

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 济阳拗陷稀土元素特征及其 在物源对比中的应用

陈庆春<sup>1)</sup> 吴智平<sup>2)</sup> 李伟<sup>2)</sup>

1) 南京大学地球科学系, 210093; 2) 石油大学地球资源与信息学院, 山东东营, 257061

**内容提要** 物源是控制沉积物中 REE 组成最主要的因素, 济阳拗陷区岩石稀土元素特征表明: ① 济阳拗陷古生界与华北地台其他地区同时代地层岩石的 REE 分布特征具有极大的相似性, 这体现了晚古生代济阳拗陷区所处的整个华北地台区为一稳定的克拉通沉积盆地, 地层横向分布稳定, 具有一致的物源和构造背景; ② 济阳拗陷古生界为中生界的物源, 反映了济阳拗陷区由古生代稳定地台型沉积到中生代山间盆地沉积的转变, 中生代洼陷区的沉积主要来自对附近凸起区古生代地层的剥蚀; ③ 新生界样品与中生界样品的 REE 分布模式具有很大的相似性, 从一个侧面反映了济阳拗陷中生代与新生代的构造格局的转变, 中生代接受沉积的部分洼陷区至古近纪成为供给物源的凸起区。

**关键词** 济阳拗陷 稀土元素 分布模式 物源分析

济阳拗陷位于渤海湾盆地的西南部, 是中国东部重要的含油气盆地。该盆地是在华北古生代地台基础上发育而成, 经历了印支运动、燕山运动及喜马拉雅运动多期次构造运动, 盆地发育具有“多幕式”特征, 中生代与新生代的盆地的构造背景、沉积格局存在明显差异, 发育有多个区域性的不整合面, 地层遭受了强烈剥蚀。由于国内外不少学者成功地应用了 REE 进行沉积物物源示踪研究 (Taylor et al., 1985; 王金土, 1990; Millero, 1992; Lee et al., 1993; 杨忠芳等, 1997; 杨守业等, 1999), 因此本文在对济阳拗陷区自泰山群到馆陶组各组段地层岩石的稀土元素特征研究的基础上, 对其物源进行了分析和对比, 以探讨济阳拗陷凹陷区和凸起区的沉积与剥蚀的关系, 这对于了解盆地的形成与演化过程具有重要意义。

## 1 样品来源及分析方法

在济阳拗陷及鲁西隆起区北缘采集到从太古宇泰山群到新近系馆陶组不同层位的样品 87 个 (采样位置如图 1 所示)。经中国科学院高能物理研究所进行中子活化分析 (INAA), 测得了各样品的 La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb、Lu 等 8 个 REE 特征值 (表 1), INAA 测得的单一稀土元素准确度优于 5%, 精度可达 2%~4%。由于中子活化分析数据中缺少镨和钆

的值, 笔者等采用公式:

$$\delta Eu = (Tb_N \cdot Sm_N \cdot Sm_N)^{1/3}$$

和

$$\delta Ce = (Nd_N \cdot La_N \cdot La_N)^{1/3}$$

近似求出  $\delta Eu$  和  $\delta Ce$  (唐建武等, 1999); 球粒陨石标准采用 Boynton (1984) 的球粒陨石稀土含量推荐值 (王中刚等, 1989); 此外, 为了更好地反映各样品之间的“亲源”关系, 本文依据样品的 REE 各元素的丰度值, 对样品进行了“Q”型聚类分析研究, 求得了各样品间的相似系数。

## 2 岩石 REE 分布模式及物源对比

### 2.1 太古宇泰山群

济阳拗陷太古宇泰山群岩性主要为破裂状混合岩化黑云母二长片麻岩和破裂状混合岩化黑云斜长变粒岩。样品轻稀土元素富集程度较高, (La/Yb)<sub>N</sub> 分别为 28.83 和 32.90;  $\delta Eu$  分别为 0.97 和 1.15, Eu 正常到正异常;  $\delta Ce$  分别为 0.88 和 1.11, Ce 轻微的负异常到轻微的正异常。以上特征值与浙江乌岙的黑云二长片麻岩和黑云斜长片麻岩 (王中刚等, 1989) 相比较, 较为接近 (图 2)。

### 2.2 下古生界

济阳拗陷下古生界主要发育海相的碳酸盐岩和泥页岩。图 3 表明, ZH604-7 泥岩样品的曲线与

注: 本文为国家自然科学基金项目 (编号 40102008) 和国家“973”项目 (编号 1999043304) 的成果。

收稿日期: 2002-07-09; 改回日期: 2003-03-10; 责任编辑: 周健。

作者简介: 陈庆春, 男, 1963 年生, 博士研究生, 高级工程师。主要从事石油开发工程技术研究与管理工。通讯地址: 210093, 南京大学地球科学系; 电话: 0546-8861922; Email: cqcc@mail.slof.com。



表1 济阳拗陷代表性岩石样品稀土元素含量( $\times 10^{-6}$ )及特征值  
Table 1 REE analysis ( $\times 10^{-6}$ ) of samples from the Jiyang depression

