

曼桂陨石的岩石矿物学和冲击变质特征

计江龙^{1,2,3}, 胡森^{1,2*}, 林杨挺^{1,2}, 周琴⁴, 肖媛⁴

1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

2. 中国科学院地球与行星物理重点实验室, 北京 100029;

3. 中国科学院大学, 北京 100049;

4. 中国科学院国家天文台, 北京 100101

* 联系人, E-mail: husen@mail.iggcas.ac.cn

2018-09-26 收稿, 2018-11-10 修回, 2018-11-12 接受, 2018-12-04 网络版发表

国家自然科学基金(41430105, 41490631, 41573057)和中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDJ-SSW-DQC001)资助

摘要 曼桂陨石是2018年6月降落在云南省西双版纳傣族自治州的目击降落型陨石。陨石样品具有新鲜的熔壳, 内部呈浅灰色, 可见黑色冲击熔融细脉。该陨石主要由橄榄石、辉石、长石以及较少的铁镍金属、陨硫铁、磷灰石等组成。手标本虽可见球粒特征, 但背散射电子图像显示球粒界线模糊, 残余球粒为斑状橄榄石球粒, 基质呈现强烈重结晶特征, 次生长石粒度较大, 橄榄石和辉石的化学成分均一, 可判定其岩石类型为6型。橄榄石的平均Fa值为 $25.1 \pm 0.3 (n=71)$, 辉石的平均Fs值为 $21.1 \pm 0.3 (n=58)$, 金属含量低, 属于L化学群。因此, 曼桂陨石是L6型普通球粒陨石。曼桂陨石遭受过强烈的冲击, 冲击熔脉和熔融囊广泛发育, 熔脉宽度可达600 μm 。熔脉内及边部的长石已经转变成熔长石, 且部分长石转变成硬玉; 发现辉石的镁铁榴石高压相, 与硬玉伴生。根据这些强烈冲击变质特征, 将曼桂陨石的冲击变质强度划分为S5级。尚未在熔脉及边部发现橄榄石、磷酸盐的高压相矿物。这些高压矿物相的缺失, 可能是由于该陨石在冲击熔融后的冷却速率较慢, 形成的高压相矿物发生了退变质。这些特征表明, 曼桂陨石经历过强烈的撞击熔融事件, 为研究其母体的撞击历史和高压相的形成机制提供了重要标本。

关键词 西双版纳, 曼桂陨石, 降落型陨石, 普通球粒陨石, 冲击变质

2018年6月1日21时30分, 我国云南省西双版纳傣族自治州勐海县发生一起目击陨石降落事件, 一颗火流星划过夜空, 照亮了整个西双版纳的夜空, 并于第二天清晨在曼伦村的一位农夫家中发现第一块标本, 该样品砸穿了农夫家的屋顶。后续在曼垒、曼庄和曼桂村均发现陨石, 大致分布在东南-西北方向长约10 km、宽约1~2 km的狭长地带, 面积约有20 km^2 , 且具有线性分布的特征, 说明是一场陨石雨。目前为止, 收集到的样品累计已超过50 kg, 是继西宁陨石雨和2017年中秋节云南省香格里拉火流星事件后的

一次重要的陨落事件。陨石是太阳系形成演化的“化石”, 记录了太阳系起源和演化的重要信息。目前, 人类收集到的陨石数量达到7万多块, 其中90%左右的陨石都是球粒陨石。球粒陨石被认为是太阳系内最原始的物质, 是太阳星云直接凝聚形成的产物, 是小天体探测的主要对象。另有部分样品来自月球和火星, 记录了火星和月球的岩浆活动、撞击历史及演化过程, 是国际上月球和火星探测的主要对象。对于新降落的陨石, 基本没有地球的风化和污染, 与发现型陨石相比, 在探索地外生命、太阳系的水和太阳星

引用格式: 计江龙, 胡森, 林杨挺, 等. 曼桂陨石的岩石矿物学和冲击变质特征. 科学通报, 2019, 64: 579–587

Ji J L, Hu S, Lin Y T, et al. Petrography, mineral chemistry and shock metamorphism of the Mangui meteorite (in Chinese). Chin Sci Bull, 2019, 64: 579–587, doi: 10.1360/N972018-00972

云的演化等重大科学问题方面具有更高的科研价值. 本文旨在通过详细的岩石矿物学分析, 首先厘定曼桂陨石的类型, 进而对曼桂陨石的冲击变质特征进行分析, 初步制约曼桂陨石冲击变质程度, 为后续的进一步深入研究奠定基础.

1 样品和实验方法

研究样品具有黑色熔壳, 破裂面灰白色, 但有褐色铁质氧化斑点, 这是由于西双版纳雨季潮湿的气候使金属和硫化物发生氧化所致(图1). 此次工作使用的样品为1个光片, 取自图1样品的新鲜部位, 编号为Mg-1(图S1).

岩相学和冲击变质特征使用中国科学院国家天文台的蔡司SUPRA55型场发射扫描电子显微镜完成, 并利用牛津X-Max50能谱仪进行了矿物的初步分析, 工作加速电压为15 kV.

