

高压物理学报

快速压缩作用下橄榄石的结构稳定性

何亚丽 王君龙 邓力维 王志飞 刘秀茹

Structural Stability of Olivine under Rapid Compression

HE Yali, WANG Junlong, DENG Liwei, WANG Zhifei, LIU Xiuru

引用本文:

何亚丽, 王君龙, 邓力维, 等. 快速压缩作用下橄榄石的结构稳定性[J]. 高压物理学报, 2020, 34(1):011201. DOI: 10.11858/gywlb.20190787

HE Yali, WANG Junlong, DENG Liwei, et al. Structural Stability of Olivine under Rapid Compression[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2020, 34(1):011201. DOI: 10.11858/gywlb.20190787

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11858/gywlb.20190787>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

月幔条件下水在橄榄石中扩散的实验研究

Water Diffusion in Olivine under Lunar Mantle Conditions

高压物理学报. 2018, 32(1): 011201 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20170645>

高压下单晶橄榄石的电导率

High-Pressure Electrical Conductivity of Single-Crystal Olivine

高压物理学报. 2019, 33(6): 060103 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20190775>

压力对纯的和含硫化亚铁的橄榄石电导率影响的实验研究

Experimental Study on the Effect of Pressure on the Electrical Conductivity of Pure and Iron Sulfide-Bearing Olivine

高压物理学报. 2019, 33(5): 051201 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20180674>

高压下六方TaSi₂晶体基于结构稳定性的电学输运性质

Electrical Transport Properties of Hexagonal TaSi₂ Crystals Based on Structural Stability under High Pressure

高压物理学报. 2018, 32(2): 021102 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20170571>

毫秒级快速压缩技术在材料科学中的应用

Applications of Rapid Compression Technique within Milliseconds in Materials Science

高压物理学报. 2017, 31(3): 223 <https://doi.org/10.11858/gywlb.2017.03.003>

快速增压法研究温度对铝和氯化钠Grüneisen参数的影响

Effect of Temperature on Grüneisen Parameters of Aluminum and Sodium Chloride by Rapid Compression Method

高压物理学报. 2018, 32(4): 041301 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20170534>

快速压缩作用下橄榄石的结构稳定性

何亚丽¹, 王君龙¹, 邓力维², 王志飞¹, 刘秀茹¹

(1. 西南交通大学物理科学与技术学院, 材料先进技术教育部重点实验室, 四川 成都 610031;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 结合不同的温度效应, 研究了快速压缩过程对橄榄石结构稳定性的影响。分别在 293、373、473、573、673、773 K 下将橄榄石快速加压至 3 GPa, 在 873、973、1 073、1 173 K 下烧结橄榄石样品 2 h 后再在室温下快速加压至 3 GPa。采用同步辐射 X 射线衍射、拉曼光谱、红外吸收光谱以及扫描电镜等技术分析了回收样品的结构和微观形貌。结果表明, 上述过程中橄榄石结构均稳定, 未发生由压力和温度导致的相变。橄榄石回收样品的微观形貌发生变化, 晶粒细化。由于回收样品中存在残余应力以及晶粒细化, 橄榄石的 822 cm^{-1} 和 854 cm^{-1} 拉曼特征峰出现了展宽和偏移。

关键词: 橄榄石; 快速压缩; 拉曼光谱; 同步辐射 X 射线衍射

中图分类号: O521.2

文献标识码: A

橄榄石在上地幔和俯冲带中的质量分数超过 50%, 是俯冲带和上地幔中最主要的组分^[1-2]。研究橄榄石相变过程不仅可以了解地球内部特征, 还有助于揭示地震发生机制。板块俯冲是两个构造板块汇聚时在其边界上发生的、伴有板块消亡的地质过程, 是板块构造理论的重要内容之一。每年有 $80\sim 120\text{ km}^2$ 的岩石圈层俯冲到 350 km 以下的界面, 并在俯冲过程中被逐渐加压加热^[3]。由于下降岩石板块既厚又是热的不良导体, 故能在俯冲过程中保持较冷的状态。在正常地幔条件下, α 相橄榄石在大约 410 km 深度的温压条件下变得不稳定, 开始转变为 β 相, 标志着地幔转换带的开始^[4]; 在约 520 km 深度的温压条件下, β 相橄榄石转变为 γ 相橄榄石^[5]; 在约 660 km 深度处, γ 相橄榄石分解成钙钛矿和镁方铁矿, 标志着下地幔的开始^[4]。但是在岩石圈俯冲板块内, 由于俯冲岩石层内部温度低, 在约 400 km 的深度 α 相橄榄石不发生相变, 低压相的橄榄石以亚稳态的形式进入更深的深度^[3]。Sung 等^[6] 用金刚石压腔研究了天然组分橄榄石粉末样品, 认为在低于 973 K 的较冷俯冲板块内部, 橄榄石处于亚稳态。韩鹏等^[7] 研究发现, 俯冲带的板块边界内板块运动与地震各向异性及应力场等存在相关性。刘雷等^[3] 提出, 在地球深部岩石脆性行为失效的情况下, 橄榄石等矿物的亚稳态相变可能是诱发深源地震的因素之一, 在亚稳态条件下橄榄石等矿物发生相变会包含一个小的体积变化, 形成一个狭长弱剪切带, 同时快速释放大剪能, 即相变破裂诱发深源地震的机制。

