



新闻动态

您现在的位置: 首页 > 新闻动态 > 研究亮点

- ❖ 图片新闻
- ❖ 头条新闻
- ❖ 通知公告
- ❖ 学术活动
- ❖ 综合新闻
- ❖ 科研动态
- ❖ 研究亮点
- ❖ 学术前沿

林红磊等-GRL: 嫦娥四号揭示月壤形成机制中的关键过程

2020-07-10 | 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

在过去的四十几亿年里,小行星撞击产生的粉碎、熔融、粘合和混合等物理过程在很大程度上改变了月球表面。在太空风化的共同作用下,月球表面形成了一层广泛分布、厚约2-15 m的月壤。理解月壤的形成机制具有十分重要的意义:一方面,月壤剖面记录了太阳风和宇宙射线的辐射历史,以及小行星对月面的撞击历史;另一方面,无论是环绕探测、软着陆巡视探测,还是采样返回,所获得的数据和样品几乎全部来自月球表面特别是月壤层。但无论是月球轨道器和月球车的遥感观测,还是阿波罗计划等采样返回,基本上都未能提供与月壤形成相关的直接证据。

2019年1月3日,我国“嫦娥四号”探测器在月球背面的冯·卡门撞击坑成功着陆。着陆后,“玉兔二号”月球车利用搭载的全景相机、探月雷达、导航相机、避障相机和可见-近红外成像光谱仪对着陆区进行了详细探测,发现月球表面有许多小陨石坑,多数被细粒月壤覆盖,石块很少。不过,在任务的前12个月昼里,月球车在行驶路径上还观测到了45个以上随机分布的小坑,它们直径达几米,覆盖有大量碎块(图1)。正常的陨石坑基本上没有石块分布,但这些“碎块”坑与普通陨石坑明显不同,科学家对此非常感兴趣,就指挥月球车对其中一个坑进行了详细探测(图2)。通过对这些探测数据的研究,中科院地质与地球物理研究所地球与行星物理院重点实验室林红磊博士后和林杨挺研究员及合作者们,获得了关于月球表面过程独特而重要的信息,并对月壤的形成过程有了新的认识。

