



News & Highlights

冰川地球工程能否暂缓海平面上升?

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

南极洲西部的思韦茨冰川 (Thwaites Glacier) (图1) 正引发冰川学界和气候学界的高度关注。该冰川宽约 120 km, 每年冰川消融量高达 450 亿吨, 其消融量对全球海平面上升的贡献率已达 4% [1]。若该冰川完全消融, 将直接导致全球海平面上升 65 cm, 而后续的连锁效应可能会导致海平面再升高 3 m [2]。



图1. 南极洲思韦茨冰川面积堪比美国佛罗里达州, 最大厚度达 1200 m。本图展示其延伸至海中的冰架结构。该冰川及其支撑的冰盖若在 2300 年前崩解, 将导致全球海平面上升逾 4 m。图片来源: 美国国家航空航天局 (公有领域)。

但倘若某些科学家的设想能够成真, 那么未来 10~15 年内, 冰川工程作业队将驶入南极洲附近的阿蒙森海 (Amundsen Sea), 开始建造一条长达 80 km 的水下屏障, 以阻挡那些加速冰川消融的暖流[3]。这项工程预计耗资约 800 亿美元[3], 只是众多旨在保护全球持续消融的冰川以控制海平面上升的大胆地球工程提议之一[4]。其他方案还包括: 向冰川深处钻探, 以排出加速冰川滑入海洋的

融水; 向日渐变薄的冰川表面喷水来增加冰层厚度; 建造巨大的围栏以促进冰川顶部积雪[4-5]。

但冰川地球工程存在大量的不确定性。这些方法是否具备技术上的可行性尚不明确, 项目成本及资金来源尚未明晰, 其环境副作用也尚未可知。此外, 受影响群体是否同意实施, 也仍是未知数[4,6]。

某资深冰川学家小组认为, 亟须就此系列议题给出明确结论。他们在 2024 年 7 月的报告中并未支持冰川地球工程, 而是主张开展一项联合研究计划以探究冰川地球工程是否可行, 该计划包括将冰川研究经费增加一倍[7]。报告合著者之一、芬兰拉普兰大学的研究教授 John Moore 表示: “即使只有 10% 的可能性, 也值得我们去探索。” Moore 及其同事正试图筹集 1000 万美元, 用于进行冰川地球工程的首次试点研究, 该研究包含在峡湾中建造长达 1 km 的屏障。

然而, 部分研究人员反对冰川地球工程, 并指出即便是探讨这种可能性, 也可能会占用原本用于其他重要研究的资金并阻碍人们采取更切实可行的措施来减少碳排放。宾夕法尼亚大学地球与环境科学教授 Leigh Stearns 表示: “我们应当将资金和精力投入到化石能源转型上。”

全球冰川因气候变化持续消退。自 20 世纪 70 年代以来, 科学家持续监测的 61 座“参照”冰川的平均厚度已减少约 30 m [8]。自 20 世纪初以来, 全球平均海平面已上升约 20 cm, 而据最新估算, 到 2100 年, 海平面可能会再升高 20 cm~2 m [9]。

格陵兰岛与南极洲的冰川消融对海平面上升影响最为显著——两地储存着全球99%的淡水冰[10]。思韦茨冰川之所以容易崩塌，其中一个原因在于它所在的陆地低于海平面，海水正从下方持续涌入冰川内部，对其造成侵蚀[11]。此外，阻挡该冰川入海的浮冰层（冰架）正遭暖流侵蚀，可能加速冰川整体崩解入海[11–12]。最新研究显示，思韦茨冰川的崩塌可能延迟至2300年，但它的逐渐消退仍可能在21世纪内使海平面升高6 cm [2]。

思韦茨冰川的情况同样适用于其他大型冰川。美国伊利诺伊州芝加哥大学地球物理学教授、报告合著者 Douglas MacAyea 指出：“我们对这些冰川的认知尚不足以断言其已越过临界点并将必然崩解，但我们或许能够避免灾难性的海平面变化。”

