
低温捕碳新突破！揭秘CO₂在低温冷却表面的沉积规律 MDPI Processes

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/42289.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

低温捕碳新突破！揭秘CO₂在低温冷却表面的沉积规律 MDPI Processes。 论文标题：Mass Deposition Rates of Carbon Dioxide onto a Cryogenically Cooled Surface

论文链接：<https://www.mdpi.com/2227-9717/14/2/271>

期刊名：Processes

期刊主页：www.mdpi.com/journal/processes

全球气候变暖背景下，二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）成为减碳的关键抓手，而低温分离技术因能实现高纯度CO₂捕集，成为当下的研究热点。但CO₂在低温表面凝华形成的霜层，会显著影响沉积速率和设备运行效率，这一问题始终制约着低温捕碳技术的工业化应用。近日，爱因霍芬理工大学的Ivo Roghair教授及其研究团队在Processes期刊发表最新研究，通过精准的实验设计和模型构建，系统揭示了CO₂在低温冷却表面的质量沉积速率规律，为低温CO₂捕集设备的设计与优化提供了重要的理论支撑，相关研究成果也为工业级低温捕碳技术突破奠定了基础。

研究内容：

研究团队搭建了一套高精度的实验装置，在可控条件下开展了纯CO₂及CO₂/N₂混合气体的低温沉积实验，霜层厚度最高可达8 mm。实验过程中，团队精准监测了冷却表面温度、气相温度、搅拌转速、气体组分等关键参数，还通过高速摄像记录霜层的生长过程，全面分析各因素对CO₂沉积速率的影响。

