

视觉中国供图

# 月球“找水”又有新发现 满月前后，地球风或帮月球“补水”

◎王慧姿

月球是距离地球最近的天体。长久以来，月球都被认为是人类最可能实现星际移民的理想地点。虽然早在20世纪60年代，人类就已踏上月球表面，但若想实现月球移民，甚至建立月球基地，还有一个十分重要的资源问题需要解决——水。

月球上是否存在水？1961年，美国科学家肯尼思·沃森等人率先提出了月球可能存在水

冰的设想。几十年来，科学家一直在寻找月球水存在的证据及其可能的来源途径。近日，一篇发表在《科学报告》的研究文章指出，从地球上层大气逃逸的氢和氧离子，或在月球上结合，成为月球上已知水冰的可能来源之一。

目前，月球水已然成为国内外行星科学领域的研究热点。月球水既具有重要的科学意义，也蕴含着潜在的应用价值，对其展开研究不仅有助于理解月球演化历史，更有助于未来月球科研站、月球基地等的建设，为动植物生存、火箭燃料等提供关键资源。

## 巨大的温差让月表没有液态水

与地球不同的是，月球本身没有全球性磁场，也没有浓密大气的保护，其表面直接暴露在极端温度和恶劣的太空真空环境之中。此外，月球表面的平均温度可以从白天的约100摄氏度，下降到夜晚的零下150摄氏度左右，如此大的温差使得液态水无法稳定存在。因此，此前人们普遍认为月球如同沙漠一般干燥无水。

但随着观测研究的深入，科学家发现月球极区有些撞击坑底部的永久阴影区，终年不受太阳光照射，温度极低，在真空条件下，水冰可能稳定存在。

20世纪90年代，科学家发现“克莱门汀”号探测器上雷达在月球南极永久阴影区的回波存在异常；“NASA”月球勘探者号探测器上的中子谱仪显示月球永久阴影区有大量的氢。

昏暗无光的永久阴影区，聚集了寻找月球水的眼光。科学家希望能够在月球永久阴影区找到月球水存在的证据。

2010年，美国的卫星撞击月球的永久阴影区，在溅射的尘埃中发现了大量的水冰，证实了月球水的存在。2020年，美国国家航空航天局(NASA)首次通过望远镜观测证实月球表面存在水；2022年1月，我国嫦娥五号月球着陆器首次获得月表原位探测数据，月球存在水从此有了“现场证据”。

如今，科学家已经通过月球遥感探测、返回月球样品分析以及撞击实验等多种研究手段，发现了月球水主要以3种形式存在：两极永久阴影区的水冰、部分区域来自月球内部的岩浆成因水以及以羟基或水分子形式遍布月球的月表水。

## 月球水有内外两种可能来源

虽然已有种种“实锤”表明了月球水的存在，但这些水究竟是怎么来的，目前还没有一个定论。科学家认为，月球水有两种可能的来源，即来自月球内部和外部。具体而言，月球水可能来自月球内部的岩浆，或来自外部太阳风轰击、彗星、流星体和微流星体的撞击等。

关于月球岩浆水，此前科学家在分析阿波罗月球样本时就曾发现岩浆水，但当时科学家一直以为是样本受到了地球“污染”。2013年8月，美国约翰斯·霍普金斯大学的研究人员利用印度“月船一号”探测器上携带的月球矿物绘图仪，对位于月球赤道附近的布利奥陨坑进行成像分析，发现布利奥陨坑中心峰含大量羟基。研究人员认为这是布利奥陨坑含有月

球深部岩浆水的直接证据，表明月球在形成之初就有可能存在水。

2011年，科学家对阿波罗飞船带回的月球表面岩石标本进行了分析。他们重点测量了标本中一类名为磷灰石的矿物所含的氢同位素组成比例，结果发现其组成比例与3个已知彗星中的氢同位素组成比例接近。由此研究人员认为，彗星是月球上水的主要来源之一。

不过，月球的红外光谱数据表明整个月球的表面都存在水，并且月球在早晨和晚上温度较低时含水量较高，在中午温度较高时含水量较低。而月球内部岩浆水，以及来源于彗星和流星体的水，在月球表面分布较为分散，并不能完全解释整个月球表面都存在水以及水的

# 嫦娥五号重要研究成果发布 月壤样品中存在来自月球内部的原生水

6月15日，国际科学期刊《自然·通讯》在线发布了我国嫦娥五号的一项重要研究成果，中国科学院国家天文台研究员李春来、刘建军和上海技术物理研究所研究员舒嵘领导的研究团队、地球化学研究所等单位合作，在国际上首次将月球样品的实验室分析结果和月表原位探测的光谱数据相结合，检验了月球样品中水的有无、形式以及含量多少，回答了嫦娥五号着陆区水的分布特征和来源问题，为遥感探测数据中水的信号解译和估算提供了地面真值。

## 精心设计避免探测数据受到影响

月球有没有水、有多少水、水是什么形式的、又来自哪里，这些问题一直存在着很大的争议，同时也一直是月球科学研究的热点。在嫦娥五号任务立项论证之初，研究团队就提出将着陆器上的月球矿物光谱分析仪光谱范围拓展到3.2微米，并实现了国际上首次月表水

