

# 藏匿在冯·卡门坑南部下方的月球质量瘤

平劲松<sup>1</sup>, 黄倩<sup>2</sup>, 鄢建国<sup>3</sup>, 孟治国<sup>4</sup>, 王明远<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 国家天文台 月球与深空探测重点实验室, 北京 100101; 2. 中国地质大学 地球物理与空间信息学院 地球内部多尺度成像湖北省重点实验室, 武汉 430074; 3. 武汉大学 测绘学院测量与遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430070; 4. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 长春 130026)

**摘要:** 月球着陆探测的候选着陆区域的质量异常分布, 预示着对应区域发生过复杂的动力学演化过程, 存在着异常丰富的物质组成。对月球的质量异常分布或重力场异常的探测是基于绕月卫星重力探测方法获取的, 结合“嫦娥1号”月球探测获得的月球重力场异常模型与地形探测模型的数据, 分析揭示存在于月球背面的质量瘤区域, 研究结果表明: 使用多次任务的数据首次证认了一个位于中尺度撞击区域, 冯·卡门(Von Kármán)撞击坑的南半部和边缘的正下部的质量瘤, 暂定编号CEFC04, 冯·卡门撞击坑是该区域形成后, 又一次大型撞击产生的。这类显著的被藏匿的中尺度月球质量瘤的发现, 对探测研究月球的演化有重要意义。

**关键词:** 月球探测; 质量瘤; 嫦娥1号; 冯·卡门撞击坑

**中图分类号:** P184; P228.3; P228.9; P312; P691  
7777(2018)01-0034-07

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2095-

**DOI:** 10.15982/j.issn.2095-7777.2018.01.005

**引用格式:** 平劲松, 黄倩, 鄢建国, 等. 藏匿在冯·卡门坑南部下方的月球质量瘤[J]. 深空探测学报, 2018, 5(1): 34-40.

**Reference format:** PING J S, HUANG Q, YAN J G, et al. A hidden lunar mascon under the south part of Von Kármán crater[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2018, 5(1): 34-40.

## 0 引言

月球着陆探测的候选着陆区域如果存在显著的质量异常分布, 很可能就预示着该区域曾经发生过复杂的动力学演化过程, 并且因此而存在异常丰富的物质组成。如能够在该类地区开展对月球的着陆采样探测, 可以获得星体不同圈层, 以及撞击小行星的信息。冯·卡门撞击坑具备这些特征, 被选为后续月球探测的着陆备选区域<sup>[1]</sup>。

类地行星或天然卫星的重力场模型是行星科学研究的一个重要组成部分, 是研究固体行星和卫星物理性质及内部结构、起源和演化等科学问题的重要手段。月球是一个与地球类似的固体行星类天体, 作为地球的伴星, 它与地球共同组成地月系统。月球还是人类走向太阳系深空的一个关键的不可或缺的台阶。与地球的探测研究情况类似, 在月球与深空探测中对目标天体的重力场的了解是一个重要的工作, 对月球的质量异常分布或重力场异常的探测是借助绕月卫星重力探测方法获取的<sup>[2]</sup>。实际上数10年来, 在月球和深

空探测任务中, 对月球重力场的探测一直是月球物理和月球动力学领域的一个重要的探测目标, 通常采用星-地链路或者星-星链路的多普勒追踪, 反演重建中心引力天体的重力场分布特性<sup>[2-5]</sup>。

月球重力场的异常分布是月球探测器摄动的主要力源, 精化重力场对高精度的探测器精密定轨以及飞行器着陆等具有十分重要的意义。另一方面, 月球重力场是月球内部质量分布的外部表征, 是揭示月球内部结构与演化过程的重要信息源。在解析月球卫星轨道信息和重力场模型的同时, 还可以解算中心引力体的固体潮参数以估算其弹性响应, 作为确定深部状态的另一个重要的约束条件。由于开展实地重力或地震测量的限制, 结合重力和地形数据开展位场的数值解析进行延拓分析, 是目前研究月球内部结构形成与演化的重要的有效的手段<sup>[2-3, 5]</sup>。

早期的月球重力探测得益于Apollo探月计划和1994年的克莱门汀轨道器。后来美国于1998年发射的LP月球探测计划和日本于2007年8月发射的探月计划“月亮女神号”(kaguya)是专门以月球重力场和测月学探测

