

寻找火星远古水世界的潜在生命线索 ——耶泽罗探测记(下)

截至2021年10月8日,毅力号和它携带的“机智号”(Ingenuity)直升机已经在火星表面度过了225个火星日。在登陆火星后的日子里,毅力号表现如何,做了什么,要去往哪里?这篇文章将为你一一揭晓。

► 赵宇鹄

美国火星2020任务“毅力号”(Perseverance)火星车于2021年2月18日着陆火星。截至2021年10月8日,毅力号和它携带的“机智号”(Ingenuity)直升机已经在火星表面度过了225个火星日。

毅力号火星车有什么特别?它与之前的火星车任务有什么不同之处?为什么要着陆在耶泽罗撞击坑?在登陆火星后的日子里,毅力号表现如何,做了什么,要去往哪里?这篇文章(上下两部分)将为你一一揭晓。

火星采样返回——一个漫长的期待

将火星样品送回地球一直是国际火星学界的头号期盼,但碍于技术和成本原因一再推迟。为应对高昂的探测成本,美国宇航局最终与欧空局于2018年签署了联合火星采样返回合作协议,提出了“三步走”采样返回计划概念(图1)。整个计划历经约10年,先后包括三次独立的发射任务。

毅力号火星车是整个计划的第一步。毅力号负责采集样品并将封好的样品管留在地面上。2026年7月第二次发射,将一辆“样品取回火星车”

(ESA研发)和一个搭载有上升火箭的“样品返回着陆器”(NASA研发)降落在毅力号附近。着陆器预计2028年8月着陆火星,新抵达的火星车会把毅力号封装好的样品管收集起来送回上升火箭。如果届时毅力号仍在运行,也将帮助运送样品。2026年9月的另一次发射还将发送一个“样品返回轨道器”(ESA研发)。轨道器搭载着NASA提供的样品捕获装置,可捕获上升火箭送至环火轨道的火星样品罐,并将其转至地球返回舱中。如果一切顺利,返回舱将于2031年9月在美国犹他州着陆。一个题外话是中国的“天问”系列任务也计划于2030年左右从火星表面采集样品,这

将是继“天问一号”之后中国的第二个火星探测任务。

此次NASA/ESA联合火星采样返回任务造价高昂。三次发射的整体造价保守估计约70-80亿美元——这还不包括样品返回后的储存设施建设。对于火星返回的样品,需要在样品的储存和处理过程中执行最严格的行星保护策略——即假设火星样品中真的存在地外生命,并且这些生命对地球生命而言非常危险。为了有效保护地球的生态系统不受潜在的外来生命的侵害,对火星样品的储存和处理等设施的要求非常高。

那以这样高昂的代价去取回火星样品,值得吗?非常值得!火星采样返回将前所未有地推进和深化对火星和



图1 NASA/ESA联合火星采样返回“三步走”概念图。整个采样计划由两辆火星车,一个着陆器和一个轨道器组成(NASA/ESA/JPL-Caltech)

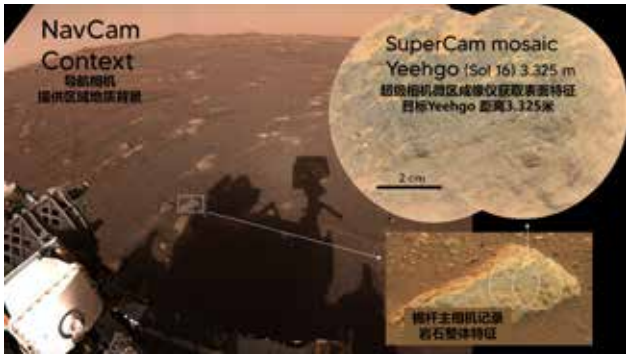


图4 毅力号调试阶段测量的第二块岩石目标 Yeehgo (图中展示了导航相机、桅杆主相机和超级相机如何相互配合, 提供同一个岩石目标的全面信息。超级相机之后还获取了岩石组成的光谱数据)

