
地球磁层“调速”，让月背“晒太阳”更深

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40870.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！

地球磁层“调速”，让月背“晒太阳”更深。太阳日冕层时刻在喷高速带电粒子流，形成太阳风。太阳风与地球磁层相互作用会引发极光，强烈时还会干扰无线电通信及电网系统。

历史上，太阳风是如何挥发的？科学家尝试用月壤来回答这个问题。因为月壤长期直接暴露于太阳风中，是研究其挥发历史的天然档案。然而，月球始终以同一面朝向地球，太阳风在月球正背面的注入是否会存在差异？由于缺乏来自背面的样品，这一猜想一直无法得到实证检验。

现在，中国科学院地质与地球物理研究所博士后张徐航在导师贺怀宇研究员指导下，联合中国科学技术大学和嫦娥七号挥发分载荷团队，利用中国国家航天局提供的嫦娥六号月壤样品开展了系统的稀有气体同位素分析。研究发现，月球正面和背面接收到的太阳风的确存在系统性差异，且地球磁层在其中扮演了调速器的角色。相关研究7月15日在线发表于《自然—地球科学》。

寻觅踪迹

太阳风是太阳系内挥发分传输的核心载体。如何从月壤的档案中寻找太阳风的踪迹呢？研究团队瞄准了五种稀有气体——氦、氖、氩、氪、氙。这些气体具有化学惰性，是追溯太阳风注入过程和后期改造的忠实示踪剂。论文第一作者张徐航对《中国科学报》说。

此前，科学家基于阿波罗、月球号和嫦娥五号正面样品的研究，已建立起月壤挥发分主要源于太阳风注入以及陨石、彗星撞击的基本框架。

然而，由于月球具有二分性——正面朝向地球，会反复穿越地球磁层，背面则完全不受地球磁层遮蔽。这种空间特性对太阳风注入造成的影响并不得而知。嫦娥六号任务首次从月球背面南极-艾特肯盆地带回的1935克月壤，为解开这一谜题提供了历史契机。

研究团队采用分步加热和全熔激光提取技术，精细测定了五种稀有气体的浓度与同位素组成，并着重对比了来自嫦娥五号的月壤正面样品与嫦娥六号的月球背面样品中重稀有气体氪和氙的释放规律。

结果显示，嫦娥六号月壤的氦同位素组成呈现出极为独特的特征——其氦20、氦22比值平均为 11.34 ± 0.22 ，远低于所有已知的月球正面样品，极为接近理论上的强烈分馏太阳风端元（ ~ 11.2 ）。这表明月球背面经历了更为极端的分馏过程，使其富集重同位素，仅用传统的溅射、扩散或侵蚀模型已无法完全解释，暗示背面可能存在更为复杂的同位素分馏机制或一个未被发现的低氦同位素端元。

