

橄榄石的研究现状及其地质学意义

张琦

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林
Email: 860284025@qq.com

收稿日期: 2021年3月8日; 录用日期: 2021年4月16日; 发布日期: 2021年4月23日

摘要

橄榄石是一种镁铁硅酸盐矿物, 是基性、超基性岩的主要造岩矿物。本文对前人研究成果进行了一系列的归纳总结, 阐述橄榄石的发现及命名、结构与性质、分类、共生组合及应用等研究现状。对橄榄石的晶体结构特征如粒状结构、反应边结构等的研究, 可以获取关于地幔部分熔融、岩浆早期结晶过程及地幔交代作用等的有效信息; 对橄榄石的相变过程的研究对于认识地幔不连续面的成因, 整个地幔的物质组成和演化、地幔对流、俯冲板片深源地震等地球深部动力学问题具有重要意义。

关键词

橄榄石, 结构性质, 分类方法, 共生组合, 地质学意义

Research Status of Olivine and Its Geological Significance

Qi Zhang

School of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi
Email: 860284025@qq.com

Received: Mar. 8th, 2021; accepted: Apr. 16th, 2021; published: Apr. 23rd, 2021

Abstract

Olivine is a kind of magnesium iron silicate mineral, which is the main rock-building mineral of basic and ultrabasic rocks. In this paper, a series of previous research results were summarized, and the research status of the discovery and naming, structure and properties, classification, symbiotic combination and application of peridot were expounded. The crystal structure characteristics of olivine, such as granular structure and reactive edge structure, can obtain effective information about partial melting of mantle, early crystallization process of magma and metasomatism of mantle. The study of the phase transition process of peridotite is of great significance for un-

derstanding the causes of mantle discontinuity, material composition and evolution of the whole mantle, mantle convection, subduction plate deep-source earthquakes and other deep earth dynamics problems.

Keywords

Olivine, Structure Properties, Classification Method, Paragenetic Groups, Geological Significance

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

橄榄石是一种镁铁硅酸盐矿物，它广泛存在于各类岩石中，是基性、超基性岩的主要造岩矿物，也是地幔岩、石陨石的主要组成矿物。

橄榄石最早发现于一个位于红海上的岛屿。希腊作家亚历山大·波利希斯托将这座岛屿称为“Topazios”。古罗马博物学家老普林尼在其著作《自然史》中提到了关于这座岛屿的传说，并将其称为 Chytis 或 Cytis。十字军东征时期，这座岛屿被命名为圣约翰岛，即现在的扎巴贾德岛(Zabargad)。

历史上，橄榄石曾有多种名称。老普林尼用“topazos”来指代产于这座岛上的黄绿色宝石。为了纪念英国的矿物收藏家和交易商 J. R.福斯特，A. Levy 曾在 1824 年将其命名为 forsterite。1840 年，J. F. Gemelin 以亚速尔群岛的法亚尔岛将橄榄石命名为 fayalite。1790 年，矿物学家 A. G.沃纳根据其典型的橄榄绿色将这种矿物命名为橄榄石，这个名称沿用至今[1] [2]。

橄榄石是上地幔含量最多的矿物，在上地幔和俯冲带中含量超过 50%。橄榄石是地幔中最主要的指向性矿物相，橄榄石的 Mg 指数可以反映地幔性质。目前国内研究人员外通过对玄武岩中橄榄石的研究主要集中在判断橄榄石的成因及来源、橄榄石对地幔物质组成及地质演化的指示作用、橄榄石捕虏体及捕虏晶的成分分带现象以及橄榄石的矿物学研究等几个方面[3]。

本文在前人研究的基础上，对橄榄石相关研究进展进行概述。

2. 橄榄石的结构与性质

橄榄石属于斜方晶系，为单岛状硅酸盐，氧离子平行(010)近似六方最紧密堆积。硅离子与阳离子(Mg^{2+} , Fe^{2+})分别充填在 1/8 四面体空隙和 1/2 的八面体空隙中，锯齿链状的八面体(Mg, Fe) O_6 平行于 X 轴(如图 1 所示)[4]。晶体呈柱状或厚板状，但晶形完好的橄榄石较为少见，一般呈不规则他形晶粒状集合体。

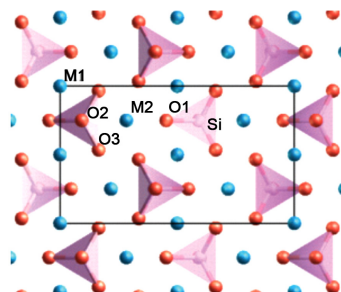


Figure 1. The crystal structure of olivine
图 1. 橄榄石的晶体结构

橄榄石中较少发育双晶,这可能与微页理结构(位错带)的存在有关。如果发生再结晶,这些微页理结构有可能被破坏,加上结晶方向的键合强度近似相等,导致晶键断裂,结构破坏。