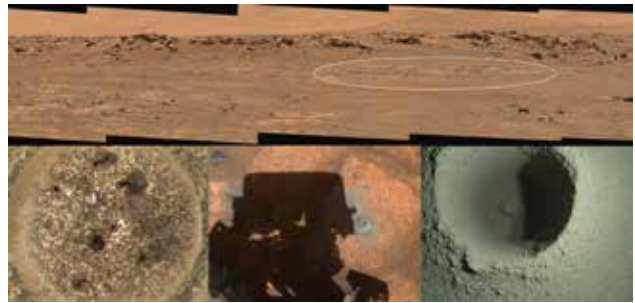


图5 毅力号的第一次采样尝试, 目标样品是位于“撞击坑底破碎粗糙”地质单元的基岩“Roubion”。上: 采样基岩出露区和周边环境; 下左: WASTON 相机拍摄的经打磨工具剥蚀掉表面风化层后的基岩特征; 下中: 第一个采样钻孔和先前打磨过岩石区域的对照; 下右: WASTON 相机拍摄钻孔内部特征(钻孔直径2.7厘米)

完成了机智号直升机的试飞和就位制氧实验, 还传回了 75000 幅影像和麦克风记录的火星表面声音(图4)。6月1日, 毅力号正式进入科学探测阶段。从 Octavia E. Butler 着陆点, 毅力号陆续向南行进了约 1.5 千米, 抵达了一个昵称为“坑底破碎粗糙”(Cratered Floor Fractured Rough)的地质单元(约 4 平方千米范围)。为什么要来这里而不是直接向着着陆点西北的三角洲挺进呢? 因为这里保存着耶泽罗撞击坑中最古老的地质单元(早~中诺亚纪)。这里比邻近的塞塔(Seitah)地质单元(中诺亚纪)更古老, 比三角洲单元(早西方纪)可能老上几亿年。这也将是迄今为止所有巡视任务在火星表面探查过的最古老地质体。如果能够将这些珍贵的古老样品送回地球实验室, 将令整个火星学界欣喜若狂。相邻的塞塔地质单元也值得探查, 这里存在着基岩、山脊、层状岩石和大量沙丘。如果让毅力号穿越这个区域会非常危险, 因此这里主要由机智号从空中探查。

2021年8月, 毅力号进行了首次采样尝试。采样目标是位于“撞

击坑底破碎粗糙”地质单元的基岩“Roubion”(图5)。在采样正式开始之前, 毅力号对采样目标进行全方位的综合测量。这块看起来较亮的岩石表层被打磨工具磨开后, 微区相机记录下岩石表层较红的物质和指示着水作用的内部结构。钻取后的岩石粉末呈现灰色, 指示着还原的环境特征。钻取结束后, 毅力号再次拍摄了钻孔内的情况, 以便为样品分析提供钻取深度等基础数据。但是, 令人意外的是, 样品缓存相机在对样品管拍照时发现管内空空如也, 样品并没有装进管中。采样团队仔细评估了所有传回的数据,

认为取芯器本身没有任何异常, 在取芯器经过的工作区域也没有发现掉落的岩芯或岩芯碎片; 通过对钻孔内的图像分析, 采样团队认为应该是岩石本身不够坚固, 钻样过程中仅产生了岩石粉末和小碎片, 没有产生岩芯。虽然这次采样遇到了意想不到的情况, 但采样团队毫不气馁, 决定继续前往南塞塔区域, 开展第二次采样尝试。此外, 虽然没有采集到岩芯样品, 但封装在样品管中实际装入了火星大气。火星大气样品也是珍贵的火星样品, 一旦返回地球, 它将帮助科学家们深入理解火星的大气变化和气候演化。