光谱吸收特征的就位探测(即原位探测)。

为了避免发动机羽流和太阳风轰击月表时产生的动态“水”(羟基)就给位光谱分析带来影响，研究团队对获取就位探测光谱数据的时机进行了精心设计：探测时机选择在着陆6小时后，以避免嫦娥五号探测器着陆时发动机羽流的影响；探测时间选择在月面温度最高(约62—87摄氏度)的正午，这是因为正午月球温度最高，最大限度地发挥了月表的动态“水”；光谱测量时月球(着陆区)正处于地球磁场的保护中，屏蔽了太阳风，避免了太阳风轰击产生动态“水”(羟基)的影响因素。

在这种环境下，嫦娥五号光谱仪能够获得“干净”的“水”吸收光谱，经过严格的校正处理和数据分析，研究团队发现嫦娥五号着陆区月壤中明显含有羟基形式的“水”，但平均含量较低，浓度仅为约30ppm(百万分之一)。

## 水在月球晚期岩浆活动中起到重要作用

月球样品返回地球后，研究团队在实验室

通过比较进入磁层之前、期间和之后月表水含量的变化，山东大学空间科学研究院的研究团队证实了地球风(主要是来自地球大气层的氧、氮、氢等离子)可以补充月表蒸发的水。因此，除了太阳风，地球风同样可以与月球表面物质相互作用而生成水。

日间变化特征等。

所以，目前的主流理论认为，来自太阳的太阳风包含着带正电的氢离子，它们持续轰击月球表面，与月表物质中的氧原子结合，生成了分布在全月球的羟基或水分子。这一理论能够很好地解释已被观测证实的月球水日间变化等现象，同时也得到了阿波罗月球样品氢

## 地球风也是月表水的成因之一

不过，月球并不总是“沐浴”在太阳风中，每月还有3—5天位于地球磁尾中。满月前后2—3天内，月球位于地球磁层内，届时太阳不再轰击月表生成水，先前由太阳风产生并蕴藏于月表的水，在太阳光照的加热下会大量“蒸发”。所以，理论上月表的水应该相应地有所减少。

然而出乎意料的是，山东大学空间科学研究院的研究团队在分析“月船一号”探测器获得的数据时发现，月球位于地球磁层内时，月球表面的水却并未显著减少。通过比较进入磁层之前、期间和之后月表水含量的变化，研究团队证实了地球风(主要是来自地球大气层的氧、氮、氢等离子)可以补充月表蒸发的水。因此，除了太阳风，地球风同样可以与月球表面物质相互作用而生成水。

此前，北京大学地球与空间科学学院教授宗秋刚发现地球磁层中有氧离子向月球方向运动；在此次最新研究中，研究人员从重力异常的角度分析，地球风轰击月球表面形成的水，可能通过各种地质过程储存在月球两极。

为何科学家如此“执着”追寻月球水的来源？要知道，水在类地行星的地质演化中，具有举足轻重的作用。探明月球水的来源，或能帮助科学家揭示月球的身世之谜。

对嫦娥五号月球样品的实验室分析证明了嫦娥五号月壤样品中存在来自岩浆结晶过程的“水”，说明“水”在月球晚期岩浆活动过程中不仅存在，而且可能起到了非常重要的作用。

对返回月球样品进行了系统分析，实验室光谱分析再次验证了羟基水的存在，但对“水”的存在形式、含量和来源等方面的研究，则需要详细的矿物岩石学分析。

此前，在对阿波罗月球样品研究后，研

究人员认为月壤中(撞击)胶结玻璃包含了太阳风长期注入形成的羟基物质，胶结玻璃的含量是影响月球样品中“水”含量的重要因素。

我国返回样品的实验室分析表明，嫦娥五号月球样品是一类年轻玄武岩，胶结玻璃含量很少(不足16%)，仅为阿波罗11号月球样品的1/3，由此估算嫦娥五号月壤样品中来自太阳风注入胶结玻璃形成的“水”不多于18ppm。

同时，嫦娥五号着陆区月壤样品中外来撞击溅射物含量也非常低，对月壤样品中“水”的贡献基本可以忽略不计。因此，嫦娥五号月壤样品中肯定存在来源于月球内部的原生水。

对嫦娥五号月球样品的实验室分析，发现了至少一种含水矿物——羟基磷灰石，其含量不均匀，折合样品羟基水的含量从0ppm到179ppm不等(平均约17ppm)，证明了嫦娥五号月壤样品中存在来自岩浆结晶过程的“水”，说明“水”在月球晚期岩浆活动过程中不仅存在，而且可能起到了非常重要的作用。

(据中国科学院国家天文台官网)

