

寻找火星远古水世界的潜在生命线索——耶泽罗探测记(上)

截至2021年8月18日,毅力号和它携带的“机智号”直升机已经在火星表面度过了176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8月18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176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(Jezero Crater)?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。

毅力号——会采样的机器人版火星地质学家

毫无疑问,火星2020任务的毅力号火星车是截至目前美国送往火星最先进、最复杂的无人探测器。

毅力号重1025千克,大小类似于一辆家用SUV。毅力号沿用了好奇号火星车的设计,所以毅力号看上去整体与好奇号相似,但也做了一系列的升级改良。例如,毅力号的相机增至23台,可以从车身的不同位置以不同分辨率拍摄图像,更

好地协助毅力号感知环境。

汲取了好奇号车轮出现严重破损的经验,毅力号改良了车轮设计,一方面把车轮变得更厚实、更耐用,另一方面在车轮上采用了温和波纹设计的弧形钛辐条,比好奇号车轮上的V型弯折能更好地减少车轮破损。毅力号沿用了核能电源,使用寿命长达14年,使毅力号可以在夜间、沙尘暴或冬季这样的火星极端环境下保持良好工作状态。毅力号还首次配置了两个麦克风用于记录火星环境里的声音。

毅力号携带了七项科学仪器和实验(图1),主要包括(1)用于环境感知与成像的桅杆主相机(Mastcam-Z),

可以像双筒望远镜一样变焦并拍摄全景和立体图像;(2)用于岩石化学组成分析的X射线岩石化学行星仪(PIXL),可以对毫米级的目标进行元素分布分析;(3)用于微区物质成分远程分析的超级相机(SuperCam),可以从几米远的距离对亚毫米级的岩石或土壤等目标进行成像、化学成分和矿物学分析;(4)用于亚毫米级有机物成像和分析的拉曼荧光光谱仪(SHERLOC),并搭配了可以在精细尺度(约10微米)成像的相机(WASTON),组成了“夏洛克”与“华生”一对好搭档;(5)用于次表层结构分析的探地雷达成像

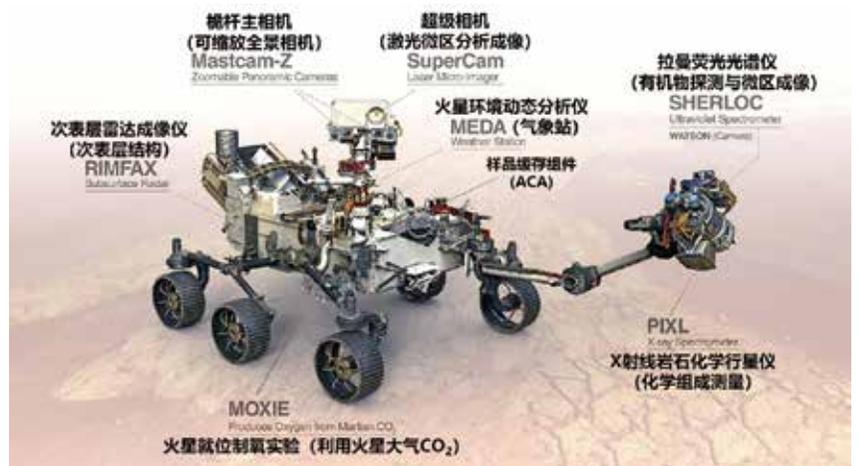


图1 毅力号携带的科学探测仪器和实验(NASA/JPL)