随着压力的逐渐增大,橄榄石型结构可转化为尖晶石型结构(Bernal, 1936),其密度比橄榄石高9%以上。转化过程如图2所示:

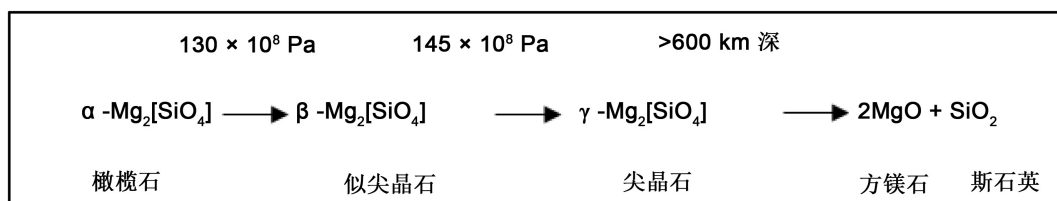


Figure 2. Structural transformation of olivine

图2. 橄榄石的结构转化

橄榄石常呈橄榄绿色,具玻璃光泽,透明至半透明,硬度6.5~7,相对密度也会随着 Fe^{2+} 的升高而增大,数值在3.27~4.73之间。解理中等,常具贝壳状断口。色散中等,为0.020,具有多色性。橄榄石具有较高的熔点,镁橄榄石熔点 1880°C ,铁橄榄石熔点 1200°C 。橄榄石容易发生塑性形变。

橄榄石在 600°C 和 900°C 条件下,在数分钟到数天内发生氧化和变质,形成磁铁矿和赤铁矿,氧化后由顺磁性转变为铁磁性[5]。

作为一种常见的宝石材料,橄榄石的宝石学性质也使它能够很好地与其他宝石区分开。

橄榄石为二轴晶,其光性的正负随铁橄榄石分子含量的变化而变化,含量少时为正光性,大于12%时变为负光性。折射率大小与成分中的铁含量呈正相关,为1.654~1.690 (± 0.020)。因为较大的双折射率(0.035~0.038),透过切磨好的宝石台面可见清晰的棱线双影。

橄榄石多色性较弱,长短波紫外光下均无荧光、磷光反应。吸收光谱在蓝区、蓝绿区453 nm、477 nm、497 nm处有三条等距铁吸收带。

显微镜下观察,可见由铬铁矿、铬尖晶石等矿物包体周围伴盘状应力纹或气液包体组成的“睡莲叶”状包体;常见负晶存在;可见针状、柱状等液态包体以及由于固液不混溶或位错造成的云雾状包体。

3. 橄榄石的分类

3.1. 成分分类

橄榄石族矿物的化学式可表示为 $\text{R}_2[\text{SiO}_4]$,在矿物学中可分为镍橄榄石 Ni_2SiO_4 、橄榄石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ 、锰橄榄石 Mn_2SiO_4 这三个亚族。橄榄石这一物种通常指 $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ - $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$ 完全类质同象系列。

镁橄榄石随着成分中 Fe^{2+} 的增加可由为白色、浅黄色或淡绿色转变为深黄色至墨绿色或黑色。具体的划分方式见表1:

Table 1. Division of olivine subspecies [6]

表1. 橄榄石亚种的划分[6]

	镁橄榄石	贵橄榄石	透铁橄榄石	镁铁橄榄石	铁镁铁橄榄石	铁橄榄石
$\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$	100~90	90~70	70~50	50~30	30~10	10~0
$\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$	0~10	10~30	30~50	50~70	70~90	90~100

3.2. 成因分类

根据成因类型,大致可将橄榄石划分为岩浆成因和变质成因两种。扎巴贾德岛橄榄石属于热液成因,本文将单独讨论。

3.2.1. 岩浆成因

镁铁质岩浆在其分离结晶的过程中可形成橄榄石,即鲍文反应系列。随着温度的逐渐降低,首先形成由橄榄石组成的超基性岩,然后形成由辉石与基性斜长石组成的辉长岩,继而形成由角闪石和中长石组成的闪长岩,最后形成由石英、黑云母、白云母、钾长石与酸性斜长石组成的花岗岩。

3.2.2. 变质成因

经过接触交代作用形成的以钙-镁-铁硅酸盐和铝硅酸盐为主的交代变质岩称为矽卡岩,按成分可分为钙质矽卡岩和镁质矽卡岩两种,产出环境为接触-热变质作用与高温气水热液双重因素作用下的中酸性侵入岩与碳酸盐岩侵入带。镁质矽卡岩产生于酸性侵入岩与白云岩接触带。既可形成于岩浆阶段,也可形成于岩浆期后阶段。中酸性侵入体交代白云岩或白云岩化灰岩,伴随硅的带出,形成镁橄榄石和铬透辉石。

