

P-UHP变质脉体中的锆石和金红石： 流体活动和变质演化

陈振宇

中国地质科学院矿产资源研究所，北京，100037

俯冲带、尤其是洋壳俯冲过程中的流体行为对理解俯冲板片与地幔中的化学变化、俯冲带上的岩浆作用、地壳形成和分异、地震活动及各种成矿作用都至关重要。因此，板块俯冲和折返过程中的流体活动是碰撞造山带变质作用、岩浆作用乃至成矿作用研究的重要内容之一，这方面的研究一直是地质学中的前沿，并已逐渐形成了地质学新的分支“变质化学地球动力学（metamorphic chemical geodynamics）”，其研究的主要内容就是深俯冲岩石的地球化学变化和不同类型流体/熔体在俯冲带深部元素交换过程中的作用（Bebout, 2007; Zheng, 2012）。

高压-超高压变质岩中的脉体是示踪俯冲带变质流体活动及元素行为的重要研究对象。对不同类型高压-超高压变质脉体的识别和研究，有助于深化对俯冲带变质演化和流体活动的认识。目前国际上对高压-超高压变质脉体研究主要关注的科学问题包括：形成脉体的流体/熔体性质，一些重要元素如高场强元素（HFSE）、稀土元素（REE）等在这些流体/熔体中的地球化学行为，流体/熔体性质对超高压变质条件下元素地球化学行为的影响，以及脉体形成的确切地质时代和变质条件（Zheng et al., 2011a; Zheng, 2012; 盛英明等, 2011）。脉体的形成时代（即流体的活动时间）和变质条件在一定程度上也决定了流体/熔体的性质，进而影响相关元素的地球化学行为，因此是讨论俯冲带变质流体/熔体的性质以及相关元素地球化学行为的重要基础。

变质脉体和围岩中的锆石和金红石是研究流体活动和变质演化的关键矿物。

锆石可以在很宽的温压条件下形成并保持稳定，在高级变质岩中，锆石往往具有复杂的多期生长结构现象。与其他易受后期退变质作用影响的矿物相比，锆石被认为是高级变质岩中可以记录复杂

变质演化历史的最好矿物（Liu & Liou, 2011）。研究发现，变质锆石的生长/溶蚀往往需要在流体存在的条件下完成（如 Confu et al., 2003），变质脉体中常可形成变质新生或增生锆石，并被用于确定脉体的形成时代和流体活动时间，因此，高级变质岩及脉体中的锆石除了作为最广泛应用的地质年代学工具之外，还可以被看作是一种地质湿度计（Zheng, 2012）。同时，锆石 Ti 含量温度计（Watson et al., 2006）的提出，使得锆石也成为了一种很好的地质温度计。最近的变质锆石学研究还表明，在阴极发光或背散射电子图像等岩相学分析的基础上，通过对锆石不同微区进行 U-Pb 测年，辅以矿物和流体包裹体分析、微区原位微量元素分析及 Hf、O 同位素分析，除了可以准确限定变质锆石的形成即流体活动的期次和时代之外，还能够判别变质锆石的形成机制和形成环境，并对变质流体/熔体介质中微量元素的活动性提供制约（Chen et al., 2012; Sheng et al., 2012; Xia et al., 2009, 2010）。

金红石也是高压-超高压变质岩中的一种重要的副矿物，是一种重要的地球化学“信息库”（肖益林等, 2011）。金红石 U-Pb 体系的封闭温度相对比锆石低，其 U-Pb 测年常被用于确定高级变质岩峰期后的退变时代以构建其冷却曲线。近年来，金红石 Zr 含量温度计（Watson et al., 2006）的提出，使得利用金红石来计算变质温度的研究成为一个热点。和锆石相似，金红石在变质岩的进变质、峰期变质和退变质阶段均有可能生长，同一样品中不同赋存状态的金红石可能具有不同的 Zr 含量，因而可能记录了不同变质阶段的温度（如 Zhang et al., 2010; Zheng et al., 2011b）。高压-超高压变质脉体中也常常生成有金红石，在缺少石榴石-绿辉石等常用温压计算矿物的脉体中，金红石的 Zr 温度计就起到了重要作用。这些脉体中的金红石和围岩中的

金红石一起,有可能记录了变质岩经历的进变、峰期及退变整个变质演化过程的温度信息(如 Zheng et al., 2011a; Chen et al., 2013),结合由其他方法确定的变质压力,就可以对不同阶段的变质条件提供制约,再结合锆石和金红石的微区原位 U-Pb 测年,就可以建立明确的变质演化 P-T-t 轨迹,同时也可以指示流体活动的期次、时间及变质条件(Zheng et al., 2011b; Zheng, 2012)。

