

东濮凹陷沙河街组泥岩的 稀土元素地球化学特征

俞惠隆 张金亮 徐伦勋

(江汉石油学院)

本文对东濮凹陷下第三系沙河街组的滨湖水下冲积扇、浅湖、盐湖-半深湖和深湖等四个湖泊亚相中形成的13个泥岩样品,进行了稀土元素组成和模式曲线特征的研究。研究资料表明:本区四个湖泊亚相泥岩的稀土元素组成很相似,均为右倾斜的Ce与Eu负异常型;稀土高峰元素都是Ce,次高峰元素为La或Y。说明本区泥岩的稀土元素来源相同,且在沉积过程中表现出相似性和继承性。其中盐湖-半深湖相泥岩的稀土含量较其他三个湖泊亚相泥岩低,这是因为干旱蒸发湖盆环境生成的大量硫酸盐或卤化物矿物对稀土元素的富集具有抑制作用。

关键词 稀土元素 地球化学 沙河街组 东濮凹陷

东濮凹陷是我国东部重要含油气区之一。以断陷裂谷型湖盆沉积为特征,对沙河街组沉积相已经做过不少研究^[1-4]。本文侧重于稀土元素组成特征的研究,为应用于岩相古地理分析作一尝试。

一、地质背景与沉积环境

东濮凹陷位于河南省东北部,山东省的西南缘。它是在中生代末期遭受强烈断块活动后形成的一个断陷裂谷型湖盆,沉积了包括下第三系沙河街组(自下而上分四段)在内的一套湖相砂泥岩与膏盐岩。处于内黄隆起和鲁西隆起之间。由于受NNE与NW向两组主要断裂的控制,具有明显的东西分带特点。由东向西,分为东部斜坡带的滨湖水下冲积扇*沉积、中央隆起带的浅湖相沉积、西部凹陷带的盐湖-半深湖及深湖相沉积和西部斜坡带的滨湖水下冲积扇、浅湖相沉积这样一个构造沉积相格局(图1)。

若以膏盐沉积作为沉积旋回结束的标志^[1],沙河街组从下而上可分出三个大的旋回。第一沉积旋回由整个沙四段组成,下部为一套紫红色具递变层理的砾岩、含砾砂岩、砂岩和泥岩组合;上部是厚层石膏岩与盐岩。属滨湖水下冲积扇^[5]、浅湖相和盐湖-半深湖相沉积。第二沉积旋回由沙三段组成,下部与中部由细砂岩、粉砂岩、钙质页岩、膏泥岩、黑色泥岩组成多套韵律层;顶部为紫红色砂岩、油页岩、泥岩及膏盐岩组合。属浅湖相、盐湖-半深湖相、深

本文1989年2月20日收到,10月7日改回。

*“滨湖水下冲积扇”是指在断陷湖盆边缘或断陷湖盆陡岸,尤其是在同生断层下降盘一侧近岸地带形成的一类水下扇体。名称术语尚无定论,鉴于广泛发育递变层理,本文采用滨湖水下冲积扇这一名称。

