



嫦娥五号月壤 蕴含哪些演化奥秘

近来我国月壤研究成果陆续问世,今年4月官方还公布了将嫦娥五号月壤样品赠送给俄罗斯和法国以供科学研究的消息,这让大家对月球土壤充满了好奇。月壤中究竟隐藏着什么奥秘?研究它有哪些重要意义?对我国探月工程和太空探索又将有何助益?今天我们就来了解这“无价之土”的珍贵之处。

研究月球为何要先研究月壤

古人云“举头望明月,低头思故乡”,夜深人静之时,凝视月亮总会激起游子的思乡之情。从现代科学的角度来看,月球也是地球的“游子”,约45亿年前,一颗火星大小的星球撞击原始地球,部分撞击溅射出的高温物质重新聚集形成月球,随后月球与地球开启了各自的演化历程。

然而,与地球宜居的表生环境相比,月球堪比炼狱,高真空、强辐射、昼夜温差可达300℃。在月表严苛的环境下,月表岩石发生机械破碎,叠加太阳风、宇宙射线注入以及陨石与微陨石的轰击、翻耕等作用,月表在长达亿年时间内形成了细如粉尘的一层月壤,科学家普遍认为其厚度可达数米至十几米,主要取决于月表下腹岩石的年龄。

月壤的形成过程决定了它不仅包含月球自身的岩石或矿物碎片,还含有少量的撞击体残留物与溅射物,以及这些物质与月表环境相互作用的产物。以嫦娥五号月壤为例,其主要由玄武岩碎屑、角砾岩、胶结物和玻璃珠组成,以及少量的非月海物质(高地岩石碎片)和极少量的非月球物质(陨石碎片)。除了少量是钻孔样品之外,嫦娥五号月壤大部分产自月球表面。月表由于无大气,太阳风、陨石、微陨石等外力可以直接与月表物质发生作用,并记录在月壤中,因此,月壤是

最年轻样品延长月球“地质寿命”

嫦娥五号月壤样品来自月球的玄武岩单元,这些玄武岩是月幔形成的岩浆溢流到月表固化而成的岩石,它们记录着月球衰老的密码。所以,嫦娥五号样品返回后,第一个需要研究的问题就是采样区下腹玄武岩的成岩年龄。

以往的月球样品研究表明,月球在30亿至28亿年前基本停止了岩浆活动,成为一个地质意义上的“死亡”星球。那么,如何测定月球玄武岩的年龄呢?目前主流的方法是寻找月球玄武岩中一些微细含铀不含铅的矿物,例如斜锆石、钙钛锆石、静海石等,通过分析这些矿物中放射性铀衰变形成的铅同位素组成,就可以计算出玄武岩的年龄。嫦娥五号样品是粉末状的微细月壤,没有大的岩块样品,而适合测定年龄(俗称“定年”)的斜锆石、钙钛锆石、静海石通常小于5微米,甚至不到3微米,对分析技术提出了极其苛刻的要求。

我国科学家为了完成这项定年任务,构建了国际一流微区分析平台,研发了离子探针超高空间分辨率的定年技术,空间分辨率从>10微米提高到<3微米。利用这些新技术,我国科学家对嫦娥五号玄武岩岩屑的富铀矿物进行了精确的铅同位素分析,确定嫦娥五号玄武岩形成于20.30±0.04亿年前,嫦娥五

号月壤形成过程、太空风化、撞击历史等科学和工程问题的重要窗口。

截至目前,人类共计从月球采集并返回了383.7千克月球样品,包括月表岩石、铲取月壤和钻孔样品,其中美国阿波罗载人登月任务从月球正面的6个低纬度地区取回了381.7千克月球样品,苏联的月球号任务取回了约300克月壤样品,我国嫦娥五号任务共取回了1731克月壤样品。

基于美国阿波罗和苏联月球号返回样品的研究,科学家提出了月球形成和演化的框架,例如“大碰撞起源假说”“岩浆洋假说”“晚期重型轰击假说”等,这些返回样品的研究刷新了人类对月球起源和演化的认识,促进了行星科学的建立与发展,拓展了人类对太阳系起源和演化诸多基础科学问题的认知边界,也增强了人类迈入更远深空的信心。

