
科学家利用嫦娥五号月壤揭示月表中纬度高含量的太阳风成因水

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/21212.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！

科学家利用嫦娥五号月壤揭示月表中纬度高含量的太阳风成因水。

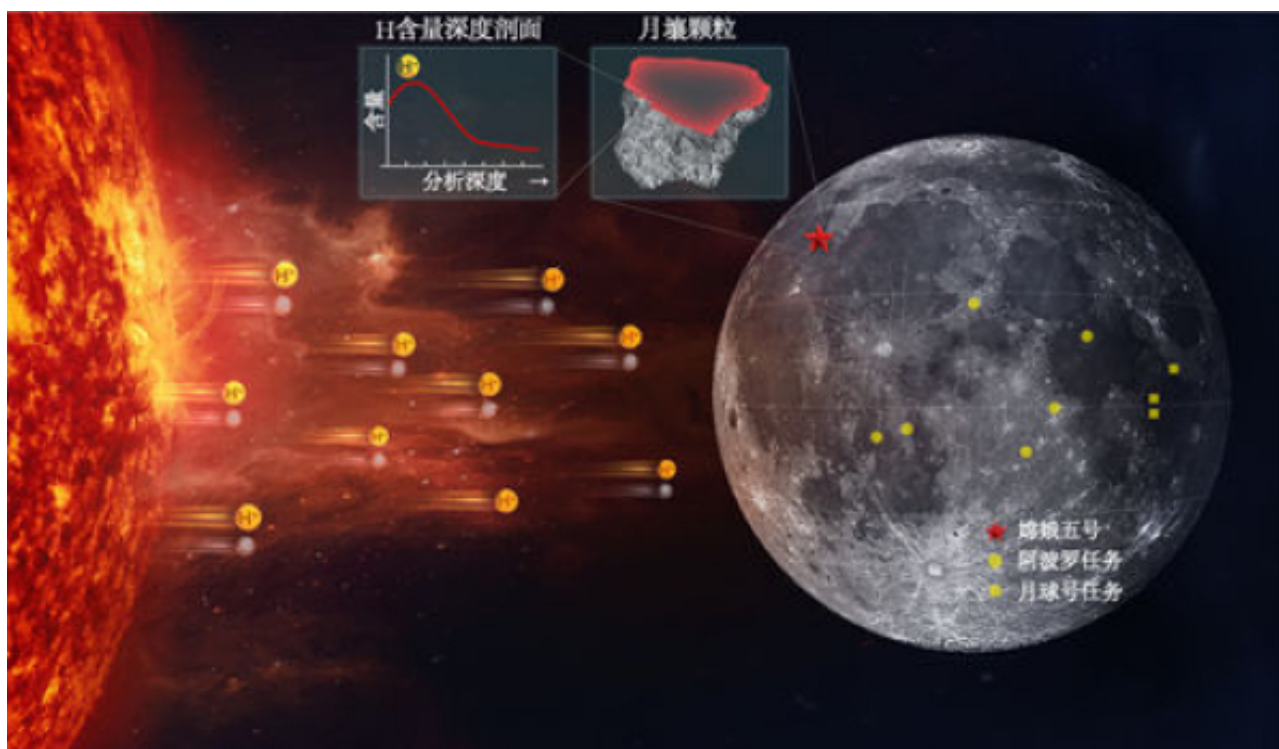
月表水的来源与分布一直是国际上争论和研究的热点问题。近年来，遥感光谱探测数据发现，月表水(OH/H₂O)的含量可能与纬度存在正相关，指示月表水是由太阳风发射的H离子高速注入月球表面形成的。最新的研究表明，月表水的日变化可能也很显著，暗示月表水有较高的丢失率。然而，遥感探测不能识别水的来源，也无法得知水含量从表面向下的分布情况。因此，针对月表水的含量、成因和空间分布这些重要科学问题，中国科学院国家空间科学中心和地质与地球物理研究所联合团队，对嫦娥五号月壤样品开展实验研究。联合团队利用纳米离子探针-透射电镜分析技术对月壤颗粒进行了H含量和同位素分析以及微观结构研究。分析结果发现，嫦娥五号月壤颗粒的最表层(~100 nm)具有很高的H含量(意味着具有很高的水含量)和极低的D/H同位素比值，证明其来自太阳。根据测定的H含量以及月壤样品的粒径分布，估算的嫦娥五号着陆区太阳风来源水为46 ppm，与遥感结果一致。研究将部分颗粒加热后，再进行纳米离子探针分析。结果显示，太阳风注入的H在颗粒表层可以很好的保存。基于嫦娥五号矿物和玻璃中发现的、具有不同形状分布的H含量深度剖面结果，结合阿波罗已有的实验数据，联合团队构建了太阳风H注入和加热扩散丢失的动态平衡模型。该模型预测高纬度区域月壤颗粒表层含有很高的太阳风成因水。同时，基于该模拟结果，估算出的高纬月表水含量与遥感结果类似。

