仪器，这些仪器可以在两年的时间里告诉我们水温、海洋洋流的方向和强度：一个位于冰架前沿，另外两个位于将水引向冰架的峡谷中。两个系泊装置的数据显示水流向冰架流动。最靠近冰架的第三个系泊装置显示水流在接近冰架之前发生了转向。这意味着温暖的洋流并没有直接流过冰架的下方。相反，它在冰架前沿着冰层的边缘流动，然后流回开放海洋中。因此，当洋流没有流经冰架下方时，冰块的融化程度并没有那么大。

系泊 (Mooring)

固定在海底并在海洋中停留一段时间以收集数据的海洋学仪器。系泊装置可以测量洋流以及海水的温度和盐度。

图 2

(A) 该图显示了海洋中的一个系泊处的若干仪器, 有锚定固定的位置、保持直立的浮标以及用于测量水温、水中含盐量以及水流方向和速度的各种仪器。(B) 部署在研究船船尾的系泊装置。起重机上悬挂的橙色大球是一个浮标, 上面装有测量水流的仪器, 它能使系泊装置在水中保持直立。在研究船后面, 您可以看到系泊装置的其他部分已经漂浮在水中。(C) 我们的系泊地点 (与图 1B 相同, 只是有一定图片旋转)。(D) 我们三个系泊点获得的结果: 箭头显示水流流动的方向, 颜色显示这些水流的温度。

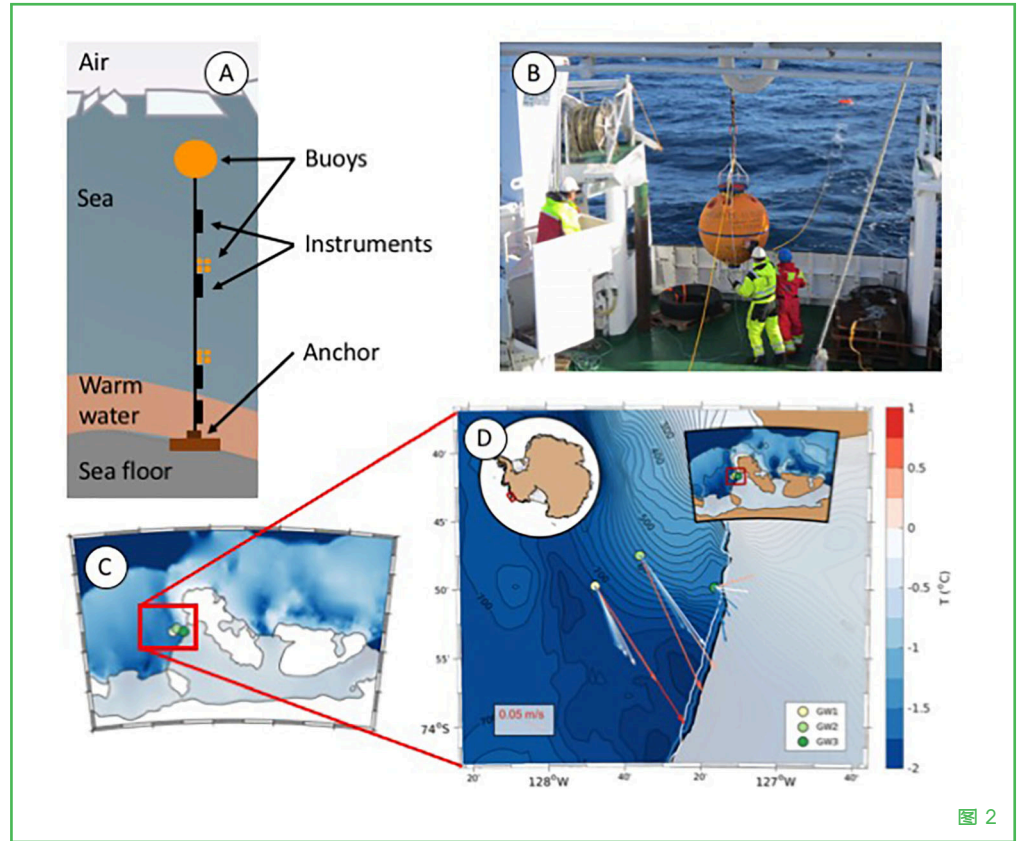


图 2

在微缩模拟世界里重建洋流

在法国格勒诺布尔的实验室中, 我们找到了洋流转向的解释 (图 3)。我们使用一个直径 13 米的旋转水池, 模拟地球的自转。我们建造了一个塑料峡谷, 代表南极洲内我们的目标区域。然后将水泵放置在峡谷中造出洋流。峡谷的末端被塑料“冰架”覆盖, 我们可以升降和倾斜它来创造不同的条件。我们通过将小塑料颗粒混入水中并用激光照射它们来使洋流可被观测到。通过追踪激光照射下颗粒移动的照片, 我们可以重建洋流的情况。