硅酸盐矿物橄榄石和辉石的主量元素化学成分利用中国科学院国家天文台的日本电子(JEOL)JXA-8230型电子探针进行定量分析. 分析条件: 加速电压为15 kV, 电流为20 nA, 束斑为2~5 μm . 分析的标样是: 钾长石(K和Na)、橄榄石(Mg)、蔷薇辉石(Ca, Si)、金红石(Ti)、硅酸锰(Mn)、刚玉(Al)、铬铁矿(Cr)、赤铁矿(Fe). 元素的分析检出限(1σ , wt%(质量百分比)): K, Al, Si, Mg和Na为0.01; Ca, Cr, Mn和Fe为0.02; Ti为0.03. 数据采用ZAF方法进行校正.

硅酸盐矿物长石的主量元素化学成分利用中国科学院地质与地球物理研究所的日本电子(JEOL)JXA-8100型电子探针进行定量分析. 分析条件: 加速电压为15 kV, 电流为10 nA, 束斑为10 μm . 分析的标样是: 钠长石(Na)、透辉石(Ca, Si和Mg)、金红石(Ti)、氧化锰(Mn)、刚玉(Al)、铬铁矿(Cr)、氧化镍(Ni)、赤铁矿(Fe). 元素的分析检出限(1σ , wt%): K,

Al, Si, Mg, Na, Ca, Cr, Fe和Ti为0.01; Mn为0.02. 数据采用ZAF方法进行校正.

矿物的拉曼光谱分析是在中国科学院国家天文台的HORIBA LabRAM HR Evolution型拉曼光谱仪上完成. DPSS激光器, 波长473 nm, 功率为12.5和25 mW, 激光束斑约为1 μm , 收集数据时间为30 s, 重复3次, 测试之前利用单晶硅片(520.7 cm^{-1})进行特征峰位校正.

2 实验结果

2.1 岩石学特征

曼桂陨石具有非常完好的黑色熔壳, 厚约0.3 mm, 断面呈灰白色, 灰褐色的氧化斑点零散分布, 多条冲击熔脉交错互生(图1(a), (b)), 手标本可见球粒. 扫描电子显微镜观察表明该陨石主要由橄榄石、辉石、长石、Fe-Ni金属和陨硫铁组成(图S1), 含少量的铬铁矿、白磷钙矿和磷灰石等副矿物. 橄榄石和辉石颗粒破碎比较强烈, 可见大量次生长石颗粒, 背散射电子图像(BSE)显示颗粒直径可达100 μm (图2(a)). 样品中可见少量残余球粒, 呈浑圆和不规则状形态, 残余球粒为斑状橄榄石球粒, 球粒轮廓模糊, 可见强烈的破碎, 直径约为0.7 mm, 主要由橄榄石、长石、Fe-Ni金属、辉石等矿物组成(图2(c)).

2.2 矿物化学特征

曼桂陨石的硅酸盐矿物橄榄石、辉石和长石的代表性电子探针分析结果列于表S1. 在未发生熔融的区域, 橄榄石和辉石的化学成分非常均一: 橄榄石的Fa值为24.2~26.1, 平均值为 25.1 ± 0.3 ($n=71$); 低钙辉石的Wo值为1.1~1.9, 平均值为 1.5 ± 0.2 ($n=58$), Fs值为20.0~21.7, 平均值为 21.1 ± 0.3 ($n=58$). 长石的化学成分

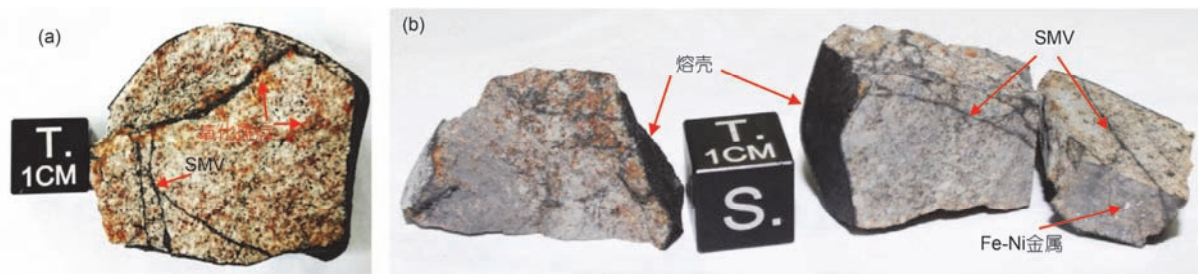


图1 (网络版彩色)曼桂陨石手标本照片(a)和样品的切样照片(b). SMV, 冲击熔脉

Figure 1 (Color online) Hand specimen image of Mangui (a) and fragments images of Mangui sample (b). SMV, shock-melt vein

