空间中心在嫦娥五号样品光谱分析方面取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/19855.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

嫦娥五号任务成功从月球正面返回了1.73 kg表面与钻取样品，其采样区域比以往的Apollo及Luna任务的采样区域都要年轻。目前已经报道的样品分析结果表明，着陆区的物质组成是比较复杂的，因此对大尺度遥感探测数据的解译要格外慎重。准确的物质组成信息对行星地质演化历史的解译十分关键，而遥测光谱技术是目前获取这些信息最有效的手段之一。可见-近红外或中红外波段的一些独特的吸收特征可以用来识别行星表面矿物组成。其中可见-近红外光谱的吸收特征主要是由矿物中过渡性金属离子（Fe^{2+}）如外层电子跃迁产生，而中红外光谱中的吸收则主要是由矿物晶体晶格振动（如硅酸盐矿物中Si-O的伸缩振动等）产生。在中红外谱段，光谱特征更为丰富，可以对可见-近红外光谱无法区分的物质类型进行有效判别。由于月球等地外样品比较珍贵，以往的行星光谱学研究大多是基于地球矿物或模拟物开展的，科学家通过在地面实验室开展控制性实验测量，分析不同类型物质的光谱特征变化规律，然后应用到行星遥测数据的反演分析中。地球上的模拟物虽然丰富，但是真实月壤的很多性质依然无法完美复制。尤其是发生于月表的太空风化作用，会对月表物质的光学特性产生显著影响。嫦娥五号采样任务的成功为利用真实月壤样品开展光谱分析提供了重要机遇。 中国科学院国家空间科学中心太阳活动与空间天气重点实验室副研究员杨亚洲、研究员刘洋等从嫦娥五号返回的表层月壤样品中挑选出了一些粒径在200-500 μm之间的颗粒，其中包含了典型的月球矿物（橄榄石、辉石、斜长石）与玻璃球粒等（图1），并利用显微FTIR光谱仪测量了这些颗粒的中红外反射光谱。在中红外光谱中，Christiansen特征（CF）、剩余射线带（RB）、透明特征（TF）是硅酸盐矿物中最为显著的几个特征，借助这些特征可以对矿物的类型及具体成分进行判别。在反射光谱中，CF表现为反射率的最小值，硅酸盐矿物的主CF通常出现在7.5-9.0 μm波段范围内，主要与晶体中Si-O伸缩振动有关。月球主要矿物中，斜长石的CF峰位一般在波长较短位置（~8 μm），而橄榄石的CF峰位则出现在波长较长位置（~9 μm），辉石的CF峰位则在前两者之间。基于CF峰位与RB特征，以及显微镜下的矿物形貌特征，研究人员对挑选出的月壤颗粒类型进行初步判别（图2），然后对不同矿物与玻璃端元的显微红外光谱特征进行对比分析。 通过与Apollo返样及月球陨石中不同矿物及玻璃端元的红外光谱进行对比（图3a），研究人员发现与常规FTIR测量相比，利用显微FTIR技术测量的红外反射光谱中没有透明特征（TF）。这主要是因为显微FTIR通常测的是单个颗粒，所测反射信号中没有颗粒之间的多重散射的贡献。但是CF峰位等特征不会受到这两种不同测量技术的影响。 对于用常规FTIR方式测量的粉末样品光谱，其近红外波段的反射率通常要比中红外波段高很多，但是随着样品尺寸的增加，两个谱段之间的差异逐渐变小（图3a）。除了颗粒尺寸外，太空风化作用也会降低近红外与中红外谱段的光谱对比度，因为风化作用会使近红外谱段的反射率显著降低，但是对中红外谱段的影响很有限，这主要是因为两个谱段的光谱吸收特征的产生机制完全不同。月表的太空风化作用机制主要有太阳风注入与微陨石撞击等，在人们以往的研究中曾利用脉冲激光照射的方式来模拟微陨石撞击过程，以制备具有不