对橄榄石高温高压结构及物理性质的实验研究主要采用静高压方法^[5, 8-11]。1962 年, Bragg 和 Brown 测定了橄榄石的晶体结构, 空间群为 $Pbnm$ (α 相), 斜方晶系, 化学通式为 $(M(1)M(2))_2\text{SiO}_4$, 对于天然橄榄石, M 代表 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 且完全类质同相^[12]。 β 相和 γ 相是橄榄石的高温高压相, 空间群分别为 $Imma$ 和 $Fd\bar{3}m$ ^[13-14]。关于亚稳态的橄榄石, 马艳梅等^[12, 15] 利用同步辐射 X 射线衍射和拉曼光谱研究发现, 在常温高压 (低于 40 GPa) 和常压高温 (377~1 113 K) 两种条件下, α 相橄榄石结构均稳定, 未发生

* 收稿日期: 2019-06-02; 修回日期: 2019-08-29

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金 (2682018ZT29)

作者简介: 何亚丽 (1992—) 女, 硕士研究生, 主要从事高温高压材料合成与改性研究。

E-mail: ylhe@my.swjtu.edu.cn

通信作者: 刘秀茹 (1981—) 女, 博士, 副教授, 主要从事高温高压材料合成与改性研究。

E-mail: xrlu@swjtu.edu.cn

通过 SEM 能谱分析,测得初始样品中 Mg 和 Fe 的质量分数分别约为 32.0% 和 6.5%, 化学式为 $(\text{Mg}_{0.91}\text{Fe}_{0.09})_2\text{SiO}_4$ 。快速压缩实验回收的橄榄石样品量少, 结晶性变差, 衍射信号弱且有展宽, 细聚焦同步辐射 X 射线的能量高、波长短、分辨率高, 有助于分析橄榄石回收样品的微观结构。图 3 和图 4 分别为升温快压和焙烧快压后回收的橄榄石同步辐射 XRD 谱。与初始样品的 XRD 谱对比可得, 在升温快压(上升温度 373~773 K, 快压至 3 GPa)和焙烧后室温快压(焙烧温度 873~1 173 K, 快压至 3 GPa)两种实验条件下, 橄榄石衍射峰的位置并未发生改变, 也没有出现新的衍射峰, 说明在上述过程中 α 相橄榄石晶体的结构稳定, 未发生因快速压缩、升温或焙烧共同作用而导致的 α - β 相变。

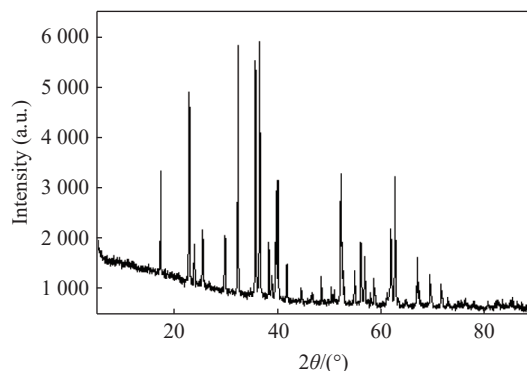


图 2 常温常压下橄榄石初始样品的常规 XRD 谱

Fig. 2 XRD pattern of initial olivine sample

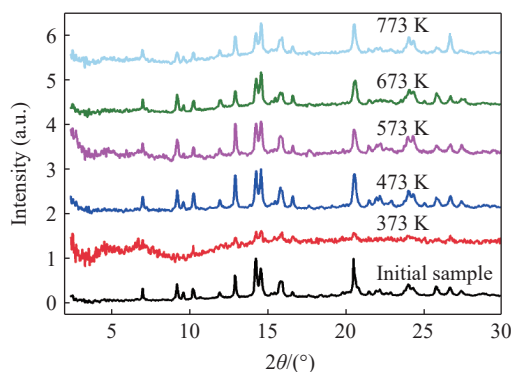


图 3 初始样品和不同温度下快压后回收橄榄石样品的同步辐射 XRD 谱

Fig. 3 Synchrotron XRD patterns of initial sample and recovered olivine samples after rapid compression at various temperatures

