嫦娥五号月壤中的撞击玻璃珠揭示月球可能的储水方式

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/22575.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！

嫦娥五号月壤中的撞击玻璃珠揭示月球可能的储水方式

。随着探测能力的提升，太阳系中越来越多的无大气天体均被发现表面可能存在水（广义水包括H、OH和H_2O），如灶神星、水星、月球（图1）。这些天体表面探测到的水含量虽远不如地球，但备受关注。

月球是无大气天体的典型代表，探测次数最多，对其表面水分布和含量的认识也最全面。克莱门汀探测器、月球勘探者、月船一号、月球南极撞击实验等探测任务对月表水的含量和分布开展了比较全面的探测，发现月表水存在如下典型特征：月表水呈现明显的纬度差异，高纬度地区明显比低纬度的水含量高，极区可能存在水冰（Clark, 2009；Sunshine et al., 2009）；月表水的含量呈现与月球的昼夜变化相关的特性，相同位置在晨昏时刻的水含量明显比中午时刻高（Sunshine et al., 2009；Wohler et al., 2017）；月表水的含量仅为10-1000 ppm（Clark，2009），局部有比较高的区域（Li and Milliken，2017)。这些特征说明月表虽然有水，但含量低、且动态变化，暗示月表水可能随时间会发生迁移。“月球大气与尘埃环境”探测任务探测到月球空间环境中的水分子逃逸，且逃逸的时间与流星雨事件相关，但月球表面输入水量明显小于月球空间的水逃逸量，因此推测流星雨撞击月球时把月壤中储存的一部分水蒸发到月球空间导致逃逸，进而提出了月表水循环（Lunar surface water cycle）猜想（Benna et al., 2019）。这一猜想提出，月表10厘米到3米区域可能有一个未被发现的储水层（图2）。

然而，现有研究的任何一种矿物或组分，如火山玻璃（Saal et al., 2008）、玄武岩（Hu et al., 2021）、凝结集块岩（Liu et al., 2012）、细粒月壤（Xu et al., 2022；Zhou et al., 2022）等，均不满足月表水循猜想的预期，这或归因于月表水循环猜想不成立、月壤中存在未被发现的储水物质。

中国科学院地质与地球物理研究所地球与行星物理院重点实验室博士生何会存与导师、研究员胡森，联合地质地球所月球样品研究团队、南京大学、中国科学技术大学以及英国的科研人员，为了厘清月表水循环模型的真伪，梳理了前人工作的进展和问题，推测撞击玻璃珠可能是验证月表水循环猜想的关键，这归因于：撞击玻璃因其非晶特性，具备储水能力；水在玻璃中的扩散速度快，使撞击玻璃同时具备排水能力；月壤中普遍存在撞击玻璃珠，含量一般为3-5vol%，具备储存少量水的潜质。研究通过嫦娥五号返回样品中撞击玻璃珠微区水含量与氢同位素组成研究，发现月球撞击玻璃珠的水含量可达约2000 ppm，水含量呈现明显的扩散环带特征，边部水含量高，往核部逐渐降低，氢同位素组成（δD）与水含量呈现相反特征（图3）。根据水含量与氢同位

素的相关性，特别是富水玻璃具备与太阳风相同的氢同位素组成，结合去气模拟与两端元混合计算（图4），研究提出嫦娥五号月壤撞击玻璃珠的水是撞击作用形成玻璃珠后，太阳风成因水通过扩散方式进入到玻璃珠内部，并保存下来（图5）。同时，研究发现有些玻璃珠甚至后期经历过一定程度的撞击或加热事件，导致水含量剖面叠加了一次去气过程（图3e、图5）。

研究表明，撞击玻璃珠是储存太阳风成因水的重要储库。这些玻璃珠具备维持月表水循环的能力和潜质。根据撞击玻璃珠的含水量和模式丰度，研究估算撞击玻璃珠在嫦娥五号月壤全岩的水含量贡献为4-78
ppm，结合月球全球尺度月壤厚度的研究成果，估算月壤的储水量最高可达2.7×10^{14}
kg，比地球四大洋的水储量（$\sim1\times10^{21}$ kg）低。该研究对剖析灶神星、水星等其他无大气天体上低纬度地区水的来源和成因具有重要启示。

相关研究成果发表在*Nature Geoscience*上。
研究工作得到国家自然科学基金、中科院战略性先导科技专项、中科院重点部署项目、地质地球所重点自主部署项目等的支持。