橄榄石在地表极易发生蛇纹石化,蛇纹石首先沿橄榄石的边缘和裂隙交代,然后遍及整体,仅保留橄榄石的假象,所析出的铁质往往沿橄榄石的裂纹或边缘形成次生磁铁矿。

3.2.3. 扎巴贾德岛橄榄石成因

位于红海的扎巴贾德岛是著名的宝石级橄榄石产地。这里的橄榄石在成因上也与众不同,被认为是高温热液活动的产物。岛上出产优质的宝石级橄榄石晶体,大小普遍在2~5厘米左右,甚至可以找到十厘米以上的晶体。

晶体产于微细脉以及橄榄岩主体岩蚀变面与蛇纹石化面之间的矿脉中。有研究认为,地幔中持续的玄武岩分离导致大量的辉绿岩基岩在块状橄榄岩(伴随蛇纹石化)和沉积层间的接触带中侵入。在接触带上,重结晶的宝石级橄榄石沉积在富镍的热液脉中。辉绿岩在潮湿密闭环境中释放的热量足以引起普遍的高温热液蚀变[2]。但这一过程无法重现。

对扎巴贾德岛橄榄石中包裹体的研究表明,这些橄榄石是橄榄岩的主元素与富含挥发性元素的盐卤相混合而重新活动的过程中,在接近地表的微弱压力条件下结晶的[7]。

扎巴尔加德上橄榄岩的发生与区域地质和构造作用密切相关,后者在更大范围上对红海本身的形成起着重要作用。红海是东非大裂谷的一个延伸部分,也是全球大裂谷系统的一部分。岛上的岩石代表了岩浆活动和与之相关的沉积物变质作用的结果,都是通过构造抬升和侵蚀暴露出来的。有研究认为该岛橄榄石的成因与原始海洋盆地开放导致的断裂作用有关,也有研究通过对同位素及微量元素等的研究提出了另外一种假设,认为扎巴贾德岛的橄榄石成因与泛非洲造山运动过程中的俯冲有关[1][8]。

4. 矿物共生组合

4.1. 岩浆成因矿物共生组合

岩浆岩中的橄榄石共生类型可分为以下八类[9][10]:

1) 阿尔卑斯型超基性侵入岩(纯橄岩-斜方辉橄岩和纯橄岩-辉石岩-辉长岩建造)中:橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、尖晶石以及少量斜长石、铬铁矿和石榴子石;

2) 金伯利岩中的橄榄石:镁橄榄石(假象)、金云母、铬镁铝榴石、铬透辉石、铬尖晶石、镁钛铁矿、钙钛矿、锐钛矿、金红石、磷灰石、碳硅石和金刚石;

3) 玄武岩中的超基性包体中：包体以尖晶石二辉橄榄岩为主，少数为尖晶石方辉橄榄岩。共生组合为橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、尖晶石[11]；

4) 基性喷出岩(玄武岩、苦橄 - 玄武岩、碱性玄武岩)中(以玄武岩为例)：普通辉石、基性斜长石($An > 50$)、低钙辉石(顽火辉石或易变辉石)、橄榄石、霞石等。在玄武岩中，由于岩浆冷却速度太快，先晶出的橄榄石来不及与熔体中的 SiO_2 反应或反应不彻底，常以斑晶形式存在，其边部常受到熔蚀；

5) 深成层状辉长 - 橄榄杂岩体中超基性岩(纯橄岩、橄橄榄岩、斜方辉橄岩、细粒二辉橄橄榄岩)中的橄榄石；

6) 深成层状辉长 - 橄橄榄岩中的橄橄榄石；

7) 酸性和碱性岩中的橄橄榄石，其中包括花岗岩、石英二长岩、伟晶岩和正长岩中的橄橄榄石；

8) 超基性 - 碱性杂岩中的橄橄榄石。

4.2. 矽卡岩矿物共生组合

矽卡岩矿物通常可划分为两大阶段，早期阶段形成的矿物多不含挥发分，不具附加阴离子，主要是岛状及单链硅酸盐及部分氧化物。晚期阶段形成的矿物多含 F、OH、B、Cl、S 等挥发分，具阴离子或附加阴离子，主要为双链及层状硅酸盐、硫化物及碳酸盐等矿物[12]。镁质矽卡岩主要是由镁橄橄榄石、透辉石、尖晶石、金云母和硅镁石、白云母等组成的一类岩石。

