

鄂尔多斯盆地漂白砒砂岩特征及成因

宋土顺¹, 刘立¹, 王玉洁², 刘娜¹, 于淼¹

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 吉林大学测试科学实验中心, 吉林 长春 130061)

摘要:漂白砒砂岩在鄂尔多斯盆地分布广泛, 主要分布在中生界延安组中, 以东胜地区煤层上部漂白砒砂岩为代表, 是油气曾经存在及其运移的重要证据, 对其研究具有重要意义。在野外地质调查及样品采集的基础上, 运用偏光显微镜、扫描电镜、X-射线衍射、X-荧光光谱和电感耦合等离子体质谱进行了分析。结果表明, 漂白砒砂岩的矿物组成主要为石英和碱性长石, 其次为伊利石和高岭石, 含有少量的伊蒙混层。SiO₂ 含量为 72.76%~74.96%, Al₂O₃ 含量为 16.17%~17.48%, K₂O 含量为 1.93%~2.65%, CaO 含量为 0.08%~0.57%, Fe₂O₃ 含量为 0.01%~0.69%。Hf, Zr, Ss, Ba 和 U 相对富集。ΣREE 介于 67~296 μg/g, LREE/HREE 介于 7.36~13.67; REE 配分模式为轻稀土富集、重稀土亏损, Eu 呈明显负异常, Ce 表现出弱亏损; Ce_{anom} 介于 -0.07~-0.17, 平均 -0.12。它们形成于缺氧、还原的古水体环境。上述研究结果表明, 漂白砒砂岩是硫酸盐和天然气还原作用的结果, 为研究区油气的形成和逸散作用提供地质依据。

关键词:漂白砒砂岩; 岩石学; 地球化学; 天然气; 鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Characteristics and genesis of the bleached Pisha sandstone in Ordos Basin

Song Tushun¹, Liu Li¹, Wang Yujie², Liu Na¹, Yu Miao¹

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin 130061, China; 2. Testing Center of Jilin University, Changchun, Jilin 130061)

Abstract: Bleached Pisha sandstones are widely distributed in Ordos Basin and mainly occur in Yan'an Formation of the Mesozoic. In Dongsheng area, the bleached Pisha sandstone overlying on the coal seam is an important evidence of the existence and migration of hydrocarbons. In this paper, the samples collected during field geological investigation were analyzed by using polarization microscope, scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction and X-ray fluorescence spectrum and inductively coupled plasma mass spectrum. The results show that the main mineral composition of the bleached Pisha sandstone are quartz and alkali feldspar, followed by illite, kaolinite and a small amount of illite/smectite mixed layer. The content of SiO₂ is 72.76%~74.96%, that of Al₂O₃ is 16.17%~17.48%, K₂O 1.93%~2.65%, CaO 0.08%~0.57% and Fe₂O₃ 0.01%~0.69%. Hf, Zr, Ss, Ba and U are relatively enriched. The ΣREE and LREE/HREE were in the ranges of 67~296 μg/g and 7.36~13.67, respectively. REE distribution pattern features in light REE enrichment, but heavy REE deficient, with significantly negative anomaly of Eu and weak deficient of Ce (the content of Ce_{anom} being in the range of -0.07~-0.17, averaging at -0.12), suggesting an anoxic reducing environment. The studies show that the bleached Pisha sandstone is the result of sulfate and natural gas reduction, and thus can provide a geologic basis for the formation and dissipation of oil and gas in the study area.