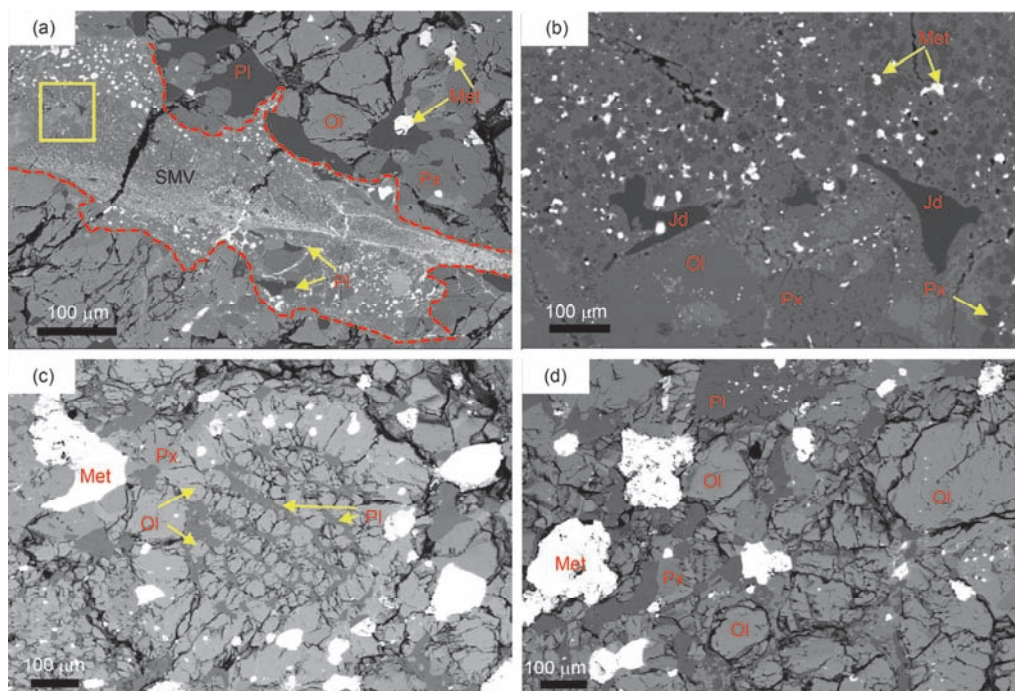


图2 (网络版彩色)曼桂陨石显微结构。(a) 冲击熔脉;(b) 为(a)图的黄色方框放大区域,可见不规则的硬玉;(c) 残余球粒,轮廓较为模糊;(d) 主岩矿物-橄榄石等硅酸盐矿物破裂严重。SMV, 冲击熔脉; Met, 金属; Ol, 橄榄石; Px, 辉石; Jd, 硬玉

Figure 2 (Color online) Mangui meteorite microstructure. (a) Shock-melt vein; (b) amplified image of the yellow rectangular outlined in (a), showing irregular texture jadeite in shock-melt vein; (c) a relict chondrule without sharp boundary; (d) host-rock minerals, silicate minerals are highly fractured. SMV, shock-melt vein; Met, metal; Ol, olivine; Px, pyroxene; Jd, jadeite

也比较均一, An值为6.9~9.9, 平均值为 8.6 ± 0.6 ($n=49$), Ab值为82.6~85.7, 平均值为 84.1 ± 0.7 ($n=49$), Or值为6.3~7.9, 平均值为 7.3 ± 0.4 ($n=49$)。在熔脉和熔融囊中, 残余橄榄石颗粒的Fa值为24.0~29.3, 平均值为 25.2 ± 1.5 ($n=9$), Fa值变化较大; 熔脉中的辉石成分与未熔融区的辉石在化学成分上没有明显差别。同时, 与熔壳相邻的热变质区域的橄榄石和辉石成分与未熔融区域的基本一致。

2.3 冲击变质特征

样品中可见冲击熔脉, 脉宽100~600 μm (图2(a))。熔脉内的硅酸盐矿物主要由粗粒的残余辉石和橄榄石、熔融过的铁镍金属和陨硫铁 (图2(b)) 与重结晶的橄榄石和辉石微晶组成。重结晶的橄榄石大部分为5~20 μm 的半自形-他形颗粒 (图2(b)); 大部分辉石为1~2 μm 的圆形小颗粒 (图2(b))。熔脉边部常见熔长石 (图3), 部分具有流动结构, 说明发生过熔融。熔脉内的长石已基本全部转变成硬玉, 呈细粒集合体产出, 常与熔长石和镁铁榴石共生 (图4)。

初步的拉曼光谱分析结果显示, 在冲击熔脉内

及熔脉边缘, 没有橄榄石和磷酸盐的高压相矿物, 但可见熔长石、硬玉和辉石的高压相矿物镁铁榴石。熔长石的拉曼光谱在 $\sim 480 \text{ cm}^{-1}$ 附近有很宽的谱峰 (图5), 具有光滑的形貌, 常以条带状出现在熔脉边部 (图3)。硬玉主要产出于熔脉内, 微米级大小, 常以集合体形式产出, 可见网格状的裂纹 (图4)。拉曼光谱分析发现, 该矿物在 ~ 204 , ~ 379 , ~ 698 , $\sim 1037 \text{ cm}^{-1}$ 存在4个强的拉曼谱峰 (图5), 属于硬玉的拉曼光谱特征峰; 此外, 在 ~ 328 , ~ 823 , ~ 853 , $\sim 921 \text{ cm}^{-1}$ 可见较弱的拉曼谱峰, 可能是覆盖到周围的橄榄石或磷酸盐所致 (图5)。辉石的高压相矿物镁铁榴石相以包裹体的形式产出于粒状硬玉之中 (图4(f)), 在 ~ 356 , ~ 569 , $\sim 923 \text{ cm}^{-1}$ 处可见3个拉曼光谱特征峰 (图5)。

3 讨论

3.1 曼桂陨石的化学群和岩石类型

从金属含量、岩石结构等特征判定, 曼桂陨石属于普通球粒陨石。曼桂陨石的橄榄石平均Fa值为 25.1 ± 0.3 ($n=71$), 辉石平均Fs值为 21.1 ± 0.3 , Wo值为

