

# 塔里木南缘铁克里克构造带中段埃连卡特群 中大理岩C-O地球化学特征及其指示意义

汤好书<sup>1</sup>, 周振菊<sup>2</sup>, 陈衍景<sup>2,3\*</sup>, 李秋根<sup>2</sup>, 屈迅<sup>4</sup>, 董连慧<sup>4</sup>, 肖兵<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550008; 2. 北京大学 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871; 3. 中科院广州地球化学研究所 成矿动力学重点实验室, 广东 广州 510640; 4. 新疆地质矿产开发局, 新疆 乌鲁木齐 830009)

铁克里克铁、铜、金、银及多金属成矿带中矿床多赋存于塔里木南缘铁克里克构造带中段的前寒武纪埃连卡特群中。作者们在布琼铁矿区对这套含矿地层开展剖面实测, 对剖面中埃连卡特群钙质片岩和大理岩开展岩相学、主微量和 C-O 同位素地球化学研究。18 件方解石样品  $\delta^{13}\text{C}$  最大峰值集中在  $2\text{‰}\sim 6\text{‰}$  之间 ( $n=6$ ),  $\delta^{18}\text{O}$  峰值集中在  $18.5\text{‰}\sim 19\text{‰}$  之间 ( $n=12$ ), 从剖面中大理岩地层 ( $n=11$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  为  $0.70\text{‰}\sim 6.21\text{‰}$ , 平均  $5.45\text{‰}\pm 0.52\text{‰}$ ), 经含方解石黑云母石英片岩 ( $\delta^{13}\text{C}$  为  $-1.18\text{‰}\sim -0.06\text{‰}$ )、至矽卡岩化地层中的方解石 ( $\delta^{13}\text{C}$  为  $-10.40\text{‰}\sim -5.32\text{‰}$ ); 样品  $\delta^{13}\text{C}$  从极高正值急剧降低至负值。在  $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$  图中, 大理岩碳氧同位素呈近平行  $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$  轴方向演化, 而钙质片岩和矽卡岩中方解石的碳氧同位素呈近平行  $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$  轴方向演化; 前者由低 F/R (流/岩比) 条件下的流体作用引起, 且流体富氧贫碳 (富水贫  $\text{CO}_2$ ); 而后者指示了碳酸盐岩受外来不同碳源储库碳质流体的叠加作用 (Banner and Hanson, 1990; Tang et al., 2011, 2013a, b)。  $\delta^{13}\text{C}$  与 FeO, MnO 含量及 CaO/Mg (mol) 相关系数高, 分别为  $-0.92$ 、 $-0.79$ 、 $0.61$ ;  $\delta^{18}\text{O}$  与 FeO, MnO 含量相关系数低, 分别为  $0.11$ 、 $0.01$ ; 指示碳酸盐  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  变化受沉积成岩作用控制而非沉积后的热液蚀变作用所致 (e.g., Veizer et al., 1992; Melezhik et al., 2008; Tang et al., 2011, 2013a, b)。  $\text{P}_2\text{O}_5$  与  $\Sigma\text{REY}$  相关系数高 ( $0.75$ ) 也指示元素变化特征受成岩作用控制 (Nothdurft et al., 2004; Bolhar and Van Kranendonk, 2007); 大理岩  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与 Th 含量相关度高, 而其他含方解石的岩石类型与 Th 含量相关度低 ( $r=0.29$ ) 指示大理岩受陆源物质混染, 随着外来陆源物质增加,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、Th、Sc 也增加, Y/Ho 比值降低, 而 Mg、Fe 含量增加, 这些特征指示有高温流体参与沉积 (Bau et al., 1996)。