Key words: bleached Pisha sandstone, petrology, geochemistry, natural gas, Ordos Basin

前人在鄂尔多斯盆地东北部^[1]、松辽盆地^[2]、美国科罗拉多高原^[3]和犹他地区^[4-6]报道了红色砂岩漂白现象, 采用的研究方法包括岩相学、同位素、常量元素和稀土元素。在世界范围内, 美国科罗拉多高原出露的红色和白色砂岩研究程度最高, 其研究成果对“CO₂ 地质封存”和“注 CO₂ 提高石油采收率”等均提

供了来自“自然类似物”的有用信息。漂白砂岩形成于“烃类流体”的观点提出于 20 世纪 20 年代^[3]。目前认为与烃类流体运移有关的漂白砂岩出露于鄂尔多斯盆地^[1]、犹他东南部^[4]、犹他 Laramide 时期 Uinta 逆掩断层附近^[5]和犹他南部^[6]。前人研究集中在漂白砂岩的粘土矿物组成和漂白成因, 但是采集样品为平面分

收稿日期: 2014-03-18; 修订日期: 2014-08-10。

第一作者简介: 宋土顺(1985—), 男, 博士研究生, 沉积地质学。E-mail: songtushun@sina.cn。

通讯作者简介: 刘立(1955—), 男, 教授、博士生导师, 储层、层序地层及沉积学。E-mail: liuli0892@vip.sina.com。

基金项目: 吉林省科技发展计划重点项目(20110426); 中国地质调查局计划项目(1212011120048)。

布,并未见报道连续纵向剖面,鉴于漂白砂岩成因复杂,本文采用连续剖面取样,增加微量元素等分析方法进行了研究,得出研究区漂白砒砂岩粘土组成和反应机理的差异,为 CO₂ 地质封存和天然气勘探提供理论依据。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地横跨陕、甘、宁、内蒙四省(自治区),面积约 25 × 10⁴ km²,富含多种矿产资源,含有丰富的煤、石油和天然气等^[7]。该盆地西边为贺兰山经向构造体系,南北分别为祁连-秦岭褶皱构造体系和天山-兴蒙褶皱构造体系,东边临濒太平洋构造域^[8-9]。盆地分为伊盟隆起、西缘逆冲带、天环坳陷、陕北斜坡、晋西挠褶带和渭北隆起 6 个一级构造单元。盆地中侏罗系自下而上沉积了富县组、延安组、直罗组和安定组地层,其中在早-中侏罗世,沉积了一套厚约 300 m 的含煤岩系^[9-10]。

砒砂岩是指分布于晋陕蒙接壤地区以红色和白色色调为主的、主要由砂岩、粉砂岩及泥岩组成的半固结碎屑岩组合。其分布的层系包括二叠系、三叠系、侏罗系和白垩系。其中,白色砒砂岩亦称为漂白砂岩^[1]。由于该套岩石组合固结程度低、易于遭受风化作用,人们视其危害毒如砒霜,故称其为砒砂岩。白色砒砂岩主要分布于东胜地区(图 1),典型剖面见于塔拉壕、白泥渠、石匠窑和神山沟等地^[1]。延安组中的白色砒砂岩在空间上与泥岩夹煤层关系密切。漂白砒砂岩发育于延安组顶部,位于煤层之上^[11],直接接触或间隔薄层泥岩^[1]。白色砒砂岩的厚度为 1 ~ 10 m。此外,在伊东煤矿附近,白色砒砂岩亦分布于煤层上部。目前认为白色砒砂岩的形成系红色砂岩遭受烃类流体的“漂白”所致。

2 样品及分析方法

样品采自东胜地区裸露砒砂岩。砒砂岩呈面状分布,由白色细砂岩-粉红色粉细砒砂岩-红色泥质粉砂岩过渡,同时在白色砂岩中发育铁质结核(图 2),在煤层上部延安组灰黑色泥岩中发育黄铁矿结核。

将样品进行处理和制样,利用日本岛津生产扫描电镜(JSM-6700F 型)及其配置的 INCAX-SIGHT 型能谱仪、日本理学生产的 D/max-2500/PC 衍射仪、X-荧光光谱(XRF)和美国 Agilent 公司生产的 7500a 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)进行分析,测试单位为吉林大学测试科学实验中心。