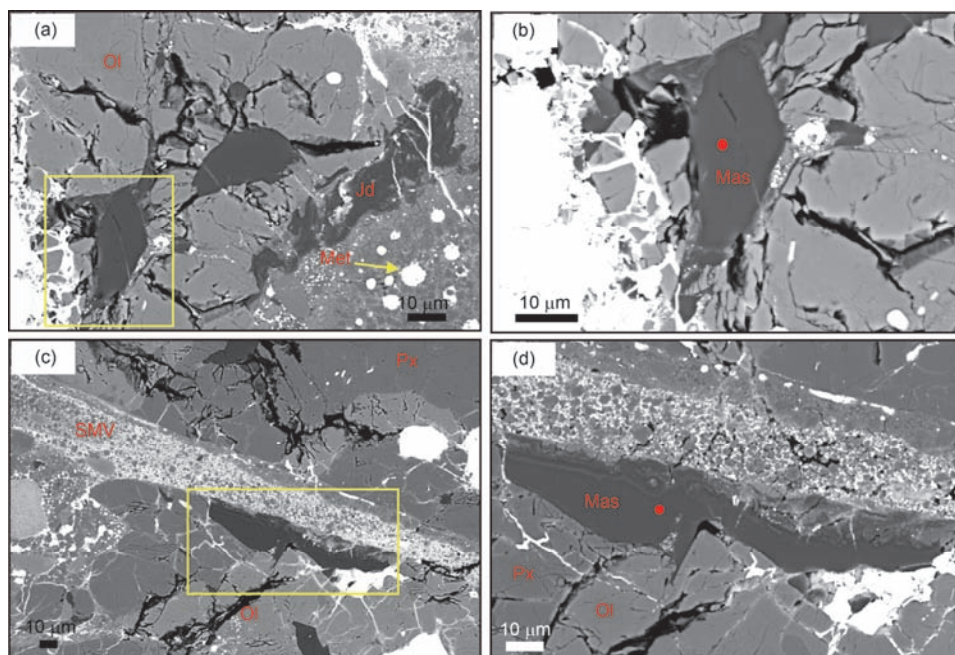


图3 (网络版彩色)曼桂陨石的熔长石背散射电子图像(BSE). (a), (c) 冲击熔脉的局部背散射电子图像(BSE); (b), (d) 分别是(a)和(c)中的黄色方框中的放大区域. SMV, 冲击熔脉; Met, 金属; Ol, 橄榄石; Px, 辉石; Jd, 硬玉; Mas, 熔长石; 红色实心点, 拉曼分析点位

Figure 3 (Color online) BSE images of maskelynite in Mangui. (a), (c) Local BSE images of shock-melt vein; (b), (d) enlarged view of the area shown by the yellow rectangular in (a) and (c) respectively. SMV, shock-melt vein; Met, metal; Ol, olivine; Px, pyroxene; Jd, jadeite; Mas, maskelynite; red spot, Raman analyse spot

$1.6 \pm 0.2 (n=58)$, 将橄榄石的Fa值和辉石的Fs值进行投图, 根据Van Schmus和Wood^[1]的分类标准, 曼桂陨石落在L群范围之内(图6)^[1,2]. 曼桂陨石手标本虽可见残余球粒, 但在背散射电子图像下球粒轮廓模糊, 可见长达上百微米的次生长石, 表明该样品的岩石类型为6型. 此外, 曼桂陨石中橄榄石和辉石的化学成分均一, 也表明曼桂陨石经历过强烈的热变质作用, 成分发生过均一化, 与6型岩石类型相符^[5]. 从以上两方面可以判定, 曼桂陨石属于L6型普通球粒陨石.

3.2 曼桂陨石的冲击变质程度

曼桂陨石可见大量的冲击熔脉和熔融囊(图2(a), 3(c), 4(c)和(e)). 在扫描电子显微镜下可见曼桂陨石中未发生熔融区域的橄榄石和辉石破裂严重. 在熔脉中, 可见1~2 μm大小的重结晶橄榄石和辉石, 具有环带结构. 熔脉内及边缘的长石已经熔长石化, 有部分长石相变为硬玉, 熔脉内的部分辉石相变为镁铁榴石(图4), 说明曼桂陨石不仅存在冲击熔脉, 且在熔脉中存在高压相矿物, 根据冲击等级划分标准, 其冲击程度应该为S5^[6]. 曼桂陨石是我国继随州陨石和寺巷口陨石之后, 发现存在高压相矿物的降落型样品^[7,8].