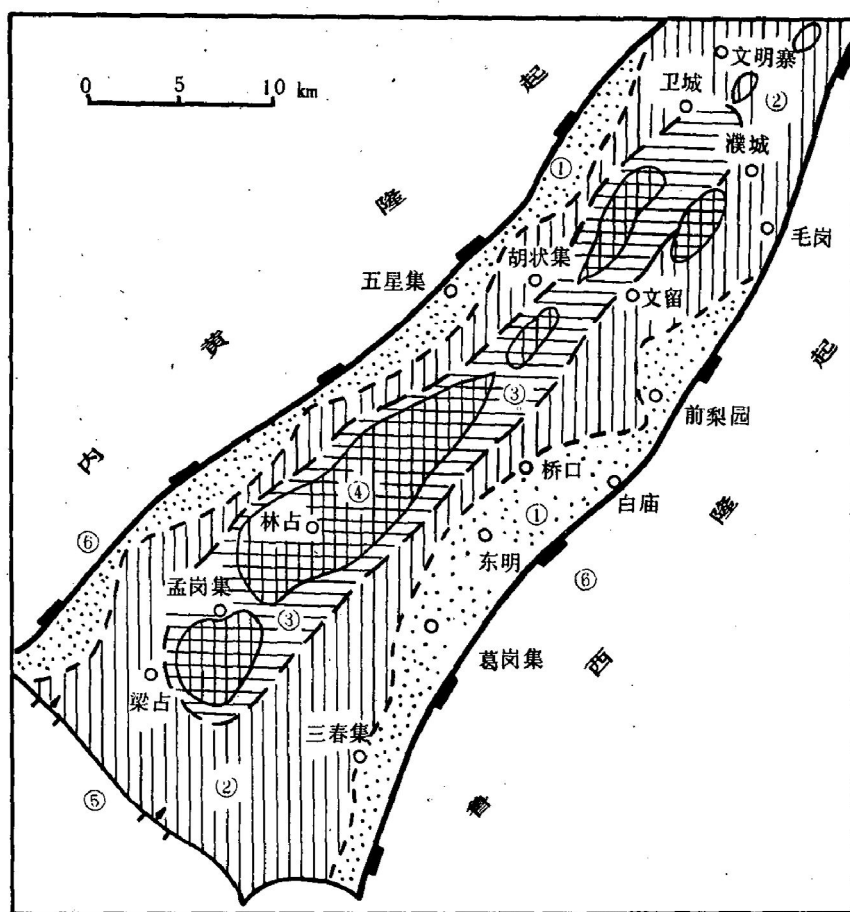


图1 东濮凹陷沙河街组沙四段构造沉积相略图

(据寿剑峰、袁政文资料缩编)

①—滨湖水下冲积扇, ②—浅湖相, ③—盐湖-半深湖相, ④—深湖相, ⑤—断裂构造, ⑥—隆起剥蚀区

湖相频繁交替沉积。第三沉积旋回包括沙二段和沙一段。沙二段是一套紫红色具递变层理的含砾砂岩、砂岩、粉砂岩与灰绿色泥岩组合；沙一段为一套膏盐岩夹灰色泥岩、薄层灰岩、粉砂质泥岩组合。属滨湖水下冲积扇、浅湖相、盐湖-半深湖相沉积物。

二、稀土元素组成特征

为了探讨沙河街组泥岩的稀土元素地球化学特征，我们有代表性地取了四个湖泊亚相中的 13 个泥岩样品，分别对它们进行了稀土总量，单个稀土元素含量的 X 光荧光光谱分析，并对分析结果进行了处理和计算对比（表 1）。

1. 稀土总量 (ΣREE) 沙河街组泥岩的 ΣREE 变化范围不大，由 163.97—239.09ppm。但在四个湖泊亚相中有一定的差别：滨湖水下冲积扇泥岩的 $\Sigma\text{REE}=237.41\text{—}239.09\text{ppm}$ ，平均为 238.44ppm；浅湖相泥岩的 $\Sigma\text{REE}=218.04\text{—}218.65\text{ppm}$ ，平均为 218.47ppm；盐湖-半深湖相泥岩的 $\Sigma\text{REE}=163.97\text{—}213.31\text{ppm}$ ，平均为 196.55ppm；深湖相泥岩的 $\Sigma\text{REE}=202.93\text{—}216.61\text{ppm}$ ，平均为 207.79 ppm。