同风化程度的模拟样品。通过对比嫦娥五号橄榄石颗粒与经过不同程度脉冲激光照射的地球橄榄石样品的光谱（图3b），可以看到，随着风化程度的增加，橄榄石近红外波段与中红外波段的反射率差异逐渐减小。在后续研究中，若能对更多具有不同风化程度的月壤矿物颗粒样品进行显微红外光谱分析，则有可能构建一个近红外-
中红外光谱对比度与风化成熟度的关系模型，从而应用到更多样品的分析上。 橄榄石是岩浆冷却过程中结晶最早的矿物之一，其晶体中Mg与Fe的相对含量（Fo，镁值）对于指示原始岩浆的成分具有重要意义。橄榄石RB特征中的几个反射峰的峰位会随着镁值的变化而发生系统的偏移。基于嫦娥五号橄榄石显微光谱中的RB峰位，研究人员反演得到了这些橄榄石的镁值，结果与先前报道的实验室测量结果相一致（图3d），表明该方法虽然是基于常规FTIR测量的红外光谱建立的，但是在显微红外光谱分析中也是可行的。 除了矿物颗粒外，月壤中通常还含有丰富的玻璃质物质，这些玻璃物质主要有撞击与火山活动两种成因。该研究分析结果表明，这些玻璃大多属于月海撞击成因玻璃，但有少数可能具备火山成因。 在行星光谱学研究中一直存在一个难题，就是实验室测量的光谱与遥测光谱之间往往存在较大差异，因为即使有了月壤样品，在实验室内也无法完全复制月表原始的堆积状态。因此实验室测量光谱往往无法直接应用于遥测数据的解译上，尤其是显微光谱分析结果。而通过反演光学常数（或折射率）的方式，可以将实验室测量结果与遥测分析很好的衔接起来。光学常数是光谱模型的重要输入量，有了不同矿物端元的光学常数，再结合给定的颗粒尺寸、孔隙度及各端元的含量等参数，就可以生成模型光谱。利用该模型对实际遥测月表光谱进行拟合，就可以实现对观测区域矿物组成的定量反演。目前的光学常数库中，基于真实地外样品的光学常数还比较匮乏。虽然地球上的矿物种类非常丰富，但是与地外样品相比，即使是同种类的矿物，其在具体成分上也存在一定差别。比如地球上的橄榄石大多Mg含量比较高，而月球上的橄榄石通常Mg含量比较低。因此，尽可能的扩充基于真实地外样品分析得到的光学常数库是很有必要的。该研究中，研究人员基于显微红外反射光谱，对挑选出的一些典型橄榄石、斜长石、辉石及玻璃端元的光学常数进行了反演（图4），这些结果将对现有的或将来的月球及其他小行星的光谱分析产生很大帮助。 相关研究成果发表在*Journal of Geophysical Research: Planets*
上。研究工作得到了中科院战略性先导科技专项（B类）、国家自然科学基金、民用航空航天技术预研项目、中国科协青年人才托举工程和空间中心“ 攀登计划 ”等项目的支持。 论文链接

