

神农架群郑家垭组火山岩锆石 Hf 同位素研究及其地质意义

邱啸飞^{1,2)}, 凌文黎²⁾, 柳小明³⁾

1) 中国地质调查局武汉地质调查中心, 同位素地球化学研究室, 湖北武汉, 430205;

2) 中国地质大学, 地球科学学院, 湖北武汉, 430074;

3) 西北大学, 大陆动力学国家重点实验室, 陕西西安, 710069

1 研究背景介绍

扬子克拉通广泛出露 830-780 Ma 与 Rodinia 超大陆裂解有关的岩浆-构造事件(e.g. Li et al., 2003), 然而中元古代末期到新元古代早期与 Rodinia 超大陆聚合有关的岩浆作用目前的研究仍相对有限。这在一定程度上阻碍了目前对于华南陆块前寒武基底早期岩浆-构造演化及其在 Rodinia 超大陆重建中所起作用等重要地质问题上的认识。

由于显生宙巨厚沉积盖层的覆盖, 中元古代地层在扬子克拉通乃至整个华南陆块出露十分有限, 且基础地质的研究程度也相对较低。出露于扬子陆核崆岭高级变质地体西北~70km 的神农架群长期以来被视为扬子克拉通中元古代地层的典型代表, 是研究扬子克拉通中元古代构造-岩浆事件和演化难得的地质单元。Qiu et al. (2011) 最近在神农架群顶部郑家垭组地层中识别出一套中元古代末期的火山岩组合, 并对其中安山岩样品采用锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法获得了 1103 ± 8 Ma 的形成年龄。然而对于这些火山岩, 尤其是其中安山岩的岩浆演化过程、岩浆来源及源区特点等尚未得到很好的解决。

本文在已报道的年代学和全岩地球化学研究基础上, 介绍郑家垭组安山岩样品的锆石 Hf 同位素特点, 并结合全岩地球化学和 Nd 同位素组成来探讨其岩浆来源和岩石成因。

2 分析样品锆石 Hf 同位素结果

对神农架群火山岩 20 个锆石颗粒进行过 U-Pb

同位素分析和 Hf 同位素组成。两颗继承锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值分别为 -13.3‰ ($t=1888$ Ma) 和 -3.95 ($t=2825$ Ma), 对应 2792 和 3244 Ma 的 Hf 同位素模式年龄(T_{DM})。岩浆锆石中有一颗锆石(点 09JJQ-17)具有极负的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值(-47.1‰), 对应 T_{DM} 值为 3526 Ma, 推测该锆石 Hf 同位素可能受到了后期地质事件的扰动。将该点剔除后余下锆石的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 介于 0.281448 到 0.282107 之间, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 -24.0‰~+0.3‰, 对应 T_{DM} 为 2587-1608 Ma, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值介于同时期继承锆石和亏损地幔值之间, 表明原始岩浆从亏损地幔分异出来后经历了较长时间的地壳滞留。

3 讨论及结论

3.1 锆石 Hf 同位素对安山岩岩石成因的制约

神农架安山岩绝大多数锆石具有富集且高度变化的 Hf 同位素组成, 暗示其来源于具有古元古代地壳平均居留时间的区域深部地壳物质重熔。这一结论也得到了全岩地球化学和 Nd 同位素证据的支持(Qiu et al., 2011)。拥有最高 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值(+0.3‰)的两颗岩浆锆石同时具有最低的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值, 说明锆石在形成后具有较低的放射成因 Hf 积累, 故其 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 以及 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值可认为接近代表了锆石形成时岩浆源区的同位素组成, 从而判断出神农架安山岩来自于 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}=0.282082 \sim 0.282107$ 、 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值在 0.3 左右的地壳物质源区。

3.2 锆石 Hf 同位素对安山岩岩浆混染作用的指示

同一样品中高度变化的锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值被认为形成于开放系统中(Bohlar et al., 2008), 神农架安山岩中锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值在 -24.0‰~+0.3‰ 变化, 表明其岩浆

