

# 辽千家坪钒矿床含矿岩系稀土元素地球化学特征

朱红周

(西北有色地质研究院, 陕西 西安 710054)

黑色岩系是多元素(如 PGE、REE、Au、Ag、Ni、Mo、Cu、Pb、Zn、Se、V、U、Tl 和 Cd 等)的富集体, 受沉积作用、变质作用及构造岩浆作用改造, 形成了多种具经济意义的矿床, 同时由于其广泛空间分布和规模经济意义, 越来越受到重视。位于陕西省南部宁陕—商南一带的寒武系黑色岩系, 构成了一个巨大的黑色岩系型金、钒成矿带, 其中  $V_2O_5$  远景达两千余万吨。千家坪钒矿床即是近年在这一矿带中探明的大型矿床之一, 本文旨在通过矿床赋矿岩系—下寒武统水沟口组黑色岩系的稀土元素地球化学研究来探讨黑色岩系的成因。

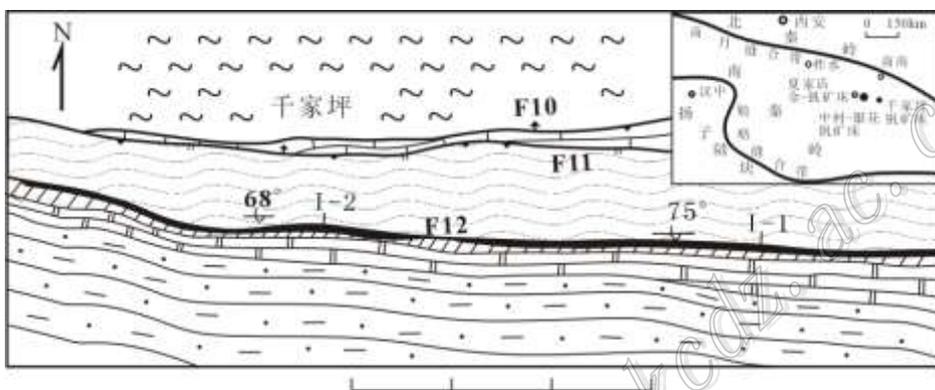


图 1 千家坪矿区地质简图

1—上寒武统-中奥陶统石瓮子组; 2—中寒武统岳家坪组; 3—下寒武统水沟口组; 4—中震旦统灯影组;  
5—中震旦统陡山沱组; 6—太古界楼房沟组; 7—钒矿体及其编号; 8—逆断层; 9—倒转地层产状

矿区下寒武统水沟口组由 2 个岩性段 5 个自然小层组成。黑色岩系的下伏地层为震旦系顶部灯影组白云岩, 二者为平行不整合接触关系; 上覆地层为中寒武统岳家坪组白云岩, 其间为整合接触。水沟口组含矿岩系岩性剖面(自下而上): ①白云岩屑砂岩, 厚 0.1~0.8 m。②灰黑色薄层碳硅质岩夹泥岩, 含结核, 为主要含矿层, 厚 4.1~18.28 m。③灰色泥页岩, 底部富含硅质结核, 为含矿层, 厚 0~19.5 m。④紫色页岩或碳泥质页岩, 为含矿层上部围岩, 厚 0~3.5m。⑤灰色、灰黑色薄-中厚层白云质灰岩、泥灰岩、碳泥质灰岩夹紫色泥页岩、碳质泥(页)岩, 厚 30~60 m。

## 2 稀土元素地球化学特征及讨论

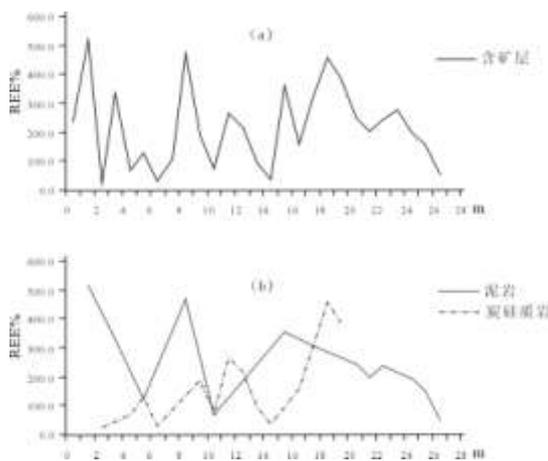
本研究的样品采矿区 2 条代表性穿脉剖面, 剖面序列完整, 岩石新鲜, 测试分析结果及有关参数如表 1 所示。岩(矿)石稀土元素, 以富轻稀土元素、LREE/HREE 比值大于 1, 而稀土元素总量较低为特征。稀土元素配分模式为右倾的缓倾斜型, 矿石与围岩稀土模式大体一致。

