

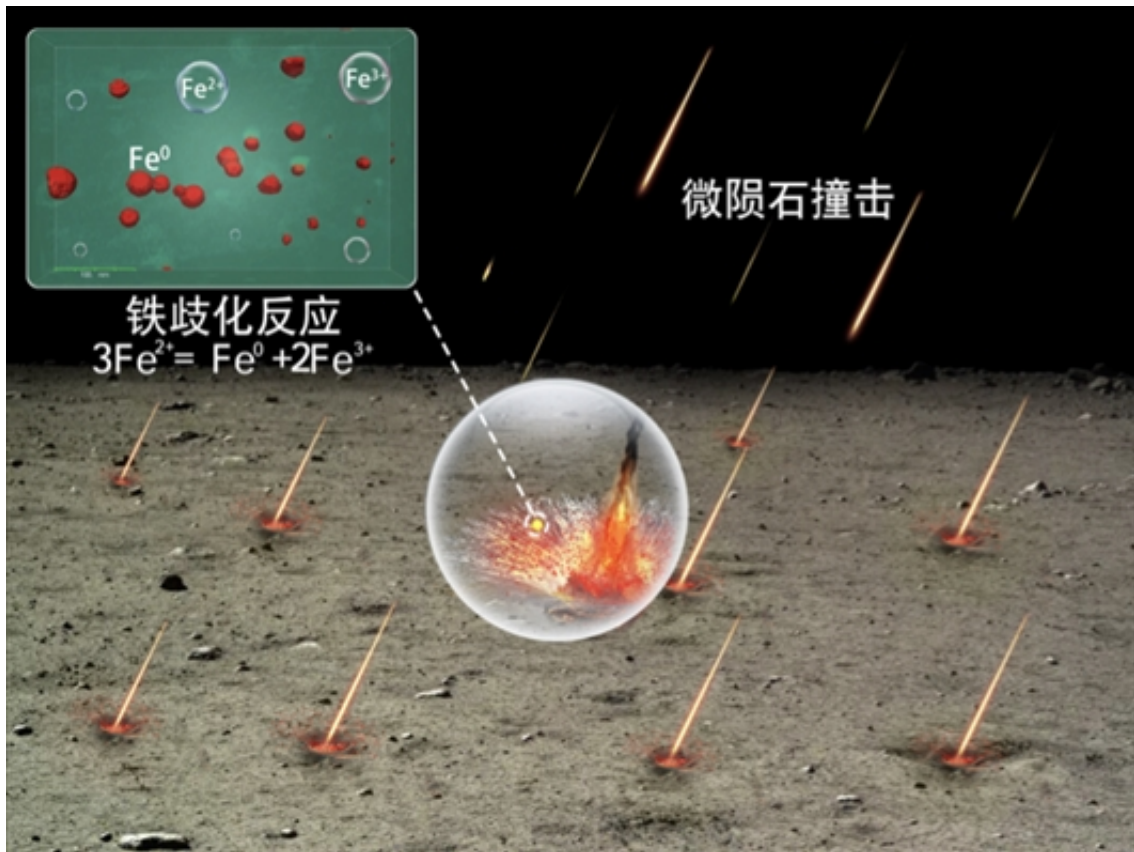
新研究揭示月表普遍存在并不断累积的三价铁

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/21585.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！

新研究揭示月表普遍存在并不断累积的三价铁。



嫦娥五号凝结玻璃中微陨石撞击致纳米零价铁和三价铁的成因示意图。研究团队供图

1月9日，《自然-天文学》（Nature Astronomy）在线发表了中国科学院广州地球化学研究所徐义刚院士和何宏平研究员领衔的多学科交叉联合攻关团队最新研究成果。他们通过对嫦娥五号月球样品进行研究，揭示了月表普遍存在并不断累积的三价铁。

铁元素是能够记录太阳系氧化还原状态的关键元素之一。在阿波罗时代，科学家通过对返回的月球样品研究发现，月球样品中的铁元素主要以还原性的Fe²⁺和Fe⁰两种状态存在，仅含有极少量

