

桂东南马山杂岩体地球化学与锆石 U-Pb 同位素年代学特征及其地质意义

段瑞春¹⁾, 凌文黎²⁾, 李青³⁾, 杨红梅¹⁾

1) 武汉地质矿产研究所, 武汉, 430205; 2) 中国地质大学地球科学学院, 武汉, 430074;

3) 广西地质矿产勘查开发局, 南宁, 530023

华南地区在中生代以广泛分布基性-中酸性侵入岩和火山岩为特征, 这些岩浆岩中以酸性的花岗岩和流纹岩为主, 少量的玄武岩和中性岩, 且花岗岩岩体常伴有成矿作用。华南中生代岩浆岩形成的构造背景一直是争论的焦点, 李献华等(1999, 2000, 2001)在桂东南和粤西地区厘定出了一条北东向展布的钾玄质侵入岩带, 包括广西横县的马山岩体、桂平的西山岩体、陆川县和广东化州县交界的清湖岩体等。钾玄质岩石主要起源于与俯冲作用有关的富钾和大离子亲石元素的交代地幔(Foley S F and Peccerillo A, 1992; Turner S et al, 1996), 一般发育于大洋岛弧, 也大量形成于大陆弧和后碰撞弧环境, 只有极少数钾玄质岩石产于板内环境(Muller D and Groves D I, 1995)。因此, 对属于钾玄质岩石的马山杂岩体的地球化学研究在成因岩石学和区域构造演化研究中都具有特殊的意义。

Gilder et al (1996)在对华南中生代花岗岩研究中发现一些沿中生代十万大山-赣杭盆地分布的北东向的异常高 Sm-Nd 含量的花岗岩(“十-杭带”)带之后, Chen and Jahn (1998)发现华南存在两条大致和十-杭带重合的低 T_{DM} -高 $\epsilon Nd(T)$ 花岗岩带。陈江峰和江博明(1999)认为这些高 Sm-Nd、低 T_{DM} -高 $\epsilon Nd(T)$ 花岗岩的形成与幔源物质的加入有关。且近年来不断有研究表明部分南岭花岗岩中存在幔源物质加入的证据(王强等, 2005; 李献华等, 2009)。马山杂岩体位于低 T_{DM} -高 $\epsilon Nd(T)$ 花岗岩带附近, 且前人的研究(李献华等, 1999; 郭新生等, 2001)表明, 马山杂岩体中的花岗岩具有上述同位素特征。马山杂岩体位于横县境内, 区域内出露的主要地层为震旦系、寒武系、泥盆系和石炭系, 中间缺

失奥陶系和志留系, 寒武纪和泥盆纪之间呈不整合接触。岩体呈近南北向分布的椭圆形, 出露面积为 93Km^2 。岩体侵入于寒武系、泥盆系和印支期大容山岩体中, 由基性、中性和酸性岩组成。到目前为止, 尚未有马山杂岩体精确的年代学数据报道, 本文对马山杂岩体进行系统的锆石 U-Pb 年代学和元素、同位素地球化学研究, 为探讨中生代该区域的岩石圈演化提供制约。

1) 马山杂岩体的形成时代

对马山杂岩体中的辉长岩(GG07-10)进行了锆石 U-Pb 同位素定年。锆石呈无色或淡黄色, 半自形到自形, 长宽比为 $1:1\sim 2.5:1$, 粒径 $50\sim 250\mu\text{m}$, Th/U 比为 $0.47\sim 1.56$; 在阴极发光图像中, 锆石具有较宽的震荡环带结构(见图 1), 相应的谐和曲线图示于图 2。对 GG07-10 中的 11 粒锆石进行了 11 个点的 U-Pb 同位素分析, 其中 8 粒谐和锆石给出 $157.8\pm 2.4\text{Ma}$ (MSWD=1.8)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均表面年龄(年龄变化范围为 $154.5\sim 160.5\text{Ma}$), 与这些点拟合的交点年龄 $157.5\pm 1.0\text{Ma}$ (MSWD=1.5)在误差范围内一致(图 2)。另外三个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄分别为 $151.3\pm 1.4\text{Ma}$, $889.7\pm 12.2\text{Ma}$, $781.8\pm 10.3\text{Ma}$ 。