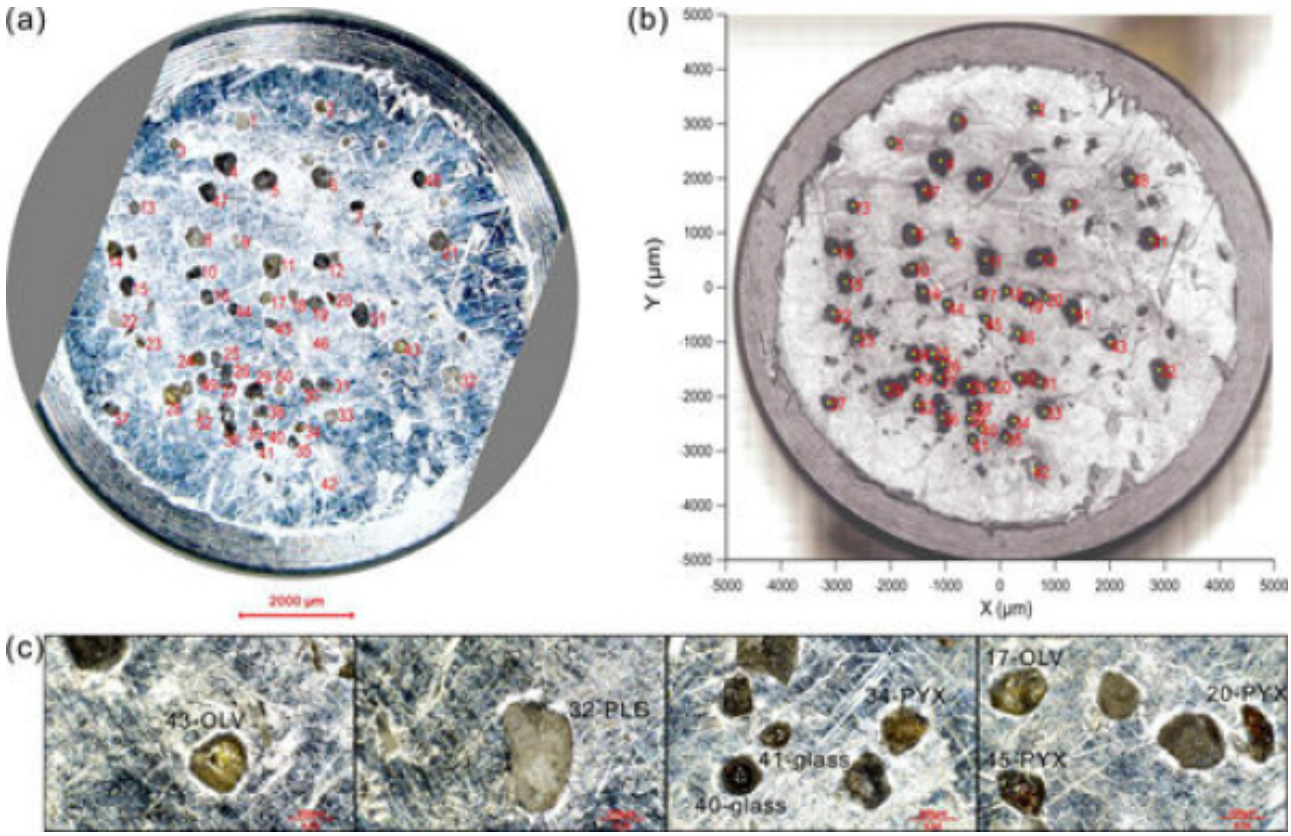


图1 （a）立体显微镜下月壤颗粒影像；（b）显微红外光谱仪获取的影像拼接图；（c）典型月壤矿物与玻璃颗粒影像放大图。

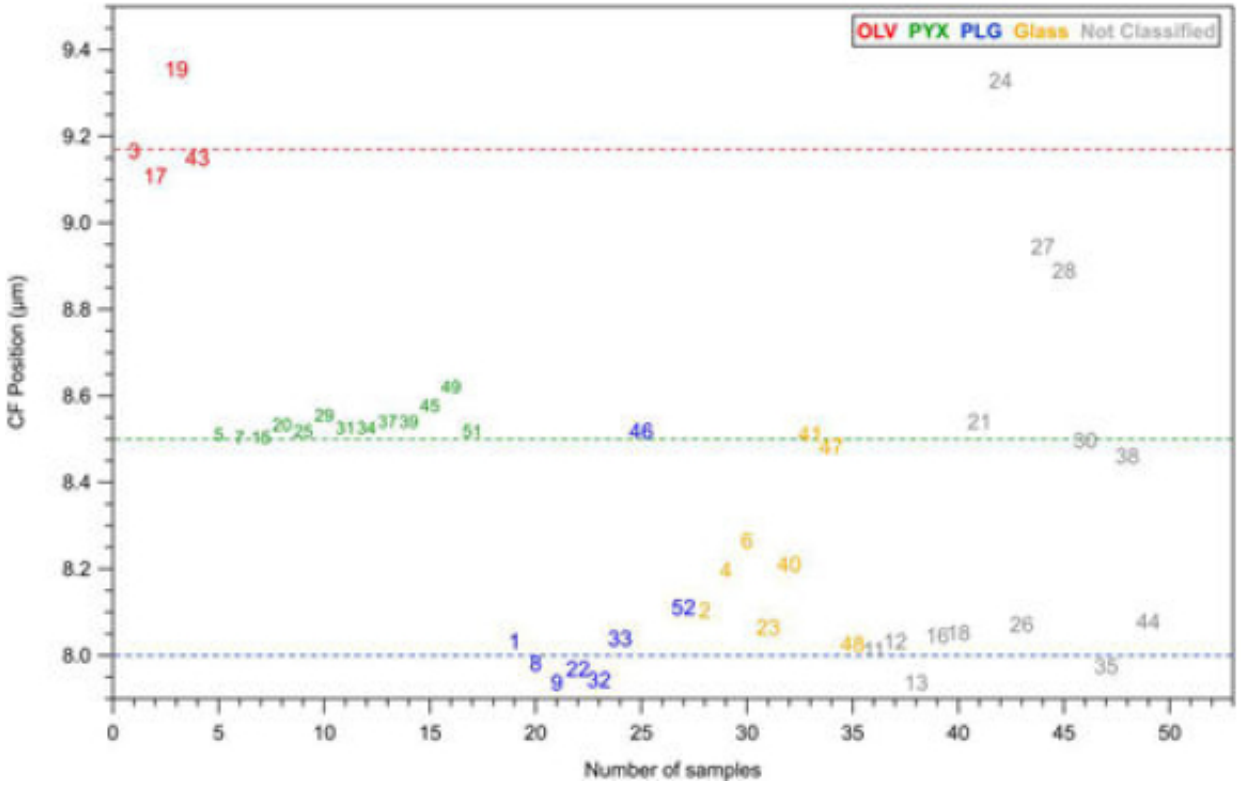


图2 所测颗粒样品的CF峰位分布图

