

# 榆树林油田扶杨油层沉积岩地球化学特征及地质意义

施秋华<sup>1,2)</sup>, 袁亚娟<sup>1,2)</sup>, 夏斌<sup>1, 2, 3)</sup>, 林舸<sup>3)</sup>

1) 中山大学海洋学院, 广州, 510275; 2) 海洋石油勘探与开发广东高校重点实验室, 广州, 510275;  
3) 中国科学院广州地球化学研究所, 广州, 510640

**内容提要:**三肇凹陷榆树林油田扶杨油层中泥岩、粉砂岩和砂岩样品主量元素和微量元素地球化学分析表明, 多数主量元素含量中等, 与全球平均大陆上地壳(UCC)相比,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  含量较低, 而  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{MnO}$  含量均略高; 样品中的相容元素(V、Cr、Co、Ni 等)含量均低于澳大利亚后太古宙页岩(PAAS)和 UCC; 稀土元素总量为  $102 \times 10^{-6} \sim 276 \times 10^{-6}$ , 平均为  $188 \times 10^{-6}$ , 与 PAAS 表现出相似的球粒陨石标准化曲线, 显示了相似的物源和构造背景。元素间的相关性分析显示大部分元素与  $\text{SiO}_2$  负相关而与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  正相关, 说明大部分元素受到黏土矿物吸附作用的影响, 石英与长石矿物对这些元素表现出一定的稀释效应。根据主元素物源判别方程图和 Th-Hf-Co 图投影及  $\text{La}/\text{Hf}$ 、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$  值, 扶杨油层物源主要来自后太古宙长英质火山岩, 可能卷入了部分再循环沉积岩。通过一系列的构造背景判别图解分析, 表明扶杨油层沉积时以大陆岛弧环境为主。在对油层组进行了纵向古气候分析后, 认为 F1 油层组沉积时处于一个构造活动强、干旱的环境中, 所形成的沉积岩储层物性更好, 是油气勘探开发的重点层位。

**关键词:**扶杨油层; 沉积地球化学; 构造背景; 物源

在盆地的沉积建造过程中, 碎屑沉积岩在经历风化、剥蚀、搬运和沉积作用后, 其地球化学组成整体已有较大的改变, 但研究表明, 通过对一些特定元素及其组合的分析, 仍然可以从中得出源岩属性、风化程度、构造背景和古气候等方面的信息(Dickinson and Suczek, 1979; Sawyer, 1986; Roser and Korsch, 1986, 1988; McLennan et al., 1993, 1995; Andersen, 2005; Wu Sujuan et al., 2016; Ren Junping et al., 2016; Zhang long et al., 2017)。比如沉积岩的 REE、Zr、Sc、Y 等微量元素, 在风化、搬运和成岩过程中表现为非迁移性, 源区岩石中的丰度以及风化条件是控制沉积物中 REE 的主要因素, 而这些元素其相应比值(如  $\text{La}/\text{Sc}$ 、 $\text{La}/\text{Th}$ 、 $\text{Co}/\text{Th}$  等)被广泛应用于碎屑沉积岩物源和构造背景的研究(Bhatia and Taylor, 1981; Bhatia, 1983; Taylor and McLennan, 1985; Cox et al., 1995; Cullers, 2000, 2002; Ricardo et al., 2009; Lybrand et al., 2014; Pei Xianzhi et al., 2015; Hou Mingcai et al., 2016; Zhang Jianjun et

al., 2017)。

早期, 人们主要通过观察碎屑沉积岩中的矿物、沉积结构与构造、古生物化石等来推断沉积时的构造背景和物源等信息, 随着沉积地球化学的发展和分析技术的提高, 人们认识到沉积物中所含元素及同位素的含量变化、元素比值、聚集与分布规律也是沉积作用过程信息的重要载体, 通过分析这些规律, 在一定程度上可以判断源区的物性, 沉积时的大地构造背景和古气候, 对于含油气盆地目的油层而言, 正确把握这些信息对的区块的勘探开发方向至关重要。

扶杨油层作为松辽盆地榆树林油田的主要含油气层, 前人研究重点主要围绕通过地震、测井和岩心资料来分析油层的储层物性、砂体展布、成藏条件与模式等(Fu Xiaofei et al., 2009; Liu Yuan et al., 2010; Qi Huili et al., 2012)。但对于该油层的地球化学特征的研究鲜有发表, 对碎屑沉积岩的物源性质, 沉积构造背景和古气候变化等基本问题更是缺乏系统研究。因此, 本文从沉积地球化学的角度

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 41372208、40534019)资助的成果。

收稿日期: 2016-10-24; 改回日期: 2017-07-15; 责任编辑: 周健。

作者简介: 施秋华, 男, 1985 年生。博士, 助理研究员, 主要从事沉积地球化学研究。Email: 643407470@qq.com。

通讯作者: 袁亚娟, 女, 1986 年生。博士, 副研究员, 主要从事地球化学与石油地质研究。Email: yuanyaj3@mail.sysu.edu.cn。

探讨以上问题,以期为研究区现今的油气勘探方向提供依据。

## 1 地质背景

榆树林油田位于肇东市昌五镇附近,处于松辽盆地中央拗陷的次级负向构造单元三肇凹陷内(图1),凹陷内还开发有升平油田、宋芳屯油田、永乐油田以及肇州油田等。该凹陷西部与大庆长垣相邻,东南与朝阳沟阶地相接,平面上呈三角形被夹持于二者之间,北部为明水阶地,东部则过渡到东北隆起区的绥化凹陷等二级构造单元,总面积达 2000km<sup>2</sup> (Gao Ruiqie et al., 1997)。

三肇凹陷基底为加里东期、印支期花岗岩和古生界变质岩,白垩纪地层主要为沉积岩系,沉积物的厚度在 5000m 以上。凹陷自下而上发育有下白垩统的火石岭组(K<sub>1</sub>hs)、沙河子组(K<sub>1</sub>sh)、营城组(K<sub>1</sub>yc)、登娄库组(K<sub>1</sub>d)和泉头组(K<sub>1</sub>q)4个组以及上白垩统的青山口组(K<sub>2</sub>qn)、姚家组(K<sub>2</sub>y)、嫩江组(K<sub>2</sub>n)、四方台组(K<sub>2</sub>s)和明水组(K<sub>2</sub>m)5个组(图2)。该凹陷内主要含油层系为泉头组的扶杨油层和姚家岭组的葡萄花油层,扶杨油层为下白垩统泉头

组三、四段的扶余油层和杨大城子油层的合称,属于低渗透、低产、低丰度的大型油田。已探明上交扶杨油层地质储量 15751×10<sup>4</sup> t。

扶杨油层总体上是一套砂、泥岩互层沉积。前人依据该地区的钻井、岩性组合特征、测井曲线旋回特征将杨大城子油层自下而上划分为 YV~YI 五个油层组,将扶余油层自下而上划分为 FⅢ、FⅡ、FⅠ三个油层组(表1)。本次研究共采样品 32 块,均采自树 345 至加 423 井下白垩统泉头组扶杨油层,为井壁取芯。具体采样情况见表 1。所取岩样均较新鲜,未出现大量自生矿物,不存在强烈的变形、变质作用。

## 2 实验分析方法与结果

### 2.1 分析方法和精度

岩石化学分析在湖南省地质测试研究院的 Varian Vista-PRO 型 ICP-AES (CCD 全谱直读 ICP-AES) 测定,所有氧化物分析误差(RSD)小于 2%。微量元素包括稀土元素,在湖南省地质测试研究院用 PE-Elan 6000 型 ICP-MS 测试,除 Ga、Ho 等个别元素相对偏差为 5%~10%,其余大多数元

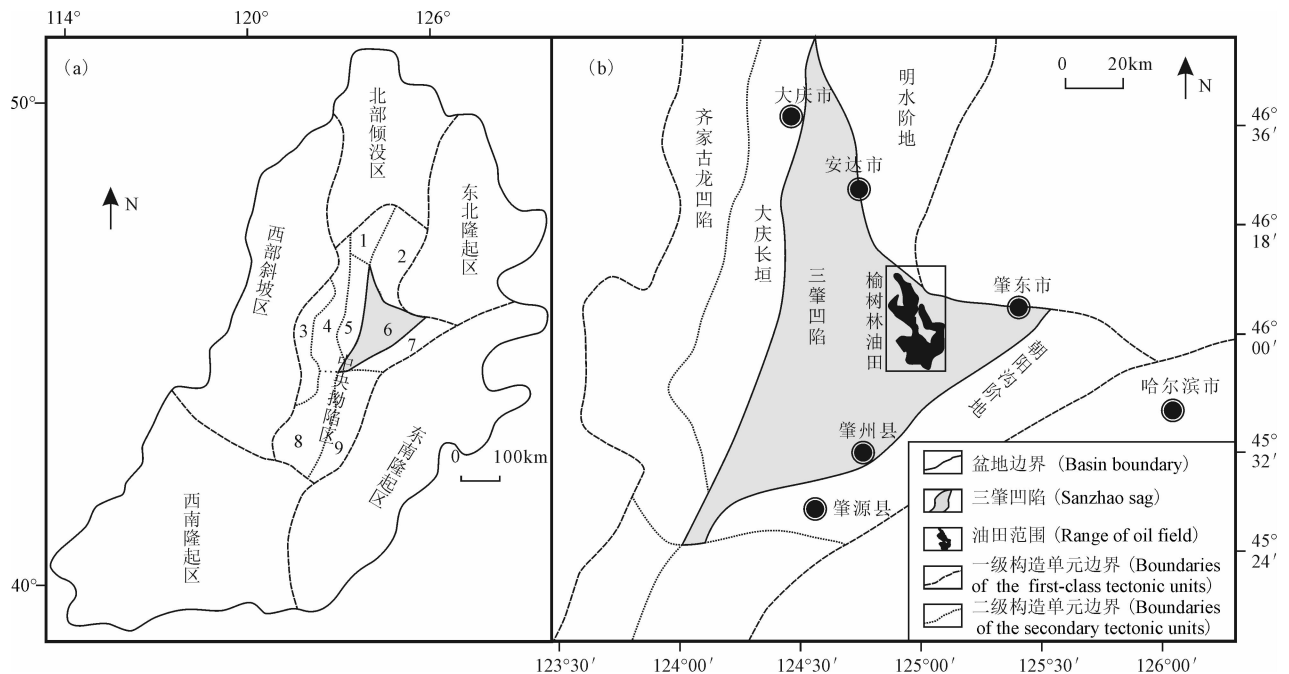


图1 松辽盆地构造分区图(a)及榆树林油田区域位置图(b)(据谭保祥等,1995;刘媛,2010 改编)

Fig.1 Tectonic zoning maps of Songliao Basin (a) and Location of Yushulin oilfield in Songliao basin (b) (modified after Tan Baoxianget al., 1995; Liu Yuan, 2010)

1—黑鱼泡凹陷; 2—明水阶地; 3—龙虎泡红岗阶地; 4—齐家古龙凹陷; 5—大庆长垣; 6—三肇凹陷;  
7—朝阳沟阶地; 8—长岭凹陷; 9—扶余华字井阶地

1—Heiyupao sag; 2—Mingshui bench; 3—Longhupao-Honggang bench; 4—Qijia-Gulong sag; 5—Daqing placantiline;  
6—Sanzhao sag; 7—Chaoyanggou bench; 8—Changling sag; 9—Fuyu-Huazijing bench