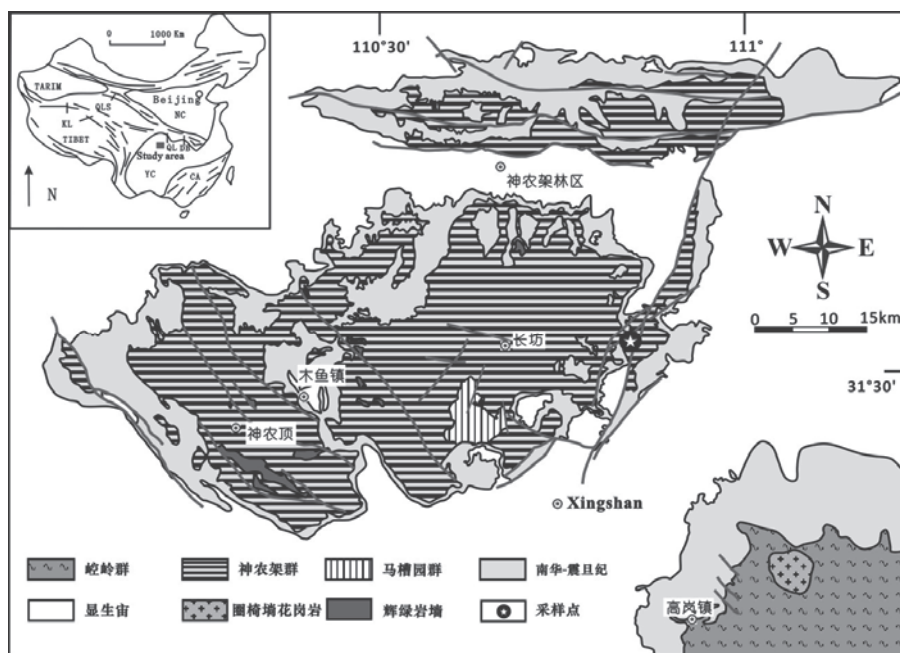


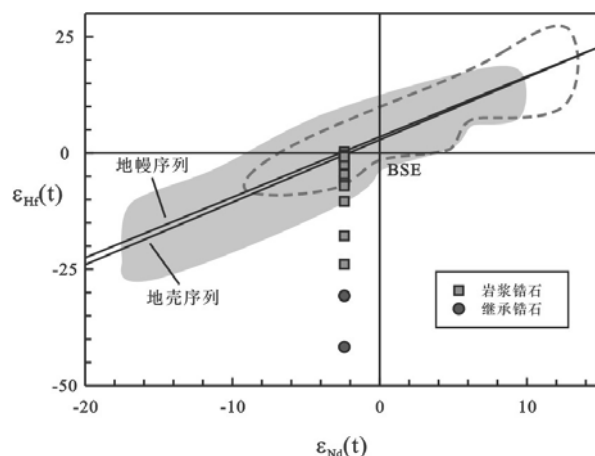
图 1 神农架区域地质简图(据 Qiu et al., 2011 修改)

演化过程中可能遭受其他物质混染。

从图 2 可以看出神农架安山岩的锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值高度变化, 而全岩 Nd 同位素则显示出很好的一致性 (-2.4 ± 0.24 ; Qiu et al., 2011), 虽然多数点落于地球序列附近, Hf-Nd 同位素之间仍显示出解耦现象。这说明混染物对安山岩 Hf 同位素组成的影响要高于 Nd 同位素, 这种 Hf-Nd 同位素相关性现象与火山岩岩浆演化过程中与陆源碎屑沉积岩相互作用时“锆石效应”造成的结果相似(Patchett et al., 1984; Carpentier et al., 2009)。神农架安山岩含有继承锆石, 岩浆锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值介于同时期继承锆石和亏损地幔值之间并具有较大的变化范围, 进一步说明可能有碎屑沉积岩组分参与到岩浆演化过程中, 且该组分具有明显富集的 Hf 同位素特征。然而这一过程并未通过全岩 Nd 同位素和地球化学组成识别出来, 神农架安山岩样品间 Nd 同位素和全岩地球化学组成相对均一, 这表明锆石 Hf 同位素在反映岩浆形成和演化过程中对陆源碎屑沉积岩混染作用的识别可能比全岩地球化学和 Nd 同位素具有更为灵敏的指示作用。

