

重庆城口地区下寒武统黑色岩系元素富集特征及找矿模式

朱正杰^{1,2)}, 朱长生¹⁾, 李航¹⁾

1) 外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室, 重庆地质矿产研究院, 重庆, 400042;

2) 煤炭资源与安全开采国家重点实验室重庆研究中心, 重庆, 400042

近年来, 华南地区早寒武世广泛发育一套黑色岩系得到广泛的研究, 前期的研究结果显示该套岩系普遍富集镍—钼—钒等多金属, 许多学者从不同方面对其开展了研究。和华南其它地区相比, 重庆城口地区沉积了一套厚度巨大的黑色岩系, 加上多期次的构造活动以及岩浆活动使得城口地区成矿地质条件优越, 得天独厚, 可能具有较大的找矿潜力。与华南地区相比, 给予的重视程度不够。前期我们研究发现重庆城口地区下寒武统鲁家坪组中段富集 V-Ag-Se 等元素, 本文拟选择这套多金属富集层为研究对象, 初步探讨黑色岩系元素富集特征及其成矿模式。

研究区样品中 V 的平均含量为 4800ppm, 达到工业品位要求; Ag 的平均含量为 20ppm, 约为地壳含量的 380 倍; U 的平均含量为 20.7ppm, 约为地壳含量的 14 倍。多金属富集层其稀土元素总量 ΣREE 为 111.41~184.13 $\mu\text{g/g}$, 平均为 138.83 $\mu\text{g/g}$, 硅质岩和炭质粉砂岩分别为 56.90 $\mu\text{g/g}$ 和 114.62 $\mu\text{g/g}$ 。轻重稀土比值总体变化不大 ($\Sigma \text{LREE}/\Sigma \text{HREE}=2.49 \sim 3.44$)。特征参数值表明 $(\text{La/Yb})_n=4.12 \sim 6.40>1$, 较北美页岩组合样 $(\text{La/Yb})_n=5.13$ 相当, 为轻稀土富集型, 炭质粉砂岩稍大为 13.92; 轻稀土段右倾明显, $(\text{La/Sm})_n=4.15 \sim 7.45$, 为 LREE 富集型; 重稀土段相对平缓, $(\text{Gd/Yb})_n=1.10 \sim 1.70$ 。在北美页岩标准化稀土元素配分模式图中, 多金属富集层和硅质岩样品都具有明显的 Ce 负异常, 为 0.39~0.46, 炭质粉砂岩 Ce 异常不明显, Eu 显微弱的正异常, 标准化曲线左倾或近于水平。

δCe 、 δEu 分别反映 Ce 和 Eu 的富集和亏损情况, 对氧化—还原条件的变化特别敏感, 能够反映古海洋的氧化—还原环境。Ce 属于变价元素, 有 Ce^{3+} 和 Ce^{4+} 两种价态。在氧化条件下, 氧化作用使稀土元素的 Ce^{3+} 转变为 Ce^{4+} , Ce^{4+} 很难被溶解, 因此海水中 Ce 出现亏损而呈负异常, 导致沉积物呈现正异常; 相反, 处于缺氧环境条件下, Ce 被活化并以 Ce^{3+} 形式释放到水体中, 导致海水由负 Ce 异常向正异常转化, 沉积物中 Ce 就会亏损, 呈现负异常^[8,9]。区内黑色岩系 δCe 为 0.39~0.46, 炭质粉砂岩为 0.93, 具有明显的 Ce 负异常, 指示当时的海水处于缺氧的还原状态。

一些微量元素比值同样可以反映氧化—还原条件。V/Cr 和 Ni/Co 可以作为识别沉积环境的地球化学参数。V/Cr>2, Ni/Co>4 均显示出缺氧沉积环境。研究区黑色岩系的 V/Cr 值在 3.82~6.86 之间变化, 而 Ni/Co 值为 3.02~4.81, 反映了黑色岩系是在缺氧条件下沉积的。V/(V+Ni) 比值可以指示水体氧化强度, 高的比值代表了强还原的缺氧环境, 研究区黑色岩系 V/(V+Ni) 比值基本上都为 0.98, 反映了强还原的缺氧环境。 $\delta \text{U}>1$, 表明缺氧环境; $\delta \text{U}<1$, 则说明为正常的海水环境。研究区黑色岩系各组样品 δU 值在 1.44~1.91 之间, 表现出缺氧环境特征。