图 2 松辽盆地三肇凹陷地层柱状图(据 Sun Yu et al., 2010 改编)

Fig. 2 Stratigraphic column and location of Sanzhao sag in Songliao basin(modified after Sun et al., 2010)

表 1 扶杨油层划分表  
Table 1 Division of oil sub-layer

统	组	段	油层	油层组	视厚度(m)	岩性	采样情况(块)	
下白垩统	泉头组	泉四段	扶余	扶上组 (FⅠ)	20~34	绿色块状泥岩为主,夹紫红色块状泥岩,薄层泥质粉砂岩,具微斜层理,见大量粉末状或结晶状黄铁矿	11	泥岩:8; 粉砂岩:3
				扶中组 (FⅡ)	20~36	灰绿、绿色块状泥岩夹灰白色砂岩,与红色泥岩互层,在灰绿色泥岩中可见到水平层理,搅混构造,砂质岩中常见波状层理,交错层理	11	泥岩:4 粉砂岩:6 砂岩:1
				扶下组 (FⅢ)	20~35	红色块状泥岩夹灰白色粉砂岩,偶见少量灰绿色泥岩,泥岩含砂或钙质结核,泥岩斜层理发育,底部常见冲刷现象	9	泥岩:5 粉砂岩:3 砂岩:1
		泉三段	杨大城子	杨一组 (YⅠ)	50~102	紫红、灰绿色块状泥岩,紫灰色中厚层砂岩与过渡岩性,具斜层理,泥岩中含钙质团块	1	粉砂岩:1

素的相对偏差小于5%。总体分析结果可靠。主要元素和微量元素的分析流程分别见 Liu Yin et al. (1996)和 Li Xianhua et al. (2002)。元素的分析结果见表2。

## 2.2 主要元素特征

扶杨油层沉积岩的  $\text{SiO}_2$  含量中等(51.73%~74.41%),平均为63.68%,略高于澳大利亚后太古宙页岩(PAAS,  $\text{SiO}_2 = 62.80\%$ , Taylor and McLennan, 1985),但低于上地壳的平均值(UCC,  $\text{SiO}_2 = 66.62\%$ , Rudnick and Gao, 2003)。  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  的平均含量分别为0.69%、15.68%、5.49%、1.90%、2.59%、3.28%和1.84%。与UCC相比,样品的

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  含量较低,而  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{MnO}$  含量均略高于UCC。与PAAS相比,除  $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  高于PAAS的含量外,其余主要元素均明显低于PAAS的含量(图3)。

从泥岩到砂岩,由于粒度效应的控制作用, $\text{SiO}_2$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量随之增高, $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  的含量逐渐降低(图4),也表明随着成分成熟度的增高,长石和岩屑中的不稳定组分的含量逐渐降低。

对砂岩样品(13块粉砂岩和2块砂岩)分析表明,样品中的  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  等主要元素含量及其相关比值与典型杂砂岩平均值(Pettijohn et al., 1972; Bhatia, 1983)具有相似性。在砂岩类型判别图中

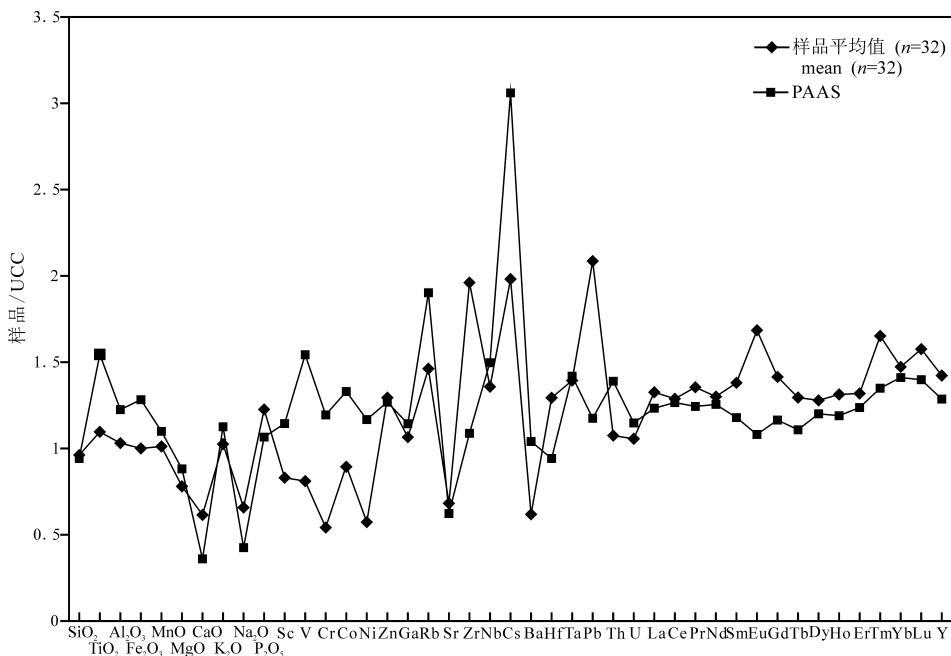


图 3 扶杨油层沉积岩的主要元素与微量元素平均值 UCC 标准化配分图

Fig. 3 Averages of major and trace element composition normalized to UCC for the samples from Fuyang oil layer of Yushulin oil field

表 2 扶杨油层沉积岩主量(%)与微量( $\times 10^{-6}$ )元素分析结果Table 2 Major(%) and trace element compositions ( $\times 10^{-6}$ ) of samples from Fuyang oil layer of Yushulin oil field

样号	YI-1	FⅢ-1	FⅢ-4	FⅢ-5	FⅢ-7	FⅢ-8	FⅢ-9	FⅢ-10
岩性	粉砂岩	泥岩	泥岩	泥岩	泥岩	粉砂岩	粉砂岩	砂岩
SiO <sub>2</sub>	69.55	59.79	64.82	63.32	60.57	63.23	62.91	73.77
TiO	0.68	0.88	0.74	0.68	0.72	0.52	0.67	0.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.92	18.49	16.61	16.6	16.69	13.49	17.98	11.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.66	8.78	6.02	7	7.67	3.2	5.76	1.63
MnO	0.06	0.13	0.06	0.03	0.07	0.25	0.03	0.09
MgO	1.25	1.66	1.69	1.88	2.52	1.37	2.23	0.58
CaO	0.71	0.88	0.98	1.17	0.8	6.85	0.92	3.77
K <sub>2</sub> O	3.02	3.72	4.22	4.7	3.18	1.81	4.53	1.18
Na <sub>2</sub> O	2.64	2.18	1.47	1.14	1.6	1.93	1.65	2.63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.2	0.19	0.15	0.23	0.14	0.21	0.12
Total	97.63	96.71	96.8	96.67	94.05	92.79	96.89	95.39
Sc	8.98	13.75	11.79	13.21	13.81	7.81	14.54	5.55
V	65.15	100.6	72.26	82.57	83.09	70.3	96.4	45.07
Cr	45.83	44.97	50.38	55.07	70.27	40.6	54.11	42.95
Co	9.34	22.74	11.84	11.81	29.52	13.85	16.17	14.59
Ni	19.99	28.51	23.47	26.95	41.79	23.53	31.25	12.45
Zn	64.36	96.84	77.76	93.17	99.69	63.81	88.75	31.9
Ga	18.53	17.34	19.82	19.73	18.45	16.93	19.98	17.44
Rb	103.6	121.1	150.7	169.7	125	90.18	167.5	38.06
Sr	232	205.4	214.8	212.2	214.9	295.2	206.8	177
Zr	371.1	462.2	364.8	350.1	402.2	306.8	428.8	245.1
Nb	16.58	16.56	15.63	16.5	18.55	12.87	18.97	11.93
Cs	7.69	11.75	11.66	13.79	9.67	6.92	13.93	1.97
Ba	407.6	144.5	427	363	282.5	534.8	206.8	774.1
Hf	6.89	4.85	3.52	4.6	9.79	8.26	7.29	12.34
Ta	1.28	1.23	1.14	1.23	1.57	0.93	1.46	1.04
Pb	31.06	42.02	27.21	23.91	71.21	21.67	31.72	20.7
Th	9.89	10.66	11.46	13.16	12.77	8.87	14.35	7.03
U	2.32	2.67	2.34	1.98	3.2	2.26	3.08	1.7
La	35.72	39.33	39.39	46.84	49.96	37.48	50.99	27.91
Ce	69.22	78.04	76.64	94.69	105.5	72.27	101.3	51.4
Pr	7.93	9.38	9.19	11.08	11.76	8.86	11.68	6.49
Nd	27.98	34.67	33.42	40.26	43.33	32.31	42.64	24.15
Sm	5.09	6.59	6.18	7.36	7.89	6.09	8	4.45
Eu	1.3	1.7	1.58	1.8	1.84	1.7	1.83	1.57
Gd	4.14	3.8	6.53	4.13	5.37	6.98	4.03	6.71
Tb	0.72	0.92	0.86	1	1.09	0.81	1.1	0.62
Dy	4.13	5.37	4.73	5.66	6.04	4.39	6.15	3.53
Ho	0.91	1.18	1.05	1.19	1.28	0.94	1.35	0.72
Er	2.57	3.27	2.85	3.25	3.6	2.64	3.73	1.96
Tm	0.44	0.53	0.48	0.53	0.56	0.4	0.59	0.33
Yb	2.63	3.15	2.79	3.18	3.33	2.51	3.57	1.94
Lu	0.43	0.54	0.47	0.53	0.56	0.41	0.59	0.33
Y	26.36	33.48	28.26	32.22	35.3	26.16	36.96	19.83
CIA	62.62	66.74	65.45	64.61	68.91	43.40	65.93	47.16
REE	163.21	188.47	186.16	221.50	242.11	177.79	237.55	132.11
LREE/HREE	9.22	9.05	8.42	10.38	10.09	8.32	10.25	7.19
Eu/Eu*	0.87	1.04	0.76	1.00	0.86	0.80	0.99	0.88
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1.30	1.00	1.94	1.07	1.33	2.30	0.93	2.86
La/Th	3.61	3.69	3.44	3.56	3.91	4.23	3.55	3.97
样号	FⅢ-12	FⅢ-13	FⅡ-1	FⅡ-2	FⅡ-3	FⅡ-4	FⅡ-5	FⅡ-6
岩性	泥岩	粉砂岩	泥岩	粉砂岩	泥岩	粉砂岩	粉砂岩	粉砂岩
SiO <sub>2</sub>	65.76	61.54	61.63	66.3	59.68	68.03	63.05	68.85

