

雅鲁藏布江缝合带西段东波超镁铁岩体岩石学和 Re-Os 同位素特征及意义

牛晓露¹⁾, 杨经绥¹⁾, 许继峰²⁾, 李杰²⁾, 陈松永¹⁾,
冯光英¹⁾, 刘飞¹⁾, 熊发挥¹⁾, 刘钊¹⁾

1) 大陆构造与动力学国家重点实验室, 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037;

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

雅鲁藏布江缝合带位于西藏南部, 是印度板块和欧亚板块之间的分界线, 标志着新特提斯洋的最终关闭 (Nicolas et al., 1981; Tapponnier et al., 1981; Allègre et al., 1984)。沿雅鲁藏布江缝合带广泛分布的晚侏罗世-早白垩世的蛇绿岩, 是已消亡的新特提斯洋岩石圈的残片 (Aitchison et al., 2000; Bédard et al., 2009; Dubois-Côté et al., 2005; Dupuis et al., 2005; Huot et al., 2002)。蛇绿岩中的地幔橄榄岩部分是大洋岩石圈地幔岩的残留; 因此, 可以通过对蛇绿岩中地幔岩部分的研究, 来探索地质历史时期大洋岩石圈地幔的性质。此外, 蛇绿岩中的地幔橄榄岩甚至可能是大陆下覆岩石圈地幔的残留 (Miller et al., 2003)。近年来, 在蛇绿岩地幔橄榄岩及其所赋铬铁矿中发现了一系列的超高压矿物, 如金刚石、柯世英、蓝晶石等 (如, Bai et al., 1993; Robinson et al., 2004; Yang et al., 2003, 2007, 2009; 杨经绥等, 2008, 2011; Yamamoto et al., 2009)。在铬铁矿中已经发现了原位的金刚石 (Yang et al., 2009)。这些新发现为蛇绿岩及其相关铬铁矿成因的研究提供了新的契机, 也提出了新的挑战。

东波超镁铁岩体位于雅鲁藏布江缝合带的西段, 在我国是一个不多见的面积超过 400 km² 的大型超镁铁岩体, 呈构造岩片逆冲覆于白垩世构造混杂岩之上。已有的岩石学和矿物学特征表明, 该岩体与同一带中含有大型铬铁矿的罗布莎岩体可以对比, 是一个寻找铬铁矿床的远景区 (杨经绥等,

2011)。因此, 有必要对东波超镁铁岩体进行细致的岩石学、矿物学和地球化学研究, 这一方面可以对东波超镁铁岩体的成因进行限定, 为铬铁矿探矿服务; 另一方面, 可以为新特提斯洋下覆岩石圈地幔的性质提供信息。

东波超镁铁岩以方辉橄榄岩为主 (约占岩体总面积的 70%~80%), 其次为纯橄岩 (约占岩体总面积的 5%~10%) 及少量的二辉橄榄岩。局部地区发育辉长岩岩脉, 获得的辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 128.5 Ma (熊发挥等, 2011)。

方辉橄榄岩主要由橄榄石 (含量 70%~85%)、斜方辉石 (含量 15%~25%)、少量单斜辉石 (含量 0.5%~4%) 和铬尖晶石 ($\leq 5\%$) 组成。发育等粒变晶结构 (图 1a) 和斑状变晶结构 (图 1b)。斑状变晶结构的斑晶为斜方辉石, 常发生扭折, 并出溶针状单斜辉石 (图 1c); 基质为相对细粒的橄榄石和斜方辉石。

东波超镁铁岩具有亏损的矿物成分和全岩化学组成: 橄榄石为镁橄榄石 ($Fo = 90.3 \sim 91.3$); 斜方辉石的 $En = 87 \sim 90$, $Mg^{\#} = 90.3 \sim 92.0$; 单斜辉石为透辉石 ($En_{49-51} Wo_{46-51} Fs_{0-4}$), $Mg^{\#} = 92.7 \sim 99.4$; 尖晶石基于较宽的成分范围, $Mg^{\#} = 41.1 \sim 73.1$; $Cr^{\#} = 23.6 \sim 87.3$ 。在全岩地球化学组成上, 高 MgO ($32.24\% \sim 47.47\%$), 低 Al_2O_3 ($0.15\% \sim 1.63\%$, 原始地幔含量为 3.97%) 和 CaO ($0.18\% \sim 1.88\%$, 原始地幔含量为 3.50%)。东波超镁铁岩具有极低的 REE 含量 ($0.48 \sim 1.24 \mu g/g$)。这些数据均指示东波超镁铁岩为经历过不同程度熔融的残留地幔岩石。尖晶石和橄榄石成分要求熔融程度在 10% 至 35% 以