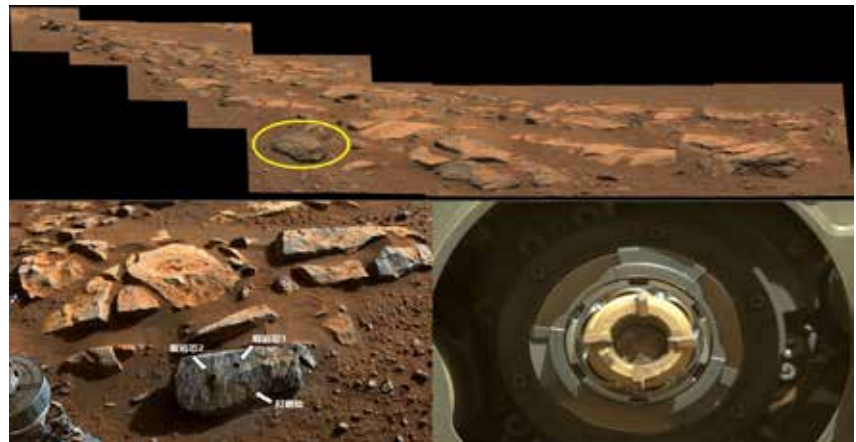


图6 毅力号第二次采样目标——昵称为“罗切特”的火山岩块(上图中黄圈圈出了“罗切特”; 左下图可见机械臂对“罗切特”打磨和钻取岩芯后留下的痕迹; 右下图可见岩芯进入了样品管中)

8月26日左右,毅力号在“Artuby”山脊附近的Citadelle区域物色到了第二个采样目标——一块昵称为“罗切特”(Rochette)的岩块。和上一次采样目标不同,这块岩石看起来棱角分明,表面有风沙留下的擦痕,说明这块岩石足够坚硬(图6)。当磨去“罗切特”表层仔细观察,可以初步判断这是一块玄武质的火山岩。这块岩石的表面曾经与水相互作用,岩石内部可见水蒸发后留下的少量硫酸盐(图7)。

在判定这块岩石足够坚硬之后,采样团队在这块岩石上采集了一对岩芯(“Montdenier”和“Montagnac”)。“罗切特”属于耶泽罗撞击坑中较为年轻的玄武岩,通过准确定年,可以帮助科学家们重建耶泽罗的地质历史时间线,特别是耶泽罗撞击坑的形成、古湖的出现和消失以及过去火星表面的气候变化等等。盐颗粒中还可能捕

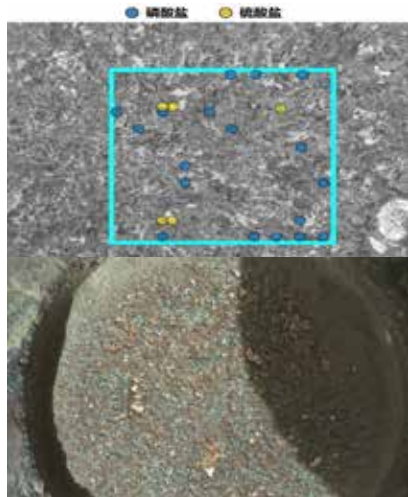


图7“罗切特”表面被打磨后露出了内部微区特征(左图为WASTSON相机拍摄的八张微区影像合成图,显示了打磨面的整体特征(直径5厘米);右图为SHERLOC对打磨面局部区域进行物质成分分析,蓝框约为6.5平方毫米;图上蓝点为磷酸盐,黄点为硫酸盐)



图8 毅力号火星车第210个火星日已抵达南塞塔区域



图9 毅力号第一次科学活动路线示意图(黄色和白色虚线)。毅力号目前已经位于塞塔南区域。在完成考察和采样之后,毅力号将重新向北返回着陆点,再向西前往“三岔口”

获得了古代火星水或保存有古代生命的迹象,可能为火星古代气候和宜居性提供重要线索。

携带着两个火山岩芯,毅力号继续前往下一个潜在的采样区“南塞塔”(图8)。南塞塔的地质年龄比Citadelle区域更加古老。10月初,由于日凌(地球和火星运行至太阳两侧且三者近乎处于一条直线上),所有的火星任务都进入了为期几周的休眠期。在这之后,毅力号将继续在南塞塔区域开展探测。

一旦完成对这两个古老地质单元的考察,毅力号将重新返回最初的着陆点,并从那里向西北的内雷特瓦(Neretva)三角洲挺进(图9)。“三

岔口”是毅力号第二次科学活动的起始点,从那里毅力号可以到达古三角洲底部,并沿着山谷向三角洲的上层爬升,直到穿过三角洲区域进入内雷特瓦河谷。这将是人类首次对火星的三角洲和古河道开展就位探测。如果状态良好,毅力号还有机会向着耶泽罗的坑缘前进,在这里可以探访到耶泽罗撞击坑最初形成时的物质。如果毅力号可以走出耶泽罗撞击坑,它还将有望进入更广阔的尼利高地,继续探访这片古老高地。■

(作者系中国科学院地球化学研究所月球与行星科学研究中心研究员)

(责编:倪伟波)