目前的研究结果表明, 高压相矿物硬玉的形成可能有两种机制: 一种是长石在高温高压下分解形成硬玉和SiO₂相, 但已有报道硬玉的文献中很少发现SiO₂相, 可能是SiO₂相矿物成核速率较慢所致^[9~12]; 另一种是冲击使长石发生熔融, 硬玉从长石质熔体中快速结晶形成, 常具有枝状或者微粒状形态, 不与SiO₂相共生^[13,14]. 在曼桂陨石的冲击熔脉中发现的硬玉与长石灰度接近, 形貌为粒状集合体, 微米级大小的硬玉具有自形结构(图4(d)), 可能是从熔体中结晶形成. 此外, 硬玉的拉曼光谱未见柯石英、斯石英等SiO₂的高压相矿物对应的特征峰, 与熔体结晶的机制较吻合. 然而, 由于目前缺乏透射电子显微镜和同步辐射的进一步分析, 硬玉的成因还有待进一步厘定. 前人研究表明冲击熔脉中的硬玉形成条件是压力3~12 GPa和温度1700~2000℃^[13]; 低钙辉石在压力17~20 GPa和温度1900~2000℃相变为高压相镁铁榴石^[15], 说明曼桂陨石的母体经历过强烈的撞击. 该温压条件下, 熔脉中的橄榄石应该相变为林伍德石, 但是目前在该样品中未发现橄榄石的高压相, 只发现橄榄石重结晶和明显的成分差异, 可能是冲击后的温度冷却速度较慢导致林伍德石发生退变

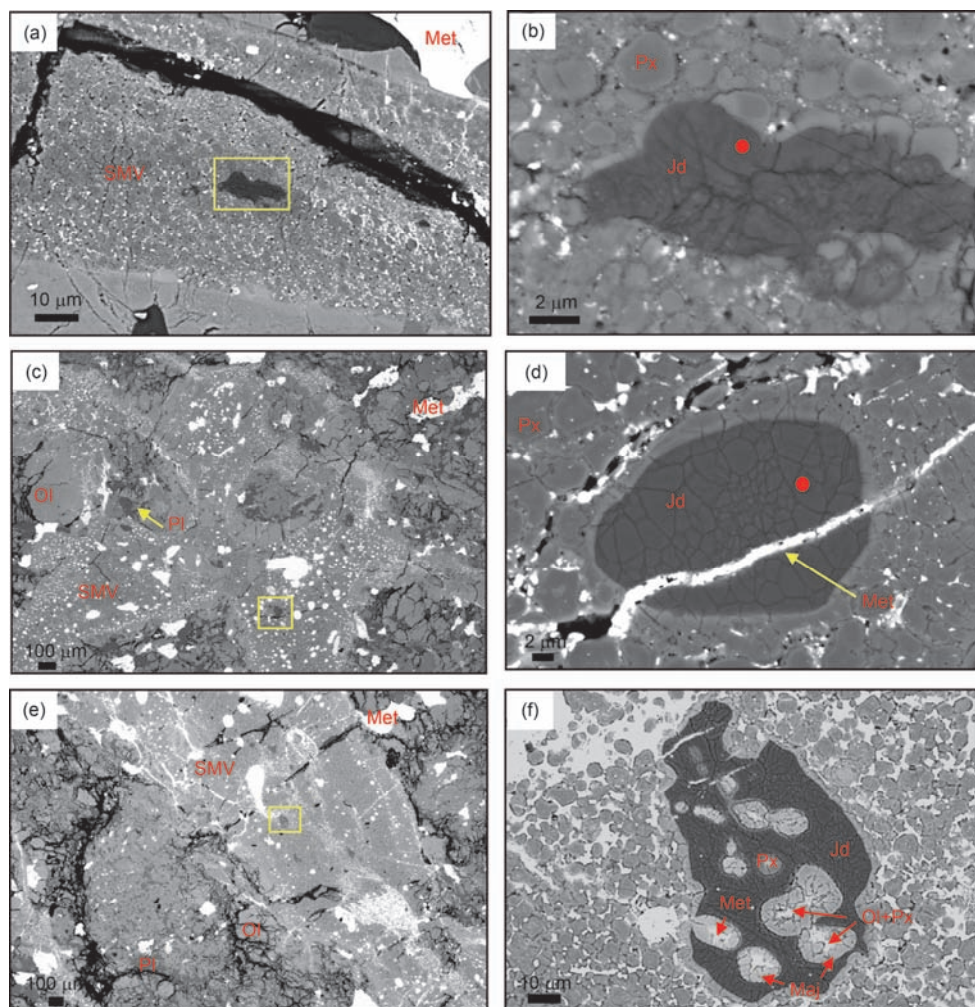


图 4 (网络版彩色)曼桂陨石的硬玉和镁铁榴石背散射电子图像(BSE). (a), (c)和(e) 冲击熔脉的局部背散射电子图像(BSE); (b), (d), (f) 分别是(a), (c)和(e)中的黄色方框中的放大区域. SMV, 冲击熔脉; Met, 金属; Ol, 橄榄石; Px, 辉石; Jd, 硬玉; Maj, 镁铁榴石; 红色实心点, 拉曼分析点位

Figure 4 (Color online) BSE images of jadeite in Mangui. (a), (c), (e) Local BSE images of shock-melt vein; (b), (d), (f) enlarged view of the area shown by the yellow rectangular in (a), (c) and (e), respectively. SMV, shock-melt vein; Met, metal; Ol, olivine; Px, pyroxene; Jd, jadeite; Maj, majorite; red spot, Raman analyses spot

质和橄榄石重结晶.

4 结论

曼桂陨石具有典型的普通球粒陨石矿物组成和岩石学特征,可见残余球粒结构,轮廓不清晰;橄榄石和辉石具有均一的化学成分,次生长石颗粒可达 100 μm ,表明曼桂陨石是6型普通球粒陨石.根据橄榄石Fa值和辉石Fs值可确定曼桂陨石的化学群为L群.因此,曼桂陨石是L6型普通球粒陨石.

