

贵州金顶山多金属磷块岩型非常规铀资源 地球化学特征研究

王文全^{1,2)}, 漆富成^{1,2)}, 张字龙^{1,2)}, 李治兴^{1,2)}, 杨志强^{1,2)}, 张岩^{1,2)}

1) 核工业北京地质研究院, 北京, 100029;

2) 中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室, 北京, 100029

1 地质概况

遵义金顶山下寒武统多金属磷块岩型非常规铀资源地处上扬子准地台东部黔中隆起东北侧的娄山关褶皱带内, 沉积地层属扬子区。研究区位于 NE 向延伸的松林-岩孔弧形构造北段松林穹隆构造的东北翼。本区出露地层主要有下寒武统牛蹄塘组和埃迪卡拉系灯影组, 下寒武统牛蹄塘组假整合于埃迪卡拉系灯影组之上, 主要岩性为黑色页岩、磷块岩、白云岩。该区铀多元素富集层主要分布在下寒武统牛蹄塘组磷块岩中, 呈层状、似层状产出, 产状较平缓, 围绕松林穹隆周围呈带状分布, 厚度约 1.5m。根据世界黑色岩系型非常规铀资源铀含量的界定, 凡具备铀多金属伴生组份达到综合利用指标, 铀含量介于 $50 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ 的黑色岩系, 可作为黑色岩系非常规铀资源 (赵鹏大, 1998; 漆富成等, 2011a), 该区磷块岩中铀含量平均值为 270.5×10^{-6} , 达到综合利用指标, 可视为非常规铀资源。

2 样品采集和分析

采集金顶山地区寒武系与埃迪卡拉系样品 14 件, 并对样品进行元素地球化学分析。测试工作由核工业北京地质研究院分析测试研究所完成, 测试仪器为电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS), 所用仪器为德国 Finnigan-Mat 公司制造的 HR-ICP-MS (Element 1), 测试方法依据 DZ/T0223-2001 通则。

3 微量元素地球化学特征

金顶山地区下寒武统牛蹄塘组磷块岩中 U 含量为 $205 \times 10^{-6} \sim 229 \times 10^{-6}$, 平均为 219.7×10^{-6} ; Re 含量为 $0.07 \times 10^{-6} \sim 1.06 \times 10^{-6}$, 平均为 0.4×10^{-6} ; Tl 含量为 $3.3 \times 10^{-6} \sim 15.7 \times 10^{-6}$, 平均为 7.9×10^{-6} ; Ni 含量为 $206 \times 10^{-6} \sim 579 \times 10^{-6}$, 平均为 352×10^{-6} ; Mo 含量为 $30.9 \times 10^{-6} \sim 507 \times 10^{-6}$, 平均为 219×10^{-6} 。多金属磷块岩中 U 含量为 432×10^{-6} ; Re 含量为 3.46×10^{-6} ; Tl 含量为 46.9×10^{-6} ; Ni 含量为 2183×10^{-6} ; Mo 含量为 1182×10^{-6} 。金顶山下寒武统牛蹄塘组多金属磷块岩 U、Mo、Re、Tl 明显富集, Mo、Re、Tl 随 U 的变化而变化, 具有良好的正相关关系, 在剖面上可见多金属磷块岩中的铀达到最高值。陆缘裂谷、陆缘裂陷及陆内台间拗陷是中国黑色岩系非常规铀资源最重要、最有利的成矿环境 (漆富成等, 2011b), 由于位于临近湘西北陆缘裂陷、深断裂带成矿体系的黔中陆内台间拗陷的金顶山形成 U-Ni-Mo-Re 型非常规铀资源。

4 稀土元素地球化学

稀土元素采用 PAAS (McLennan, 1989) 进行标准化。如图 1 所示, 金顶山样品中轻重稀土富集亏损不明显, 大致呈水平状, 无明显的轻重稀土分馏现象。其中 $(La/Yb)_N$ 比值在 0.67~1.4, 平均为 0.91。白云岩稀土元素中 HREE 相对富集, 其中 $(La/Yb)_N$ 比值为 0.68。虽然各层位中 Ce 异常和 Eu 异常表现得略有不同, 但稀土元素配分图解中呈现出的总体特征与变化趋势较为一致。导致上述特

注: 本文为中国非常规铀资源调查与评价项目 (编号: 201185) 的成果。

收稿日期: 2015-02-28; 改回日期: 2015-03-14; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 王文全, 男, 1982 年生。博士研究生, 矿产普查与勘探专业。Email: wenquanw@126.com。

征的可能原因是金顶山多金属富集层与围岩形成环境都处于同一坳陷体系，具有相似的物质来源。

下寒武统牛蹄塘组下部黑色页岩中 ΣREE 含量为 $85.4 \times 10^{-6} \sim 242.7 \times 10^{-6}$ ，平均为 175.9×10^{-6} ；多金属磷块岩中 ΣREE 为 98.38×10^{-6} ；磷块岩中 ΣREE 为 $38.4 \times 10^{-6} \sim 78.0 \times 10^{-6}$ ，平均为 157.7×10^{-6} ；埃迪卡拉系白云岩中 ΣREE 为 83.44×10^{-6} 。

