

文章编号:1009-3850(2010)04-0049-06

# 渝东南下寒武统黑色岩系稀土元素 地球化学特征与沉积环境

赵 瞻, 谢 渊, 刘建清, 丘东洲, 杨 平

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘要:渝东南及周边地区下寒武统黑色岩系稀土总量略低于北美页岩,  $\Sigma$ LREE/ $\Sigma$ HREE 值为 1.99~9.01, 平均 6.86, 轻稀土相对富集;  $\delta$ Eu 值为 0.69~7.33, 平均 2.79;  $\delta$ Ce 值为 0.70~1.01, 平均 0.85。区内下寒武统黑色岩系为正常海水与热水沉积作用的混合产物, 形成于缺氧还原环境逐渐向弱氧化环境过渡的外陆架。

关键词:渝东南; 黑色岩系; 稀土元素; 沉积环境

中图分类号:P595

文献标识码:A

黑色岩系是一种广泛存在的沉积岩石组合类型, 是海相富有机质细粒沉积岩的总称, 包括深灰色-黑色硅质岩、泥质岩(含层凝灰岩)以及少量碳酸盐、沉积磷块岩和重晶石岩<sup>[1~3]</sup>。高振敏等(1997)指出中国南方下寒武统广泛发育一套以富含有机质为特征的海相黑色岩系, 包括各种暗色页岩、硅质岩、粉砂岩和少量碳酸盐岩<sup>[4]</sup>。黑色岩系与大洋缺氧事件有关, 反映特定的沉积环境, 指示油气形成与生烃环境, 常常是稀有金属和贵金属异常富集层或矿源层。众多的学者对黔北、黔东、湘西地区下寒武统黑色岩系进行了详细的研究, 并用稀土元素示踪黑色岩系的成因、物源、古气候及古地理环境<sup>[5~10]</sup>, 但对渝东南地区的研究较为缺乏。本文对渝东南及周边地区下寒武统黑色岩系进行了系统的稀土元素地球化学特征研究, 旨在探讨该地区下寒武统黑色

岩系形成的成因及沉积环境。

## 1 地质背景

渝东南地区位于上扬子板块东南缘, 区内地层属华南地层大区扬子地层区中上扬子地层分区, 主要出露新元古界、古生界、中生界海相沉积盖层以及新生界陆相地层。早寒武世是震旦纪之后的一次大规模的海侵时期, 整个中上扬子板块震旦纪台盆相间的格局被打破, 细屑物覆盖了晚震旦世灯影期碳酸盐台地, 填平补齐作用形成了北西高、南东低的以波浪作用为主的广海型碎屑岩型大陆架<sup>[11]</sup>。在此背景下, 区内沉积了一套厚度约 900~1200m 的黑色岩系, 由下至上分别由牛蹄塘组、明心寺-金顶山组及清虚洞组 3 个岩性组构成, 区域内延伸稳定。

研究区地层层序如下:

高台组	灰黄-黄色薄层泥质白云岩、砂质白云岩, 向上砂质含量逐渐增多		
	-----整合-----		
黑色岩系	清虚洞组	深灰色-灰色中厚层泥质条带灰岩, 向上过渡为白云质灰岩	210~307m
	明心寺-金顶山组	深灰色薄层页岩、粉砂质页岩, 中上部夹粉砂岩、细砂岩透镜体	662~831m
	牛蹄塘组	深灰色-灰黑色薄层硅质页岩、炭硅质页岩、炭质页岩, 底部含0.5~2m 厚度含磷岩系, 中上部偶夹粉砂质页岩	57~170m
	-----平行不整合-----		
灯影组	灰色薄层微晶灰岩, 顶部为深灰色中厚层细晶白云岩		

