

华北中元古代碳酸盐岩中燧石的 $\delta^{30}\text{Si}$ 峰值及其对古海洋环境变化的指示意义

丁悌平^{1,2,3)}, 高建飞¹⁾, 田世洪^{1,2,3)}, 范昌福^{1,2)}, 赵悦¹⁾, 万德芳¹⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 2) 国土资源部同位素地质重点实验室, 北京, 100037;
3) 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京, 100037

燧石是一种主要由微晶石英组成的沉积岩, 在从早太古界到现代的沉积地层中均有产出, 是地表沉积环境变化的重要标志物。燧石的硅同位素组成更是研究其形成的海洋环境条件的重要手段。

Song 与 Ding (1990) 最先提出燧石结核和硅质岩的硅同位素组成可用于沉积相的分析。Ding et al. (1996) 提出不同成因类型的燧石显示不同的硅同位素组成特征, 具有不同的地质意义。Ding et al. (1996) 还根据浅海沉积燧石的数据对海水中硅含量及硅同位素组成的演化趋势进行了讨论。

进入 21 世纪, 对燧石的硅同位素研究得到长足的发展。Robert 与 Chaussidon (2006) 根据燧石的硅同位素变化提出前寒武纪海洋的古温度演化曲线。但 Van den Boorn et al. (2007) 指出: 在运用硅同位素组成追溯海洋环境变化时对不同成因类型的燧石须区别对待, 特别要区分原生与次生燧石。Chakrabarti et al. (2012) 提出: 碳酸盐沉积岩中的燧石条带与团块的硅同位素组成更能反映海水的环境条件。

Ding et al. (1996) 曾报道北京十三陵中元古代蓟县系雾迷山组的硅化球状叠层石 $\delta^{30}\text{Si}$ 高达 3.4‰, 认为可能反映海水硅含量和硅同位素组成的一次重要变化。Robert 与 Chaussidon (2006) 报道河北蓟县蓟县系燧石出现一个高达 5.01‰ 的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值, 并被广泛引用 (Chakrabarti et al., 2012; Marin-Carbonne et al., 2014) (图 1), 但对其意义未做讨论。笔者等感觉有必要开展更系统和详细的硅同位素研究, 深入探讨这一时期海洋的硅含量与硅同位素组成的变化, 为追溯海洋环境的历史演变提

供重要依据。

本次对河北蓟县和北京十三陵中元古代长城系与蓟县系进行了系统采样, 对碳酸盐岩石中的燧石条带与团块进行硅、氧同位素测定。同时对碳酸盐岩石进行了碳、氧同位素测定。碳酸盐岩石的碳、氧同位素组成测定结果与前人 (Chu et al., 2007) 发表的一致, 表明为正常浅海相沉积产物。本研究测得的燧石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值普遍较伴生的白云岩稍高, 表明燧石与白云石形成的环境相近。另外, 十三陵剖面与蓟县剖面间距超过 100 km, 但地层中燧石的硅同位素特征十分相近, 表明受后期影响很小, 保留了形成时的原始状态。

本次得到的燧石的硅同位素组成示于图 2。年龄从 1.63~1.2 Ga 的 76 个样品的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值在 0.5‰~3.9‰ 的范围内变化, 平均值为 2.19‰。其中年龄 1.355~1.325 Ga 的 6 个样品的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值在 3.1‰~3.9‰ 的范围内变化, 平均值为 3.12‰, 处于演化曲线的顶端。在前寒武纪燧石硅同位素组成演化曲线上 (图 2), 华北中元古燧石 (1.25~1.5 Ga) 也处于高位。我们已经知道太古代以条带状铁矿中的石英为代表的硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值多为负值, 其形成与海底热液活动关系密切。当时海水温度较高 (>50℃), 氧逸度低, 略偏碱性, 生物活动不明显, 海水溶解硅含量较高。从晚太古到早元古代, 海水温度下降, 氧逸度升高, 生物活动开始有明显影响。大量氧化硅的沉淀导致海水硅含量下降, 在碳酸盐岩石中的燧石条带出现正的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值。在 1.5~1.25 Ga 前 (从高于庄组到雾迷山组), 海水溶解硅浓度急剧下降, 导致海水 $\delta^{30}\text{Si}$ 值猛然升高, 沉淀的燧石的 $\delta^{30}\text{Si}$ 出

注: 本文为自然科学基金资助项目 (41273016) 的成果。

收稿日期: 2015-09-20; 改回日期: 2015-09-28; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 丁悌平, 男, 1941 年生。硕士, 研究员。主要从事同位素地球化学研究。Email: tding@cags.ac.cn。