3 结果

3.1 岩石学和矿物学特征

通过显微岩相学观察,砂岩粒度主要在 0.25 ~ 0.4 mm,分选较好,磨圆较差,以线接触为主,其次为点接触;石英表面干净,无解理,含量为 45% ~ 55%;正长石卡式双晶发育,表面发生蚀变,含量为 20% ~ 25%,几乎不含斜长石;岩屑包括硅质岩和泥岩岩屑等,含量 7% ~ 10%;含有少量的高岭石和黑云母;填隙物含量为 10% ~ 13%。孔隙式胶结,颗粒支撑。砒砂岩类型为细-中粒岩屑长石砂岩(图 3)。X-射线衍射分析表明(表 1):主要矿物为石英和碱性长石,其次为伊利石和高岭石,含有少量的伊蒙混层。漂白砒砂岩粘土矿物组成与美国科罗拉多高原^[12]和犹他东南部^[4]不同,漂白砒砂岩矿物组成与研究区其他砒砂岩也不同。

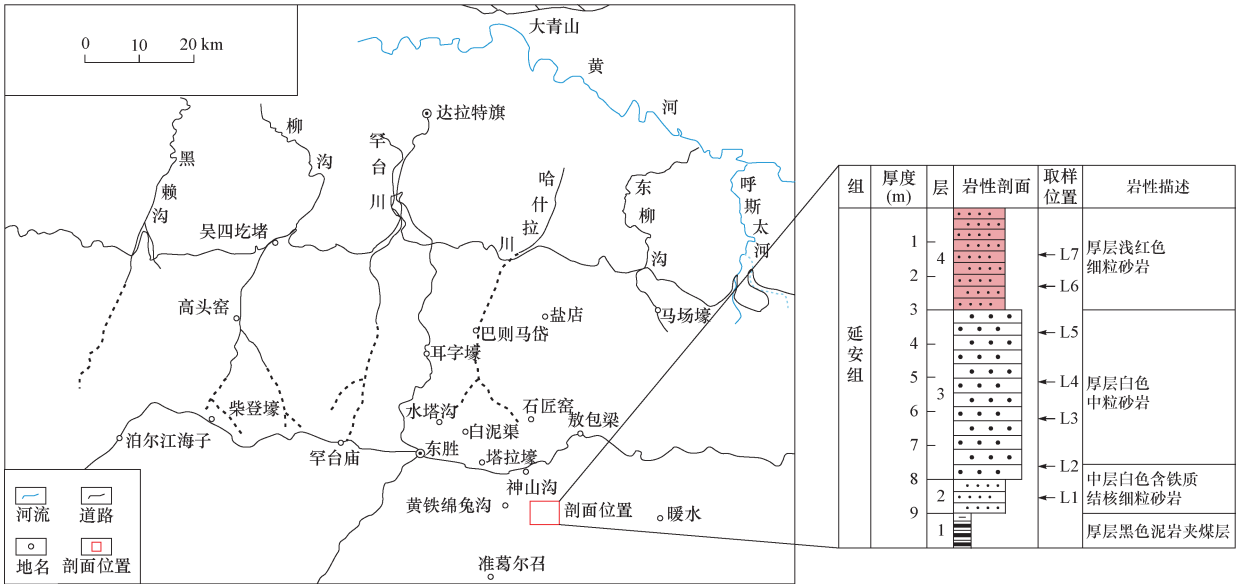


图 1 研究区位置及岩性柱状图
Fig. 1 Location of the study area and lithology column