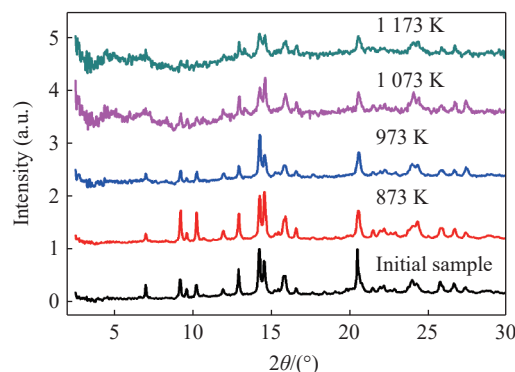


图 4 不同温度下焙烧随即室温快压后回收的橄榄石样品同步辐射 XRD 谱

Fig. 4 Synchrotron XRD patterns of recovered olivine samples after calcination and rapid compression at room temperature

图 5 显示了由 SEM 观察到的不同条件下回收橄榄石样品的微观形貌。图 5(a) 和图 5(b) 中, 初始样品和室温(293 K)下快压后的橄榄石样品中都包含较大的块状结构, 且表面较光滑。图 5(c)~图 5(f) 中, 在升温快压和焙烧后快压两种条件下, 橄榄石表面更加粗糙, 附着较小的颗粒, 并且颗粒间距变小, 推测是由温度和压力共同作用而导致的, 在较高温度下或者较高温度焙烧后橄榄石的硬度降低, 可碎性提高, 快速压缩过程使橄榄石颗粒细化。

2.2 橄榄石分子振动模式

橄榄石是岛状的硅酸盐矿物, 其晶体结构是不共用氧原子的, 晶体结构中孤立的 SiO_4 四面体彼此不直接连接, 由位于八面体空隙中的阳离子(Mg^{2+} 、 Fe^{2+})连接起来, 属于 T_d 对称^[29]。然而由于在阳离子晶体场的作用下, 硅氧四面体发生很大的畸变, 所以其对称性降低为 C_s 对称。橄榄石的拉曼特征峰是由于 Si—O 键的振动造成的, 拉曼特征峰的变化反映了橄榄石硅氧四面体中 Si—O 键的振动变化。基于简并的原因, 硅氧四面体的振动模式在 0~1 000 cm^{-1} 波数范围内被分为: 高于 800 cm^{-1} 的 Si—O 伸缩振动模(对称伸缩振动模 ν_1 和反对称伸缩振动模 ν_3)、400~700 cm^{-1} 的 Si—O 弯曲振动模(对称弯曲振动模 ν_2 和反对称弯曲振动模 ν_4)、低于 400 cm^{-1} 的旋转振动模(R)和金属-氧的平移振动模(T)。另外, 橄榄石晶格振动光谱理论研究表明, 硅氧四面体的振动模式共有 84 个, 对称性分类为 $11A_g + 7B_{1g} + 11B_{2g} + 7B_{3g} + 10A_u + 14B_{1u} + 10B_{2u} + 14B_{3u}$, 其中具有拉曼振动活性的振动模式为 $A_g + B_{1g} + B_{2g} + B_{3g}$, 共 36 个^[9, 30]。