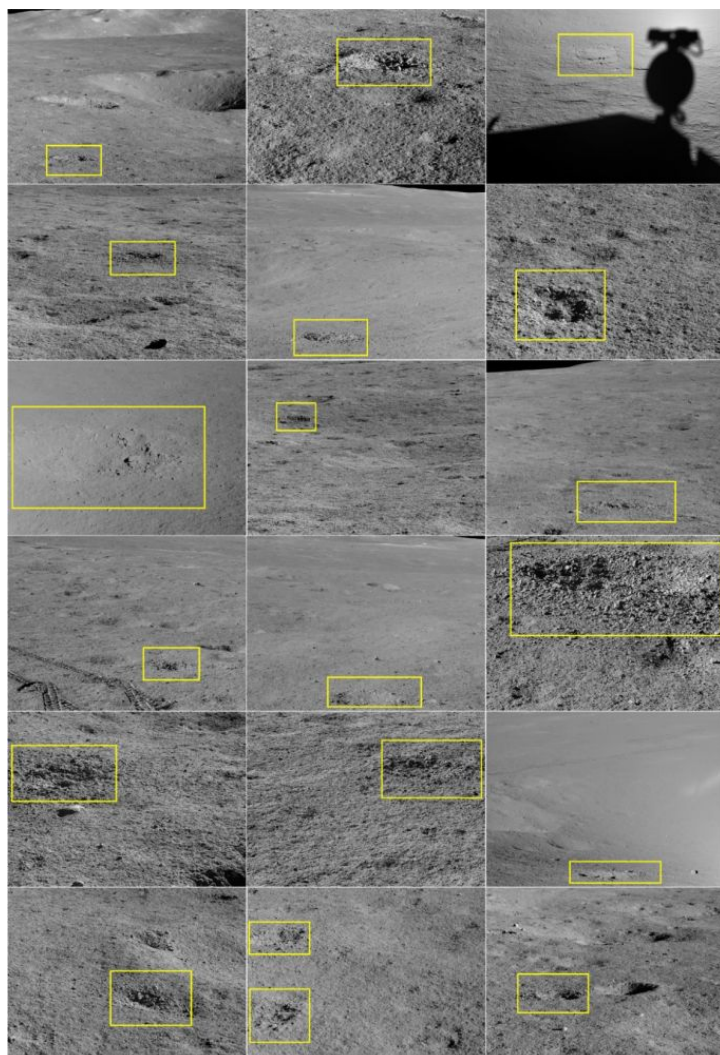


图1 玉兔二号月球车观测到的部分“碎块”坑

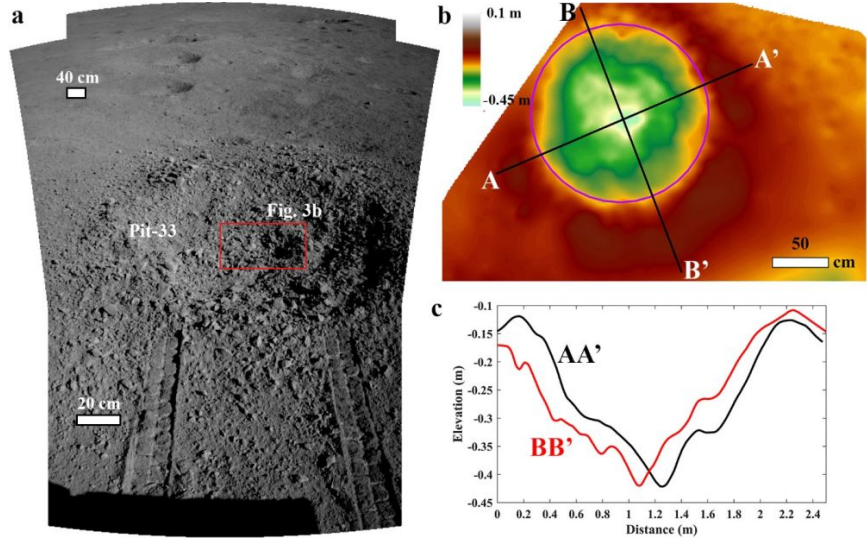


图2 “碎块”坑的形貌

根据避障相机数据生成的高程数字模型，其中一个“碎块”坑的直径约为2 m，深约30 cm，坑底部有中央凹陷（图2）。探测数据表明，坑中的大部分碎块小于5 cm，坑内碎块与坑外月壤的光谱特征很接近，但与新鲜石块明显不同（图3）。此外，坑内月壤与碎块也有相似的光谱形状，表明它们具有类似的组成。在坑的中心，有一簇高反照率且呈现蓝绿色调（图3）的碎块，可能是玻璃碎片。玻璃碎片与同一坑内的月壤、普通碎块以及月表石块光谱明显不同（图3c）。玻璃碎片具有不寻常的高反照率，并在 ~ 600 nm显示出明显的反射峰，与撞击熔融或火山作用产生的玻璃光谱特征一致。根据阿波罗样品分析，只有当玻璃含量大于60%时，才能在玻璃/晶体混合物的光谱中观察到明显的玻璃特征。通过与阿波罗样品比较（图3），可认为“玉兔二号”观测到的高反照率碎片是相当纯净的玻璃。与不同铁钛含量的玻璃对比，发现含9.0% FeO和1.0% TiO₂的玻璃与月球车观测到的玻璃光谱反射峰位置最为接近，这与着陆区的低铁钛特征一致（ $\sim 12.6\%$ FeO， $\sim 1.4\%$ TiO₂）。

