
研究揭示月壤水冰导热率双控新机制

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/42110.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！

研究揭示月壤水冰导热率双控新机制

。月球极区永久阴影区可能保存了太阳系内挥发分输运和滞留的长期记录，同时也是未来月球基地建设、生命保障系统运行和推进剂制备的重要原位资源。随着月球探测从“是否存在水”转向“有多少水、在哪里、以何种形态存在”，如何将热探测、遥感反演和原位取样结果转化为可靠的水冰储量评估，成为月球资源利用中的关键科学问题。

近日，中国科学院武汉岩土力学研究所科研团队以玄武质月壤模拟物IRSM-L1为对象，建立了低温、低压条件下的瞬态平面热源热导率测试方法，改变了样品干密度、环境压力、温度、水冰饱和度和孔隙冰形态。研究利用低场核磁共振和土体冻结特征曲线确认，在热导率测试所处低温和真空条件下，样品中的未冻水含量可忽略，证明热响应主要由固态水冰含量及其孔隙尺度分布控制。

研究设计了两组特征差异明显的含冰月壤模拟样品，一类为冰胶结型，即液态水先进入颗粒孔隙后在低温下原位冻结；另一类为冰颗粒混合型，即先通过超声雾化和液氮快速冻结制备离散冰颗粒，再与预冷干燥月壤模拟物低温混合。两类样品具有近似水冰含量，但其孔隙冰形态、颗粒接触关系和导热通路不同。测试结果表明，干燥月壤模拟物的热导率受密度、气压和温度共同影响，分别对应颗粒接触导热、孔隙气体导热和辐射传热的竞争贡献。在高真空条件下，气体导热受稀薄气体效应抑制，干密度对热导率的影响较弱；随着气压升高，孔隙气体导热贡献增强，热导率随气压明显增大。

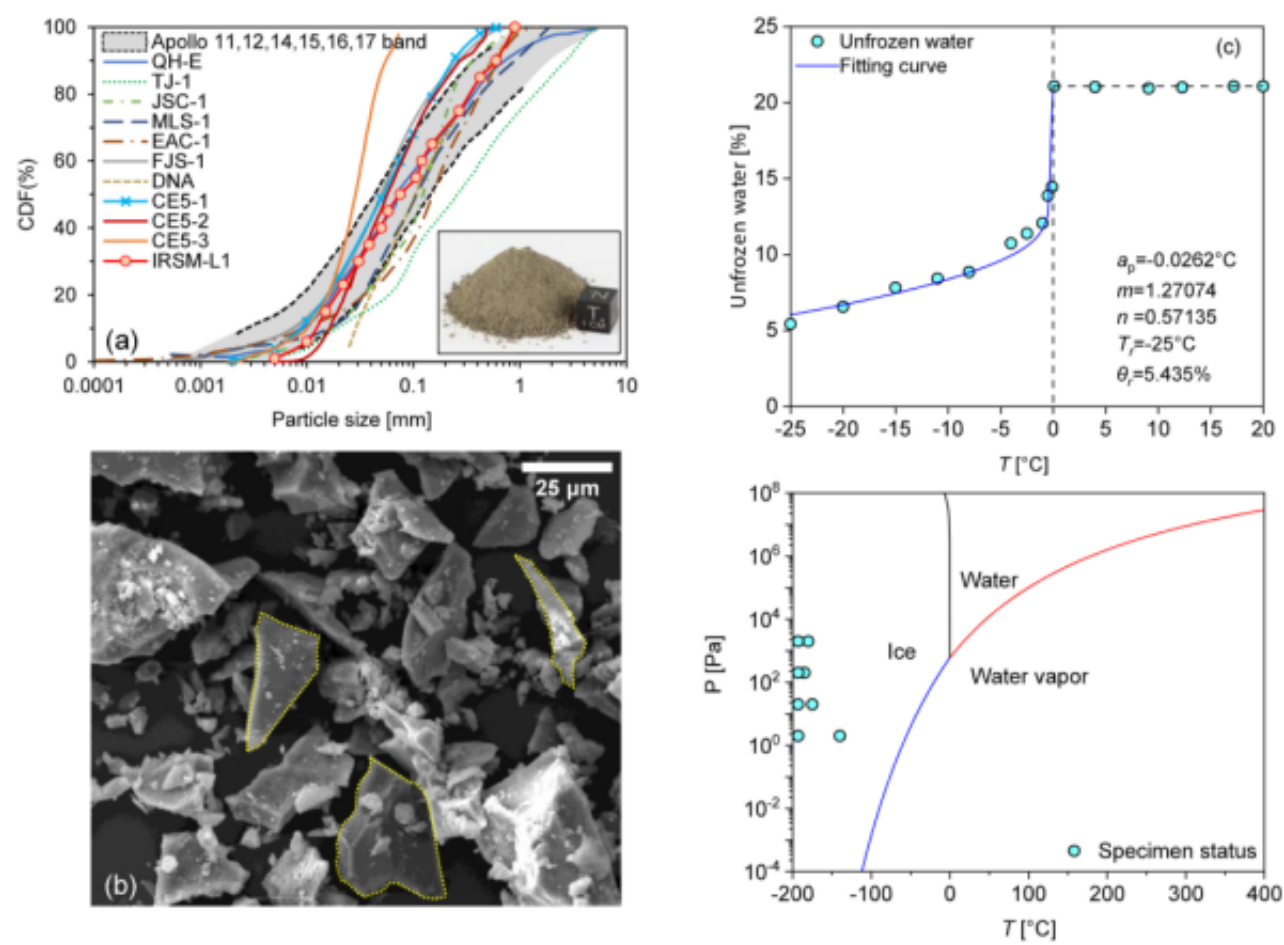
研究显示，含水冰样品的热导率并非仅由冰含量决定。随着水冰饱和度增加，冰胶结型和冰颗粒混合型样品的热导率均升高，但两者增长路径不同。冰颗粒混合型样品中的水冰主要以离散孔隙填充颗粒存在，难以快速形成贯通热传输网络，因此，热导率随饱和度缓慢增加，并接近复合介质下限模型。冰胶结型样品中的水冰在颗粒接触处形成冰桥、冰颈和胶结接触，可降低接触热阻并构建连续导热骨架，表现出更快的S型增长特征。