图 3

(A) 直径 13 米的旋转游泳池的外观。注意随水池旋转的控制室, 以及水中的“冰架”和“峡谷”。(B) 冰架 (黄色) 下方模型峡谷 (蓝色) 的俯视图。水流 (红色) 在冰架下方流动, 然后转向并再次流出。

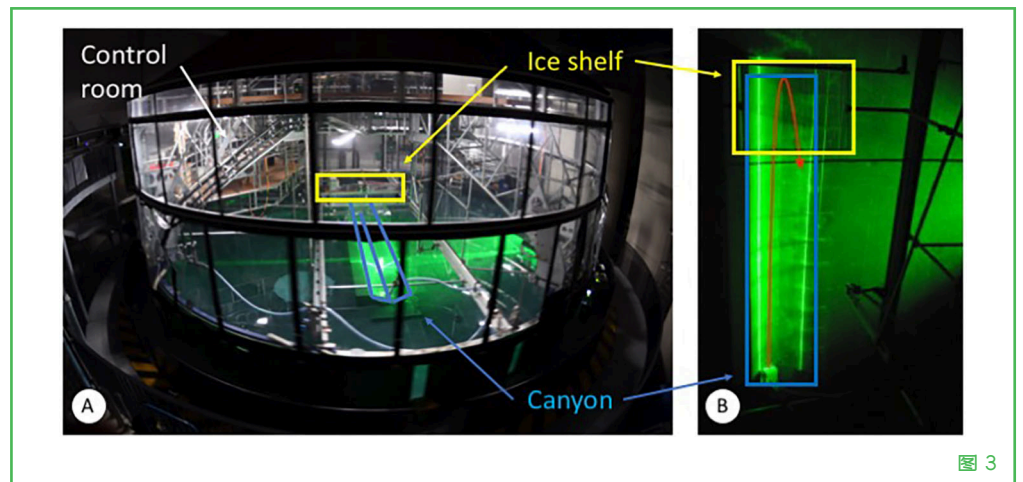


图 3

对于一个边缘陡峭的冰架，洋流会侵蚀冰缘，但它也因为流动受阻而转向。这样冰架下几乎没有水流动，所以那里的冰融化得很少。然而，如果改变冰架的形状，让它从海面到水中深处下降的幅度变得平缓，洋流就更容易在冰架下移动。这种形状的冰架会融化得更快。此外，如果洋流的结构发生变化，比如只有下层洋流在移动，那么情况也会不同，可能会有更多的海水进入冰架下。

预测未来

现在我们知道冰架的形状以及接近它们的洋流类型如何影响冰的融化速度，我们可以利用这一点来预测未来的海平面变化。类似于天气预报中使用的**计算机模型**可以准确计算海洋洋流的走向以及它们融化了多少冰。这些信息成为完整气候预测中的一部分信息，可以帮助制定政策决策，既可以预防未来的海平面情况，也可以适应不断变化的海平面。

致谢

本文作者们感谢 K. Daae 帮助制作插图。我们的实验得到了欧盟 H2020 计划下 Hydralab-plus 的资金扶持（合同号：654110）。我们非常感激以下项目对作者们的资助：由挪威研究理事会通过的 267660 号 (TOBACO) 和 231549 号 (WARM) 的 ED 和 NS 资助；瑞典研究理事会和瑞典战略研究基金会通过瑞典海洋机器人中心 (SMaRC) 的提供的 AW 项目资助。我们还要感谢 I. Fer 在 GW1 和 GW2 项目中借给我们的仪器设备。

原文

Wählin, A. K., Steiger, N., Darelius, E., Assmann, K. M., Glessmer, M. S., Ha, H. K., et al. 2020. Ice front blocking of ocean heat transport to an Antarctic ice shelf. *Nature* 578:568–71. doi: 10.1038/s41586-020-2014-5