收稿日期: 2010-07-04; 改回日期: 2010-08-09

作者简介: 赵瞻(1982-), 男, 硕士, 工程师, 沉积学专业

资助项目: 中国地质调查局《雪峰山西侧地区海相油气地质调查》项目资[2007]035-05 资助

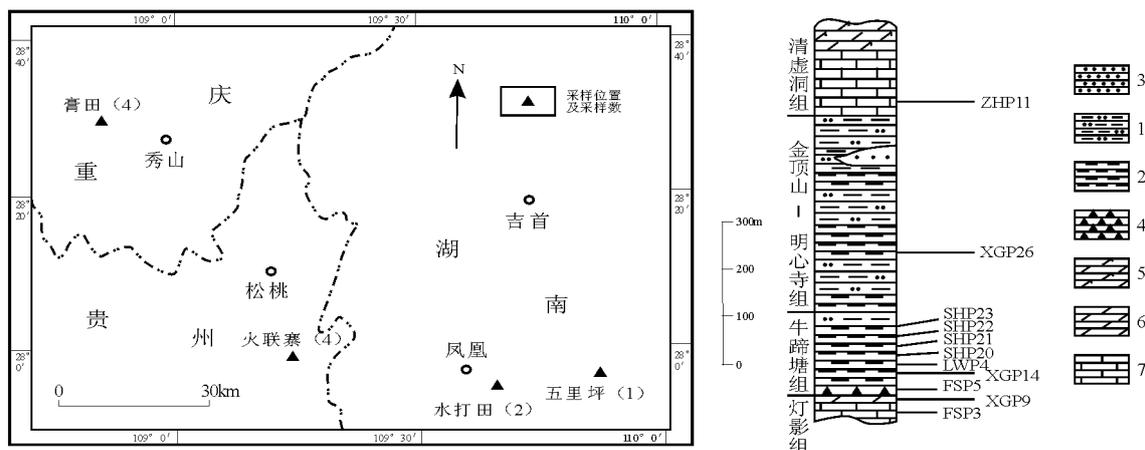


图1 渝东南及周边下寒武统黑色岩系采样位置图

1. 粉砂质页岩; 2. 硅质-炭质页岩; 3. 细砂岩; 4. 硅质岩; 5. 白云质灰岩; 6. 白云岩; 7. 微晶灰岩

Fig. 1 Sampling sites of the Lower Cambrian black rock series in southeastern Chongqing and its adjacent areas

1 = silty shale; 2 = siliceous-carbonaceous shale; 3 = fine-grained sandstone; 4 = siliceous rock; 5 = dolomitic limestone; 6 = dolostone; 7 = micritic limestone

## 2 样品采集与分析

本次研究选用的 11 件样品采自于秀山膏田、松桃火联寨、泸溪兴隆场、凤凰水打田(图 1) 的深灰色-灰黑色硅质岩、炭质页岩、炭质页岩和深灰色-灰色白云质灰岩,其中 9 件样品为下寒武统黑色岩系,两件样品为震旦系灯影组微晶灰岩、细晶白云岩。样品分析在国土资源部成都矿产资源监督检测中心进行,所用仪器为 Finnigan Element 2 高分辨等离子质谱(HR-ICP-MS),分析精度优于 5%。

## 3 稀土元素特征及沉积环境

### 3.1 分析结果

渝东南及周边地区下寒武统黑色岩系稀土元素地球化学分析结果及相关参数列于表 1(每个地点样品采集位置由底至顶顺序与表中由右向左顺序一致)。

数据表明,区内下寒武统黑色岩系(除去灯影组白云岩、清虚洞组灰岩,下同)稀土总量 $\Sigma REE$ 为 $78.66 \times 10^{-6} \sim 209.57 \times 10^{-6}$ ,平均 $134.38 \times 10^{-6}$ ,略低于北美页岩的稀土总量 $173.21 \times 10^{-6}$ (NASC, Haskin 等,1968),也低于黔北地区下寒武统黑色岩系的稀土总量<sup>[9]</sup>( $177.80 \times 10^{-6} \sim 315.12 \times 10^{-6}$ ,平均 $226.22 \times 10^{-6}$ )以及湘西地区下寒武统黑色岩系稀土总量<sup>[7]</sup>( $10.57 \times 10^{-6} \sim 373.00 \times 10^{-6}$ ,平均 $185.16 \times 10^{-6}$ )。区内下寒武统黑色岩系 $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ 为 1.99 ~ 9.01,平均 6.86,表现为轻稀土相对富集。经球粒陨石标准化(Boynton,1984,下

同)计算获得的 $\delta Eu$ 值为 0.69 ~ 7.33,平均为 2.79,表现为不明显的负异常到明显的正异常再到负异常; $\delta Ce$ 值为 0.70 ~ 1.01,平均为 0.85,绝大多数表现为不明显的负异常,仅一个样品有微弱的正异常。