收稿日期: 2017-11-11 修回日期: 2018-02-28

基金项目: 国家自然科学基金(41590851); 国家重点基础研究发展计划(2015CB857101)

为主要目标的月球探测器，分别得到了LP165P模型<sup>[2]</sup>和SGM100h模型<sup>[3]</sup>两个精度极高且覆盖全球的月球重力场球谐模型，两者在月球正面符合得很好。前者首次实现了对月球背面的直接测量，而后者实现了全月球重力场和正面高分辨率重力场的观测，在月球背面和两极地区有更高的分辨率和精度。基于对两个模型的分析，还揭示了许多环状包围的中尺度月球质量瘤和月球背面质量瘤，为研究月球壳、幔结构、均衡补偿状态以及月球二分性提供了新的依据<sup>[2-3]</sup>。

## 1 月球的大尺度重力特性

月球重力场是指在以月球为研究对象时，考虑它内部物质分布的不均匀性以及外部几何形状的不规则性而产生的扰动重力场。另外，在月球的演化过程中，逐渐形成了月球物理和形貌的二分性，主导了从月幔到月表的主要的天文和地质特征。在形貌上体现在其正面多月海，地势平坦；背面多高地和撞击坑，地形起伏较大。在重力上正面存在许多较大的质量异常区，而背面的重力异常主要由高地和南极盆地主导。对月球二分形的高精度探测，有利于清晰地揭示月球演化历程。

月球和行星重力场的异常是其星体表面形状的起伏和内部物质密度空间异常分布共同产生的。利用月球重力场并结合其它约束条件，可以为揭示月球内部物理特征、探究月球深部构造及圈层形态、研究早期月球内部物质演化与运动过程提供强有力的证据<sup>[1-2]</sup>。从月球的自由空间重力场异常分布中扣除平均密度条件下地形起伏引起的重力异常部分，就得到了单纯反映地下物质密度分布的重力异常-布格重力异常分布，而布格重力异常分布是研究月球和类地行星内部构造的物理场依据<sup>[2-3, 5-6]</sup>。

经过多年的发展，应用绕月卫星的轨道摄动数据确定月球重力场模型的方法日趋成熟，继美国上世纪末的月球勘察者LP之后，已突破了常规的星-地链路探测模式，采用了“月亮女神号”探测任务的高-低轨道的星-星中继探测<sup>[3]</sup>，以及GRAIL探测任务的低-低轨道的星间链路的重力场探测模式<sup>[5]</sup>，直接探测到了月球背面的重力异常以及超精细超高空间分辨率的月球重力异常。中国的“嫦娥1号”月球探测器，也以其较高的轨道和较长的变轨间隔，类似低通滤波器的效应，优化了月球的低阶重力场<sup>[4]</sup>。20多年来，月球重力场探测研究成果有几个重要里程碑：

1) 1994年，Clementine计划联合Apollo计划解决了月球重力场的有无问题。

2) 1999年，Lunar Prospector探测器低高度飞行

(18~35 km) 的连续测量，解决了月球正面重力场的高分辨率问题。

3) 2009年，SELENE探测计划以高-低卫星中继方式，在100 km高度直接探测了月球背面重力场，顺利解决了月球重力场的全球覆盖问题。

4) 2009年，“嫦娥1号”探测器在170~270 km高度动态范围飞行，高精度测量了月球重力场低频项，新的月球重力场长波部分的精度显著提高。

5) 2012年，GRAIL任务采用低-低卫星跟踪模式在月面上空50 km高度进行探测，解决了月球重力场的精度和超高空间分辨率问题。

从行星科学探测研究的角度考虑，月球形状与重力在大尺度上呈现了相似特性。火星比月球的幔要厚得多，如图1所示，图中给了2000年以前的探测获得的月球和火星的重力场球函数模型的阶方差频谱图，并考虑均一壳层密度给出了地形对应的重力频谱。它们的自由空气重力场异常与地形改正非常类似，表明基于均衡理论可以方便地解释月球和火星壳层的补偿效应。在一定程度上表明月球和火星在太阳系演化过程中具有某种程度的同源特性。