As 和 Sb 富集是热水沉积物区别于正常沉积物的重要标志。城口地区下寒武统黑色岩系中各类样品中 As 和 Sb 的含量普遍较地壳丰度高, 相对地壳元素丰度富集系数分别为 6.17~29.30 和 5.82~41.31, 且在多金属富集层中达到峰值, 显示出典型

注: 本文为矿床地球化学国家重点实验室开放基金(201101)的成果。

收稿日期: 2013-03-13; 改回日期: 2013-03-31; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 朱正杰, 男, 1983 年生。博士, 高级工程师。主要从事矿床地球化学研究。Email: zhuzhjie@163.com。

的热水成因特征。Co 和 Zn 的相对质量分数变化也能区分不同成因类型的沉积物, 热液成因的 Co/Zn 值比较低, 平均 0.15, 区内黑色岩系岩石除了一个样品大于 0.15 外, 其余均小于 0.15, 特别是在多金属富集层中明显偏小, 反映了热水沉积作用特征。

正常海相沉积岩中 Ba/Sr 值基本小于 1, 而海底热水沉积物中 Ba/Sr 值大于 1, 海相沉积物中 Ba/Sr 值愈大, 愈能反映海底热水流体作用的影响程度, 本区黑色岩系中 Ba/Sr 值为 9.81~72.80, 都大于 1, 说明其沉积时海底热水流体活动强烈。

从稀土元素地球化学特征来看, 正常海水碎屑沉积物稀土总量较高, Ce 具有正异常, LREE/HREE 比值较大, 北美页岩组合样标准化曲线明显右倾; 而海相热水沉积物稀土总量较低, 具有明显 Ce 负异常, LREE/HREE 比值较小, 北美页岩组合样标准化曲线近于水平或左倾。从研究区黑色岩系不同样品组合稀土元素北美页岩标准化模式图来看, 各样品均显示出明显的 Ce 负异常 ($\delta\text{Ce}=0.39\sim0.46$)、LREE/HREE 比值较小以及北美页岩标准化曲线近于水平或左倾, 反映了典型的热热水沉积特征。把本区黑色岩系各类样品稀土元素特征投点于 La/Yb-REE 图解上^[18] (图 5), 数据点绝大多数落在沉积岩与玄武岩的过渡区域, 反映了区内黑色岩系明显受到了热水沉积作用影响。综上所述, 所有证据表

明城口地区下寒武统黑色岩系为非正常海水沉积, 明显受到热水沉积作用的影响。

利用微量元素以及综合各种地质因素, 初步探讨了城口地区下寒武统黑色岩系多金属富集模式。南华纪南沱冰期以后, 冰川消融, 海平面相对上升, 扬子板块处于相对稳定和下降的状态, 海侵不断扩大。特别是早寒武世发生大规模海侵, 大陆内部发生强烈的拉张作用, 一系列的岩石圈活动导致海平面上升, 扬子板块处于海侵时期, 大量陆源风化物质和生物体被海水淹没。同时, 发育的古热液沿深断裂发生多期次海底火山喷溢和侵入活动, 深部热源物质上涌, 与基岩发生水岩反应, 析出成矿多金属元素, 形成热液流体, 为多金属富集直接提供了来源。由于海侵, 上升洋流带来的营养物质使藻类繁盛, 生物生产力高, 大量生物死亡下沉, 向海底提供充分的有机物质, 遗体腐烂分解吸收大量溶解氧, 造成大洋中层水体缺氧还原环境, 致使形成的黑色岩系富含有机质, 有机质在多金属元素的迁移聚集过程中发挥着重要作用。在整个黑色岩系多金属富集过程中主要的关键点有: 1) 火山活动提供物质来源; 2) 热液活动使得物质来源沿着深断裂上涌; 3) 海水入侵导致的缺氧事件, 使得多金属物质与有机质一起沉淀富集。