样品号	岩性	层位	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	(La/Yb) <sub>N</sub>	$\delta$ Eu	$\delta$ Ce
F7-2	泥岩	Es <sup>3</sup>	51.6	79.7	50.7	6.5	1.44	0.803	2.89	0.347	12.04	0.73	0.74
F7-3	泥岩	Es <sup>3</sup>	61.8	92.4	61.8	7.5	1.64	0.882	3.10	0.384	13.44	0.74	0.71
F7-5	钙质泥岩	Es <sup>3</sup>	5.6	7.8	11.3	0.7	0.14	0.083	0.19	0.025	20.05	0.68	0.52
F7-6	泥岩	Es <sup>3</sup>	54.5	83.6	57.7	6.1	1.61	0.538	1.66	0.180	22.13	0.99	0.72
F7-7	泥岩	Mz	37.9	53.0	28.9	3.4	0.87	0.261	1.48	0.162	17.26	0.99	0.73
F7-8	安山岩	Mz	32.1	48.4	51.5	4.6	1.19	0.602	1.80	0.236	12.02	0.84	0.62
K93-1	泥岩	Es <sup>2</sup>	47.0	72.1	51.9	5.9	1.39	0.758	2.83	0.332	11.20	0.77	0.71
K93-3	泥质细砂岩	Es <sup>2</sup>	59.1	89.0	57.7	6.4	1.41	0.692	2.57	0.335	15.50	0.76	0.73
K93-4	泥岩	Es <sup>2</sup>	61.6	86.8	18.0	6.9	1.59	0.750	2.83	0.351	14.68	0.80	1.02
K93-5	凝灰质泥岩	Mz	67.7	109.0	69.7	7.4	1.89	0.544	1.14	0.128	40.04	1.01	0.76
K94-1	泥岩	Es <sup>3</sup>	41.7	58.9	37.7	4.1	0.85	0.411	2.14	0.294	13.14	0.74	0.70
K94-2	砂岩	Es <sup>3</sup>	43.8	66.8	53.6	4.6	1.01	0.589	2.20	0.309	13.42	0.72	0.68
K94-3	泥岩	Es <sup>3</sup>	32.2	50.6	33.8	4.1	0.91	0.443	1.49	0.179	14.57	0.77	0.74
K94-6	凝灰质泥岩	Mz	108.0	166.0	114.0	11.2	2.67	0.683	1.94	0.211	37.53	1.00	0.72
G17-3	粉砂岩	Ed	27.8	43.3	44.5	3.6	1.01	0.553	1.84	0.231	10.19	0.87	0.64
G17-4	粉砂岩	Es <sup>1</sup>	13.9	19.7	12.0	1.9	0.51	0.262	0.99	0.120	9.46	0.86	0.72
G17-5	粉砂岩	Es <sup>2</sup>	28.9	44.9	23.6	3.7	0.82	0.505	1.96	0.249	9.94	0.71	0.79
G17-6	安山质角砾岩	Kq	18.4	24.3	16.0	3.6	1.00	0.444	1.23	0.170	10.09	0.93	0.66
G41-1	玄武岩	Ek	20.4	27.9	43.8	4.1	1.29	0.399	1.23	0.174	11.18	1.14	0.51
G41-3	砂岩	Ek	35.8	57.5	15.0	4.6	0.97	0.677	2.67	0.345	9.04	0.66	1.02
G41-5	砂岩	Mz	30.4	45.3	37.5	3.5	0.81	0.358	1.41	0.192	14.54	0.82	0.66
G41-7	砂岩	Mz	58.1	87.5	57.7	7.2	1.40	1.000	3.96	0.539	9.89	0.62	0.72
G41-8	煌斑岩	Mz	163.0	275.0	194.0	23.2	5.74	1.470	2.15	0.225	51.11	1.03	0.76
G41-10	砂岩	Mz	25.9	39.2	31.8	3.1	0.82	0.393	1.60	0.216	10.91	0.86	0.68
G531-2	泥岩	Ng	19.4	21.0	37.5	2.7	0.67	0.385	1.60	0.231	8.17	0.79	0.42
G531-4	砂岩	Mz	75.8	131.0	94.9	13.8	3.72	1.300	2.66	0.279	19.21	0.98	0.77
GQ101-3	砂质泥岩	Ng	28.6	42.0	37.3	4.4	1.26	0.587	1.45	0.162	13.30	0.93	0.64
GQ110-1	砂质泥岩	Ng	29.6	45.9	50.1	4.4	1.13	0.605	1.96	0.223	10.18	0.82	0.62
GQ110-4	砂岩	Ng	51.4	101.0	59.6	8.2	1.99	0.754	2.30	0.259	15.07	0.89	0.89
GQ110-7	砂岩	Mz	33.4	50.4	38.4	4.0	0.84	0.377	1.18	0.146	19.08	0.77	0.69
JQ4-1	玄武岩	Ng	24.8	25.1	29.8	4.6	1.60	0.610	1.29	0.124	12.96	1.13	0.46
JQ4-2	砂岩	Ng	18.3	28.6	24.3	2.4	0.62	0.287	0.93	0.114	13.32	0.86	0.68
JQ4-3	泥岩	Ng	39.8	61.7	44.8	5.6	1.57	0.887	2.59	0.297	10.36	0.86	0.71
JQ4-4	砂岩	Ng	31.2	56.4	29.9	4.2	1.28	0.725	1.54	0.234	13.66	0.91	0.88
JQ4-5	泥岩	Ng	15.4	25.3	16.7	2.0	0.50	0.353	1.03	0.186	10.08	0.73	0.76
JQ4-6	粗砂岩	Ek	20.1	36.8	27.3	2.5	0.91	0.377	0.91	0.153	14.96	1.11	0.79
JQ4-7	泥岩	Ek	30.3	42.1	32.0	3.7	1.06	0.646	1.73	0.259	11.81	0.85	0.65
JQ4-8	泥岩	Ek	40.7	71.3	42.5	4.6	1.10	0.675	1.82	0.287	15.08	0.75	0.83
JQ4-9	砂岩	Mz	31.2	60.9	32.8	4.6	1.11	0.687	1.91	0.311	11.01	0.76	0.92
JQ4-10	泥灰岩	Mz	40.1	74.8	26.8	5.3	0.70	0.094	3.23	0.421	8.37	0.84	1.02
JQ4-11	泥岩	Mz	47.8	82.1	34.5	6.1	1.14	0.082	3.09	0.388	10.43	1.30	0.92
JQ4-12	砂岩	Mz	13.0	22.7	17.1	2.8	0.68	0.354	1.59	0.163	5.51	0.80	0.76
JQ4-13	玄武岩	Mz	23.9	29.7	20.9	5.0	1.54	0.685	1.86	0.290	8.66	0.99	0.62
JQ4-14	细砂岩	Mz	41.9	65.8	15.7	5.5	0.05	0.687	2.68	0.325	10.54	0.03	1.04
JQ4-15	火山碎屑岩	Mz	56.2	92.9	41.7	6.2	0.79	0.712	2.98	0.361	12.71	0.43	0.87
JQ4-16	含砾粗砂岩	Mz	27.7	43.7	17.1	4.2	1.01	0.583	1.87	0.214	9.99	0.77	0.89
JQ4-17	泥灰岩	Mz	37.4	63.0	49.2	5.7	1.36	0.658	2.32	0.317	10.87	0.81	0.74
JQ3-5	玄武岩	Ek	18.7	13.1	37.1	4.4	1.65	0.751	2.05	0.212	6.15	1.13	0.27
QG1-1	砂岩	P	37.3	58.5	52.4	4.7	1.04	0.627	1.86	0.240	13.52	0.72	0.67
QG1-2	砂岩	Mz	16.9	26.5	12.1	2.7	0.74	0.330	1.50	0.200	7.60	0.91	0.84
QG1-4	砂岩	Mz	30.8	51.5	27.8	4.1	1.14	0.729	3.18	0.432	6.53	0.83	0.83
QG2-1	砂岩	Mz	29.3	42.7	35.1	4.0	0.91	0.549	1.94	0.246	10.18	0.74	0.66