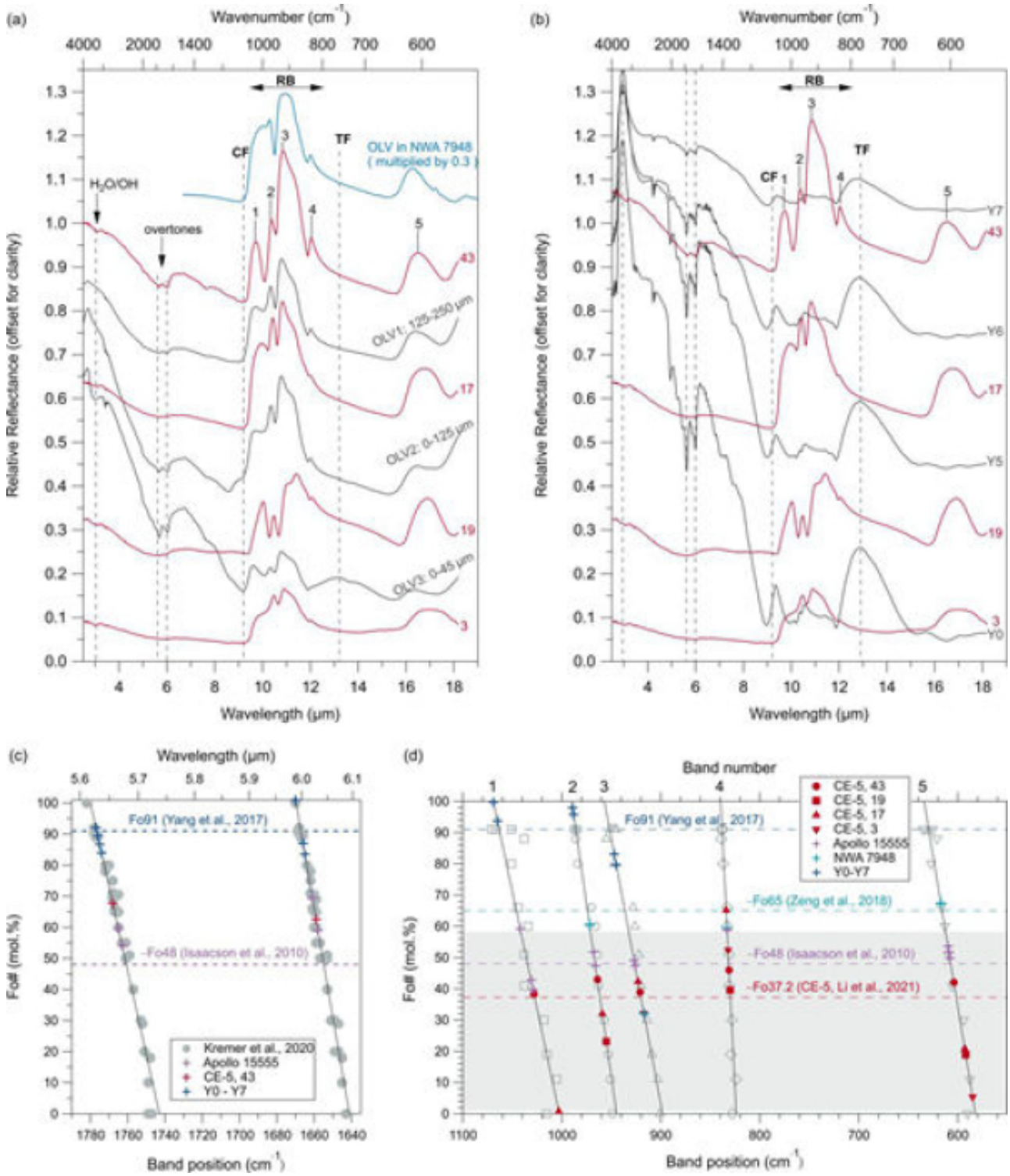


图3 （a）CE-5橄榄石颗粒显微红外光谱与Apollo返样中橄榄石粉末样品红外光谱对比图；（b）CE-5橄榄石颗粒与经过不同脉冲激光照射的地球橄榄石样品的光谱对比；（c）利用5.6-μm与6.0-μm波段峰位反演的橄榄石样品Fo值结果；（d）利用RB波段发峰位反演橄榄石Fo值结果。

