

试论月球上可能存在的高压矿物

谢先德

(中国科学院 矿物学与成矿学重点实验室/广东省矿物物理与材料重点实验室, 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

根据月岩的主要组成矿物为辉石、斜长石、钛铁矿、Ca-磷酸盐和钛铬铁矿等和这些矿物在冲击高压下的相变特征, 以及月球表面发育有大量的陨石撞击坑, 坑内的岩石和矿物曾经受过高强冲击压力和温度的作用, 我们推定, 在月球上可能寻找到辉石的高压相—镁铁榴石、斜长石的高压相—玲根石、钛铁矿的高压相—王氏钛铁矿、钙磷酸盐的高压相—涂氏磷钙石, 以及铬铁矿的高压相—谢氏超晶石和陈氏晶石等。

月球表面出露的岩石基本可分为三类, 一是富 Fe 有时富 Ti 的月海玄武岩, 二是富放射性和难熔元素的非月海玄武岩, 三是富 Al 的高地斜长岩(表 1)。月岩中共发现 55 种矿物, 其中 5 种是地球上没有的新矿物, 它们是静海石[Fe²⁺₈(Zr+Y)₂Ti₃Si₃O₂₄]、β-静海石、三斜铁辉石 CaFe²⁺₆(SiO₃)₇、低铁假板钛矿(Mg,Fe)Ti₂O₅和钛铬铁矿(Fe,Ti,Al,Cr)O₄。它们大都是 Fe 和 Ti 为主的矿物。各类月岩的主要矿物组成则列于表 1 中。

表 1 月球岩石类型及其主要矿物组成

月岩类型	辉石	斜长石	橄榄石	钛铁矿	磷灰石	陨磷钙钠石
月海玄武岩	•	•	•	•	•	•
非月海玄武岩:	•	•		•	•	•
弗拉摩洛岩	•	•		•	•	•
路尼岩	•	•		•	•	•
克里普岩	•	•			•	•
花岗质岩	•	•		•	•	•
高地斜长岩	• ¹	•		•		
月尘和月壤	• ²	•	•	•		
月球玻璃 ³	• ³	• ³	• ³	• ³		

注: 1-透辉石, 2-单斜辉石, 3-不同比例矿物冲击熔融的产物。

自然界已发现的高压新矿物有 20 种, 其主要的有石英的三个高压相-柯石英(Coesite)、斯石英(Stishovite)和赛石英(Seifertite), 橄榄石的两个高压相-林伍德石(Ringwoodite)和瓦茨利石(Wadsleyite), 辉石的三种高压相-镁铁榴石(Majorite)、阿基墨石(akimotoite)和布里曼石(Bridgmanite), 斜长石的高压相-玲根石(Lingunite)、钛铁矿的高压相-王氏钛铁矿(Wangdaodeite)、陨磷钙钠石和氯磷灰石的高压相-涂氏磷钙石(Tuite), 以及铬铁矿的两个高压相-谢氏超晶石(Xieite)和陈氏晶石(Chenmingite)等。我们认为, 在月球岩石中很可能存在上述高压矿物, 特别是镁铁榴石、玲根石、王氏钛铁矿、涂氏磷钙石、谢氏超晶石等高压相矿物, 甚至还可能有相关的富 Fe 高 Ti 的新高压矿物。我们的理由是:

1) 从表 1 可知, 月球表面的各类岩石大都含有辉石、斜长石、钛铁矿、钛-铬铁矿和 Ca-磷酸盐矿物。辉石是大多数月岩的主要组成矿物, 斜长石在月岩中分布也比较普遍, 为月海玄武岩和高地岩石的主要组成矿物。钛铁矿在月海玄武岩中的含量高达 12%, 但在地球玄武岩中很少超过 5%, 而钛-铬铁矿亦有产出。此外, 月海和非月海玄武岩中均含有一定量的氯磷灰石和陨磷钙钠石。这些矿物如受高压冲击后就可能发生相变。