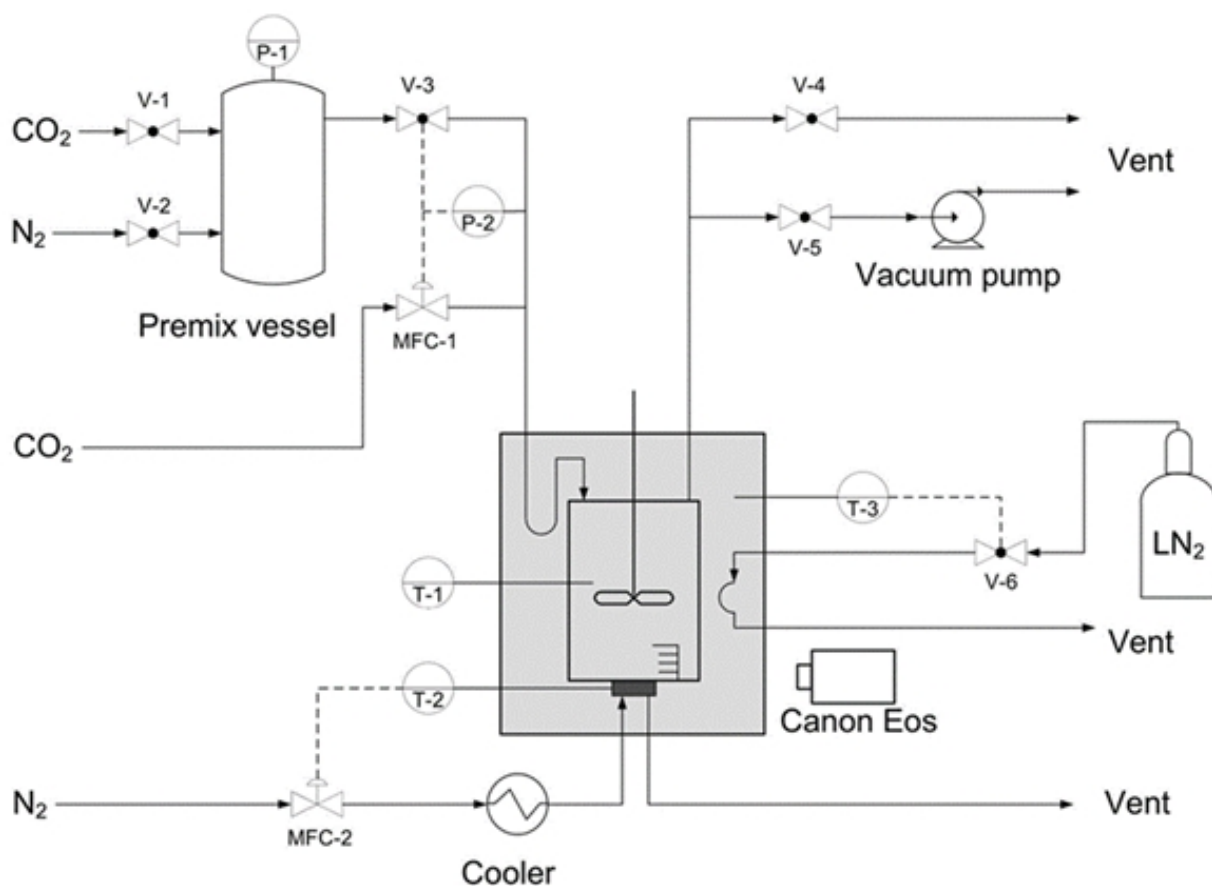


图1 实验装置的简化流程图

研究结果：

通过实验发现了多个影响CO₂沉积的核心规律：（1）霜层的传热阻力是制约CO₂沉积速率的关键限制因素；初始阶段冷却表面无霜层，CO₂沉积速率极高，而随着霜层增厚，热量通过霜层的传导效率大幅下降，沉积速率快速降低。（2）向气相中加入N₂会引入额外的传质阻力，显著降低沉积速率，且霜层密度的增长速率也会随N₂占比提升而变慢。（3）冷却表面温度越低，传热通量越大，CO₂沉积速率越高，而气相温度降低、搅拌转速提升，也会小幅提升沉积速率，而纯CO₂体系下，CO₂压力对沉积过程的影响并不显著。

为了量化并预测上述实验现象，研究团队进一步开发了一套霜层生长模型，该模型结合了质量和能量平衡，首次推导并引入了霜层密度随表面温度变化、有效霜层导热系数随霜层密度变化的拟合公式，还考虑了漂移通量的影响，大幅提升了模型的准确性。模拟结果显示，该模型能精准捕捉实验中观察到的CO₂沉积速率变化规律，预测的平均绝对误差仅为 6.459×10^{-4} ，拟合效果优异。

。

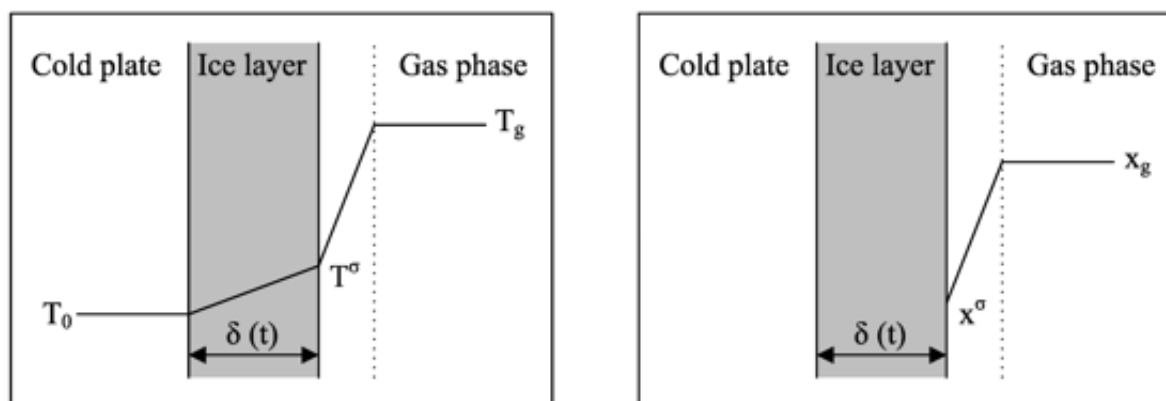


图 2. 结霜生长过程中温度 (a) 和二氧化碳浓度 (b) 的示意图

此外，研究团队将该模型应用于低温制冷填充床这一创新CO₂捕集技术的场景分析，得出了极具工程价值的结论：在填充床中，单个冷颗粒表面形成的霜层厚度仅为 $3.24 \times 10^{-5} \text{m}$ （约0.03 mm），对应的毕奥数远低于0.01，意味着霜层的传热阻力可忽略不计，此时CO₂沉积过程主要由气相到颗粒表面的传质过程主导。这一发现与传统连续冷却换热器形成鲜明对比——后者会形成厚霜层，传热限制成为核心问题，而填充床技术则能规避这一缺陷，为其工业化应用奠定了理论基础。同时，研究开发的霜层生长模型也能为连续冷却换热器类低温捕集设备的设计、再生周期优化提供重要工具。

未来展望：

这项研究不仅深化了对CO₂低温凝华沉积机理的理解，还为低温CO₂捕集技术的工业化升级提供了可落地的理论和模型支撑。在全球减碳需求日益迫切的当下，这类基础研究的突破，正让各类CCUS技术从实验室走向工业现场，为实现双碳目标注入更多技术动力。未来，随着该模型的进一步优化和工业场景的验证，低温CO₂捕集技术有望在电厂烟气、工业尾气等领域实现更高效、更经济的应用，成为全球碳减排的重要技术抓手。

Tuinier, M.J.; Ververs, W.J.R.; Tešić, D.; Roghair, I.; van Sint Annaland, M. Mass Deposition Rates of Carbon Dioxide onto a Cryogenically Cooled Surface. *Processes* 2026, 14, 271.

期刊介绍

主编：Prof. Dr. Giancarlo Cravotto, University of Turin, Italy

Processes 专注于过程工程和系统工程领域，内容涵盖化学，生物，材料，环境，能源，食品，制造，自动化控制等相关过程工程方向。目前已被Scopus, SCIE(Web of Science), Ei Compendex, Inspec等数据库收录。

2025 Impact Factor：3.4

2025 CiteScore：5.7

Time to First Decision：14.7 Days

Acceptance to Publication : 2.8 Days

来源 : Processes

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发