### 3.2 沉积特征及物源

渝东南及周边地区震旦系灯影组-下寒武统黑色岩系稀土元素地球化学分析结果表明,不同类型岩石的稀土总量有明显差异,泥页岩稀土总量远高于碳酸盐岩,由底部到顶稀土总量峰值呈低-高-低的趋势。沉积序列上稀土总量的这一变化规律与同沉积期介质中稀土活度和沉积速率上的过渡状态(向上方向)和岩石类型的差异(向下方向)有关,代表了一种非正常海水沉积作用,即热水沉积作用。海相热水沉积物与正常海水沉积物在稀土元素组成特征上存在明显的差别<sup>[7]</sup>,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;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;这里所谓热水沉积物是指未沉积前在有关介质中以“溶质”形式存在,介质水与海水充分混合,甚至热水主体就是循环海水,热水部分便是热的海水<sup>[5,7]</sup>。区内早寒武世黑色岩系稀土元素经北美页岩组合样(NASC, Haskin 等,1968,下同)标准化曲线(图 2)近于水平略有左倾,Ce 负异常,反映了其具有海相热水溶液的沉积特征。

所有的酸性热液流体的稀土模式表现出轻稀土

表1 渝东南及周边早寒武世黑色岩系稀土元素分析结果( $\times 10^{-6}$ )及相关参数(注:  $\delta Eu_N = 2Eu_N / (Sm_N + Gd_N)$ ,  $\delta Ce_N = 2Ce_N / (La_N + Pr_N)$ )Table 1 REE analytical results ( $\times 10^{-6}$ ) and relevant parameters for the Lower Cambrian black rock series in southeastern Chongqing and its adjacent areas

样品编号	ZHP11 HX1	XGP26 HX1	XGP14 HX1	XGP9 HX1	SHP23 HX1	SHP22 HX1	SHP21 HX2	SHP20 HX1	LWP4 HX1	FSP5 HX1	FSP3 HX1
岩性	白云质 灰岩	黑色 页岩	硅质 页岩	白云岩	炭硅质 页岩	硅质 页岩	炭硅质 页岩	硅质 页岩	炭硅质 页岩	硅质岩	微晶 灰岩
地层	$\epsilon_1 q$	$\epsilon_1 m$	$\epsilon_1 n$	$Z_b dn$	$\epsilon_1 n$	$Z_b dn$					
La	4.79	39.81	26.20	7.37	46.12	22.97	14.49	26.74	27.38	17.74	11.92
Ce	8.84	68.08	59.13	12.81	85.27	41.93	27.35	45.90	39.05	25.48	23.01
Pr	1.10	8.47	7.32	1.72	10.28	5.24	4.09	5.81	5.40	3.99	3.87
Nd	4.44	31.94	26.81	6.47	36.63	19.10	20.45	22.60	19.95	14.11	18.63
Sm	1.11	6.25	5.08	1.44	5.67	3.07	7.54	4.34	3.43	2.59	6.69
Eu	0.31	1.32	2.11	0.52	3.05	5.17	4.88	4.09	8.39	0.78	1.71
Gd	1.76	5.18	3.68	1.16	5.14	2.70	8.17	4.04	3.51	2.18	7.61
Tb	0.25	0.81	0.57	0.23	0.88	0.36	1.60	0.64	0.36	0.44	1.37
Dy	1.47	4.80	3.39	1.59	5.49	2.49	10.97	4.57	2.37	3.33	7.69
Ho	0.30	0.95	0.64	0.31	1.15	0.53	2.29	0.93	0.52	0.76	1.28
Er	0.81	2.92	2.08	1.04	3.76	1.93	7.10	3.32	1.81	2.64	3.51
Tm	0.09	0.54	0.42	0.19	0.70	0.40	1.17	0.59	0.36	0.52	0.55
Yb	0.52	3.31	2.83	1.15	4.64	2.69	7.03	3.67	2.74	3.50	3.53
Lu	0.08	0.54	0.45	0.19	0.78	0.54	1.23	0.67	0.58	0.60	0.63
Y	10.50	26.70	17.69	10.06	38.54	18.00	90.35	39.59	18.84	23.16	38.65
$\Sigma$ LREE	20.59	155.86	126.65	30.33	187.02	97.46	78.79	109.48	103.61	64.69	65.83
$\Sigma$ HREE	5.28	19.06	14.06	5.85	22.54	11.64	39.56	18.41	12.24	13.97	26.18
$\Sigma$ REE	25.87	174.92	140.71	36.18	209.57	109.11	118.35	127.89	115.86	78.66	92.00
$\Sigma$ LREE/ $\Sigma$ HREE	3.90	8.18	9.01	5.19	8.30	8.37	1.99	5.95	8.46	4.63	2.51
(La/Yb) N	6.21	8.11	6.24	4.31	6.70	5.76	1.39	4.91	6.73	3.42	2.28
(La/Sm) N	2.71	4.00	3.24	3.23	5.11	4.71	1.21	3.87	5.02	4.31	1.12
(Gd/Yb) N	2.73	1.26	1.05	0.81	0.89	0.81	0.94	0.89	1.03	0.50	1.74
$\delta Eu$	0.68	0.69	1.42	1.20	1.70	5.37	1.89	2.94	7.33	0.98	0.73
$\delta Ce$	0.89	0.85	1.01	0.84	0.91	0.89	0.84	0.85	0.73	0.70	0.81