冷冻扫描电镜观察结果证实，冰胶结型样品中可见颗粒间冰桥和胶结接触，而冰颗粒混合型样品中水冰主要表现为独立冰晶、非晶冰球和凝结枝晶冰等离散形态。结果表明，决定含冰月壤热导率的关键不是简单的“空气被高导热冰替代”，而是冰相是否参与并增强了颗粒骨架中的连续热传输通路。研究还将冰胶结样品热导率的S型增长解释为孔隙冰连接性的阶段性演化。低饱和度时，水冰主要以孤立冰桥降低局部接触热阻；中等饱和度时，冰桥逐渐连接形成连续的冰辅助导热骨架，热导率快速上升；高饱和度时，大部分有效孔隙已被连通冰占据，继续增加冰含量带来的导热增益趋于减弱。

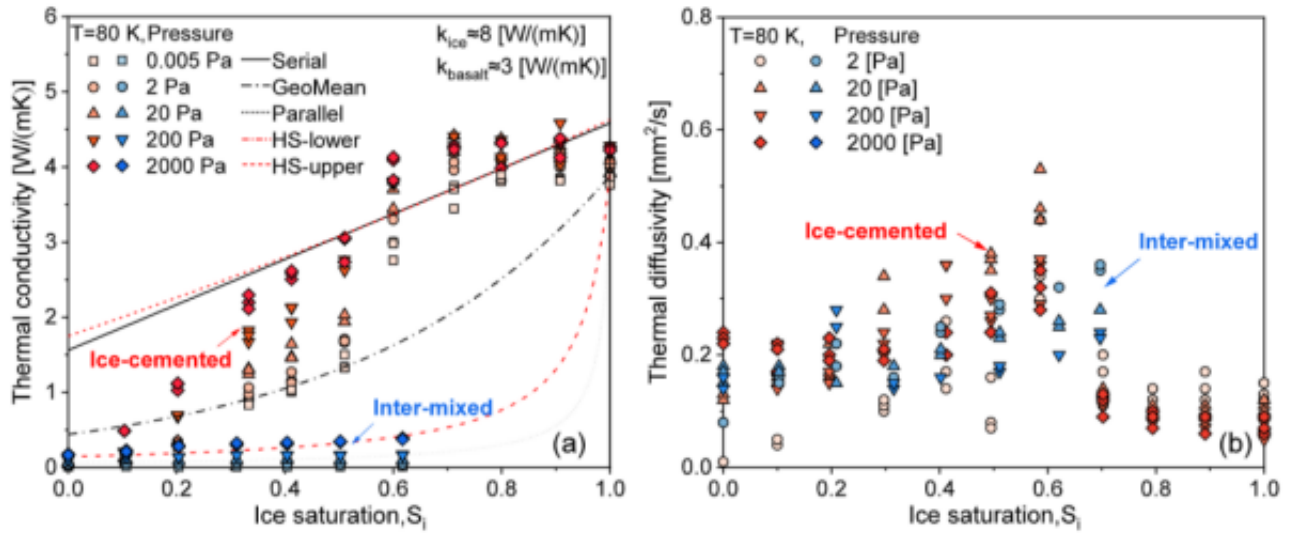
该研究证明了热导率不是月壤水冰丰度的单一代理指标，而是水冰含量和孔隙冰形态的共同响应。若忽略孔隙冰形态，相同热导率可对应不同水冰含量，相同水冰含量也可产生不同的热导率。这一认识为未来月球南极热物性探测、挥发分原位取样和水冰储量评估提供了实验依据和机制约束。

