

• 月球、火星、小行星的形成演化与深空探测 •

## 南极普通球粒陨石风化等级的重新厘定

尚颖丽<sup>1,2</sup>, 李世杰<sup>1</sup>, 李雄耀<sup>1</sup>, 王世杰<sup>1</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, 贵阳 550002; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

在普通球粒陨石的分类研究中, 光薄片下的风化等级划分是一项较为重要的工作。Wlotzka在光薄片下将南极普通球粒陨石的风化等级划分为7个, 分别从W0到W6。目前国内外对普通球粒陨石和一些原始无球粒陨石光薄片下的风化等级划分一般都按这一标准。

然而, 在格罗夫山普通球粒陨石风化等级的划分过程中发现了一定数量的陨石, 这些样品中金属和硫化物的氧化程度很低, 但硅酸盐已经有明显的蚀变。XRD分析显示这些陨石中已有一定数量的粘土矿物, 它们的风化等级很难利用Wlotzka的标准来确定。此外需要指出的是本文中风化等级W没有下标的属于Wlotzka的划分标准, 而W有下标m或s的属于作者的划分方案。

### 1 样品和试验方法

本次实验的5块样品是从2002年中国第19次南极科学考察队在格罗夫山收集的普通球粒陨石挑选出来的, 他们的编号分别为GRV 021588、GRV 021636、GRV 021772、GRV 021957和GRV 023312。陨石岩相学的观察主要是在光学显微镜下进行的, 单偏光和正交光下观察并确定这些陨石的岩石学特征并确定他们的岩石类型, 同时确定陨石中硅酸盐矿物的蚀变情况, 反光下观察并估计了金属和陨硫铁的氧化程度。为了测定陨石GRV 021636中硅酸盐的风化状况, 对该样品做了粉晶衍射实验。

### 2 实验结果

陨石GRV 021588、GRV 021636、GRV 021772和GRV 021957具有类似的岩石学特征, 依据Van Schmus & Wood的化学群-岩石类型分类标准他们均属于普通球粒陨石L6。按照Stöffler等关于普通球粒陨石冲击程度的划分标准, 这些陨石均属于S5。陨石GRV 023312为普通球粒陨石H5, 冲击程度为S3。

在光学显微镜下对这些陨石的风化特征进行了细致观察, 发现GRV 021588、GRV 021636、GRV 021772和GRV 021957等4块陨石样品中金属仅边缘有少量发生风化, 但硅酸盐发生了明显的蚀变, 尤其在裂隙处更为明显, 单偏光下对数硅酸盐矿物颗粒比较脏。而陨石GRV 023312和Wlotzka所描述的绝大多数普通球粒陨石一样, 金属虽然风化比较严重(金属约90%已被氧化物替代), 但观察不到硅酸盐蚀变的特征。为了深入了解上述4块金属少量风化而硅酸盐已经有蚀变的陨石的风化

状况, 选取了陨石GRV 021636进行了X射线矿物粉晶衍射实验。结果显示该陨石中已经有明显的粘土矿物特征峰, 主要粘土矿物为蒙脱石伊利石。

### 3 讨论

在GRV 021588、GRV 021636、GRV 021772和GRV 021957等4块陨石的风化等级的划分中, 我们发现很难利用Wlotzka的标准来确定。如果从金属和硫化物的风化程度来讲, 这些陨石中的金属仅边缘有少量被褐铁矿代替, 其转化为氧化物的褐铁矿不及金属含量的20%, 依据Wlotzka的标准, 他们的风化等级为W1。而问题在于这些陨石中的硅酸盐矿物发生了明显的蚀变显现, 而且GRV 021636的矿物粉晶衍射实验也证实了这些陨石中部分硅酸盐已蚀变为了粘土矿物。从硅酸盐角度判断这些陨石的风化等级又和W5一致。而W1和W5在Wlotzka的标准中有本质的区别, 低于W4风化等级的普通球粒陨石中硅酸盐未发生蚀变, W4以上的风化等级中金属已全部转化为氧化物。因此, Wlotzka对普通球粒陨石划分标准不适合上述普通球粒陨石风化等级的确定。

我们可以通过金属和硅酸盐的双重标准来划分普通球粒陨石的风化程度。在Wlotzka的标准中W1至W4仅为金属和硫化物的风化, 硅酸盐还未发生蚀变。硅酸盐沿裂隙开始蚀变时金属和硫化物已经风化殆尽。因此我们可以先用 $W_{m,1}$ 至 $W_{m,4}$ (未风化用 $W_{m,0}$ 表示)来确定金属以及硫化物的风化程度, 再用 $W_{s,1}$ 至 $W_{s,2}$ (未风化用 $W_{s,0}$ 表示)来确定其硅酸盐的风化程度。因此新降落的普通球粒陨石其风化程度可以表示为 $W_{m,0}$ - $W_{s,0}$ (前者表示金属和硫化物的风化程度, 后者表示硅酸盐的风化程度), 对于上述金属略有风化且硅酸盐有蚀变的普通球粒陨石, 其风化程度可以定为 $W_{m,1}$ - $W_{s,1}$ 。根据金属(包括硫化物)风化程度和硅酸盐的蚀变程度可以将不同风化程度的普通球粒陨石划分为15个风化等级。

依据的风化等级划分方案, GRV 021588、GRV 021636、GRV 021772和GRV 021957等4块陨石的风化等级均为 $W_{m,1}$ - $W_{s,1}$ 。而陨石GRV 023312的风化等级为 $W_{m,3}$ - $W_{s,0}$ ,其相当于Wlotzka标准中的W3。