2) 月球表面有大量不同大小的陨石撞击坑, 总数在 33000 个以上, 因而有撞击月球岩石和矿物产生冲击高温和高压的有利条件。事实上, 在地球表面的陨石撞击坑中, 除发现石英的高压多形和金刚石等高压矿物外, 在德国 Ries 陨石撞击坑中, 就发现有钛铁矿已相变为具 LiNbO₃ 结构, 即我们后来确定的王氏钛铁矿。在加拿大的 Manicougan 和瑞典的 Lockne 陨石坑中, 也发现了斜长石的高压相—玲根石。这就说明,

作者简介: 谢先德, 男, 1934 年生, 研究员, 俄罗斯科学院院士, 天体与高压矿物学. E-mail: xdxie@gzb.ac.cn

在陨石撞击坑大量发育的月球表面，除石英和碳的高压多形外，还是有可能发现我们上述的多种高压矿物。

3) 在月球陨石中已经发现有石英的高压相-柯石英(Coesite)、斯石英(Stishovite)和赛石英(Seifertite)等高压矿物的产出，其它矿物的高压相在月球上也应该能有所发现。

4) 据文献报道，迄今玲根石已经在 20 多块不同类别陨石中被发现，如属 L 群球粒陨石的随州、Teham、Umbarger、Taiban、Novosibirsk、Roosevelt County 106、属 LL 群的 NWA 757；属 H 群的 Y-75100、Y-75267；南极陨石的 GRV-052082、GRV-052049、GRV-052174、Y-791384、Y-74445、Y-78003、Y-790729；碳质球粒陨石的 Gujba；火星陨石的 Tissint、Zagami、NWA-856 和 Shergotty 等。涂氏磷钙石已在 Tenham、Sahara 98222、NWA757、NWA 1662、NWA 3049、Y-74445 等球粒陨石，Tissint、DaG 670/735、NWA 4468、GRV 020090 等火星陨石，Chassigny 等 SNC 陨石、Elga IIE 等铁陨石中被发现。谢氏超晶石已在 Tenham、Catherwood、Coorara 等球粒陨石、中奥陶系地层中的多块 L 群化石陨石、Tissint 等火星陨石，以及 Chassigny 等 SNC 陨石中被发现。此外，林伍德石、镁铁榴石、阿基墨石、布里曼石和斯石英等在 Tissint 火星陨石中均有发现，而陈鸣等早年发现的铬铁矿 CF 相，最近也在该火星陨石中找到，并以最早发现者陈鸣的姓名，命名为 Chenmingite (陈氏晶石)。林伍德石、镁铁榴石、瓦茨利石等在 LL 群的 NWA 757 中也有产出，

上述结果说明，玲根石、镁铁榴石、涂氏磷钙石、王氏钛铁矿、谢氏超晶石和陈氏晶石这些高压相矿物在太阳系有关星体中的产出可能有一定普遍性。因此，在月球岩石中寻找这些高压相矿物也是可能性的。

参 考 文 献:

- 中国科学院贵阳地球化学研究所. 1997. 月质学研究进展. 北京: 科学出版社, 327.
- Agarwall et al. 2016. Scientific Reports, 6:25991.
- Baziotis et al. 2013. Nature Communications, 4:1404.
- Dubrovinsky et al. 2009. Meteor Planet. Sci., 44: A64.
- Hu & Sharp 2016. Meteor. Planet. Sci., 51: 1353-1369.
- Ma and Tschauner. 2017. Mineral. Mag., 81: 1033-1038.
- Miyahara et al. 2009. Meteor. Planet. Sci., 44: A64.
- Ohtani et al. 2011. PNAS, 108: 463.
- Scheffler et al. 2010. Lunar Planet. Sci. Conf., 41:1204.
- Tschauner et al. 2018. Meteor. & Planet. Sci., 53:62-74.
- Xie and Chen. 2016. Mineralogy and shock metamorphism of Suizhou meteorite. Guangzhou, China: Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg & Guangdong Sci. & Tech. Press, 258.
- Xie et al. 2016. Mineral. Mag., 80: 691-697.