富集, Eu 正异常<sup>[12]</sup>; Eu 正异常在邻近洋中脊的热水溶液海相沉积中是常见的, Eu 正异常指示了热水沉积岩的地球化学特征<sup>[12~16]</sup>。区内下寒武统黑色岩系经球粒陨石标准化计算获得的  $\delta Eu$  值为 0.69 ~ 7.33, 平均 2.79, 表现为不明显的负异常到明显的正异常再到负异常, 表明其具有海相热水溶液的沉积特征。

在 La/Yb-Ce/La 图解(图 3)上, 绝大多数点落在玄武岩及相应岩石重叠区域; 在 La/Yb-REE 图解(图 4)上, 绝大多数点落在沉积岩与玄武岩的过渡区域, 反应了区内黑色岩系受到了热水沉积作用影响。

综上所述, 渝东南及周边地区下寒武统黑色岩系为非正常海水沉积, 为正常海水与热水沉积作用

的混合产物, 部分物源来自于循环的热海水。

### 3.3 氧化还原环境

沉积岩中  $\delta Eu$ 、 $\delta Ce$  等稀土元素地球化学参数, 可用作判断物质来源和沉积环境, 是非常良好的示踪剂,  $\delta Ce$  常被用来解释古海洋氧化-还原环境<sup>[5,10,16]</sup>。

Eu 属于变价元素, 有  $Eu^{2+}$  和  $Eu^{3+}$  两种价态。一般情况下 Eu 呈  $Eu^{3+}$ , 而在强酸性、还原条件下  $Eu^{3+}$  被还原为  $Eu^{2+}$ , 引起海水中 Eu 亏损, 沉积物中 Eu 富集。在碱性、氧化条件下  $Eu^{2+}$  被氧化成  $Eu^{3+}$ , 引起海水中 Eu 富集, 沉积物中 Eu 亏损。所以沉积物中 Eu 负异常 ( $\delta Eu < 1$ ) 反映海水处于氧化状态; Eu 正异常  $\delta Eu > 1$  指示海水处于还原状态。同样

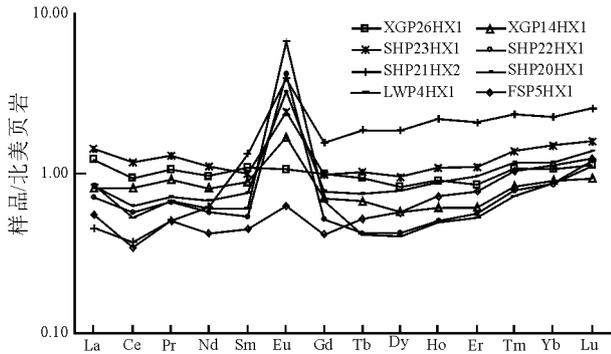


图2 渝东南及周边下寒武统黑色岩系稀土元素北美页岩标准化配分模式

Fig. 2 NASC-normalized REE distribution patterns for the Lower Cambrian black rock series in southeastern Chongqing and its adjacent areas