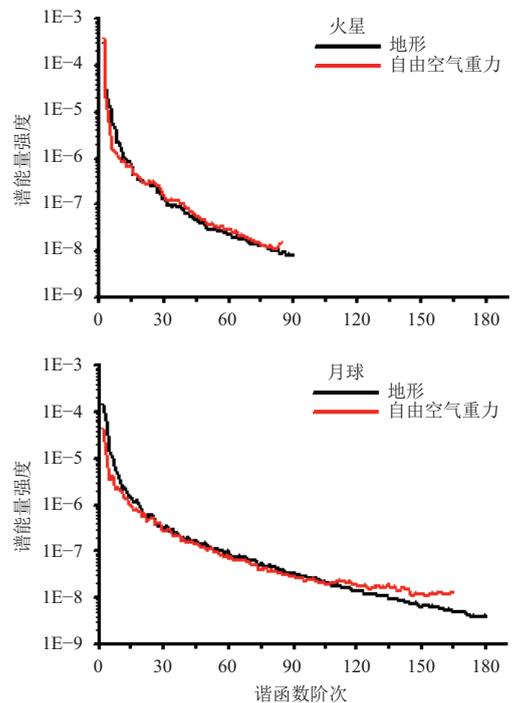


图1 月球与火星的重力异常频谱特性对比

Fig. 1 Comparison of spectrum characteristics of gravity anomalies between the Moon and Mars

2000年之后，“嫦娥1号”“月亮女神号”、GRAIL等绕月轨道器重新优化了月球重力场异常模型，为研

究月球内部构造和演化特征提供了重要的信息和线索。未来月球重力场探测包括两个关键的技术方向：①不同倾角轨道器的组合探测；②低-低与高-低轨道组合链路、星-地链路测量数据的联合解。

“月亮女神号”探测器，首次采用了高轨道中继卫星，对月球背面进行了重力直接探测任务，得到了月球重力场模型SGM100h<sup>[3]</sup>，首次清晰地给出了月球背面重力异常的分布特征，并发现了月球背面的环状包围的质量异常区。如图2所示，“月亮女神号”探测器获得的月球重力场异常模型，对于数百km尺度的质量瘤撞击盆地，中央正异常和环的正异常的显示清晰程度可以与月球正面相媲美。

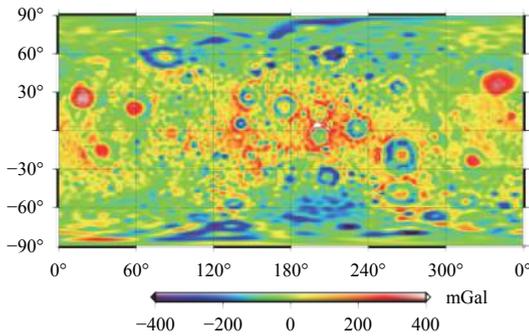


图2 月面上空10 km球面处月球重力场模型的全球重力异常分布  
Fig. 2 Lunar gravity anomaly distribution of 10 km above lunar average surface sphere

“嫦娥1号”月球探测器跟踪测量主要依据中国卫星测控网青岛和喀什两测控站的双程测距测速数据，数据采样率为1 s。重力反演中还使用了“月亮女神号”数据包括中继星、VRAD星及主卫星的双程测距测速数据，中继星与主卫星的四程测速数据，以及由美国JPL/NASA深空网跟踪站获得的Apollo15与16号子卫星、Lunar Orbiter I-V及Clementine等探测器的轨道跟踪数据。此外还包括LP正常任务段跟踪数据。使用这些数据联合解算得到100阶次的CEGM02模型<sup>[2]</sup>。这个模型结果相比于“月亮女神号”探测器模型在10阶以内精度提高1~2倍。图3给出了该模型的频谱分析结果。

“嫦娥1号”CEGM02模型对月球科学研究的可能贡献包括：①显著提高了月球转动惯量的探测精度，推算出更高精度的月核密度；②对月球外核与下月幔的物质状态（非熔融固态、熔融液态、半熔融态）、黏弹性特征有更明确的揭示，初步分析表明更接近半熔融态，预示着在地球和太阳的引潮力作用下，月球内部被长期摩擦加热，依然非常活跃；③揭示更多的潜在的古老撞击坑、质量异常区，对月球的起源、演化过程提供重要的线索。

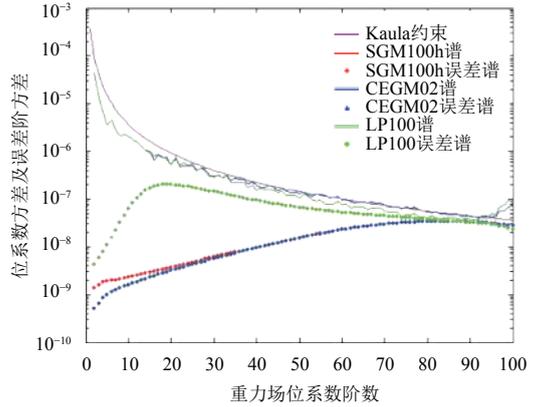


图3 几个月球重力场模型频谱比对

Fig. 3 Power and error spectra for several lunar gravity models.