续表 1

样品号	岩性	层位	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	(La/Yb) <sub>N</sub>	δEu	δCe
QG3-1	砂岩	Mz	11.0	15.1	5.7	0.4	0.06	0.029	0.22	0.034	34.33	0.60	0.82
QG3-4	粉砂岩	Mz	30.5	37.2	29.3	3.4	0.81	0.855	2.79	0.360	7.37	0.62	0.59
CB14-1	粗砂岩	Mz	47.0	76.2	34.1	4.9	1.28	0.533	1.62	0.190	19.56	0.91	0.86
CB14-2	粗砂岩	Es <sup>4</sup>	29.1	45.8	27.4	3.2	0.91	0.265	1.41	0.199	13.91	1.07	0.77
CB14-3	泥岩	Es <sup>1</sup>	41.3	62.7	38.8	5.3	0.14	0.090	2.23	0.294	12.49	0.17	0.74
CB14-4	泥岩	Ng	33.7	50.9	16.3	4.1	0.99	0.720	3.50	0.414	6.49	0.71	0.92
CB14-7	泥岩	Ng	57.7	95.7	47.4	7.7	0.07	0.750	3.31	0.376	11.75	0.03	0.85
Y82-4	火山碎屑岩	K	142.0	3.5	102.0	9.2	0.86	0.452	0.13	0.020	765.88	0.42	0.01
Y87-2	泥质粉砂岩	Ng	30.9	52.1	32.5	3.4	0.86	0.452	1.46	0.251	14.27	0.82	0.79
SH-1	泥岩	Ng	38.2	64.7	32.6	4.1	0.86	0.587	1.63	0.274	15.80	0.66	0.85
ZC1-7	泥岩	Ek	36.9	50.2	46.3	6.3	1.58	0.643	2.39	0.344	10.41	0.88	0.60
LT1-1	砂岩	Mz	21.5	38.1	19.0	2.8	0.83	0.510	1.31	0.206	11.07	0.85	0.89
LT1-5	砂岩	Mz	26.3	42.3	21.0	3.4	0.97	0.582	1.93	0.319	9.19	0.86	0.83
BG1-1	砂岩	Ek-s <sup>4</sup>	22.1	32.8	22.0	4.2	1.11	0.576	0.91	0.150	16.30	0.85	0.71
PC1-1	砂岩	P	23.5	39.3	17.0	2.6	0.20	0.100	1.02	0.150	15.53	0.49	0.89
PC1-2	泥岩	P	33.2	45.6	21.7	5.2	1.40	0.802	2.14	0.361	10.46	0.83	0.76
ZH604-1	砂质泥岩	Ng	34.9	59.0	19.5	3.6	0.99	0.403	1.90	0.305	12.38	0.96	0.98
ZH604-2	泥岩	Ng	44.6	74.5	21.6	5.8	1.41	0.841	2.18	0.396	13.79	0.76	1.02
ZH604-4	泥岩	Es <sup>1</sup>	37.1	60.2	18.0	4.9	0.06	0.100	3.11	0.331	8.04	0.07	0.99
ZH604-5	砂岩	←	5.7	8.4	8.9	0.9	0.05	0.050	0.44	0.076	8.79	0.24	0.61
ZH604-7	砂质泥岩	←	124.0	217.0	157.0	14.9	3.98	0.704	1.60	0.212	52.25	1.22	0.77
ZH604-8	灰岩	←	3.8	5.7	7.2	0.5	0.18	0.114	0.24	0.015	10.48	0.92	0.58
ZH603-2	灰岩	O	1.8	2.4	8.0	0.3	0.03	0.036	0.08	0.052	14.85	0.30	0.40
ZH603-4	灰岩	O	1.6	2.4	5.7	0.2	0.08	0.023	0.06	0.012	17.83	1.24	0.48
ZH34-1	泥岩	Es <sup>1</sup>	57.5	105.0	56.1	8.5	1.19	0.619	3.08	0.407	12.59	0.56	0.88
ZH34-2	生物碎屑灰岩	Es <sup>1</sup>	11.1	20.9	11.4	1.3	0.44	0.202	0.90	0.121	8.31	1.06	0.89
ZH34-3	花岗片麻岩	Art	44.5	77.8	19.0	5.7	1.86	0.588	0.91	0.175	32.90	1.15	1.11
ZH202-1	泥岩	Es <sup>1</sup>	19.3	45.8	33.2	3.6	0.96	0.490	1.52	0.235	8.56	0.86	0.95
ZH202-3	泥岩	Es <sup>3</sup>	53.7	95.9	22.9	6.8	1.67	0.715	2.81	0.427	12.88	0.86	1.13
ZH202-5	含砾砂岩	Mz	19.1	30.5	15.9	2.4	0.72	0.074	1.28	0.138	10.06	1.57	0.81
LGX601-3	片麻岩	Art	12.4	23.5	13.7	1.1	0.35	0.193	0.29	0.124	28.83	0.97	0.88
ZG1-1	灰岩	O	26.1	47.1	18.2	4.9	1.32	0.621	2.51	0.382	7.01	0.88	0.97
TG11-1	灰岩	Pz	3.6	6.6	9.5	0.8	0.14	0.082	0.24	0.041	10.04	0.63	0.63
SG1-2	泥岩	Ek	48.7	91.1	50.9	6.6	1.57	0.790	2.33	0.360	14.09	0.80	0.88
GD20-1	安山岩	Mz	28.6	54.1	34.2	4.2	1.57	0.656	1.24	0.219	15.55	1.15	0.85
GD20-4	泥岩	Es <sup>3</sup>	36.2	65.5	39.6	4.1	0.98	0.586	2.19	0.361	11.14	0.75	0.84
球粒隕石			0.31	0.81	0.6	0.195	0.074	0.047	0.209	0.032			