论文链接

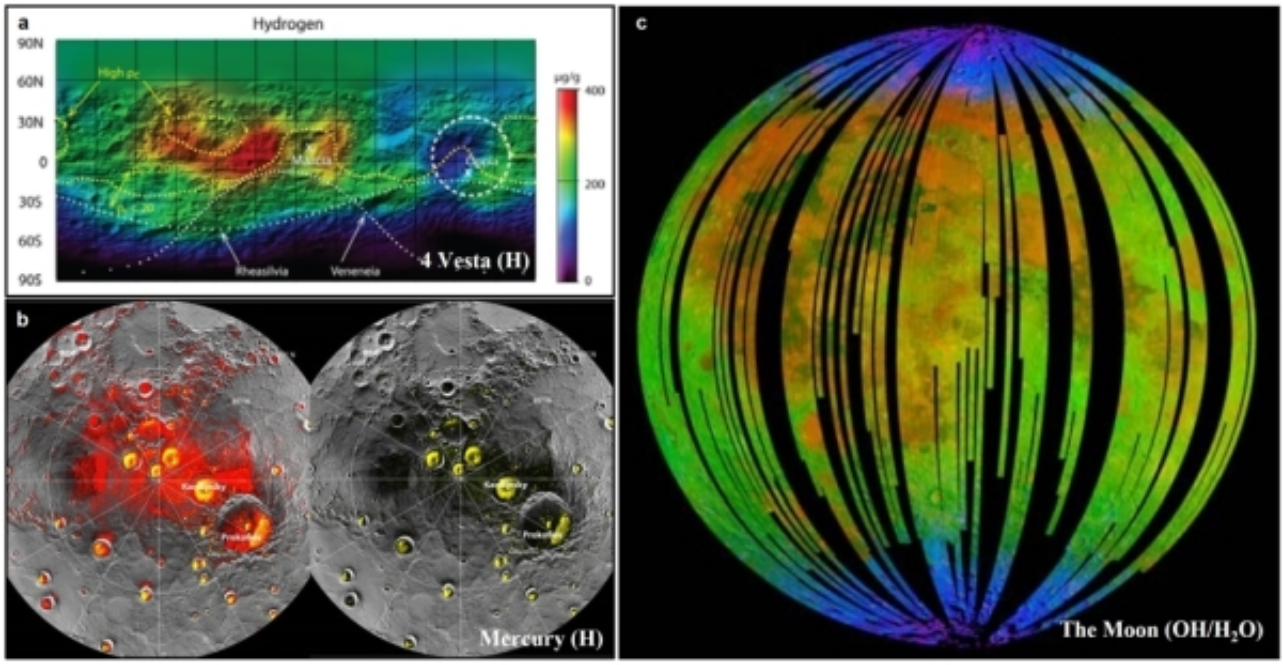


图1.灶神星、水星和月球表面水的分布特征。（a）黎明号获得的灶神星全球性氢含量分布特征（Prettyman et al.
2012）；（b）信使号探测任务获得的水星极区及高纬度地区的氢含量分布特征（Lawrence et al., 2013）；（c）月船一
号探测任务获得月球表面的羟基（OH）或水分子（H_2O）分布特征（Pieters et al., 2009）。