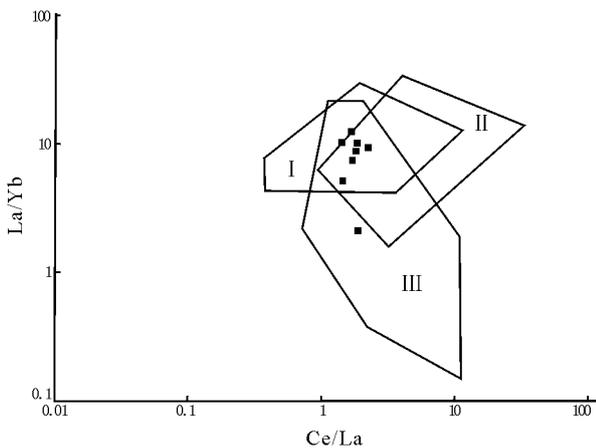


图3 渝东南及周边下寒武统黑色岩系 La/Yb-Ce/La 关系图解

I. 深海沉积物; II. 铁锰结核及铁镁岩; III. 海底玄武岩及相应的岩石  
(底图据 Kunzendorf 等, 1988; 转引自杨剑 2005)

Fig. 3 La/Yb vs. Ce/La diagram of the Lower Cambrian black rock series in southeastern Chongqing and its adjacent areas (base map from Kunzendorf et al., 1988; after Yang Jian, 2005)

I = deep-sea deposits; II = ferromanganese concretion and feric rock; III = submarine basalt and associated rocks

Ce 也属于变价元素,有  $Ce^{3+}$  和  $Ce^{4+}$  两种价态。在氧化条件下,  $Ce^{3+}$  被氧化成  $Ce^{4+}$ , 而  $Ce^{4+}$  很难被溶解, 因此海水中 Ce 出现亏损而呈负异常, 在沉积物中就呈现正异常或无明显的负异常; 当处于次氧化或缺氧环境时, 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。因此沉积物中 Ce 负异常现象 ( $\delta Ce < 1$ ) 主要是因为含金属氧化物沉淀时, Ce 发生亏损或者分馏, 指示缺氧还原环境; Ce

正异常 ( $\delta Ce > 1$ ) 表明 Ce 富集, 反映海水处于氧化环境中<sup>[5,10,16,17]</sup>。

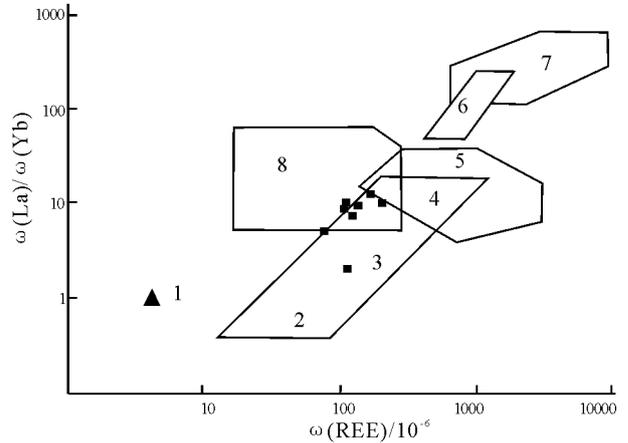


图4 渝东南及周边下寒武统黑色岩系 La/Yb-REE 关系图解  
(底图据 Allegre, 1978; 转引李胜荣, 1995)

1-球粒陨石; 2-大洋拉斑玄武岩; 3-大陆拉斑玄武岩; 4-碱性玄武岩; 5-花岗岩; 6-金伯利岩; 7-碳酸岩; 8-沉积岩

Fig. 4 La/Yb vs. REE diagram of the Lower Cambrian black rock series in southeastern Chongqing and its adjacent areas (base map from Allegre, 1978; after Li Shengrong, 1995)

1 = chondrite; 2 = oceanic tholeiite; 3 = continental tholeiite; 4 = alkaline basalt; 5 = granite; 6 = kimberlite; 7 = carbonatite; 8 = sedimentary rock

由此可见,  $\delta Eu$  与  $\delta Ce$  指标的变化能够反映古沉积环境的氧化-还原条件变化过程, 沉积物中 Eu 正异常而 Ce 负异常 ( $\delta Eu > 1, \delta Ce < 1$ ) 反映海水处于缺氧还原环境; Eu 负异常而 Ce 正异常 ( $\delta Eu < 1, \delta Ce > 1$ ) 反映海水处于氧化环境中。渝东南及周边地区下寒武统黑色岩系经球粒陨石标准化后,  $\delta Eu$  值为 0.69 ~ 7.33, 平均 2.79, 黑色岩系由底至顶,  $\delta Eu$  值总体趋势先增大再减小, 绝大多数大于 1, 仅底部略小于 1 及顶部小于 1。  $\delta Ce$  值为 0.70 ~ 1.01, 平均 0.85, 仅 1 个样品大于 1.00, 由底至顶,  $\delta Ce$  值总体趋势缓慢增大, 与  $\delta Eu$  值总体变化趋势相反。因此, 根据区内早寒武世黑色岩系  $\delta Eu$  与  $\delta Ce$  值由底至顶的变化趋势, 认为其沉积环境由缺氧还原环境逐渐向弱氧化环境过渡。

