

Fe 同位素在地学应用的研究进展

王美娟^{1,2}, 朝银银^{1,2}, 李杰美², 张 岱²

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 武警黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000)

近年随着各种新型同位素分析仪器的开发利用和分析测试技术方法上的迅猛发展, 一些非传统的同位素得以测试成功, 使其在基础地质中的应用也日趋成熟。

Fe 有 4 个同位素: ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{57}Fe 和 ^{58}Fe , 丰度分别为 5.84%, 91.76%, 2.12% 和 0.28% (Beard B L 等, 1999)。类似于其他稳定同位素, Fe 同位素一般也用 $\delta^{56}\text{Fe}$ 值和 $\delta^{57}\text{Fe}$ 值来表示。两者关系: $\delta^{56}\text{Fe} \approx 0.68 \times \delta^{57}\text{Fe}$ (Anbar et al., 2000)。也有研究者 (Zhu et al., 2000) 用 $\epsilon^{57}\text{Fe}$ 值来表示。现阶段, 由于 Fe 同位素的应用较少, 数据基本还处在数据积累阶段, 蒋少涌 (2003) 勾勒出了自然界和生物已有的 Fe 同位素数据 (图 1)。

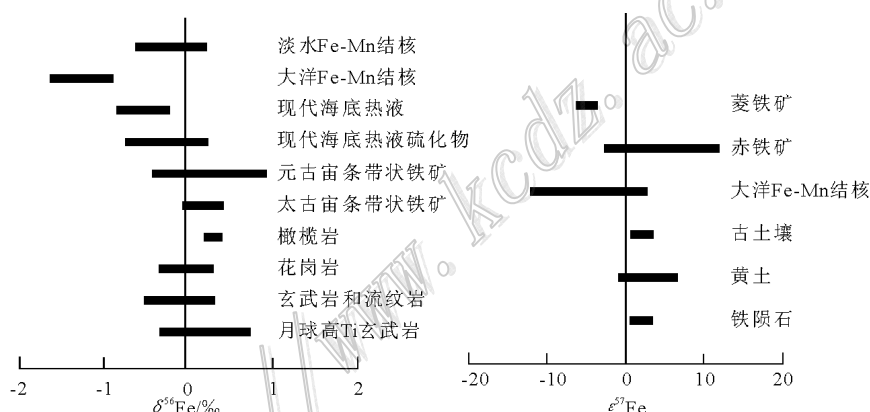


图 1 自然界中 Fe 同位素组成变化图 (据蒋少涌, 2003)

1 在矿床学和沉积岩中的应用

李志红等 (2008) 首次进行了 BIF 的 Fe 同位素和 REE 的联合示踪研究, 发现鞍山-本溪地区 BIF 的 Fe 同位素组成与 Eu 的异常存在明显的正相关关系, 从而证实了鞍本地区 BIF 中铁的来源与海底火山热液活动有关。

热液矿床和沉积岩中的 Fe 同位素组成变化比岩浆岩 Fe 同位素变化要大很多, 热液矿床中的赤铁矿、菱铁矿及其硫化物矿床的 Fe 同位素变化为 $\epsilon^{57}\text{Fe} = -25.8 \sim 13.5$ 。热液矿床和沉积岩中的 Fe 同位素组成变化主要受流体和沉淀历史决定。富含有机物的页岩 $\epsilon^{57}\text{Fe}$ 有着很宽的变化范围, $\epsilon^{57}\text{Fe} = -35.4 \sim 10.2$ 。前寒武纪条带状含铁建造 (BIF) 不但是全球最重要的铁矿资源, 目前自然界中所测最大的 Fe 同位素变化也被保存在 BIF 中, 其 $\epsilon^{57}\text{Fe} = -51.8 \sim 34.5$ (赵新苗等, 2008)。

2 在地幔地球化学中的应用

Polygon 等(2000)根据穆斯堡尔谱学数据,从理论推断,在高级变质和岩浆温度下,不同的含铁矿物间存在 $\epsilon^{57}\text{Fe}=0\sim 4$ 左右的分异,并且含 Fe^{3+} 的矿物比含 Fe^{2+} 的矿物倾向于富集重同位素。Zhu 等(2002)发现坦桑尼亚和加拿大 British Columbia 地幔橄榄岩捕虏体中共生矿物组合 Ol-Opx-Cpx-Amp(橄榄石-斜方辉石-单斜辉石-角闪石)之间存在着明显的 Fe 同位素分馏,并且 $\epsilon^{57}\text{Fe}$ 有 $\text{Ol}<\text{Opx}\approx\text{Cpx}<\text{Amp}$ 的特点。在石-铁陨石(pallsite)中,相互平衡的橄榄石和金属矿物之间也存在着明显的 Fe 同位素分馏,橄榄石的 $\epsilon^{57}\text{Fe}$ 值均低于 Fe-Ni 金属相,分异值达 4 以上。这些结果表明岩石圈地幔中的 Fe 同位素在矿物尺度上是不均一的。另外与其他矿物相比,地幔橄榄岩捕虏体中的角闪石具有明显重的 Fe 同位素组成。地幔捕虏体中角闪石是地幔交代作用的产物。这表明地幔交代作用有可能是 Fe 同位素分异的重要机制之一,暗示 Fe 同位素在研究地幔交代与地幔富集作用方面有着重要的潜力(Zhu et al., 2002)。

地幔交代作用或者橄榄岩与熔体的反应过程具有使 Fe 同位素富集重的 Fe 同位素趋势。地幔橄榄岩的铁同位素组成变化很可能受地幔深部过程——地幔交代、部分熔融等深部过程的控制。因此,Fe 同位素有可能作为一种新的地幔地球化学示踪剂(赵新苗, 2008)。

3 在其他方面的应用

蒋少涌(2003)对 Fe 同位素在陨石和宇宙化学中、古海洋学研究中及寻找古代和地外生物及生命科学中的应用做了详细介绍。

认为 Fe 是陨石中最具挥发性的一个主要元素,陨石中 Fe 的含量反映其挥发程度,由于在形成球粒的原始物质中 Fe 的挥发导致残留相富重 Fe 同位素。陨石中球粒通常经历过数次热事件,而其结构一般记录了最后一次热事件的性质,因此陨石的 Fe 同位素组成与其球粒结构无关说明它应该反映其原始物质的 Fe 同位素组成。

在古海洋学的研究中,主要是对大洋 Fe-Mn 结壳的 Fe 同位素进行研究,认为 Fe-Mn 结壳样品的 Fe 同位素的组成不仅受到物源的影响,而且受到周围环境的影响。大洋 Fe-Mn 结壳的 Fe 同位素组成应该反映两端元混合,其中一个端元是来自大陆的物质,另一个端元是海底热液,并认为 Fe-Mn 结壳中的物质来源可能为热液流体中的 Fe、河流中的溶解 Fe 和大陆架沉淀中的孔隙水。

Beard 等(1999)研究发现,沉积岩中 $\delta^{56}\text{Fe}$ 值的差异可能反映了生物分馏作用的参与,并且由此可以推断现代和古代地球上的微生物的存在及分布特征。

4 小 结

随着同位素分析测试技术方法的重大突破,Fe 及其他非传统同位素体系已经在宇宙化学、矿床学,海洋学等研究领域显示出优越性。随着分析测试技术的进一步提高和研究工作的进一步深入,Fe 及其他非传统同位素有望在地球和行星科学中取得更广泛的应用,成为具有巨大应用前景的一种新的地球化学手段。同样,随着地质研究的深入,一些非传统同位素也将成为良好的地球化学示踪剂。

参 考 文 献 (略)