

月球阿波罗盆地区域月壳结构及光谱特征

郭弟均^{1,2,3}, 刘建忠^{1*}, HEAD W. James³, 李帅⁴, POTTER W. K. Ross³, 林红磊^{2,5}

(1. 中国科学院地球化学研究所月球与行星科学研究中心, 贵阳 550002; 2. 中国科学院大学, 北京 100014;

3. Department of Earth, Environmental and Planetary Sciences, Brown University, Providence 02912;

4. University of Hawaii at Manoa, Honolulu, HI 96822; 5. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101)

摘要: 位于月球南极-艾肯(South Pole-Aitken Basin, SPA)盆地内的前酒海纪阿波罗盆地跨越了SPA盆地的瞬时穴和盆缘。SPA盆地是已确认的月球上最大最古老的撞击盆地, 因此阿波罗盆地对于认识月球的内部结构和成分、区域地质作用和演化历史具有不可替代的作用。阿波罗盆地区域月壳具有很强的不对称性, 靠近SPA盆缘处厚而靠近SPA盆地中心处薄, 其峰环内部拥有最薄的月壳厚度。阿波罗盆地区域具有不同的光谱吸收特征。在阿波罗盆地外, 靠近SPA盆缘具有更多Mg辉石吸收特征的短波吸收, 而靠近SPA中心区域具有更多高Ca辉石吸收特征的长波吸收。盆地内部不同地质单元的光谱吸收特征也有差异, 月海为高Ca辉石的吸收特征, 峰环为Mg辉石的短波长吸收。阿波罗盆地具有最薄的月壳厚度、高程差达8 km的地层剖面、位于月球背面SPA盆地内的月海、发育充分的中央峰环, 其独特性使它成为最有价值的采样点。

关键词: 阿波罗盆地; 南极-艾肯盆地; 月壳; 光谱

中图分类号: P691

文献标识码: A

文章编号: 2095-7777(2018)05-0488-07

DOI: 10.15982/j.issn.2095-7777.2018.05.013

引用格式: 郭弟均, 刘建忠, HEAD W. James, 等. 月球阿波罗盆地区域月壳结构及光谱特征[J]. 深空探测学报, 2018, 5(5): 488-494.

Reference format: GUO D J, LIU J Z, HEAD W J, et al. Crustal structure and spectral features of lunar Apollo basin region[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2018, 5(5): 488-494.

引言

直径492 km的阿波罗盆地位于平均直径约2 240 km的月球南极-艾肯(South Pole-Aitken Basin, SPA)盆地的内环边界上^[1-2]。古老的SPA盆地对于认识月球构造格架的划分和地质演化历史具有重要意义^[3-5]。在南极-艾肯盆地内部的撞击构造中, 阿波罗盆地是其中最大的一个, 挖掘深度也最深, 形成了南极-艾肯盆地之内的最薄月壳厚度。阿波罗盆地属于前酒海纪, 根据不同的研究结果, 其绝对年龄可能在3.9~3.92 Ga或4.1~4.2 Ga之间^[6-8]。作为峰环盆地, 阿波罗盆地的中央峰环直径为247 km, 高出盆地底部1~2 km^[9]。

撞击模拟表明SPA盆地瞬时穴直径为840 km^[10], 因此, 阿波罗盆地跨越SPA盆地瞬时穴和改造区(如图1所示), 这个特殊的位置可能造成阿波罗盆地内部的成分差异和不同的物质来源^[11], 同时也造成了其

极不对称的月壳结构。另一方面, 其他研究表明, SPA盆地拥有更大的瞬时穴直径, 如1 260 km^[12], 这将使阿波罗盆地完全位于SPA瞬时穴内部。在这种情形下, 在阿波罗撞击事件发生前盆地所在区域的物质就代表被SPA挖掘的来自下月壳甚至月幔的月球内部成分。

阿波罗盆地靠近SPA盆缘部分的月壳厚度约为40 km, 靠近SPA中心部分的月壳厚度约为20 km(图1)。对于大型撞击作用, 薄月壳情形和厚月壳情形下的物质流动过程具有差异^[13], 将导致不同的物质堆积结果。数值模拟结果表明阿波罗盆地撞击事件挖掘出了大于30 km的深月球内部物质^[11]。在峰环盆地中, 峰环结构的物质起源可能接近最大挖掘深度^[1]。对于阿波罗盆地, 如果月壳厚度为20 km, 则峰环的主要组成物质将是月幔成分, 如果月壳厚度为40 km, 则其峰环成分主要组成物质是下月壳物质^[11]。

