

扬子陆核的生长和再造： 锆石 U-Pb 年龄和 Hf-O 同位素研究

张少兵, 郑永飞, 吴元保

(中国科学技术大学地球和空间科学学院, 合肥 230026)

湖北宜昌的崆岭杂岩是扬子克拉通目前出露的最古老岩石。本文应用锆石 U-Pb 定年和 Hf-O 同位素方法对崆岭杂岩进行了系统研究, 结果对扬子陆核的形成和演化提供了新的地球化学制约。

研究对象为崆岭杂岩中的 TTG 质混合岩和片麻岩, 其中锆石很多具有复杂的核边结构。残留核年龄为 $3113 \pm 25\text{Ma}$ 到 $3253 \pm 16\text{Ma}$ 。除去残留核的数据, 绝大多数 U-Pb 数据构成一条 U-Pb 不一致线, 三个样品的上交点年龄都在 $2900 \sim 2950\text{Ma}$ 之间, 且大部分数据点靠近上交点, 说明主要岩浆活动时间为 $2.9\sim 2.95\text{Ga}$ 。除此之外, 其中的一个混合岩发育有发光弱、无环带的增生边, 在这些增生边上得到了 $1873 \pm 25\text{Ma}$ 到 $2013 \pm 20\text{Ma}$ 的谐和年龄, 指示了古元古代混合岩化中锆石的生长。对 $\sim 3.2\text{Ga}$ 的锆石继承核和 $\sim 2.9\text{Ga}$ 的锆石颗粒进行 Hf 同位素分析, 发现总的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 范围为 $0.280696\sim 0.280935$, 其中 $\sim 3.2\text{Ga}$ 的核部的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值相对较低。这些 $\sim 3.2\text{Ga}$ 的核的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 -3.2 到 -0.2 , 而 $\sim 2.9\text{Ga}$ 的锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 -8.7 到 -0.1 。 $\sim 3.2\text{Ga}$ 的锆石核的单阶段模式年龄为 $3.45 \pm 0.06\text{Ga}$, 而 $\sim 2.9\text{Ga}$ 的锆石单阶段模式年龄为 $3.35 \pm 0.03\text{Ga}$ 。二者的两阶段模式年龄分布范围比较相似, 峰值都在 3.5Ga 左右。单矿物氧同位素分析发现锆石 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $5.6\sim 5.8\text{‰}$, 与典型地幔值 $5.3 \pm 0.3\text{‰}$ 以及太古代 TTG 锆石 $\delta^{18}\text{O}$ 范围 $5.5 \pm 0.4\text{‰}$ 接近, 说明源区物质缺乏表壳岩石的贡献。考虑到部分锆石由于变质作用导致 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值升高, Hf 模式年龄降低, 所以这些模式年龄应该看作是对原岩从地幔分异时间的最小估计。 $\sim 2.9\text{Ga}$ 锆石和 $\sim 3.2\text{Ga}$ 核的两阶段模式年龄 3.5Ga 可以近似看作为原岩形成的年龄。即使只考虑单阶段模式年龄, 3.45Ga 的单阶段模式也说明扬子曾经存在至少这个年龄的地壳残片。这些数据表明, 扬子早期地壳的形成远比以前认为的要早。

崆岭杂岩中的变沉积岩主要记录了古元古代变质信息。我们在两个变沉积岩和一个角闪岩中分别得到了 $1948 \pm 46\text{Ma}$, $1979 \pm 22\text{Ma}$ 和 $1943 \pm 44\text{Ma}$ 的变质年龄。两个变沉积岩的锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值分别为 $-13.3\sim -1.0$ 和 $-10.5\sim -2.5$, 对应两阶段模式年龄都在 $2.7\sim 3.4\text{Ga}$, 加权平均值约 3.0Ga 。虽然由于技术限制, 没有直接分析锆石的氧同位素组成, 但 $\sim 11\text{‰}$ 的石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值和 $\sim 8\text{‰}$ 的石榴石 $\delta^{18}\text{O}$ 值, 说明其源区物质是沉积来源。通过与这些变沉积岩可能的源区物质, 即崆岭杂岩中的太古代岩石 Hf 同位素进行对比, 可以发现这些变沉积岩的锆石 Lu-Hf 同位素体系在古元古代变质事件中不同程度的开放, Hf 同位素比值被变质作用显著提高。因此, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值最负、模式年龄最老的那些锆石受变质影响最弱, 与原岩 Hf 同位素组成最接近。

同时, 我们还对位于崆岭以南、不整合覆盖于黄陵岩基之上的莲沱组砂岩中的碎屑锆石进行了 U-Pb 定年和 Hf 同位素分析。主要发现有: 一颗 $3802 \pm 8\text{Ma}$ 的锆石具有 0.8 的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值, 虽然同一粒锆石上另外一个分析点 U-Pb 年龄较小, 但 Hf 同位素组成相似; 数粒年龄在 3.3Ga 左右的锆石, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值高达 4.2 , 说明它们来自初生地壳; 2.95Ga 的锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值既有正值, 又有负值, 但正的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值对应不谐和的 U-Pb 年龄, 暗示了变质作用的影响; 一组年龄 1.95Ga 左右的锆石对应 -14.1 到 -25.3 的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值; 年龄为 $820\sim 750\text{Ma}$ 的锆石对应 $-42.9\sim -52.1$ 的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值。统计这些碎屑锆石的 Hf 模式年龄发现, 其模式年龄主要分布在 $3.2\sim 3.6\text{Ga}$, 代表了早期扬子地壳生长的主要阶段。