表1 东濮凹陷沙河街组泥岩的稀土元素分析结果

顺序号	样品编号	取样地点	岩石类型	湖泊亚相	稀 土 元 素 含 量 (ppm)														ΣREE (ppm)	ΣCe ΣY	ΣLa-Eu ΣGa-Lu		
					La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				Y	
1	Yu-R-1	白-22井	含粉砂泥岩	滨湖水下 冲积扇	35.6	76.8	10.5	32.3	9.1	1.60	9.33	1.49	7.50	1.64	4.14	0.60	4.40	0.40	43.69	239.09	2.27	5.62	
2	Yu-R-2	卫-20井	浅灰色泥岩		36.3	77.0	11.4	31.4	8.2	1.61	8.92	1.42	7.78	1.61	4.23	0.61	4.29	0.47	43.57	238.81	2.28	5.66	
3	Yu-R-3	卫-18井	浅灰色泥岩		35.5	77.5	11.7	31.1	8.5	1.65	8.54	1.35	7.31	1.58	4.08	0.53	4.36	0.48	43.23	237.41	2.32	5.88	
滨湖水下冲积扇 3个泥岩样品平均值					35.8	77.1	11.2	31.6	8.6	1.62	8.93	1.42	7.53	1.61	4.15	0.58	4.35	0.45	43.50	238.44	2.29	5.72	
4	Yu-R-4	濮-63井	灰色泥岩	浅湖相	34.8	76.4	10.4	30.6	7.5	1.49	7.85	1.30	6.48	1.43	3.57	0.46	4.01	0.35	32.01	218.65	2.81	6.33	
5	Yu-R-5	濮-6-33井	灰色泥岩		34.5	75.9	10.6	31.3	7.4	1.49	7.86	1.30	6.40	1.46	3.55	0.47	4.05	0.37	32.08	218.73	2.80	6.33	
6	Yu-R-6	濮-120井	灰色泥岩		34.2	74.8	10.8	31.1	7.6	1.53	7.87	1.33	6.41	1.46	3.56	0.51	4.12	0.42	32.33	218.04	2.76	6.22	
浅湖相 3个泥岩样品平均值					34.5	75.7	10.6	31.0	7.5	1.50	7.86	1.31	6.43	1.45	3.56	0.48	4.06	0.38	32.14	218.47	2.79	6.30	
7	Yu-R-7	濮-120井	深灰色页岩	盐湖-半深湖相	34.1	77.3	10.8	30.3	6.5	1.24	6.52	1.09	5.23	1.40	3.07	0.38	3.95	0.28	31.15	213.31	3.02	7.31	
8	Yu-R-8	桥-16井	含膏泥岩		26.2	63.6	7.7	23.8	4.9	0.85	5.37	0.62	4.19	0.86	1.44	0.21	2.14	0.11	21.98	163.97	3.44	8.50	
9	Yu-R-9	濮-120井	深灰色泥岩		34.2	76.9	10.3	30.2	6.3	1.25	6.53	1.08	5.25	1.40	3.10	0.40	3.99	0.30	31.17	212.37	2.99	7.22	
盐湖-半深湖相 3个泥岩样品平均值					31.5	72.6	9.6	28.1	5.9	1.11	6.14	0.93	4.89	1.22	2.54	0.33	3.36	0.23	28.10	196.55	3.12	7.58	
10	Yu-R-10	桥-17井	黑色页岩	深湖相	32.9	73.6	9.7	28.6	6.3	1.34	7.08	1.08	5.34	1.24	3.01	0.37	3.37	0.27	28.73	202.93	3.02	7.01	
11	Yu-R-11	桥-16井	黑色页岩		33.0	73.8	9.9	28.8	6.5	1.37	7.15	1.12	5.48	1.30	3.12	0.39	3.48	0.30	30.01	205.72	2.93	6.87	
12	Yu-R-12	白-7井	黑色泥岩		33.6	74.6	10.3	29.6	6.7	1.39	7.47	1.20	5.66	1.36	3.22	0.47	3.70	0.32	30.25	209.84	2.91	6.67	
13	Yu-R-13	白-12井	黑色泥岩		33.7	74.8	10.5	29.8	6.9	1.42	7.54	1.22	5.80	1.42	3.33	0.47	3.81	0.35	31.53	212.61	2.83	6.56	
深湖相 4个泥岩样品平均值					33.3	74.2	10.1	29.2	6.6	1.38	7.31	1.16	5.58	1.33	3.17	0.43	3.59	0.31	30.13	207.79	2.92	6.76	
东濮凹陷沙河街组 13个泥岩样品平均值					33.78	74.9	10.38	29.98	7.15	1.40	7.56	1.21	6.11	1.42	3.34	0.46	3.84	0.34	33.47	215.34	2.73	6.49	
洞庭湖 2个软泥样品平均值 ^[6]					29.53	57.76	7.16	27.61	5.68	1.14	5.73	0.80	3.38	1.13	1.76	0.31	2.13	0.23	25.15	169.46	3.09	7.76	
球粒陨石 ^[7]					0.33	0.88	0.11	0.60	0.18	0.06	0.24	0.09	0.47	0.31	0.07	0.20	0.03	0.20	0.03	1.96	5.279	0.70	1.89

从总的趋势来看, 由滨湖水下冲积扇→浅湖→深湖相泥岩的稀土总量是逐渐减少的, 但减少的幅度不大, 反映了它们的来源是相同的, 同时也说明了它们在沉积过程中具有继承性。

由表1可知, 盐湖-半深湖相泥岩的稀土总量要比深湖相泥岩低约11ppm。之所以产生这种现象, 是因为当化学分异作用进行到硫酸盐及卤化物阶段时, 机械分异作用已基本结束。因此, 在产生蒸发岩的环境中, 很少出现陆源碎屑物, 即便出现一部分由胶体溶液或悬浮方式而形成的粘土矿物, 而这些粘土矿物也绝大多数是在成岩过程中生成的混层矿物。从表2和图2中亦可看出, 生成蒸发岩的盐湖环境与生成大量粘土矿物沉积的深湖环境, 它们的稀土元素含量常常是不一样的, 前者比后者要低。看来, 硫酸盐矿物与卤化物矿物的大量沉淀, 对稀土元素的富集是不利的。