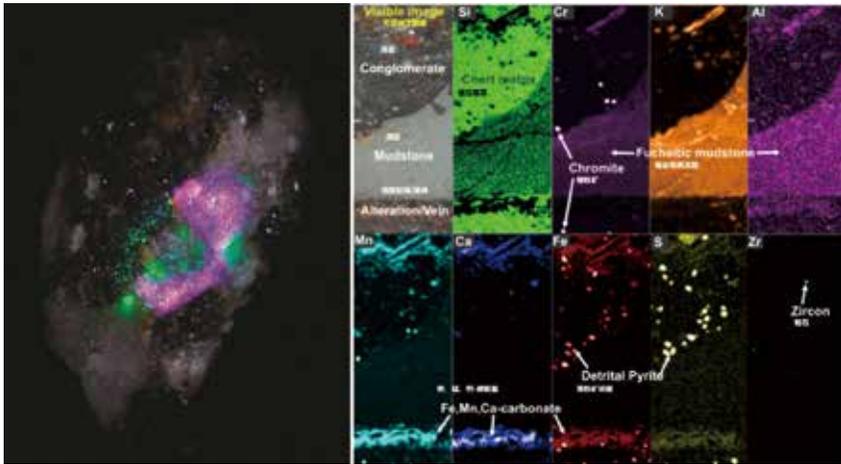


图2 地球实验室测试毅力号搭载的成分仪器对岩石样品的微区扫描。(左) SHERLOC 可识别一个岩石样品中不同的矿物(不同颜色显示);(右) PIXL 在一块地球的古太古宙蚀变砾岩(视域长2厘米,宽1厘米),识别出不同的矿物及其中的元素组成(NASA/JPL)

仪(RIMFAX),可以对地下约10米深度内的结构层、埋藏的岩石、冰或盐水等进行成像分析;(6)用于火星环境动态分析的气象站(MEDA),可测量温度、风速、风向、压力、相对湿度、辐射以及尘埃颗粒大小和形状;(7)火星氧气就位制取实验(MOXIE),尝试从火星的稀薄大气(仅有地球大气1%大气压)中提取二氧化碳制取氧气。

毅力号的最重要使命是寻找生命痕迹和采集最优的岩石土壤样品,等待后续的任务去返回地球。为此,毅力号在科学装备上也做了重要升级。

从好奇号和之前的任务中,科学家们逐渐意识到,要寻找火星有机物,必须去掉表面的氧化层(即钻取岩石表面以下部分),要采用不会破坏有机物的分析方法(利用光谱手段原位分析),要能分析毫米甚至微米精细尺度下的有机物和化学成分信息(选用具有微区扫描、

成像和分析能力的仪器)。这就不难理解为什么毅力号在物质组成分析的科学仪器几乎全部采用了无损的光谱分析方法,并配套了微区分析或扫描成像功能(图2)。

另外,毅力号没有像好奇号一样携带质谱仪。因为这次考察的重要样品还有机会被采集和返回地球实验室,所以更多进一步的精细分析(例如同位素分析)就将留给地球实验室里的科学家们来完成了。

毅力号还携带了几项与未来探测有关的技术验证实验。第一个是“机智号”(Ingenuity)直升机(图3)。截至2021年8月18日,“机智号”已经成功完成了12次试飞。“机智号”不但在火星表面寒冷严苛的环境中独自存活了下来,还实现了人类在火星稀薄大气中释放航天器的设想。目前“机智号”已经开始辅助毅力号进行科学探测,通过飞越一些毅力号难以行驶的区域和连续拍照,机智号帮助科学家们更好地确定毅力号的考察目标。

第二个是火星大气就位制氧实验(MOXIE)。通过电化学分解法将火星大气的二氧化碳分解成一氧化碳和氧气。2021年4月20日,MOXIE首次成功从火星大气中制取了5.37克氧气。随着任务的推进,MOXIE还将尝试在不同大气压下,一天中不同时间,甚至尘暴发生时开展制氧实验。如果方案可行,未来美国宇航局可能计划发射一台大小为现有MOXIE 200倍的制氧仪。就位制取的氧气不但可供未来宇航



图3 毅力号携带的机智号直升机示意图(NASA/JPL)



图4 跟随毅力号抵达火星的宇航服测试材料。左图标注了各种材料在宇航服上的用途，色标对应着右图中 SHERLOC 定标版上的材料位置（NASA/JPL）

员任务使用，还可作为火箭燃料和支持样品返回任务等。

第三个实验是对未来宇航服材料的测试（图4）。位于毅力号前端的 SHERLOC 定标板上除了上面一排岩石标本外，还增加了下面一排几种宇航服材料，用于评估火星严苛环境和强烈辐照对宇航服可能造成的影响。

耶泽罗撞击坑——可能存在生命的火星古湖泊

火星表面的面积相当于整个地球的陆地面积。要在这么大的范围里选择去哪里采样返回，实在是太难啦！经过激烈角逐，2018年耶泽罗撞击坑从众多候选着陆点中脱颖而出，成为毅力号任务的探测目标。

