



嫦娥五号任务月球样品存储处理制备方法研究

张广良^{1,2}, 张洪波^{1,2,3*}, 李春来^{1,2,3}, 刘建军^{1,2,3}, 周琴^{1,2}, 刘斌^{1,2}, 刘大卫^{1,2}, 董铭淳^{1,2}, 左维^{1,2}, 任鑫^{1,2}, 汪赞^{1,2,3}

1. 中国科学院国家天文台, 北京 100101;
2. 月球与深空探测重点实验室, 北京 100101;
3. 中国科学院大学, 北京 100049

*联系人, E-mail: zhb@nao.cas.cn

收稿日期: 2022-07-15; 接受日期: 2022-08-26; 网络出版日期: 2023-02-17

中国科学院重点部署项目(编号: ZDBS-SSW-JSC007-1)和国家自然科学基金(编号: 11941002)资助

摘要 嫦娥五号任务实现了我国首次月面自动采样返回, 地面应用系统承担了样品的存储处理和研究任务, 建设的样品实验室能够集中存储、处理和制备原始月球样品, 实现了月球样品的地面高纯氮气环境长期存储和处理。嫦娥五号任务获得的样品包括两类: 表取样和钻取样, 本文针对不同样品进行了详细的存储、处理、制备方法和流程研究。样品进入地面应用系统月球样品实验室后, 分为样品处理、样品存储和样品制备三个阶段进行工作, 包括密封封装装置解封、样品分样(钻取样分样和表取样分样)、样品存储(表取样存储和钻取样存储)和样品制备等流程。其中, 通过封装装置解封处理, 顺利取出表取样和钻取样初级密封容器。通过表取样和钻取样分样操作, 获得了永久存储样、异地备份存储样、工程展示样和科学研究样等。这些样品按照本文的存储方法被分别存储在不同位置的不同设备中。而科学研究样和部分工程展示样按照本文的制备方法被制成光片样, 保证能够获得基础样品信息的同时, 又不会破坏样品的最初特征。制备的样品将用于月球样品基本物理化学性质分析和基本特征信息描述, 为后续月球样品的科学研究提供重要的样品信息和技术支撑。

关键词 嫦娥五号任务, 月球样品, 样品存储, 样品处理, 样品制备

PACS: 01.52.+r, 06.30.-k, 06.60.-c

1 引言

探月工程三期嫦娥五号任务实现了我国首次月球取样返回、地月往返太空飞行和软着陆、月球样品采集和地面存储任务, 以获取月球样品并返回为成功标志, 同时开展月球科学探测和月球样品地面分析研究。

在对月球返回样品开展科学研究之前, 如何最大限度地保证月球样品不受地球因素的影响是一个非常关键的问题^[1-3], 需要长期稳定保持一种特殊的样品存储和处理环境^[4-6]。美国NASA为保存月球探测获得的样品, 在1979年建设了月球样品实验室设施^[1,5], 主要目的是保存阿波罗样品和未来采集的月球样品, 设施

引用格式: 张广良, 张洪波, 李春来, 等. 嫦娥五号任务月球样品存储处理制备方法研究. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2023, 53: 239606
Zhang G L, Zhang H B, Li C L, et al. Study on the storage, processing and preparation of lunar samples returned by the Chang'E-5 mission (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2023, 53: 239606, doi: 10.1360/SSPMA-2022-0288

将最大限度为月球样品提供无污染的环境^[1,6]. 在我国嫦娥五号任务中, 作为工程五大系统之一的地面应用系统承担了月球样品的存储、处理和研究任务, 建设了样品实验室. 为了使样品的存储、制备及处理过程中环境条件尽量接近月球表面环境, 因此建设月球样品存储、处理和制备实验室及样品存储、处理的专用设施^[7], 并利用月球样品实验室, 集中存储、处理和制备了原始月球样品, 实现月球样品的高纯氮气环境长期存储、处理, 保证样品处理过程中不受到污染和其他物理、化学风化, 为月球样品的分析测试和长期科学研究提供基础保障设施.

