

中国揭秘月球之水如何“天上”来

1吨月壤有望制备至少51千克水！中国科学家团队日前在《创新》(TheInnovation) 期刊上发表了题为“月球钛铁矿与内源性氢反应产生大量水”的研究论文,介绍了使用月壤制水的全新方法,并提出具有可行性的月球水资源原位开采策略。

研究人员认为,这一成果将为未来月球科研站与空间站的建设提供设计依据。各国探月科学家为何都将水作为研究重点? 月球寻水究竟难在哪里? 制水技术的突破将给未来的深空探测带来什么帮助?

“满屏气泡”启发月壤制水新方法

2024年8月22日,中国科学院宁波材料技术与工程研究所非晶合金磁电功能特性研究团队联合中国科学院物理研究所、航天五院钱学森实验室、松山湖材料实验室和南京大学等科研团队公布了一项研究成果,介绍了一种新的月壤制水方法。

说起来,这个发现还有些戏剧性,月壤制水的新方法是科学家在研究嫦娥五号月壤样品时发现的。据中国科学院宁波材料技术与工程研究所的陈霄博士介绍,当时加热月壤中的钛铁矿原本是想看到氢的释放,结果没有看到氢的释放,却看到了满屏气泡的生成。随后,经过电子能量损失谱验证,这些气泡的成分正是水蒸气。

钛铁矿是月壤中的常见矿物,它与斜长石、辉石、橄榄石等其他3种矿物占了月亮晶体物质的98%以上,这一特征也是判断“月壤”或“月球陨石”真伪的重要依据。每份钛铁矿由1份铁、1份钛和3份氧组成,如果在高温下遇到两份氢,就会发生氧化还原反应,氧把铁丢到一边,转而和氢结合成水,反应的最终产物是二氧化钛、水与单质铁。实验中,月壤在1000℃的高温下熔化,水以水蒸气的形式释放了出来,这就是研究人员意外看到的“满屏气泡”。

既然反应的关键是钛铁矿遇到氢,那么月壤中的氢来自何方呢? 科学家研究月壤钛铁矿的原子结构发现,与地球上的钛铁矿相比,月壤钛铁矿的原子间距明显较大。计算模拟结果表明,月壤钛铁矿中存在纳米微小孔道,可以吸附并储存大量来自太阳风的氢原子。每个钛铁矿分子可以吸附4个氢原子,如此一来,有氧有氢,便有望成就月球上的“小水库”。反观地球上的钛铁矿,则不会嵌入这么多氢,因为地球磁场和大气的保护作用,太阳风根本到达不了地面。

研究人员还进一步对比了不同月球矿物中的含氢量,结果发现钛铁矿含氢量最高,其次是斜长石和月壤玻璃。钛铁矿的含氢量大约是斜长石的



中国科学家发现月壤制水新方法。

3.5倍、月壤玻璃的10倍。电子显微镜下的加热实验表明,和月壤钛铁矿同步生成的大量单质铁和水蒸气气泡不同,其他含铁月壤矿物只产生了少量单质铁和气泡,而地球上的同种矿物根本不会生成单质铁和气泡。这进一步证实了太阳风注入月壤矿物中的氢是产生水的关键。

那么,使用这一方法,究竟能够制备多少水呢? 实验室数据显示,在1000℃的高温下,1克月壤可以产生51毫克到76毫克的水。如果有相同成分的1吨月壤,就能用它制备至少51千克的水,可以装进100多个常见的500毫升饮料瓶,足够一个人喝一个多月。

月球原位取水为何很重要

综上,想要在月球上制水,其反应所需的氢可以从月壤中获得,这也是中国科学家团队的论文标题“月球钛铁矿与内源性氢反应产生大量水”中“内源性”的由来。因为这意味着所有的原材料都能在月球上找到,而不需要花费巨大代价从地球上运送过去。

为什么月壤制水的新发现令人欢欣鼓舞呢? 这和人类的长期月球计划分不开。在人类进行月面驻留与科学活动的过程中,水、氧等生存物资是最基础的物质需求,也是开展月面科学实验与活动的必要条件。生存物资完全依靠地球补给的技术手段难以满足长期驻月任务需求,所以必须另辟蹊径——利用月球资源原位获取生存物

