

· 专题 19: 月球的形成和演化——基于嫦娥工程的新认识 ·

月表不同颗粒中太阳风成因水特性的模拟研究

唐红¹, 李雄耀^{1*}, 王世杰², 曾献棣¹

1. 中国科学院 地球化学研究所, 月球与行星科学中心, 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

由于月球没有大气层和磁场的保护, 经过几十亿年太阳风和月表含氧物质之间的相互作用, 太阳风成因水成为月球表面水最普遍而广泛的存在, 这在近年的月球探测中已得到了证实, 通过红外光谱仪已探测到月球全球广泛出现了 $2.8 \mu\text{m}$ 附近-OH 和 $3 \mu\text{m}$ 附近 H_2O 的吸收峰信号, 并且其信号强度随时间和空间的变化而变化 (Clark, 2009; Pieters *et al.*, 2009; Sunshine *et al.*, 2009)。因此, 深入认识月球表面太阳风成因水的特征是认识月球表面水形成、迁移运动及其演化的基础, 对于了解月球极区永久阴影区中水的含量、形态和来源具有重要意义, 同时也有助于评估月球风化层中挥发分的含量和分布特征。

本文通过利用离子注入模拟太阳风质子和月表主要含氧物质橄榄石、辉石、斜长石和玻璃之间的相互作用产生水的过程, 注入离子为 7keV 的 H^+ , 注入的 H^+ 剂量为 10^{17} ions/ cm^2 , 并结合模拟实验前后样品的结构以及样品中水特征的相关测量和对比分析, 初步探讨了太阳风水的形成过程和特征, 主要取得了以下几点认识:

(1) 通过对比离子注入前后橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、斜长石和玻璃样品的红外光谱特征可知, 离子注入后在上述样品中均出现了新的水, 但是各物质中新生成水的形态和含量具有差异, 其中斜长石中的新生成的水最为明显, 其增加的 OH 和 H_2O 含量分别为 $941 \pm 44 \times 10^{-6}$ 和 $794 \pm 37 \times 10^{-6}$, 由此可计

算出 H^+ 离子注入长石中生成水的几率为 0.24%。

(2) 通过对离子注入后橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、斜长石和玻璃样品进行 FBI 切片以及 TEM 分析可知, H^+ 离子注入可造成样品最表层出现 50 ~ 200 nm 不等的辐射层, 其中斜长石中的辐射层最为明显, 厚度为 200 nm, 并有气泡产生, 据推断新生成的水主要存在于该辐射层中。

(3) 根据离子注入模拟实验结果可知, 月球表面长期注入的太阳风中低能量质子将会造成矿物中化学键的破坏, 太阳风中的质子将进入到被破坏的化学键中和含氧矿物中的 O 离子结合从而形成-OH, 随后有可能继续形成 H_2O , 其含量为几个 ppm 到上千个 ppm, 该结果与月球表面的 Cassini、Deep Impact 和 M3 探测数据结果一致。

根据该研究结果, 基于嫦娥五号采样返回计划, 可开展月球风化层样品中不同类型颗粒中水的特征分析, 拟利用红外光谱仪和拉曼光谱仪来测量分析月壤颗粒中水的赋存特征和含量, 利用原位变温实验来测量不同温度下样品的红外和拉曼光谱特征, 分析月表温度对月壤颗粒中水特征的影响, 利用透射电镜来测量样品表层的结构和成分特征, 估算月壤颗粒暴露时间, 利用纳米离子探针测量样品的 H 含量和氢同位素特征, 分析水的来源。在月球样品水的研究分析中, 所涉及到的关键技术问题包括红外光谱薄片的制备、微量水的光谱检测以及纳米离子探针测量的样品制备等等。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41403057)

第一作者简介: 唐红(1984-), 女, 副研究员, 研究方向: 月球与行星科学. E-mail: dongtianzhixing@163.com.

* 通讯作者简介: 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.