收稿日期: 2017-10-20 修回日期: 2018-04-26

基金项目: 中国科学院B类先导科技专项培育项目(XDB18000000); 国家自然科学基金面上项目(41373068, 41773065); 国家自然科学基金重大项目(41490634); 科技部科技基础性工作专项(2015FY210500); Brown University, Office of Vice President for Research SEED grant "Engaging the Chinese Lunar Exploration Program"(CLEP)

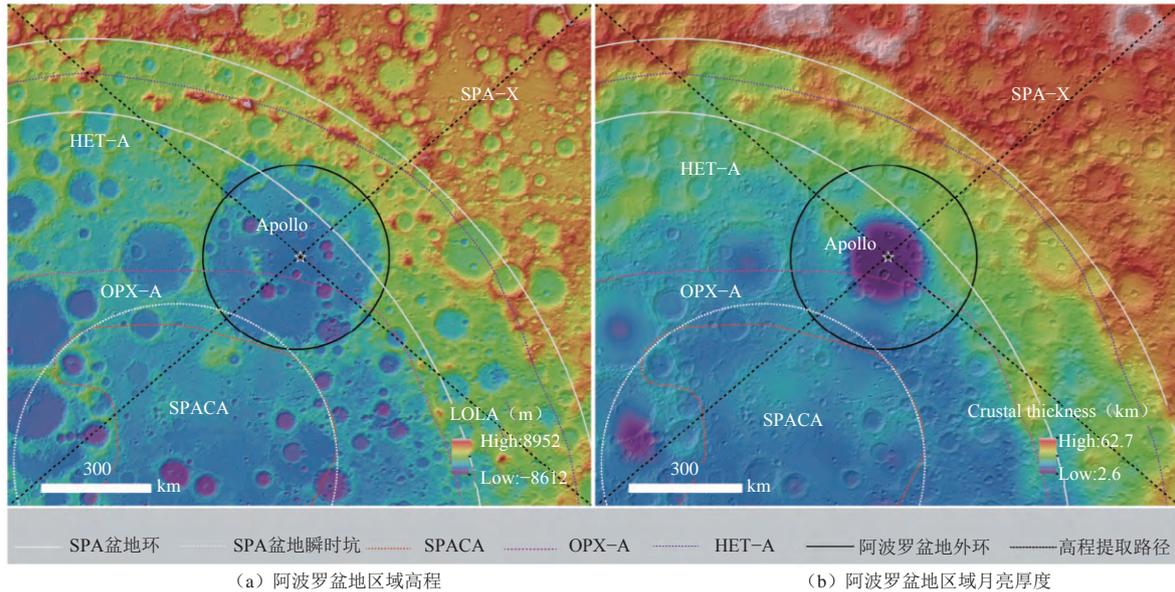


图1 阿波罗盆地区域高程和月亮厚度

Fig. 1 The elevation and crustal thickness of Apollo basin region

注：高程数据来自LOLA（分辨率1 024 ppd）；月亮厚度来自文献[14]的模型1。白色实线表示SPA盆地的内外环^[2]；白色虚线表示直径840 km的SPA盆地的瞬时穴范围^[6]；彩色虚线表示文献[15]提出的SPA盆地成分分区，从内到外分别为SPACA（SPA Compositional Anomaly，红色）、OPX-A（Orthopyroxene Annulus，粉色）、HET-A（Heterogeneous Annulus，紫色）和SPA-X（SPA Exterior）；黑色实线表示阿波罗盆地盆缘位置；黑色虚线表示提取北东-南西和北西-南东方向的地形和月亮的路径。影像使用横轴墨卡托投影，投影中心为阿波罗盆地中心（208.52°E，-36.09°S），本文其他影像使用相同的投影。

大量模型和计算都表明，阿波罗盆地挖掘深度到达月幔，其中央峰环在很大程度上代表了月幔的物质成分。然而，阿波罗盆地峰环物质为苏长质而不是预想的富橄榄石岩性^[1]。这是否说明月幔上层矿物主要为辉石而不是橄榄石？另一方面，大量研究都支持在月壳内部存在一个厚度数十千米纯斜长岩（≥98%斜长石）层^[16-18]。早期研究中，纯斜长岩在几乎所有的峰环结构包括同样位于SPA盆地内部盆缘附近的薛定谔盆地上都有被发现^[1]，而在阿波罗盆地峰环上却没有探测到。因此有必要对阿波罗盆地的月亮结构和成分出露进行更详细的研究，结合更广阔的地质背景和区域演化历史，为解开围绕月壳/幔结构和成分、SPA盆地和SPA盆地-酒海纪地层序列的问题提供一些线索，也为未来月球着陆探测和样品采集选址提供参考。本文以阿波罗盆地为研究对象，以区域月球结构和盆地各地质单元表面物质在1 μm、2 μm的光谱吸收特征为主要研究内容，揭示了盆地不对称的月球结构和矿物成分的分布特征。