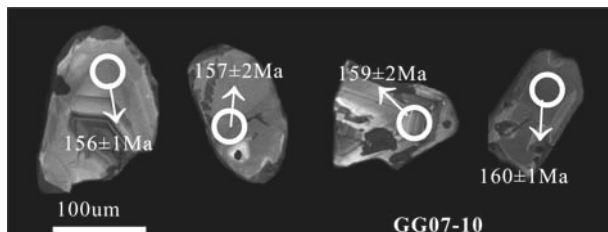


图 1 马山杂岩体辉长岩(GG07-10)锆石 CL 图像及测点表面年龄

较自形的形态, 较宽的结晶环带以及较高的 Th/U 比值(>0.4)特征指示选自辉长岩中的锆石为典型的岩浆锆石(吴元保和郑永飞, 2004), 锆石的形成时代可以代表岩体的形成时代。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究表明, 马山杂岩体形成于 157.8 ± 2.4 Ma 的燕山早期的晚侏罗世。该年龄与李献华(1999)厘定的北东向钾玄岩带上的清湖(158 ± 2 Ma)(徐磊明和袁宗信, 1992)、同安(163.2 Ma、 160 ± 4 Ma)(Li X H et al, 2004; 朱金初等, 2005)、牛庙(161.0 Ma、 163 ± 4 Ma)(Li X H et al, 2004; 朱金初等, 2005)、里松(163.0 ± 1.3)(顾晟彦, 2006)等岩体的形成时代在误差范围内一致。指示了这些岩体在时间上、空间上、物质来源及构造背景上的密切联系。

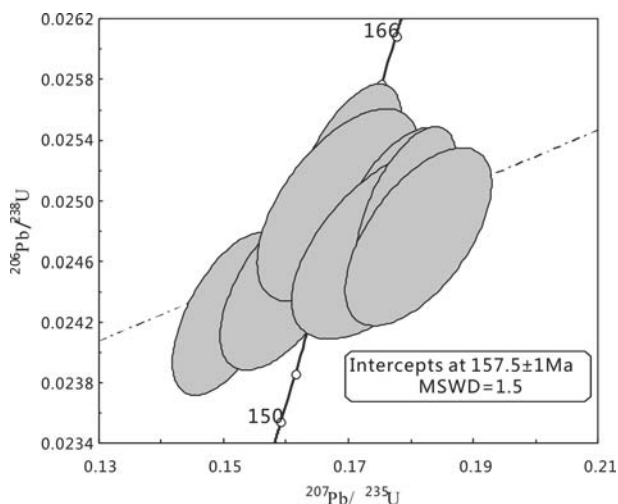


图2 马山杂岩体辉长岩锆石 U-Pb 谐和线图

1) 马山杂岩体的物质来源

钾玄质系列岩石多产于岛弧环境, 只有极少数钾玄岩产于板内环境。前人的研究表明, 与岛弧相关的钾玄岩具有高度富集大离子亲石元素和轻稀土元素及显著的 Ta、Nb、Ti 负异常的特征, 而大陆板内钾玄岩除可能显示部分岛弧型火山岩的微量元素特征外, 更多地展示出与 OIB 相似的微量元素组成(李献华等, 1999 及其所引文献)。马山杂岩体在 SiO_2 - K_2O 图解中落入钾玄质—高钾钙碱性岩系区域, 稀土配分模式和微量元素特征均类似于 OIB, 且形成时代与其他钾玄岩体一致的特征, 指示了马山岩体为板内环境下的钾玄质岩体。

虽然由于 GG07-10 和 GG07-11 属堆晶成因,

其元素地球化学特征并不能有效地指示初始岩浆的性质, 但在原始地幔标准化的多元素蛛网图上两件样品缺乏 Nb、Ta 亏损的特点表明, 它们形成时的岩浆没有受到明显的地壳物质混染, 因此所具有的 $+4.46$ 和 4.24 的 $\epsilon_{\text{Nd}}(158\text{Ma})$ 值反映了岩浆来自中度亏损的地幔源区, 是对源区亏损程度的最大估计。

除花岗岩外的其它中-基性岩, 虽然具有与 OIB 类似的元素配分曲线, 但仍存在相对较弱且程度不同的 Nb、Ta 亏损(Nb/La 比值为 $0.88 \sim 1.24$), 较低 $\epsilon_{\text{Nd}}(158\text{Ma})$ 值($+3.02\text{‰} \sim +1.69\text{‰}$)。可来自 OIB 型的地幔岩浆(OIB-type mantle-derived magma)在结晶分离过程中受到了不同程度来自富集的大陆岩石圈地幔(CLM)和大陆地壳(CC)的混染来解释该现象(图3)。因此, 不同程度的富集岩石圈地幔和地壳同化混染作用较好地解释了这些样品相对于早期经堆晶作用形成样品所具有的 Nd、Ta 亏损和较低的 ϵ_{Nd} 值现象。