## 2 “嫦娥1号”探测月球布格重力异常

月球重力场异常是其表面形状的起伏和内部物质密度空间的异常分布共同产生的。Apollo时代从月球探测器飞行轨道的扰动中就发现了存在于月球正面月海区域的多个中心对称、高幅值大质量瘤。这类重力异常多是在小天体对月壳大规模撞击后，由高密度幔物质的反弹隆起和渗入到月表的月海玄武岩充填共同作用的结果。研究这种高密度物质异常成因、来源、空间展布特征以及“质量瘤”盆地的深部结构，可以推测月球的形成与演化历史。

月球重力场与地形数据的组合，可进一步揭示撞击盆地内部结构的均衡和补偿关系<sup>[2]</sup>，揭示月球壳、幔等内部结构。鉴于布格重力异常是研究月球和类地行星内部构造的物理场依据，使用梁青等<sup>[6]</sup>建议的通过布格质量异常判定隐匿的高密度区域的方法，利用“嫦娥1号”月球探测器激光测高仪获得的地形模型CETM-s01<sup>[7]</sup>，分别结合使用SELENE/KAGUYA获得的月球重力场模型<sup>[8]</sup>和CEGM-02月球重力场，扣除了CETM地形模型给出的重力改正部分，得到了月球的布格重力异常。比较表明使用两种不同的重力场模型的结果在中尺度以上一致。在图4中给出了基于CEGM-02月球重力场的结果。

上述分析在月球的背面和边缘区域发现了7个月球质量瘤区域。这些区域都表现出了很强的布格质量异常，表明其内部存在高密度物质。月球背面和边缘的这7个新的月球质量瘤的所在位置如图5所示。这些质量异常区中的3个可以清晰地与其他遥感技术发现的月海盆地或者撞击坑相对应<sup>[8]</sup>，其余4个对应的区域在地形上表现为低洼的海或盆地，在“嫦娥1号”任务之前没有正式或非正式的名称。其中之一与新发现的未命名的大尺度撞击坑相对应，另外3个与未命名的非典型古老撞

击区域相对应。初步分析认为这个质量瘤区域是第二类月球质量瘤异常区。这类中尺度的月球质量瘤的发现，对研究月球的壳幔演化和火成过程很有意义。关于“嫦娥1号”卫星地形和重力数据证认的月球正面布格异常区域将在另文讨论。另外，月球背面的菲兹杰拉德-杰克逊盆地、西拉德坑、阿门德森-甘斯温特盆地的布格质量异常已经有文献讨论。序号7-未命名撞击坑：位于冯·卡门坑的南面，面积的大半被冯·卡门撞击坑覆盖，本文临时编号CEFC04。表 1 为 1~7 号质量瘤概括，其中对未命名的区域也进行介绍，编号为 4~7 号。

月牙形状区域是否是一个独立的撞击坑或者盆地，但给出了导向这个判断的线索。

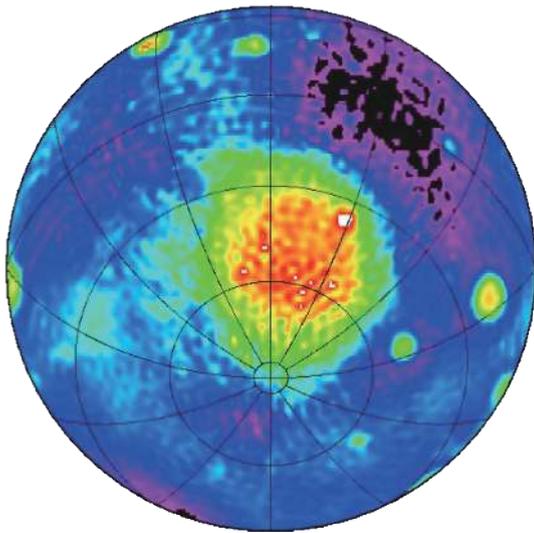


图 4 月球背面南极周边区域布格重力异常分布

Fig. 4 Bugue gravity anomalies at the lunar farside south polar area.