表2 盐湖相蒸发岩与深湖相泥岩 ΣREE 对比表

顺序号	样品编号	取样地点	湖泊亚相	岩石类型	岩石中主要矿物含量· (%)	稀土总量 (ΣREE)·· (ppm)
1	Zh-85-a	东濮凹陷卫57井	深湖相	黑色泥岩	IL: 20; M: 80	203 (3)
2	Zh-85-b	东濮凹陷卫40井	深湖相	黑色页岩	IL: 45; M: 55	209 (3)
3	Yu-87-4	呼和湖凹陷 海参7井	深湖相	黑色泥岩	IL: 70; M: 30	218 (2)
4	Yu-87-5	呼和湖凹陷 海参7井	深湖相	黑色页岩	IL: 80; M: 20	227 (2)
5	Zh-85-C	东濮凹陷卫-57井	盐湖相	含膏泥岩	gy: 20; IL: 50; M: 30	210 (3)
6	Zh-85-D	东濮凹陷桥17井	盐湖相	泥膏岩	gy: 60; IL: 20; M: 20	190 (3)
7	Yu-89-3	Q凹陷ZK-3井	盐湖相	泥膏岩	gy: 65; IL: 20; M: 15	187 (1)
8	Yu-89-4	Q凹陷ZK-3井	盐湖相	含泥膏岩	gy: 80; M-IL: 20	172 (1)
9	Yu-89-5	Q凹陷ZK-3井	盐湖相	含石盐泥岩	ha: 20; M-IL: 80	152 (1)
10	Yu-89-6	Q凹陷ZK-3井	盐湖相	含钙芒硝盐岩	ha: 65; M-IL: 30; gla: 5	126 (1)
11	Yu-89-7	Q凹陷ZK-3井	盐湖相	含泥石盐岩	ha: 80; M-IL: 20	120 (1)

* IL: 伊利石, M: 蒙脱石, M-IL: 蒙脱石伊利石混层, gy: 石膏, ha: 石盐, gla: 钙芒硝。

** 括号内的数字代表样品分析次数。

2. 球粒陨石标准化稀土模式曲线 由图3看出, 四个湖泊亚相泥岩的球粒陨石标准化稀土模式曲线很相似。表现为同一形状, 曲线一致地向右倾斜, 呈平行变化, 中等Eu负异常, 在Ce处有较小幅度的向下弯曲而呈一“谷”, 且Ce与Eu亏损相对较小, 代表了轻稀土较重稀土富集 ($\Sigma\text{La—Eu}/\Sigma\text{Gd—Lu}=5.62-8.50$)。

另外, 我们还采用 $\text{Ce}/\text{Ce}^\oplus$ 或 $\text{Eu}/\text{Eu}^\oplus$ 对 $\Sigma\text{La—Eu}/\Sigma\text{Gd—Lu}$ 分别为纵、横座标作出图4。从图3和4中看出, 滨湖水下冲积扇泥岩的Ce亏损 (Ce负异常) 较浅湖相、深湖相、盐湖-半深湖相泥岩稍为明显, 而Eu亏损程度相似。整个沙河街组泥岩的 $\text{Eu}/\text{Eu}^\oplus$ (平均值) $=0.58 \pm 0.03$, 变化范围很小; 尤其是 $\text{Sm}/\text{Nd}=0.24 \pm 0.03$ 、 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}=2.73 \pm 0.4$, 它们基本上是一常数。这就清楚地说明了泥岩稀土组成的均一性。

* $\text{Ce}/\text{Ce}^\oplus = \text{Ce}_N / \left(\frac{\text{La} + \text{Pr}}{2} \right)_N$; $\text{Eu}/\text{Eu}^\oplus = \text{Eu}_N / \left(\frac{\text{Sm} + \text{Gd}}{2} \right)_N$ 。式中的N均指球粒陨石相应稀土元素的丰度。

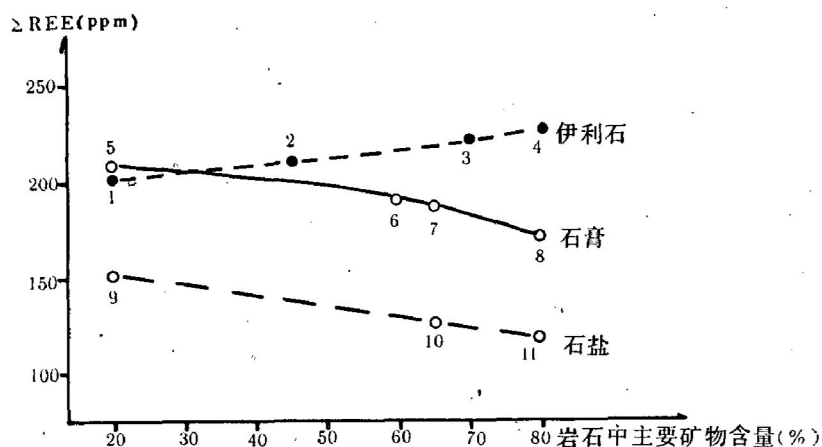


图2 岩石中石膏、石盐、粘土矿物含量与 ΣREE 变异图
(图内数码同表2顺序号)

3. 稀土配分及某些比值的变化

四个湖泊亚相泥岩的稀土组成具有明显的相似性, 表现为: 稀土高峰元素是 Ce, 次高峰元素为 La 或 Y; $\Sigma\text{La}-\text{Eu}/\Sigma\text{Gd}-\text{Lu}$ 的比值大于 5.5 (平均为 6.49 ± 0.9), $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 的比值大于 2.5 (平均 2.73 ± 0.4), 与洞庭湖软泥的 7.76、3.09 相接近^[6]; $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 、 $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$ 及 Sm/Nd 、 Eu/Sm 等