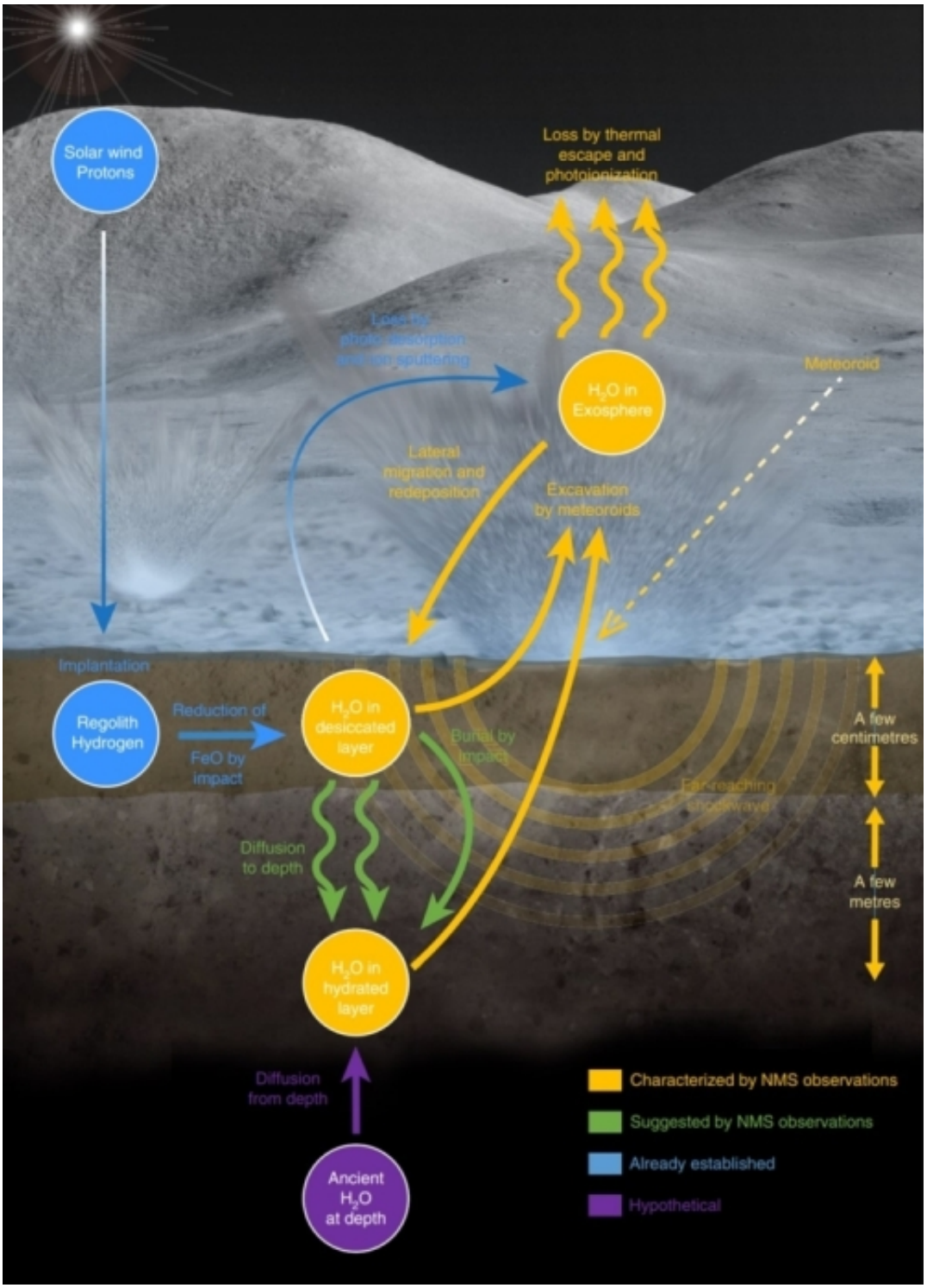


图2.月表水循环的示意图（Benna et al., 2019）

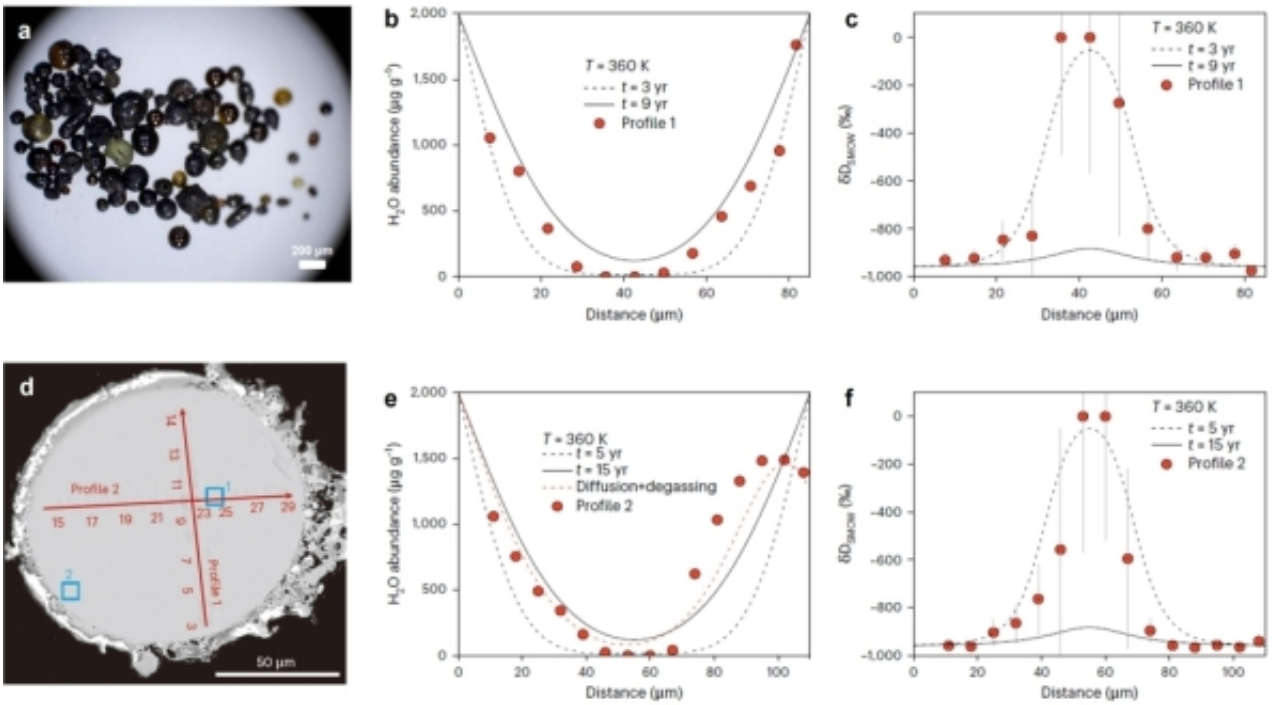


图3.嫦娥五号撞击玻璃珠（CE5#33, 036）水含量和氢同位素剖面。a为CE5撞击玻璃珠的光学图像，b-c为剖面1分析结果，e-f为剖面2分析结果（剖面2与剖面1垂直如d所示）。b图表现出水向内部扩散的特征，c、f图通过氢同位素组成示踪扩散水为太阳风成因（极端贫氘），e图在扩散的基础上记录了水释放的信息。