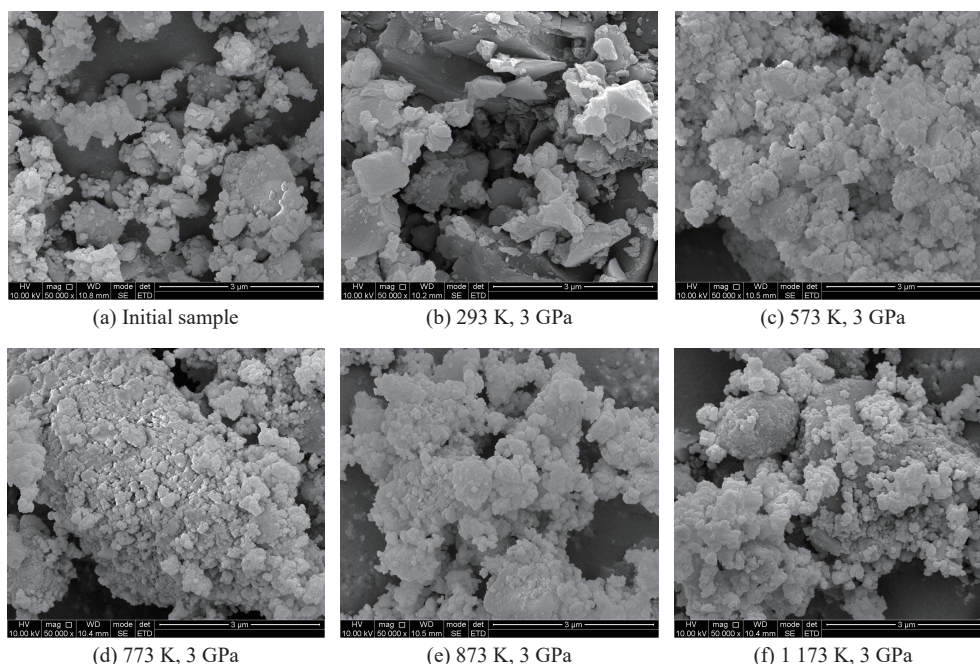


图 5 不同条件下回收橄榄石的 SEM 图像

Fig. 5 SEM images of recovered olivine samples at different conditions

橄榄石初始样品的常温常压拉曼光谱如图 6 所示,主要观测到 467、822、854、881、919、960 cm^{-1} 6 个拉曼峰。在橄榄石的晶体结构中,硅氧四面体内部原子之间的键合力远远大于基团之间的结合力,而拉曼光谱中最强的两个拉曼特征峰 822 cm^{-1} 和 854 cm^{-1} 就来源于硅氧四面体的对称伸缩振动和反对称伸缩振动。将本实验中观测到的橄榄石拉曼光谱与文献中镁橄榄石的拉曼光谱进行了对比,如表 1^[30-31] 所示。

通过分析橄榄石拉曼特征峰的变化可以获得 Si—O 键的振动模式变化。拉曼位移可以表示为

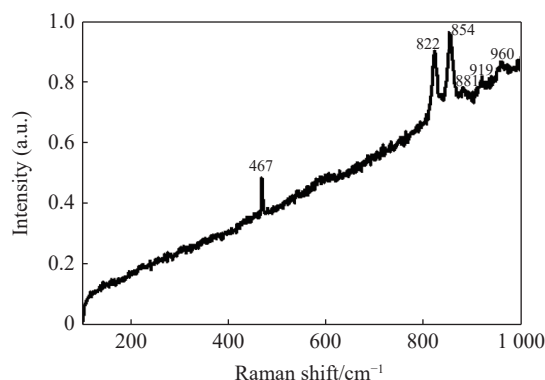


图 6 常温常压下橄榄石初始样品的拉曼光谱

Fig. 6 Raman spectrum of initial olivine sample

$$\Delta\nu = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{K}{\mu}} \quad (1)$$

式中: c 为光速, μ 为折合质量, K 为振动键的力常数。在共价键分子中

$$K = aN \left(\frac{\chi_A \chi_B}{r^2} \right) + b \quad (2)$$

式中: N 为阿伏伽德罗常数, r 为 A、B 原子间的距离, a 、 b 为常数, χ_A 、 χ_B 为 A、B 原子的参数。对于硅氧四面体而言, c 、 μ 为常数, 由式(1)可以得到影响硅氧四面体拉曼位移的因素只有 K 值的大小。除此之外, 原子 A 和 B 是确定的, 通过式(2)分析可得, K 值的大小只取决于 A、B 两原子间的距离 r 。因此, 通过式(1)和式(2)可以分析得到橄榄石硅氧四面体中硅氧原子间距离的变化趋势。

图 7 为不同温度焙烧并在室温下快压后回收橄榄石的拉曼光谱。与橄榄石初始样品的拉曼光谱相比, 873 K 和 973 K 焙烧后快压回收样品的 822 cm^{-1} 和 854 cm^{-1} 振动峰的位置基本不变, 1 073 K 和 1 173 K 焙烧后快压回收样品的 822 cm^{-1} 和 854 cm^{-1} 振动峰强度明显变弱, 并且 822 cm^{-1} 振动峰向高波

表 1 镁橄榄石和橄榄石(阳原)常温常压拉曼振动模及对称性和归属^[30-31]Table 1 Comparison of the Raman shifts, symmetries and assignments between forsterite (Mg_2SiO_4) and olivine (Yangyuan)^[30-31] (All data refer to room temperature and ambient pressure.)