在月球样品实验室建设的基础上, 地面应用系统需要完成样品在地面的存储、处理和制备, 并提供月球样品在地面存储、处理和制备过程的环境条件和安全保障. 本文基于嫦娥五号任务研制过程中对月球样品存储和处理制备方案的设计和研究, 系统介绍了样品在实验室内的存储处理和制备的一般性流程.

2 样品类型

借鉴阿波罗任务的经验^[8-15], 我国探月工程三期采取两种取样方式进行样品采集, 即: 表面铲取和岩芯钻取. 获取的样品也分为两种: 表取样和钻取样.

(1) 表取样. 主要指月球表面出露的样品, 研究重点主要为月表最新沉积或出露岩石, 并根据所获样品开展月球形成和演化历史的研究. 通过铲取的方式可以同时得到月球表面的大块岩石和细颗粒月壤样品, 满足采样勘探的基本科学目标. 地质学家和天体化学家一般认为: 大块岩石的研究意义要大于细颗粒月壤的研究意义^[2,16], 如测试岩石物性需要较大块的岩石(直径~cm级别). 因此, 铲取采样所得到的大块样品比只选取细粒月壤样本有更大的科学回报. 铲取采样还能作为钻取采样所得到的岩芯样品提供地质背景资料.

(2) 钻取样. 主要指利用钻探技术获取月球风化连续沉积剖面的样品, 研究重点是表面风化沉积历史特征. 通过钻取方式可以取得月表地下一定深度的岩芯样品. 美国和苏联取得的岩芯样品只占全部月球样本总重量的5.2%, 但被证明极有研究价值^[16-18]. 钻取样可以提供最可靠的月壤演化信息, 是研究月壤垂直层理结构和月壤物理化学性质随深度变化的唯一直接样品, 可以提供月壤结构和层理变化的可靠信息, 对恢复

月球撞击历史、太阳活动记录和宇宙射线暴露历史等具有重要意义^[19,20]. 可以帮助我们详细研究月壤的性质和评估He3的可开采性等资源利用价值^[2]. 还可以反演月表的陨石和微陨石撞击历史以及研究太阳风和宇宙射线对月表的空间风化作用^[20].

3 样品处理存储制备阶段划分

根据探月工程的总体要求, 探月工程三期地面应用系统承担着从探测器系统接收月球样品, 建立月球样品的本地永久存储和异地容灾备份存储专用设施及实验室, 对月球样品进行地面长期存储, 开展样品制备、处理等任务. 为保障任务的顺利完成, 避免月球样品返回后受到风化和各种物理化学过程的影响, 地面应用系统已建立了包括样品处理与物性分析室、样品展示间、样品存储与解封室、电子探针分析室、样品制备室、超纯水制备间、气瓶间、质谱分析室、光谱分析室以及监控室等构成的月球样品实验室, 用以实现样品处理、样品存储、样品制备及环境保障功能. 样品返回后包括样品转运、封装装置解封、样品分样、制备、存储等相关阶段. 为充分保障月球样品返回进入月球实验室后的安全及保障后续对月球样品科学研究工作的顺利开展, 地面应用系统对月球样品返回实验室后的处理、存储和制备进行了流程研究和设计.

样品进入地面应用系统月球样品实验室后, 可分为样品处理、样品存储和样品制备三个阶段(表1).

(1) 样品处理阶段

样品处理包括封装装置解封、表取样分样和钻取样分样三方面内容.

(i) 封装装置解封

首先对封装装置进行预处理, 拆除封装装置附件, 然后将封装装置送入解封操作台操作舱并安装解封工装, 再将封装装置送入解封舱解封, 同时进行气体收集. 完成解封后, 封装装置重新被送回操作舱, 取出表取和钻取样初级密封容器.

(ii) 表取样分样

利用表取样解封工装打开表取样初级密封容器, 对表取样品进行收集, 并将表取样品分为永久存储样、异地备份样、科学研究样(未分选)、科学研究样(分选)和钻取样, 同时完成对每种样品的称重、描述和编目.