1 阿波罗盆地区域月亮结构

受SPA盆地巨大内外地形差异的影响，位于SPA内环上的阿波罗盆地具有显著的二分特征：沿着SPA盆地向外靠近盆地环的北东方向地形高，而向SPA盆地内部的南西方向地形低，如图1（b）、图2（a）、

图2（b）所示。由于长时间的后期地质过程中原始盆地物质垮塌，阿波罗盆地盆缘和峰环处的地形并不全在局部地形最高位置上，如图2（a）、图2（b）所示。阿波罗盆地外，北东方向的平均地形高程约为3.5 km，而南西方向的平均地形高程约为-4.5 km，高程差达8 km左右。在盆地内部，整体平均高程约为-4.6 km，最低处仅有约-6.3 km。峰环的高程平均高出盆底2~3 km，月亮厚度在这个位置上有增加的趋势，但在位置上有向外的偏移，且范围更宽，如图2（a）、图2（b）所示。

Wieczorek等根据GRIL重力场数据计算得出了4个月亮厚度模型^[14]，其中模型1和模型2的平均月亮厚度比模型3和模型4的更薄。阿波罗盆地的月亮厚度也具有与地形趋势一致的强烈的二分性，如图1（b）、图2（a）和图2（b）所示。根据不同的月亮厚度模型，在盆地外，北东方向平均月亮厚度在50.4~61.9 km之间，而南西方向为17.4~25.5 km之间，这也代表了SPA盆地内部的平均月亮厚度。在阿波罗盆地内部，平均月亮厚度在19.8~28.1 km之间，而最薄的厚度根据不同的模型仅为2.0~6.4 km之间。在阿波罗盆地峰环内部，由于撞击后莫霍面上移，平均月亮厚度仅为7.4~12.9 km之间。如果考虑最薄的月亮厚度模型，直径大于20 km的撞击坑就有可能穿透部分月亮到达月幔，并可能抛射出月幔物质。