续表 2

样号	FⅢ-12	FⅢ-13	FⅡ-1	FⅡ-2	FⅡ-3	FⅡ-4	FⅡ-5	FⅡ-6
岩性	泥岩	粉砂岩	泥岩	粉砂岩	泥岩	粉砂岩	粉砂岩	粉砂岩
TiO	0.71	0.74	0.81	0.58	0.77	0.54	0.82	0.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.86	16.75	15.59	14	18.35	13.18	16.84	13.43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.71	6.54	5.53	4.11	7.67	3.95	6.47	3.01
MnO	0.04	0.07	0.08	0.14	0.09	0.1	0.05	0.25
MgO	2.23	2.47	2.18	2.06	2.29	1.82	2.56	1.16
CaO	0.77	2.2	3.8	3.93	1.34	3.85	1.56	3.52
K <sub>2</sub> O	3.78	4.06	3.83	1.57	4.98	2.06	3.35	2.31
Na <sub>2</sub> O	2.3	1.76	1.78	1.95	1.33	2.01	1.54	2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.17	0.19	0.16	0.24	0.14	0.21	0.16
Total	97.32	96.3	95.42	94.8	96.74	95.68	96.45	95.24
Sc	11.66	13.58	12.19	8.8	14.93	7.85	13.15	8.3
V	74.35	92.47	85.73	60.81	83.51	52.38	89.89	50.22
Cr	46.78	57.43	54.06	47.16	62.3	40.66	56.63	39.86
Co	14.65	16.48	15.78	13.63	17.99	14.23	17.24	11.44
Ni	24.24	32.4	34.58	23.37	35.53	22.27	34.65	19.19
Zn	86.56	89.16	80.41	79.56	99.95	70.93	96.91	65.43
Ga	17.77	20.43	19.26	17.35	19.45	17.19	17.52	14.21
Rb	132.4	147.7	128.8	84.15	187.6	87.36	142.5	82.17
Sr	202.1	224.9	256.8	248.2	202.7	242.8	206.6	190.3
Zr	407.7	442.7	408.1	310.1	418.9	308.5	413.8	352.6
Nb	17.8	18.18	16.6	13.66	19.29	12.61	19.18	15.51
Cs	11.62	12.1	9.19	6.81	14.49	5.89	11.53	6.5
Ba	222.1	370.9	455	521.9	220	570.6	196.6	259.9
Hf	5.15	8.04	4.13	6.48	8.07	8.2	6.54	10.94
Ta	1.41	1.32	1.12	0.91	1.14	0.86	1.4	1.17
Pb	38.51	39.1	26.42	23.12	42.74	20.64	60.66	27.18
Th	12.1	12.51	11.7	8.58	13.5	7.58	12.47	9.83
U	3.31	3.05	2.57	2.04	2.93	1.81	3.09	2.6
La	45.62	48.14	41.64	32.46	49.95	27.69	47.01	31.9
Ce	90.7	93.25	79.16	63.44	96.9	54.2	91.04	60.63
Pr	10.56	10.8	9.32	7.63	11.59	6.69	10.49	7.31
Nd	38.37	38.47	33.89	28.04	42.32	24.11	37.85	26.69
Sm	6.98	6.98	6.18	5.24	8.07	4.41	6.83	5.07
Eu	1.56	1.74	1.71	1.46	1.87	1.33	1.62	1.16
Gd	6.19	5.59	4.69	7.02	5.1	6.15	4.65	4.11
Tb	0.93	0.96	0.85	0.73	1.09	0.64	0.95	0.76
Dy	5.15	5.4	4.76	3.99	6.04	3.59	5.14	4.26
Ho	1.14	1.26	1.04	0.88	1.32	0.8	1.14	0.97
Er	3.29	3.39	3.05	2.44	3.62	2.18	3.19	2.72
Tm	0.53	0.56	0.48	0.4	0.58	0.37	0.52	0.45
Yb	3.23	3.29	2.91	2.37	3.3	2.17	3.23	2.72
Lu	0.54	0.54	0.48	0.38	0.56	0.36	0.53	0.46
Y	31.54	32.03	28.52	24.09	36.82	21.78	31.28	27.89
CIA	64.51	59.73	52.71	53.73	64.69	51.25	65.18	52.41
REE	214.79	220.37	190.16	156.48	232.31	134.69	214.19	149.21
LREE/HREE	9.23	9.50	9.41	7.59	9.75	7.28	10.07	8.07
Eu/Eu*	0.73	0.85	0.97	0.74	0.89	0.78	0.88	0.78
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1.59	1.41	1.33	2.45	1.28	2.34	1.19	1.25
La/Th	3.77	3.85	3.56	3.78	3.70	3.65	3.77	3.25
样号	FⅡ-7	FⅡ-8	FⅡ-9	FⅡ-10	FⅡ-12	FI-2	FI-3	FI-4
岩性	砂岩	泥岩	粉砂岩	粉砂岩	泥岩	粉砂岩	泥岩	泥岩
SiO <sub>2</sub>	74.41	56.57	60.28	63.58	51.73	62.9	63.63	67.15
TiO	0.57	0.74	0.93	0.59	0.71	0.66	0.68	0.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.18	17.66	18.65	12.7	15.08	13.89	15.23	16.77

续表 2

样号	F II-7	F II-8	F II-9	F II-10	F II-12	FI-2	FI-3	FI-4
岩性	砂岩	泥岩	粉砂岩	粉砂岩	泥岩	粉砂岩	泥岩	泥岩
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.43	8.81	8.83	2.7	11.23	5.22	3.11	3.99
MnO	0.07	0.07	0.15	0.34	0.27	0.16	0.13	0.03
MgO	0.72	2.4	2.99	1.81	1.37	1.57	2.21	1.81
CaO	1.27	2.47	0.85	6.65	4.18	4.73	3.94	0.75
K <sub>2</sub> O	1.36	5.12	1.38	1.88	2.53	3.58	3.63	4.32
Na <sub>2</sub> O	2.78	0.96	1.97	2.49	2.39	1.78	1.89	1.48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.25	0.21	0.14	0.26	0.18	0.32	0.22
Total	96.9	95.05	96.24	92.88	89.75	94.67	94.77	97.29
Sc	6.88	15.85	12.97	7.82	11.19	9.66	12.24	12.13
V	61.04	71.75	94.78	76.01	76.51	71.64	120.3	68.25
Cr	45.52	66.84	53.34	39.2	45.87	46.19	53.14	46.32
Co	7.4	15.24	19.1	14.95	29.01	12.68	14.71	11.99
Ni	13.79	37.43	24.42	21.25	38.63	26.57	27.89	23.94
Zn	51.73	93.87	153.9	80.74	68.38	81.02	70.67	90.14
Ga	21.12	19.46	18.59	14.73	17.18	19.52	18.28	19.82
Rb	46.07	178.7	88.78	67.12	72.15	116.1	115.4	142.8
Sr	178.7	226.4	228.2	239.6	240.9	294.6	234.3	186.6
Zr	317.2	396.9	472.7	311.3	376.2	356	351.1	400.9
Nb	14.26	17.35	17.25	10.76	13.41	14.65	15.63	19.64
Cs	2.32	13.86	6.98	5.03	5.67	8.89	8.02	11.2
Ba	949.4	268.2	233.3	422.8	341.9	628.4	346.7	364.2
Hf	6.84	9.85	6.97	13.56	10.35	9.23	12.03	5.44
Ta	1.11	1.36	1.45	0.83	1.05	1.02	1.02	1.5
Pb	22.26	33.48	51.59	45.02	60.17	31.4	23.84	28.14
Th	8.28	13.57	11.36	7.33	9.74	10.43	11.42	12.97
U	2.03	2.06	2.95	2.25	6.16	2.56	3.48	2.54
La	31.51	49.39	41.12	30.95	40.44	40.69	46.17	41.64
Ce	57.84	99.37	85.09	60.55	76.28	79.66	90.36	82.37
Pr	7.16	11.48	10.21	7.55	9.32	9.68	11.16	9.58
Nd	25.89	42.25	36.98	28.01	34.99	35.88	42.85	34.82
Sm	4.58	7.96	6.53	5.25	6.63	6.78	8.1	6.5
Eu	1.64	1.99	1.82	1.5	1.88	2.01	2.31	1.46
Gd	7.08	5.89	4.61	5.42	5.81	6.07	7.17	5.73
Tb	0.62	1.12	0.91	0.71	0.93	0.95	1.11	0.89
Dy	3.21	5.97	4.99	3.86	5.19	5.04	5.91	4.93
Ho	0.72	1.27	1.11	0.82	1.09	1.1	1.24	1.09
Er	2.03	3.4	3.04	2.29	3.02	2.98	3.38	3.09
Tm	0.34	0.54	0.52	0.38	0.49	0.49	0.53	0.53
Yb	2.08	3.33	2.92	2.21	2.85	2.99	3.08	3.15
Lu	0.36	0.53	0.48	0.35	0.48	0.46	0.52	0.53
Y	18.97	35.46	30.66	23.09	30.38	29.35	34.44	30.19
CIA	61.20	60.33	74.81	41.07	51.37	47.41	51.74	66.43
REE	145.06	234.49	200.33	149.85	189.40	194.78	223.89	196.31
LREE/HREE	7.82	9.63	9.78	8.34	8.54	8.70	8.76	8.85
Eu/Eu*	0.88	0.89	1.01	0.86	0.93	0.96	0.93	0.73
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	2.82	1.46	1.31	2.03	1.69	1.68	1.93	1.50
La/Th	3.81	3.64	3.62	4.22	4.15	3.90	4.04	3.21
样号	FI-5	FI-6	FI-8	FI-9	FI-11	FI-16	FI-18	FI-24
岩性	泥岩	泥岩	泥岩	粉砂岩	泥岩	泥岩	泥岩	粉砂岩
SiO <sub>2</sub>	61.36	64.28	60.37	63.49	61.41	64.26	67.31	64.28
TiO	0.93	0.64	0.72	0.71	0.83	0.83	0.8	0.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.57	16.73	16.04	16.82	17.5	15.96	17.45	16.41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.46	6.42	6.25	6.84	7.13	6.83	4.12	4.63
MnO	0.12	0.03	0.1	0.07	0.05	0.08	0.03	0.07