## 天闻频道

## 多国科学家合作

## 黑洞X射线双星研究获新进展

科技日报讯(记者赵汉斌 通讯员陈艳)黑洞X射线双星是研究黑洞的吸积物理过程和辐射机制的重要天体。近期，一个由中国科学院云南天文台领衔的中外合作团队，通过分析一个黑洞X射线双星系统在12年长期爆发期间的多波段观测数据，研究了其系统中的紫外及光学辐射机制。研究人员发现，在其爆发过程中，紫外及光学辐射可能是由其外吸积盘的粘滞加热过程主导。相关研究成果发表在《英国皇家天文学会月刊》上。

黑洞X射线双星是由黑洞和伴星组成的双星系统，黑洞通过引力吸积伴星物质，在其周围形成吸积盘、冕和喷流等辐射结构，产生从射电至X射线的宽波段辐射，并表现出不同的爆发状态，根据它们的X射线辐射谱特性，科学家将其分为硬态、中间态和软态。

一般认为，黑洞X射线双星中射电辐射来自喷流，X射线辐射来自冕区。因为紫外及光学波段处于各种辐射机制的交集处，所以相对于射电波段和X射线波段的辐射，人们对黑洞X射线双星中的紫外及光学波段辐射起源的了解较少。黑洞X射线双星中的紫外及光学辐射与X射线辐射普遍存在幂律相关性，而幂律指数数值的大小可以用来表征不同的辐射起源。

黑洞X射线双星Swift J1753.5-0127是一颗典型的硬态爆发源，并在12年间长期爆发。中国科学院云南天文台的硕士研究生杨鹏程、研究员张国宝和研究员王建成等人，联合湘潭大学吕铭教授、美国纽约大学拉塞尔和盖尔芬德教授、荷兰格罗宁根大学门德斯教授等，利用“雨燕”卫星的观测数据，研究了该双星系统此番长期爆发过程中多波段辐射的相关性，发现其紫外及光学辐射与X射线辐射具有显著的幂律相关性，并且当观测波长从光学到紫外波段减小时，其与X射线波段的幂律指数逐渐增大，与粘滞加热盘模型的理论预期一致，表明紫外及光学辐射可能是由外吸积盘中的粘滞加热过程主导。

## “七星连珠”亮相天幕剧场

## 月亮牵手群星上演“星空大戏”

新华社讯(记者张漫宇)天文科普专家介绍，6月16日过后的十余天内，每天日出前，金星、天王星、火星、木星、海王星、土星将与露出真容的水星，自东向西“连珠成串”，上演“七星同现天空”的罕见奇观。18、19日起，月亮也将加入“七星连珠”的朋友圈，在夏至后的一周内，牵手火星、天王星、金星和水星，演绎多幕“星月同框”的浪漫。

“七星同现天空，这是今年呼声最高的‘群星大戏’，绝对值得一看。”天文摄影师叶梓颐说，更为罕见的是，七颗行星将排成一串“糖葫芦”的形状。

北京天文馆首席科普专家寇文介绍，6月16日水星西大距后十几天的黎明时分，水星、金星、天王星、火星、木星、海王星、土星这七颗行星依次排开，分布在约100度的范围内，汇聚于天空。

一般而言，七颗行星散落于天幕，千姿百态。这几天，为何会出现“连珠成串”的罕见奇观？

叶梓颐解释，八大行星公转轨道基本处于同一平面，同时，由于行星公转周期各不相同，所以有机会走到几乎同一方向的位置。“这就好比不同速度的人在操场上跑步，总有机会在一定角度看到他们排成一排。”

天文科普专家介绍，能够同时看到七颗行星亮相天幕，已非常少见。七颗行星依次排开“连珠成串”的景象就更为少见。但此次“七星同现”还不能算是严格的“七星连珠”。

寇文说，“七星连珠”一般是指七颗行星近距离排成一排。这只是一个形象的说法，不是天文学的专有名词。此次七颗行星的分布范围在100度上下，且距离尚远，因此很难称为“连珠”。

6月23日1时以后，微发红色的火星将出现在一轮残月身旁。当晚火星的亮度为0.5等，“火星合月”的美丽，仅凭肉眼就能看到。

寇文说，七星同现天空时，金星、木星、火星、土星的观测相对容易，肉眼即可看到。水星虽然也亮，但升起地面时，由于天空已开始发亮，星光隐退，需借助望远镜才能一睹真容。天王星与海王星的观测则更难，需借助观测设备，且具有更高的辨别难度。

然而就在25日，迎来一次“寻找天王星”的良机。这天清晨，“天王星合月”将在天宇上演。“2时以后，天王星将陪伴月亮从东方偏北的天空升起，且逐渐靠近。到6时，两者距离最近，仅约一个月亮的距离。”寇文说，此时借助望远镜可轻松在月亮身旁，找到天王星的身影。

27日凌晨，月亮继续朝太阳方向靠近。这时，金星和水星会一左一右分居月亮两旁，形成金星水星“双星伴月”的天象。

叶梓颐说，23日凌晨，面向东方天空，凭借肉眼就可看到明亮的火星和一轮月亮相依相伴。25日凌晨的天王星合月将出现在东方稍偏北的天空，借助天文望远镜即可观看。



视觉中国供图