本研究的样品采矿区两条代表性穿脉剖面, 剖面序列完整, 岩石新鲜, 测试分析结果及有关参数如表 1 所示。岩(矿)石稀土元素, 以富轻稀土、LREE/HREE 比值大于 1, 而稀土元素总量较低为特征。稀土元素配分模式为右倾的缓倾斜型, 矿石与围岩稀土模式大体一致。

从表 1 可见, 黑色岩系不同类型岩石的稀土元素含量变化较大。以泥岩型矿石含量为最高, 平均  $311.08 \times 10^{-6}$ ; 次为泥岩围岩, 平均  $162.80 \times 10^{-6}$ ; 碳硅质板岩, 平均  $135.63 \times 10^{-6}$ ; 碳硅质岩, 平均  $32.02 \times 10^{-6}$ ; 矿层下盘白云岩屑砂岩含量也较高,

## 1 地质背景

秦岭造山带的形成及其演化研究表明, 华北与扬子块体在中元古代拼合成中国古大陆, 但自晚震旦世又分离成两大板块, 各自有其发展历史, 其间以商丹断裂为界, 至晚三叠世完成最终对接、拼合。寒武纪时期华北板块南部陆缘区为活动大陆边缘, 扬子板块北部陆缘区为被动大陆边缘。千家坪钒矿床即产于扬子板块北部被动大陆边缘镇安—浙川陆棚台地构造—岩相环境, 在早寒武世为陆棚环境滞流盆地相沉积。



(从左向右含矿层位自下而上)

图 2 千家坪矿区矿层稀土总量( $\Sigma$ REE)变化曲线图

(a) 含矿层 (b) 单一岩性

平均  $235.97 \times 10^{-6}$ 。稀土元素总含量( $\Sigma\text{REE}$ )在泥岩型矿石中含量最高,出现峰值(达  $315.12 \times 10^{-6}$ ),是泥岩围岩的 1.9 倍,是碳硅质板岩的 2.3 倍,是碳硅质岩的 9.7 倍,是碳酸盐岩的 6.6 倍。轻稀土元素含量( $\Sigma\text{LREE}$ )和重稀土元素含量( $\Sigma\text{HREE}$ )与稀土总量( $\Sigma\text{REE}$ )具有同样的规律。 $\text{LREE}/\text{HREE}$  比值反映了轻、重稀土元素的分馏程度,本区  $\text{LREE}/\text{HREE}$  比值为 2.86~7.27,小于北美页岩( $\text{LREE}/\text{HREE}=7.5$ ,陈德潜等 1996)。在剖面上稀土总量( $\Sigma\text{REE}$ )在下部跳跃较强烈,中上部呈较规律的变化,在碳硅质岩夹互泥岩层向泥岩层过渡部位的结核层处出现峰值,向剖面上、下大致依次减小(图 2)。李胜荣等(1995)认为这一现象反映了同沉积期介质中稀土活度和沉积速率上的过渡状态和岩石类型的差异,代表了一种非正常海水沉积作用,即热水沉积作用。

表 1 千家坪钒矿床稀土元素分析结果 ( $w_B/10^{-6}$ ) 及特征参数

样品号	样品名	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
1	碳硅质岩(8)	5.98	5.98	1.38	6.56	1.64	2.18	1.73	0.30	1.98	0.42	1.64
2	碳泥质岩(2)	34.40	45.02	6.45	24.39	4.31	1.64	4.30	0.65	4.58	0.98	4.14
3	泥岩(15,矿石)	60.77	71.47	14.05	64.67	15.45	7.11	15.62	2.77	19.12	4.23	16.78
4	泥岩(4,非矿石)	35.11	59.55	7.40	28.98	5.48	6.61	6.14	0.67	4.24	0.84	3.35
5	灰岩、白云岩(2)	9.74	15.45	2.31	10.02	2.18	0.69	1.74	0.26	1.69	0.33	1.22
6	白云岩屑砂岩(1)	45.64	84.01	9.52	42.35	9.82	6.61	8.96	1.61	10.05	1.96	7.45
球粒陨石丰度值*		0.33	0.88	0.11	0.60	0.18	0.07	0.25	0.05	0.31	0.07	0.20

样品号	样品名	Tm	Yb	Lu	Y	$\Sigma\text{REE}$	LREE	HREE	$\text{LREE}/\text{HREE}$	$\text{La}_N/\text{Yb}_N$	$\delta\text{Eu}$	$\delta\text{Ce}$
1	碳硅质岩(8)	0.20	1.71	0.31	16.16	32.02	23.73	8.29	2.86	2.12	3.95	0.45
2	碳泥质岩(2)	0.48	3.73	0.58	42.76	135.63	116.20	19.43	5.98	5.60	1.16	0.63
3	泥岩(15,矿石)	1.90	14.81	2.33	136.64	311.08	233.52	77.56	3.01	2.49	1.39	0.52
4	泥岩(4,非矿石)	0.39	3.43	0.62	32.60	162.80	143.13	19.68	7.27	6.20	3.49	0.78
5	灰岩、白云岩(2)	0.14	1.03	0.15	13.35	46.94	40.38	6.56	6.15	5.72	1.05	0.70
6	白云岩屑砂岩(1)	0.81	6.18	1.00	86.93	235.97	197.95	38.02	5.21	4.47	2.12	0.86
球粒陨石丰度值*		0.03	0.20	0.04		3.32	2.17	1.15	1.89	1.00	1.00	1.00