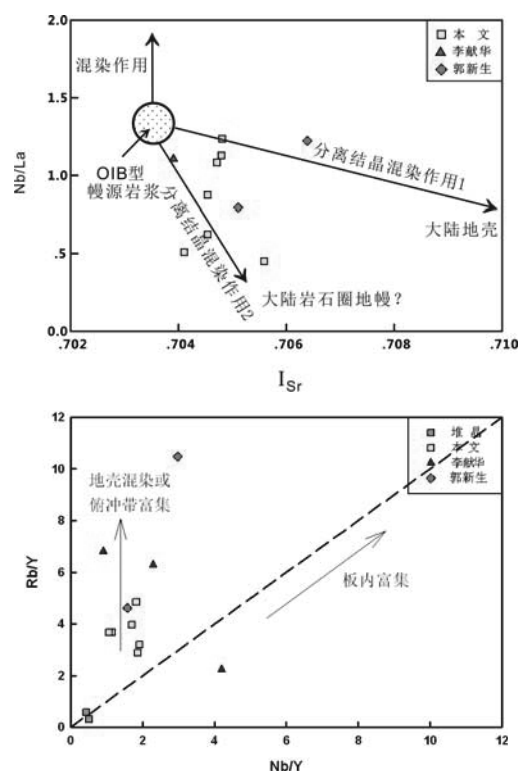


图3 马山杂岩体 I_{Sr} -Nb/La 及 Nb/Y-Rb/Y 关系图解

华南绝大多数中生代花岗岩的 $T_{2\text{DM}}$ 模式年龄为 $2.2 \sim 1.1$ Ga、 ϵ_{Nd} 值为 $-16.4\text{‰} \sim -1.1\text{‰}$ (平均 -9.3‰) (陈江峰和江博明, 1999; 沈渭洲等, 1999), 马山花岗

岩与其相比, 具有较小的 $\epsilon_{\text{Nd}}(158\text{Ma})$ 值 (-1.83‰ 和 -0.56‰) 和较年轻的 $T_{2\text{DM}}$ 年龄 (0.95Ga 和 0.87Ga), 指示了马山杂岩体花岗岩在形成过程中有幔源物质的参与, 为深部地壳物质部分熔融形成的熔体与来自地幔源区熔体共同作用的产物。邓希光和陈志刚 (2002) 在杂岩体正长岩和玄武岩接触部位发现了交代型碳酸岩, 碳酸岩一般为岩浆成因, 与深部地幔岩浆作用, 亦指示了杂岩体形成过程中地幔物质的参与。

由上述不同岩性岩石样品元素、同位素地球化学特征, 笔者认为马山杂岩体为亏损的岩石圈地幔、富集的岩石圈地幔以及重熔下地壳共同作用的结果, 与钾玄岩带上的其他岩体具有类似的物质来源 (李献华等, 1999; 郭新生等, 2001; Li X H et al, 2004; 朱金初等, 2005)。

2) 马山杂岩体的形成机制

综合研究华南沿海岩浆岩的岩性、形成时代和空间位置, Li Z X and Li X H (2007) 提出了太平洋板块俯冲模型, 该模型认为在 $180\sim 155\text{Ma}$ 的中侏罗纪, 俯冲的太平洋板块发生了反转和拆沉, 导致了地幔物质的上涌并形成了正长岩和玄武岩类岩石。该模型可以解释马山杂岩体的形成机制, 即俯冲板块的拆沉使中等亏损程度的地幔物质上涌, 形成了基性侵入和喷出岩系; 且地幔岩浆的上涌, 导致了区域地壳地热梯度的增高, 诱发了下部地壳岩石发生部分熔融, 部分幔源基性岩浆与来自地壳重熔作用形成的熔体混合侵位作用导致了花岗岩岩体的形成。

结论

马山杂岩体为形成于燕山早期晚侏罗世的 157.8Ma , 为太平洋俯冲板块俯冲后反转和拆沉导致大量地幔物质上涌的背景下, 中等亏损程度的地幔源区岩浆物质与富集的岩石圈地幔物质以及重熔的地壳物质共同作用的产物。

参 考 文 献 / References

陈江峰, 江博明. 1999. 铍、锶、铅同位素示踪和中国东南大陆地壳演化. 见: 郑永飞主编. 化学地球动力学. 北京: 科学出版社, 262~287.
 邓希光, 陈志刚. 2002. 广西马山碱性杂岩交代型碳酸岩的发现及其意义. 地学前缘, 9(3): ?
 顾晟彦, 华仁民, 戚华文. 2006. 广西姑婆山花岗岩单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及全岩 Sr-Nd 同位素研究. 地质学报, 80(4): 543~553.