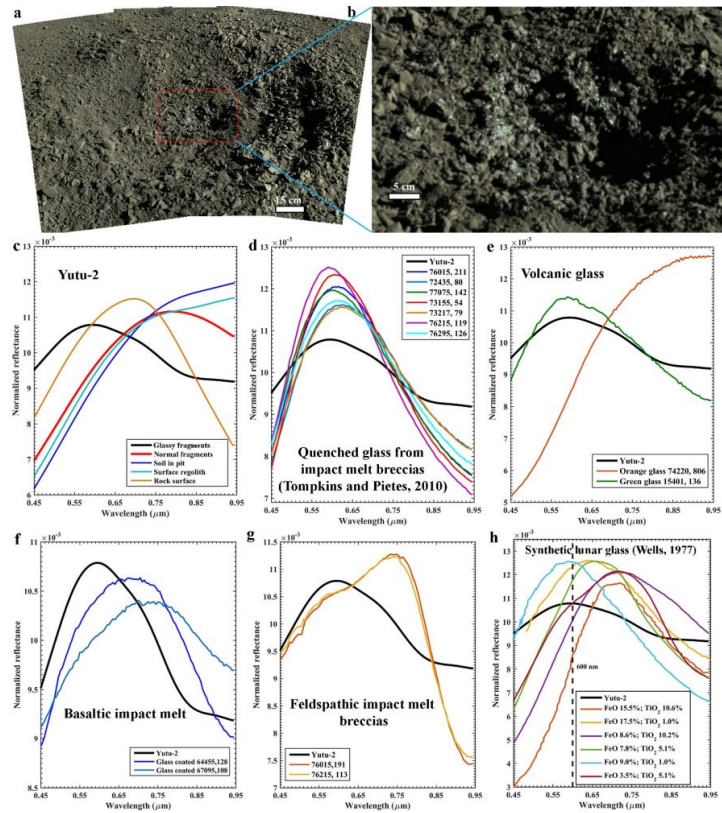


图3 “碎块”坑内物质的光谱特征及与实验室样品的对比

经过一系列研究，最终认为，“碎块”坑可能是被胶结的月壤团块砸出的小坑，而不是通常认为的陨石撞击坑。具体过程为：先是小行星高速撞击在厚层月壤上，将月表的岩块砸碎时也可将月壤压实，并通过部分熔融将其胶结起来，形成月壤层内小陨石坑的壁和底；小陨石坑的壁和底是玻璃胶结的月壤团块，随后团块被另一次小行星撞击并抛射出来，掉落到现在所处的位置，最后碎

裂成“碎块”坑。这一过程，与阿波罗的月壤角砾岩、冲击熔融月壤角砾岩陨石的岩矿特征一致。月壤就是在这种反复撞击砸细又重新胶结成岩的过程中不断演化成熟。

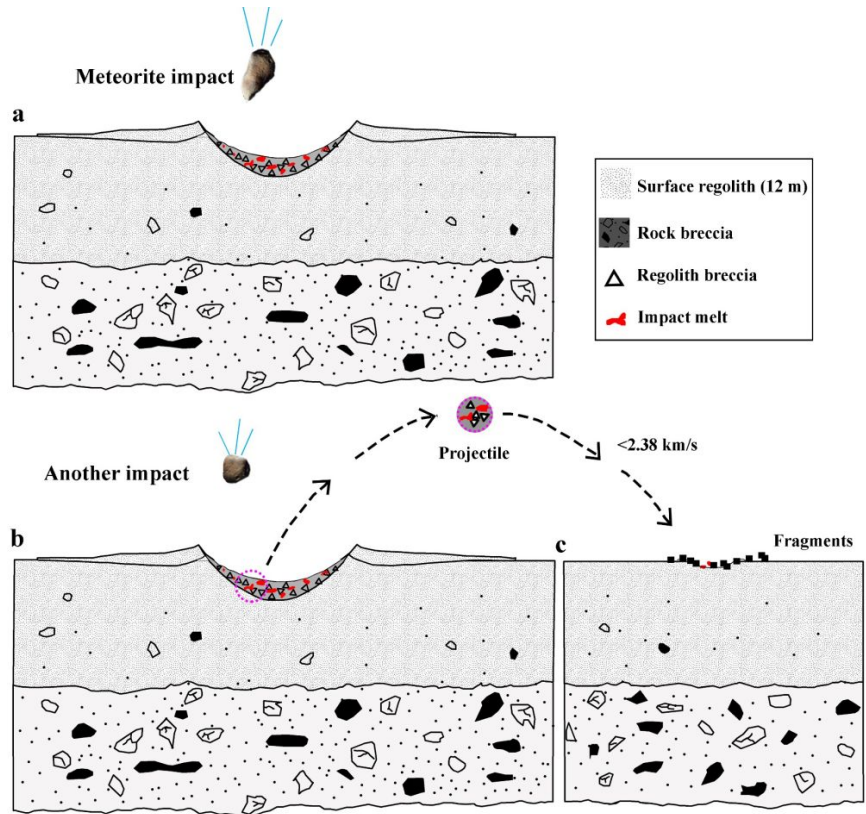


图4 月壤的演化过程

研究成果发表于国际权威学术期刊*CRL*。（林红磊，林杨挺^{*}，杨蔚，何志平，胡森，魏勇，徐睿，张金海，刘晓慧，杨建锋，邢琰，余成武，邹永廖. New Insight into Lunar Regolith-forming Processes by the Lunar Rover Yutu-2 [J]. *Geophysical Research Letters*, 2020: e2020GL087949. DOI: 10.1029/2020GL087949）（原文链接）。研究受国家自然科学基金项目（41902318，41430105，41490631，41525016）、中科院地质与地球物理研究所重点部署项目（IGGCAS-201905）等资助，得到了中科院上海技物所、北京航天飞行控制中心、北京控制工程研究所和国家空间科学中心等多家单位的帮助。