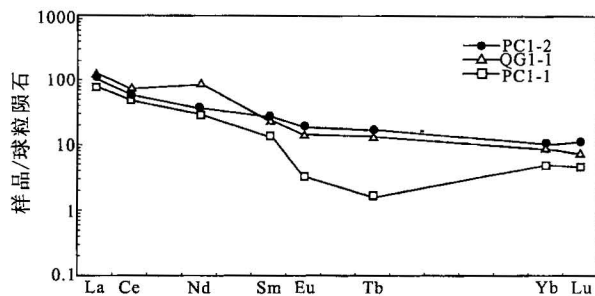


图 4 济阳拗陷上古生界样品 REE 分布模式  
Fig. 4 REE distribution patterns of samples from the Upper Paleozoic in the Jiyang depression

元素的分布特征表明,中基性的火山岩及与其有关的岩石,与砂泥岩相比,存在明显差异。

2.4.1 中基性火山喷出岩及相关岩性

由图 5a 可知,火山岩样品的 REE 总量和轻稀土富集程度变化都比较大, (La/Yb)<sub>N</sub> 为 8.66~51.11。除 JQ4-15(δEu 为 0.43) 为明显的负异常外,其他样品多为轻微的负异常到正常(δEu 为 0.84~1.15)。Ce 全部为负异常,δCe 为 0.62~0.87,与前人(王中刚等,1989)的研究结果相比较,表现出了较为典型的中基性岩浆岩的稀土元素配分模式特征。

2.4.2 砂、泥岩

从 REE 分布模式曲线形态来看,济阳拗陷中生界各砂、泥岩样品具有较大的相似性(图 5b):轻稀土

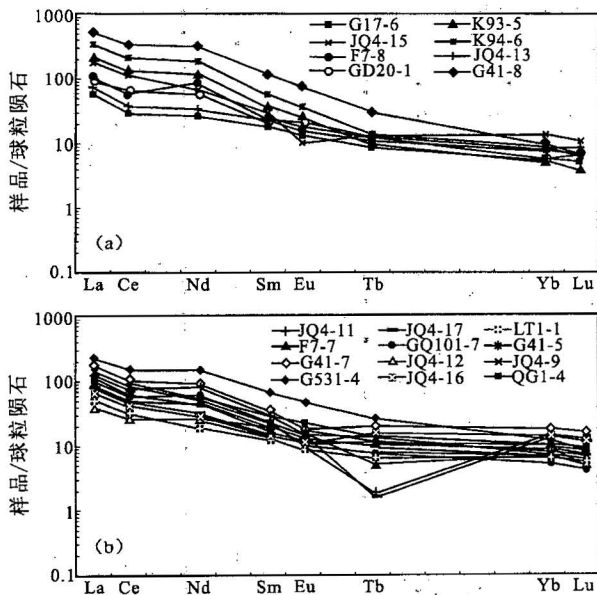


图5 济阳拗陷中生代火山岩及相关岩石(a)和砂、泥岩(b)REE分布模式

Fig. 5 REE distribution patterns of volcanic rocks and related rocks (a) and sandstone, mudstone (b) of the Mesozoic in the Jiyang depression