曼桂陨石中的硅酸盐矿物破裂严重,熔脉发育,熔脉中存在熔长石和高压相矿物硬玉和镁铁榴石,

说明其受到的冲击变质强度为S5级.高压相矿物硬玉和镁铁榴石的出现,说明曼桂陨石的母体小行星遭受了强烈的冲击作用.硬玉的成因有待透射电子显微镜和同步辐射等分析来厘定.目前,在熔脉中未发现林伍德石等其他高压相矿物,但熔脉中可见橄榄石明显的成分差异和重结晶现象,可能说明曼桂陨石母体撞击后的冷却速度较慢,导致熔脉中的林伍德石发生退变质和橄榄石重结晶.然而,林伍德石等其他高压相还有待进一步研究来确定.总之,曼桂陨石记录了强烈的冲击变质作用,为研究其母体的撞击历史和高压相的形成机制提供了重要标本.

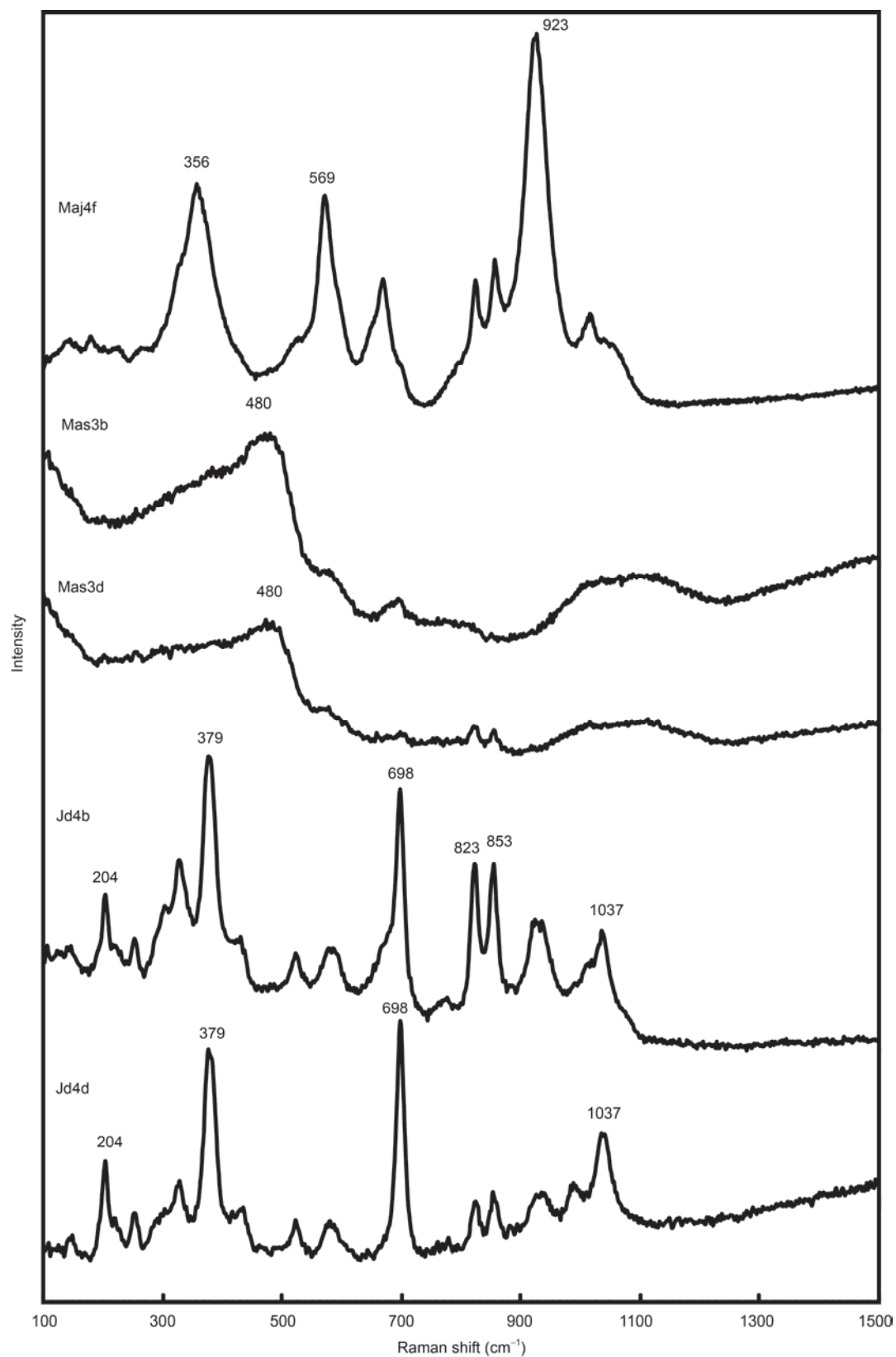


图5 曼桂陨石的熔长石、硬玉和镁铁榴石拉曼光谱. Mas, 熔长石; Jd, 硬玉; Maj, 镁铁榴石

Figure 5 Raman spectra of maskelynite, jadeite and majorite in Mangui. Mas, maskelynite; Jd, jadeite; Maj, majorite