资。

月球探测作为深空探测任务的前沿,已成为主要航天大国的首要目标,在月面建立永久居住和科研的设施、开展长期月面驻留和科学活动被视作远期目标。作为月面最重要的生存物资和原位科研生产的基础原材料,月球的水资源会逐渐成为月球建站及长期驻留的必备战略资源,同时也将是各国月球任务的主要目标。

简言之,月球水资源的原位获取技术不仅可直接作为月球基地建设与长期运行的必备技术,还有助于未来火星资源开发利用及载人火星探测等重大任务的完成。

“加氢还原制水”渐成主流可行方案

在这次中国科学家发现新的月壤制水方法之前,关于月球的水研究已在世界范围内开展多年,也取得了一些不俗的成果。目前,科学界对于月球原位取水主要形成了两种思路:一是找到现成水分子,就地提取,水分子可以是冰的形式,也可以是含水矿物的形式;二是通过化学方式,设法使氢和月壤中的氧化物反应,制造出水。

在寻找冰或水合矿物的方向上,一些国家将目光投向月球两极,那里存在较大面积的永久阴影区,恒久的严寒能够把丰富的水分子以冰的形式束缚在月壤中。1998年,美国航天局发射了月球勘探者号,它携带的中子光谱仪在月球极区探测到大量氢富集

的数据,只是无法确定是冰还是矿物中的结晶水或羟基(氢氧基);2008年,印度发射的月船1号搭载的月球矿物绘图仪在月球两极发现了羟基或矿物水,到了2018年,研究人员又利用其光谱历史数据,最终确认极区的永久阴影区内存在冰资源;2009年,美国航天局发射的月球环形山观测与遥感卫星撞击了月球南极凯布斯环形山的永久阴影区,一同前往的月球勘测轨道飞行器在近红外波段观测到水的吸收光谱,在紫外波段观测到羟基的发射谱线。

月球的冰资源主要集中在极区,难以在全月面广泛开采。所以,通过化学反应制造水,特别是钛铁矿的加氢还原制水,逐渐成为最具可行性和通用性的月面原位水补给方案。几十年来,美国航天局和欧洲空间局均进行过研究尝试,分别对钛铁矿、辉石、橄榄石样品、模拟月壤、玻璃质样品和月壤样品加氢还原制水,再从生成的水电解制氧。不过,这些方案中所用的氢均是外源性的,依然需要从地球运输。而我国科研团队此次的新发现表明,氢本身就存在于月壤内部,即可以利用“内源性”氢,因此这一研究成果属极具革命性的重大突破。

月球水资源开采已提上日程

如今,基于已有的月球水资源勘探和制备研究,世界各国科研机构提出了月球水资源原位获取的多种实施方案。无论是提取现成的水分子还是化学合成,都需要高温热源。月面具有丰富的太阳能资源,各种方案均采用了凹面镜或非涅尔透镜汇聚太阳光的方式,来实现这一热源。在机械设备上,还有密闭帐篷、传送带式、钻杆式、旋耕式等多种月壤采集方案。

未来,月球科研站的选址纬度会成为选择采水技术的主要依据。比如,在纬度较高的月球两极地区,永久阴影区分布较广,冰资源相对丰富,可优先发展冰资源提取的技术手段。在难以找到永久阴影区的中低纬度地区,阳光和太阳风更为强烈,则更适合发展月壤氢还原制水技术,以解决月面长期驻留的水资源补给需求。

月壤的原位开采、运输和矿物富集是月面原位水资源获取规模化应用的重要基础。而极区含冰月壤的高效钻取及运输,还有待进一步探索高效的技术方法和充分实验。此外,钛铁矿作为月壤氢还原制水的主要原材料,其采矿分选技术难题尚需突破。

对于新发现的月壤钛铁矿原位制水法,甚或稍显过时的钛铁矿及外源性氢制水法,科学家期待能早日设计出验证性样机,并参与后续某期嫦娥探月任务甚至载人登月任务,以完成实地确认。至于利用月球冰资源制水的工作,目前的嫦娥七号探测器也已立项推进冰资源勘探与原位提取利用的实施方案。该探测器计划前往月球南极,在永久阴影区开展冰资源钻探科研活动。

总之,在月球上原位提取或制备水不仅可以满足人类在月球上的长期生活需求,还能为深空探测任务提供巨大的便利。尽管目前还存在着诸多技术和成本方面的挑战,但通过科学家的不懈努力与密切的国际合作,相信种种困难都会有解决之法,并将不断取得新的突破。

据北京日报



嫦娥五号月壤样品。



月球科研基地创意图。