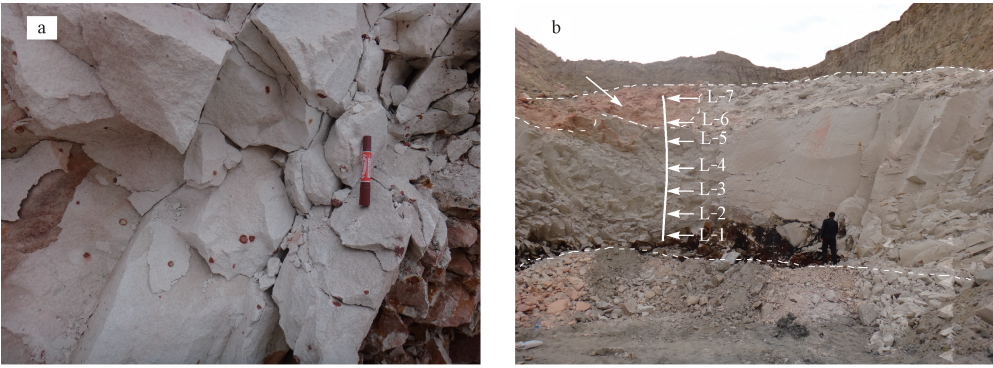


图 2 鄂尔多斯盆地漂白砒砂岩典型照片

Fig. 2 Typical photos of bleached Pisha sandstone in the Ordos Basin

a. 白色砒砂岩中含球状铁质结核;b. 底部为黑色泥岩夹煤层,中部为白色砒砂岩含铁质结核,顶部为红色砒砂岩,L-1 至 L-7 为取样位置

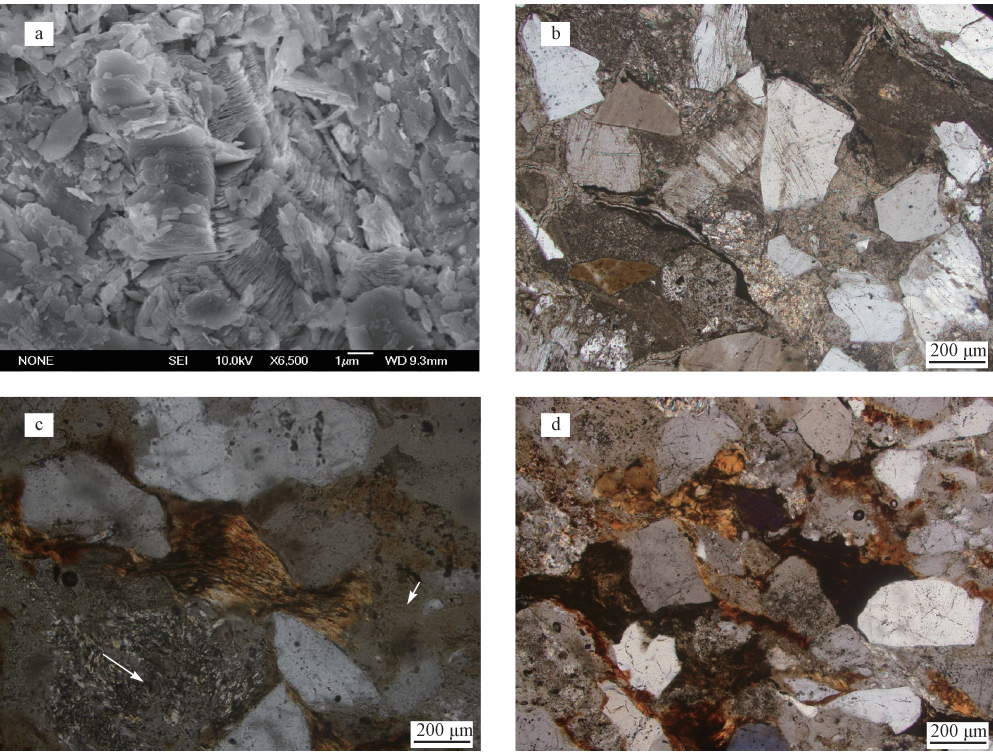


图 3 鄂尔多斯盆地漂白砒砂岩显微镜下典型照片

Fig. 3 Typical microscopic photographs of bleached sandstone in the Ordos Basin

a. L-7 样品,高岭石充填砂岩中长石溶解孔隙;b. L-2 样品,岩屑长石砂岩,长石沿解理溶蚀;c. L-5 样品,岩屑长石砂岩,黑云母向高岭石转化,析出 Fe^{3+} ;d. L-5 样品,岩屑长石砂岩, Fe^{3+} 胶结骨架碎屑颗粒,充填次生孔隙