### 3 冯·卡门撞击坑下藏匿的质量异常区

我国月球探测后续的重要里程碑之一的“嫦娥4号”着陆器和巡视器，将于2018年在月球背面南极-艾肯（South-Pole Aitken, SPA）盆地内，候选着陆区域之一是冯·卡门撞击坑。这将是人类首次月球背面的软着陆和巡视勘察，在月球科学探测领域具有极为重要的历史和现实意义<sup>[1]</sup>。

冯·卡门撞击坑位于SPA盆地的中部，纬度跨度为42°S~48°S，经度跨度为172°E~180°E，直径为172 km，中心坐标为（44.8°S，175.9°E）。撞击坑的北部是莱布尼兹撞击坑，东北部是梵森撞击坑，东南部是阿尔德撞击坑。沿着冯·卡门撞击坑整个的南部边缘，有一个月牙形状的尺寸较大的低洼区域。从形貌上看，该月牙形区域的南部圆弧形边缘与其他中尺度撞击盆地的边缘隆起很像；底部平坦光滑，呈现有大尺度的岩浆溢流火成特征。仅仅从形貌角度不能直接断定这个

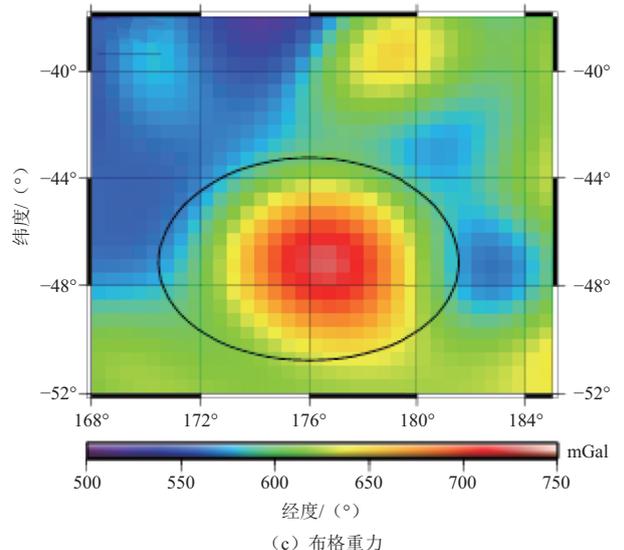
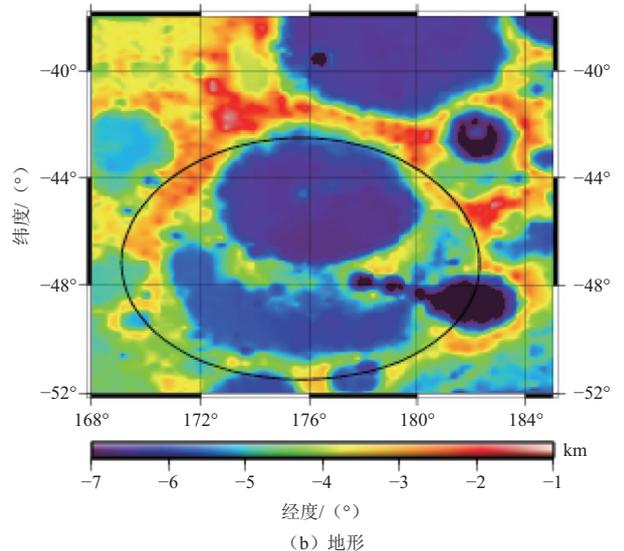
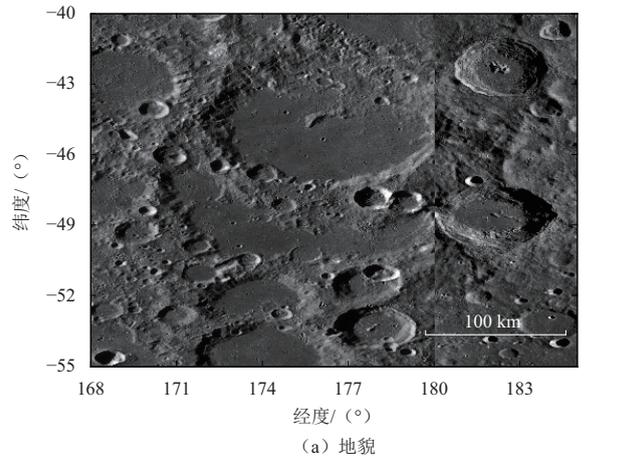


图 5 CEFC04坑地貌、地形和布格重力。

Fig. 5 Tomography, topography and Bugue gravity for CEFC04 area.