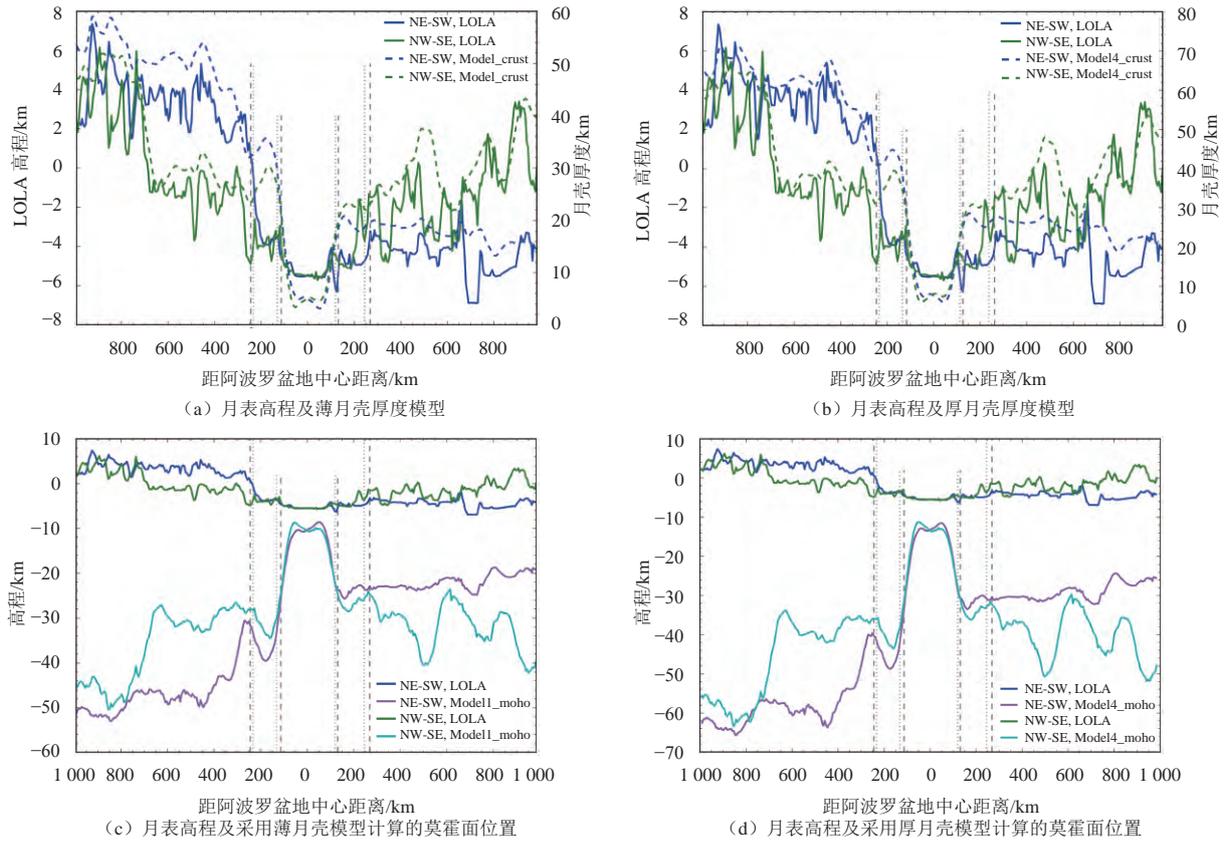


图2 北东-南西 (NE-SW) 和北西-南东 (NW-SE) 方向的月表高程、月亮厚度和莫霍面位置剖面

Fig. 2 The profiles of surface elevation, crustal thickness and moho depth of NE-SW and NW-SE direction

注: 竖直虚线表示阿波罗盆地盆缘和峰环在北西-南东方向剖面上的位置, 竖直线表示阿波罗盆地盆缘和峰环在北东-南西方向剖面上的位置。剖面数据提取路径如图1所示。

在撞击作用过程中, 撞击点的内部成分和结构会向上抬升^[19]。阿波罗盆地形成于月亮厚度本来就偏薄的位置, 而形成这个规模的盆地必然伴随巨大的撞击能量, 从而引起显著的莫霍面抬升。如图2(c)、图2(d)所示, 莫霍面抬升主要发生在峰环内部。根据不同的月亮厚度模型, 相较于盆地中心的莫霍面在北西、南东方向分别高出约26~33 km和20~25 km, 在北东、南西方向分别高出约32~40 km和约18~23 km。莫霍面抬升为后期撞击挖掘出月幔物质提供了更大的可能性。

2 阿波罗盆地区域光谱特征

2.1 光谱数据处理

我们使用M³数据的OP2C观测周期的数据拼接了空间分辨率280 m覆盖阿波罗盆地研究区域的M³高光谱数据并进行了热辐射校正^[20]。对于月球, 在光谱上表现强烈的吸收特征主要是Fe²⁺引起的在1 μm附近 (Band I) 和2 μm附近 (Band II, 主要贡献矿物为辉石) 吸收。其中出现1 μm吸收的主要矿物为斜长石约

1.25 μm, 辉石约1 μm, 橄榄石约1.15 μm, 出现2 μm吸收的主要矿物为辉石^[21]。而辉石中单斜辉石 (CPX) 的1 μm、2 μm吸收中心波长通常比斜方辉石 (OPX) 长 (如Klima等^[22]和Klima等^[23])。M³数据在靠近阴影区和极地信噪比较低。为了能够计算尽量宽范围的光谱特征, 在提取光谱吸收参数之前, 我们对每一个像元光谱以3×3窗口进行平均, 并按照窗口为3个波段进行维纳滤波。

在进行连续统去除的过程中, 我们参考了PLC (Parabolic absorption band fitting after removing a two-part Linear Continuum) 对Band I和Band II进行了分别去除^[24], 不同之处是使Band I的右节点和Band II的左节点相互独立以使它们分别得到最好的连续统。对于Band I, 左节点固定在0.7 μm波段, 右节点选择在1.1~1.78 μm之间某一波段与左节点斜率最大之处; 对于Band II, 右节点固定在2.50 μm波段, 左节点选择在1.1~2.02 μm之间某一波段与右节点斜率最小之处。基于连续统去除之后的光谱, 我们按照PLC的方式进行最佳抛物线拟合并提取吸收中心 (EBC) 和吸收深度 (EBD)^[24]。

2.2 光谱在 1 μm和2 μm波段的主要吸收特征

受光照条件的影响，研究区域内位于光照阴影区的撞击坑右侧坑壁上有强烈的噪声，如Borman坑和Dryden坑，这些位置上的光谱吸收参数在考虑时需要排除，参见图 3 (a)。受太空风化的影响，暴露在月表的物质将逐渐变得成熟，逐渐减弱直到失去矿物在光谱上的吸收特征。

阿波罗盆地中反射率最低的地质单元是盆地中的

月海，参见图 3 (a)。根据LROC团队发布的月海边界，阿波罗盆地中共有5个月海出露。根据不同研究结果，阿波罗盆地内月海出露年龄最晚可能为2.44~2.49 Ga，最早可能到3.51~3.63 Ga^[25-26]。在南西方向邻近SPA盆地中心的区域，反射率比邻近SPA盆地环的区域更低，该区域位于SPA盆地瞬时穴之内，同时在SPACA的覆盖范围内。