No.	Symmetry	Assignment	ν/cm^{-1}		No.	Symmetry	Assignment	ν/cm^{-1}	
			Forsterite	Olivine				Forsterite	Olivine
1	A_g	T	183		10	B_{1g}	ν_2	435	467
2	B_{1g}	T	192		11	A_g	ν_4	546	
3	A_g	T	226		12	B_{3g}	ν_4	593	
4	B_{2g}	T	243		13	B_{1g}	ν_4	632	
5	A_g	T	305		14	A_g	$0.6\nu_1 + 0.4\nu_3$	825	822
6	B_{2g}	R	324		15	A_g	$0.4\nu_1 + 0.6\nu_3$	856	854
7	A_g	T	330		16	B_{2g}	ν_3	882	881
8	B_{2g}	R	366		17	B_{3g}	ν_3	921	919
9	B_{3g}	R	375		18	A_g	ν_3	966	960

数移动, 854 cm^{-1} 振动峰向低波数移动。李月等^[32]的实验结果显示, α 相橄榄石的 822 cm^{-1} 和 854 cm^{-1} 拉曼特征峰在室温下随压力的升高向高波数方向偏移, 两个拉曼峰之间的波数差减小, 半峰宽增大。 α 相橄榄石原位高温拉曼光谱研究发现, 常压下 822 cm^{-1} 和 854 cm^{-1} 拉曼特征峰随着温度的增加向低波数方向移动。压力和温度单一变量作用主要改变 Si—O 键的键长。压力作用下, 键长变短, 力常数增加, 拉曼振动峰移向高波数。温度作用下, 晶体膨胀, 键长变长, 力常数减小, 振动峰移向低波数^[15]。上述变化在卸压或降温后通常都是可逆的^[15,32]。本工作中, $1\,073\text{ K}$ 以上温度焙烧并快压后振动峰位发生不可逆变化, 可能与残余应力作用下硅氧四面体畸变有关。

图 8 为不同温度下快压后回收橄榄石的拉曼光谱。和高温焙烧后快压样品的拉曼光谱(见图 7)相比, 图 8 所示拉曼特征峰峰位未发生明显移动, 间接说明 $1\,073\text{ K}$ 温度以上的高温经历对橄榄石的结构稳定性产生重要影响。值得注意的是, 回收样品的 467 、 881 、 919 、 960 cm^{-1} 拉曼峰强度随快压时样品温度上升而逐渐减小以致消失。同时, Si—O 对称伸缩和反对称伸缩的混合振动模对应的拉曼峰(常温下位于 822 cm^{-1} 和 854 cm^{-1})展宽。推测这些变化与升温快压后样品晶格破坏有关, 结合图 5 中的微观形貌发现, 快压后样品颗粒变小、晶粒细化是拉曼峰展宽的主要原因。

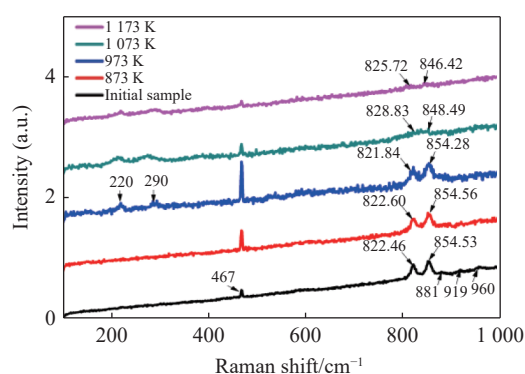


图 7 不同温度下焙烧并室温快压后回收橄榄石样品的拉曼光谱

Fig. 7 Raman spectra of recovered olivine samples after calcination and rapid compression at room temperature

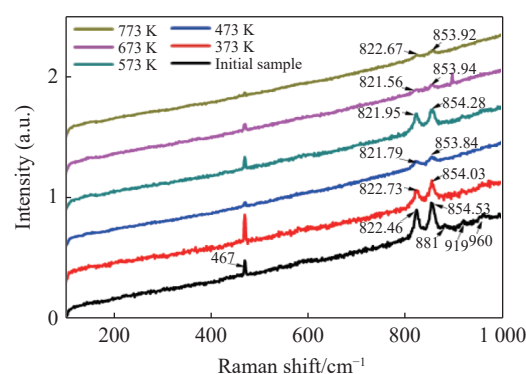


图 8 不同温度下快压后橄榄石回收样品的拉曼光谱

Fig. 8 Raman spectra of recovered olivine samples after rapid compression under different temperatures