相对富集,  $(La/Yb)_N$  为5.51~19.56。除JQ4-11样品(泥岩)Eu为明显正异常( $\delta Eu$ 为1.30)外,其他多为负异常( $\delta Eu$ 为0.62~0.99)。Ce为负异常到正常( $\delta Ce$ 为0.66~1.04)。与上古生界样品的REE特征相比较,相似性较高;另外,聚类分析的结果显示出中生界的JQ4-9与上古生界的PC1-2,中生界的F7-7、GQ110-7和G41-5与上古生界的PC1-2相关性较高,相似系数都在0.80以上,这说明济阳拗陷中生界的物源主要来自于这个时期凸起区遭受剥蚀的早古生代地层。

2.5 新生界

2.5.1 孔店组(Ek)

孔店组主要发育各种泥岩、粉砂岩、砂岩、含砾砂岩、砾岩等碎屑岩,夹有少量玄武岩。玄武岩轻稀土富集,但富集程度相对不高,  $(La/Yb)_N$  为6.15~11.18。Eu轻微的正异常( $\delta Eu$ 为1.13~1.14)。Ce明显负异常( $\delta Ce$ 为0.27~0.51)(图6a);砂、泥岩样品的模式如图6b所示:轻稀土相对富集,  $(La/Yb)_N$  为9.04~16.30。除JQ4-16样品( $\delta Eu$ 为1.11)为正异常外,其余样品的Eu为负异常( $\delta Eu$ 为0.66~0.88)。Ce多为负异常,个别正常,  $\delta Ce$ 为0.60~1.02。分布模式及特征值均与中生界样品较为相似。

聚类分析的结果表明,孔店组的SG1-1与中生

界的G41-7、JQ4-17相关系数大于0.8,孔店组的G41-3与中生界的QG1-4的相关系数大于0.8,孔店组的JQ4-7与中生界的QG2-1、JQ4-16、LT1-5相关系数大于0.6。

2.5.2 沙河街组沙四段(Es<sup>4</sup>)

沙四段主要发育各种类型的泥岩及碳酸盐岩夹少量粉砂岩。沙四段只有CB14-2一个样品,聚类分析的结果表明它与中生界的F7-7相关性较高,相关系数大于0.85。两者的球粒陨石标准化图解上,曲线形态非常接近。

2.5.3 沙河街组沙三段(Es<sup>3</sup>)

沙三段主要发育灰色、深灰色泥岩,砂岩,含砾砂岩。其分布模式如图7a所示。

根据图中曲线的形态,可以大致分成两类,其中F7-5、F7-6的形态与中生界的中基性岩浆岩样品(如F7-8)较为相似,轻稀土相对富集, Eu负异常, Ce明显负异常。

其他沙三段样品的曲线形态与中生界砂、泥岩样品相接近,  $(La/Yb)_N$  为11.14~14.57。 $\delta Eu$ 为0.72~0.86, Eu负异常, Ce除ZH202-3外,其余均为负异常,  $\delta Ce$ 为0.52~0.84,与中生界砂、泥岩接近。

因此,沙三段的物源主要来自该时期凸起区遭

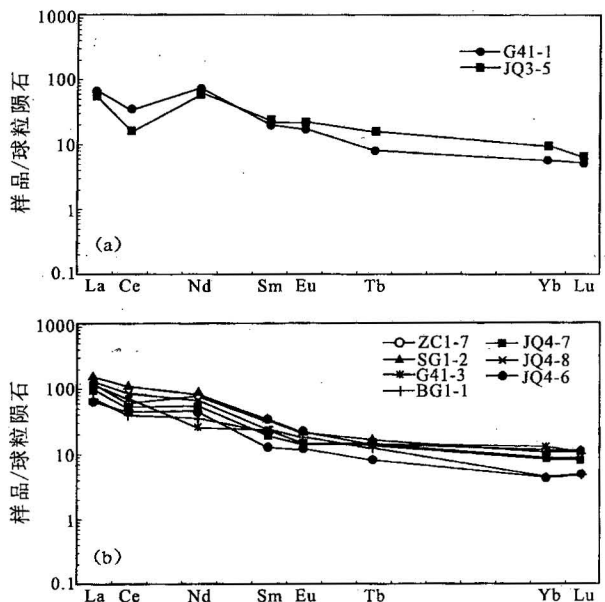


图6 济阳拗陷孔店组玄武岩(a)和砂、泥岩(b)REE分布模式

Fig. 6 REE distribution patterns of basalts (a) and sandstones and mudstones (b) of the Kongdian Formation in the Jiyang depression

