

黔西地区宣威组多金属层铌富集机制研究

邓卫^{1,3}, 温汉捷^{2,3*}

(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 550081;

2. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 3. 中国科学院大学 地球与行星科学学院, 北京 100049)

滇东-黔西晚二叠世地层(宣威组和龙潭组)底部的黏土岩中发育一套 Nb-Zr-REY-Ga 多金属富集层(Dai et al., 2016), 其分布范围广, 品位及产状稳定, 显示出巨大的资源潜力。该多金属层主要呈平行不整合上覆于峨眉山玄武岩或基性凝灰岩之上, 岩性以铝土质黏土岩、粉砂质泥岩、炭质页岩及煤层为主。自上世纪末, 前人对该多金属层的物质来源和形成模式进行了广泛研究, 尤其以滇东地区含煤层位的相关工作较为全面(Dai et al., 2016; Zhao et al., 2017)。近年来, 我们对黔西地区宣威组底部多金属层与峨眉山大火成岩省(ELIP)晚期碱性长英质岩建立物质联系(Deng et al., 2022)。但对关键金属 Nb 的赋存状态和富集机制的研究较为薄弱, 对黔西地区多金属层的形成过程还需要更深入的认识。

本研究以黔西威宁地区宣威组底部的 Nb-Zr-REY-Ga 多金属层为对象, 对多个剖面的富集层开展全岩地球化学分析、重砂分析、SEM-EDS 及 HR-Raman 矿物鉴定、含 Nb 矿物 EPMA 分析、含 Nb 矿物 LA-ICP-MS 分析、锆石 U-Pb 定年及微量分析。旨在查明 Nb 的赋存状态, 确定含 Nb 矿物的成因与转变, 探讨 Nb 的富集机制和多金属层的成因模式。全岩地球化学显示多金属层具有高 Al_2O_3/TiO_2 (>8) 和 Th/Sc (>0.6) 值, 低 Ti/Y (<500) 和 Eu/Eu* (~ 0.5) 值, 多金属层在 Nb/Y-Zr/TiO₂ 图解上位于粗面岩-流纹岩区域, 其稀土及微量元素配分模式与 ELIP 中央的碱性长英质岩类似(Xu et al., 2010)。矿物分析结果表明 Nb 主要赋存于富 Nb 金红石($Nb_2O_5 > 5\%$)及其转变形成的次生板钛矿和锐钛矿中, 同时, 在高 Nb 层位($Nb > 500$ ppm)可见铌铁金红石及铌铁矿等独立矿物。金红石中常发育板钛矿环带及锐钛矿团块, 部分颗粒受溶蚀并转变为白钛石, 而自生他形锐钛矿 Nb 含量普遍较低($Nb_2O_5 < 0.1\%$)。而在高 Nb 层位中, 金红石颗粒边缘及空隙被铌铁金红石及铌铁矿交代充填。此外, 多金属层中还可见锆石、石英、磷灰石、钠长石等碎屑矿物。整个富 Nb 层位的碎屑矿物组合与攀西地区的碱性花岗类的矿物特征相近(Zeng and Liu, 2022), 这些特征指示 Nb 的富集过程与 ELIP 晚期碱性岩浆活动密切相关。

