

# 月球尘埃迁移实验平台初步设计

金宏<sup>1</sup>, 李雄耀<sup>1</sup>, 甘红<sup>1,2</sup>

1 中国科学院地球化学研究所, 月球与行星科学研究中心; 贵州省贵阳市南明区观水路 46 号 550002

2 中国科学院大学, 地球科学学院; 北京市石景山区玉泉路 19 号(甲) 100049

**摘要:** 针对月球表面尘埃迁移特性, 利用 X 射线、紫外光以及电子束等多激发源单独或协同作用, 使月尘颗粒带电, 并在外电场作用下自下而上运动, 通过检测颗粒撞击压力传感器的压力大小和位置计算出飞行速度和方向, 并进一步推算出颗粒的带电量。根据这一基本原理, 对月球尘埃迁移模拟实验平台进行初步设计。

**关键词:** 月尘 迁移 模拟实验

## 1. 前言

Apollo 时期对于月尘的负面报道不胜枚举。随着我国月球探测的发展, 尤其是探月三期将进行月面巡视勘察与采样返回, 月尘迁移问题成为现阶段亟待解决的重要问题之一。除(微)陨石轰击、航天员的行走、月球车的行驶、航天器的着陆和起飞外, 静电力是诱导尘埃迁移运动的主要因素。月表环境下, 带电尘埃颗粒互相排斥, 在局部静电场作用下发生悬浮迁移。至今已对月尘的电学性质和迁移特性开展了大量的研究, 但尚未对不同矿物组分的静电迁移特性进行研究。目前, 可用于研究月尘物理性质的设备 Apollo 17 ALSEP 上的 LEAM 系统<sup>[1]</sup>、NASA 格伦研究中心的 LDAB<sup>[2]</sup>、NASA 马歇尔空间飞行中心的 LETS 系统<sup>[3]</sup>以及加拿大 ITL 实验室等。国外各实验室对于研究应用型成果分享较少, 而我国目前尚无完整的月尘静电迁移研究, 鉴于月球探测工程的迫切需要, 有必要对月尘主要物相的静电迁移特性开展深入研究, 从而总结出月尘静电迁移规律, 充分认识月球大气环境, 研究月表物质演化历史, 指导月球尘埃环境的探测, 并为月球尘埃环境预警模型提供输入参数。因此, 研制月球尘埃迁移实验平台具有重大意义。

## 2. 结构组成

月球尘埃迁移实验平台由真空系统、模拟环境辐射组件及微小颗粒检测组件三部分组成。由干泵、分子泵和低温泵三级串联的三级真空泵组用于维持真空腔内真空度的稳定; 模拟环境辐射组件主要包括 X 射线源(30KV)、紫外光源(190-400nm)、电子枪(50KV)以及石英灯列阵等组成, 用于模拟月表真实宇宙环境辐射条件。微小颗粒检测组件由样品台、石英晶体微天平、月尘加速度检测装置、加速电场板、光学影像采集设备等组成。