比值, 四个湖泊亚相泥岩的平均值分别为 2.59 ± 0.33 、 4.43 ± 0.5 、 0.24 ± 0.03 、 0.20 ± 0.01 (表 3), 它们均介于洞庭湖软泥的相应比值之间; 此外, 由图 5 可看出, 四个湖泊亚相泥岩的分析投影点聚集在几个小的范围内, 只有盐湖-半深湖相泥岩分布较分散。不难看出, 这些稀土元素地球化学特征, 在湖泊沉积环境分析中有一定应用前景。

表3 沙河街组泥岩稀土元素地球化学参数

顺序号	样品编号	湖泊亚相	Ce/Ce ^①	Eu/Eu ^①	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	$(\text{Ce}/\text{Yb})_N$	Sm/Nd	Eu/Sm
1	Yu-R-1	滨湖水下冲积扇	0.82	0.53	2.15	3.97	0.28	0.18
2	Yu-R-2	滨湖水下冲积扇	0.83	0.58	2.43	4.08	0.26	0.20
3	Yu-R-3	滨湖水下冲积扇	0.83	0.58	2.29	4.04	0.27	0.19
滨湖水下冲积扇泥岩平均值			0.83	0.56	2.28	4.03	0.27	0.19
4	Yu-R-4	浅湖	0.88	0.59	2.52	4.33	0.25	0.20
5	Yu-R-5	浅湖	0.87	0.60	2.56	4.26	0.24	0.20
6	Yu-R-6	浅湖	0.85	0.60	2.47	4.13	0.24	0.20
浅湖相泥岩平均值			0.87	0.60	2.52	4.24	0.24	0.20
7	Yu-R-7	盐湖-半深湖	0.88	0.58	2.88	4.45	0.21	0.19
8	Yu-R-8	盐湖-半深湖	0.98	0.51	2.93	6.75	0.21	0.17
9	Yu-R-9	盐湖-半深湖	0.89	0.59	2.98	4.38	0.21	0.20
盐湖-半深湖相泥岩平均值			0.92	0.56	2.93	4.91	0.21	0.19
10	Yu-R-10	深湖	0.90	0.61	2.86	4.96	0.22	0.21
11	Yu-R-11	深湖	0.89	0.61	2.78	4.82	0.23	0.21
12	Yu-R-12	深湖	0.87	0.60	2.75	4.58	0.23	0.21
13	Yu-R-13	深湖	0.87	0.60	2.68	4.46	0.23	0.21
深湖相泥岩平均值			0.88	0.61	2.77	4.70	0.23	0.21
沙河街组 13 个泥岩平均值			0.87 ± 0.05	0.58 ± 0.02	2.59 ± 0.33	4.43 ± 0.5	0.24 ± 0.03	0.20 ± 0.01
洞庭湖软泥 ^[6]			0.86	0.61	2.85	6.16	0.21	

注: $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 与 $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$ 式中的 N, 代表与球粒陨石归一化。