为保护冰川并减缓海平面上升而采取行动的构想，可追溯至20世纪80年代[7]。2018年，Moore 及其三位同事系统阐述了数种干预策略[13]。以格陵兰的雅各布港冰川（图2）为例，该冰川正持续崩解入海，其前缘接触相对温暖的海水[13]，仅20世纪就贡献全球海平面上升总量的4% [13]。Moore 及其同事提出，在冰川入海处——迪斯科湾的海底——建造100 m高的钢筋混凝土堤坝。该工程能够将温暖的海水引离冰川，理论上可减缓冰川消融的速度[13]。



图2. 格陵兰的雅各布港冰川（亦称 Sermeq Kujalleq）长64 km，是全球消退速度最快的冰川之一。过去四十年间其冰体损失量达880亿吨。图片来源：Giles Laurent (CC BY-SA 4.0)。

Moore 坦言，当其团队提出该方案时“（是基于科研视角而非工程应用视角，因为）我们是科学家，而非工程师”。据他说，水下工程专家指出柔性围网比刚性堤坝更具效能与耐久性。为此，Moore 团队正与位于挪威福尼布的 Aker Solutions 公司合作优化设计。若筹资成功，团队计划布设100 m至1 km长的可降解织物围网。这种材料不会形成一个坚固的整体，而是会被分割成条状并锚固于海床，

这样既保障冰山通行，又避免其结构损毁[6]。Moore 没有透露试验的具体地点，但表示预计2~3年内启动实施。

美国国家航空航天局戈达德空间研究所（纽约）高级科学程序专家、报告合著者 Ken Mankoff 强调，此类初步研究至关重要，科学家需开展5~10项试验，以验证干预技术在大型脆弱冰川上的可行性与实施价值。他表示：“若研究证实冰川工程是可行的，那么它或将成为可用技术手段，但这并不意味着我们就一定要采用它。”

不过，一些研究人员已明确反对实施冰川地球工程。Stearns 指出：“所提出的这些解决方案在我们当前面临的问题层面来看并无实际意义。”例如，相关工程或无法真正减缓冰体流失，而转移思韦茨冰川区域的暖流可能只会加速其他区域冰川的消融[14]；洋流改道还可能破坏营养物质循环、损害渔业资源并引发其他环境负效应[6,15]。他强调，若部分提案获批实施，那么要验证它们的冰川保护效能恐怕还需数十年的时间，而届时若验证失败，采取替代措施可能就为时已晚了。

冰川地球工程落地实施需科学家、工程师与外交官、政策制定者、法律专家等多领域专家协同推进。Moore 指出，资金问题和管理问题（即由谁来管控这些项目并决定其实施地点）是亟待解决的两大核心议题。他表示，尽管成本估算存在不确定性，但大规模冰川工程可能需耗费数十亿甚至上百亿美元。到目前为止，Moore 团队的研究资金都是源于慈善资助，但他表示，随着项目的规模不断扩大，政府可能最终需要介入。

Moore 补充指出，尽管工程成本高昂，但与在全球低洼地区新建防护海堤等基础设施所需的数万亿美元相比，其投入规模相对有限。MacAyea 进一步强调，适宜实施地球工程的候选冰川数量较少，将有助于控制成本。他说，仅需精准干预南极三座冰川——思韦茨冰川、毗邻的松岛冰川（Pine Island Glacier）以及托滕冰川（Totten Glacier）——即可显著延缓海平面上升进程。

冰川地球工程的管理问题尤为棘手。例如，在格陵兰岛海域设置水下围网可能需要获当地原住民因纽特人的许可[6]，但目前尚不清楚他们是否会同意这种可能威胁渔业的建设方案[6]。MacAyea 指出，在南极洲开展类似项目很可能会违反《南极条约体系》（Antarctic Treaty System）。该体系是一系列国际协议的集合，旨在防止任何可能损害南极洲环境的活动[16–17]。Moore 表示，若要批准任何冰川工程项目，包括美国、俄罗斯和中国在内的29个条约协商国可能需要同意修改相关条款。他说，最终而言，“治理进程恐远滞后于科学进展”。