续表 2

样号	FI-5	FI-6	FI-8	FI-9	FI-11	FI-16	FI-18	FI-24
岩性	泥岩	泥岩	泥岩	粉砂岩	泥岩	泥岩	泥岩	粉砂岩
MgO	2.41	1.52	2.32	2.21	2.87	2.56	1.78	1.82
CaO	0.86	1.08	3.22	0.79	0.89	0.75	0.73	1.98
K <sub>2</sub> O	3.19	4.4	4.28	3.94	4.28	3.33	2.91	4.19
Na <sub>2</sub> O	2.41	1.67	1.52	1.46	1.64	1.69	1.36	1.76
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.13	0.21	0.14	0.25	0.19	0.19	0.14
Total	96.46	96.9	95.03	96.47	96.85	96.48	96.68	95.9
Sc	13.52	12.31	13.42	13.49	14.86	12.72	11.78	11.55
V	88.68	68.74	126.1	87.54	128.9	84.81	69.28	56.42
Cr	51.99	41.78	52.45	55.47	51.95	62.01	44.18	42.8
Co	17.2	11.26	16.74	13.3	18.46	17.76	12.44	16.56
Ni	23.71	20.68	35.56	27.3	32.41	31.12	24.1	23.33
Zn	96.49	82.63	96.57	104.3	124.5	99.48	88.19	77.33
Ga	18.42	17.46	17.26	23.58	19.61	16.95	19.82	22.5
Rb	109.7	154.8	148.3	165.1	155.2	125.6	131.5	148.7
Sr	223.2	203.4	224.5	225.6	208.9	186	196	227
Zr	434.2	360.4	407.3	378.2	430.2	409.2	402.1	353.8
Nb	18.28	15.27	16.2	15.43	17.55	17.79	19.36	15.36
Cs	8.71	13.51	11.66	13.89	16.08	8.99	10.29	11.79
Ba	164.5	190.6	246.1	633.3	243.7	267.2	382.6	669.6
Hf	1.08	6.36	0.59	8.81	4.91	9.36	3.55	1.87
Ta	1.64	1.22	1.18	1.13	1.66	1.36	1.65	1.18
Pb	47.06	26.93	32.88	50.66	44.46	29.19	29.59	28.53
Th	10.79	12.28	11.86	12.06	14.53	12.29	12.69	12.56
U	3.04	3.68	3.37	3.08	3.58	2.85	2.71	3.71
La	41.81	36.02	46.61	37.33	58.3	42.47	43.18	35.39
Ce	85.34	72.28	91.89	74.31	118	87.72	85.17	67.74
Pr	9.98	8.36	10.84	8.64	14	9.88	10.35	8.31
Nd	35.65	30.36	39.27	30.86	51.51	34.77	37.19	30.69
Sm	6.14	5.6	7.23	5.64	9.67	6.08	6.85	5.81
Eu	1.69	1.2	1.76	1.53	2.3	1.49	1.61	1.72
Gd	5.49	5.01	6.33	5.03	8.45	5.62	6.09	5.17
Tb	0.88	0.81	0.98	0.79	1.31	0.88	0.93	0.91
Dy	4.79	4.67	5.31	4.6	7.01	4.98	5.04	4.87
Ho	1.08	1.01	1.14	1.06	1.49	1.17	1.1	1.09
Er	3.05	2.92	3.25	2.96	4.14	3.14	3.08	3
Tm	0.49	0.49	0.52	0.5	0.67	0.53	0.51	0.51
Yb	2.89	2.93	3.09	2.95	4.01	3	2.99	3.06
Lu	0.48	0.51	0.52	0.49	0.65	0.52	0.49	0.51
Y	28.22	28.31	31.8	28.24	40.83	30.64	29.03	29.48
CIA	67.40	63.84	55.25	67.48	66.16	67.31	72.21	59.80
REE	199.76	172.17	218.74	176.69	281.51	202.25	204.58	168.78
LREE/HREE	9.43	8.38	9.35	8.61	9.15	9.19	9.11	7.83
Eu/Eu*	0.89	0.69	0.80	0.88	0.78	0.78	0.76	0.96
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1.57	1.41	1.69	1.41	1.74	1.55	1.68	1.40
La/Th	3.87	2.93	3.93	3.10	4.01	3.46	3.40	2.82
样号	总平均	泥岩	粉砂岩	mdfmdf mdf	砂岩	PAAS	UCC	
岩性	n=32	n=17	n=13		n=2	页岩	上地壳	
SiO <sub>2</sub>	63.74	61.98	64.46		74.09	62.8	66.62	
TiO	0.70	0.76	0.66		0.54	0.99	0.64	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.93	16.83	15.31		12.15	18.9	15.4	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.68	6.57	5.08		2.03	7.18	5.6	
MnO	0.10	0.08	0.13		0.08	0.11	0.1	
MgO	1.95	2.10	1.95		0.65	2.19	2.48	
CaO	2.25	1.68	2.97		2.52	1.29	3.59	



续表 2

样号	总平均	泥岩	粉砂岩 mdfmdf mdf	砂岩	PAAS	UCC
岩性	$n=32$	$n=17$	$n=13$	$n=2$	页岩	上地壳
K <sub>2</sub> O	3.33	3.90	2.90	1.27	3.68	3.27
Na <sub>2</sub> O	1.85	1.70	1.91	2.71	1.19	2.8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.18	0.21	0.17	0.12	0.16	0.15
Total	95.73	95.82	95.54	96.15		
Sc	11.63	13.02	10.66	6.22	16	14
V	79.86	87.38	74.16	53.06	150	97
Cr	50.25	52.96	47.63	44.24	110	92
Co	15.63	17.01	14.54	11.00	23	17.3
Ni	27.07	30.04	25.35	13.12	55	47
Zn	85.78	90.90	85.86	41.82	85	67
Ga	18.62	18.59	18.55	19.28	20	17.5
Rb	122.65	138.20	114.69	42.07	160	84
Sr	220.52	214.07	235.53	177.85	200	320
Zr	379.72	398.97	369.72	281.15	210	193
Nb	16.21	17.14	15.46	13.10	18	12
Cs	9.76	11.18	9.07	2.15	15	4.9
Ba	384.68	289.99	435.11	861.75	650	624
Hf	7.05	6.10	7.93	9.59	5	5.3
Ta	1.23	1.33	1.15	1.08	1.28	0.9
Pb	35.41	36.92	35.57	21.48	20	17
Th	11.27	12.21	10.60	7.66	14.6	10.5
U	2.84	3.09	2.68	1.87	3.1	2.7
La	41.09	44.63	38.22	29.71	38.2	31
Ce	81.01	88.85	74.82	54.62	79.6	63
Pr	9.61	10.47	8.90	6.83	8.83	7.1
Nd	35.01	38.23	32.35	25.02	33.9	27
Sm	6.46	7.06	5.98	4.52	5.55	4.7
Eu	1.67	1.75	1.59	1.61	1.08	1.0
Gd	5.63	5.73	5.30	6.90	4.66	4.0
Tb	0.90	0.97	0.84	0.62	0.774	0.7
Dy	4.96	5.39	4.64	3.37	4.68	3.9
Ho	1.09	1.17	1.03	0.72	0.991	0.83
Er	3.02	3.26	2.85	2.00	2.85	2.3
Tm	0.50	0.53	0.48	0.34	0.405	0.3
Yb	2.94	3.13	2.81	2.01	2.82	2.0
Lu	0.49	0.53	0.46	0.35	0.433	0.31
Y	29.74	32.09	28.26	19.40	27	21
CIA	60.09	62.92	57.30	54.18	69.52	51.20
REE	194.36	211.68	180.30	138.59	184.77	148.14
LREE/HREE	8.91	9.22	8.74	7.50	9.49	9.33
Eu/Eu*	0.86	0.85	0.87	0.88	0.65	0.71
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1.64	1.52	1.61	2.84	1.37	1.65
La/Th	3.66	3.66	3.65	3.89	2.62	2.95

(图 5),其数据点主要分布在杂砂岩和岩屑砂岩范围内,表明扶杨油层砂岩样品分选较差,石英成分不高,搬运距离较短,成熟度低的特点。

### 2.3 微量元素特征

扶杨油层沉积物中 Rb、Cs、Sr 和 Ba 的平均含量分别为  $120 \times 10^{-6}$ 、 $9.54 \times 10^{-6}$ 、 $222 \times 10^{-6}$  以及  $377 \times 10^{-6}$ 。Rb、Cs、Ba 均相对 PAAS 亏损,Rb、Cs 相对 UCC 则表现为富集。样品中的相容元素(V、

Cr、Co、Ni 等)含量均比 PAAS 和 UCC 低。高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf 等)含量均高于 UCC。与 PAAS 相对,除 Nb、Ta 含量略低外,Zr、Hf 均明显高于 PAAS。

样品稀土元素总量为  $102 \times 10^{-6} \sim 276 \times 10^{-6}$ ,平均为  $188 \times 10^{-6}$ 。所有样品与 PAAS 表现出相似的球粒陨石标准化曲线(图略),且轻稀土明显富集((La/Yb)<sub>N</sub>平均为 9.97),重稀土平坦((Gd/Yb)<sub>N</sub>

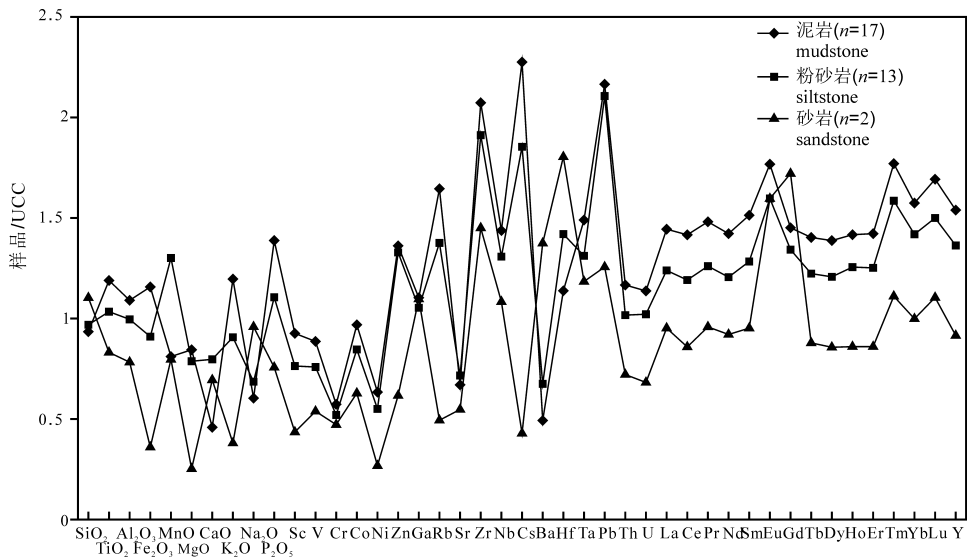


图4 扶杨油层泥岩—粉砂岩—砂岩主微量元素平均值 UCC 标准化配分图

Fig. 4 Average composition normalized to UCC of mudstones, siltstones and sandstones from Fuyang oil layer of Yushulin oil field

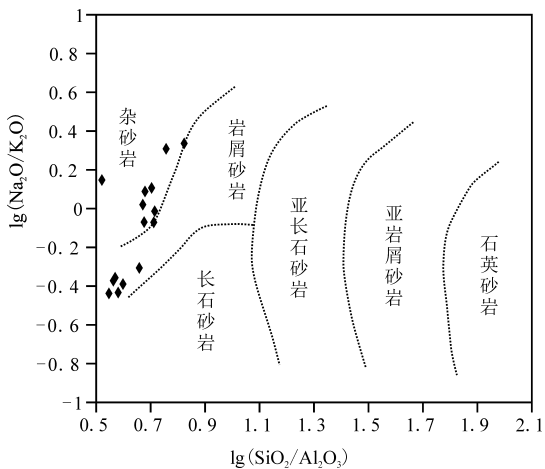


图5 扶杨油层砂岩类型主元素判别图  
(据 Pettijhon et al., 1972)

Fig. 5 Geochemical classification of sandstones from Fuyang Oil Layer (after Pettijhon et al., 1972)

平均为 1.63), 以及 Eu 弱负异常 ( $Eu/Eu^* = 0.72 \sim 1.03$ , 平均为 0.84)。微量元素中除 Ga、Sr、Ba、Hf、Eu、Gd 处, 其余元素的含量均随着沉积物粒度的减小而增加。

