

蛇纹石化的研究进展

黄瑞芳^{1,3)}, 孙卫东²⁾, 丁兴¹⁾

1) 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室, 广州, 510640;

2) 中国科学院广州地球化学研究所矿物学和成矿学重点实验室; 3) 中国科学院大学

蛇纹石化的过程可以出现在不同的地质构造环境中, 例如, 大洋底, 大洋中脊以及俯冲带。

蛇纹石化的特别之处在于: 蛇纹石化过程中产生氢气, 这可能会解释地球早期生命起源的问题; 蛇纹石化生成磁铁矿; 蛇纹石富水, 可达 12wt.%。

蛇纹石化是橄榄岩或者其他基性岩(例如玄武岩、可马提岩等)的水热蚀变, 主要产物为蛇纹石, (±)水镁石, (±)磁铁矿和氢气。蛇纹石化过程中主量元素 CaO, Al₂O₃, FeO*和 MgO 等的迁移很小 (Mével, 2003), 但 Costa et al. (2008) 报道了蚀变后的橄榄岩的 Fe₂O₃*变化很大, 5.21-19.77 wt.%, 这说明铁在蛇纹石化过程中是活动的。铁在蛇纹石化的过程中可富集在蛇纹石、水镁石和磁铁矿中。磁铁矿虽然是蛇纹石化过程中的常见产物, 但并不是任何时候都出现的矿物。Bach et al. (2006) 报道了洋中脊的方辉橄榄岩和纯橄岩的蚀变, 早期没有磁铁矿的出现, 但晚期的蛇纹石脉中有磁铁矿。Beard et al. (2009) 在天然的样品中发现了两种脉: 第一种脉中的蛇纹石矿物为叶蛇纹石, 表明温度大于 350 °C, 蚀变程度较低, 没有磁铁矿的结晶, 蛇纹石和水镁石中的铁较高, 10.88 wt.% FeO; 第二种脉切割第一种脉, 蛇纹石矿物为利蛇纹石, 这表示形成温度低于第一种脉, 蚀变程度较高, 有磁铁矿的结晶, 蛇纹石含 3.12 wt.% FeO, 相对较低。这表明磁铁矿的结晶是与蚀变程度有关的。这也说明蛇纹石化过程可以分为两个阶段, 第一个阶段形成富铁的蛇纹石和水镁石, 第二个阶段形成磁铁矿。然而, Malvoisin et al. (2012) 和 Okamoto et al. (2011) 对橄榄岩蚀变实验的研究表明, 蛇纹石化的产物均为蛇纹石, 水镁石, 和磁铁矿, 和蚀变程度无关。这表明了天然地质过程中橄榄岩蚀变的复杂性。McCollom and Bach (2010) 通过一系列的热力学计

算, 认为 Fe(II) 在低温时 (<200 °C) 时很容易进入水镁石中, 导致生成的磁铁矿和氢气的量降低。Frost and Beard (2007) 通过热力学的计算表明磁铁矿生成时体系中的 a_{SiO₂} 较低。可见, 磁铁矿的生成可能受多方面的制约, 例如, 温度, 压力, 氧逸度和水岩比等, 相关的实验工作值得提倡。

方辉橄榄岩、纯橄岩和二辉橄榄岩的蚀变可能是不同的。由于斜方辉石富 Al 和 Si, 单斜辉石中富 Ca, Al 和 Si, 所以辉石的蚀变产物和橄榄石的蚀变产物的成分不同。辉石蚀变形成的蛇纹石常富 Al, Dugan et al. (1979) 报道的单斜辉石蚀变后形成的蛇纹石含 Al₂O₃ 达 5.7 wt.%, 所以, 天然的橄榄岩的蚀变和实验室用橄榄石作为初始矿物的蚀变是不同的, 蚀变产物往往受着斜方辉石和单斜辉石蚀变的影响。另外, 体系中的 a_{SiO₂} 也是不同的, 这可能会对磁铁矿的形成有影响。