图 3 (b) 展示了光谱在Band I和Band II的吸收深

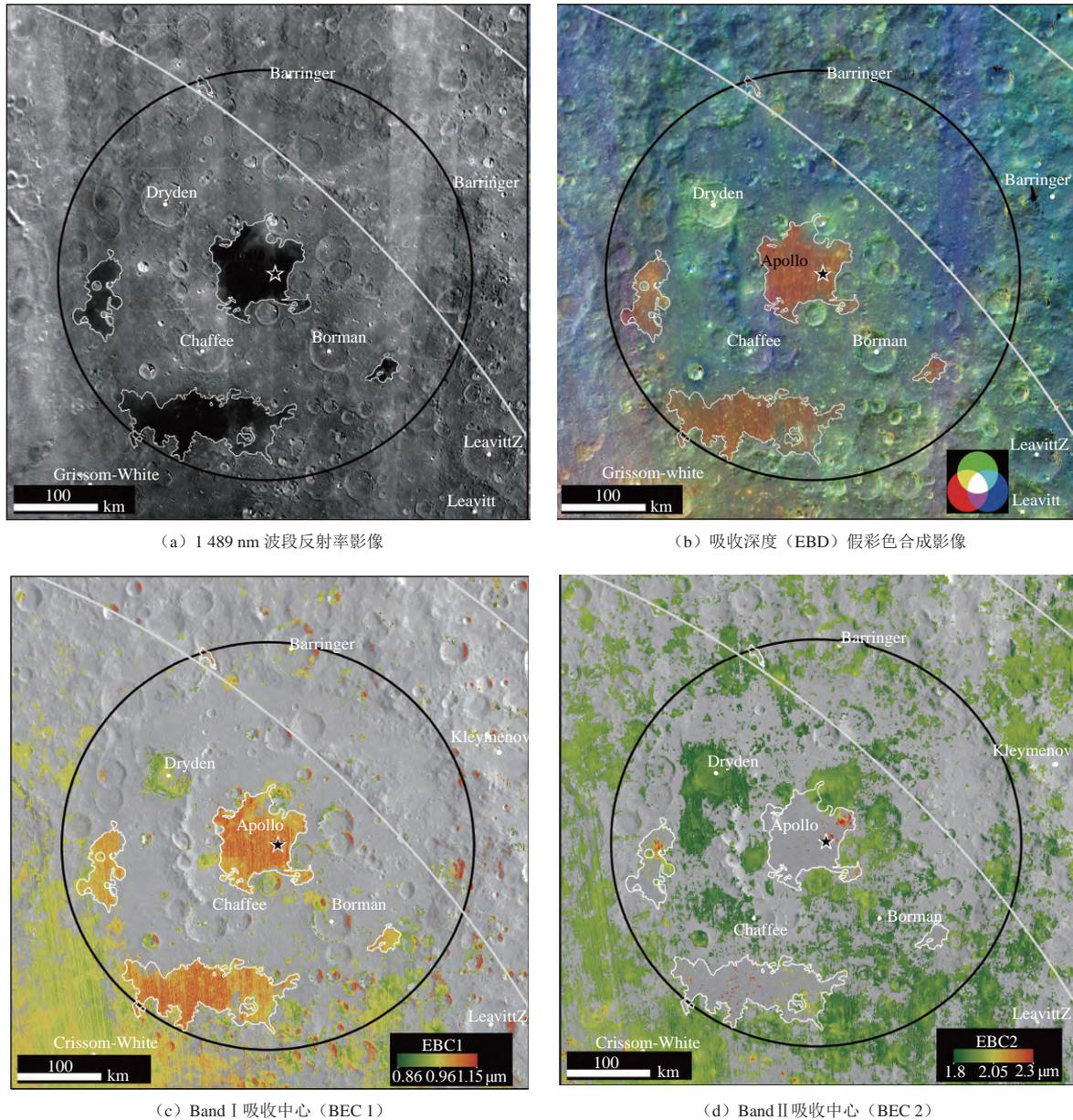


图 3 阿波罗盆地区域的光谱特征

Fig. 3 The spectral characteristics of the Apollo basin region

注：吸收深度 (EBD) 假彩色合成影像 (b) 中3个颜色通道分别是：R-Band I吸收深度；G-Band II吸收深度；B-1 489 nm反射率。吸收中心仅展示了吸收深度大于0.05的区域。对于EBC 1，吸收波长小于0.96 μm的主要是OPX；对于EBC 2，波长小于2.05 μm的主要是OPX。白色粗实线表示SPA盆地的内环和外环；白色细实线表示阿波罗盆地的月海范围；黑色实线表示阿波罗盆地的盆缘。图中标注了直径大于50 km的撞击坑。底图为LOLA高程数据得到的山体阴影图。