表 1 月球样品存储处理与制备阶段

Table 1 Task contents and corresponding criteria for task completion

任务阶段	任务内容	完成标志
样品处理	封装封装装置解封	打开密封封装装置, 取出表取样和钻取样初级密封容器
	样品分样	分出永久存储样、科学研究样等
	表取样分样	分出永久存储样、异地备份样、科学研究样等
样品存储	钻取样存储	永久存储样转移至永久存储室钻取样存储装置中 科学研究样等转移至临时存储钻取样存储装置
	表取样存储	永久存储样转移至永久存储室表取样存储装置中 科学研究样转移至临时存储室表取样存储装置中; 异地备份样转移至临时存储室表取样存储装置中等待进一步转移
	注胶坯体制备	根据分析设备的制样要求, 对月球样品进行挑选、分样、固定、压片, 或制成光片/光薄片等
样品制备	光胶样制备	将月球样品封装于光胶样中用于研究、展示、教育等

(iii) 钻取样分样

将钻取样软袋前端从钻取样初级密封容器拉出, 利用钻取样截取和剪切工装对钻取样每隔 15 cm 进行截断, 从每段样品中分样出异地备份样和科学研究样, 剩余为永久存储样.

(2) 样品存储阶段

样品存储包括表取样存储和钻取样存储两方面内容:

(i) 表取样存储

利用转移箱将分出的永久存储样从解封操作台中移出并转移至永久表取样存储装置中.

利用转移箱将分出的异地备份样、科学研究样(未分选)、科学研究样(分选)、岩屑样从解封操作台转移至临时表取样存储装置中.

(ii) 钻取样存储

利用转移箱依次将截断分样后的永久存储样从解封操作台中移出, 并转移至永久钻取样存储装置中, 各段按顺序排放且保持原始钻取样层序.

利用转移箱将截断分样后的异地备份样、科学研究样从解封操作台中移出并转移至临时钻取样存储装置中.

(3) 样品制备阶段

从科学研究样中挑选单矿物、玻璃或岩屑颗粒, 将单矿物或玻璃颗粒/粉末样/岩屑样放入注胶模具中并注胶, 对注胶模具进行抽真空, 待注胶模具被烘干后, 从注胶模具中取出注胶坯体, 并进行表面磨制、抛光, 制作成光片.

4 样品处理

样品处理过程中主要使用的是氮气环境, 样品在氮气保护下不会受到大气中水和氧的侵蚀和污染.

(1) 封装装置解封

样品进入实验室后, 首先要实现封装装置的解封. 地面应用系统根据封装装置特点, 建立原始样品解封的条件进行解封, 并对样品进行收集, 获得原始月球样品.

密封封装装置解封过程是锁紧过程的逆过程, 需要将锁紧盘沿密封容器螺旋槽逆时针旋转. 由于密封后锁紧机构处于锁紧状态, 所以须先将锁紧机构拆除, 才能旋转锁紧盘, 实现盖体解封. 为确保密封封装装置密封漏率不受影响, 设计了专用的预处理工装, 保证盖体与密封容器刀口密封面无相对位置变化.

解封的流程包括六个步骤:

(i) 封装装置预处理任务是在月球样品实验室洁净大气环境中, 拆除密封封装装置附件, 包括: 盖体及限位开关的防尘罩、火工作动器、弹簧组件、悬臂支架等.

(ii) 封装装置转移至解封操作台过渡舱, 并关闭舱门进行气压平衡.

(iii) 封装装置转移至解封操作台操作舱, 安装解封工具.

(iv) 封装装置转移至解封舱, 固定后移至解封舱内.

(v) 在真空环境中对封装装置进行解封并收集

气体.

(vi) 封装装置解封后返回操作舱, 取出表取样和钻取样的初级封装容器.

上述涉及的解封内容如图1所示.

通过封装装置的结构分析和解封操作台的功能分解, 上述解封方案能够在避免月球样品不受大气污染的前提下, 顺利完成封装装置解封, 获得表取样初级密封容器和钻取样初级密封容器, 完成样品气体回收, 为后续样品分样奠定了基础.

(2) 钻取样分样

嫦娥五号任务钻取样需要进一步解封打开, 解绕获得钻取样品软袋; 其后利用钻取样截取和剪切装置将软袋分段截断、然后逐一纵向剖开露样品; 最终, 通过分样操作获得各类样品, 包括科学研究样和永久存储样.