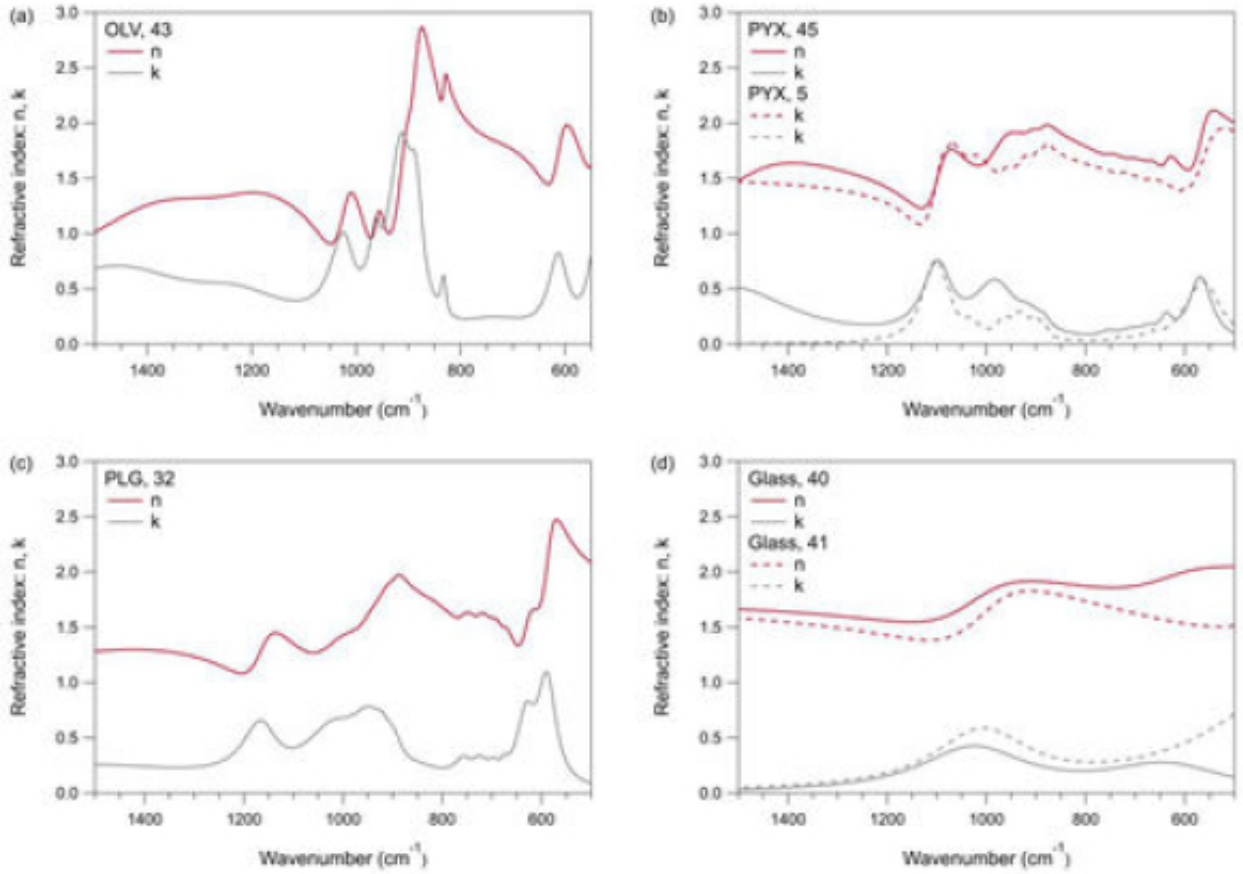


图4 基于反射光谱反演得到的典型矿物与玻璃端元的光学常数
研究团队单位：国家空间科学中心

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发