参考文献

1. Wählin, A. K., Steiger, N., Darelius, E., Assmann, K. M., Glessmer, M. S., Ha, H. K., et al. 2020. Ice front blocking of ocean heat transport to an Antarctic ice shelf. *Nature* 578:568–71. doi: 10.1038/s41586-020-2014-5
2. Glessmer, M. S. 2019. How does ice form in the sea? *Front. Young Minds* 7:79. doi: 10.3389/frym.2019.00079
3. Shepherd, A., Fricker, H. A., and Farrell, S. L. 2018. Trends and connections across the Antarctic cryosphere. *Nature* 558:223–32. doi: 10.1038/s41586-018-0171-6

计算机模型 (Computer model)

这种方法可以在计算机上展示一些物理过程，使科学家能够了解环境或预测未来变化的影响。天气预报就是一个类似的例子。更详细的解释请参阅：<https://kids.frontiersin.org/article/10.3389/frym.2019.00161>。

4. Assmann, K. M., Darelus, E., Wåhlin, A. K., Kim, T. W., and Lee, S. H. 2019. Warm circumpolar deep water at the western getz ice shelf front, Antarctica. *Geophys. Res. Lett.* 46:870-8. doi: 10.1029/2018GL081354

线上发布: 2023 年 11 月 10 日

编辑: Carolyn Scheurle

科学导师: Rita Araujo

引用: Glessmer MS, Steiger N, Darelus E 和 Wåhlin A (2023) 温暖的洋流正在融化南极洲的冰吗? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00124-zh

英文原文: Glessmer MS, Steiger N, Darelus E and Wåhlin A (2020) Are Warm Ocean Currents Melting the Ice in Antarctica? *Front. Young Minds* 8:124. doi: 10.3389/frym.2020.00124

利益冲突声明: 作者声明, 该研究是在没有任何可能被解释为潜在利益冲突的商业或财务关系的情况下进行的。

版权 © 2020 © 2023 Glessmer, Steiger, Darelus 和 Wåhlin. 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



ISABEL, 年龄: 9

大家好, 我是 ISABEL, 来自葡萄牙。我今年九岁, 喜欢阅读、写作和音乐。我养了三只猫, 而且喜欢研究历史。我不知道长大后想做什么。我非常喜欢蔬菜 (和水果)。



MARGARIDA, 年龄: 12

我叫 Margarida, 今年 12 岁, 喜欢阅读、攀岩和写作。我热爱科学, 尤其是和黑洞有关的一切, 但我完全不知道长大后做什么。我也非常喜欢生物学。

作者



MIRJAM S. GLESSMER

Mirjam S. Glessmer 博士是一位物理海洋学家。她热爱各种和水有关的活动: 她喜欢在水坑、溪流或大海上观察“水的波动”, 或者只使用家用物品进行海洋物理实验 (“厨房海洋学”)。Mirjam 热爱海洋物理学, 热衷于分享她知道的相关信息, 如果您有疑问, 欢迎与她联系, 联系网址为 www.mirjamglessmer.com/contact 或通过联系邮箱进行联系。*mglessmer@gmail.com



NADINE STEIGER

Nadine Steiger 是物理海洋学专业的一名博士生,正在学习很多有关海洋的知识。她喜欢极地地区美丽的冰雪——思索它与海洋和其他气候系统有何联系?她曾去过南极洲进行科考航行,在法国的旋转平台上工作了两个月,用绿光展示出的洋流让她惊叹不已。



ELIN DARELIUS

Elin Darelius 博士是卑尔根大学的极地研究员和物理海洋学家。她喜欢冰和冷水(但不喜欢游泳),并且曾四次参加南极洲研究航行。她帮助部署了本研究中使用的系泊装置,并在法国的旋转池里游过泳。(冰架是用塑料制作的,水有一定的温度)。如想了解她工作的更多信息,欢迎访问她的博客 <https://skolelab.uib.no/blogg/darelius/>。



ANNA WÅHLIN

Anna Wåhlin 教授是一位物理海洋学家。她对水和冰以及它们在地球极地海洋中的相互作用非常着迷。为了了解海洋,她参与了研究航行并收集数据,她也参与了实验室实验和计算机模型研究。她喜欢在大学教授学生海洋物理学,她的授课大学位于瑞典西海岸的一个小城市哥德堡。