

· 专题 19: 月球的形成和演化——基于嫦娥工程的新认识 ·

橄榄石颗粒在空间等离子模拟环境中的带电特性

李雄耀¹, 金宏¹, 王世杰², 唐红¹, 魏广飞¹

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 550081;
2. 中国科学院 地球化学研究所, 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081

月球尘埃带电迁移问题一直是月球科学和月球探测关注的重要问题, 它不但是理解月球辉光成因, 认识月球尘埃环境的重要基础, 也是解决尘埃粘附危害的关键前提 (Grun *et al.*, 2011)。橄榄石作为月球表面物质的重要组成部分, 也是宇宙尘的重要组成部分 (Heiken *et al.*, 1991; Brownlee, 2016; Flynn *et al.*, 2016), 深入认识其在空间等离子环境中的带电特性, 不但对解决月球科学与工程问题具有重要意义 (Rennilson and Criswell, 1974; Johnson *et al.*, 1992; Liu and Taylor, 2011; Gaier and Berkebile, 2012), 也有助于认识太阳系空间尘埃的带电过程, 促进对土星 B 环尘埃辐射纹现象、尘埃运动轨迹变化、尘埃碰撞吸积等问题的深入理解 (Ma *et al.*, 2013; Jyotsna *et al.*, 2014)。

实验研究在中国科学院地球化学研究所月球与行星科学研究中心的月球(行星)尘埃环境模拟系统中进行(图 1)。对直径为 6.094 μm 的辉石粉末进行了电子能量为 175 eV 的电子枪辐照实验, 并利用激光相位多普勒测速系统对运动颗粒的大小和运动速度进行检测。

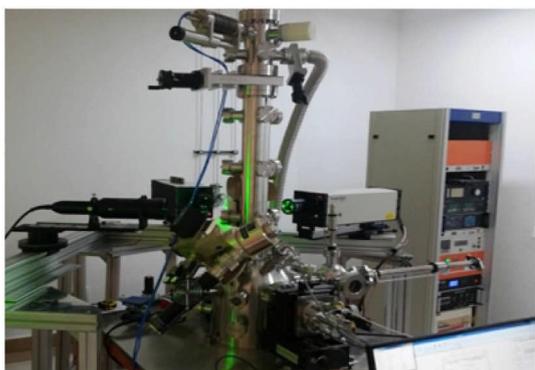


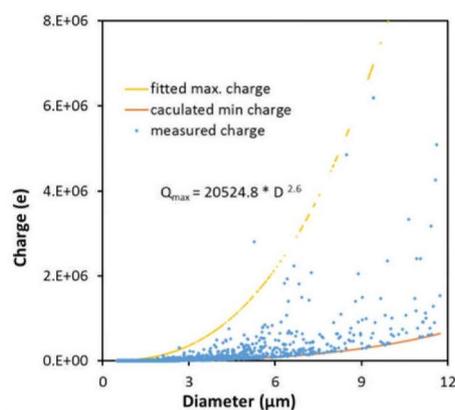
图 1 月球(行星)尘埃环境模拟系统

根据颗粒带电量(Q)与运动速度(v)、颗粒大小

(D)、飞行高度(h)、电场强度(E)、颗粒密度(ρ)、重力加速度(g)的关系(公式 1)计算出不同颗粒的带电量。

$$Q = \frac{\rho\pi\left(\frac{v^2}{2h} - g\right)D^3}{6E} \quad (1)$$

实验表明, 在 258 s 的实验过程中共检测到了 4192 个运动颗粒, 其中仅有 44 个颗粒粒径大于 12 μm。图 2 给出了小于 12 μm 的全部测量颗粒的带电量分布。可以看出大部分颗粒的带电量大于 $10^4 e$, 并随颗粒粒径增大呈增加趋势。统计结果表明, 实验中检测到的最大运动颗粒大小为 25 μm, 其带电量为 $1.2 \times 10^7 e$; 通过距离样品表面 6 mm 处测量焦点的尘埃流密度约为 $16 \text{ 个} \cdot \text{mm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。



红线为当电场力等于重力时运动颗粒所带的理论最小带电量, 黄线为根据实验数据拟合的最大带电量曲线

图 2 小于 12 μm 的颗粒带电量随颗粒大小的变化

实验结果还表明, 所有运动颗粒的带电量都大于克服重力所需的最小带电量, 在图 2 中表现为所有测量点均位于红线上方。实际上, 带电尘埃颗粒发生运动除了需要克服重力之外还必须克服颗粒之

基金项目: 国家自然科学基金项目(41373067, 41403057, 41490630); 中国科学院青促会(2014359)

第一作者简介: 李雄耀(1978-), 男, 研究员, 研究方向: 月球与行星科学。E-mail: lixiongyao@vip.skleg.cn.

间的粘附力才能发生向上运动, 因此实际测量最小带电颗粒所受电场力与重力之差近似等于运动颗粒所受粘附力。根据实验结果计算出不同大小颗粒在模拟环境中的粘附力(图3)。

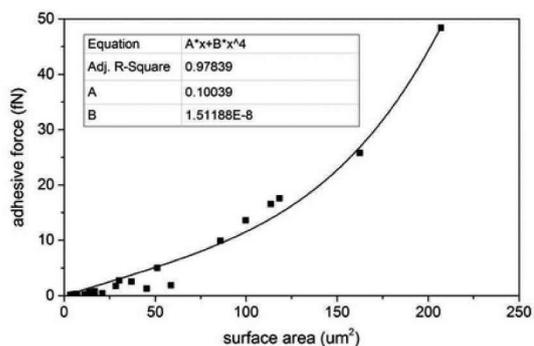


图3 粘附力随颗粒表面积的变化

根据实验测量拟合得出的最大带电量曲线, 若在月球表面形成德拜壳的高度为 0.1 m, 则可推测实验中所测量到的所有运动颗粒最高可迁移至 28.9 m。

通过上述分析, 在空间等离子环境中微米尺度的橄榄石颗粒最大可以带电约为 $10^6 e$, 其所受粘附力作用大小约为几到几十飞牛顿。若以 0.1 m 的德拜高度推测, 带电尘埃的最大迁移高度小于 30 m, 大部分颗粒只能迁移至几米的高度。因此, 在千米尺度的高空轨道可能无法探测到明显的尘埃静电迁移, 但在月面几米高度范围会非常显著。