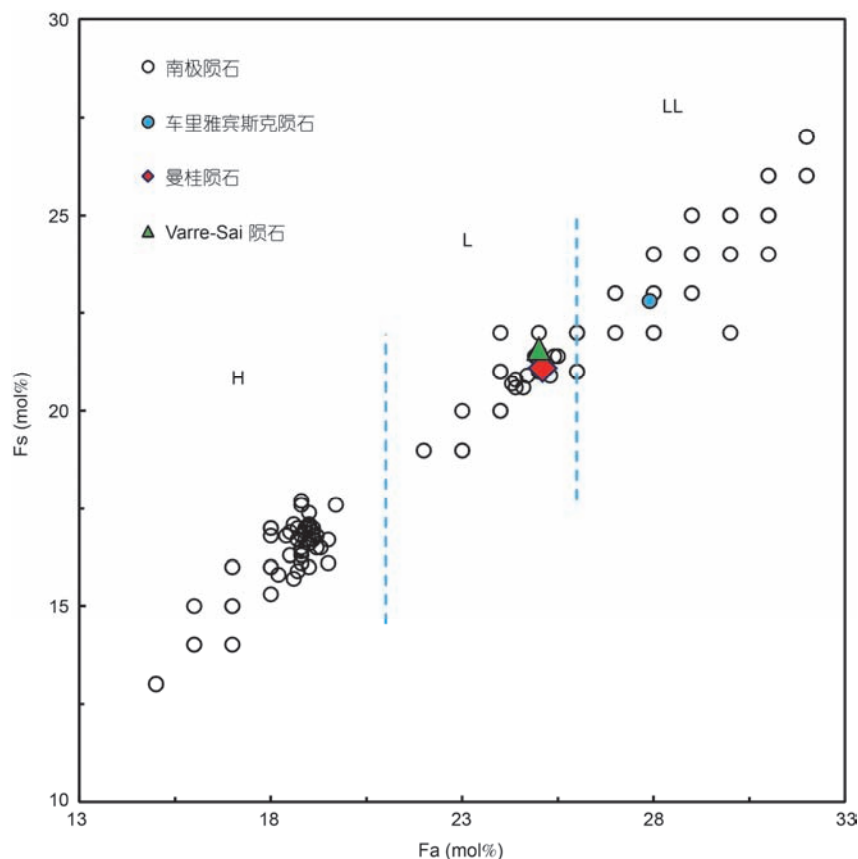


图6 (网络版彩色)普通球粒陨石的橄榄石(Fa)和辉石的(Fs)关系图. 数据来自于文献[3,4]和美国NASA南极陨石库

Figure 6 (Color online) Corresponding relation of olivine (Fa) and pyroxene (Fs) in ordinary chondrites. Other data come from Galimov et al.^[3], Zucolotto et al.^[4] and NASA Antarctic Meteorite Classification Database

致谢 研究样品由陨石爱好者蒋维捐赠. 感谢两位匿名审稿人的意见和建议, 以及中国科学院地质与地球物理研究所 Changela博士对英文摘要的润色.

参考文献

- 1 Van Schmus W R, Wood J A. A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. *Geochim Cosmochim Acta*, 1967, 31: 747–765
- 2 Rubin A E. Kamacite and olivine in ordinary chondrites: Intergroup and intragroup relationships. *Geochim Cosmochim Acta*, 1990, 54: 1217–1232
- 3 Galimov E M, Kolotov V P, Nazarov M A, et al. Analytical results for the material of the chelyabinsk meteorite. *Geochem Int*, 2013, 51: 522–539
- 4 Zucolotto M E, Antonello L L, Varela M E, et al. Varre-sai: The recent brazilian fall. *Earth Moon Planets*, 2012, 109: 43–53
- 5 Lodders K, Fegley B. *The Planetary Scientist's Companion*. New York: Oxford University Press, 1998
- 6 Stöffler D, Keil K, Scott E R D. Shock metamorphism of ordinary chondrites. *Geochim Cosmochim Acta*, 1991, 55: 3845–3867
- 7 Xie X D, Chen M. Investigation of mineral assemblage in the Earth's mantle on the basis of study of the Suizhou meteorite (in Chinese). *Acta Metall Sin*, 2005, 24: 277–285 [谢先德, 陈鸣. 从随州陨石研究探讨地幔的高压矿物组成. *矿物岩石地球化学通报*, 2005, 24: 277–285]
- 8 Ding M W, Zhang A C, Xu W B. Thermal and shock metamorphism of the Sixiangkou ordinary chondrite (in Chinese). *Acta Astronom Sin*, 2008, 49: 55–66 [丁明伟, 张爱铖, 徐伟彪. 寺巷口普通球粒陨石的热变质和冲击变质历史研究. *天文学报*, 2008, 49: 55–66]
- 9 Kondo T, Ohtani E, Goresy A E. Natural occurrence of high-pressure phases, jadeite, hollandite, wadsleyite, and majorite-pyrope garnet,