表 1 鄂尔多斯盆地漂白砒砂岩样品 X-射线
衍射分析数据

Table 1 X-ray diffraction analysis data of bleached Pisha sandstone in the Ordos Basin						%
样号	岩性	Q	fs	I/S	I	K
L-1	漂白砒砂岩	57	13	17	13	—
L-2	漂白砒砂岩	58	8	4	30	—
L-3	漂白砒砂岩	59	10	9	22	—
L-4	漂白砒砂岩	37	7	—	19	37
L-5	漂白砒砂岩	28	5	—	20	47
L-6	浅红色砒砂岩	24	6	4	22	44
L-7	粉红色砒砂岩	27	6	4	20	43

注:Q. 石英,fs. 碱性长石,I/S. 伊/蒙混层;I. 伊利石;K. 高岭石
测试单位为吉林大学测试科学实验中心。

3.2 地球化学特征

砒砂岩 MgO , Na_2O , P_2O_5 和 MnO 含量相对偏低,同时随深度增加 Fe_2O_3 含量逐渐降低(表 2),漂白砒砂岩常量元素组成与马艳萍^[1]发表的数据相近。微量元素浓度克拉克值可作为反应过程中元素贫化和富集的指标。微量元素特征(表 3;图 4):Hf 元素在砂岩中富集,浓度克拉克值接近 4;其次 Zr, Ss, Ba 和 U 相对富集,浓度克拉克值超过 1.6;Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu 和 Pb 等相对贫乏,浓度克拉克值小于 1。

稀土含量分析结果表明(表 4,表 5), ΣREE 介于 67 ~ 296 $\mu g/g$, 平均 219.5 $\mu g/g$ 。LREE/HREE 介于

表2 鄂尔多斯盆地砂岩常量元素含量
Table 2 constant elements in the data table

%

样号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	合计	Fe ₂ O ₃ + FeO
L-1	漂白砒砂岩	74.76	0.42	16.24	0.01	0.10	0.08	0.20	0.56	0.04	2.20	0.08	4.70	99.39	0.11
L-2	漂白砒砂岩	73.98	0.48	17.44	0.03	0.10	0.06	0.26	0.57	0.04	2.40	0.11	4.70	100.17	0.13
L-3	漂白砒砂岩	74.96	0.31	16.62	0.03	0.10	0.04	0.23	0.56	0.04	2.65	0.13	4.02	99.69	0.13
L-4	漂白砒砂岩	74.78	0.43	17.48	0.06	0.10	0.10	0.14	0.10	0.05	2.40	0.08	4.71	100.43	0.16
L-5	漂白砒砂岩	73.46	0.56	17.71	0.13	0.10	0.08	0.12	0.08	0.04	2.03	0.11	4.98	99.40	0.23
L-6	浅红色砒砂岩	72.76	0.75	17.66	0.33	0.10	0.14	0.16	0.09	0.06	1.95	0.11	5.28	99.39	0.43
L-7	粉红色砒砂岩	74.44	0.60	16.17	0.69	0.10	0.12	0.17	0.10	0.05	1.93	0.13	5.04	99.54	0.79

注:测试单位为吉林大学测试科学实验中心。

表3 鄂尔多斯盆地砂岩微量元素含量
Table 3 Analysis and comparison of trace element content of sandstone

