

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2019.04.014

## 月球的事为啥需要地质学家来解决?

杨 焯<sup>1</sup>, 张宗言<sup>2\*</sup>, 李仰春<sup>3</sup>

(1.中国地质大学(武汉)地球科学学院, 武汉 430074; 2.中国地质调查局武汉地质调查中心, 武汉 430205;  
3.中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

关键词: 月球探测; 月壤演化; 氦-3

中图分类号: P5

文献标识码: E

文章编号: 1007-3701(2019)04-0514-04

1972年12月11日,阿波罗17号缓缓降落在月球表面金牛座利特洛峡谷,宇航员工作小组由指令长尤金-塞尔南、指令舱驾驶员罗纳德-埃万斯和登月舱驾驶员哈里森·施密特组成。两名宇航员在那里进行了三次月面活动总计时长22小时,并采集了243磅的岩石,这也是阿波罗计划中的最后一次任务。施密特于1964年在哈佛大学获得地质学博士学位。在阿波罗计划里,他长期为宇航员讲解地质课程,来培训宇航员的地质技能。本来NASA计划让他在阿波罗十八号登陆月球,可是阿波罗十八号计划取消,于是他提前担任阿波罗十七号的宇航员。哈里森·施密特最终成为了第一个,也是迄今为止最后一个登陆月球的地质学家。

人们不禁要问为什么要让一位地质学家登陆月球,而不是天文学家或者其他科学家呢?那月球的研究领域有什么需要地质学的地方呢?

其实,探测月球需要解决的很多科学问题就是地质学问题,比如,月球的土壤成分是什么?月球内部的圈层结构是如何的?月球上有什么我们可以利用的资源?这些问题,美国和前苏联做了详细的调查,但是除了这些还有一些尚未解决的问题,这也是我们中国的探月工程正在做的事情。首先,我们先来简要回顾一下嫦娥工程。

### 嫦娥一号 & 二号

嫦娥一号和二号分别于2007年10月24日和2010年10月1日发射升空,这两颗卫星的主要探测目的是获取月球表面的综合遥感观测数据,包括



图1 最后一个登陆月球的地质学家—哈里森·施密特

基金项目:中国地质调查局基础地质调查项目(DD20190415, DD20190047)资助

第一作者:杨焯,(1997—)中国地质大学(武汉),研究生在读

\*通讯作者:张宗言,(1985—)中国地质调查局武汉地质调查中心,工程师,从事区域地质调查和第四纪地质研究, E-mail: conodonts@163.com

月球的影像、高程、成分数据,以及和后续工程设计相关的实验数据。

嫦娥一号和二号提供的数据为后续嫦娥三号和四号的登月提供了有效的数据支撑。

### 嫦娥三号 & 四号

2013年12月14日,嫦娥三号探测器带着玉兔一号月球车奔向了月球。嫦娥三号探测器是中国第一个月球软着陆的无人登月探测器,而其搭载的玉兔一号是中国首辆月球车。玉兔一号虽然因为机械故障,仅仅走了两个月球日就停下了脚步,但是月球车上搭载的科学仪器仍然在运转,并且获取了很多具有重要科研意义的的数据。

2019年1月3日,嫦娥四号降落在南极-艾特肯盆地冯·卡门撞击坑里,玉兔二号从嫦娥四号里缓缓走出来。这是人类历史上第一次有探测器登陆到月球的背面。玉兔二号如今仍然在工作,并且产生了非常多的科研数据。

玉兔一号和玉兔二号上搭载的探月雷达和近红外光谱仪是众多明星载荷之一,那这些仪器产生的数据到底解决了关于月球或地球地质学的什么问题呢?下面我来给大家一一介绍。

### 探月雷达(Lunar Penetrating Radar)

探月雷达其原理与雷达一样,由发射端发出电磁波,电磁波经反射回来,被接收端接收。探月雷达收到的信号与介质有关,介质不同,反射的信号就会有不同的反应<sup>[1]</sup>。