富 Nb 金红石常与锆石组合产出, 其结晶温度较高(T_R : $808 \pm 42^\circ C$), 显示其岩浆成因。由金红石-铌铁金红石-铌铁矿交代过程中, Mn/(Mn+Fe)值逐渐增大, ΣREY 含量升高, 且 Eu/Eu*值减小, Nb 主要以 $3Ti^{4+} - Fe^{2+} + 2Nb^{5+}$ 替代富集。而在金红石-板钛矿-锐钛矿转变过程中, 钛矿物 Fe 含量降低, Ti 含量升高, 最终形成低 Nb 的白钛石集合体, Nb 的替代方式主要为 $2Ti^{4+} - Fe^{3+} + Nb^{5+}$ 。上述结果表明富 Nb 金红石先由碱性岩浆结晶分异形成, 再被岩浆热液交代形成 Nb 的独立矿物, 最后经风化-沉积过程转变为表生条件下稳定的次生钛矿物。多金属层中早期细粒锆石 U-Pb 年龄为 259.2–258.7 Ma, $\epsilon Hf(t)$ 值范围为 $-10.1 \sim +13.4$, 结果与 ELIP 内带碱性流纹岩的锆石数据一致(Huang et al., 2022)。而晚期粗粒锆石主要产于高 Nb 层位中, U-Pb 年龄为 256.2 Ma, $\epsilon Hf(t)$ 值范围为 $+3.5 \sim +4.9$, 结果更类似于攀西地区正长岩及伟晶岩脉(王汾连等, 2013)。同时, 由前期岩浆过程到后期热液阶段, 锆石结晶温度逐渐降低(T_{Zm} : $739^\circ C - 703^\circ C$), Eu/Eu*值 ($0.2 - 0.1$) 逐渐减小。这些特征表明, 该区宣威组多金属层中 Nb 的富集由 ELIP 晚期碱性岩浆-热液活动与表生过程共同控制, 源区岩浆的长期演化(~ 3 m.y.)促进了 Nb 等关键金属的预富集。

结合区域构造-盆地演化史、沉积古地理及古流域恢复结果(Wang et al., 2020), 黔西地区 Nb-Zr-REY-Ga 多金属层主要由 ELIP 中央的碱性长英质岩去顶剥蚀后, 碎屑物质经古河流向东运移至西扬子克拉通盆地(WYCB)沉积形成。其中, 宣威组底部多金属层主要来源于酸性喷出岩(以富 Nb 流纹岩及粗面岩为主),

基金项目: 国家重点研发项目(2017YFC0602500); 国家自然科学基金项目(92162214, 41773015, U1812402)

第一作者简介: 邓卫, 男, 1996 年生, 博士研究生, 主要从事表生关键金属成矿研究,

高 Nb 层位可能混入含 Nb-REE 矿化的碱性花岗岩类（含正长伟晶岩、A 型花岗岩）碎屑物质，ELIP 基性岩可能对多金属层有少量物质贡献。

参考文献:

- Dai S F, Chekryzhov I Y, Seredin V V, et al. 2016. Metalliferous coal deposits in East Asia (Primorye of Russia and South China): a review of geodynamic controls and styles of mineralization. *Gondwana Res*, 29: 60-82.
- Deng W, Wen H J, Du S J, et al. 2022. Provenance of Late Permian Nb-Zr-REE-Ga enrichment in western Guizhou: Implications for the waning volcanism of Emeishan large igneous province. *Ore Geol Rev*, 150: 105160.
- Huang H, Cawood P A, Hou M C, et al. 2022. Zircon U-Pb age, trace element, and Hf isotopic constrains on the origin and evolution of the Emeishan Large Igneous Province. *Gondwana Res*, 105: 535-550.
- Wang X T, Shao L Y, Eriksson K A, et al. 2020. Evolution of a plume-influenced source-to-sink system: An example from the coupled central Emeishan large igneous province and adjacent western Yangtze cratonic basin in the Late Permian, SW China. *Earth-Sci Rev*, 207: 103224.
- Xu Y G, Chung S L, Shao H, et al. 2010. Silicic magmas from the Emeishan large igneous province, Southwest China: Petrogenesis and their link with the end-Guadalupian biological crisis. *Lithos*, 119: 47-60.
- Zeng Z Y, Liu Y, 2022. Magmatic-hydrothermal zircons in syenite: A record of Nb-Ta mineralization processes in the Emeishan large igneous province, SW China. *Chem Geol*, 589: 120675.
- Zhao L X, Dai S F, Graham I T, et al. 2017. Cryptic sediment-hosted critical element mineralization from eastern Yunnan Province, southwestern China: mineralogy, geochemistry, relationship to Emeishan alkaline magmatism and possible origin. *Ore Geol Rev*, 80: 116-140.
- 王汾连, 赵太平, 陈伟, 等. 2013. 峨眉山大火成岩省赋 Nb-Ta-Zr 矿化正长岩脉的形成时代和锆石 Hf 同位素组成. *岩石学报*, 029(10): 3519-3532.