氧化性的Fe³⁺ (< 1 wt%)，因此推测认为无大气的月球表面和其内部均呈一种极度还原的状态。尽管如此，近期对阿波罗样品的进一步分析发现了某些样品中含有更高含量的Fe³⁺，比如苦橄质玻璃珠的Fe³⁺/Fe (Fe³⁺在总铁含量中占的比例)可高达25%。

自月球样品中发现Fe³⁺以来，其赋存形式和成因就受到广泛关注。传统观点认为月球Fe³⁺的形成主要有两种途径：一是月球岩浆通过脱除H₂和CO等还原性气体，使得月球岩浆氧化性提高，进而使Fe²⁺和Fe⁰被氧化成Fe³⁺；二是包括在月球表面本身存在的，以及返回样品在转移过程中发生的次生氧化作用。此外，近期科学家通过对系川小行星返回的样品研究认为，太阳风注入过程中伴随H₂O生成的歧化反应也能够无大气天体表面产生Fe³⁺。由此可见，传统认知将月表Fe³⁺主要归因于外部因素对月球原生还原性物质的氧化。

然而，作为一个典型的无大气天体，月球表面无时无刻不遭受太阳风辐照和微陨石撞击等太空风化作用；而前期大量的研究表明，太阳风辐照和微陨石撞击等太空风化作用在月球表面主要表现为形成纳米单质铁的还原性作用。因此，Fe³⁺在极度还原的月球表面如何赋存、形成，及演化仍无定论。

针对这一问题，攻关团队利用嫦娥五号样品展开了研究。该团队选择了月壤中由微陨石撞击作用形成而普遍存在的凝结玻璃为研究对象，发现嫦娥五号凝结玻璃中含有大量由歧化反应而产生的Fe³⁺ (Fe³⁺/Fe > 0.4)。这一发现革新了学界对于月球Fe³⁺赋存形态、含量及成因的认识。

攻关团队首先在嫦娥五号月壤样品中挑选了~100 μm尺寸的凝结碎屑颗粒，并通过扫描电子显微镜(SEM)对凝结颗粒表面进行了详细观察。在凝结玻璃表面观察到了由微陨石撞击作用产生的玻璃棒以及纳米单质铁球。通过聚焦离子束(FIB)对样品进行加工，获得透射电子显微镜(TEM)可观测的薄片。该团队对凝结玻璃及其中赋存的纳米单质铁进行了形态、化学成分和结构分析，发现纳米单质铁为通常太空风化产生的阿尔法铁，平均尺寸为16.2 nm。

为表征嫦娥五号凝结玻璃中的三价铁含量，攻关团队采用电子能量损失谱(EELS)对样品中铁的价态进行了定量分析，结果表明样品中Fe³⁺/Fe的平均值为0.41，远高于以往研究获得的值。该团队分析认为，如此高含量的Fe³⁺不可能由外部氧化产生，而是凝结玻璃形成过程中Fe²⁺发生歧化反应所产生。

这一歧化反应可发生在微陨石撞击形成的高温高压阶段，也可能发生在冲击熔融冷却阶段。何宏平表示，月表普遍存在的凝结玻璃中大量三价铁的发现预示着月球表面存在着比人们以往认识更多的Fe³⁺，且Fe³⁺的含量还会随着微陨石撞击作用的持续进行而不断累积。

如此高含量的三价铁并不意味着月表环境是氧化的，因为本次研究发现产生三价铁的歧化反应并不产生额外的氧，也不会消耗体系中的电子，仅仅将电子进行了重新分配。中国科学院院士、中国科学院广州地球化学研究所研究员徐义刚补充道，但是这一反应过程的发现对于理解无大气天体表面环境铁元素的价态演化有极为重要的意义。(来源：中国科学报 朱汉斌 邓土连)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41550-022-01855-0>

作者：徐义刚等 来源：《自然—天文学》

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](http://www.iikx.com)转发