探月雷达由中国科学院电子学研究所研发。这个雷达有两种频率信号通道,分别是发射100 Hz电磁波棒状天线的通道一和玉兔号月球车底部发射400 Hz蝶形天线的通道二,其中100 Hz的通道

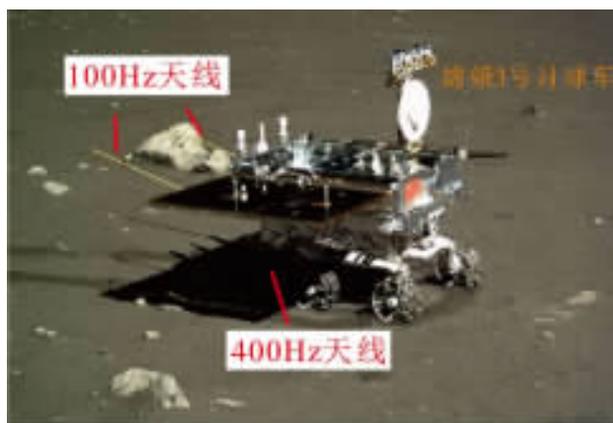


图2 嫦娥3号月球车

一探测深度最深可达400 m,能够显示深度达400 m的地下结构,但在细节上结构不能显示得很清楚。而通道二能够更加详细地显示12 m的次表面结构,其分辨率更高。

知道了探月雷达的厉害,那到底月球的地下隐藏着什么呢?探月雷达获得的地下层状结构,我们该如何解释或说明它呢?这就需要我们的地质学帮忙了。

嫦娥三号着陆区,也就是后来被命名为广寒宫的地区,位于北纬44.12°,西经19.51°的一片月海上。月海指月球月面上、被玄武岩填充的、地势比较低洼的平原区域,即肉眼看到的月球表面的黑色斑块区域。虽然玉兔1号只走了百来米,但嫦娥三号上探月雷达获取的数据揭示了月海内部浅层地壳的复杂地下结构。也就是说,我们可以知道广寒宫地下400 m的地质结构到底如何,和地球相比怎么样。

通过上面这张雷达数据图,我们可以构建广寒宫地下400 m的地质模型图。他可以告诉我们月球表面岩浆的喷发范围、作用方式和填充历史。而且我们可以利用通道二高精度的雷达数据对33亿年以来的厚度并不是很深的风化层的演化历史做推断。

这些岩浆作用和风化作用,在咱们地球上也是无时无刻正在发生着的。这也就是为什么地质学也能应用到月球上的原因之一。

### 近红外光谱仪

可见光和近红外光谱仪安装在月球车正前方,就像一只敏锐的眼睛,将仔细察看月面的矿物组成。不同的矿物呈现的可见光和近红外光谱是不同的,反之亦然。我们可以通过建立不同的矿物组成模型来看看样品和哪个模型更为吻合。这样我们就可以模拟出月壤和我们地球上哪些物质组成最为接近。

嫦娥四号着陆区的月壤成分明显不同于嫦娥三号着陆区的月海玄武岩,其中含有低钙辉石,并可能有大量橄榄石存在。这些矿物是产生在特殊环境或深度下的矿物,矿物组合指示其很可能源于月幔物质。

那么为啥它会来到玉兔二号的脚下,被发现了呢?李春来<sup>[2]</sup>在不久前发表的一篇Nature中指出可能在南极-艾特肯盆地形成后,它继续遭到小天体撞击形成更多的小撞击坑。而当芬森撞击坑形成时,有可能撞穿了月壳,也就是说月幔物质是被挖