2020年12月17日是个值得铭记的日子,我国嫦娥五号探测器携带1731克月壤成功返回地球。这是44年来人类再次实现从月表取样返回,中国也成为了继美国、苏联之后,第三个成功采集到月壤的国家。这些“土特产”为何珍贵?携带着月球的哪些奥秘?对未来月球探测有何启示?围绕这些问题,我国科学家已经发现了一些线索,并在持续不断地开展深入研究。

号月壤是最年轻的月球样品,这一发现也将月球的“地质寿命”延长了8亿至9亿年,刷新了人类对月球岩浆活动和热演化历史的认知。

对于月球这种具有大的表面积/体积比的小星球来说,科学家通常认为它的内部能量会快速耗散而发生冷却,从而早早结束其“地质寿命”。然而,嫦娥五号玄武岩的定年结果证实20亿年前月球还有活力,因此,科学家要回答的第二个问题就是月球的岩浆活动为何可以持续这么久?

此前,科学家对于月球能够维持活力有两种猜测:一是岩浆源区富含放射性元素以提供形成岩浆的热量;二是岩浆源区富含水(或其他物质)以降低源区岩石的熔点。我国科学家通过对嫦娥五号月壤样品的研究,排除了这两种猜想的可能性。最后,我国科学家采用了一系列岩石学和热力学模拟计算,恢复了嫦娥五号玄武岩的初始岩浆成分,并与阿波罗玄武岩的初始岩浆成分进行对比,发现嫦娥五号玄武岩的初始岩浆含有更多的钙和钛,这些物质很可能是月球岩浆洋晚期结晶的易熔物质,后期通过翻转加入月幔,不仅为月幔“补钙补钛”,还导致月幔熔点降低,有助于延缓月球衰老的速度。

我国月壤研究成果启示

2021年7月,嫦娥五号月壤样品向全社会开放申请,激起了全国科技工作者的热情。国内几十家科研院所和高校围绕粒度、成分、年龄、岩石成因、太空风化、太阳风成因水、撞击历史、高精度同位素、岩浆演化、外源物质、力学性质、材料应用等诸多方面开展了系统研究,取得了一系列原创科研成果,提升了我国在月球与深空探测领域的国际影响力和地位。

1.太空风化:揭示月表演化进程

月球等无大气天体表面受太阳风、宇宙射线、陨石和微陨石撞击等作用后,会导致月表物质成分、结构、性质发生改变,进而改造月表的光谱特征,影响光谱探测数据解释的准确度和可靠性,所以,月球的太空风化过程和机制一直是月球科学的重要内容。

我国科学家发现嫦娥五号月壤样品中常见的纳米级单质金属铁可能具有多种形成机制,并首次发现了磁铁矿和蓝辉铜矿在月球表面的分布,这为揭示月球表面的改造过程提供了重要的研究依据。此外,结合原位光谱探测数据与返回样品的实验室光谱测量数据,科学家发现嫦娥五号月壤样品虽然年轻,但成熟度相对较高,这给重新审视现有的月壤成熟度评价体系以及月壤的形成与太空演化历史,提出了新的问题与挑战。

2.太阳风成因水:月表水来源、成因和保存机制的“中国贡献”

近十年,诸多探测器和观测结果都表明月表普遍含有10克/吨—1000克/吨的水(结构水),两极含量高、赤道含量低,极区甚至有水冰(可高达50000克/吨),且随日照时间发生动态变化,这些发现给了人们未来原位利用月表水的希望。但是,月表水是如何形成、保存和迁移的呢?

嫦娥五号月壤样品采集的纬度为北纬43度,处于中纬度地区,为揭示月表水的成因机制提供了重要机遇。现有研究表明,嫦娥五号铲取粉末样品中的橄榄石、辉石、长石、玻璃等细粒组分记录了太阳风氢离子注入事件。跟阿波罗月壤样品相比,嫦娥五号月壤样品含有更多的太阳风注入氢(通常被科学家称为太阳风成因水,即由于太阳风的作用形成的广义水),结合阿波罗样品的研究和极区撞击实验的数据,就可以建立月表水含量与纬度的经验公式,进而预测其他未采样区域的水含量。今年