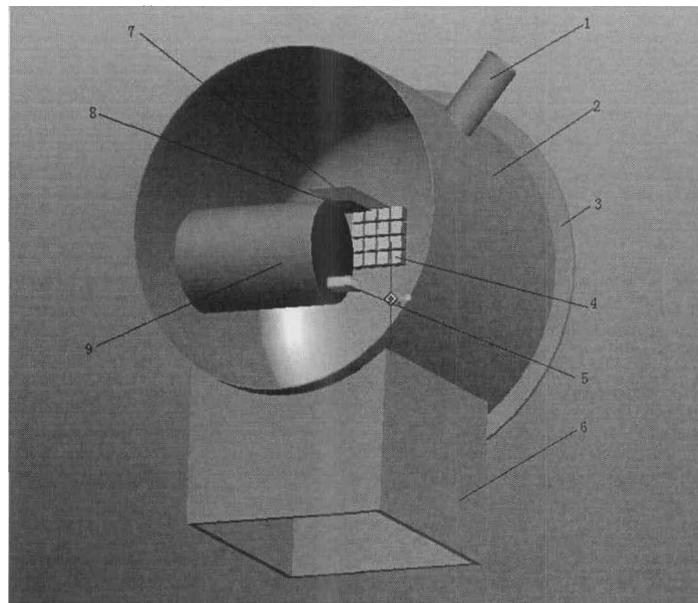


图 1 月球尘埃迁移实验平台结构示意图

- 1、激发射线射入口，2、真空腔体，3、腔体舱门平开法兰，4、石英灯阵列，5、半密闭样品放置台及质量检测器，6、设备底座及真空泵组，7、加速电场板，8、月尘加速度检测装置，9、侧开观察视窗

由于引起光电效应的射线主要是短波高频射线（范围在 10nm-500nm 间），因此未将红外波段射线加入整套环境模拟装置当中。考虑到整套设备需要占用较大空间，并为未来设备升级留下相应空间，真空腔拟采用横置柱状结构，两端侧开门采用氟胶圈法兰密封。样品受测时置于真空腔中心偏下位置，样品台放置在石英晶体微天平上，使用可移动支架支撑微天平并进行三向位移调节。腔体内上部安装可调电压加速电场及月尘加速度检测装置，单侧筒壁安装凹法兰视窗用于光学影像采集，另一侧在扇面区域内安置各种激发源。三级真空系统放置在真空腔下方，以节约设备占地空间并提高设备稳定性。由于控制点较少，采取 PLC 控制即可实现远程控制，预留部分 PLC 接口，为将来系统扩容提供信号通道，并可加装集散控制系统。

### 3. 基本功能

月球尘埃迁移实验平台具备模拟月表真空辐射环境使月尘带电并检测月尘，并依靠检测月尘飞行速度来计算月尘带电量的主要功能，可以满足开展研究模拟月尘样品的光电效应及静电迁移效应的科学实验的基本需要。常规观察微小颗粒空间运动主要采用扫描电镜、同位素示踪等方法。鉴于月尘颗粒体积小（粒径主要分布在 1-20 $\mu\text{m}$ ）、数量多、颗粒带电、飞行轨迹不在同一平面上等特点；由于受现有技术条件限制，通常无法直接精确地测量单个月尘颗粒所带电量，拟采用测量单个颗粒飞行加速度来计算月尘颗粒带电量。

#### (1) 月尘受激发带电飞行

可以分别使用 X 射线源、紫外光源、电子枪等在特定波长或者功率下对月尘进行辐照，使其受激带电；也可同时使用几种进行协同辐照。在静电场力的作用下，当月尘受激发所带电荷数超过临界值时，静电场吸引力大于月尘自身重力，月尘便向上飞行。

#### (2) 质量测量

当月尘颗粒向上飞起时，即可通过质量检测器及时检测出飞起的月尘的质量。

#### (3) 电量测量

由于月尘颗粒在匀强电场中只受静电场力作用做匀加速运动，因此可以通过测量月尘颗粒在飞行期间竖直方向上的加速度并结合之前测量到的颗粒质量，根据电场力公式：

$$F = qE = am$$
$$q = \frac{am}{E}$$

求出月尘颗粒带电量。

### 4. 总结

当前月球尘埃迁移实验平台的设计可以满足尘埃静电迁移过程的模拟和迁移特征的测量需要，平台还考虑到科学问题研究的发展需要，采用模块化设计，使整个实验平台具备的灵活组装、相互兼容等特点，有一定升级空间，为未来研究发展能起到一定支持作用。

#### 参考文献：

- [1] Eberhard Grun, Mihaly Horanyi, Zoltan Sternovsky. The lunar dust environment[J]. Planetary and Space Science, 2011, 59(14):1672-1680.
- [2] O. Harrassowitz. A STUDY OF THE LDAB LDOB[J]. MC GOLDSTEIN - Central Asiatic journal, 1964
- [3] L Kawano - NASA STI/Recon Technical Report N[R], America, 1992.