注:测试单位为有色金属西北矿产地质测试中心,测试方法:ICP-MS。\*球粒陨石丰度值参考《稀有元素地球化学》(地质部稀有元素矿产训练班,广东省地质局合编)。

稀土元素球粒陨石标准化模式图和特征参数值(表 1)表明,REE 分布模式都为曲线右倾斜,  $(\text{La}/\text{Yb})_N=2.86\sim 7.27 > 1$ 。轻稀土元素段右倾明显,  $(\text{La}/\text{Sm})_N=1.98\sim 4.35 > 1$ ,为 LREE 富集型。重稀土元素段相对平缓,  $(\text{Tb}/\text{Yb})_N=0.69\sim 1.04$ 。岩(矿)石稀土元素,以富轻稀土元素、 $\text{LREE}/\text{HREE}$  比值大于 1,而稀土元素总量较低为特征。

元素 Ce、Eu 的异常反映在  $\delta\text{Ce}$ 、 $\delta\text{Eu}$  值的变化上。 $\delta\text{Eu}$  为 Eu 的异常系数,既可灵敏地反映体系内的地球化学状态,又是鉴别物质来源和判定构造环境的重要参数。赵振华(1993)认为活动大陆边缘的沉积物富重稀土,无 Eu 亏损;被动大陆边缘的沉积物相对富轻稀土,为 Eu 负异常。现代高温地热系统( $>250^\circ\text{C}$ ),如快速扩张的太平洋脊,慢速扩张的大西洋脊,弧后扩张中心的劳厄盆地(转引自杨剑等,2005),均为 Eu 正异常。REE 属于过渡类元素,但具有很强金属性,以 Ce 和 Eu 的变价和形成易溶离子与 REE 相分离现象最为突出(亨德森,1989)。本区  $\delta\text{Eu}=1.05\sim 3.95 > 1$ ,Eu 呈正异常,非矿泥岩、碳硅质岩及下部砂岩具更大  $\delta\text{Eu}$  值,上部灰岩异常则不明显。本区岩(矿)石  $\delta\text{Eu} > 1$ ,Eu 呈正异常,可能说明其沉积环境温度较高,也可能说明其形成与大洋扩张有某种联系,但岩相古地理研究证明其形成于被动大陆边缘,究其原因可能是由于其产出位置与中朝板块南部活动陆缘更接近(古地磁数据证明了这一点)。

$\delta\text{Ce}$  为 Ce 的异常系数,可以反映岩石形成的氧化还原环境,即介质性质。海相热水沉积物与正常海水沉积物在稀土特征上存在较明显的差别,海相热水沉积物稀土总量较低,经北美页岩组合样标准化后,Ce 常有明显负异常, $\text{LREE}/\text{HREE}$  较小,北美页岩组合样标准化曲线近于水平或左倾本区黑色岩系稀土元素北美页岩组合样(王中刚等,1989)<sup>[8]</sup>标准化模式图来看,各岩样均显示出 Ce 负异常,北美页岩组合样标准化曲线近于水平,反映了海相热水沉积特征。

### 3 结 论

(1) 矿区黑色岩系不同类型岩石的稀土元素含量变化较大。在剖面上稀土总量( $\Sigma\text{REE}$ )在下部跳跃较强烈,中上部呈较规律的变化,代表了一种非正常海水沉积作用,即热水沉积作用。

(2) 矿区黑色岩系 REE 分布模式都为曲线右倾斜,  $(\text{La}/\text{Yb})_N=2.86\sim 7.27 > 1$ 。轻稀土元素段右倾明显,  $(\text{La}/\text{Sm})_N=1.98\sim 4.35 > 1$ ,为 LREE 富集型。重稀土元素段相对平缓,  $(\text{Tb}/\text{Yb})_N=0.69\sim 1.04$ 。

(3) 矿区黑色岩系  $\delta\text{Eu}=1.05\sim 3.95 > 1$ ,非矿泥岩、碳硅质岩及下部砂岩具更大  $\delta\text{Eu}$  值。Eu 呈正异常,从一个侧面说明其形成与大洋扩张有某种联系,可间接证明其产出位置与中朝板块南部活动陆缘更接近。

(4) 矿区各岩样均显示出 Ce 负异常,  $\delta\text{Ce}=0.45\sim 0.86 < 1$ ,北美页岩组合样标准化曲线近于水平,反映了海相热水沉积特征。

### 参 考 文 献 (略)