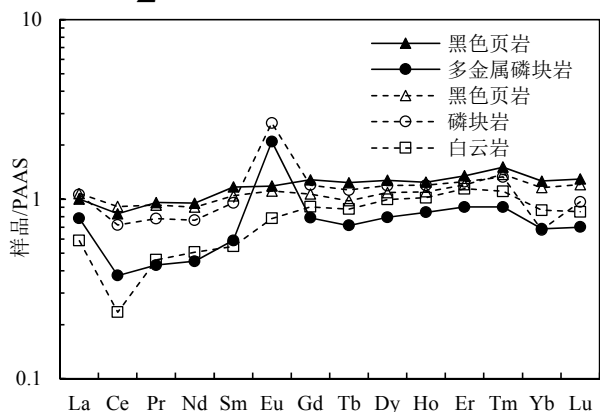


图1 金顶山铀多金属富集层及围岩稀土元素配分模式

金顶山铀多元素富集层在稀土元素配分图解中呈现弱 Ce 负异常，弱 Eu 正异常（图 1），磷块岩中 δCe 为 0.75~0.83，平均为 0.78， δEu 为 1.54~4.11，平均为 2.95；多金属磷块岩中 δCe 为 0.65， δEu 为 3.07。黑色页岩在图解中表现为接近水平的曲线，黑色页岩中 δCe 平均值为 0.88，Ce 负异常相对多元素富集层减弱， δEu 平均值为 1.01。Eu 正异常是热液活动的主要表现，开阔洋盆的正常海水沉淀出的物质呈现 Ce 的负异常，热水流体的简单传导冷却表现为 Eu 的正异常（Rollison 等，2000）。金顶山磷块岩型非常规铀资源中铀的富集常伴随有 Eu 的正异常和 Ce 的负异常，揭示金顶山铀富集受热液活动影响，多元素富集层受较高温的热水流体和较低温的海水在海底附近发生混合作用的影响。

$\omega(\text{La})/\omega(\text{Yb})-\Sigma\text{REE}$ 稀土元素判别图解可用于探讨岩石的形成机理或成因分类，较好的指示成矿物质来源及形成环境（Allegre C J et al, 1978）。将金顶山地区硅质板岩、多金属磷块岩（矿化）、磷块岩（矿化）及白云岩样品投点在 $\omega(\text{La})/\omega(\text{Yb})-\Sigma\text{REE}$ 稀土元素判别图解中。如图 2 所示，该区大部分数据投在玄武岩区内，代表该区是一种非正常的海水沉积作用，其成矿物质来源可能

与海底喷流地质作用过程有关。

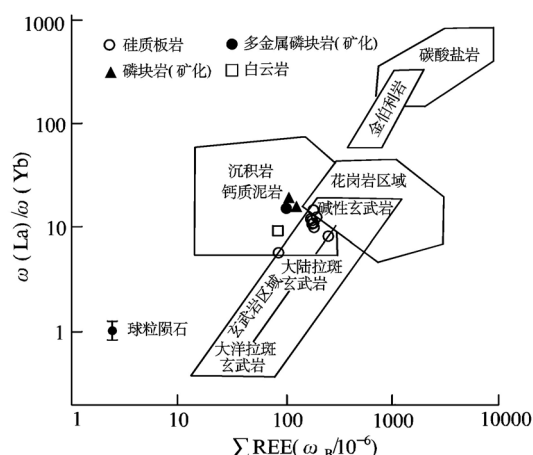


图2 金顶山铀多金属富集层及围岩 $\omega(\text{La})/\omega(\text{Yb})-\Sigma\text{REE}$ 图解（据 Allegre et al, 1987）

5 结论

(1) 金顶山非常规铀资源位于扬子陆块东南缘，构造环境为陆内台间坳陷，属铀多金属磷块岩型。其中 U、Ni、Mo、Re 较为富集，U 与 Mo、Re 具有良好的正相关关系，地球化学类型属 U-Ni-Mo-Re 型。

(2) 该区铀多元素富集层中 Eu 正异常、Ce 负异常表明多元素富集过程受较高温的热液和较低温的海水在海底附近发生混合作用的影响；该区 $\omega(\text{La})/\omega(\text{Yb})-\Sigma\text{REE}$ 稀土元素判别图解投点反映本区受热水沉积作用影响。

参 考 文 献/References

漆富成, 张字龙, 李治兴, 王志明, 何中波, 王文全. 2011a. 中国非常规铀资源. 铀矿地质, 27(4): 193~199.

漆富成, 张字龙, 何中波, 李治兴, 王文全, 苏香丽, 张超. 2011b. 扬子陆块东南缘黑色岩系铀多金属成矿体系和成矿机制. 铀矿地质, 27(3): 129~135.

赵鹏大. 1998. 地质异常与成矿预测: 当代矿产资源勘查评价的理论与方法. 北京: 地质出版社.

Allegre C J, Minster J F. 1978. Quantitative models of trace element behavior in magmatic processes. Earth and Planetary science letters, 38(1): 1-25.

Rollison, 杨学民, 杨晓勇, 陈双喜. 2000. 岩石地球化学. 合肥: 中国科学技术大学出版社.