### 3.4 古地理环境

REE 总量具有随海水深度的增加而升高的特点<sup>[10]</sup>, 因此 REE 总量的大小能够反映古海洋海水深度。渝东南及周边地区下寒武统黑色岩系稀土总量  $\Sigma REE$  为  $78.66 \times 10^{-6} \sim 209.57 \times 10^{-6}$ , 平均  $134.38 \times 10^{-6}$ , 低于北美页岩稀土总量, 也低于黔北及湘西地区, 表明区内当时海水深度略浅于黔北及

湘西,属浅海环境。

稀土元素大部分与碎屑矿物结合或以悬浮颗粒形式入海,重稀土元素容易较快沉积,分异不明显,轻稀土元素则由于停留在较深海水中的时间较长,其沉降缓慢,与海水发生交换的时间长,促进了更细颗粒中稀土元素的分解作用,造成轻稀土元素之间分异较大<sup>[3]</sup>。轻、重稀土元素含量比值( $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ )在一定程度上反映了轻、重稀土的分异程度。区内样品 $\Sigma\text{LREE}$ 值为 $64.69 \times 10^{-6} \sim 187.02 \times 10^{-6}$ ,平均为 $115.44 \times 10^{-6}$ , $\Sigma\text{HREE}$ 值为 $11.64 \times 10^{-6} \sim 39.56 \times 10^{-6}$ ,平均为 $18.94 \times 10^{-6}$ , $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 为 $1.99 \sim 9.01$ ,平均为 $6.86$ ,略低于北美页岩比值( $7.44$ ),表现为轻稀土相对富集(图5)。相同意义的 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值是稀土元素球粒陨石标准化配分模式中分布曲线的斜率,当 $(\text{La}/\text{Yb})_N > 1$ 时,曲线右倾,轻稀土富集; $(\text{La}/\text{Yb})_N < 1$ 时,曲线左倾,轻稀土亏损; $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 约等于 $1$ 时,曲线近于水平。区内样品 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为 $1.39 \sim 8.11$ ,平均 $5.41$ ,轻稀土段右倾明显。而 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 分别反映轻、重稀土之间的分流程度。区内样品的 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 值 $1.21 \sim 5.11$ ,平均 $3.93$ ,轻稀土元素分异中等; $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 值 $0.50 \sim 1.26$ ,平均 $0.92$ ,重稀土元素分异不明显。综合表明区内早寒武世黑色岩系古地理环境主体应为浅海中水体稍深的外陆架环境。

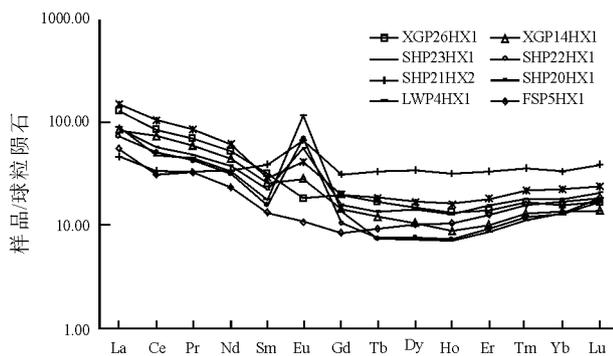


图5 渝东南及周边下寒武统黑色岩系稀土元素球粒陨石标准化配分模式

Fig. 5 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the Lower Cambrian black rock series in southeastern Chongqing and its adjacent areas

## 4 结论

(1) 渝东南及周边地区下寒武统黑色岩系稀土元素地球化学特征指示性明显,其稀土总量略低于北美页岩稀土总量,也低于黔北及湘西地区下寒武统黑色岩系稀土总量,轻稀土相对富集。

(2) 稀土总量、北美页岩标准化配分模式、 $\text{La}/\text{Yb}-\text{Ce}/\text{La}$ 、 $\text{La}/\text{Yb}-\text{REE}$  等特征参数表明,区内黑色岩系具有非正常海水的沉积特征,其主要为正常海水与热水沉积作用的混合产物,部分物源来自于循环的热海水。