如果能够证实这个月牙形状的区域是一个早期的撞击坑,而冯·卡门撞击坑覆盖在其上,那么冯·卡门撞击坑将是该区域最有可能挖掘出月幔物质的区域之一。其峰环、坑内以及溅射毯的撞击熔融层及撞击熔融角砾岩都是很好的月幔物质取样地区。虽然挖掘出的月幔物质可能被月壤及玄武岩覆盖,但后期形成的撞击坑又可重新将较新鲜的月幔物质暴露出来。从这个角度考虑,冯·卡门撞击坑将是探测和研究深部月壳及月幔物质的理想区域。

月球布格重力异常提供了一个关键判据,补充证实了以上关于冯·卡门坑是在月牙形撞击坑形成之后,再一次到来的撞击产生形成的这一推断。理由如下:①通过重力异常分析的统计可以发现,月球表面达到

冯·卡门坑尺度的撞击,一般情况下都会产生显著的重力异常,而冯·卡门坑不存在正下方直接对应的重力异常或质量异常;②表1中编号为CEFC04的撞击坑位于冯·卡门坑的南面,中心位置位于(176E, 47S),是冯·卡门坑的南部边缘;它位于月牙形低洼区域的圆形环中心,这个月牙形区域比冯·卡门坑尺寸略大一些,直径约190 km,低洼处的平均深度约为2.5 km,比冯·卡门坑5 km的深度要浅许多。由于被冯·卡门坑覆盖和侵蚀了一半以上的面积而不便精确获取其中心参考位置和尺度。这个巨大的撞击坑的东面被一组链状撞击侵蚀,显示出其形成时间早于这两个覆盖在其上面的撞击坑,而且除了被上述两个较大的坑侵蚀之外,整体形状相对规则。

表1 “嫦娥1号”绕月卫星在月球背面新证认的质量瘤概况  
Table 1 Lunar middle scale mascons identified at lunar farside

序号	名称及临时编号	中心经纬度/(东经/(°) 北纬/(°))	最大直径/km	高程/km		布格重力/mGal		年代
				外缘	底部	外缘	底部	
1	西拉德坑	105.7, 34.0	122	-1.1	-4.1	50	256	雨海纪
2	菲兹杰拉德-杰克逊盆地	191, 25	470	3.2	-0.6	-226	84	前酒海纪
3	阿门德森-甘斯温特盆地	130, -81	308	-1.0	-3.0	110	370	前酒海纪
4	CEFC01	178, 50	230	2.2, 0.4	-0.3	-130	220	前酒海纪
5	CEFC02	269, 26	310	-0.5	-1.5	24	266	前酒海纪
6	CEFC03	105, 61	290	-3.0	-4.4	140	291	前酒海纪
7	CEFC04	176, -47	190	-4.5	-7	560	722	酒海纪

注:序号4~7为通过质量异常特性新证认的撞击坑,未命名,只给出了临时编号CEFC01~04。

冯·卡门撞击坑南部玄武岩覆盖区年龄为雨海纪。冯·卡门重复撞击到年龄稍老的月牙形的坑上,很有可能穿透了整个SPA盆地月壳,并挖掘出了部分月幔物质。而且这个月牙形的坑的底部有岩浆流覆盖,初步判断其形成比雨海纪早,大致处于酒海纪。从冯·卡门坑边缘被这组链状撞击侵蚀可以判定三者的形成先后顺序是CEFC04、冯·卡门坑、链状撞击坑。前者的布格重力异常在边缘和中心地区差异超过了150 mGal,后两者没有形成质量异常区域。表明,它们在撞击时的剧烈程度比CEFC04要小得多。另外冯·卡门坑有着明显的中央峰结构,CEFC04可能也曾经有过中央峰结构,但在冯·卡门坑撞击形成时被彻底撞毁了。这一组撞击坑所处的区域是月球背面SPA区域富含钽元素和KREEP岩的区域,相比冯·卡门坑的底部钽元素被埋在月壤或岩浆遗迹深处而言,LP的数据显示CEFC04撞击坑处于富钽元素的区域。鉴于整个地区还存在有大量较新的玄武岩<sup>[9]</sup>,可以作为未来月球着陆探测的候选区<sup>[1,10]</sup>。