- in an H chondrite, Yamato 75100. *Meteorit Planet Sci*, 2010, 35(Suppl): A87–A88
- 10 Kubo T, Kimura M, Kato T, et al. Plagioclase breakdown as an indicator for shock conditions of meteorites. *Nat Geosci*, 2010, 3: 412–416
- 11 Ohtani E, Ozawa S, Miyahara M. Jadeite in shocked meteorites and its textural variations. *J Mineral Petrol Sci*, 2017, 112: 247–255
- 12 Miyahara M, Ohtani E, Yamaguchi A. Albite dissociation reaction in the Northwest Africa 8275 shocked LL chondrite and implications for its impact history. *Geochim Cosmochim Acta*, 2017, 217: 320–333
- 13 Ozawa S, Miyahara M, Ohtani E, et al. Jadeite in Chelyabinsk meteorite and the nature of an impact event on its parent body. *Sci Rep*, 2014, 4: 5033
- 14 Bazhan I S, Ozawa S, Miyahara M, et al. “Spherulite-like” jadeite growth in shock-melt veins of the Novosibirsk H5/6 chondrite. *Russ Geol Geophys*, 2017, 58: 12–19
- 15 Tomioka N, Miyahara M, Ito M. Discovery of natural MgSiO_3 tetragonal garnet in a shocked chondritic meteorite. *Adv Sci*, 2016, 2: 1–5
-

补充材料

图 S1 曼桂陨石背散射电子图像

表 S1 曼桂陨石的橄榄石、辉石和长石化学成分分析结果(wt%)

本文以上补充材料见网络版 csb.scichina.com. 补充材料为作者提供的原始数据, 作者对其学术质量和内容负责.

Summary for “曼桂陨石的岩石矿物学和冲击变质特征”

Petrography, mineral chemistry and shock metamorphism of the Mangui meteorite

Jianglong Ji^{1,2,3}, Sen Hu^{1,2*}, Yangting Lin^{1,2}, Qin Zhou⁴ & Yuan Xiao⁴

¹ Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

² Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

³ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

⁴ National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

* Corresponding author, E-mail: husen@mail.iggcas.ac.cn

The Mangui meteorite, also known as the Xishuangbanna meteorite, fell in Menghai, Xishuangbanna Dai Nationality Autonomous Prefecture, Yunnan Province, China at ~9:45 pm on June 1, 2018. More than 500 fragments of Mangui were collected a total mass of ~50 kg. The mass of the largest fragment is ~1228 g. Mangui has a black fusion crust, a light gray exposure surface, and contains many black shock melt veins and pockets. In this work, the classification of Mangui and its shock history are investigated by studying its petrology, mineral chemistry, and the nature of its shock assemblages. Mangui is mainly composed of olivine, pyroxene, feldspar, Fe-Ni metal, troilite, chromite, merrillite and apatite, showing typical petrologic features of an ordinary chondrite. Relict chondrules are observed in hand specimens but their boundaries are less clear under FE-SEM. Electron Probe Micro Analysis (EPMA) shows that the chemical compositions of olivine ($\text{Fa}_{25.1\pm0.3}$ mol% ($n=71$)), low-Ca pyroxene ($\text{Fs}_{21.1\pm0.3}\text{Wo}_{1.5\pm0.2}$ mol% ($n=58$)) and plagioclase ($\text{Ab}_{84.1\pm0.7}\text{Or}_{7.3\pm0.4}$ mol% ($n=49$)) in Mangui are relatively homogeneous. The petrographic type of Mangui is classified as type 6 by the coarse grains of secondary plagioclase, the homogeneous compositions of olivine and pyroxene, the recrystallization of matrix and blurry boundaries of relict chondrules. The chemical group of Mangui is L based on the average Fa content of olivine ($\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})\times100$, atomic percentage, 25.1 ± 0.3 , $n=71$) and the average Fs content of pyroxene ($\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Ca})\times100$, atomic percentage, 21.1 ± 0.3 , $n=58$). Therefore, the Mangui meteorite is classified as an L6 ordinary chondrite.

The Mangui parent body experienced strong shock metamorphism with the widespread distribution of shock melt veins with widths up to 600 μm . Shock induced melt pockets were also observed. Micron-sized olivine and pyroxene in the center of the shock melt veins display chemical zonation, suggesting that they recrystallized from the shock induced melt. Plagioclase in the shock melt veins has transformed into maskelynite. Two high pressure polymorphs, jadeite and majorite, occur in the shock melt veins and melt pockets as measured by Raman analysis. Jadeite usually displays granular textures in these assemblages as euhedral to sub-euhedral crystals. Majorite was only found in one jadeite assemblage, occurring as inclusions in outer rim of an assemblage. The co-occurrence of majorite and jadeite indicate shock pressures from 17–20 GPa at temperatures ranging from 1900–2000°C. However, ringwoodite, whitlockite and other high pressure polymorphs have not been identified in the shock melt veins pockets. The occurrences of maskelynite, jadeite and majorite, and widespread distribution of shock melt veins and pockets suggest the shock stage of Mangui as S5. The absence of ringwoodite and tuite probably attribute to slow post-shock cooling rates, suggesting that the Mangui parent body experienced strong shock metamorphism with a subsequent slow post-shock cooling history. TEM and XRD work will be performed to better constrain the formation mechanisms of jadeite and majorite and their P - T - t histories. Furthermore, we aim on modelling the impact conditions on the Mangui parent body such as impact velocity, and parent body-impactor sizes by further study of the high-pressure minerals in shock-melt veins of the Mangui meteorite.

Xishuangbanna, Mangui meteorite, fallen meteorite, ordinary chondrite, shock metamorphism

doi: 10.1360/N972018-00972