(3) 区内黑色岩系的沉积环境为由缺氧还原环境逐渐向弱氧化环境过渡。

(4) 区内下寒武统黑色岩系古地理环境主体为浅海中水体稍深的外陆架环境。

## 参考文献:

- [1] 范德廉,杨秀珍,王连芳,等.某地下寒武统含镍钼多元素黑色岩系的岩石学及地球化学特点[J].地球化学,1973,(3):143-164.
- [2] Hugh R. Rollison 著,杨学明,杨晓勇等译,岩石地球化学[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2000.
- [3] 陈德潜,陈刚.实用稀土元素地球化学[M].北京:冶金工业出版社,1990.
- [4] 高振敏,罗泰义,李胜荣.黑色岩系中贵金属富集层的成因:来自固定铍的佐证[J].地质地球化学,1997,(1):18-23.
- [5] 陈兰.湘黔地区早寒武世黑色岩系沉积学及地球化学研究[D].中国科学院研究生院博士学位论文,2005,2-89.
- [6] 李有禹.湖南大庸慈利一带下寒武统黑色页岩中海底喷流沉积硅岩的地质特征[J].岩石学报,1997,13(1):121-126.
- [7] 李胜荣,高振敏.湘黔地区牛蹄塘组黑色岩系稀土特征-兼论海相热水沉积岩稀土模式[J].矿物学报,1995,15(2):225-229.
- [8] 吴朝东,杨承运,陈其英.湘西黑色岩系地球化学特征和成因意义[J].岩石矿物学杂志,1999,18(1):26-39.
- [9] 杨剑,易发成,刘涛,等.黔北黑色岩系稀土元素地球化学特征及成因意义[J].地质科学,2005,40(1):84-94.
- [10] 杨兴莲,朱茂炎,赵元龙,等.黔北震旦系-下寒武统黑色岩系稀土元素地球化学特征[J].地质论评,2008,54(1):3-15.
- [11] 马永生,陈洪德,王国力,等.中国南方层序地层与古地理[M].北京:科学出版社,2009.
- [12] DOUVILLE E, BIENVENU P, CHARLOU J I et al. Yttrium and rare earth elements in fluids from various deep-sea hydrothermal systems [J]. Geochimica Cosmochimica Acta, 1999, 63: 627-643.
- [13] RUHLIN D E, OWEN R M. The rare earth element geochemistry of hydrothermal sediments from the East Pacific Rise: examination of a seawater scavenging mechanism [J]. Geochimica Cosmochimica Acta, 1986, 50: 393-400.
- [14] MURRAY R W, BUCHHOLTZTEN BRINK M R, GERLACH D C et al. Rare earth, major and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California: Assessing REE sources to fine-grained marine sediments [J]. Geochimica Cosmochimica Acta, 1991, 55: 1875-1895.
- [15] OWEN A W, ARMSTRONG H A, FLOYD J D. Rare earth element geochemistry of upper Ordovician cherts from the

- Southern Upland of Scotland [J]. Journal of the Geological Society ,London ,1999 ,156: 191 – 204.
- [16] 徐晓春,王文俊,熊亚平等. 安徽石台早寒武世黑色岩系稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2009 28(2): 118 – 128.
- [17] DEBAAR H J W, BACON M P, BREWER P G. Rare earth elements in the Pacific and Atlantic oceans [J]. Geochim Cosmochim Acta ,1985 49: 1943 – 1959.

## REE geochemical signatures and sedimentary environments of the Lower Cambrian black rock series in southeastern Chongqing and its adjacent areas

ZHAN Zhan , XIE Yuan , LIU Jian-qing , QIU Dong-zhou , YANG Ping  
( Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources , Chengdu 610081 , Sichuan , China)

**Abstract:** The Lower Cambrian black rock series in southeastern Chongqing and its adjacent areas are characterized by less-enriched  $\Sigma\text{REE}$   $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$  ratios ranging between 1.99 and 9.01 with an average of 6.86 , relatively Enriched LREE ,  $\delta\text{Eu}$  values ranging between 0.69 and 7.33 with an average of 2.79 , and  $\delta\text{Ce}$  values ranging between 0.70 and 1.01 with an average of 0.85. The results of research in the present paper show that the Lower Cambrian black rock series in the study area resulted from the mixing of the normal seawater and hot seawater deposition in the transitional conditions from the anoxic reducing environments to the weakly oxidized environments on the outer continental shelves.

**Key words:** southeastern Chongqing; black rock series; REE; sedimentary environment