### 4 结论

通过岩石学、矿物化学特征的研究, 陨石GRV 021588、GRV 021636、GRV 021772和GRV 021957均属

于普通球粒陨石L6, 冲击程度均为S5, 其金属和硫化物仅少量发生了风化, 而硅酸盐在裂隙处有明显的蚀变现象, 风化等级不能利用Wlotzka的标准来确定。陨石GRV 023312为普通球粒陨石H5, 冲击程度为S3, 依Wlotzka的标准其风化程度为W3。

新的风化等级划分方案为: 先用 $W_{m1}$ 至 $W_{m4}$  (未

风化用 $W_{m0}$ 表示) 来确定金属以及硫化物的风化程度, 再用 $W_{s1}$ 至 $W_{s2}$  (未风化用 $W_{s0}$ 表示) 来确定其硅酸盐的风化程度。那么依照该方案陨石GRV 021588、GRV 021636、GRV 021772和GRV 021957等4块陨石的风化等级均为 $W_{m1}$ - $W_{s1}$ 。而陨石GRV 023312的风化等级为 $W_{m3}$ - $W_{s0}$ 。

• 月球、火星、小行星的形成演化与深空探测 •

## 陨石密度和孔隙度的测定

李世杰<sup>1</sup>, 王世杰<sup>1</sup>, 李雄耀<sup>1</sup>, 李阳<sup>1,2</sup>, 曾小家<sup>1,2</sup>, 尚颖丽<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, 贵阳 550002; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

### 1 前言

陨石的孔隙度是陨石的基本物理特征, 它在一定程度上反映了陨石形成、演化的物理环境。不同的孔隙度可能对小行星的内部结构、重力场和冲击作用产生不同程度的影响, 也可能对小行星的其它物理性质产生一定的影响, 比如热导率、震波速度、宇宙成因核素产率和电导率等 (Britt et al., 2002)。因此, 研究陨石和其它天体的岩石的孔隙度和密度能够提供这些岩石母体的一些演化线索。一些学者为此做了大量工作, 也测定了很多陨石和月岩的密度和孔隙度 (Consolmagno et al., 1998, 2008; Consolmagno and Britt, 1998; Flynn et al., 1999; Britt and Consolmagno, 2000, 2003; Wilkison et al., 2003; Macke et al., 2010, 2011, 2012; Kiefer et al., 2012)。同时, 普通球粒陨石的密度对陨石的类别划分也有一定的指示意义。本研究测定了部分降落型陨石以及部分南极陨石的体密度和颗粒密度, 并计算了这些陨石的孔隙度。

### 2 结果

本次测定的陨石均为普通球粒陨石, 测定所使用的仪器是美国康塔公司生产的Micro-Ultracyc 1200e型密度分析仪。孔隙度和体密度的测定按照新近建立的气球真空包裹法 (Li et al., 2012)。南极普通球粒陨石的测定结果为: 8块H群陨石的颗粒密度范围为3.47-3.65 g/cm<sup>3</sup>, 体密度的范围为3.25-3.55 g/cm<sup>3</sup>, 孔隙度范围为1.05%-6.27%; 21块L群陨石的颗粒密度范围为3.42-3.59 g/cm<sup>3</sup>, 体密度的范围为3.23-3.48 g/cm<sup>3</sup>, 孔隙度范围为0.26%-10.86%。降落型陨石的测定结果为: 5块H群陨石的颗粒密度范围为3.69-3.89 g/cm<sup>3</sup>, 体密度为3.17-3.58 g/cm<sup>3</sup>, 孔隙度的范围为2.93%-17.61%。3块L群陨石的颗

粒密度范围为3.61-3.63 g/cm<sup>3</sup>, 体密度范围为3.20-3.55 g/cm<sup>3</sup>, 孔隙度为1.93%-11.53%。1块LL型陨石的颗粒密度为3.54 g/cm<sup>3</sup>, 体密度为2.97 g/cm<sup>3</sup>, 孔隙度为16.16%。

### 3 讨论

结果显示, 南极普通球粒陨石H群的颗粒密度和孔隙度显著低于降落型陨石, 但二者的体密度较为接近, 就其原因主要是南极陨石普遍遭受了W1以上的风化作用, 低级别的风化作用主要将H群陨石中的金属铁转变为以褐铁矿为主的铁的氧化物, 从而充填了陨石中的孔隙, 使得陨石的颗粒密度和孔隙度降低, 而陨石的空间体积和质量改变很小, 因此体密度变化不大。L型南极陨石和降落型陨石的密度、孔隙度与H群陨石存在相似的特征, 但颗粒密度的变化较H群陨石较小, 这主要是L群陨石中金属铁的含量较低, 在风化过程中形成的铁的氧化物较少的缘故, 因此其颗粒密度和孔隙度的变化相对较小。

很显然, 南极陨石的颗粒密度受到了风化作用的显著影响, 通过颗粒密度很难将H群陨石和L群陨石分开。虽然本研究中的降落型陨石样品数量较少, 但H、L和LL群的颗粒密度范围互不重叠, 也就是对降落型 (陨石未经受风化) 普通球粒陨石, 利用颗粒密度对其进行分类具有一定的可靠性。

### 4 结论

南极陨石受到了风化作用的破坏, 其颗粒密度和孔隙度受到了显著影响, 因此南极陨石不是研究陨石密度和孔隙度的理想样品。对于未受风化影响的普通球粒陨石, 利用颗粒密度的测定对其进行快速分类是一个较为有效的手段。