## 4 讨论

月面撞击盆地或撞击坑的地形通常表现为中圆形凹陷,其典型特征包括外缘的隆起和内部环的峰,有的还存在多重环状结构。形成月面撞击坑的主撞击之后的数十亿年间发生的后续撞击和空间环境变化,可能会对盆地或撞击坑形貌造成破坏和改变。

使用“嫦娥1号”探测器获得的月面地形和优化的月球重力场,在月球背面揭示了7处中等尺度的质量瘤异常区。其中4处之前没有相关的信息,是首次证认。而一处恰好位于冯·卡门坑南部边缘的正下方。地形和重力异常信息表明,冯·卡门坑的撞击过程破坏和改变了在此之前的一个更大规模的撞击产生的撞击坑形貌。由于前一次的撞击已经导致了当地的月壳和月幔的物质重新分布,减薄了月壳并产生了规模较大的质量异常区,后来的撞击形成了撞击坑、破坏了前面撞击坑的边缘和中央峰,未能带来更多的质量瘤内部的来自上月幔的物质的补充。前一期的撞击产生的撞击坑被保留了冯·卡门坑外缘南部的月牙形状的凹陷和显著的

布格质量异常, 即CEFC04撞击坑。这些发现证明“嫦娥1号”月球探测数据在对月球中尺度结构的探测研究中具有独特优势, 新揭示的地形和地貌上隐蔽的质量瘤异常盆地对研究月球的壳幔结构和火成演化过程很有意义。

月球撞击坑记录下了月球内部壳、上月幔等区域的热状态。利用月球重力场并结合其它约束条件, 可以为揭示月球内部物理特征、探究月球深部构造及圈层形态、研究早期月球内部物质演化与运动过程提供强有力的证据。历史上对月球重力场的分析发现, 几乎所有的月球盆地表现出的内部质量显著正异常来源于包括撞击、火山岩或热扰动、岩石圈弹性支撑在内的组合效应。本文的研究结果表明, 在冯·卡门撞击坑开展着陆探测, 有很大的机会可能发现下月壳和月幔物质, 对其探测研究有望填补深层月壳及上月幔研究的空白, 取得对月球早期演化历史的新认识<sup>[10]</sup>。

## 5 致谢

本文研究得到了中国绕月探测工程一期和二期任务的支持; 月球布格重力异常分析工作得到了陈超教授的有益的意见和建议; 部分工作使用IPGP研究所发布的SHTOOL工具软件包进行了比较和确认, 感谢苏晓莉博士对本文数据分析的建设性意见; 感谢二位匿名审稿人的建设性意见。