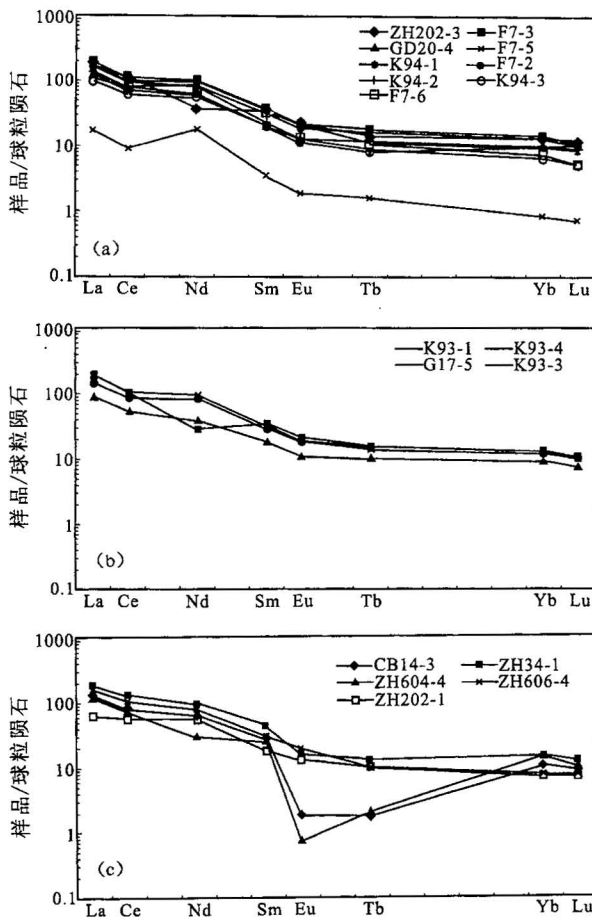


图 7 济阳拗陷沙河街组沙三段砂、泥岩(a)、沙二段砂、泥岩(b)和沙一段泥岩(c)REE 分布模式

Fig. 7 REE distribution patterns of sandstones and mudstones of Member 3 (a), Member 2 (b) and Member 1 (c) of the Shahejie Formation in the Jiyang depression

受剥蚀的中生代地层,就 F7 井而言, F7-5、F7-6(埋深分别为 2395.38 m、2398.2 m)其物源为中生界中上部中基性岩浆岩,而至其上部 F7-2(埋深 2040.1 m)所在层位沉积时,凸起区已下剥到中生代下部的碎屑岩。

### 2.5.4 沙河街组沙二段(Es<sup>2</sup>)

沙二段主要发育灰绿色、深灰色、杂色的泥岩、砂质泥岩,夹碳质泥岩、油页岩和泥晶白云岩,上部发育粉砂岩和含砾砂岩。其砂泥岩的 REE 分布模式如图 7b 所示。

沙二段样品的 REE 分布模式与中生界的较为接近,轻稀土富集, (La/Yb)<sub>N</sub> 为 9.94~15.50。Eu 值负异常, δEu 为 0.71~0.80。Ce 值负异常到正常, δCe 为 0.71~1.02。与中生界特征值相符。聚类分析

的结果也显示,沙二段的 G17-5 与中生界的 QG2-1 相关性较好,相关系数大于 0.85;沙二段的 K93-1、K93-3 与中生界的 G41-7、JQ4-17 相关性较好,相关系数大于 0.8,这也进一步表明沙二期拗陷内的物源主要来自于遭受剥蚀的中生代地层。

### 2.5.5 沙河街组沙一段和东营组(Es<sup>1</sup>—Ed)

由于东营组的样品只有一个,且与沙一段的特征相差不大,现将其与沙一段放在一起讨论。沙一段的岩性为灰绿色泥岩类夹生物灰岩和白云岩,上夹粉、细砂岩。东营组的样品为深灰色、灰绿色泥,砂质泥岩,夹粉砂岩、白云质灰岩。分析结果表明,济阳拗陷沙一段—东营组时期不同构造位置的样品,其 REE 分布模式存在差异。

(1)就 G17 井而言,沙一段的 G17-3 样品和东营组的 G17-4 样品的 REE 分布模式较相似:(La/Yb)<sub>N</sub> 分别为 9.46 和 10.19,轻稀土相对富集。δEu 分别为 0.86 和 0.87, Eu 弱负异常, δCe 分别为 0.64 和 0.72, Ce 负异常。同中生界中下部的砂泥岩样品相比,特征值较为相符。这说明该地区沙一段、东营组时期的物源主要来自高青凸起上遭受剥蚀的中生代地层。

(2)取自陈家庄凸起附近的 ZH604-4、ZH606-4,埕子口凸起附近的 CB14-3、ZH34-1 以及埕子口凸起和垦东凸起之间的 ZH202-1 等样品的 REE 分布特征与古生界样品有较大的相似性(图 7c)。其中 CB14-3、ZH34-1、ZH604-4 的 (La/Yb)<sub>N</sub> 为 8.04~12.59,轻稀土相对富集, δEu 为 0.07~0.56, Eu 明显负异常, δCe 为 0.74~0.99, Ce 负异常, REE 曲线形态与下古生界的 ZH604-5 和 ZH603-2 较为接近; ZH606-4、ZH202-1 的 (La/Yb)<sub>N</sub> 为 8.56~21.02,轻稀土富集, δEu 为 0.86~0.94, δCe 为 0.83~0.95,均为轻微负异常,和上古生界的特征值较为接近。由此可知,上述地区在沙一时期的物源应来自附近的陈家庄凸起、埕子口凸起和垦东凸起上遭受剥蚀的古生代地层,换句话说,也就是上述凸起区在沙一时期已被剥蚀到了古生界。