前人通过对遥感光谱探测的研究发现，月表OH/H₂O的含量与纬度可能存在正相关性，即从赤道向两极，随着纬度增加水含量逐渐增加，在极区达到最高值。另外，研究还发现月表同一个地区早中晚水含量也有明显的变化。例如，在赤道位置，月表水含量日变化可高达200 ppm，指示太阳风成因水在月球表面的丢失速率较高。美国阿波罗和苏联月球号采集的月球样品均位于低纬区域(3.6° S-26.1° N)，难以研究纬度(以及相关的月表温度)对月表水含量可能产生的影响。我国嫦娥五号于2020年底成功着陆在月球，并采集返回了1.731 kg月壤样品。嫦娥五号的着陆点位于北纬43.06度，高于阿波罗和月球号的9个着陆区。此外，嫦娥五号着陆区玄武岩的年龄最年轻，约20亿年。如此年轻、中纬度区域的月壤样品，使我们有机会能对太阳风的演化、月表水循环和迁移等方面开展研究。联合团队从两份表取月壤(编号CE5C0400YJFM00409和CE5C0400YJFM00407)中选取了17个颗粒，包括硅酸盐矿物(橄榄石、辉石、长石)和玻璃。研究利用在纳米离子探针上最新研发的超高空间分辨的深度剖面分析技术，开展了H含量和同位素(D/H)的实验分析，并对代表性颗粒开展了透射电镜分析。尽管纳米离子探针分析技术不能区分H的赋存形式(如H₂、OH、H₂O等)，但高的H含量仍旧意味着高水含量的存在。联合团队获得了颗粒中H含量随深度的变化剖面，其纵向分辨率约为1 nm。分析显示，嫦娥五号月壤颗粒的最表层100 nm具有很高的H(可以理解为水)含量，同时，该区域与透射电镜观测到的太空风化层的厚度相当。D/H同位素比

值极低， δD 值为-908‰至-992‰，证明高含量的H来自太阳。根据测定的H含量和月壤颗粒的粒度分布，研究估算了嫦娥五号月壤样品整体的水(H₂O)含量约为46 ppm，与遥感结果一致。分析还发现，H含量深度剖面在玻璃和硅酸盐矿物的最表层具有两种不同的分布形态。在玻璃中，H含量的剖面在 26 ± 7 nm的位置出现了一个峰(图2A);而在硅酸盐矿物中，H含量总体呈现单调递减的趋势。

科研团队选取了其中一部分特征颗粒在180 °C烘箱中加热了28小时，然后再用纳米离子探针分析。加热分析结果显示，太阳风注入的H在颗粒表层可以稳定保存。研究团队基于加热实验分析结果，对不同温度下月壤颗粒中H的保存开展了数值模拟，结果显示太阳风成因水可在月表中、高纬度地区可以得到较好的保存。

由于嫦娥五号着陆于中纬度(表面温度较低)，而阿波罗任务着陆于低纬度区域(表面温度较高)，联合团队利用嫦娥五号月球样品的实验数据和阿波罗已有的研究结果，构建了一个太阳风H注入与加热扩散丢失的动态平衡模型。该模型预测月表高纬度区域月壤颗粒的最表层可能保存有很高含量的太阳风成因水。基于该模型的计算结果和月壤颗粒的粒度分布，估算出的水含量约为560 ppm，这与遥感结果类似。这一结果为月表不同纬度/温度下，月壤颗粒中太阳风H的注入和迁移提供了重要的制约。



相关研究成果发表在《美国国家科学院院刊》(PNAS)上。研究工作得到国家自然科学基金、中科院重点部署项目、民用航天技术预先研究项目和中科院地质与地球物理研究所重点部署项目的支持。图1.来自太阳表面的高速氢离子注入到月球表面并富集在月壤颗粒表层

图2.嫦娥五号月壤颗粒的H含量深度剖面及其太空风化层厚度 图3.数值模拟玻璃和硅酸盐矿物中的H含量深度剖面(A、B)埋藏后，H的扩散丢失过程;(C、D)太阳风H注入和加热扩散丢失的动态过程。

研究团队单位：国家空间科学中心

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](http://www.iikx.com)转发