## 参 考 文 献

- [1] 吴伟仁, 王琼, 唐玉华, 等. “嫦娥4号”月球背面软着陆任务设计[J]. 深空探测学报, 2017, 4(2): 111-117.  
WU W R, WANG Q, TANG Y H, et al. Design of Chang'e-4 lunar farside soft-landing mission[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2017, 4(2): 111-117.
- [2] KONOPLIV A S, ASMAR S W, CARRANZA E, et al. Recent gravity models as a result of the lunar prospector[J]. mission, Icarus, 2001, 150: 1-18.
- [3] MATSUMOTO K, GOOSSENS S, ISHIHARA Y, et al. An improved lunar gravity field model from SELENE and historical tracking data: Revealing the farside gravity features [J]. J. Geophys. Res., 2010, 115: E06007, doi: 10.1029/2009JE003499.
- [4] 鄢建国, 平劲松, Matsumoto K等. “嫦娥”一号绕月卫星对月球重力场模型的优化. 中国科学: 物理学力学天文学, 2011, 41(7): 870-878  
YAN J G, PING J S, MATSUMOTO K, et al. Optimization on lunar gravity field model using Chang'E-1 orbital tracking data[J]. Sci Sin Phys Mech Astron, 2011, 41: 870-878, doi: 10.1360/132010-868.
- [5] KONOPLIV A S, PARK R S, YUAN D N. High-resolution lunar gravity fields from the GRAIL primary and extended missions[J]. Geophys. Res. Lett., 2014, 41: 1452-1458.
- [6] 梁青, 陈超, 黄倩, 等. 基于“嫦娥”一号地形数据的月球布格重力异常与撞击盆地演化. 中国科学G 辑: 物理学力学天文学, 2009, 39(10): 1379-1386.  
LIANG Q, CHEN C, HUANG Q, et al. Bouguer gravity anomaly of the Moon from CE-1 topography data: Implications for the impact basin evolution[J]. Sci Sin Phys Mech Astron, 2009, 52(12): 1867-1875.
- [7] 平劲松, 黄倩, 鄢建国, 等. 基于嫦娥一号卫星激光测高观测的月球地形模型CLTM-s01[J]. 中国科学G辑: 物理学力学天文学, 2008, 38(11): 1601-1612.  
PING J S, HUANG Q, YAN J G, et al. Lunar topographic model CLTM-s01 from Chang'E-1 laser altimeter[J]. Sci China Ser G-Phys Mech Astron, 2009, 52(7): 1105-1114.
- [8] 平劲松, 苏晓莉, 鄢建国, 等. “嫦娥”-1号探测数据新证认两个月球背面质量瘤区域[J]. 天文与天体物理, 2013, 1, 39-44.  
PING J S, SU X L, YAN J G, et al. Two lunar far-side bga mascons identified by Chang'E-1[J]. astronomy and astrophysics, 2013, 1: 39-44.
- [9] PASCKERT J H, HIESINGER H, BOGERT C H V D. Lunar farside volcanism in and around the South Pole-Aitken Basin[J]. Icarus, 2017, 299: 538-562.
- [10] 肖龙, 乔乐, 肖智勇, 等. 月球着陆探测值得关注的主要科学问题及着陆区选址建议[J]. 中国科学: 物理学力学天文学, 2016, 46(2): 029602.  
XIAO L, QIAO L, XIAO Z Y, et al. Major scientific objectives and candidate landing sites suggested for future lunar explorations[J]. Sci Sin-Phys Mech Astron, 2016, 46(2): 029602.

作者简介:

**平劲松**(1968-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: 射电天文学、天体测量与天体力学、空间大地测量学、月球深空探测、天文地球动力学。

通信地址: 北京市朝阳区大屯路甲20号中国科学院国家天文台(100101)

电话: (010)64881147

E-mail: jsping@bao.ac.cn

## A Hidden Lunar Mascon Under the South Part of Von Kármán Crater

PING Jinsong<sup>1</sup>, HUANG Qian<sup>2</sup>, YAN Jianguo<sup>3</sup>, MENG Zhiguo<sup>4</sup>, WANG Mingyuan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Lunar and Deep Space Exploration, National Astronomical Observatory, CAS, Beijing 100101, China;

2. Hubei Subsurface Multi-scale Imaging Key Laboratory, Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430070, China;

4. College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China)

**Abstract:** At a candidate area of lunar landing mission, a mascon anomaly may indicate historical complicated evolution of dynamics, and fruitful material composition. The lunar mascon distribution is usually obtained by means of satellite gravity method. The obtained gravity field information combined with the lunar topography information both from CE-1 lunar orbital mission show that a middle scale mascon is just under the south half part of the Von Kármán Crater. This means that Von Kármán Crater is a younger crater following the older one. The discovery of this hidden middle scale mascon will benefit the study of lunar evolution, and also benefit the exploration of Von Kármán Crater in future Chang'E mission.

**Key words:** lunar exploration; mascon; Chang'e-1; Von Kármán crater

**High lights:**

- Von Kármán Crater is one of the candidate landing sites for Chinese lunar farside landing mission.
- Middle scale lunar gravity field and topography can uncover the large mascon as well as the hidden mascon under the surface.
- Topography images show that the Von Kármán Crater area is covered another larger depression area partly.
- The large positive mascon anomaly concentration of this double depressions is co-incident with the lower covered one. This means that Von Kármán Crater is a younger crater following the older one.
- The newly discovery of this hidden middle scale mascon will benefit the study of lunar evolution, and will also benefit the exploration of Von Kármán Crater in future Chang'E mission.

[责任编辑: 宋宏, 英文审校: 朱恬]