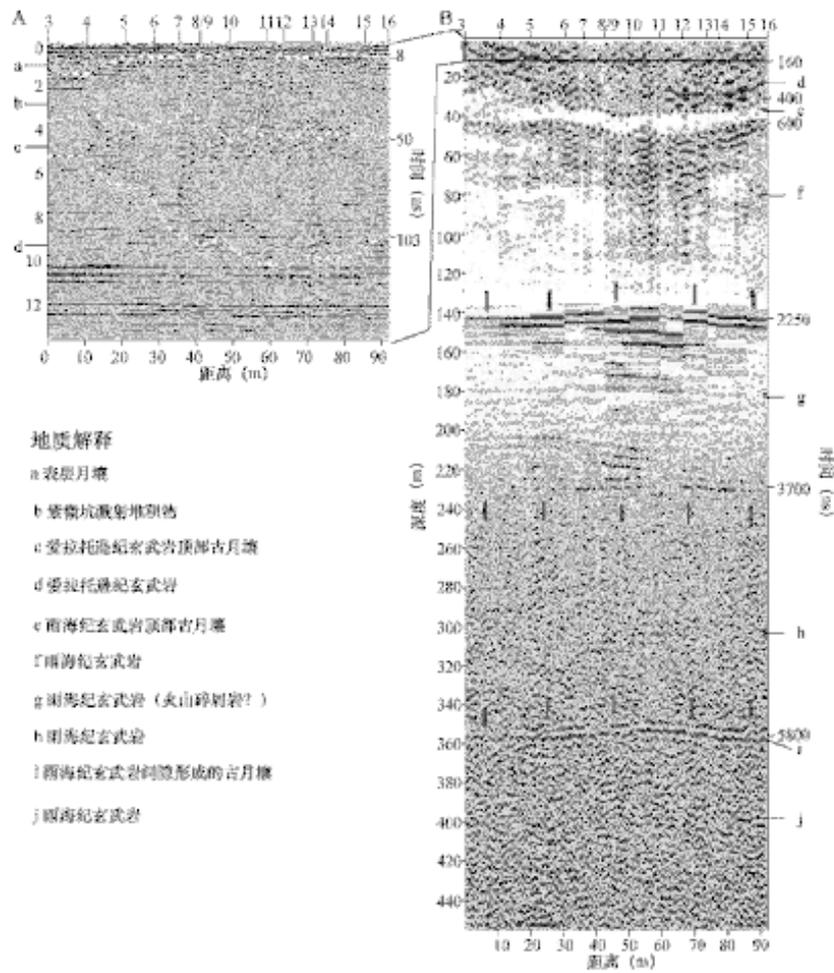


图3 嫦娥三号探月雷达频道一和频道二的地质解译图<sup>[2]</sup>

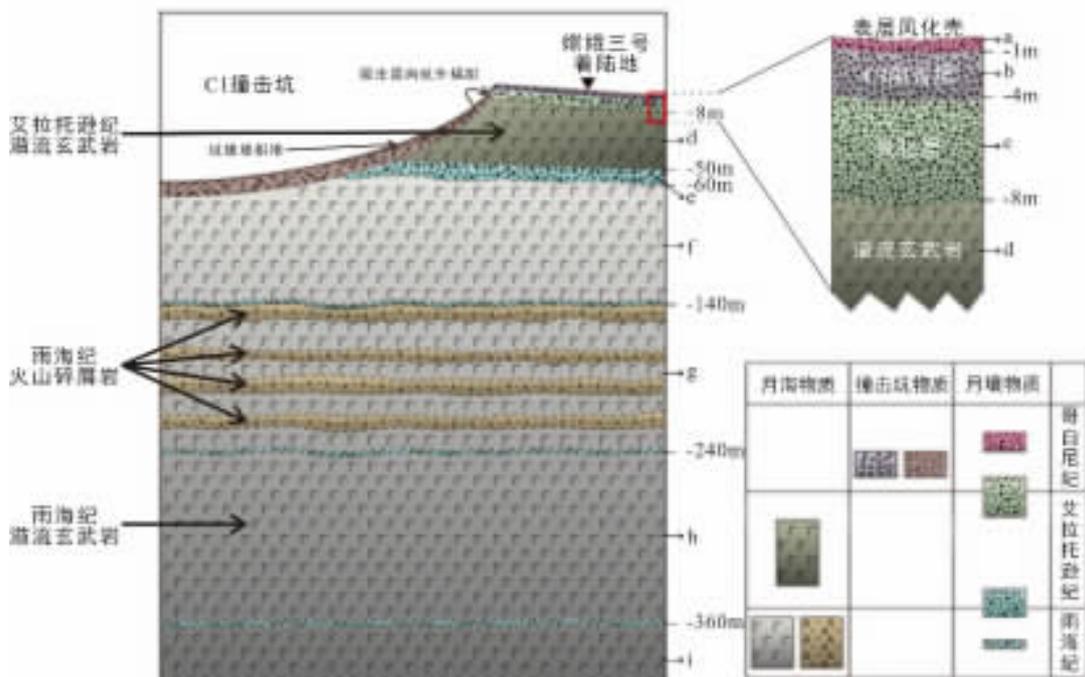


图4 绘制的地质横截面和嫦娥三号着陆点的推断轮廓<sup>[2]</sup>



图5 月球车(拍摄:中国科学院上海技术物理研究所)

掘出来并抛射到了冯·卡门撞击坑(也就是玉兔二号的着陆地)。冯·卡门撞击坑产生于 38 亿年前,这里是月球上最古老的撞击坑之一,所以科学家才会选点在这里,并最终发现了月幔物质。可以说在地球上,这样能挖掘到幔源物质的撞击坑是很罕见的了。

### 月球氦-3 资源

嫦娥工程不仅仅是中国的一项伟大的科学探索活动,在人类外太空探索历史上也是具有里程碑意义的。

月球拥有很多的氦-3 资源,而地球上氦-3 的储量跟月球相比简直就是小巫见大巫了,这种资源被认为是未来核聚变的重要能源材料。氦-3 核聚变反应与一般的核聚变反应不同,它具有最重要的几个特质——安全、高效、环保。只需要 20 吨的氦-3 进行核聚变就可以满足现今人类一年的用电量。而目前月球上氦-3 的储量至少可以满足人类一千年的能源需求,所以,可以说月球将是未来的“波斯湾”。

而氦-3 的勘探、开采就需要地质学发挥很大

的作用。而且嫦娥工程在对月球氦-3 储量测量的工程中发现,氦-3 的储量可能还会更高。而且将其运输回地球的成本与其能产生的价值几乎不值一提,只不过现在核聚变还未能投入商用。所以未来人类很有可能在月球上建立氦-3 的采集、提纯、运输等一体化的月球基地。因此,地质勘探在获取资源前是必不可少的。