2.3 橄榄石晶体的红外光谱

朱蓓蓓等^[33]研究发现,阳原捕虏体中橄榄石结构水含量明显较高,可能与阳原橄榄岩经历的上地幔交代作用有关。扩散进入橄榄石中的水以羟基(质子H与硅酸盐骨干中的O原子结合)为主要存在形式,羟基的红外吸收峰主要位于 $3\,200\sim 3\,620\text{ cm}^{-1}$ 波数^[23]。

为了了解温度和快压共同作用对橄榄石样品中水含量的影响,对室温快压、焙烧 $1\,073\text{ K}$ 后室温快压、升温到 773 K 快压后回收的3个橄榄石样品研磨后进行红外光谱分析,光谱采集的波数范围为 $400\sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$,光谱归一化后如图9所示。从图9中可以看到:3种实验条件下回收的橄榄石红外光谱基本一致。 $400\sim 1\,000\text{ cm}^{-1}$ 波数范围内的吸收峰主要是阳离子晶体场作用下的硅氧四面体振动吸收峰^[9]。 $3\,200\sim 3\,620\text{ cm}^{-1}$ 波数范围内羟基吸收峰的位置和相对强度均未发生明显的改变,推测较低压力和温度下的快速增压过程对橄榄石中结构水含量未产生明显影响。

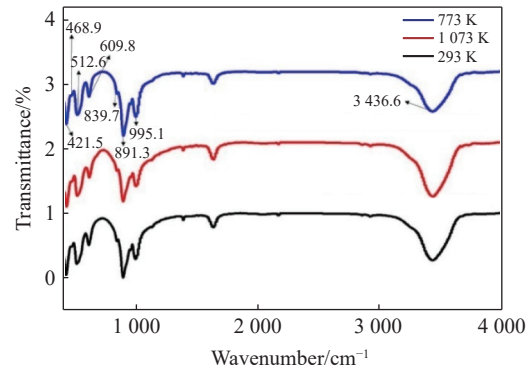


图9 不同条件下回收橄榄石样品的红外吸收光谱

Fig. 9 Infrared spectra of recovered olivine samples at different conditions

3 结 论

传统静高压实验的压力加载时间长,无法研究地震瞬间俯冲带内亚稳橄榄石的结构演变;冲击压缩实验的压力加载时间短,但常常伴随着温度的大幅升高,无法满足俯冲带较冷环境下亚稳橄榄石的快速压缩实验研究。介于静高压和动高压之间、加压时间为毫秒量级的快速压缩实验有利于研究地震发生瞬间亚稳态橄榄石的结构变化。对河北阳原捕虏体中的新鲜橄榄石在升温快压和焙烧后室温快压两种条件下的结构稳定性进行了研究,发现在 $873\sim 1\,173\text{ K}$ 焙烧 2 h 后室温快压至 3 GPa 和在 $373\sim 773\text{ K}$ 升温快压至 3 GPa 的条件下,橄榄石均未发生由温度和快压共同作用所导致的相变,晶体结构保持稳定。尽管相比于俯冲带的温压条件,本实验的压力条件较低,但是通过实验仍然观察到了快压和温度共同作用下橄榄石可碎性提高、晶粒细化以及结构水稳定等现象,对于研究地震发生瞬间橄榄石的结构变化具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] LASTOVICKOVA M. A review of laboratory measurements of the electrical conductivity of rocks and minerals [J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1991, 66(1/2): 1–11.
- [2] 谢鸿森. 地球深部物质科学导论 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 87–88.
XIE H S. Introduction to deep earth material science [M]. Beijing: Science Press, 1997: 87–88.
- [3] 刘雷, 杜建国, 易丽. 亚稳态橄榄石相变与深源地震研究进展 [J]. *地震*, 2007, 27(3): 41–49.
LIU L, DU J G, YI L. An advance in metastable olivine phase transformation and deep-focus seismicity [J]. *Earthquake*, 2007, 27(3): 41–49.
- [4] 吴耀, 张艳飞, 王雁宾, 等. 地幔转换带底部橄榄石和辉石高压相变实验研究: 对 660 km 地震不连续面结构的启示 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2013, 43(12): 1943–1951.
WU Y, ZHANG Y F, WANG Y B, et al. Experimental investigation of phase transformations of olivine and enstatite at the lower part of the mantle transition zone: implications for structure of the 660 km seismic discontinuity [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2013, 43(12): 1943–1951.
- [5] 秦霏, 王英, 巫翔, 等. 天然橄榄石单晶的压缩性 [J]. *高压物理学报*, 2016, 30(1): 20–26.
QIN F, WANG Y, WU X, et al. Compressibility of natural olivine single-crystals [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2016, 30(1): 20–26.