### 3 讨论

#### 3.1 元素在矿物中的分布

为了更好的理解元素间的相互联系及其控制因素, 将部分元素作 Pearson 相关性分析, 结果见表 3。

$SiO_2$  与大部分元素呈负相关性, 表明石英和长

石矿物对这些元素有较明显的稀释效应。与此相反,  $Al_2O_3$  对这些元素, 特别是微量元素, 大部分表现出正相关性, 表明  $Al_2O_3$  主要赋存于黏土矿物中, 这一点通过  $Al_2O_3$  与 CIA 的高相关系数也可以看出 ( $r=0.83$ ), 黏土矿物对大部分微量元素有一定吸附作用。而黏土的吸附作用则一般建立在阳离子交换反应的理论基础上。 $Al_2O_3$  与  $K_2O$  的高度正相关 ( $r=0.71$ ) 和  $SiO_2$  与  $K_2O$  的低的负相关 ( $r=-0.28$ ) 一方面说明 K 主要赋存于黏土矿物中 (如伊利石), 另一方面说明, 长石矿物对 K 含量的贡献不大。 $Na_2O$  仅与  $SiO_2$  的正相关 ( $r=0.37$ ) 表明 Na 主要存在于长石矿物中。

$TiO_2$  与  $Fe_2O_3$  一般赋存于黏土矿物中或重矿物中。由于  $TiO_2$ 、 $Fe_2O_3$  均与  $Al_2O_3$  有较高的正相关性, 表明它们主要赋存于黏土矿物中。 $TiO_2$ 、 $Fe_2O_3$  与 Nb、Th 过渡族元素 (如 Cr、Ni 和 V) 等也有一定的正相关性 ( $r$  一般大于 0.5), 暗示有一部分含钛铁的重矿物存在, 如钛铁矿、钛磁铁矿, 这些矿物在一定程度上贡献了部分  $TiO_2$  和  $Fe_2O_3$  的含量。

镁铁矿物 (如辉石、角闪石) 一般含有较高的 MgO, 由 MgO 与  $Al_2O_3$  的相关系数  $r=0.75$  可以看出, 在风化过程中, MgO 从镁铁质矿物中分解后多被黏土矿物吸附。

Rb、Cs、Sr、Ba 等碱金属和碱土金属, 往往会取代矿物晶格中的 K、Na, 从而赋存于造岩矿物中 (如钾长石、斜长石)。当造岩矿物风化分解时, 这些元素才会被释放出来。Rb、Cs 和  $K_2O$  相关性较弱,

表 3 扶杨油层沉积岩部分元素相关系数表

Table 3 Pearson correlation coefficients for selective elements of the samples from Fuyang Oil Layer

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Th	La	Yb	REE	CIA
SiO <sub>2</sub>	1.00	-0.28	-0.26	-0.65	-0.37	-0.30	-0.37	-0.35	-0.37	0.18
TiO <sub>2</sub>	-0.26	0.88	1.00	0.71	0.59	0.65	0.68	0.67	0.68	0.78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.28	1.00	0.88	0.73	0.57	0.83	0.77	0.82	0.77	0.84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.65	0.73	0.71	1.00	0.55	0.56	0.60	0.62	0.60	0.53
MnO	-0.31	-0.61	-0.48	-0.23	-0.23	-0.68	-0.52	-0.54	-0.51	-0.71
MgO	-0.37	0.75	0.76	0.60	0.59	0.69	0.75	0.72	0.76	0.58
CaO	-0.28	-0.79	-0.72	-0.48	-0.41	-0.61	-0.55	-0.60	-0.55	-0.96
K <sub>2</sub> O	-0.28	0.71	0.51	0.50	0.49	0.86	0.73	0.81	0.71	0.42
Na <sub>2</sub> O	0.37	-0.42	-0.21	-0.32	-0.36	-0.69	-0.52	-0.56	-0.52	-0.18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0.37	0.57	0.59	0.55	1.00	0.58	0.75	0.69	0.76	0.41
V	-0.28	0.68	0.73	0.55	0.69	0.59	0.76	0.69	0.77	0.51
Cr	-0.29	0.66	0.66	0.63	0.59	0.67	0.74	0.62	0.73	0.56
Co	-0.68	0.28	0.35	0.64	0.46	0.19	0.35	0.32	0.37	0.10
Ni	-0.65	0.59	0.57	0.76	0.72	0.64	0.77	0.70	0.75	0.31
Rb	-0.29	0.77	0.54	0.52	0.45	0.91	0.75	0.82	0.74	0.50
Sr	-0.47	-0.47	-0.43	-0.18	-0.27	-0.38	-0.31	-0.35	-0.31	-0.74
Zr	-0.34	0.91	0.89	0.72	0.59	0.75	0.76	0.81	0.75	0.74
Nb	-0.03	0.85	0.79	0.49	0.56	0.84	0.78	0.80	0.77	0.80
Cs	-0.32	0.79	0.56	0.56	0.43	0.90	0.77	0.86	0.76	0.52
Ba	0.60	-0.40	-0.35	-0.42	-0.31	-0.40	-0.40	-0.44	-0.39	-0.07
Hf	0.01	-0.27	-0.16	-0.04	0.17	-0.24	-0.10	-0.19	-0.10	-0.19
Ta	0.00	0.76	0.74	0.43	0.42	0.74	0.70	0.73	0.70	0.78
Th	-0.30	0.83	0.65	0.56	0.58	1.00	0.88	0.93	0.87	0.62
U	-0.49	0.36	0.33	0.57	0.48	0.35	0.38	0.45	0.38	0.22
La	-0.37	0.77	0.68	0.60	0.75	0.88	1.00	0.93	0.99	0.55
Sm	-0.39	0.70	0.58	0.55	0.81	0.81	0.96	0.91	0.98	0.47
Eu	-0.21	0.53	0.53	0.44	0.77	0.52	0.75	0.65	0.78	0.41
Gd	0.26	-0.03	0.04	-0.14	0.30	-0.01	0.21	0.07	0.24	0.11
Yb	-0.35	0.82	0.67	0.62	0.69	0.93	0.93	1.00	0.93	0.59
Y	-0.42	0.78	0.63	0.64	0.79	0.87	0.93	0.97	0.94	0.53
CIA	0.18	0.84	0.78	0.53	0.41	0.62	0.55	0.59	0.56	1.00
REE	-0.37	0.77	0.68	0.60	0.76	0.87	0.99	0.93	1.00	0.56
HREE	-0.24	0.67	0.57	0.48	0.78	0.77	0.90	0.87	0.93	0.51
LREE	-0.38	0.77	0.68	0.60	0.76	0.87	1.00	0.93	1.00	0.56

但与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>存在较好的相关性( $r$ 均大于 0.7),表明样品中的 Rb、Cs 一般不存于长矿物中,而可能是被吸附于黏土矿物中。这是因为像 Rb<sup>+</sup>、Cs<sup>+</sup>等大离子元素在风化剖面中会被离子交换和黏土吸附而保留下来,Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>等小离子元素则会从风化剖面流失(Nesbitt et al., 1980)。但碱土金属 Sr、Ba 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O 的相关性都比较差,这可能与它们在沉积过程更复杂的化学行为有关。

V、Cr、Co、Ni 等过渡元素与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>表现出较强的正相关,表明这类元素主要是赋存于黏土矿物中, Ta、Th 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>均表现出较强的正相关性,表明含 Ti 矿物和黏土矿物均是 Ta、Th 元素的宿主。

全岩的 REE 含量与 TiO<sub>2</sub>、Th 分别有较好的正相关性( $r$ 分别为 0.677, 0.866),表明含 Ti、Th 矿

物也是 REE 元素的主要宿主之一。与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的较正相关性则表明黏土矿物对 REE 有较强的吸附作用。

总体而言,样品中的大部分元素是被吸附于黏土矿物中,重矿物对部分微量元素和 REE 的含量有相当贡献。SiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O、Sr、Ba 等元素的含量主要由石英和长石类矿物决定。

### 3.2 化学风化作用

源区的化学风化用会导致元素分异,使部分元素含量及其比值不同于母岩。而化学风化指数(CIA=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO\*+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O))能够有效的揭示化学风化的程度(Nesbitt and Young, 1982)。扶杨油层沉积物的 CIA 指数平均为 69。沉积物的 Th/U 也是表征化学风化程度的指标之一。风化作用会使不可溶的 U<sup>4+</sup>氧化为可溶

性的  $U^{6+}$ , 导致 Th/U 比值增大 (McLennan and Taylor, 1991)。样品中 Th/U 的平均值为 4.1, 较 UUC(3.89) 略高而低于 PAAS(4.71)。总的来讲, 相对低的 CIA 值表明沉积物在源区曾经历了相对弱至中等的风化作用。CIA 与  $Al_2O_3$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、Nb、Th 等有较明显的正相关性, 说明风化作用在一定程度上影响全岩的化学组成, 同时也意味着一些传统上认为迁移性较差的元素在风化作用下, 也可能活化而发生迁移。但这些活动性差的元素间的比值, 如 La/Co、Th/Cr 以及 Zr/Y, 与  $Al_2O_3$ 、CIA 之间均表现弱相关性, 表明这些元素的比值受风化作用影响很小。另外, REE 元素的分配模式和  $(La/Yb)_N$  在砂岩, 粉砂岩以及泥岩中变化不大, 说明风化作用不能将 LREE 与 HREE 很好地分离, 因此可以认为样品的 REE 分配模式即代表了源岩的分配模式。

### 3.3 物源性质

源岩是影响沉积岩化学组成的重要因素。为了讨论物源性质, 根据扶杨油层部分元素作相应的物源判别图解(图 6)。

如图 6a 所示, 样品大多数落入长英质火山岩源区和再循环的沉积岩源区。微量元素中的不迁移元素, 例如 REE、Th、Cr、Co、Zr 和 Y 等, 由于它们在沉积过程过的较低的迁移能力, 被广泛认为是判断物源的有效依据 (McLennan, 1983, 1993; McLennan and Taylor, 1991)。La 和 Zr 一般在长

英质岩中富集, 而 Co、Cr 和 Sc 倾向于在镁铁质岩中富集。与 PAAS 相比, 扶杨油层沉积岩含较低的 Cr、Co、Ni 和较高的 La、Zr, 表明扶杨油层沉积岩源区较 PAAS 更富长英质岩石。以长英质组分为为主的岛弧通常具有稳定的低 La/Th 比值(小于 5)以及 Hf 含量(一般为  $3 \times 10^{-6} \sim 7 \times 10^{-6}$ ), 随着再循环沉积物的加入, Hf 含量会增加 (Floyd and Leveridge, 1987)。扶杨油层沉积岩的 La/Th 多数小于 4, Hf 的含量变化较大, 尽管部分样品 Hf 含量较高, 但总体的平均值为  $6.8 \times 10^{-6}$ , 表明扶杨油层物源除了长英质岩石为主外, 还有部分再循环沉积物的混入。根据 Condie(1986)提出的 Th-Hf-Co 物源判别图解(图 6b), 大部分样品位于页岩和岛弧杂砂岩区, 表明扶杨油层沉积岩更可能与活动性质的物源有关。

REE 分配模式也常用来判断源岩的性质。研究表明, 基性岩一般有低的 LREE/HREE 比, 并无明显的 Eu 异常。长英质岩一般有较高的 LREE/HREE 值以及 Eu 的负异常 (Cullers, 1994)。本研究样品有较高的 LREE/HREE(平均值为 8.9) 和中等 Eu 异常(平均为 0.82), 此外, 样品还与 PAAS 表现出极相似的球粒陨石标准化配分图, 表明样品中的沉积物质来源于长英质岩石为主的源区。有研究表明, 太古宙陆壳主要由英云闪长岩—奥长花岗岩—花岗闪长岩(即 TTG)组成, 以弱的 Eu 负异常 ( $Eu/Eu^* > 0.83$ ) 和高  $(Gd/Yb)_N$  值 ( $> 2$ ) 为特征