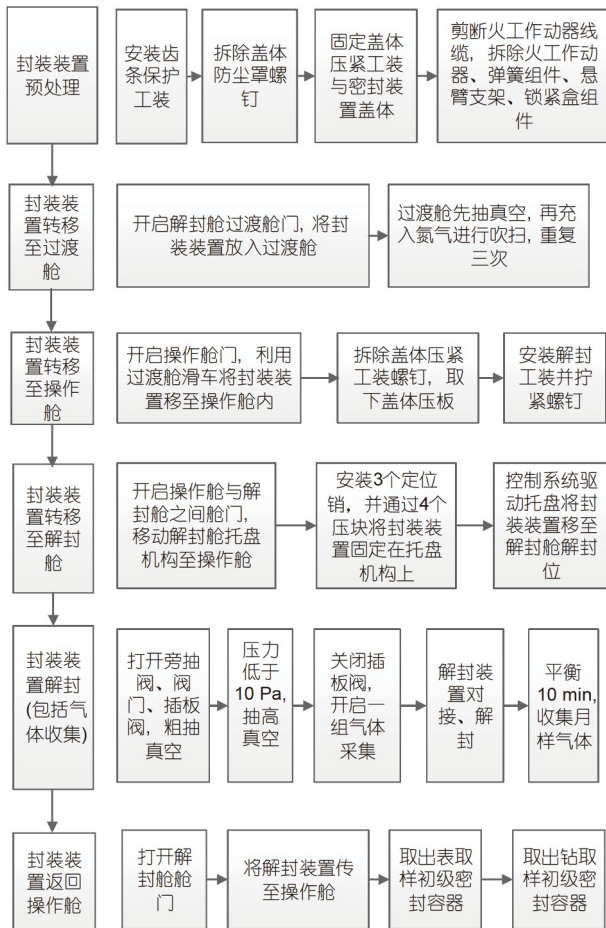


图 1 样品密封封装装置解封流程图

Figure 1 Unsealing flow chart of sealed packaging device.

钻取样的分样流程包括三个步骤:

(i) 用工具打开钻取样密封封装容器, 取出钻取样品软袋.

(ii) 将钻取样截断并转移至钻取样临时存储装置内.

(iii) 对钻取样以固定长度间隔均匀取样, 获取钻取样的科学研究钻取样, 剩余样品为永久存储钻取样.

钻取样分样内容如图2所示.

钻取样品分样后, 钻取样软袋共截断成11段, 每段长度为15 cm. 分样后的钻取样品, 将被送入样品存储装置内进行存储. 解封和分样处理后获得的钻取样总重量约264 g.

(3) 表取样分样

表取样初级密封容器需要进一步进行封盖解锁, 然后利用样品勺等工具将表取样转移至大量程样品盒. 最后, 对表取样进行分样, 获得各类样品, 包括永久存储样、异地容灾备份存储样、科学研究未分选样、岩屑样和科学研究分选样.

表取样分样内容包括三部分:

(i) 利用专用工具打开表取样初级密封容器封盖.

(ii) 将表取样统一收集到一个样品盒内, 进行称重和手标本描述.

(iii) 依据表取样净重计算各类型样品分样重量并进行分样, 获得永久存储样、异地容灾备份存储样和科学研究样.

月球样品分样方法使用的是类四分法, 将表取样

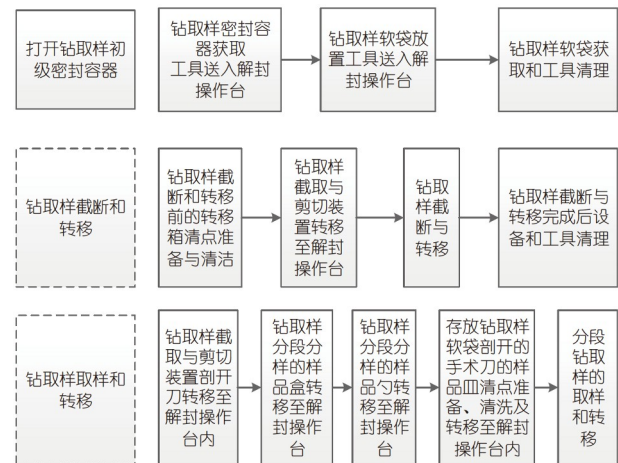


图 2 钻取样分样流程图

Figure 2 Flow chart of division of drilled lunar samples.