- [6] SUNG C M, BURNS R G. Kinetics of the high-pressure phase transformations: implications to the evolution of the olivine-spinel phase transition in the downgoing lithosphere and its consequences on the dynamics of the mantle [J]. *Tectonophysics*, 1976, 31: 1–32.
- [7] 韩鹏, 刘迁迁, 孙振添, 等. 全球主要俯冲带处板块运动与地震各向异性及应力场的相关性讨论 [J]. *地震*, 2014, 34(4): 1–11.
- HAN P, LIU Q Q, SUN Z T, et al. A discussion on correlation of plate motions with seismic anisotropy and stress field in global subduction zones [J]. *Earthquake*, 2014, 34(4): 1–11.
- [8] ANDRAULT D, BOUHIFD M A, ITIE J P, et al. Compression and amorphization of (Mg, Fe)₂SiO₄ olivines: an X-ray diffraction study up to 70 GPa [J]. *Physics and Chemistry of Minerals*, 1995, 22(2): 99–107.
- [9] 谢鸿森, 彭文世, 薛承林, 等. 镁铁橄榄石系列的高压合成及其 X 射线衍射和红外光谱研究 [J]. *矿物学报*, 1986(2): 103–108.
- XIE H S, PENG W S, XUE C L, et al. Synthesis, infrared spectra and X-ray diffraction of Mg-Fe olivine [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1986(2): 103–108.
- [10] KLEPPE A K, JEPHCOAT A P, SMYTH J R. Raman spectroscopic study of hydrous γ -Mg₂SiO₄ to 56.5 GPa [J]. *Physics and Chemistry of Minerals*, 2002, 29(7): 473–476.
- [11] 刘曦, 代立东, 邓力维, 等. 近十年我国在地球内部物质高压物性实验研究方面的主要进展 [J]. *高压物理学报*, 2017, 31(6): 657–681.
- LIU X, DAI L D, DENG L W, et al. Recent progresses in some fields of high-pressure physics relevant to earth sciences achieved by Chinese scientists [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2017, 31(6): 657–681.
- [12] 马艳梅, 崔启良, 刘景, 等. 橄榄石的等温状态方程 [J]. *矿物学报*, 2006, 26(4): 373–376.
- MA Y M, CUI Q L, LIU J, et al. Isothermal equation of state of olivine [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2006, 26(4): 373–376.
- [13] TSUCHIYA J, TSUCHIYA T. First-principles investigations on the elastic and vibrational properties of hydrous wadsleyite under pressure [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta Supplement*, 2009, 73: A1350.
- [14] LI L, BRODHOLT J, ALFÈ D. Structure and elasticity of hydrous ringwoodite: a first principle investigation [J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 2009, 177(3/4): 103–115.
- [15] 马艳梅, 崔启良, 周强, 等. 橄榄石原位高温拉曼光谱研究 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2006, 36(3): 342–345.
- MA Y M, CUI Q L, ZHOU Q, et al. *In-situ* raman study of olivine under high temperature [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2006, 36(3): 342–345.
- [16] KOHLSTEDT D L, KEPLER H, RUBIE D C. Solubility of water in the α , β and γ phases of (Mg, Fe)₂SiO₄ [J]. *Contributions to Mineralogy & Petrology*, 1996, 123(4): 345–357.
- [17] BELL D R, ROSSMAN G R. Water in Earth's mantle: the role of nominally anhydrous minerals [J]. *Science*, 1992, 255(5050): 1391–1397.
- [18] 余日东, 金振民. 蛇纹石脱水与大洋俯冲带中源地震 (70~300 km) 的关系 [J]. *地学前缘*, 2006, 13(2): 191–204.
- YU R D, JIN Z M. Relationship between dehydration of serpentine and intermediate-focus earthquakes in oceanic subduction zone [J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(2): 191–204.
- [19] CHEN J H, INOUE T, YURIMOTO H, et al. Effect of water on olivine wadsleyite phase boundary in the (Mg,Fe)₂SiO₄ system [J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(18): 21–22.
- [20] GROVE T L, CHATTERJEE N, PARMAN S W, et al. The influence of H₂O on mantle wedge melting [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 249(1/2): 74–89.
- [21] HIRTH G, KOHLSTEDT D L. Water in the oceanic upper mantle: implications for rheology, melt extraction and the evolution of the lithosphere [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, 144(1/2): 93–108.
- [22] MEI S, KOHLSTEDT D L. Influence of water on plastic deformation of olivine aggregates: 1. diffusion creep regime [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2000, 105(B9): 21457–21469.
- [23] 谢梦雨, 鹿亚, 邹心宇, 等. 月幔条件下水在橄榄石中扩散的实验研究 [J]. *高压物理学报*, 2018, 32(1): 71–81.
- XIE M Y, LU Y, ZOU X Y, et al. Water diffusion in olivine under lunar mantle conditions [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2018, 32(1): 71–81.
- [24] HOSOYA T, KUBO T, OHTANI E, et al. Water controls the fields of metastable olivine in cold subducting slabs [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32(17): 261.

