

嫦娥六号月球采样区

嫦娥六号将带回月壤样本  
月球「土特产」

■ 沈滔

今年上半年,嫦娥六号将从海南文昌出发,飞向月球。这次它的主要任务是从月球背面挖土回家,这也将是人类首次开展月球背面取样。月球作为地球唯一的卫星,在它的身上蕴含着怎样的宝藏?它的“土特产”又有什么特殊的地方?

## 月岩带来丰富矿产

月球资源的多样性不如地球。地球形成的时候只有60种矿物,现在矿物种类超过了5000种,地球的演化使矿物不断地发展和变化。而月球现在有多少种矿物呢?大概就100种,跟45亿年前的地球差不多,可能稍微多一点点,这跟月球演化的历史长度是有关系的。月球演化历史比较短,所以它的多样性就差些。但单单这些矿物也带给人类不少惊喜。

和地球一样,月球的矿产资源也不是均一分布的。根据目前的研究,科学家认为月球表面主要存在以下三种主要的岩石类型:

第一类是月海玄武岩。月球上是不存在液态水的,但受限于早期的观测条件,人们将很多月球表面的暗色区域,冠以“海”的名字。而实际月海是指广布在月表的大型且平坦的盆地。月球表面有22个月海,其中19个分布在月球正面。

月海玄武岩形成于39.5亿~31.5亿年前的多次大规模玄武岩浆喷发事件,它们填充了大部分的月海。月海玄武岩的厚度在500米~1300米之间,少数盆地的中央厚度可达4500米。据估计,月海玄武岩的体积约为月壳体积的1%。根据专家的粗略计算,月球上月海中所充填的玄武岩总体积约为100万立方公里。

目前我们已经发现了20多种月海玄武岩类型,它们大部分富含铁和钛,最常见的氧化物是钛铁矿和尖晶石。依据已有的光谱成像数据分析,这些玄武岩中的钛铁矿可开发程度的资源量超过100万亿吨。这些钛铁矿不仅是生产金属铁、钛的原料,还是生产水和火箭燃料——液氧的主要原料。

第二类是苏长岩,也被叫作非月海玄武岩。苏长岩中含有丰富的钾、磷和稀土元素,它在月球上分布很广,是岩浆分异或残余熔浆结晶形成的富含挥发性组成元素的岩石,被称为“月球上的花岗岩”。

第三种是富铝斜岩,主要由斜长石和辉石组成,是40多亿年前月球岩浆分离作用的产物。月陆(月球高地)表面主要就是由富铝斜长岩构成的。

当然,月球上也有很多地球上不存在的矿产。在2022年9月,中国科学家首次在月球上发现的新矿物被命名为“嫦娥石”。这也使我国成为继美国、苏联后,世界上第三个在月球发现新矿物的国家。

随着人类对月球探索的进一步深入,想必我们也会看到越来越多的月球特色矿产。

## 月壤助力清洁能源

自然界中的氢有氘-4和氘-3两种同位素。其中,氘-3在能源、科学研究等领域具有重要应用价值。比如,作为一种可控核聚变的燃料,氘-3核聚变产生的能量是开采所需能量的250倍,是铀-235核裂变反应(目前主流核电发电原理)的12.5倍。100吨氘-3核聚变产生的能量即可供应全球使用1年,且氘-3核聚变过程无中子二次辐射危险,更加清洁和可控。此外,氘-3是获得极低温环境的关键制冷剂,是超导、量子计算、拓扑绝缘体等前沿研究领域的必需物质。

可惜的是,地球上的氘-3十分稀缺。自然界中存在的氘-3占地球上所有氘的千万分之一。即使把地球大气中的氘-3全部分离出来,也只有4000吨。实际上,目前人们使用的几乎所有氘-3都是通过人工制造氘并使其衰变来产生的。

而在月球上的情况却大不相同。整个月面都覆盖着一层由岩石碎屑、粉末、角砾、撞击熔融玻璃等构成的成分复杂、结构松散的混合物——月壤。

不同于有大气、水和植物的地球,月球土壤(即月壤,也叫风化层)的物理特性几乎完全是由撞击塑造的:大块的基岩在小天体的撞击之下被不断打碎、混合、翻动,最终在月球表面形成了这层细腻的沙土层。撞击坑会被侵蚀抹去,但撞击打碎的月壤不会消失。表面越古老的区域,经历的撞击就越多,因此月壤层也就越厚。