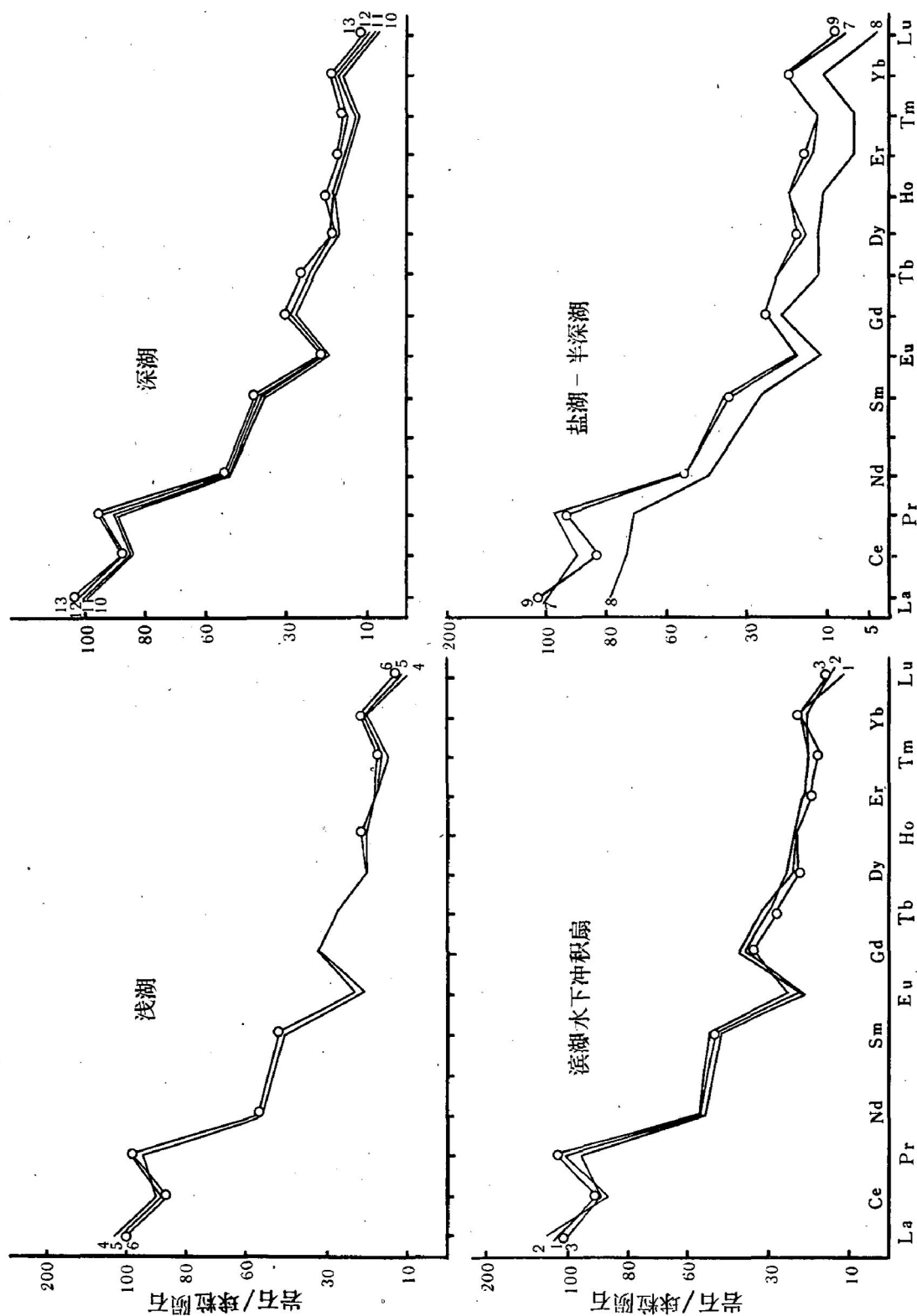


图3 沙河街组四个湖泊亚相泥岩的稀土模式曲线
(图内数码同表1顺序号)

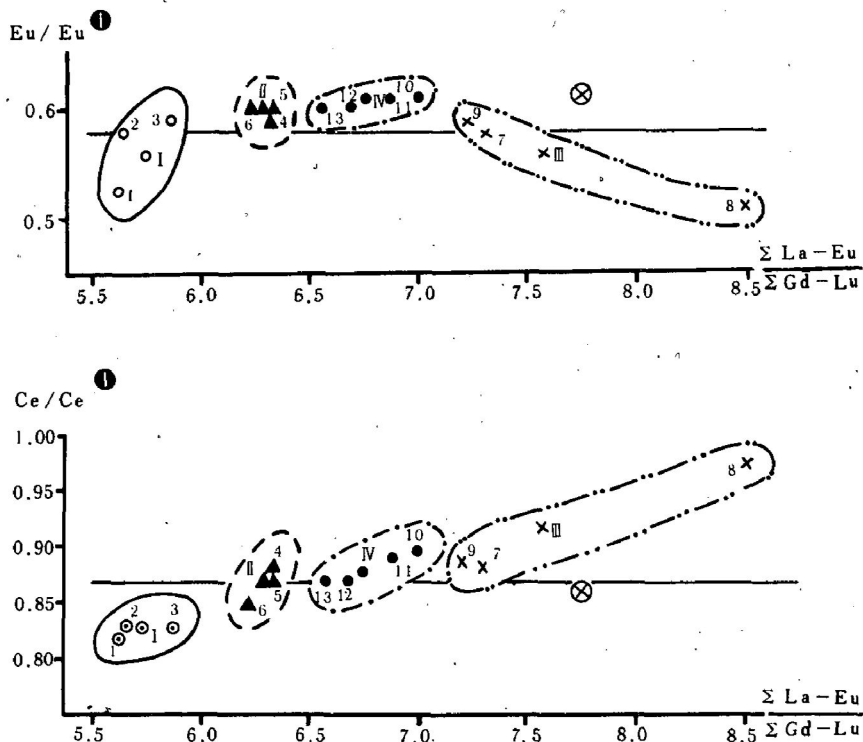


图4 沙河街组四个湖泊亚相泥岩在 $\text{Eu}/\text{Eu}^0 - \Sigma \text{La} - \text{Eu} / \Sigma \text{Gd} - \text{Lu}$ (a)

与 $\text{Ce}/\text{Ce}^0 - \Sigma \text{La} - \text{Eu} / \Sigma \text{Gd} - \text{Lu}$ (b) 图解中的投影

(图内数码同表1、表3顺序号; ⊗—洞庭湖软泥的投点)