稀土元素 PAAS 标准化模式图中, 埃连卡特群化学沉积物显示从大理岩地层、经方解石黑云母石英片岩至矽卡岩化地层, LREE 中度亏损较为一致 [ $(\text{Nd}/\text{Yb})_{\text{SN}}$  范围  $0.32\sim 0.82$ ], LREE 相对 MREE 弱亏损 [ $(\text{Pr}/\text{Sm})_{\text{SN}}$  范围  $0.53\sim 1.05$ ], 而 MREE 相对 HREE 有富集也有亏损 [ $(\text{Sm}/\text{Yb})_{\text{SN}}$  从  $0.38\sim 1.34$  经  $0.65\sim 1.50$  到  $0.75\sim 1.25$ ]; Y 正异常、La 正异常递减 [ $(\text{Y}/\text{Y}^*)_{\text{SN}}$  从  $1.14\sim 1.33$  经  $0.88\sim 1.22$  到  $0.91\sim 1.23$ ;  $(\text{La}/\text{La}^*)_{\text{SN}}$  从  $0.69\sim 1.14$  经  $1.07\sim 1.35$  到  $0.93\sim 1.21$ ]; Ce 负异常减弱 [ $(\text{Ce}/\text{Ce}^*)_{\text{SN}}$  从  $0.75\sim 1.16$  经  $0.89\sim 0.96$  到  $0.87\sim 0.96$ ;  $(\text{Ce}/\text{Ce}^*)_{\text{CN}}$  从  $0.74\sim 0.93$  经  $0.97\sim 1.05$  到  $0.89\sim 1.00$ ]; Eu 异常从负到正 [ $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{SN}}$  从  $0.99\sim 1.95$  经  $1.65\sim 2.74$  到  $0.57\sim 2.01$ ;  $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$  从  $0.61\sim 1.23$  经  $1.04\sim 1.77$  到  $0.35\sim 1.24$ ]; Ga 异常从负到无或弱正异常, Y/Ho 递减 [ $(\text{Ga}/\text{Ga}^*)_{\text{SN}}$  从  $0.85\sim 1.06$  经  $0.98\sim 1.05$  到  $1.10$ ; Y/Ho 从  $28.77\sim 33.24$  经  $24.80\sim 27.84$  到  $24.16$ ]。这些特征指示埃连卡特群化学沉积物保留一定原始海水沉积特征, 但受海底高温热液注入强度从底部纯大理岩、经不纯大理岩至钙质片岩逐渐递增, 陆源碎屑物质也逐渐增多, 沉积环境由氧化性向弱氧化/还原反复震荡条件转变 (汤好书等, 2009; Tang et al., 2013)。

以上地球化学特征表明, 纯大理岩地层碳氧同位素最接近原始沉积值, 主微量元素最能指示原始沉积环境。埃连卡特群纯大理岩地层碳氧同位素最接近原始沉积值, 本次研究获得其  $\delta^{18}\text{O}$  为  $17.04\text{‰}\sim 20.29\text{‰}$  (平均  $18.89\text{‰}\pm 1.17\text{‰}$ ) 与前寒武纪海相碳酸盐一致 ( $\delta^{18}\text{O}>18$ , Veizer et al., 1992), 未显示异常; 而碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  为  $4.85\text{‰}\sim 6.21\text{‰}$  (平均  $5.45\text{‰}\pm 0.52\text{‰}$ ), 则远高于海相碳酸盐的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$  值平均值  $0.5\text{‰}$  (Schidlowski,

**基金项目:** 中国地质调查局地质调查项目 (1212011140056); 国家“973”项目 (批准号: 2014CB440802); 国家自然科学基金项目 (批准号: 41072077); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (批准号: 40730421)

**作者简介:** 汤好书, 女, 1976 年生, 副研究员, 主要从事前寒武地质与地球化学, 矿床地质与地球化学研究. E-mail: tanghaoshu@163.com

\* 通讯作者, E-mail: yjchen@pku.edu.cn

1988), 正异常明显; 在地球演化史上, 如此高值只在古元古代 2.06~2.22 Ga 的 Lomagundi-Jatulia 事件 (Great Oxidation Event, 大氧化事件标志之一) 期间和新元古~0.6 Ga 的 Terminal Neoproterozoic 事件 (Snowball Earth, 0.8~0.55 Ga 雪球地球事件标志之一) 期间出现 (Schidlowski, 2001; Aharon, 2005; Tang et al., 2011, 2013b), 埃连卡特群纯大理岩地层碳氧同位素特征表明——其沉积时间在新元古~0.6 Ga 之前。

在库鲁克塔格地区, 震旦系发育贝义西 (Bayisi)、阿勒通沟 (Altungol)、特瑞爱肯 (Tereeken) 和汉克尔乔克 (Hankalchough) 等 4 次冰期 (徐备等, 2008; 寇晓威等, 2008; Xu et al., 2009); 其中, 贝义西组中冰碛岩的层位低于 Sturtian 冰碛岩 (徐备等, 2002; Xu et al., 2009), 沉积时代早于 717~685 Ma 的 Sturtian 冰期 (Fanning and Link, 2004; Lund et al., 2003); 锆石 SHRIMP U-Pb 法测定贝义西组下部火山岩形成时间为 740±7 Ma, 贝义西组顶部火山岩为 725±10 Ma (Xu et al., 2009), 表明贝义西组沉积的具体时限为 740~725 Ma 之间; 而贝义西组碳酸盐岩剖面碳同位素组成 (徐备等, 2002) 自下而上总体为正值, 介于 +0.3‰~+4.2‰ 之间; 从碳同位素地层学角度看, 可以与研究区埃连卡特群大理岩对比, 指示布琼地区埃连卡特群也同樣沉积在这一时间段。结合新获得锆石年龄数据 (王超等, 2009; Tong et al., 2013; 高林志等, 2013; 汤好书等, 未发表数据), 指示在铁克里克中段布琼铁矿地区, 确定原划为古元古代的埃连卡特群地层形成于新元古代, 时间跨度约在 743~600 Ma 之间, 甚至在 740~725 Ma 之间。

