

黔西北铌-稀土富集层中关键金属富集机理研究

向震中^{1,2}, 吴林^{1,2}, 黄智龙¹, 罗泰义^{1*}, 叶霖¹, 吴涛¹

(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. 中国科学院大学, 北京 100049;)

在峨眉山玄武岩广泛分布的滇黔地区, 玄武岩顶部和二叠系宣威组/龙潭组底部不整合面上普遍存在一层含铌、稀土、钽和镓等关键金属的富集层 (Dai et al., 2010), 且这些元素含量大都超过风化壳型矿床的工业品位。该富集层分部面积广、延伸稳定、厚度较大 (袁民汕等, 2021; 薛洪富等, 2021), 显示出重要的资源潜力, 有望成为新类型的矿床, 为中国的铌、稀土等关键金属资源提供重要来源。因此, 对其分布特征、富集机理和成矿模式等进行深入研究是具有重要的科学意义和显著的经济价值。前人的研究已经表明, 这些关键金属主要来自峨眉山玄武岩 (苏之良等, 2021), 但对它们在风化过程中的富集机理仍然有待深入探讨。

一般认为峨眉山玄武岩是宣威组的重要沉积物来源。然而, 峨眉山大火成岩省的演化历史复杂, 包括帚山剖面的碱玄响岩和钾质粗面玄武岩 (梅厚钧等, 2003), 以及早期碱性玄武岩喷发后残余的基性岩浆经强烈结晶分异得到的酸性火山岩构成的双峰式火山岩系列 (邵辉等, 2007)。我们的研究表明, 富集层中的铁质层和铝质层在矿物学、地质和地球化学特征等方面存在显著差异, 可能代表不同的物质来源、沉积环境和风化条件。通过 Roser and Korsch (1988) 对主量元素特征的分析图解和 Winchester and Floyd (1977) 对难迁移元素比值的图解分析, 我们认为铁质层原始物质源自早期碱性玄武岩, 而铝质层与晚期具有粗面岩特征的酸性火山岩密切相关。

富集层主要由粘土岩或泥岩组成, 通过主量元素特征可判断其形成气候条件。研究表明, 富集层底部的铁质层形成于干燥气候带的陆相粘土分区, 铝质层形成于潮湿炎热气候带的陆相粘土分区, 而富集层之上的砂页岩则形成于寒带和中等寒冷气候带的陆相区域。通过长石风化蚀变特征的 CIA 指数和 A-CN-K 图解表明, 铁质层和铝质层受玄武岩及其演化的酸性火成岩物源的控制, 铝质层基本不存在后期钾交代, 但铁质层部分具有较高的 K 组分, 这可能与原始物质为碱性玄武岩有关。我们对剖面的深度演化研究显示, 铝质层普遍具有更高的 CIA 指数 (平均为 94.87, 相较于铁质层和顶部砂页岩分别为 91.8 和 77.3), 指示其更高的陆表温度 (铁质、铝质和砂页岩分别为 20.12°C、27.43°C 和 17.59°C)。

峨眉山大火成岩省早期以裂隙式溢流喷发为主, 晚期则以酸性火山岩中心式培雷型喷发为主, 形成大规模的火山灰。川渝黔地区龙潭期煤系底部普遍赋存具有的高 Zr-Nb-REE 含量的高岭岩, 与本研究的铝质层类似, 其原始物源来自于峨眉山大火成岩省晚期的酸性火山喷发。与之相比, 本研究铝质层中 Zr 和 Nb 的平均含量分别为 1950 ppm 和 241 ppm, 变化范围较大, 两者之间具正相关关系 ($R^2=0.8738$)。由于 Nb 和 Zr 属于难迁移元素, 在风化过程中变化较小。铝质层中存在微细粒锆石和锐钛矿, 可能是 Zr 和 Nb 的主要载体矿物。风化过程中细碎屑的再旋回效应对原始物质的沉积起着重要作用。铝质层样品大部分具有 $ICV<1$ 的特征, 表明它们在沉积时经历了强烈风化或再旋回效应。Zr/Sc-Th/Sc 图解显示, 铁质层在沉积时再旋回效应影响较小, 而铝质层中存在严重的再旋回效应。

总体而言, 黔西北地区的关键金属富集层具有重要的资源潜力。该富集层中铁、铝层位在不同气候环境下形成, 与峨眉山玄武岩的演化历史以及火山活动有密切关系。通过对化学特征的分析, 我们认为铁质层的原始物源为早期碱性玄武岩, 而铝质层则与晚期酸性火山岩有关。其形成气候环境包括干燥气候带、潮湿炎热气候带和寒带等。本研究为深入理解其地质过程、资源分布和矿床形成机制提供了有力支持。

第一作者简介: 向震中, 男, 博士研究生, 主要从事关键金属成矿与预测方面的研究。

参考文献:

- Dai S F, Zhou Y P, Zhang M Q, et al. 2010. A new type of Nb(Ta)-Zr(Hf)-REE-Ga polymetallic deposit in the late Permian coal-bearing strata, eastern Yunnan, southwestern China: Possible economic significance and genetic implications. *International Journal of Coal Geology*, 83; 55-63.
- 袁民汕, 蔡国盛, 曾道国, 等. 2021. 贵州西部二叠系峨眉山玄武岩顶部古风化壳铌-钽-稀土矿化富集层的发现与意义. *矿物学报*, 41(4/5): 531-547.
- 薛洪富, 曾道国, 向明坤, 等. 2021. 黔西北峨眉山玄武岩顶部 Fe-Al 岩系特征及其三稀元素富集特点. *中国地质调查*, 8(5): 25-34.
- 苏之良, 薛洪富, 金中国, 等. 2021. 黔西北峨眉山玄武岩顶部 Fe-Al 岩系铌、钽、稀土分布特征与富集规律. *矿物学报*, 41(4/5): 520-530.
- 梅厚钧, 徐义刚, 许继峰, 等. 2003. 攀西古裂谷内龙带山玄武岩-碱玄岩建造. *地质学报*, 77 (03): 341-358.
- 邵辉, 徐义刚, 何斌, 等. 2007. 峨眉山大火成岩省晚期酸性火山岩的岩石地球化学特征. *矿物岩石地球化学通报*, 26(04): 350-358.