那为什么是耶泽罗？

首先，耶泽罗撞击坑及其周边的岩石和沉积物涵盖了古老的火星历史（图5）。耶泽罗位于火星的古老高地（赛伯伊地体；Terra Sabaea）与撞击盆地（伊西底斯平

原；Isidis Planitia）之间。赛伯伊地体存在着距今41~37亿年的古老岩石，而伊西底斯平原也形成于约39亿年前的火星早期，平原里堆积着37~30亿年的堆积物。与耶泽罗

紧邻的尼利沟槽区（Nili Fossae）是火星上著名的碳酸盐和粘土富集区，这些“沟槽”属于地堑系统（一种断裂构造），形状与伊西底斯盆地边缘的弯曲相符，应与形成伊西底斯盆地的撞击事件有关。在耶泽罗西南方向的大塞提斯火山省，距今37~30亿年存在火山熔岩流活动。因此耶泽罗及其周边的地质体跨越了火星诺亚纪和西方纪与水与生命最为相关的地质时期。

其次，耶泽罗撞击坑是一个开放盆地型的古湖泊。耶泽罗撞击坑直径大约45千米，推测距今39~35亿年前这里曾经存在过一个深250米的古湖泊。撞击坑坑壁被三条河谷切割，其中两条是流入河谷（内雷特瓦河谷和萨瓦河谷），向撞击坑里输送水

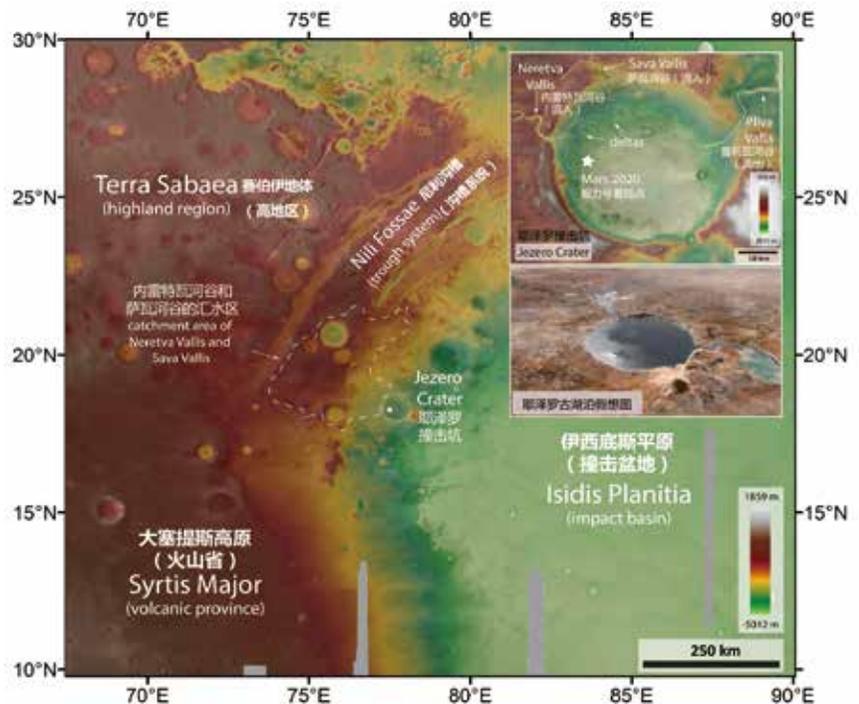


图5 耶泽罗撞击坑所处位置和古湖泊水系的流域特征。从高地（红色和棕色）到伊西底斯平原（绿色），这片150万平方千米的区域高差超过6800米。小插图（上）标注了耶泽罗撞击坑的进水和出水古河道和汇水区，汇水区物质主要来源于尼利沟槽周边。小插图（下）是耶泽罗古湖泊的假想图。（ESA/DLR/FU Berlin, CC BY-SA 3.0 IGO）

和沉积物，并在坑缘的西部和西北部形成了两个河流三角洲。其中内雷特瓦河三角洲更大一些，是毅力号此次任务的主要考察对象。另一条河谷普利瓦河谷则是流出通道。有进有出使得耶泽罗成为一个“开放盆地型古湖泊”，这类古湖泊相比“封闭盆地型古湖泊”（只进不出）更可能拥有稳定水位从而保持淡水湖环境，在孕育生命和保存生物遗迹上更有希望。