蛇纹石化的反应速率值得探讨。蚀变的程度的获得, 有两种方法: 一是反应产物质量的增加。由于蛇纹石含有水, 反应前后固体质量的增加可以表示参加反应的水的质量, 以及反应程度。但是, 这种方法的误差较大。另一种方法是反应过程中磁铁矿的增加 (Malvoisin et al., 2012)。这种方法是基于蚀变程度是和生成的磁铁矿的量成正比这一先决条件的。这或许对于橄榄石的蚀变是成立的, 但由于橄榄岩蚀变的早期可能不产生磁铁矿, 用生成的磁铁矿的量来表示蚀变的程度也有待商榷。Martion and Fyfe (1970) 的实验表明温度在约 300 °C 时反应最快, 但由于其实验的初始矿物为镁橄榄石, 这可能不能代表天然样品的蚀变。橄榄石在温度高于 300 °C 时的蚀变比低温时慢, 但是对于辉石, 高温时可能更容易反应 (McCollom et al., 2009)。所以, 高温时橄榄岩蛇纹石化的实验研究也是很重要的。

蛇纹石中的 Fe²⁺/Fe³⁺ 比值是值得去研究的。

Wicks and Plant (1979) 用电子探针测定了蛇纹石矿

物 FeO 的量,发现叶蛇纹石中的 FeO 高达 12 %, 纤蛇纹石中 FeO 高达 9 %, 利蛇纹石含 FeO 高达 16 %。这表明,蛇纹石矿物可以不同程度的富集 FeO。 Fe^{3+} 主要赋存于流体和蛇纹石中。O'Hanley and Dyar (1993)通过对蛇纹石矿物的电子探针和穆斯波尔谱的研究表明,利蛇纹石中 Fe^{2+} 含量低 ($\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3=0.28\pm 0.21$, 5 个样品; $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}=0.7\pm 0.54$, 10 个样品),叶蛇纹石中 Fe^{2+} 含量最高 ($\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3=2.9\pm 1.7$, 3 个样品; $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}=3.25$, 1 个样品),纤蛇纹石中 Fe^{2+} 居于以上两种蛇纹石的中间 ($\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3=1.5\pm 1.4$, 6 个样品; $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}=0.41$, 2 个样品)。 Fe^{3+} 富集在蛇纹石中会降低生成磁铁矿的量,但是对氢气的生成没有影响。

以上表明,蛇纹石化过程有待于深入研究,尤其是实验相关的工作。

参 考 文 献

- C. Mével (2003) Serpentinization of abyssal peridotites at mid-ocean ridges. *C.R. Geoscience*, 335, 825-852.
- J. S. Beard, B. R. Frost, P. Fryer, A. McCaig, R. Searle, B. Ildefonse, P. Zinin and S. K. Sharma. (2009) Onset and progression of serpentinization and magnetite formation in olivine-rich Troctolite from IODP hole U1309D. *Journal of Petrology*, 50, 387-403.
- I. R. D. Costa, F. J.A.S. Barriga, C. Viti, M. Mellini and F. J. Wicks (2008) Antigorite in deformed serpentinites from the Mid-Atlantic Ridge. *Eur. J. Mineral.*, 20, 563-572.
- W.Bach, H. Pualick, C. J. Garrido, B. Ildefonse, W.P.Meurer and S.E. Humphris (2006) Unraveling the sequence of serpentinization reactions: petrography, mineral chemistry, and petrophysics of serpentinites from MAR 15 °N (ODP Leg 209, Site 1274) *Geophysical research letters*, 33, L13306.
- A. Okamoto, Y. Ogasawara, Y. Ogawa, N. Tsuchiya (2011) Progress of hydration reactions in olivine- H_2O and orthopyroxene- H_2O systems at 250 °C and vapor-saturated pressure. *Chemical geology*, 289, 245-255.
- B. Malvoisin, F. Brunet, J. Carlut, S. Roumejon, and M. Cannat (2012) Serpentinization of oceanic peridotites: 2. Kinetics and processes of San Carlos olivine hydrothermal alteration. *Journal of Geophysical research*, 117, B04102.
- T.M. McCollom and W. Bach (2009) Thermodynamic constraints on hydrogen generation during serpentinization of ultramafic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73, 856-875.
- B. Ronald Frost and J. S. Beard (2007) On silica activity and serpentinization. *Journal of petrology*, 48, 1351-1368.
- B. Martin and W.S. Fyfe (1970) Some experimental and theoretical observations on the kinetics of hydration reactions with particular reference to serpentinization. *Chemical geology*, 6, 185-202.
- F.J. Wicks and A. G. Plant (1979) Electron-microprobe and X-ray microbeam studies of serpentine textures, *Canadian Mineralogist*, 17, 785-830.
- D. S. O'Hanley and M. D. Dyar (1993) The composition of lizardite 1T and the formation of magnetite in serpentinites. *American Mineralogist*, 78, 391-404.