- [25] KUBO T, OHTANI E, KATO T, et al. Effects of water on the alpha-beta transformation kinetics in san carlos olivine [J]. *Science*, 1998, 281(5373): 85–87.
- [26] HONG S M, CHEN L Y, LIU X R, et al. High pressure jump apparatus for measuring Grüneisen parameter of NaCl and studying metastable amorphous phase of poly (ethylene terephthalate) [J]. *Review of Scientific Instruments*, 2005, 76(5): 53905–53906.
- [27] 王君龙, 刘秀茹, 张林基, 等. 快速增压法研究温度对铝和氯化钠 Grüneisen 参数的影响 [J]. *高压物理学报*, 2018, 32(4): 25–32.
- WANG J L, LIU X R, ZHANG L J, et al. Effect of temperature on Grüneisen parameters of aluminum and sodium chloride by rapid compression method [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2018, 32(4): 25–32.
- [28] HAMMERSLEY A P, SVENSSON S O, HANFLAND M, et al. Two-dimensional detector software: from real detector to idealised image or two-theta scan [J]. *International Journal of High Pressure Research*, 1996, 14(4/5/6): 235–248.
- [29] KARKI B B, DUAN W, DA SILVA C R S, et al. *Ab initio* structure of MgSiO₃ ilmenite at high pressure [J]. *American Mineralogist*, 2000, 85(2/3): 317–320.
- [30] LAM P K, YU R, LEE M W. Structural distortions and vibrational modes in Mg₂SiO₄ [J]. *American Mineralogist*, 1990, 75(1): 109–119.
- [31] WANG S Y, SHARMA S K, COONEY T F. Micro-Raman and infrared spectral study of forsterite under high pressure [J]. *American Mineralogist*, 1993, 78(5): 469–476.
- [32] 李月, 周瑶琪, 颜世永, 等. 高压下橄榄石的激光拉曼光谱研究 [J]. *光散射学报*, 2006, 18(1): 10–15.
- LI Y, ZHOU Y Q, YAN S Y, et al. The laser raman spectroscopic study of olivine at high pressure [J]. *Journal of Light Scattering*, 2006, 18(1): 10–15.
- [33] 朱蓓蓓, 王勤, 王良书, 等. 河北阳原新生代玄武岩中橄榄岩捕虏体的含水量研究 [J]. *高校地质学报*, 2009, 15(2): 263–272.
- ZHU B B, WANG Q, WANG L S, et al. Water content of peridotite xenoliths from cenozoic basalt in Yangyuan, Hebei province [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2009, 15(2): 263–272.

Structural Stability of Olivine under Rapid Compression

HE Yali¹, WANG Junlong¹, DENG Liwei², WANG Zhifei¹, LIU Xiuru¹

(1. School of Physical Science and Technology, Key Laboratory of Advanced Technologies of Materials, Ministry of Education of China, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China;
2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The effect of rapid compression on the stability of olivine structure was studied in this work. In the first group, the olivine samples were rapidly compressed to 3 GPa at 293, 373, 473, 573, 673 and 773 K respectively. In the second group, the olivine samples were sintered for 2 h at 873, 973, 1 073 and 1 173 K and then were rapidly compressed to 3 GPa at room temperature. The structure of the recovered samples were analyzed by synchrotron radiation X-ray diffraction, Raman spectroscopy, infrared absorption spectrum and scanning electron microscopy. These results showed that the structure of olivine was stable and there were no phase transition caused by temperature and rapid compression. The micromorphology observation of recovered olivine indicated that the grains were refined. Due to the residual stress and grain refinement in the recovered samples, the Raman vibrational peaks of olivine (822 cm⁻¹ and 854 cm⁻¹ at room temperature) showed some broadening and displacement.

Keywords: olivine; rapid compression; Raman spectroscopy; synchrotron X-ray diffraction