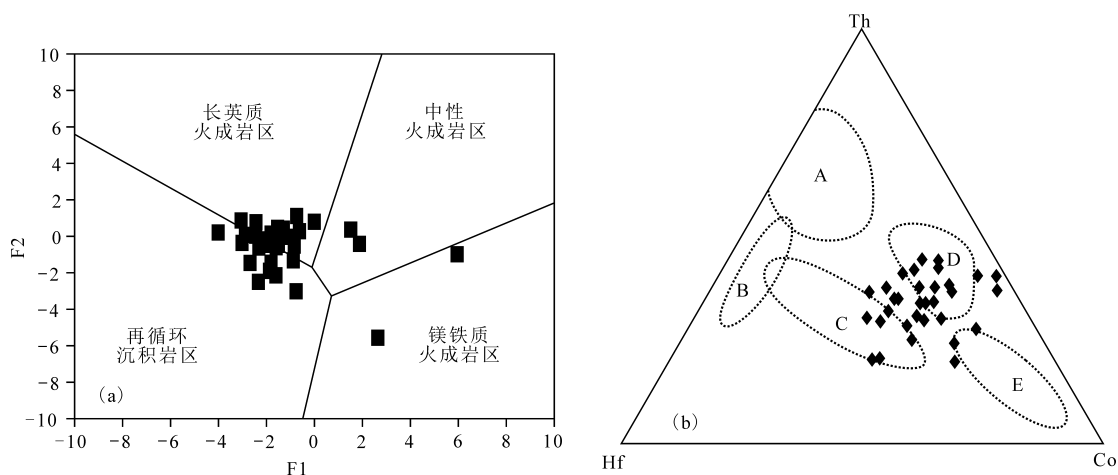


图 6 扶杨油层沉积岩物源判别图

Fig. 6 Discriminant maps of provenance of samples from Fuyang oil layer

(a) 据 Rosert 和 Korsch (1988),  $F1 = -1.773TiO_2 + 0.607Al_2O_3 + 0.76Fe_2O_3 - 1.5MgO + 0.616CaO + 0.509Na_2O - 1.224K_2O - 9.09$ ,  $F2 = 0.445TiO_2 + 0.07Al_2O_3 - 0.25Fe_2O_3 - 1.142MgO + 0.438CaO + 1.475Na_2O + 1.426K_2O - 6.861$ ; (b) 据 Condie(1986); A—长英质火山岩区; B—石英岩区(克拉通盆地); C—长石砂岩区; D—页岩区(克拉通盆地); E—岛弧杂砂岩区  
(a) after Rosert and Korsch (1998); (b) after Condie(1986); A—felsic volcanic; B—quartzite (cratonic basin); C—arkose; D—shale (cratonic basin); E—graywacke (ARC)

(Condie, 1993)。而样品中  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  平均为 0.82,  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$  平均为 1.62, 暗示其物源可能为后太古宙长英质火山岩。

通过上述沉积碎屑物源性研究方法,并结合前人研究成果综合分析认为,榆树林油田扶杨油层物源碎屑主要来自由长英质组分构成的后太古宙上陆壳。泉三段沉积时期以北部讷河—依安沉积体系物源为主,水体总体流向是自北向南,曲流河相、浅水三角洲相等河道砂体大致的展布方向是南北走向;泉四段沉积时期,在北部讷河—依安沉积体系物源的基础上,榆树林地区叠加有东北部拜泉—明水沉积体系物源,并且在重矿物等参数上,反映以东北部水系物源贡献为主,水体总体流向是自东北向西南,相应地,泉四段的河道砂体的展布方向大致是北东—南西向。因此,杨大城子油层组有利砂体的展布总体是南北走向,扶余油层组有利砂体的展布总体是北东—南西走向。受物源方向的控制,储层物性应该是北部好于南部。

### 3.4 构造背景

除物源性外,成岩构造背景也是影响碎屑沉积岩地球化学特征的主要因素之一,沉积物的化学组成在一定程度上记录了沉积过程中构造活动变化情况。因此,可以根据陆源碎屑岩的地球化学特征来合理推断成岩时的大地构造背景。

利用砂岩的化学成分来判别构造环境,最早由 Crook(1974)提出,后来随着实验分析精度的提高,一些学者提出了一些新方法,对构造背景判别的准确度不断提高,所利用的成分也由最初简单的几种逐渐扩大到所有主量元素及一些特征微量元素,同时所适用的岩类也从砂岩扩展到所有其它粒级碎屑岩类(Bhatia, 1983; Roser and Korsch, 1986)。Bhatia(1983)通过研究澳大利亚东部古生代浊积岩中的砂岩,提出利用  $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ , 等指标可将砂岩的沉积构造环境划分为大洋岛弧区(OIA)、大陆岛弧(CIA)、活动大陆边缘(ACM)和被动大陆边缘(PM)四类。类似的,本文将样品分别在  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) - \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$  和  $\text{TiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$  图上进行了投点,如图 7 所示。在此仅讨论砂岩样品(包括 15 块粉砂岩样品,2 块砂岩样品)在图中的分布范围。在图 7a 中,仅有很少的样品落入活动大陆边缘区,大部分样品(包括泥岩)没有落入任何判别区,数据投点较为分散,这可能与参数中含 Ca、Na 这类活动性

强的元素有关。使用 Bhatia(1983)提出的  $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) - \text{TiO}_2$  及  $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) - \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  判别图进行识别(图 7b 及图 7c),样品以较高的  $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/\text{TiO}_2$  含量及  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ , 位于大陆岛弧区和大洋岛弧区,而砂岩则位于大陆岛弧和活动大陆边缘之间。在图 7c 中,大部分样品落入大陆岛弧区,样品投点的集中程度较高,这可能与坐标参数选取活动性较弱的 Ti 元素有关。从以上判别图解可以看出,对于用主量元素作为参数的判别图解,所选取的元素的活性与最后的投点效果密切相关,活性强的元素元素比值变化大,投点分散。仅当样品数量足够大时,这类判别图可能才有实际意义。

此外,也有学者对主量元素分别赋予一定权重,提出一些经验公式来作判别图,也取得较好效果。如在主元素多变量构造环境判别图中投点(图 7d),砂岩样品主要位于活动大陆边缘(ACM)和大陆岛弧(CIA)区。

主量元素在风化、搬运和沉积成岩过程中的活性较强,即使在同样构造背景下沉积,不同样品间的主量元素及其组合值也可能相差较大,因此,越来越多的学者利用活动性弱的元素(REE、Th、Zr、Hf、Sc、Co)及其比值,来建立构造背景判别图解。如 Th-Co-Zr/10、La-Th-Sc 和 Th-Sc-Zr/10(Bauluz et al., 2000; Asiedu et al., 2000; Zhang Kaijun, 2004),均取得较理想的效果。在微量元素构造背景判别图 Th-Sc-Zr/10 和 Th-Co-Zr/10 中(图 7e, f),大部分样品落入大陆岛弧区。与主元素判别图相比,在微量元素判别图中样品投点集中程度明显更高。

总的来说,松辽盆地泉头组时期,受控于西太平洋的俯冲作用,研究区主要处于大陆岛弧环境,并朝着活动大陆边缘环境演化。综合区域地质研究成表明,认为松辽盆地在可能是一个弧后构造盆地。(Yan Danping et al., 2003)。岛弧沉积环境中,由于热流高,有利于生烃,对油层形成的有着一定的影响作用。

### 3.5 扶余油层地球化学剖面分析

扶杨油层整体风化程度为弱—中等,但由于不同油层组沉积时古气候条件不同,其风化程度也略有不同。通过选择部分主量元素的比值作为参数,可以较直观地反映出扶余油层各油层组(从下往上依次为 FIII、FII 以及 FI)风化程度的变化以及古气候条件,如表 4 所示。

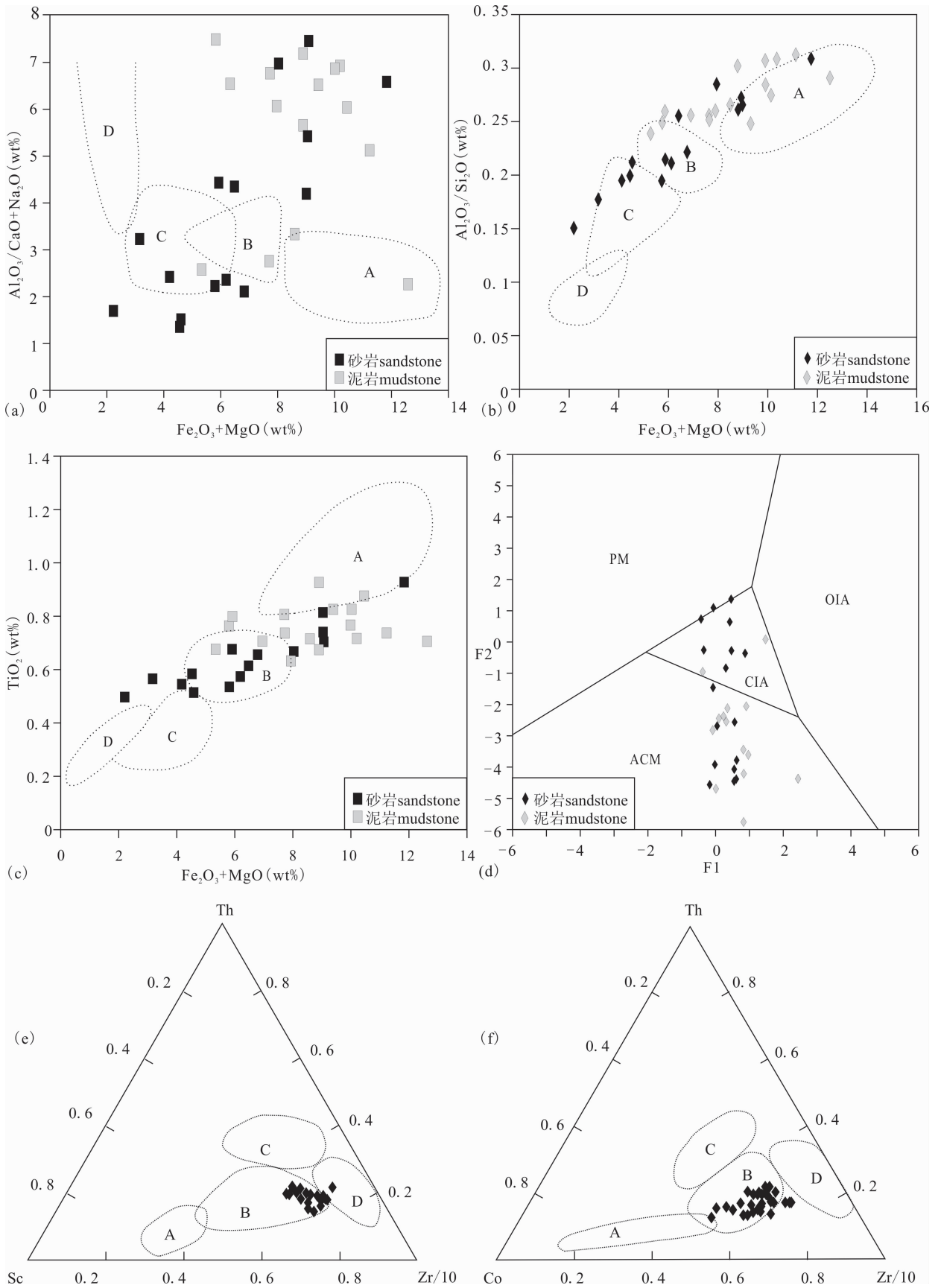


图7 扶杨油层沉积岩构造背景判别图

Fig. 7 Discriminant maps of tectonic setting of Fuyang oil layer in Sanzhao sag

(a)~(c)据 Bhatia(1983);(d)据 Bhatia (1983),  $F1 = -0.0447SiO_2 - 0.972TiO_2 + 0.008Al_2O_3 - 0.267Fe_2O_3 + 0.208FeO - 3.082MnO + 0.14OMgO + CaO + 0.719Na_2O - 0.032K_2O + 7.51P_2O_5 + 0.303$ ;  $F2 = -0.421SiO_2 + 1.988TiO_2 - 0.526Al_2O_3 - 0.551Fe_2O_3 - 1.610FeO + 2.72MnO + 0.881MgO - 0.907CaO - 0.177Na_2O - 1.84K_2O + 7.224P_2O_5 + 43.57$ ;(e)、(f)据 Bhatia(1986);A—大洋岛弧(OIA)区;B—大陆岛弧区(CIA);C—活动大陆边缘区(ACM);D—被动大陆边缘区(PM)