3.3 锆石 Hf 同位素对扬子克拉通中元古代末期构造演化的指示意义

已有证据表明中元古代末期之前神农架地区和扬子陆核崆岭地区之间存在古大洋洋盆记录(Bai et al., 2011; Peng et al., 2012)。例如 Peng et al. (2012) 在黄陵背斜南部太平溪、邓村一带崆岭杂岩中识别

图 2 神农架群安山岩的锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 和全岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 关系图(全岩 Nd 同位素数据来自 Qiu et al., 2011)

出 ~ 1.0 Ga 的蛇绿混杂岩。本文 Hf 同位素显示神农架安山岩在形成或上升过程中受到了碎屑岩的混染, 且该碎屑岩应含大量具有富集 Hf 同位素组成的碎屑锆石。已有研究表明靠近古老克拉通边缘沉积的粗粒碎屑岩由于接受古老地壳基底风化、剥蚀和搬运, 其全岩和碎屑锆石的 Hf 同位素将表现出明显富集的同位素组成特点(Patchett et al., 1984; Carpentier et al., 2009)。神农架安山岩中两颗继承锆石年龄为 1888 Ma 和 2825 Ma, 且分别对应 2792 和 3244 Ma 的 Hf 同位素模式年龄, 这与神农架以东的崆岭杂岩中的锆石特征接近, 结合郑家垭组下部地层为一套复理石沉积建造以及

神农架地区存在格林威尔期存在与俯冲碰撞有关的地质记录和观察(Qiu et al., 2011; Peng et al., 2012), 暗示中元古代末期神农架地区可能已经有来自崆岭杂岩的碎屑物质参与到岛弧岩浆形成的过程之中。

参 考 文 献 / References

- Bai X, Ling W L, Duan R C, Qiu X F, Liu C X, Kuang H, Gao Y J, Zhou L, Chen Z W and Lu S S. 2011. Mesoproterozoic to Paleozoic Nd isotope stratigraphy of the South China continental nucleus and its geological significance: *SCIENCE CHINA Earth Sciences*, v. 54, no. 11, p. 1665~1674.
- Bolhar R, Weaver S, Whitehouse M, Palin J, Woodhead J and Cole J. 2008. Sources and evolution of arc magmas inferred from coupled O and Hf isotope systematics of plutonic zircons from the Cretaceous Separation Point Suite (New Zealand): *Earth and Planetary Science Letters*, v. 268, no. 3, p. 312~324.
- Carpentier M, Chauvel C, Maury R C and Mattielli N. 2009. The “zircon effect” as recorded by the chemical and Hf isotopic compositions of Lesser Antilles forearc sediments: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 287, no. 1, p. 86~99.
- Li X H, Li Z X, Ge W, Zhou H, Li W, Liu Y and Wingate M T D. 2003. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma?: *Precambrian Research*, v. 122, no. 1~4, p. 45~83.
- Patchett P, White W, Feldmann H, Kielinczuk S and Hofmann A. 1984. Hafnium/rare earth element fractionation in the sedimentary system and crustal recycling into the Earth's mantle: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 69, no. 2, p. 365~378.
- Peng S, Kusky T M, Jiang X F, Wang L, Wang J P and Deng H. 2012. Geology, geochemistry, and geochronology of the Miaowan ophiolite, Yangtze craton: Implications for South China's amalgamation history with the Rodinian supercontinent: *Gondwana Research*, v. 21, p. 577~594.
- Qiu X F, Ling W L, Lu S S, Chen Z W, Gao Y J, Bai X and Zhang J B. 2010. Comment on “Origin of TTG-like rocks from anatexis of ancient thickened crust: Geochemical evidence from Neoproterozoic granitoids in South China” [*Lithos* 113 (2009) 347~368]: *Lithos*, v. 116, p. 188~190.