分为10份, 分别放置在10个样品瓶中. 最终, 表取样分样获得了10个月壤样品和123颗岩块样品, 总重量约1467 g.

表取样分样内容如图3所示.

完成分样操作后, 依次将装有样品的永久存储样品盒、异地容灾备份存储样品盒和科学研究样品盒放置到天平上进行称重转移至表取样临时存储装置内, 供后续分发研究使用.

分样后, 为便于使用样品, 采用标识码对嫦娥五号任务月球样品进行编码. 标识码为月球样品的唯一标识, 采用字母和数字组合的复合编码, 分为六段, 编码长度不固定, 不同样品长度有所区别, 编码最长为16位, 最短为13位. 其中, 编码前三位为探测任务代号, 例如“CES”代表嫦娥五号任务; 编码第四位为采样方式, 取值为“C”或“Z”, “C”代表铲取样, “Z”代表钻取样; 编码第五位至第八位为分样份数, 第五位和第六位代表第一次分样份数, 第七位和第八位表示第二次分样份数; 编码第九位和十位代表基础用途, 采用两位字母标识, “YC”代表永久存储样品和备份永久存储

样品, “YJ”代表研究样品, “GY”代表公益样品; 编码第十一至十二位, 为四级分类标识, 永久存储样品为“BJ”, 备份永久存储样品的取值为“HN”, 研究样品为“YX”和“FM”, 代表研究样品的岩屑样和粉末样; 编码第十三至第十五位为样品编号, 取值范围为001至999; 编码第十六位为研究样和公益样返还样品标识, 用字母“H”标识. 例如第一份在国家博物馆展出的月球样品编号为CE5C0100GY001.

5 样品存储

嫦娥五号月球样品存储需要实现本地和异地存储任务, 因此分为样品本地永久存储、样品异地永久存储和科学研究样存储. 嫦娥五号任务返回的样品总重量为1731 g, 解封和分样处理后获得的钻取样和表取样将分别进行存储.

(1) 样品本地永久存储

月球样品实验室建设月球样品永久存储装置, 进行本地永久存储, 并对永久存储状态进行监控, 保证月球样品存储过程中的安全^[21]. 样品分样后, 约10%的钻取样和约10%的表取样将被永久存放在月球样品实验室内. 钻取样比较特殊的是, 含有肠衣的样品也被永久保存起来.

(2) 样品异地永久存储

在湖南韶山建设月球样品异地永久存储设施, 存储环境与月球样品实验室一致. 需要说明的是, 异地存储样品仅用于备份存储. 嫦娥五号任务获得的样品大约有10%的样品将被送至韶山进行异地永久存储.

(3) 科学研究样存储

用于科学研究的月球样品在临时存储装置内存放, 后续进一步分样和发布.

此外, 所有接触过大气环境和使用过的样品将单独保存在存储设备中. 存储环境条件不再严格要求, 使用充氮的小型干燥箱存储即可.

为保证样品安全长期存储, 主要涉及到的环境条件为洁净空间和高纯氮气气氛^[6,22]. 地面应用系统设计建设的月球样品实验室为1000级洁净室, 室内气压比外界大气压高大约10 Pa, 用正压方式维持实验室内洁净度.

为避免样品间互相污染, 不同采样位置、不同特性和不同任务编号的样品应分别存储在不同的存储装



图3 表取样分样流程图

Figure 3 Flow chart of division of scooped lunar samples.

置中. 存储装置内部为氮气环境, 压力高于大气环境. 早期, 美国月球样品实验室中的每个样品存储装置中安装自动监视和移除氧气与水分的装置, 以保证每个橱柜中每百万摩尔的氮气中氧气浓度不大于 20 mol、水分不大于 50 mol^[6]. 依据美国的样品存储环境指标设定经验, 氮气中水氧含量不超过 0.03% 不会影响月球样品的长期存储. 但随着制氮技术的不断提高以及设备除水除氧的方法改进, 月球样品实验室样品氮气存储环境中水和氧的含量能够维持到 0.005% 以下, 且存储设备运行过程中能够保证设备漏率不大于 $1.13 \times 10^{-2} \text{ Pa m}^3/\text{s}$, 并能保证氮气气流稳定, 气压自动控制, 最大可承受压力范围为 102338.25–104364.75 Pa, 工作压力可设定在范围 $\pm 1.5 \text{ kPa}$, 确保样品存储过程中设备内部维持正压状态.