三、讨论与认识

国内外一些学者^[9,10,11], 根据沉积岩中稀土元素组成特点, 探讨不同沉积环境中稀土元素来源及其化学演化规律。本文用东濮凹陷沙河街组泥岩的稀土总量、模式曲线、稀土配分及某些地球化学参数, 来讨论本区泥岩稀土元素的供给来源、富集规律, 可能对含油气区的沉积相分析, 可以提供一些有价值的参数。

1. 泥岩的稀土元素供给来源 沙河街组四个湖泊亚相泥岩的稀土元素组成相似 ($\Sigma \text{REE} = 163.97 - 239.09$ ppm), 其中滨湖水下冲积扇泥

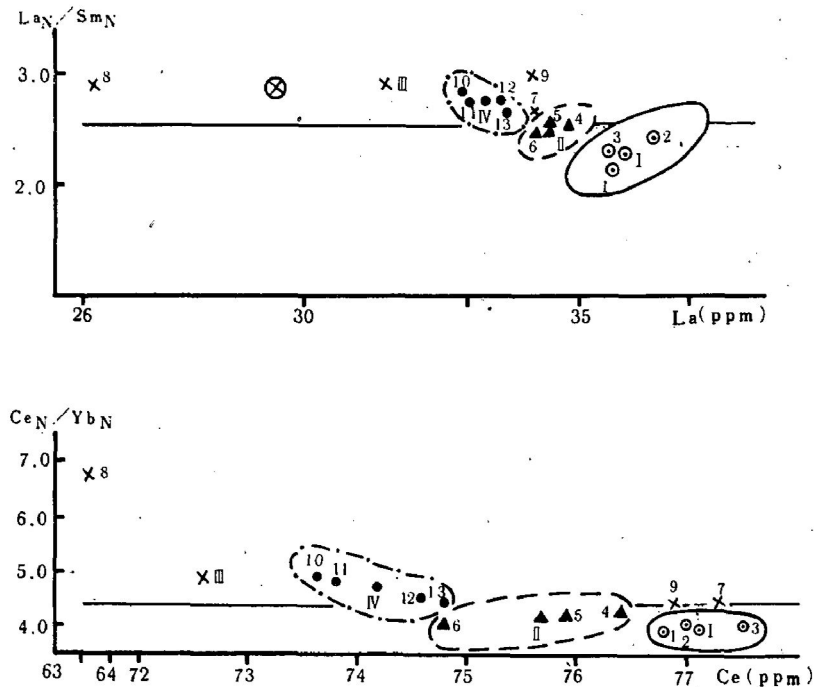


图5 沙河街组泥岩在 $\text{La}_N/\text{Sm}_N - \text{La}$ (a) 与

$\text{Ce}_N/\text{Yb}_N - \text{Ce}$ (b) 图解中的投影^[7,8]

(图例同图4)

岩的 ΣREE 最高、盐湖-半深湖相泥岩最低。它们的模式曲线均表现为同一形状, 曲线一致地向右倾斜, 且呈平行变化, 中等 Ce、Eu 负异常。地球化学参数, 如 $\text{Ce}/\text{Ce}^\ominus$ 、 $\text{Eu}/\text{Eu}^\ominus$ 、 Sm/Nd 、 Eu/Sm 等也较相似。它们的单一稀土元素含量也十分接近。稀土高峰元素都是 Ce, 次高峰元素为 La 或 Y。这些特征均表明本区泥岩的稀土元素来源相同。盐湖-半深湖相泥岩的稀土含量较其他三个湖泊亚相泥岩低, 可能与干旱蒸发湖盆生成的大量硫酸盐矿物或卤化物矿物, 对稀土元素的富集具有某些抑制作用有关^[12]。

2. Ce、Eu 亏损原因 从本区泥岩的稀土元素配分特点来看, 它不具有玄武岩的 $\text{Eu}/\text{Eu}^\ominus \approx 1$ 、 $\Sigma\text{La}-\text{Eu}/\Sigma\text{Gd}-\text{Lu} \approx 1$ 及稀土模式曲线近于平坦型的特点。但本区泥岩的稀土元素分布特征与当代洞庭湖软泥极为一致, 两者都出现 Ce、Eu 中等亏损。之所以出现 Ce 与 Eu 的亏损, 是因为 Ce 在自然界主要以 Ce^{3+} 与 Ce^{4+} 两种价态形式存在。由 Eh-pH 图解 (图 6) 清楚地看出, 当 $\text{Eh} > 0$ (即在高氧逸度) 时, Ce^{3+} 容易氧化成 Ce^{4+} , 而 Ce^{4+} 常以难溶解的 CeO_2 析出, 并与其他三价稀土离子分离。况且, Ce 在水域中停留时间较短, 仅为 50 年左右, 相当于其他稀土元素的 $1/8$ ^[14]。所以, 在湖泊等沉积环境中 Ce 浓度偏低, 稀土组成出现 Ce 的亏损。