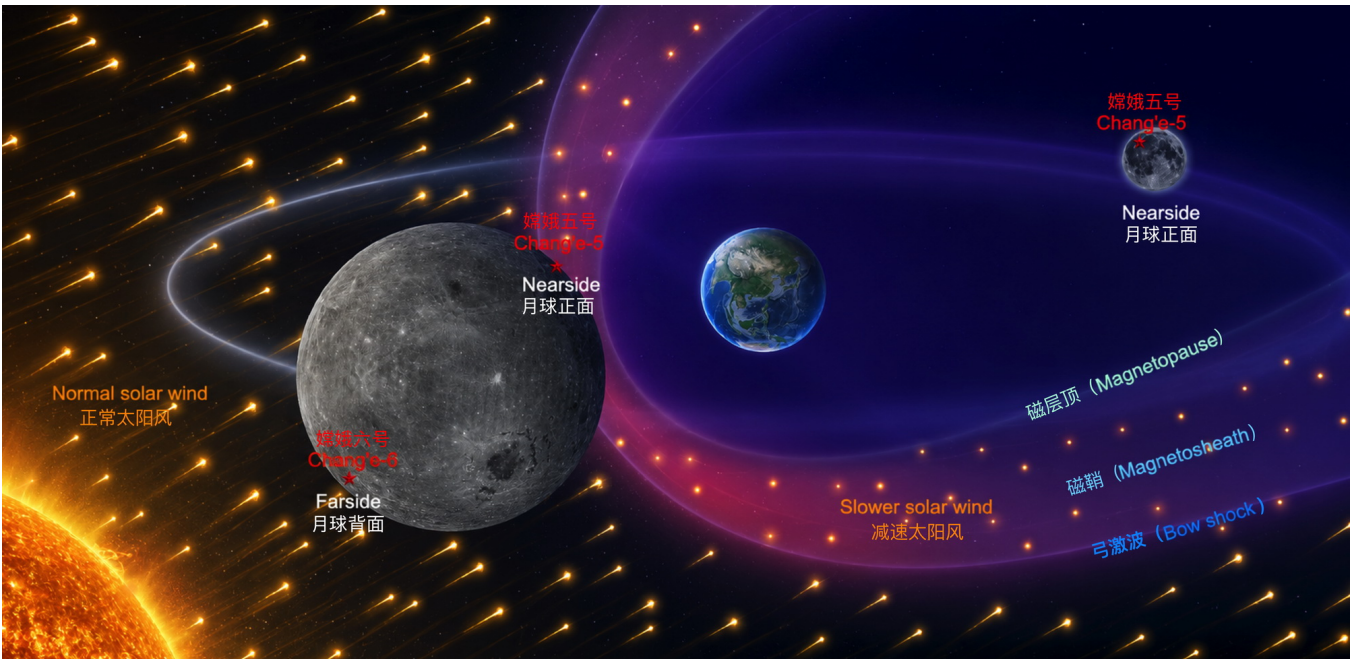
更关键的发现来自重稀有气体氦和氙的释放行为。在分步加热实验中，嫦娥六号样品中太阳风来源的氙主要在高温阶段释放，呈单峰分布；而嫦娥五号样品则出现明显的低温和高温双峰释放模式。由于氦和氙在月壤颗粒中几乎不发生扩散丢失，其释放温度直接反映原始的注入深度——嫦娥六号背面样品的深部释放特征表明，太阳风在月球背面的注入深度整体大于正面，即背面的太阳风粒子具有更高的入射能量。

地球磁层在调速

为什么同一颗月球的两面会接收到不同能量的太阳风？研究团队论证认为，是地球磁层在调速。当月球围绕地球运行并穿越地球磁鞘时，原本约每秒400公里的正常太阳风会被显著减速至约每秒200公里。这部分慢速太阳风只扫过月球正面，导致正面月壤接收到大量减速粒子，注入深度较浅；而月球背面始终背对地球，完全暴露在未经减速的太阳风中，因此注入深度更深。论文通讯作者贺怀宇解释说。

定量估算表明，在嫦娥五号着陆点，受慢速太阳风影响的时间约占全部太阳风照射时间的25%，而嫦娥六号背面着陆点则完全不受此效应影响。

离子注入模拟程序SRIM模拟进一步证实了这一机制。速度约为每秒200公里的太阳风粒子注入深度与正面浅层释放特征一致，并且在该速度下太阳风、陨石和彗星等组分能够有效混合，与嫦娥五号样品中观察到的混合特征完全吻合。



受地球磁层影响，月球正面和北面接收到的太阳风风速存在显著差异。地质地球所供图

这项研究首次利用月球背面样品，实证了地球磁场对太阳风到达月表的调速效应，并且这种效应永久性地保留在月壤稀有气体的深度分布和同位素指纹中。研究还提示，月壤中的重稀有气体有可能成为重建过去地球磁层与太阳风相互作用边界的化石记录，为利用地球古强度数据推测磁层演化提供了新思路。

日-地-月系统内的相互作用远比我们过去理解的复杂。贺怀宇说，而月球正面和背面的稀有气体对比，正为我们揭开这些古老联系的全新维度。即便是最熟悉的天体，依然隐藏着等待人类发现的深层奥秘。（来源：中国科学报 冯丽妃）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41561-026-02042-w>

作者：张徐航等 来源：《自然—地球科学》

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