稳定的环境是保证月球样品在地面安全存储的第一步. 因此, 月球样品存储过程中对环境实时监控, 主要内容包括: 对设备内部的氮气浓度、氧含量、水含量、压力等进行实时监控, 同时对实验室内的洁净度进行监控. 美国获得的月球样品在氮气环境中已经保存了近百年, 我国月球样品按照上述存储方法, 已经顺利保存了 2 年, 其存储环境指标也相应提高了, 存储设备的可靠性也有了进一步提高.

6 样品制备

嫦娥五号任务主要目标是采集月球的样品并返回地球, 以便进行实验室的分析和研究. 本文中提到的制备, 主要指月球样品光片的制备. 虽然该过程会对样品的原始状态造成一定程度的破坏, 但由于光片是可永久性重复使用的样品形式, 也可以作为分发的样品提供给各个实验室.

月球样品实验室光片制备的步骤如下:

(1) 按照月球样品粒度特征, 将粒度大于 1 mm 的月球样品颗粒称为岩屑样, 不大于 1 mm 的月球样品颗粒称为粉末样. 用于光片制作的粉末样和岩屑样, 采取随机抽样的方法进行分样和称重. 岩屑颗粒可根据需要劈分成不同大小进行分样.

(2) 注胶和固化

使用天平按计算好的用量将固化剂倒入盛胶杯内. 在电暖气加热条件下慢速均匀搅拌约 5–8 min, 直至胶体均匀没有丝状物. 使用真空干燥箱对搅拌好的环氧树脂进行初步去气, 去气过程中的真空条件大约是 1000 Pa 以下. 整个胶体去气时间不超过 8 min.

初步去气后, 将杯内的环氧树脂缓缓注入直径 25 mm 大小的注胶模具中, 高度约 5–8 mm. 然后在约 200 kPa 的正压氮气环境中放置 8 h 以上进行固化. 固化后光片坯体从注胶模具内取下, 需要在 60°C 条件下烘干固化, 时间不少于三天.

(3) 坯体手动打磨

月球样品实验室光片制作主要采用手动打磨, 确保样品磨制过程中能够控制到损耗最小. 打磨过程使用 2500 和 5000 目手动打磨砂纸. 打磨过程使用透反两用显微镜检查样品出露和划痕情况, 直至样品出露, 表面划痕细微即可.

(4) 坯体抛光

月球样品实验室采用的是自动抛光方式, 使用设备为美国标乐公司生产的自动磨抛机(型号为 AutoMet 300). 依次使用 3, 1 和 0.05 μm 抛光液进行样品表面抛光. 抛光结束后使用透反两用显微镜检查样品表面无划痕, 矿物颗粒显示立体感.

光片完成后, 直径约为 25 mm (约相当于 1 in), 厚度为 $7.5 \pm 0.2 \text{ mm}$ (图 4).



图 4 (网络版彩图)月壤粉末(左, CE5C0800YJFM001GP)和岩屑颗粒(右, CE5C0000YJYX001GP)制备成的光片
Figure 4 (Color online) Polished sections prepared from lunar soil powder (left, CE5C0800YJFM001GP) and breccias (right, CE5C0000YJYX001GP).

7 结论

嫦娥五号任务完成了月面采样, 根据采样方式不同获得的月球样品分为表取样和钻取样两类. 在样品返回地面后, 封装装置已在解封操作台内进行了解封.

地面应用系统利用月球样品实验室中的条件和样品存储、处理和制备流程, 对原始样品进行了集中存储、处理和制备, 实现了月球样品的地面高纯氮气环境长期存储. 保证样品处理过程中不受到污染和其他物理、化学风化, 为月球样品的分析测试和长期科学研究提供了基础保障.