Mankoff 警示道，即便冰川地球工程能够奏效，它也

并不能完全解决海平面上升的问题。他说道，近几十年来大气CO₂浓度骤升背景下，此类策略“就好比是在醉酒驾车驶向悬崖时系上安全带一样。不过它或许能为我们争取一些时间”。

References

- [1] Hernandez J. New research on Antarctica’s Thwaites Glacier could reshape sea-level rise predictions [Internet]. Washington, DC: NPR; 2024 May 21 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://www.npr.org/2024/05/21/1252727848/antarctica-thwaites-glacier-climate-change-sea-level-rise>.
- [2] Voosen P. Doomsday may be delayed at Antarctica’s most vulnerable glacier [Internet]. Washington, DC: Science; 2024 Sep 19 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://www.science.org/content/article/doomsday-may-be-delayed-antarctica-s-most-vulnerable-glacier>.
- [3] Pearce F. As “Doomsday” Glacier melts, can an artificial barrier save it? [Internet]. New Haven: Yale Environment 360; 2024 Aug 26 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://e360.yale.edu/features/thwaites-glacier-pine-glacier-antarctica-geoengineering>.
- [4] Anderson R. A wild plan to avert catastrophic sea level rise [Internet]. New York City: The Atlantic; 2024 Jun 12 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/2024/07/nasa-nisar-mission-glaciers-sea-ice-thwaites/678522/>.
- [5] Temple J. The radical interventions that might save the “Doomsday” Glacier [Internet]. Cambridge: MIT Technology Review; 2022 Jan 14 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://www.technologyreview.com/2022/01/14/1043523/save-doomsday-thwaites-glacier-antarctica/>.
- [6] Gertner J. Can \$500 million save this glacier? [Internet]. New York City: New York Times Magazine; 2024 Jan 7 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://www.nytimes.com/2024/01/06/magazine/glacier-engineering-sea-level-rise.html>.
- [7] MacAyreal D, Moore J, Mankoff K, Wolovick M, Minchew B. Glacial climate intervention: a research vision. Report. Chicago: University of Chicago; 2024.
- [8] Climate change indicators: glaciers [Internet]. Washington, DC: US Environmental Protection Agency; 2024 Jul 1 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-glaciers>.
- [9] Moseman A. What are the best- and worst-case scenarios for sea-level rise? [Internet]. Cambridge: MIT Climate Portal; 2024 Jun 12 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://climate.mit.edu/ask-mit/what-are-best-and-worst-case-scenarios-sea-level-rise>.
- [10] Ice sheets today [Internet]. Boulder: National Snow and Ice Data Center; 2024 Aug 14 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://nsidc.org/ice-sheets-today>.
- [11] Fox D. Warm water is sneaking underneath the Thwaites Glacier—and rapidly melting it [Internet]. Washington, DC: Science News; 2024 May 30 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://www.sciencenews.org/article/warm-water-under-thwaites-glacier-melt>.
- [12] Morlighem M. Thwaites Glacier won’t collapse like dominoes as feared, study finds, but that doesn’t mean the “Doomsday Glacier” is stable [Internet]. Melbourne: The Conversation; 2024 Aug 21 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://theconversation.com/thwaites-glacier-wont-collapse-like-dominoes-as-feared-study-finds-but-that-doesnt-mean-the-doomsday-glacier-is-stable-236480>.
- [13] Moore JC, Gladstone R, Zwinger T, Wolovick M. Geoengineer polar glaciers to slow sea-level rise. *Nature* 2018;555:303–5.
- [14] Moon TA. Geoengineering is not a quick glacier fix. *Nature* 2018;556:436.
- [15] Richter H. To avoid sea level rise, some researchers want to build barriers around the world’s most vulnerable glaciers [Internet]. Washington, DC: Science; 2024 Jul 12 [cited 2024 Sep 30]. Available from: <https://www.science.org/content/article/avoid-sea-level-rise-some-researchers-want-build-barriers-around-world-s-most>.
- [16] Gogarty B. Glacier geoengineering must mind the law. *Nature* 2018; 560:167.
- [17] Antarctic Treaty [Internet]. Buenos Aires: Secretariat of the Antarctic Treaty; [cited 2024 Sep 30]. Available from: https://www.ats.aq/index_e.html.