现极大值。新元古代与整个显生宙，海水硅循环主要受大陆风化作用与陆地及海洋生物作用的控制。由于海水硅含量保持低水平，其 $\delta^{30}\text{Si}$ 震荡幅度减

小，沉淀的燧石拥有正的，但低于中元古代的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值。

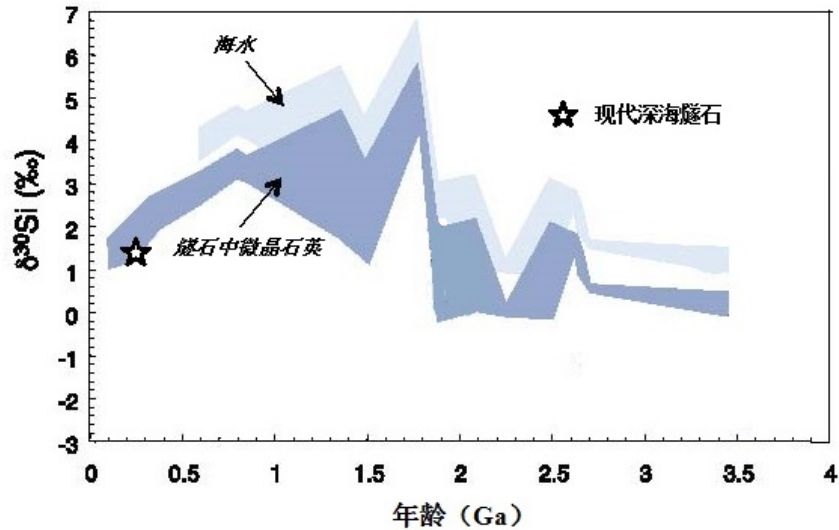


图1 燧石与海水 $\delta^{30}\text{Si}$ 演化曲线(据 Marin-Carbonne 等, 2014 简化)

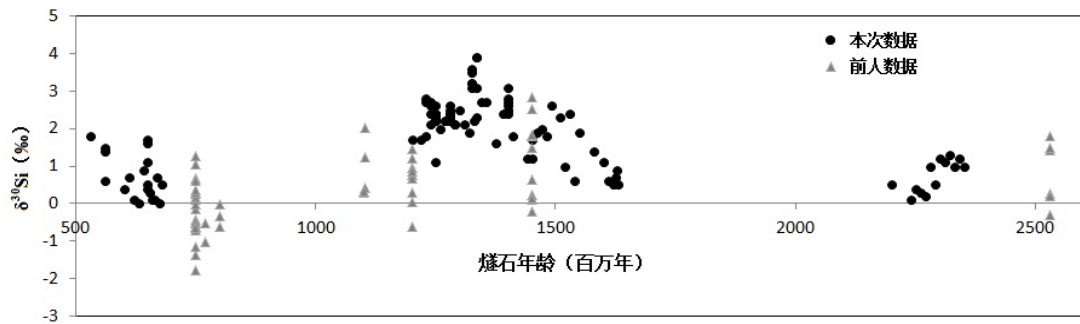


图2 全球前寒武纪碳酸盐岩中燧石的硅同位素组成的时间演化

参 考 文 献 / References

- Chakrabarti R, Knoll AH, Jacobsen S B, Fischer W W. 2012. Si isotope variability in Proterozoic cherts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 91: 187~201.
- Chu X L, Zhang T G, Zhang Q R, Lyons T W. 2007. Sulfur and carbon isotope records from 1700 to 800 Ma carbonates of the Jixian section, northern China: Implications for secular isotope variations in Proterozoic seawater and relationships to global supercontinental events. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71: 4668~4692.
- Ding T, Jiang S, Wan D, Li Y, Li J, Song H, Liu Z, Yao X. 1996. Silicon isotope geochemistry. Beijing: Geological Publishing House, 1~125.

Marin-Carbonne J, Robert F and Chaussidon M. 2014. The silicon and oxygen isotope compositions of Precambrian cherts: a record of oceanic paleo-temperatures? *Precambrian Res.*, 247: 223~234.

Robert F, Chaussidon M. 2006. A palaeotemperature curve for the Precambrian oceans based on silicon isotopes in cherts. *Nature*, 443 (7114): 969~972.

Song T and Ding T. 1990. A new probe of application of silicon isotope and ^{30}Si in siliceous rocks to sedimentary facies analysis. *Chinese Science Bulletin*, 35(9): 761~766.

van den Boorn S, van Bergen M J, Nijman W, Vroon P Z. 2007. Dual role of seawater and hydrothermal fluids in Early Archean chert formation: evidence from silicon isotopes. *Geology*, 35 (10): 939~942.