依照 J. Wright 等人^[15]提出的 δCe 值是反映水体氧化还原环境指示剂的意见, 可将沙河街组泥岩的 δCe 值分为两种类型: 滨湖水下冲积扇和浅湖相泥岩的 $\delta\text{Ce} = -0.10 \sim -0.17$, 水体呈氧化性; 盐湖-半深湖和深湖相泥岩的 $\delta\text{Ce} = 0.02 \sim 0$, 则水体呈还原性。

试验资料还表明^[8], 在还原条件下, Eu^{3+} 很容易还原成 Eu^{2+} 。后者通常不跟随其他三价稀土离子存在于溶液里, 而是与 Ca^{2+} 一起沉淀, 使粘土矿物富集的深湖相泥岩出现 Eu 亏损。一方面, 在氧化条件下, Ce 亏损的溶液可以在沉积物的风化淋滤过程中形成; 另一方面, 这种亏损 Ce 的溶液, 还可以与在还原条件下已经亏损 Eu 的另一种溶液发生混合或运移^[16]。由此可见, 在不同湖泊亚相泥岩中常出现中等程度的 Eu 亏损和不太明显的 Ce 亏损。这与我们研究的情况是完全符合的。

致谢: 本项工作得到中原油田研究院领导的支持。寿剑峰和袁政文等在样品提供和工作上均给予热情帮助, 文中还引用了他们的部分资料。承蒙贺自爱教授级高级工程师、洪庆玉教授审阅文稿, 并提出宝贵意见, 一并致以衷心谢忱。

参 考 文 献

- [1] 郑凌茂等, 1984, 沉积学报, 第2卷, 第2期。
- [2] 赵滋林、刘孟慧主编, 1987, 东濮凹陷下第三系砂体微相和成岩作用。华东石油学院出版社。
- [3] 李任伟等, 1987, 地质科学, 第2期。
- [4] 张金亮、俞惠隆, 1989, 石油与天然气地质, 第10卷, 第1期。
- [5] 孙永传、李蕙生编, 1986, 碎屑岩沉积相和沉积环境。地质出版社。

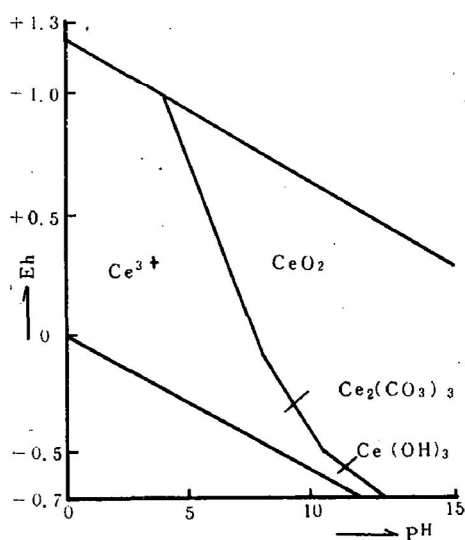


图6 Ce在25℃和0.1MPa时的 Eh-pH 图解^[13]

- [6] 王贤觉等, 1982, 地球化学, 第1期。
- [7] Haskin, L. A. and Haskin, M. A., 1968, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, Vol. 32, No. 3, P. 443—447.
- [8] 刘英俊、曹励明等编著, 1984, 元素地球化学。科学出版社。
- [9] 赵振华, 1982, 地质地球化学, 第1期。
- [10] Ронов, А. Б. и др., 1972, *Геохимия* (12), 1483—1514.
- [11] Taylor, S. R. et al., 1978, *The Earth, Its Origin, Structure and Evolution*, Science Press, 353—372.
- [12] 赵伦山、张本仁编著, 1988, 地球化学。地质出版社。
- [13] Brooking, B. G., 1983, *Geochemical Journal*, Vol. 17, No. 5.
- [14] Piper, D. Z., 1974, *Chemical Geology*, Vol. 21, No. 2.
- [15] Wright, J. et al., 1984, *Geological Society of America, Special Paper*, No. 196.
- [16] Möller, P. et al., 1979, *Chemical Geology*, Vol. 26, No. 1.

REE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MUDSTONES FROM EOGENE SHAHEJIE FORMATION IN DONGPU DEPRESSION

Yu Huilong Zhang Jinliang Xu Lunxun

(*Jiangnan College of Petroleum*)

Abstract

The total content of REE (ΣREE) from mudstones of the Eocene Shahejie Formation in Dongpu Depression is relatively high, the average value is 215.34 ppm. Ce is the highest of the REE group, ΣCe is richer than ΣY and $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ is also high (2.73 on average). These mudstones yield right declined W-shaped curves with negative Ce and Eu anomalies, therefore, their REE distribution patterns are parallel to each other. In addition, the REE parameters ($\text{Ce}/\text{Ce}^\oplus$, $\text{Eu}/\text{Eu}^\oplus$, Sm/Nd , $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$, $\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}$ and $\text{Ce}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$) only vary within a narrow range with small deviations. This indicates that they were deposited in a lake basin environment.