嫦娥工程的科研任务很大一部分就是解决地质问题。这里的地质不仅仅是地球的地质,而是更广泛的概念。作为嫦娥工程首席科学家的欧阳自远院士说过要跳出地球看地球。只有更好的了解地球以外的宇宙,我们才能更好的了解我们自己所处的地球。希望我们有生之年可以看到人类能够跨出我们的地球家园,走向更加遥远的宇宙。

### 参考文献:

- [1] 丁春雨,封剑青,郑磊,戴舜,邢树果,肖媛,苏彦.雷达探测技术在探月中的应用[J].天文研究与技术,2015,12(2):228-242.
- [2] Xiao L, Zhu P M, Fang G Y, Xiao Z Y, Zou Y L, Zhao J N, Zhao N, Yuan Y F, Qiao L, Zhang X P, Zhang H, Wang J, Huang J, Huang Q, He Q, Zhou B, Ji Y C, Zhang Q Y, Shen S X, Li Y X, Gao Y Z. A young multilayered terrane of the northern Mare Imbrium revealed by Chang'E-3 mission[J]. Science, 2015, 347(6227):1226-1229.
- [3] Li C L, Liu D W, Liu B, Ren X, Liu J J, He Z P, Zuo W, Zeng X G, Xu K, Tan X, Zhang X X, Chen W L, Sha K, Wen W B, Su Y, Zhang H B, Ouyang Z Y. Chang'E-4 initial spectroscopic identification of lunar far-side mantle-derived materials[J]. Nature, 2019, 569(7756): 378-382.