### 2.5.6 馆陶组(Ng)

馆陶期为拗陷沉积期,地层披覆于济阳拗陷古近纪所有的凸起和凹陷之上,主要以河流相沉积为主,在埕宁隆起、陈家庄凸起等凸起区边沿发育有山麓—洪积相沉积,下部为厚层含砾砂岩夹砂质泥岩,上部发育泥岩、砂质泥岩(帅德福等,1987)。

CB14-4、SH1-1、ZH604-1、ZH604-2、Y87-2 样品位于陈家庄凸起或埕子口凸起附近,其 (La/Yb)<sub>N</sub> 为 6.49~15.80,轻稀土富集程度相对不高, δEu 为

0.66~0.96, Eu 负异常到正常, REE 的曲线形态与太古宇泰山群的较为接近(图8a), 这表明馆陶期上述凸起周围的山麓—洪积相沉积主要来自遭受剥蚀的泰山群。

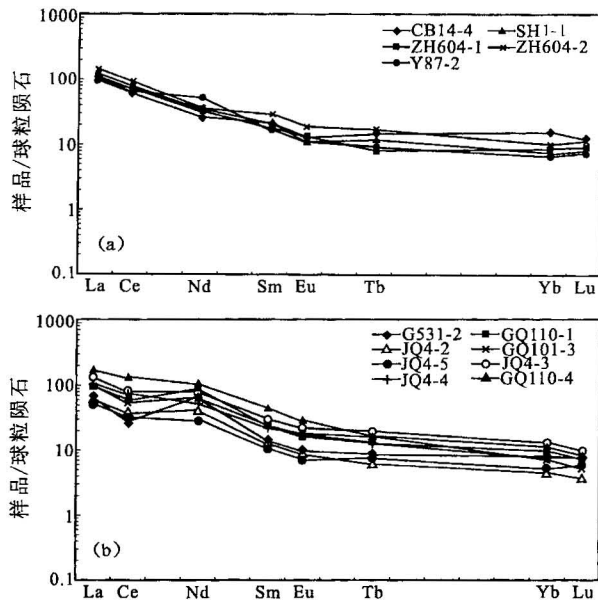


图8 济阳拗陷馆陶组砂、泥岩 REE 分布模式  
Fig. 8 REE distribution patterns of sandstone and mudstone of the Guangtao Formation in the Jiyang depression

除上述样品外,其他馆陶组样品的  $(La/Yb)_N$  为 8.17~15.07, 轻稀土富集,  $\delta Eu$  为 0.73~0.93, 负异常不是很明显,  $\delta Ce$  为 0.42~0.89, 负异常, 8个样品的 REE 特征表现出了较强的一致性(图8b), 这体现了济阳拗陷馆陶期均夷化后, 河流相沉积物化学组份的相似性, 其物源应为鲁西隆起和埕宁隆起上的中生界。

### 3 结论

(1) 济阳拗陷古生界样品与华北地台其他地区同时代样品 REE 分布特征的一致性进一步证实了晚古生代济阳拗陷区所处的整个华北地台地区为一统一、稳定的陆表海—海陆过渡相沉积环境, 盆地内为平缓的北高南低地势, 地层横向分布稳定, 具有一致的物源和构造背景, 为稳定的克拉通沉积盆地。据此, 我们可以断定, 济阳拗陷区古生代地层现今残余厚度在不同地区的巨大差异性, 是中、新生代构造运动造成的差异剥蚀作用所致。

(2) 样品 REE 分布模式的相似性, 反映了中生

界与下古生界两者之间存在的物源关系。由于来自于华北板块与扬子板块敛合过程中所产生的巨大的北(北)东向的挤压力, 使得印支构造运动在济阳拗陷区表现为北东—南西向挤压褶皱运动, 造成了本区地势起伏差异, 凸起和洼陷大致呈北东向相间排列(宗国洪等, 1998, 1999), 凸起区遭受剥蚀, 洼陷区接受沉积, REE 分布特征所体现出的中生界与古生界的物源关系, 进一步表明本区中生代洼陷区的沉积主要来自对凸起晚古生代地层的剥蚀。

(3) 新生界  $E_k$ 、 $E_s^4$ 、 $E_s^3$ 、 $E_s^2$  的所有样品及  $E_s^1$ 、 $E_d$  的部分样品与中生界样品的 REE 分布模式具有很大的相似性。济阳拗陷古近纪, 凸、凹相间, 沉积物源主要来自周围的隆起和内部的凸起, REE 分布特征所反映出的古近系与中生界的物源关系, 表明济阳拗陷区在中生代接受沉积的部分洼陷区至古近纪却成为供给物源的凸起区, 这从一个侧面反映了济阳拗陷中生代与新生代的构造格局的转变, 即凸起和洼陷由中生代的北东向相间排列转换为新生代的南南东(或南东)向相间排列。

(4) 济阳拗陷中生代的凹陷区或新生代的凹陷区, 其沉积物主要来自相邻凸起区。陈家庄凸起及其附近地区的样品的 REE 所反映出的物源关系表明, 在沙一沉积期, 陈家庄凸起已被剥蚀至古生界, 至馆陶组沉积期, 古生界已被剥蚀殆尽, 泰山群开始遭受剥蚀。