另外，耶泽罗撞击坑内的分布着多种“宜居环境指示矿物”，在地球上这些矿物通常与有机物和生命共存，也能够很好的保存生命遗迹。着陆前，科学家们已经通过遥感光谱手段，在三角洲和坑内坑外的其他区域识别出了碳酸盐、粘土、水合硅酸盐等多种矿物类型。有些矿物可能还指示着潜在的蛇纹石化过程，在地球上这类过程也与生命密切相关。这些岩石和矿物不论是由火山活动、水活动还是在撞击事件引起的变化中形成，都将为理解火星早期的历史和演化提供重要的新线索。

但是“古老”也几乎同时预示着“复杂”。

通过遥感手段对撞击坑内的地质

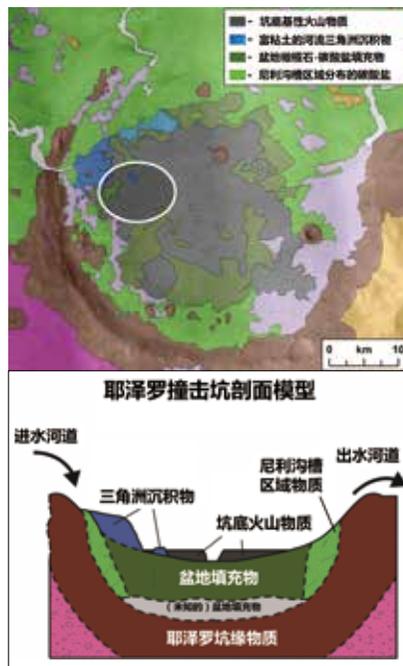


图6 耶泽罗撞击坑的主要地质单元(上)和剖面模型(下)。毅力号火星车有望探测到几乎所有的地质单元(Gough et al., 2015, 2017)

单元、地形地貌和物质组成的研究，可以大致将耶泽罗从底往上划分为几个地质单元(图6): (1)坑缘物质层(耶泽罗撞击坑形成时的外缘); (2)未知的盆地填充物(从遥感上看不到但推测应该存在的物质层); (3)盆地填充物与与尼利沟槽区域类似的物质层(具有不同特征,但推层可能是同时期填充盆地的物质); (4)三角洲

沉积物(河流输送的沉积物); (5)坑底的火山物质(目前来源不明)。

但这仅仅是粗略划分,事实上科学家们对耶泽罗的形成和曾经发生在这里的重要事件还没有清晰认识。撞击坑里的火山物质从何而来,什么时候通过什么方式进入盆地,在之后又发生了什么变化?古湖何时出现又何时消亡,进出盆地的河道何时活动,三角洲用了多长时间形成?盆地沉积物的粘土、含水硅酸盐和碳酸盐中有没有保存生命信息?富含橄榄石-碳酸盐的沉积物到底指示了怎样的火星早期气候和环境?科学家们有太多的模型和假说需要验证,希望都寄托在毅力号的就位探测和采样返回。

虽然目前毅力号距离内雷特瓦三角洲的底部还有一段距离,但火星车已经可以从远处看到三角洲,并且拍摄到三角洲断崖的截面特征(图7)。这远望已经足够令科学家们欣喜不已。那毅力号在着陆后都做了什么,又要去往何处?请见下篇。■

(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)

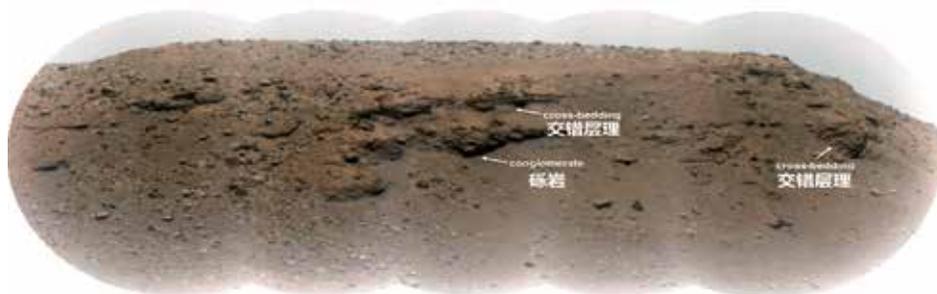


图7 毅力号超级相机配置的远程显微成像仪(RMI)从2.25千米外拍摄到了内雷特瓦三角洲的断崖截面特征。左:由五张RMI图像拼接而成,宽115米的陡崖内出露着砾岩和交错层理。右:毅力号拍摄时所处位置和断崖在三角洲上的位置