相关研究成果发表在Journal of Geophysical Research: Planets上。研究工作得到国家自然科学基金委员会等的支持。

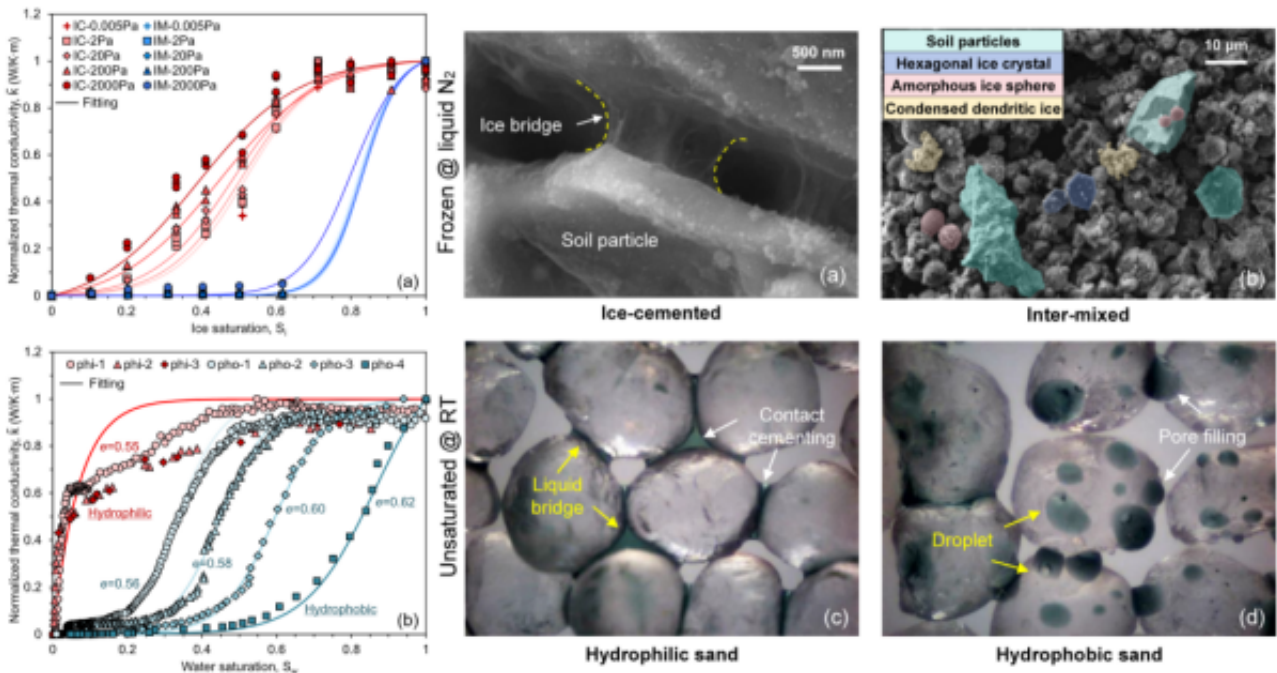
论文链接



IRSM-L1月壤模拟物粒径分布与微观颗粒形貌、模拟月壤的冻结特征曲线和测试温压状态



水冰饱和度与孔隙冰形态共同控制热导率和热扩散率、冰胶结型样品明显高于冰颗粒混合型样品



冰胶结型与冰颗粒混合型样品的孔隙冰形态对比、冰桥和胶结接触可显著增强热传输网络

研究团队单位：武汉岩土力学研究所

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