### 参 考 文 献

- 黄文辉, 杨起, 汤达桢, 等. 1999. 华北晚古生代煤的稀土元素地球化学特征. 地质学报, 73(4): 360~369.
- 帅德福, 王秉海, 等. 1987. 中国石油地质志(卷六): 胜利油田. 北京: 石油工业出版社.
- 唐建武, 金景福, 陶琰. 1999. 锡矿山锑矿田硅化岩的稀土元素特征及其地质意义. 地质地球化学, 27(4): 40~45.
- 王金土. 1990. 黄海表层沉积物稀土元素地球化学. 地球化学, (1): 44~53.
- 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 1989. 稀土元素地球化学. 北京: 科学出版社.
- 杨守业, 李从先. 1999. REE 示踪沉积物物源研究进展. 地球科学进展, 14(2): 164~167.
- 杨忠芳, 陈岳龙. 1997. 陆源碎屑沉积作用对化学元素配分的制约. 地质论评, 43(6): 593~600.
- 赵志根, 冯仕安, 唐修义. 1998. 微山湖地区石炭—二叠纪煤德稀土元素沉积地球化学. 地质地球化学, 26(4): 64~67.
- 赵志根, 唐修义, 李宝芳. 2000. 淮北煤田煤的稀土元素地球化学. 地球化学, 29(6): 578~583.
- 宗国洪, 施央生, 王秉海, 等. 1998. 济阳盆地中生代构造特征与油气. 地质论评, 44(3): 289~294.
- 宗国洪, 肖焕钦, 李常宝, 等. 1999. 济阳拗陷构造演化及其大地构造意义. 高校地质学报, 5(3): 275~282.

## References

- Huang Wenhui, Yang Qi, Tang Dazhen, et al. 1999. Geochemistry of rare earth elements in Late Paleozoic coals in the North China. *Acta Geologica Sinica*, 74(1): 74~83 (in Chinese with English abstract).
- Lee J H, Byrne R H. 1993. Complexation of trivalent rare earth elements (Ce, Eu, Gd, Tb, Yb) by carbonate ions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 295~302.
- Millero F J. 1992. Stability constants for the conformation of rare earth inorganic complexes as a function of ionic strength. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 3123~3132.
- Shuai Defu, Wang Binghai, et al. 1987. *Petroleum Geology of China, Vol (6): Shengli oil field*. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese).
- Taylor S R, McLennan S M. 1985. *The continental crust: Its composition and evolution*. Blackwell, 312.
- Tang Jianwu, Jin Jingfu, Tao Yan. 1999. REE geochemical characteristics of silicified rocks of Xikuangshan Antimony deposits and their geological significance. *Geology Geochemistry*, 27(4): 40~45 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jintu. 1990. REE geochemistry of surficial sediments from the Yellow Sea of China. *Geochemica*, (1): 44~53 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, et al. 1989. *Geochemistry of rare earth elements*. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Yang Shouye, Li Congxian. 1999. Research progress in REE tracer for sediment source. *Advance in Earth Science*, 14(2): 164~167 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhongfang, Chen Yuelong. 1997. Constrains of terrigenous clastic sedimentation on elements partitioning— with a discussion composition of the provenance through precambrian clastic sedimentary rocks in the Wutai area, Shanxi Province. *Geological Review*, 43(6): 593~600 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhigen, Feng Shian, Tang Xiuyi. 1998. REE sedimentary geochemistry of permocarboniferous coals in Weishanhu area. *Geology Geochemistry*, 26(4): 64~67 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhigen, Tang Xiuyi, Li Baofang. 2000. Geochemistry of rare earth elements of coal in Huabei coalfield. *Geochemica*, 29(6): 578~583 (in Chinese with English abstract).
- Zong Guohong, Shi Yangshen, Wang Binghai, Wang Jie. 1998. Mesozoic structures and their relations to hydrocarbon traps in the Jiyang basin. *Geological Review*, 44(3): 289~294 (in Chinese with English abstract).
- Zong Guohong, Xiao Huanqin, Li Changbao, Shi Yangshen, Wang Liangshu. 1999. Evolution of Jiyang depression and its tectonic implications. *Geological Journal of China Universities*, 5(3): 275~282 (in Chinese with English abstract).

## Geochemistry of Rare Earth Elements and Its Application in the Source Identification in the Jiyang Depression

CHEN Qingchun<sup>1)</sup>, WU Zhiping<sup>2)</sup>, LI Wei<sup>2)</sup>

1) *Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093*

2) *Department of Resources Sciences, Petroleum University, Dongying, Shandong, 257063*

### Abstract

The source of sediments is a principal factor that determines the constitution of rare earth elements (REE) in deposits. The REE distribution of rocks in the Jiyang Depression indicates the following: Firstly, the REE distribution of the Paleozoic in Jiyang Depression has very similar features with that of the rocks in the same formation in the other parts of the North China Platform (NCP), indicating that the whole NCP where the Jiyang Depression lies on was a stable craton basin of deposition that had laterally stable formations, a common source and the same geological setting during the Late Paleozoic; Secondly, the provenance of the Mesozoic came from the Paleozoic in the Jiyang Depression, implying the conversion of a stable platform during the Paleozoic to an intermountain basin during the Mesozoic, and the sediment in that Mesozoic sag mainly came from the denudation of the Paleozoic formation of the near a swell; Thirdly, the REE distribution from samples of the Cenozoic and Mesozoic is greatly similar, suggesting that the conversion of geological patterns occurred from the Mesozoic to Cenozoic and some sags of the Mesozoic became arch area of source in the Paleogene.

**Key words:** Jiyang depression; rare earth elements; distribution pattern; provenance analysis