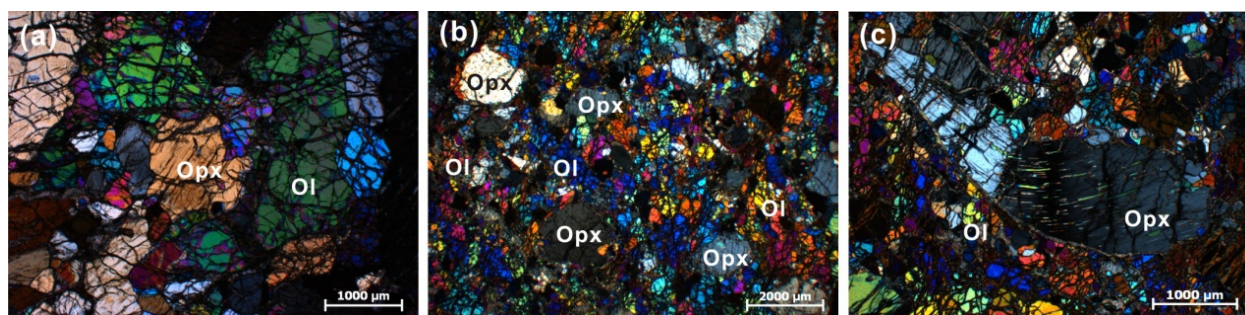


图 1 东波超镁铁岩方辉橄榄岩的显微镜下特征

(a) 等粒变晶结构; (b) 斑状变晶结构; (c) 斑晶斜方辉石发生扭折, 出溶针状单斜辉石; Opx, 斜方辉石; Ol, 橄榄石

上 (Arai, 1984; Hirose and Kawamoto, 1995)。

利用二辉石平衡温度计 (Wood and Banno, 1973; Wells, 1977; Brey and Köhler, 1990) 计算得到的东波超镁铁岩的平衡温度从低于 1000℃ 到高于 1200℃; 此外, 东波超镁铁岩的矿物成分均落在深海和岛弧环境橄榄岩矿物成分范围之内; 在球粒陨石标准化稀土元素配分模式上, 从元素 Nd 到 La, 呈略富集趋势; 在 REE 总量上, 较正常洋中脊地幔岩亏损, 但较弧前地幔岩却略富集; 这些特征表明东波超镁铁岩首先在洋中脊处经历了不同程度熔融作用, 后又卷入弧前环境, 被俯冲相关物质改造, 且经历了进一步熔融作用; 这是雅江带超镁铁岩的普遍特征 (Dubois-Côté et al., 2005; Bédard et al., 2009; Dupuis et al., 2005; Liu et al., 2010, 2012; Bezard et al., 2011)。

东波超镁铁岩具有较高的 Os 含量 (1.921 ~ 5.568 ppb), 这使得其 Os 同位素体系不易被后期交代作用改变 (Walker et al., 2002)。该岩体具有范围较大且相对亏损的 Os 同位素组成 ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.1161 \sim 0.1282$) (图 2), 铼亏损模式年龄 (T_{RD}) 为 0.22~2.0 Ga。东波超镁铁岩的 Os 同位素组成反映了新特提斯地幔域在 Os 同位素组成上是不均一的。其中一块样品具有极低的 Os 同位素组成 ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.1161 \pm 3$), 这要求该储库在相对长的地质历史时期内具有极低的 Re/Os 比值, 对于的铼亏损模式年龄 (T_{RD}) 为 2.0 Ga。这表明在新特提斯地幔域中保存有古老且亏损的地幔残片, 该古老亏损地幔残片可能是在新特提斯洋裂开形成时保留下来的古老冈瓦纳大陆岩石圈地幔物质。