1) 岩浆期共生组合：镁橄橄榄石，尖晶石，钙镁橄橄榄石，斜方辉石，单斜辉石，斜长石；

2) 岩浆期后共生组合：镁橄橄榄石，透辉石 - 次透辉石，尖晶石。

5. 橄橄榄石的应用及研究意义

橄橄榄石作为主要的造岩矿物，在地质学中有广泛应用。在工业上，由于其拥有较高的熔点，富镁的橄橄榄石可用作耐火材料。大颗粒、高净度的橄橄榄石可作为宝石材料。

橄橄榄石在高压条件下可发生相变，形成似尖晶石结构的瓦兹利石(β -橄橄榄石)和尖晶石结构的林伍德石(γ -橄橄榄石)，这两种矿物可作为超高压变质作用的指示矿物[13] [14] [15]。对橄橄榄石的相变过程的研究对于认识地幔不连续面的成因，整个地幔的物质组成和演化、地幔对流、俯冲板片深源地震等地球深部动力学问题具有重要意义[16]。

同时，作为地幔岩捕虏体，对橄橄榄石的研究也是了解地幔物质组成的一个主要途径[17]。而作为石陨石的主要组成矿物之一，研究橄橄榄石的特征，对宇宙中其他星球上类似地幔物质的起源也有指示作用。

6. 结论

橄橄榄石作为基性、超基性岩的主要造岩矿物，广泛存在于各类岩石中，受岩浆作用、变质作用和热液作用等影响均可形成。岩浆岩中的橄橄榄石矿物共生组合具有 8 种类型，受变质作用改造后则分为岩浆期与岩浆期后两类共生组合。橄橄榄岩在工业上应用广泛，可用于制造耐火材料，品质较高的则可作为宝石材料，其在地幔、大地构造等领域扮演着重要角色。

参考文献

- [1] Gübelin, E. (1981) Zabargad: The Ancient Peridot Island in the Red Sea, *Gems & Gemology*, **17**, 2-8. <https://doi.org/10.5741/GEMS.17.1.2>
- [2] King, R.J. (2009) Olivine Group. *Geology Today*, **25**, 193-197. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2451.2009.00730.x>
- [3] 刘光华. 吉林蛟河橄橄榄石的矿物学研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2016.
- [4] 张蓓莉. 系统宝石学[M]. 第 2 版. 北京: 地质出版社, 2006.

-
- [5] Knafelc, J., Filiberto, J., Ferré, E.C., Conder, J.A., Costello, L., Crandall, J.R., *et al.* (2019) The Effect of Oxidation on the Mineralogy and Magnetic Properties of Olivine. *American Mineralogist*, **104**, 694-702.
<https://doi.org/10.2138/am-2019-6829>
- [6] 王濮, 潘兆橧, 翁玲宝. 系统矿物学(中册) [M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [7] Clocchiatti, R., 蔡秀成. 通过包裹体研究红海橄榄岛上橄榄石宝石的热液成因[J]. 地质地球化学, 1983(11): 15-17+19.
- [8] Brooker, R.A., James, R.H. and Blundy, J.D. (2004) Trace Elements and Li Isotope Systematics in Zabargad Peridotites: Evidence of Ancient Subduction Processes in the Red Sea Mantle. *Chemical Geology*, **212**, 179-204.
- [9] 莫心. 关于橄榄石研究的一些情况[J]. 西北地质, 1981(3): 67-79.
- [10] 桑隆康, 马昌前. 岩石学[M]. 第2版. 北京: 地质出版社, 2012.
- [11] 刘建宏, 闫峻. 苏北盆地新生代玄武岩中的地幔橄榄岩包体[J]. 矿物岩石, 2007(2): 39-46.
- [12] 陈光远, 孙岱生, 殷辉安. 成因矿物学与找矿矿物学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988.
- [13] 刘志远. 橄榄石特征对地幔研究的作用[J]. 科技导报, 2010, 28(18): 8.
- [14] 汤艳杰, 张宏福, 英基丰, 杨蔚, 赵新苗, 苏本勋, 等. 地幔橄榄岩中橄榄石的指示意义[C]//中国科学院地质与地球物理研究所. 中国科学院地质与地球物理研究所第11届(2011年度)学术年会. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2012: 10.
- [15] 朱毅翔, 常鸿. 超高压变质矿物学的研究成果综述[J]. 云南地质, 2018, 37(2): 138-144.
- [16] 隋建立, 樊祺诚, 李霓, 赵勇伟, 杜星星. 橄榄石微页理结构的矿物化学及其地幔流变意义[J]. 地震地质, 2012, 34(4): 768-781.
- [17] Mary-Alix, K., Reddy, S.M., Nutman, A.P., Friend, C.R.L. and Bennett, V.C (2016) Earth's Oldest Mantle Fabrics Indicate Eoarchean Subduction. *Nature Communications*, **7**, Article No. 10665.