目前, 嫦娥五号月球样品已向国内相关研究机构发布, 科学家利用地面应用系统处理、制备的样品开

展了应用研究, 在样品基础特征、矿物成份、年代学、岩石成因等研究方面已在国内外重要学术刊物上发表多项研究成果^[23–28].

综上, 在月球样品的存储处理与制备过程中, 主要目的是避免受到地球元素的污染, 尽最大可能减少对样品的损耗和原始特征的破坏, 是实现样品未来长期开展科学研究的基础. 美国阿波罗月球样品已获得众多成果, 嫦娥五号月球样品的研究同样也获得了多项重要的科学结果. 未来, 我国月球样品长期分析和研究也会在不同实验室中完成, 样品在处理与制备过程中遇到的问题和技術各不相同, 仍需研究人员进一步去设计样品处理和制备方法, 以便于获得最佳的分析研究样品.

致谢 非常感谢月球样品实验室设计和规划期间对本文研究提供建议和支持的单位与个人. 感谢探月中心在月球样品实验室和存储处理制备方面的支持.

参考文献

- Allen C, Allton J, Lofgren G, et al. Curating NASA's extraterrestrial samples—Past, present, and future. *Geochemistry*, 2011, 71: 1–20
- Ouyang Z Y. Introduction to Lunar Science (in Chinese). Beijing: China Aerospace Press, 2005 [欧阳自远. 月球科学概论. 北京: 中国宇航出版社, 2005]
- Li D M, Wu Q P, Wang J, et al. Study on anti-pollution methods in lunar sample's transfer to the ground (in Chinese). *Vac Cryog*, 2015, 21: 287–290 [李丹明, 吴启鹏, 王瑾, 等. 月球样品地面转移过程中防污染措施研究. 真空与低温, 2015, 21: 287–290]
- Sun L Z, Ling Z C, Liu J Z. An introduction to the curation of Apollo lunar samples (in Chinese). *Earth Sci Front*, 2012, 19: 128–136 [孙灵芝, 凌宗成, 刘建忠. 美国阿波罗月球返回样品的处理和保存. 地学前缘, 2012, 19: 128–136]
- Lin W Z, Hong A S. Processing and testing technology of lunar samples (in Chinese). *Earth Environ*, 1980, 12: 56–62 [林文祝, 洪阿实. 月球样品的处理及其测试技术. 地球与环境, 1980, 12: 56–62]
- McCubbin F M, Herd C D K, Yada T, et al. Advanced curation of astromaterials for planetary science. *Space Sci Rev*, 2019, 215: 2–81
- Wu Q P, Zhang G L, Wang C Y, et al. Construction of lunar sample lab and development of curation technologies for lunar samples in China (in Chinese). *Chinese J Vac Sci Technol*, 2017, 37: 851–856 [吴启鹏, 张广良, 王春勇, 等. 我国月球样品的处理和保存. 真空科学与技术学报, 2017, 37: 851–856]
- Allton J H. Catalog of Apollo Lunar Surface Geological Sampling Tools and Containers. Houston: National Aeronautics and Space Administration, 1989. 3–87
- NASA Manned Spacecraft Center. Apollo 11 Preliminary Science Report. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1969
- NASA Manned Spacecraft Center. Apollo 12 Preliminary Science Report. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1970
- NASA Manned Spacecraft Center. Apollo 14 Preliminary Science Report. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1971
- NASA Manned Spacecraft Center. Apollo 15 Preliminary Science Report. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1972
- NASA Manned Spacecraft Center. Apollo 16 Preliminary Science Report. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1972
- NASA Manned Spacecraft Center. Apollo 17 Preliminary Science Report. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1973
- Mangus S, Larsen W. Lunar Receiving Laboratory Project History. NASA/CR-2004-208938, 2004
- Shearer C K, Borg L E. Big returns on small samples: Lessons learned from the analysis of small lunar samples and implications for the future