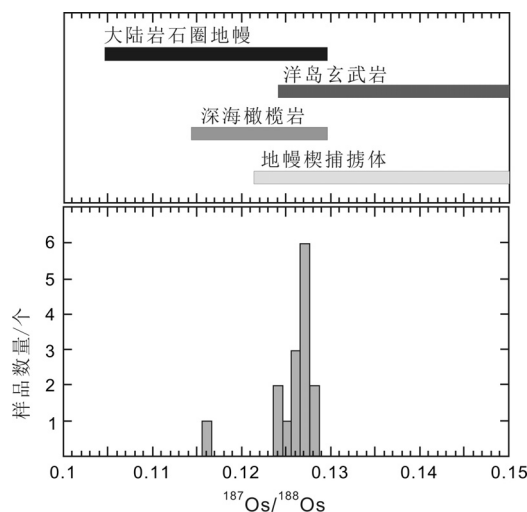


图2 东波超镁铁岩的Os同位素组成

结论

(1) 矿物学、岩石学和地球化学数据支持东波超镁铁岩为残留地幔岩石, 首先在洋中脊处经历过不同程度玄武质岩浆的抽取, 后又卷入到弧前环境, 在此经历了俯冲相关熔体的改造作用, 并可能经历了进一步的熔融事件;

(2) 新特提斯洋岩石圈地幔具有不均一的 Os 同位素组成; 在新特提斯地幔域中, 保存有具极其古老 $T_{\text{RD}}=2.0$ Ga)、极其亏损 Os 同位素 ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.1161 \pm 3$) 的地幔残片。

参考文献

- Aitchison, J.C., Badengzhu, Davis, A.M., Liu, J., Luo, H., Malpas, J.G., McDermid, I., Wu, H., Ziabrev, S., Zhou, M., 2000. Remnants of a Cretaceous intra-oceanic subduction system within the Yarlung Zangbo