度假彩色合成影像。橙色的月海区域光谱在 $1\ \mu\text{m}$ 和 $2\ \mu\text{m}$ 都有吸收,且在 $1\ \mu\text{m}$ 的吸收更加强烈。后期撞击坑如晚雨海纪Dryden坑,色调偏黄,表明光谱在 $1\ \mu\text{m}$ 和 $2\ \mu\text{m}$ 的吸收强度都比较强。在研究区域从北东到南西向,色调呈现从蓝到黄的趋势。在研究区域靠近SPA中心的南西方向,表现出更强的 $1\ \mu\text{m}$ 、 $2\ \mu\text{m}$ 吸收特征,辉石含量更高;而在远离盆地的北东方向,有更多原始月壳的斜长石混合,辉石的吸收特征更弱。阿波罗盆地的峰环结构经历太空风化时间长,整体上没有吸收特征,但是新鲜撞击坑附近明显的吸收特征表明其成分辉石含量高。

阿波罗盆地区域光谱在Band I和Band II的吸收中心分别如图3(c)和图3(d)所示。月海的物质来源可能是上百km的月幔,通过岩浆通道喷发出月表。 M^3 数据表明阿波罗盆地月海的 $1\ \mu\text{m}$ 、 $2\ \mu\text{m}$ 吸收峰位置在CPX区间^[22-23]。峰环结构上的成分可能代表了阿波罗盆地撞击事件挖掘出的最深物质。阿波罗盆地峰环结构上少量有吸收特征的物质表明,其吸收特征为短波长吸收的OPX,但主要矿物可能为斜长石。在阿波罗盆地内,尽管吸收峰在Mg辉石区间,但北东方向吸收波长偏向长波而南西方向的吸收波长偏向短波,可能的原因是北西方向混合了更多CPX,但其来源还无法判断。

3 结束语

阿波罗盆地外北东方向邻近SPA盆地外缘处月壳较厚,物质来源主要为原始月壳成分、SPA盆地及后期盆地溅射物堆积的风化层。在此区域内包括阿波罗盆地盆壁上, $1\ \mu\text{m}$ 、 $2\ \mu\text{m}$ 吸收峰位置波长较长,主要成分可能为CPX。但在盆底和盆地西南方向, $1\ \mu\text{m}$ 、 $2\ \mu\text{m}$ 吸收峰位置波长较短,主要成分可能为OPX。盆地峰环上仅有少数位置被检测出吸收特征,均为短波长吸收的OPX,但可能混合了大量斜长石。相较于盆地内的其他地质单元,5个月海区都表现出强烈的CPX吸收特征。位于SPA盆地另一端的薛定谔盆地其峰环主要矿物也是OPX,但是月海成分是含有斜长石的CPX^[27]。在阿波罗盆地外靠近SPA中心的区域,光谱特征主要为CPX,且具有较强的 $1\ \mu\text{m}$ 、 $2\ \mu\text{m}$ 吸收。对于SPA环形构造,尽管吸收特征少,但新鲜撞击坑挖掘的物质依然表现出强烈的CPX/OPX吸收光谱,其来源可能为SPA撞击或阿波罗盆地撞击抛射出的下月壳或月幔物质。对阿波罗盆地区域详细的光谱特征研究与Moriarty和Pieters以及Melosh等的研究结果一致^[15, 28]。Melosh等认为在阿波罗盆地外的北部的OPX是SPA盆

地撞击事件中从月幔挖掘的月球内部物质,因此推测月幔的主要成分是低钙辉石^[28],这与本文得到的同样可能来源于深部月幔的阿波罗盆地峰环物质主要为低钙辉石相一致。

本研究主要分析了阿波罗盆地区域的月壳结构,以及与空间和重要地质构造相关的整体光谱吸收特征。然而,区域内的物质来源比较复杂,巨大的高程剖面上可能既有原始月壳的成分又有不同演化阶段的物质,如SPA撞击堆积的溅射物和环形构造、阿波罗盆地溅射物和其他撞击事件溅射物堆积的风化层,以及可能晚止2.44 Ga早至3.63 Ga的月海物质。另一方面,作为古老的地质构造,不同来源的物质在这里进行了比较充分的混合。正因为如此,如果在阿波罗盆地采样可以采集到尽量多起源的物质,为完整梳理月球演化和不同深度物质成分提供宝贵资料。SPA盆地内另一个采样返回的热点区域是薛定谔盆地。相比而言,阿波罗盆地直径更大,挖掘深度更深,其纬度位于低纬地区,比接近南极的薛定谔盆地采样更容易实现。