另外,锆石和金红石是高压-超高压变质岩及脉体中 HFSE 的最主要赋存矿物, HFSE 在变质过程中的迁移、配分、富集及分异等地球化学行为无疑与变质流体/熔体的性质有关。锆石和金红石在不同变质阶段和变质脉体中的形成和转化,也是 HFSE 在俯冲变质过程中活动性的反映。因此,研究变质岩和脉体中的锆石和金红石已成为示踪流体/熔体活动和性质的一种新途径(Xia et al., 2009, 2010; Chen et al., 2010; Zheng et al., 2011b; Zheng, 2012)。

因此,将高压-超高压变质脉体及其围岩中的锆石和金红石结合起来进行详细的矿物学和地球化学研究,再结合不同变质阶段的矿物组合和矿物化学分析,不但可以对高压-超高压变质演化过程及脉体的形成期次提供准确的年代学制约,还可以对不同脉体的变质条件以及变质流体/熔体性质提供制约,从而为洋壳俯冲-折返的动力学、俯冲带变质流体活动特征以及元素行为的探讨提供重要支持。

参考文献/References

- 盛英明, 郑永飞, 吴元保. 2011. 超高压岩石中变质脉的研究. 岩石学报, 27(2): 490~500.
- 肖益林, 黄建, 刘磊, 李东永. 2011. 金红石: 重要的地球化学“信息库”. 岩石学报, 27(2): 398~416.
- 郑永飞. 2004. 深俯冲大陆板块折返过程中的流体活动. 科学通报, 49(10): 917~929.
- Bebout G E. 2007. Metamorphic chemical geodynamics of subduction zones. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 260: 373~393.
- Chen R X, Zheng Y F, Hu Z C. 2012. Episodic fluid action during exhumation of deeply subducted continental crust: Geochemical constraints from zoisite-quartz vein and host metabasite in the Dabie orogen. *Lithos*, 155, 146~166.
- Chen R X, Zheng Y F, Xie L W. 2010. Metamorphic growth and recrystallization of zircon: distinction by simultaneous in-situ analyses of trace elements, U-Th-Pb and Lu-Hf isotopes in zircons from eclogite-facies rocks in the Sulu orogen. *Lithos*, 114, 132~154.
- Chen Z Y, Zhang L F, Du J X, Lü Z. 2013. Zr-in-Rutile thermometry in eclogite and vein from Southwestern Tianshan, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 63: 70~80.
- Corfu F, Hanchar J M, Hoskin P W O, and Kinny P. 2003. Atlas of zircon textures. In J.M. Hanchar and P.W.O. Hoskin, Eds., *Zircon*, 53, p. 469~500. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Mineralogical Society of America, Chantilly, Virginia.
- Gao J, John T, Klemd R and Xiong XM. 2007. Mobilization of Ti-Nb-Ta during subduction: Evidence from rutile-bearing dehydration segregations and veins hosted in eclogite, Tianshan, NW China. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 71: 4974~4996.
- Liu F L & Liou J G. 2011. Zircon as the best mineral for P-T-time history of UHP metamorphism: A review on mineral inclusions and U-Pb SHRIMP ages of zircons from the Dabie-Sulu UHP rocks. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40(1): 1~39.
- Sheng Y M, Zheng Y F, Chen R X, Li Q L, Dai M N. 2012. Fluid action on zircon growth and recrystallization during quartz veining within UHP eclogite: Insights from U-Pb ages, O-Hf isotopes and trace elements. *Lithos* 136~139: 126~144.
- Watson E B, Wark D A, Thomas J B. 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 151(4): 413~433.
- Xia Q X, Zheng Y F, Hu Z C. 2010. Trace elements in zircon and coexisting minerals from low-T/UHP metagranite in the Dabie orogen: implications for fluid regime during continental subduction-zone metamorphism. *Lithos*, 114, 385~412.
- Xia Q X, Zheng Y F, Yuan H L, Wu F Y. 2009. Contrasting Lu-Hf and U-Th-Pb isotope systematics between metamorphic growth and recrystallization of zircon from eclogite-facies metagranite in the Dabie orogen, China. *Lithos*, 112, 477~496.
- Zhang G B, David J E, Andrew G C, et al. 2010. Zr-in-rutile thermometry in HP/UHP eclogites from Western China. *Contrib Mineral Petrol.* DOI: 10.1007/s00410-009-0486-2.
- Zheng Y F, Gao X Y, Chen R X, Gao T S. 2011b. Zr-in-rutile thermometry of eclogite in the Dabie orogen: Constraints on rutile growth during continental subduction-zone metamorphism. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40(2):427~451.
- Zheng Y F, Xia Q X, Chen R X, Gao X Y. 2011a. Partial melting, fluid supercriticality and element mobility in ultrahigh-pressure metamorphic rocks during continental collision. *Earth-Science Reviews*, 107: 342~374.
- Zheng Y F. 2012. Metamorphic chemical geodynamics in continental subduction zones. *Chemical Geology*, 328: 5~48.