- scientific exploration of the Moon. [Geochemistry](#), 2006, 66: 163–185
- 17 Lunar Science Institute. Post-Apollo Lunar Science. Houston: National Aeronautics and Space Administration, 1972. 1–94
- 18 Neal C R. The Moon 35 years after Apollo: What’s left to learn? [Geochemistry](#), 2009, 69: 3–43
- 19 Vaniman D, Dietrich J, Taylor G J, et al. Lunar Source Book: A User’s Guide to the Moon. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 6–26
- 20 Allton J H, Bagby Jr. J R, Stabekis P D. Lessons learned during Apollo lunar sample quarantine and sample curation. [Adv Space Res](#), 1998, 22: 373–382
- 21 Lv S Z, Zhang Y, Ding W J, et al. Design and experimental evaluation of containment system for lunar samples (in Chinese). *Chinese J Vac Sci Technol*, 2017, 37: 786–790 [吕世增, 张隼, 丁文静, 等. 月球样品存储装置设计. *真空科学与技术学报*, 2017, 37: 786–790]
- 22 Calaway M J, Bell M S. NASA’s New Geolab Glovebox: A First Generation Glovebox for Planetary Surface Exploration. Baltimore: American Glovebox Society, 2011. 8–10
- 23 Li C, Hu H, Yang M F, et al. Characteristics of the lunar samples returned by the Chang’E-5 mission. [Natl Sci Rev](#), 2022, 9: nwab188
- 24 Zhang H, Zhang X, Zhang G, et al. Size, morphology, and composition of lunar samples returned by Chang’E-5 mission. [Sci China-Phys Mech Astron](#), 2022, 65: 229511
- 25 Liu J, Liu B, Ren X, et al. Evidence of water on the lunar surface from Chang’E-5 *in-situ* spectra and returned samples. [Nat Commun](#), 2022, 13: 3119
- 26 Li Q L, Zhou Q, Liu Y, et al. Two-billion-year-old volcanism on the Moon from Chang’E-5 basalts. [Nature](#), 2021, 600: 54–58
- 27 Tian H C, Wang H, Chen Y, et al. Non-KREEP origin for Chang’E-5 basalts in the Procellarum KREEP Terrane. [Nature](#), 2021, 600: 59–63
- 28 Hu S, He H, Ji J, et al. A dry lunar mantle reservoir for young mare basalts of Chang’E-5. [Nature](#), 2021, 600: 49–53

Study on the storage, processing and preparation of lunar samples returned by the Chang'E-5 mission

ZHANG GuangLiang^{1,2}, ZHANG HongBo^{1,2,3*}, LI ChunLai^{1,2,3}, LIU JianJun^{1,2,3},
ZHOU Qin^{1,2}, LIU Bin^{1,2}, LIU DaWei^{1,2}, DONG MingChun^{1,2}, ZUO Wei^{1,2},
REN Xin^{1,2} & WANG Zan^{1,2,3}

¹ National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

² Key Laboratory of Lunar and Deep Space Exploration, Beijing 100101, China;

³ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

The Chang'E-5 mission realized China's first automatic lunar surface sampling return. The Ground Research and Application System is responsible for storing, preparing, and processing the returned lunar samples. The constructed Lunar Sample Laboratory has storage, processing, and preparation functions for the original lunar samples and is capable of long-term sample storage and processing in an environment of high-purity nitrogen on Earth. The Chang'E-5 mission returned two types of samples: scooped and drilled samples. This study developed detailed storage, preparation, and processing protocols for different types of samples. Three working stages will be carried out after the sample is returned to the Lunar Sample Laboratory, including sample processing, storage, and preparation. The detailed procedure involves unsealing the sealed packaging device, separating the scooped and drilled samples, storing the drilled and scooped samples, and preparing the samples. The primary sealed containers for scooped and drilled samples were successfully extracted via a designed unsealing process. Samples for permanent storage, backup storage, engineering display, and scientific research were obtained using the division method for scooped and drilled samples. The samples are stored in different equipments at different locations according to the designed storage method in this study. Scientific samples and some display samples were polished into sections according to the designed preparation method to ensure that the basic sample information can be obtained without destroying the original characteristics of the samples. The prepared samples will be used to analyze their physical and chemical properties and describe their basic characteristics, which can provide important information and technical support for subsequent scientific research.

Chang'E 5 mission, lunar samples, sample storage, sample processing, sample preparation

PACS: 01.52.+r, 06.30.-k, 06.60.-c

doi: [10.1360/SSPMA-2022-0288](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2022-0288)