同时月球上没有大气圈和磁场的保护,含有氢、氦、氩、氖等稀有气体离子的太阳风可以长驱直入,源源不断地直接射到月面,使月壤中含有丰富的氘-3。据估计,太阳风已经向月球表面沉积了100万吨~500万吨氘-3。

月壤除了能为未来的人类提供清洁能源外,月壤里面的矿物、岩石、碎屑、玻璃、角砾等,都记录了很多重要信息,包括月球形成演化的年代,月球火山活动的记录,月球的月壳、月幔的物质组成特征,月球的磁场、月球的太空风化作用,还有陨石撞击的历史和月球的资源等,为我们的月球研究提供了直接数据。

## “土特产”有大作用

从美国的阿波罗11号到苏联的月球16号再到我国的嫦娥五号,人类已经成功完成了10次月球采样。其中美国通过载人登月采集了381.71kg的月球样品,占其中的绝大部分。1978年,美国赠送给我国1g月球样品。我国科研工作者将样品一分为二,一半用于公众展览,一半用于科学研究。仅靠着0.5g样品,中国科学家写出了14篇论文,开启了中国的月球研究。而现在我国的探月工程“绕、落、回”三步走圆满收官。嫦娥五号带回的1.731kg的“土特产”让科学家们喜出望外。

在嫦娥五号之前,美国和苏联采样集中在正面的低纬度地区(<30),只有嫦娥五号采样点在中纬度地区。这个采样地点位于月球最大的月海——风暴洋的东北部,这里以前从未有人踏足,与以往别国任务的采样点相距甚远。而同位素定年结果更是表明,该区域月壤样品的年龄约为20亿年,是目前获得的最年轻的月壤样品。于是,中国科学家有了不少新发现。

新发现的月球矿物“嫦娥石”,由中核集团核工业北京地质研究院发现,通过对它形成条件的研究,可以倒推月球演化过程,对认识月球起源与演化意义重大。此外,“嫦娥石”所含的高含量稀土是否具有开发价值,也值得进一步研究。

不仅是“嫦娥石”,研究人员还首次成功获得嫦娥五号月壤样品中氘-3的含量和提取参数。对嫦娥五号月壤样品中氘-3含量及最佳提取参数的测定,将为中国后续对月球氘-3资源的遥感预测、总量估算、未来开发和经济评价提供基础科学数据。

我国研究团队在详细分析嫦娥五号月壤样品中的元素和矿物结构后发现,月壤中的一些活性化合物具有良好的催化性能。在此基础上,研究团队还进一步提出了利用月壤实现地外人工光合成的策略与步骤。这一发现让科学家认为,如果将月壤提取成分作为月球上的人工光合成催化剂,未来也许只需要月球上的太阳能、水和月壤,便能产生氧气和碳氢化合物,实现低能耗和高效能量转换,为建立适应月球极端环境的原位资源利用系统提供潜在方案。

更有趣的是,中国科学院地球化学研究所的唐红、李雄耀团队发表的相关研究结果证实,嫦娥五号月壤样品矿物表层中存在大量的太阳风成因水,为月球有水再添“实锤”。太阳风中带有带正电的氢离子,当其不断轰击月球表面时,其中的氢离子会与月表物质中的氧原子结合,从而在整个月球表面生成羟基或水分子。一部分的太阳风成因水会在太阳的照射下“蒸发”,还有一部分则会迁移并沉降到温度极低的两极永久阴影区,经过漫长的地质活动后形成大量水冰。

今年上半年,嫦娥六号将执行月球背面采样任务,登陆点是南极艾特肯盆地。这里也是我国月球基地备选地之一。让我们一起期待本次任务带回更多月球“土特产”。

(本文作者系海口市天文爱好者协会会长)



拼版图上图为2022年6月拍摄的“超级月亮”,下图为2023年4月拍摄的月壤颗粒正交偏光显微照片。新华社发



研究人员在称量月壤。新华社发