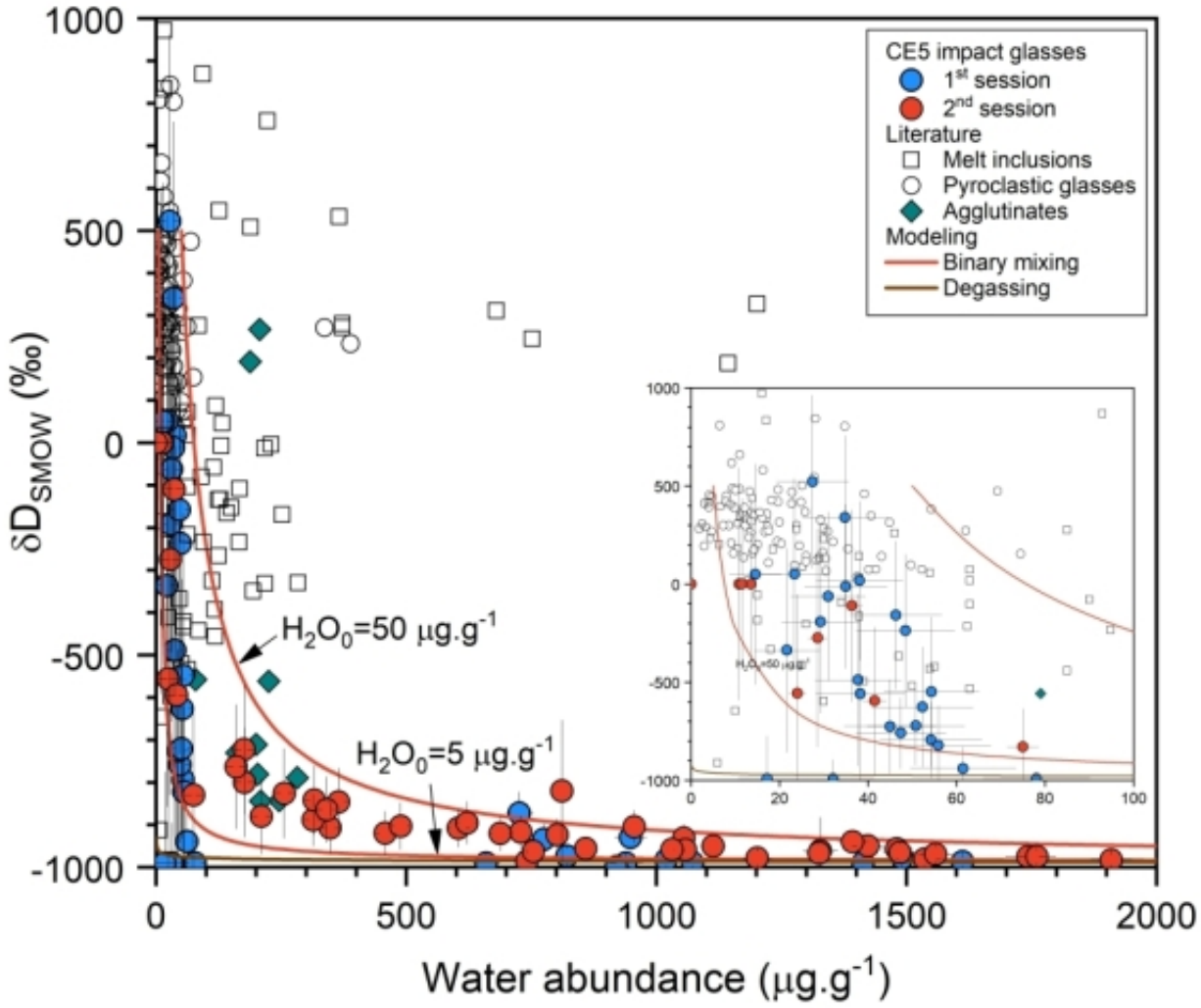


图4.嫦娥五号月壤中撞击玻璃珠水含量与氢同位素的负相关性。撞击玻璃珠的水含量和氢同位素可以用二元混合模型进行约束（红色实线），两个端元分别为太阳风成因水（δD = -990‰，H_2O=2000 ppm）和玻璃珠内生水（δD = 500‰，H_2O_0=5-50 ppm）。同时模拟了H_2去气（棕色实线），去气模型并不能实现玻璃珠中观察到的氢同位素组成。

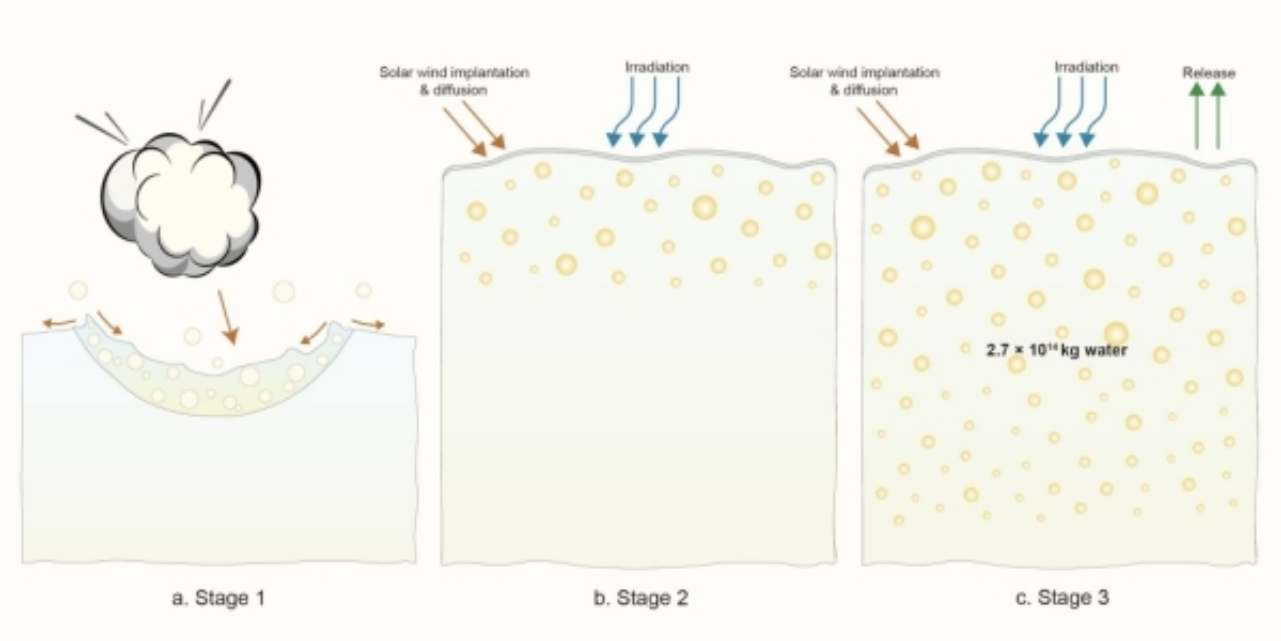


图5.撞击玻璃珠参与月表水循环模式图。Stage 1：撞击玻璃珠的形成，该过程伴随着强烈的冲击，形成的玻璃珠均匀干净，几乎失去了其所有的挥发性成分。Stage 2：太阳风质子注入颗粒表面形成水合分子，而后水向玻璃珠内部扩散。Stage 3：携带水的玻璃珠在月表“翻耕”作用下向月壤深处转移，形成月壤中的“水库”。表层新形成的玻璃珠继续接受太阳风成因水的扩散，同时在温度升高的条件下（光照或陨石撞击），水被释放到月球外逸层。

研究团队单位：地质与地球物理研究所

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转发