参 考 文 献

- [1] BAKER D M H, HEAD J W. Constraints on the depths of origin of peak rings on the Moon from Moon Mineralogy Mapper data[J]. *Icarus*, 2015, 258: 164-180.
- [2] GARRICK-BETHELL I, ZUBER M T. Elliptical structure of the lunar South Pole-Aitken basin[J]. *Icarus*, 2009, 204(2): 399-408.
- [3] 郭弟均, 刘建忠, 张莉, 等. 月球地质年代学研究方法及月面历史划分[J]. *地学前缘*, 2014, 21(6): 45-61.
GUO D J, LIU J Z, ZHANG L, et al. The methods for lunar geochronology study and subdivisions of lunar geologic history[J]. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(6): 45-61.
- [4] 刘建忠, 郭弟均, 籍进柱, 等. 月球的构造格架及其演化差异[J]. *深空探测学报*, 2015, 2(1): 75-79.
LIU J Z, GUO D J, JI J Z, et al. Lunar tectonic frame work and its evolution inhomogeneity[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2015, 2(1): 75-79.
- [5] 郭弟均, 刘建忠, 籍进柱, 等. 月球的全球构造格架初探[J]. *地球物理学报*, 2016, 59(10): 3543-3554.
GUO D J, LIU J Z, JI J Z, et al. Preliminary study on the global geotectonic framework of the Moon[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2016, 59(10): 3543-3554.
- [6] STUART-ALEXANDER D E. Geologic map of the central far side of the Moon[M]. Denver: US Geological Survey, 1978.
- [7] WILHELMS D E, MCCAULEY J F, TRASK N J. The geologic history of the Moon[M]. Washington, DC: US Government Printing Office, 1987.
- [8] HIESINGER H, VAN DER BOGERT C, PASCERT J, et al. New crater size-frequency distribution measurements of the South Pole-

- Aitken basin[C]//Lunar and Planetary Science Conference. Madrid, Spain: [s.n.], 2012.
- [9] BAKER D M, HEAD J W, PHILLIPS R J, et al. grail gravity observations of the transition from complex crater to peak-ring basin on the Moon: implications for crustal structure and impact basin formation[J]. *Icarus*, 2017, 292: 54-73.
- [10] POTTER R W K, COLLINS G S, KIEFER W S, et al. Constraining the size of the South Pole-Aitken basin impact[J]. *Icarus*, 2012, 220(2): 730-743.
- [11] POTTER R W K, HEAD J W, GUO D, et al. The Apollo peak-ring impact basin: insights into the structure and evolution of the South Pole-Aitken Basin[J]. *Icarus*, 2018, 306: 139-149.
- [12] PETRO N E, PIETERS C M. The size and location of the transient crater of the South Pole-Aitken Basin[J]. *Journal of Medical Microbiology*, 2002, 13(2): 363-367.
- [13] KRING D A, KRAMER G Y, COLLINS G S, et al. Peak-ring structure and kinematics from a multi-disciplinary study of the schrodinger impact basin[J]. *Nature Communications*, 2016, 7: 13161.
- [14] WIECZOREK M A, NEUMANN G A, NIMMO F, et al. The crust of the Moon as seen by GRAIL[J]. *Science*, 2013, 339(6120): 671-675.
- [15] MORIARTY D, PIETERS C. South pole—Aitken Basin as a probe to the lunar interior[C]//47th Lunar and Planetary Science Conference. Woodlands, Texas: [s.n.], 2016: 1763.
- [16] HAWKE B R, PETERSON C A, BLEWETT D T, et al. Distribution and modes of occurrence of lunar anorthosite[J]. *Journal of Geophysical Research-Planets*, 2003, 108(E6).
- [17] OHTAKE M, MATSUNAGA T, HARUYAMA J, et al. The global distribution of pure anorthosite on the Moon[J]. *Nature*, 2009, 461(7261): 236-241.
- [18] YAMAMOTO S, NAKAMURA R, MATSUNAGA T, et al. Massive layer of pure anorthosite on the Moon[J]. *Geophysical Research Letters*, 2012, 39(13): 34-47.
- [19] MELOSH H J. *Impact cratering: a geologic process*[M]. New York: Oxford University Press, 1989.
- [20] LI S, MILLIKEN R E. An empirical thermal correction model for Moon Mineralogy Mapper data constrained by laboratory spectra and Diviner temperatures[J]. *Journal of Geophysical Research-Planets*, 2016, 121(10): 2081-2107.
- [21] PIETERS C. Compositional diversity and stratigraphy of the lunar crust derived from reflectance spectroscopy[M]. *Remote Geochemical Analysis: Elemental And Mineralogical Composition*. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1993: 309-339.
- [22] KLIMA R L, DYAR M D, PIETERS C M. Near-infrared spectra of clinopyroxenes: effects of calcium content and crystal structure[J]. *Meteoritics & Planetary Science*, 2011, 46(3): 379-395.
- [23] KLIMA R L, PIETERS C M, DYAR M D. Spectroscopy of synthetic Mg-Fe pyroxenes I: spin-allowed and spin-forbidden crystal field bands in the visible and near-infrared[J]. *Meteoritics & Planetary Science*, 2007, 42(2): 235-253.
- [24] MORIARTY D P, PIETERS C M. Complexities in pyroxene compositions derived from absorption band centers: examples from Apollo samples, HED meteorites, synthetic pure pyroxenes, and remote sensing data[J]. *Meteoritics & Planetary Science*, 2016, 51(2): 207-234.
- [25] GREELEY R, KADEL S D, WILLIAMS D A, et al. Galileo imaging observations of lunar maria and related deposits[J]. *Journal of Geophysical Research-Planets*, 1993, 98(E9): 17183-17205.
- [26] HARUYAMA J, OHTAKE M, MATSUNAGA T, et al. Long-lived volcanism on the lunar farside revealed by SELENE terrain camera[J]. *Science*, 2009, 323(5916): 905-908.
- [27] KRAMER G Y, KRING D A, NAHM A L, et al. Spectral and photogeologic mapping of Schrodinger Basin and implications for post-South Pole-Aitken impact deep subsurface stratigraphy[J]. *Icarus*, 2013, 223(1): 131-148.
- [28] MELOSH H J, KENDALL J, HORGAN B, et al. South Pole-Aitken basin ejecta reveal the Moon's upper mantle[J]. *Geology*, 2017, 45(12): 1063-1066.