广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1~853.
 郭新生, 陈江峰, 张翼, 等. 2001. 桂东南富钾岩浆杂岩的 Nd 同位素组成: 华南中生代地幔物质上涌事件. 岩石学报, 17(1): 19~27.
 胡圣虹, 陈爱芳, 林守麟等. 2000. 地质样品中 40 个微量、痕量、超痕量元素的 ICP-MS 分析研究. 地球科学-中国地质大学学报, 25(2): 186~190.
 李献华, 李武显, 王选策, 等. 2009. 幔源岩浆在南岭燕山早期花岗岩形成中的作用: 锆石原位 Hf-O 同位素制约. 中国科学(D 辑): 地球科学, 39(7): 872~887.
 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 1999. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征. 科学通报, 44(18): 1992~1998.
 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 2000. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: I. 岩石学和同位素地质年代学. 地球化学, 29(6): 513~520.
 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 2001. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: II. 微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化学. 地球化学, 30(1): 57~65.
 沈渭洲, 凌洪飞, 李武显等. 1999. 东南部花岗岩类 Nd-Sr 同位素研究. 高校地质学报, 5(1): 22~32.
 王强, 赵振华, 简平, 等. 2005. 华南腹地白垩纪 A 型花岗岩类或碱性侵入岩年代学及其对华南晚中生代构造演化的制约. 岩石学报, 21(3): 795~808.
 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589~1604.
 徐磊明, 袁宗信. 1992. 清湖二长岩锆石铀-铅同位素年龄及其地质意义. 广西地质, 5(3): 33~36.
 朱金初, 谢才富, 张佩华, 等. 2005. 桂东北牛庙闪长岩和同安石英二长岩: 岩石学、锆石 SHRIMP U-Pb 年代学和地球化学. 岩石学报, 21(3), 665~676.
 Chen J F and Jahn B M. 1998. Crustal evolution of southeastern China: Evidence from Nd and Sr isotopic composition of rocks. Tectonophysics, 284: 101~133.
 Foley S F and Peccerillo A. 1992. Potassic and ultrapotassic magmas and their origin. Litho, 28: 181~185.
 Gilder S A, Gill J, Coe R S, et al. 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China. Journal of Geophysical Research, 101: 16137~16154.
 Hamilton E I. 2000. Environmental variables in a holistic evaluation of land contaminated by historic mine wastes: a study of multi-element mine wastes in West Devon, England using arsenic as an element of potential concern to human health. The Science of the Total Environment, 249: 171~221.

- Hsü K J, Li J L, Chen H H, et al. 1990. Tectonics of south China: Key to understanding west Pacific geology. *Tectonophysics*, 183: 9~39.
- Le Maitre R W, Bateman P, Dudek A, et al. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Oxford: Blackwell Scientific, pp193.
- Li X H, Chung S L, Zhou H W, et al. 2004. Jurassic intraplate magmatism in southern Hunan-eastern Guangxi: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, geochemistry, Sr-Nd isotopes and implications for the tectonic evolution of SE China. *Geol. Soc., London Spec. Publ.*, 226: 193~215
- Li X H. 2000. Cretaceous Magmatism and Lithospheric Extension in Southeast China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18: 293~305.
- Li Z X and Li X H. Formation of the 1300-km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model. *Geology*, 35(2): 179~182
- Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. 2010. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535~1546
- Ludwig K R. 2001. Isoplot/Ex, rev. 2.49. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 1a, 56pp.
- Morrison G W. 1980. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos*, 13: 97~108.
- Muller D, Groves D I. 1995. Potassic. Igneous Rocks and Associated Gold-copper Mineralization. Berlin: Springer-Verlag, 1~144.
- Pearce J A, Bender J F, De Long S E, et al. 1990. Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44: 189~229.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22: 247~263
- Sewell R J, Campbell S D G. 1997. Geochemistry of coeval Mesozoic plutonic and volcanic suites in Hong Kong. *Journal Geological Society of London*, 154: 1053~1066.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J (eds). *Magmatism in the ocean Basins*. London: Special Publication, 42: 313~345.
- Turner S, Arnaud N, Liu J, et al. 1996. Post-collisional, shoshonitic volcanism on the Tibetan plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of oceanic island basalts. *J Petrol*, 37: 45~71.
- Wilson M. 1989. *Igneous petrogenesis*. London: Unwin Hyman. 466.
- Zhou X M, Li W X. 2000. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. *Tectonophysics*, 326: 269~287.