- suture (southern Tibet). *Earth and Planetary Science Letters* 183, 231~244.
- Allègre, C.J., Coutillot, V., Tapponier, P., et al., 1984. Structure and evolution of the Himalaya-Tibet orogenic belt. *Nature* 307, 17~22.
- Arai, S. 1984. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation. *Chemical Geology* 113, 191~204.
- Bai, W.J., Zhou, M.F., Robinson, P.T., 1993. Possible diamond-bearing mantle peridotites and chromitites in the Luobusa and Dongqiao ophiolites, Tibet. *Canadian Journal of Earth Sciences* 30, 1650~1659.
- Bédard, É., Hébert, R., Guilmette, C., Lesage, G., Wang, C.S., Dostal, J., 2009. Petrology and geochemistry of the Saga and Sangsang ophiolitic massifs, Yarlung Zangbo Suture Zone, Southern Tibet: evidence for an arc-back-arc origin. *Lithos* 113, 48~67.
- Bezard, R., Hébert, R., Wang, C.S., Dostal, J., Dai, J.G., Zhong, H.T., 2011. Petrology and geochemistry of the Xiugugabu ophiolitic massif, western Yarlung Zangbo suture zone. *Lithos* 125, 347~367.
- Brey, G.P., Köhler, T., 1990. Geothermobarometry in four-phase lherzolites II. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers. *Journal of Petrology* 31, 1353~1378.
- Dubois-Côté, V., Hébert, R., Dupuis, C., Wang, C.S., Li, Y.L., Dostal, J., 2005. Petrological and geochemical evidence for the origin of the Yarlung Zangbo ophiolites, southern Tibet. *Chemical Geology* 214, 265~286.
- Dupuis, C., Hébert, R., Dubois-Côté, V., Guilmette, C., Wang, C.S., Li, Y.L., Li, Z.J., 2005. The Yarlung Zangbo Suture Zone ophiolitic mélange (Southern Tibet): new insights from geochemistry of ultramafic rocks. *Journal of Asian Earth Sciences* 25, 937~960.
- Hirose, K., Kawamoto, T., 1995. Hydrous partial melting of lherzolite at 1 GPa: the effect of H₂O on the genesis of basaltic magmas. *Earth and Planetary Science Letters* 133, 463~473.
- Huot, F., Hébert, R., Varfalvy, V., Beaudoin, G., Wang, C., Liu, Z., Cotten, J., Dostal, J., 2002. The Beimarang Melange (southern Tibet) brings additional constraints in assessing the origin, metamorphic evolution and obduction processes of the Yarlung Zangbo ophiolite. *Journal of Asian Earth Sciences* 21, 307~322.
- Liu, C.Z., Wu, F.Y., Chu, Z.Y., Ji, W.Q., Yu, L.J., Li, J.L., 2012. Preservation of ancient Os isotope signatures in the Yungbwa ophiolite (southwestern Tibet) after subduction modification. *Journal of Asian Earth Sciences* 53, 38~50.
- Liu, C.Z., Wu, F.Y., Wilde, S.A., Yu, L.J., Li, J.L., 2010. Anorthitic plagioclase and pargasitic amphibole in mantle peridotites from the Yungbwa ophiolite (southwestern Tibetan Plateau) formed by hydrous melt metasomatism. *Lithos* 114, 413~422.
- Miller, C., Thöni, M., Frank, W., Schuster, R., Melcher, F., Meisel, T., Zanetti, A., 2003. Geochemistry and tectonomagmatic affinity of the Yungbwa ophiolite, SW Tibet. *Lithos* 66, 155~172.
- Nicolas, A., Girardeau, J., Marcoux, J., Dupré, B., Wang, X., Zheng, H., Cao, Y., Xiao, X., 1981. The Xigaze ophiolite: a peculiar oceanic lithosphere. *Nature* 294, 414~417.
- Robinson, P.T., Bai, W.J., Malpas, J., Yang, J.S., Zhou, M.F., Fang, Q.S., Hu, X.F., Cameron, S., Staudigel, H., 2004. Ultra-high pressure minerals in the Luobusa ophiolite, Tibet and their tectonic implications. Aspects of the Tectonic evolution of China. Geological Society, London, Special Publications 226, 247~271.
- Tapponnier, P., Mercier, J.L., Proust, F., Andrieux, J., Armijo, R., Bassoullet, J.P., et al., 1981. The Tibetan side of the India-Eurasia collision. *Nature* 294, 405~410.
- Walker, R.J., Prichard, H.M., Ishiwatari, A., Pimentel, M., 2002. The osmium isotopic composition of convecting upper mantle deduced from ophiolite chromites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66, 329~345.
- Wells, P.R.A., 1977. Pyroxene thermometry in simple and complex systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 62, 129~139.
- Wood, B.J., Banno, S., 1973. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 42, 109~124.
- Yamamoto, S., Komiya, T., Hirose, K., Maruyama, S., 2009. Coesite and clinopyroxene exsolution lamellae in chromites: in-situ ultrahigh-pressure evidence from podiform chromites in the Luobusa ophiolite, southern Tibet. *Lithos* 109, 314~322.
- Yang, J.S., Bai, W.J., Dobrzynetskaia, L., Makeev, A., 2009. In situ diamonds in polished chromites fragments from the chromite deposits in Polar Ural and Tibet. 2009 Fall Meeting Abstract V54B-08.
- Yang, J.S., Bai, W.J., Fang, Q.S., Yan, B.G., Shi, N.C., Ma, Z.S., Dai, M.Q., Xiong, M., 2003. Silicon-rutile-an ultra-high pressure (UHP) mineral from an ophiolite. *Progress in Natural Science* 13 (7), 528~531.
- Yang, J.S., Dobrzynetskaia, L., Bai, W.J., Fang, Q.S., Robinson, P.T., Zhang, J.F., Green II, H.W., 2007. Diamond- and coesite-bearing chromitites from the Luobusa ophiolite, Tibet. *Geology* 35, 875~878.
- 熊发挥, 杨经绥, 梁凤华, 巴登珠, 张健, 徐向珍, 李源, 刘钊. 2011. 西在雅鲁藏布江缝合带西段东波蛇绿岩中锆石 U-Pb 定年及地质意义. *岩石学报*, 27, 3223~3238.
- 杨经绥, 熊发挥, 郭国林, 刘飞, 梁凤华, 陈松永, 李兆丽, 张隶文. 2011. 东波超镁铁岩体: 西藏雅鲁藏布江缝合带西段一个甚具铬铁矿前景的地幔橄榄岩. *岩石学报*, 27, 3207~3222.
- 杨经绥, 徐向珍, 李源, 李金阳, 巴登珠, 戎合, 张仲明. 2011. 西在雅鲁藏布江缝合带的普兰地幔橄榄岩中发现金刚石: 蛇绿岩型金刚石的提出. *岩石学报*, 27, 3171~3178.
- 杨经绥, 张仲明, 李天福, 李兆丽, 任玉峰, 徐向珍, 巴登珠, 白文吉, 方青松, 陈松永, 戎合. 2008. 西藏罗布莎铬铁矿体围岩方辉橄榄岩中的异常矿物. *岩石学报*, 24, 1445~1452.