## 参 考 文 献:

- Aharon P. 2005. Redox stratification and anoxia of the early Precambrian oceans: implications for carbon isotope excursions and oxidation events. *Precambrian Research*, 137: 207-222.
- Banner, J.L., and Hanson, G.N., 1990. Calculation of simultaneous isotopic and trace element variations during water-rock interaction with applications to carbonate diagenesis. *Geochim Cosmochim Acta*, 54, 3123-3137.
- Bau M, Koschinsky A, Dulski P, Hein J R. 1996. Comparison of the partitioning behaviours of yttrium, rare earth elements, and titanium between hydrogenetic marine ferromanganese crusts and seawater. *Geochim Cosmochim Acta*, 60: 1709-1725.
- Gai L Z, Guo X P, Ding X Z, Zong W M, Gao Z J, Zhang C H, Wang Z Q. 2013. Nanhuan Glaciation Event and Its Stratigraphic Correlation in Tarim Plate, China. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(1): 39-57.
- Schidlowski M. 1988. A 3800-million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks. *Nature*, 333: 313-318.
- Schidlowski M. 2001. Carbon isotopes as biogeochemical recorders of life over 3.8 Ga of Earth history: evolution of a concept. *Precambrian Research*, 106: 117-134.
- Tang H S, Chen Y J, Santosh M, Zhong H, Yang T. 2013b. REE geochemistry of carbonates from the Guanmenshan Formation, Liaohe Group NE Sino-Korean Craton: implications for seawater compositional change during the Great Oxidation Event. *Precambrian Res*, 227: 316-336.
- Tang H S, Chen Y J, Santosh M, Zhong H, Wu G, Lai Y. 2013a. C-O isotope geochemistry of the Dashiqiao magnesite belt, North China Craton: implications for the Great Oxidation Event and ore genesis. *Geol J*, 48: 467-483.
- Tang H S, Chen Y J, Wu G, Lai Y. 2011. Paleoproterozoic positive  $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$  excursion in the northeastern Sino-Korean craton: evidence of the Lomagundi Event. *Gondwana Res*, 19: 471-481.
- Tong Q L, Wei W, Xu B. 2013. Neoproterozoic sedimentary facies and glacial periods in the southwest of Tarim Block. *Science China (Earth Sciences)*, 56(6): 901-912.
- Veizer J, Clayton R N, Hinton R W. 1992. Geochemistry of Precambrian carbonates: IV. Early Paleoproterozoic (2.25±0.25 Ga) seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56: 875-885.
- Xu B, Xiao S H, Zou H B, Chen Y, Li Z X, Song B, Liu D Y, Zhou C M, Yuan X L. 2009. SHRIMP zircon U-Pb age constraints on Neoproterozoic Quruqtagh diamictites in NW China. *Precambrian Res*, 168: 247-258.
- 高林志, 郭宪璞, 丁孝忠, 宗文明, 高振家, 张传恒, 王自强. 2013. 中国塔里木板块南华纪成冰事件及其地层对比. *地球学报*, 34(1): 39-57.
- 寇晓威, 王宇, 卫魏, 何金有, 徐备. 2008. 塔里木板块上元古界阿勒通沟组和黄羊沟组: 新识别的冰期和间冰期?. *岩石学报*, 24(12): 2863-2868.
- 王超, 刘良, 车自成, 何世平, 李荣社, 杨文强, 曹玉亭, 朱小辉. 2009. 塔里木南缘铁克里克构造带东段前寒武纪地层时代的新限定和新元古代地壳再造: 锆石定年和 Hf 同位素的约束. *地质学报*, 83(11): 1647-1656.
- 徐备, 寇晓威, 宋彪, 卫魏, 王宇. 2008. 塔里木板块上元古界火山岩 SHRIMP 定年及其对新元古代冰期时代的制约. *岩石学报*, 24(12): 2857-2862.
- 徐备, 郑海飞, 姚海涛, 李永安. 2002. 塔里木板块震旦系碳同位素组成及其意义. *科学通报*, 47(22): 1740-1744.