作者简介:

刘建忠(1968-),男,研究员,博士生导师,主要研究方向:比较行星学与深空探测。本文通讯作者。

通信地址:贵州省贵阳市林城西路99号中国科学院地球化学研究所月球与行星科学研究中心(550051)

E-mail: liujianzhong@mail.gyig.ac.cn

Crustal Structure and Spectral Features of Lunar Apollo Basin Region

GUO Dijun^{1,2,3}, LIU Jianzhong^{1*}, HEAD W. James³, LI Shuai⁴, POTTER W. K. Ross³, LIN Honglei^{2,5}

(1. Center for Lunar and Planetary Science, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100014, China;

3. Department of Earth, Environmental and Planetary Sciences, Brown University, Providence 02912, USA;

4. University of Hawaii at Manoa, Honolulu HI 96822, USA;

5. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The pre-Nectarian lunar Apollo impact basin, located inside ancient South Pole-Aitken (SPA) basin, strides the SPA transient cavity and rim. SPA basin is the confirmed largest and oldest basin of the Moon, so the Apollo basin has irreplaceable role in understanding the lunar interior structure and compositions, the local geological processes and the evolutionary history of the Moon. The crustal structure of Apollo region is dramatically asymmetric. It's thickening close to SPA rim and thinning close to SPA center, while the thinnest region is inside peak ring of Apollo basin. The absorption features on spectrum are different at different geologic units either. Exterior Apollo basin, the absorption center at locations close to SPA rim tends to be shorter as the Mg pyroxene, while the absorption center at locations close to SPA center tends to be longer as Ca pyroxene. Inside Apollo basin, the spectral features are varying with different spatial locations and geologic units. The maria show absorption feature of Ca pyroxene while the peak ring appears Mg pyroxene rich. The unique characteristics of Apollo basin such as the thinnest crust, the stratigraphic profile as large as 8 km elevation difference, maria erupted from lunar farside, the well-developed peak ring, make it the most valuable sample-return site.

Key words: Apollo basin; South Pole-Aitken basin; lunar crust; spectrum

High lights:

- The crustal structure of Apollo basin is highly asymmetrical with thicker crust in the north and thinner in the south.
- Outside Apollo basin, Mg pyroxene is rich around SPA basin rim and Ca pyroxene is rich in the region close to SPA center.
- Within Apollo basin, Ca pyroxene is rich in the maria region; on the peak ring, olivine is not detected and the spectral characteristics indicate the existence of Mg pyroxene.

[责任编辑: 高莎, 英文审校: 朱恬]