3月,我国科学家在研究嫦娥五号月壤时发现撞击玻璃珠含有高达2000克/吨的水含量,这些水来自太阳风,因为它们与太阳风具有相同的基因(氢同位素组成)。进一步的分析结果显示,月壤中的撞击玻璃珠不仅能够储存太阳风成因水,还能往外排水,这为深刻理解月表水的成因、保存和迁移提供了新思路,也为未来制定月表水探测方案提供了参考。

3.撞击历史:藏着地球生命兴衰的秘密

嫦娥五号月壤样品不仅包含了月球重要的演化信息,还藏着地球生命兴衰的秘密。小行星撞击是人类文明未来面临的潜在灾难之一。6500万年前,1颗直径约10公里的小行星撞击地球,造成了统治地球1.5亿年的恐龙灭绝。那么对地月系统,小行星撞击事件是否会突然增加?嫦娥五号月壤样品中的撞击玻璃珠是寻找答案的最佳对象。

月球玻璃珠最早在阿波罗月壤样品中发现,大小从几十微米到几毫米不等,通常呈球形、椭圆形或哑铃形,主要由火山喷发和撞击溅射形成,其中经常包含被撞体的岩石和矿物碎片等,藏着大量月球与内太阳系演化的信息。我国科学家采用离子探针精密仪器准确分析了嫦娥五号月壤中撞击玻璃珠的成分与年代,建立了月球撞击溅射物数值模型,并从嫦娥五号着陆区周围10万多个撞击坑中筛选出潜在源撞击坑,证实了在嫦娥五号着陆区附近,月球经历了至少17次强烈撞击。通过对比小行星带内撞击/裂解时间年龄与嫦娥五号着陆区附近的撞击事件年龄,发现其中一组的撞击年龄与地球上白垩纪末期恐龙灭绝事件的年代吻合,推测当时撞击频率突增,突发事件可能同时发生在地球和月球上。

4.机械力学、新材料、新矿物研究:助力月球开发

嫦娥五号月壤样品中首次发现了自然界存在的新矿物“嫦娥石”——一种含钪的磷酸盐,其后续的成因研究将对限定嫦娥五号玄武岩经历的演化历史提供重要启示。近期,我国科学家披露了嫦娥五号月壤的机械力学性质,为未来月球车、科研站建设、载人探月等任务提供工程力学参考。同时,科学家还在利用嫦娥五号月壤开展原位资源利用方向的研究,例如原位制备燃料和氧气、玻璃纤维的发现等,这些研究成果将从不同角度服务我国未来月球探测任务。

未来探月 将走向何方

从古至今,月球一直激发着人类对浩瀚宇宙的向往和思考。月球探测不仅可以拓展月球科学的认知边界,也为深刻认识地球的宜居性演化提供了新思路 and 视角。同时,月球探测还是深空探测的前哨阵地。月球独特的大小、位置、表面和空间环境等条件是人类发展深空探测高新技术的天然试验场和平台,在月球上发展对地观测、对天观测、空间实验、资源利用、长期驻留作业等具有独特优势,这些积累会成为未来人类踏足更远深空的跳板。

月球是人类迈向更远深空的中转站,是研究生命、太阳系和宇宙“三大起源”的重要途径。在“绕、落、回”三步走战略规划圆满完成,我国探月工程将进入新阶段——建设月球科研站。今年4月,中国探月工程总设计师、深空探测实验室主任吴伟仁院士在2023年“中国航天日”第一届深空探测国际会议上透露,国际月球科研站将按照3个阶段分步实施,2030年前后建成国际月球科研站基本型,开展月球环境探测和资源利用试验验证;2040年前后建成国际月球科研站完善型,开展日地月空间环境探测及科学试验,并建成鹊桥通导遥综合星座,服务载人登月和火星、金星等深空探测;之后建设应用型月球科研站,由科研型试验站逐步升级到实用型、多功能的月球基地。

当前,越来越多的国家加入到探月队伍当中。为维护我国在深空疆域的正当权益,不断提升我国月球与深空探测的深度与广度是必走之路,中国航天人也必将为人类深刻认识月球、地球以及太阳系的形成演化继续贡献中国智慧。据《北京日报》