(a)~(c)after Bhatia(1983);(d) after Bhatia (1983);(e)、(f) after Bhatia (1986);A—oceanic island arc area; B—continental island arc area; C—active continental margin area; D—passive continental margin area

表 4 扶杨油层主量元素比值表

Fig. 4 Table of ratios of selective major elements of Fuyang oil layer

样号	深度(m)	CIA		SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CaO+Na <sub>2</sub> O		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /MnO	
		样品值	平均值	样品值	平均值	样品值	平均值	样品值	平均值	样品值	平均值
FI-24	1600	62.62		3.92		2.38		4.39		66.14	
FI-18	1620	65.45		3.86		2.14		8.35		137.33	
FI-16	1628	64.61		4.03		1.97		6.54		85.38	
FI-11	1651	43.40		3.51		2.61		6.92		142.60	
FI-9	1657	47.16		3.77		2.70		7.48		97.71	
FI-8	1663	64.51	57.26	3.76	3.88	2.82	2.31	3.38	5.55	62.50	95.37
FI-6	1670	59.73		3.84		2.63		6.08		214.00	
FI-5	1675	52.71		3.30		1.32		5.68		53.83	
FI-4	1679	53.73		4.00		2.92		7.52		133.00	
FI-3	1685	64.69		4.18		1.92		2.61		23.92	
FI-2	1690	51.25		4.53		2.01		2.13		32.63	
F II -12	1700	65.18		3.43		1.06		2.30		41.59	
F II -10	1708	52.41		5.01		0.76		1.39		7.94	
F II -9	1712	61.20		3.23		0.70		6.61		58.87	
F II -8	1716.3	60.33		3.20		5.33		5.15		125.86	
F II -7	1720	74.81		5.65		0.49		3.25		34.71	
F II -6	1723.5	41.07	58.12	5.13	4.23	1.16	1.76	2.43	3.71	12.04	57.60
F II -5	1728	51.37		3.74		2.18		5.43		129.40	
F II -4	1733.3	47.41		5.16		1.02		2.25		39.50	
F II -3	1738	51.74		3.25		3.74		6.87		85.22	
F II -2	1740	66.43		4.74		0.81		2.38		29.36	
F II -1	1744.2	67.40		3.95		2.15		2.79		69.13	
F III -13	1747	63.84		3.67		2.31		4.23		93.43	
F III -12	1749	55.25		3.90		1.64		5.49		117.75	
F III -10	1756.2	67.48		6.63		0.45		1.74		18.11	
F III -9	1760	56.07		3.50		2.75		7.00		192.00	
F III -8	1764	66.16	63.89	4.69	4.11	0.94	2.08	1.54	5.21	12.80	104.98
F III -7	1770	60.84		3.63		1.99		6.95		109.57	
F III -5	1780	67.31		3.81		4.12		7.19		233.33	
F III -4	1785	72.21		3.90		2.87		6.78		100.33	
F III -1	1795	65.85		3.23		1.71		6.04		67.54	

从 F III—F II—FI,各油层组 CIA 值分别为 63.89、58.12、57.26,表明从强—较强—弱的风化过程。SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>值对沉积物的再循环作用和风化作用比较敏感,随着再循环和风化作用的加强,长石、镁铁矿物及碎屑颗粒逐渐减少,而石英含量逐渐增加, SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>值也随之升高(Roser and Korsch, 1986; Dingle and Lavelle, 1998)。F II 的低 CIA 却对应着相对高的 SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>值,可能与该组泥岩较多,黏土矿物含量高有关。在只考虑各油层组中的砂岩样本时(包括粉砂岩和砂岩),从 F III—F II—FI、SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均值依次为 4.11、

4.23 和 3.88,与 CIA 的变化趋势保持一致,因此该指标更适用于砂粒级的沉积物。

K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 该比值代表了岩石中钾质长石和钠质长石的比例,可作为黏土化程度的特征值。K、Na 都是活动性极强的元素,但 Na 元素活动性高于 K 元素。FIII 和 FI 油组 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 相对 FII 高些,说明 Na 的流失严重,该时期风化作用较强,与 CIA 值相符。

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+NaO)用来代表岩石中最不活动组分与最活动组分的差异。强风化用会导致源岩黏土化,Al 富集而 Ca、Na 流失,因而导致较高的 Al<sub>2</sub>

$O_3/(CaO+NaO)$  比值。从 F III—F II—FI 的该参数的平均值来看,它与 CIA 变化相符。

Mn 在干旱环境条件下含量比较高,在相对潮湿的环境条件下含量较低,Fe 在潮湿环境中易以 Fe(OH)胶体快速沉淀,因而沉积物中 Fe/Mn 比的高值对应温湿气候,低值是干热气候的响应。一般来讲,温湿气候条件更有利于化学风化作用的进行。所以,从 F III—F II—FI, Fe/Mn 值从高—低—较高变化,与 CIA 值的变化相吻合。

从 F III—F II—FI, 化学风化程度存在由强—弱—较强的变化趋势,一方面可能是因为 F III 与 FI 沉积时气候以温湿为主, F II 沉积时则以干旱为主,另一方面可能是构造活动造成的。

低 CIA 值表明该时期构造活动性较强,风化作用以物理风化为主,化学风化较弱,反之高 CIA 值则表明构造活动相对较弱。CIA 以及其它元素比值在垂向的这种变化,暗示着扶余油层地层沉积时构造稳定性的强弱交替变化。构造活动强时,沉积盆地充填迅速,河流相沉积发育,沉积速率较大,沉积碎屑分选、磨圆差,压实不充分,孔隙度高,可能是相对良好的储层。FI 油层组低的 CIA 值表明经历了相对较强的构造活动,因此较其它油层组储层物性更好,在断裂疏导体系下,上部青山口烃源岩产生的油气倒灌,因此应加大 FI 油层组勘探开发力度。

## 4 结论

(1) 通过元素间的相关性分析,发现大部分元素与  $SiO_2$  含量呈负相关性,而与  $Al_2O_3$  呈较好的正相关性,表明大部分元素的富集与黏土矿物的吸附作用有关,这也与样品多数为粉砂岩和泥岩相符。此外,一部含 Ti、Th 的重矿物也是 REE 的重要宿主。

(2) 物源区性质与沉积时的构造背景是影响沉积岩化学组成的重要因素,与最终形成的沉积岩的化学组成有密切的函数关系,在这样一个基本假设之上,通过对沉积岩地球化学特征的研究,并在一系列较成熟的物源及构造背景判别图上投点分析,认为三肇凹陷扶余油层的沉积岩代表了一个大陆岛弧环境或接近活动大陆边缘环境下的长英质火岩,是经历了一个弱—中等的风化用后沉积的产物。

(3) 扶余油层沉积物整体经受了弱—中等的风化作用,但在油层内部自下而上,风化作用存在从强—弱—较强的变化,与古气候参数所指示的从温湿—干旱—较温湿的变化相吻合。FI 油层组时期构造活动相对较强,相对于其它油层组,其沉积岩的

储层物性较好,更利于油气成藏,应属重点勘探开发的目标层。

## References

- Andersen T. 2005. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: limiting conditions from statistics and numerical simulation. *Chemical Geology*, 216(3), 249~270.
- Asiedu D K, Suzuki S, Nogami K, Shibata T. 2000. Geochemistry of Lower Cretaceous sediments, inner zone of southwest Japan: const rains on provenance and tectonic environment. *Geochemical Journal*, 34: 155~173.
- Bauluz L, Mayayo M J, Fernandez N C, Gonzalez L J M. 2000. Geochemistry of Precambrian and Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance, and tectonic setting. *Chemical Geology*, 168(1): 135~150.
- Bhatia M R, Crook K A W. 1986. Trace element characteristics of greywackes and tectonics setting discrimination of sedimentary basin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92: 181~193.
- Bhatia M R, Taylor S R. 1981. Trace-element geochemistry and sedimentary provinces: a study from the Tasman geosyncline, Australia. *Chemical Geology*, 33(1~2): 115~125.
- Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 91: 611~627.
- Condie K C. 1986. Geochemistry and tectonic setting of early Proterozoic supracrustal rocks in the southwestern United States. *The Journal of Geology*, 94: 845~864
- Condie K C. 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, 104(1): 1~37.
- Cox R, Lowe D R, Cullers R L. 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(14): 2919~2940.
- Cullers R L. 2000. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian—Permian age, Colorado, USA: Implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 51: 181~203.
- Cullers R L. 2002. Implications of element al concentrations for provenance, redox conditions and metamorphic studies of shales and limestones near Puerblo, Colorado, USA. *Chemical Geology*, 191:305~327.
- Dickinson W R, Suczek C A. 1979. Plate tectonics and sandstoe composition. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63: 2164~2172.
- Dingle R V, Lavelle, M. 1998. LateCretaceous - Cenozoic climatic variations of the northern antarctic Peninsula: new geochemical evidence and review. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 141(3~4), 215~232.
- Floyd P A, Leveridge B E. 1987. Tectonic environment of the



- Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *Journal of the Geological Society*, 144(4): 531~542.
- Fu Xiaofei, Ping Guidong, Fan Ruidong, Liu Zongbao. 2009. Research on migration and accumulation mechanism of hydrocarbon "Reversed Migration" in Fuyu and Yangdachengzi Formation in Sanzhao Depression. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(3): 558~566 (in Chinese with English abstract).
- Gao Ruiqi, Cai Xiyuan. 1997. The forming factors and distribution rules of giant oil and gas fields of Songliao Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 25~28 (in Chinese).
- Hou Mingcai, Jiang Wenjian, Ni Shijun, Huang Hu, Luo Wen, Shi Xin, Miu Zongli. 2016. Geochemical characteristic of the Lower and Middle Jurassic clastic rocks in the southern margin of the Yili Basin, Xinjiang and its constraints on provenance. *Acta Geologica Sinica*, 90(12): 3337~3351 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Liu Yin, Tu Xianglin. 2002. Precise determination of chemical compositions in silicate rocks using ICP AES and ICP MS: A comparative study of sample digestion techniques of alkali fusion and acid dissolution. *Geochimica*, 31(3): 289~294 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yin, Liu Haicheng, Li xianhua. 1996. Simultaneous and precise determination of 40 trace elements in rock samples using ICP-MS. *Geochimica*, 25(6): 552~558 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yuan, Zhu Xiaomin, Zhang Simeng, Zhao Dongna. 2010. Microcosmic pore structure in low-moderate permeability reservoir of Fuyu oil layer in Sanzhao sag. *Natural Gas Geoscience*, 21(2): 270~275 (in Chinese with English abstract).
- Lybrand R A, Rasmussen C. 2014. Linking soil element-mass-transfer to microscale mineral weathering across a semiarid environmental gradient. *Chemical Geology*, 381, 26~39.
- McLennan S M, Hemming S R, Taylor S R, Eriksson K A. 1995. Early Proterozoic crustal evolution: geochemical and Nd, Pb isotopic evidence from metasedimentary rocks, southwestern North America. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(6): 1153~1177.
- McLennan S M, Hemming S, Mcdaniel D K, Hanson G N. 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Special Paper of the Geological Society of America*, 284:21~40.
- McLennan S M, Taylor S R. 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. *The Journal of Geology*, 1~21.
- Nesbitt H W, Young G M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299(5885): 715~717.
- Nesbitt H W, Markovics G, Price R C. 1980. Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44(11):1659~1666.
- Pei Xianzhi, Hu nan, Liu Chengjun, Li Ruibao, Li Zuochen, Chen Youxin, Pei Lei, Liu Zhanqing, Chen Guochao, Yang jie. 2015. Detrital composition, geochemical characteristics and provenance analysis for the Maerzheng Formation sandstone in Gerizhuotuo area, southern margin of East Kunlun region. *Geological Review*, 61(2):307~323 (in Chinese with English abstract).
- Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. 1972. Sand and Sandstone. New York; Springer-Verlag, 1~618.
- Qi Huili, Li Yuchun, Zhang Yan. 2012. Characteristics of pore structure and effect rules of low permeability reservoir: A case study of the Fuyu-Yangdachengzi petroleum pays, Yushulin area. *Journal of Northeast Petroleum University*, 36(4): 30~36 (in Chinese).
- Ricardo P, Migue C, Carlos V. 2009. Rare earth elements in sediments of the Vigo Ria, NW Iberian Peninsula. *Continental Shelf Research*, 29: 895~902.
- Ren Junping, Zuo Libo, Xu Kangkang, Wang Jie, Liu Xiaoyang, He Shengfei, Liu Yu, He Fuqing. 2016. Geodynamic evolution and mineral resources present research in Bangweulu Block, northern Zambia. *Geological Review*, 62(4): 979~996 (in Chinese with English abstract).
- Roser B P, Korsch R J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio. *Journal of Geology*, 94: 635~650.
- Roser B P, Korsch R J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suits determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, 67: 119~139.
- Rudnick R L, Gao S. 2003. Composition of the continental crust. In: Andrew M D, Holland H D, Turekian K K. eds. *Treatise on Geochemistry*. Oxford: Elsevier, Vol. 3, 1~64
- Sawyer E W. 1986. The influence of source rock type, chemical weathering and sorting on the geochemistry of clastic sediments from the Quetico metasedimentary belt, Superior province, Canada. *Chemical Geology*, 55: 77~95.
- Sun Yu, Ma Shizhong, Jiang Hongfu, Liu Yunyan, Cong Lin, Liu Zongbao. 2010. Sedimentary mode of shallow lacustrine fluvial-dominated delta of Putaohua reservoirs in the Sanzhao depression, Songliao basin. *Acta Geologica Sinica*, 84(10): 1502~1509 (in Chinese with English abstract).
- Tan Baoxiang, Hou Xingde, Lin Jingye. 1995. Hydrocarbon distribution and exploration potential of the Fuyu-Yangdachengzi petroleum pays, Sanzhao depression, Songliao basin. *Petroleum Exploration and Development*, 22(1): 1~5 (in Chinese with English abstract).
- Taylor S R, McLennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution: An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1~132.
- Taylor SR, McLennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford: Blackwell, 1~312.

- Wu Sujuan, Zhang Yongsheng, Xing Enyuan. 2016. Geochemistry of Ordovician detrital rocks and its constrains on provenance in Zhuozishan area, Northwest Ordos basin. *Acta Geologica Sinica*, 90(8): 1860~1873 (in Chinese with English abstract).
- Yan Danping, Tian Chonglu, Meng Lingbo, Zhang Jianzeng, Zhou Meifu. 2003. Balanced geological section for extensional tectonic basin and its implication: an example from southern Songliao basin. *Editorial Committee of Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 28(3): 275~280 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianjun, Mou Chuanlong, Zhou Kenken, Feng Lixia, Wu Hao, Chen Xiaowei. 2017. Geochemical characteristic of sandstones from the Mangbang Formation in the Husa Basin, Western Yuannan, and its constraints on provenances and tectonic setting. *Acta Geologica Sinica*, 91(5): 1083~1096 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Kaijun. 2004. Secular geochemical variations of the lower Cretaceous siliciclastic rocks from central Tibet (China) indicate a tectonic transition from continental collision to back-arc rifting. *Earth and Planetary Science Letters*, 229(1): 73~89.
- Zhang Long, Liu Chiyang, Lei Kaiyu, Sun Li, Cun Xiaoni, Du Fangpeng, Deng Hui. 2017. White bleached sandstone Genesis and Paleo-weathered crust forming environment of the Jurassic Yanan Formation in the northeastern Ordos Basin. *Acta Geologica Sinica*, 91(6): 1345~1359 (in Chinese with English abstract).
- 付晓飞, 平贵东, 范瑞东, 刘宗堡. 2009. 三肇凹陷扶杨油层油气“倒灌”聚成藏规律研究. *沉积学报*, 27(3): 558~566.
- 高瑞祺, 蔡希源. 1997. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律. 北京: 石油工业出版社, 25~28.
- 侯明才, 江文剑, 倪师军, 黄虎, 罗文, 石鑫, 缪宗利. 2016. 伊犁盆地南缘中下侏罗统碎屑岩地球化学特征及对物源制约. *地质学报*, 90(12): 3337~3351.
- 李献华, 刘颖, 涂湘林. 2002. 硅酸盐岩石化学组成的 ICP-AES 和 ICP-MS 准确测定: 酸溶与碱溶分解样品方法的对比. *地球化学*, 31(3): 289~294.
- 刘颖, 刘海臣, 李献华. 1996. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素. *地球化学*, 25(6): 552~558.
- 刘媛, 朱筱敏, 张思梦, 赵东娜. 2010. 三肇凹陷扶余油层中一低渗透储层微孔结构特征及其分类. *天然气地球科学*, 21(2): 270~275.
- 綦惠丽, 李玉春, 张雁. 2012. 低渗透储层的微观特征对其宏观性质的影响规律——以榆树林油田扶杨油层为例. *东北石油大学学报*, 36(4): 30~36.
- 任军平, 左立波, 许康康, 王杰, 刘晓阳, 何胜飞, 刘宇, 贺福清. 2016. 赞比亚北部班韦乌卢地块演化及矿产资源研究现状. *地质论评*, 62(4): 979~996.
- 孙雨, 马世忠, 姜洪福, 刘云燕, 丛林, 刘宗堡. 2010. 松辽盆地三肇凹陷葡萄花油层河控浅水三角洲沉积模式. *地质学报*, 84(10): 1502~1509.
- 裴先治, 胡楠, 刘成军, 李瑞保, 李佐臣, 陈有妍, 裴磊, 刘战庆, 陈国超, 杨杰. 2015. 东昆仑南缘哥日卓托地区马尔争组砂岩碎屑岩组成、地球化学特征与物源构造环境分析. *地质论评*, 61(2): 307~323.
- 谭保祥, 侯行德, 林景晔. 1995. 三肇地区扶杨油层油气藏分布规律及勘探前景分析. *石油勘探与开发*, 22(1): 1~5.
- 吴素娟, 张永生, 邢恩袁. 2016. 桌子山地区奥陶系乌拉力克组碎屑岩地球化学特征及其对物源的制约. *地质学报*, 90(8): 1860~1873.
- 颜丹平, 田崇鲁, 孟令波, 张建增, 周美夫. 2003. 伸展构造盆地的平衡剖面及其构造意义——以松辽盆地南部为例. *地球科学—中国地质大学学报*, 28(3): 275~280.
- 张建军, 牟传龙, 周恩恩, 冯丽霞, 伍皓, 陈小炜. 2017. 滇西户撒盆地芒棒组砂岩地球化学特征及物源区和构造背景分析. *地质学报*, 91(5): 1083~1096.
- 张龙, 刘池洋, 雷开宇, 孙莉, 寸小妮, 杜芳鹏, 邓辉. 2017. 鄂尔多斯盆地东北部侏罗系延安组漂白砂岩成因和古风化壳形成环境探讨. *地质学报*, 91(6): 1345~1359.

## 参 考 文 献

## Geochemical Characteristic of Sedimentary Rocks in the Fuyang Oil Layer of Yushulin Oil Field and Its Geological Significance

SHI Qihua<sup>1,2)</sup>, YUAN Yajuan<sup>1,2)</sup>, XIA Bin<sup>1,2,3)</sup>, LIN Ge<sup>3)</sup>

1) *School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510275;*

2) *Key Laboratory of Offshore Oil Exploration and Development of Guangdong Higher Education Institutes, Guangzhou, 510006;*

3) *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510640*

### Abstract

The study conducted geochemical analyses of mudstone, siltstone and sandstone samples from the Yushulin Oilfield, Sanzhao sag. The results show that the most of major elements have moderate contents. Compared with the average of upper continent crust (UCC), the samples have lower  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  and  $\text{Na}_2\text{O}$ , but slightly higher  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ . The contents of compatible elements (V, Cr, Co and Ni) in the samples are lower than PAAS (Post Archean Australian shale) and UCC, and the total amount of REEs ranges from  $102 \times 10^{-6}$  to  $276 \times 10^{-6}$  with an average of  $188 \times 10^{-6}$ . The similar chondrite-normalized REE pattern with PAAS suggests that they have similar provenance and tectonic settings. The Pearson correlation of some elements shows that most elements are negatively related to  $\text{SiO}_2$  but positive to  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , indicating that most elements are affected by clay minerals because quartz and feldspar exert a dilution effect on these elements. Based on the provenance discrimination diagram of major elements, Th-Hf-Co plot, and  $\text{La}/\text{Hf}$  and  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ , it can be concluded that the provenance of studied area mainly derived from felsic-predominant rocks, probably involved in some recycle sedimentary rocks. A series of tectonic discrimination diagrams suggests that the Fuyang oil layers deposited in a continent island arc setting. Pale-climate analysis of oil sub-layers shows that FI sub-layer deposited in a strong tectonic activity settings and drought climate and is of better reservoir physical properties. Therefore, this should be the key layers for oil and gas exploration.

**Key words:** Fuyang oil layer; sedimentary geochemistry; tectonic setting; provenance