10⁻⁶

样号	岩性	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Zr	Cs	Ba	Hf	Ta	Pb	U
—	克拉克值	18.00	140.00	110.00	25.00	89.00	63.00	94.00	18.00	78.00	480.00	130.00	1.40	390.00	1.50	1.60	12.00	2.70
L-1	漂白砒砂岩	6.44	24.69	28.41	9.10	17.35	7.46	168.80	14.92	58.62	363.20	116.50	1.77	733.90	3.43	0.60	4.71	12.21
L-2	漂白砒砂岩	8.04	41.54	38.04	2.80	10.68	9.47	58.82	17.34	78.45	287.20	164.00	2.11	664.30	4.69	0.72	5.82	8.93
L-3	漂白砒砂岩	4.86	29.57	29.45	1.33	9.03	6.69	35.73	14.15	74.61	247.40	80.22	1.77	711.40	2.52	0.54	4.79	4.92
L-4	漂白砒砂岩	6.32	48.96	47.18	2.59	8.40	13.63	18.07	15.81	76.12	78.10	125.20	2.06	611.40	3.62	0.70	5.48	1.94
L-5	漂白砒砂岩	5.55	62.72	41.06	1.33	63.13	31.01	16.04	14.72	66.08	62.65	251.10	1.96	495.00	7.09	0.90	6.19	2.42
L-6	浅红色砒砂岩	8.81	94.14	54.20	2.60	9.22	19.68	23.33	17.63	65.57	57.93	464.60	2.08	494.30	12.65	1.21	21.60	3.00
L-7	粉红色砒砂岩	9.12	75.86	59.38	2.36	10.34	10.17	28.20	18.10	73.92	49.63	258.10	4.14	483.40	7.30	1.03	7.47	2.68
浓度 克拉 克值	漂白砒砂岩	0.36	0.18	0.26	0.36	0.19	0.12	1.80	0.83	0.75	0.76	0.90	1.26	1.88	2.29	0.38	0.39	4.52
	漂白砒砂岩	0.45	0.30	0.35	0.11	0.12	0.15	0.63	0.96	1.01	0.60	1.26	1.51	1.70	3.12	0.45	0.48	3.31
	漂白砒砂岩	0.27	0.21	0.27	0.05	0.10	0.11	0.38	0.79	0.96	0.52	0.62	1.26	1.82	1.68	0.34	0.40	1.82
	漂白砒砂岩	0.35	0.35	0.43	0.10	0.09	0.22	0.19	0.88	0.98	0.16	0.96	1.47	1.57	2.41	0.44	0.46	0.72
	漂白砒砂岩	0.31	0.45	0.37	0.05	0.71	0.49	0.17	0.82	0.85	0.13	1.93	1.40	1.27	4.73	0.56	0.52	0.90
	浅红色砒砂岩	0.49	0.67	0.49	0.10	0.10	0.31	0.25	0.98	0.84	0.12	3.57	1.49	1.27	8.43	0.75	1.80	1.11
	粉红色砒砂岩	0.51	0.54	0.54	0.09	0.12	0.16	0.30	1.01	0.95	0.10	1.99	2.96	1.24	4.87	0.64	0.62	0.99

注:测试单位为吉林大学测试科学实验中心。

表4 鄂尔多斯盆地砂岩稀土元素含量
Table 4 Sandstone REE content analysis results

10⁻⁶

样号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
L-1	漂白砒砂岩	24.16	44.45	5.47	21.94	3.76	1.16	3.52	0.55	2.85	0.59	1.58	0.23	1.47	0.23
L-2	漂白砒砂岩	32.97	59.54	7.66	28.56	4.87	1.37	4.50	0.72	3.72	0.81	2.09	0.30	1.77	0.29
L-3	漂白砒砂岩	17.18	27.79	3.89	15.03	2.36	0.82	2.70	0.43	2.35	0.54	1.44	0.21	1.24	0.21
L-4	漂白砒砂岩	43.28	66.19	10.03	39.94	7.14	1.53	6.29	1.01	5.04	1.00	2.54	0.39	2.32	0.35
L-5	漂白砒砂岩	61.25	100.20	13.72	51.83	8.21	1.85	6.36	0.93	4.44	0.87	2.18	0.32	1.93	0.30
L-6	浅红色砒砂岩	72.57	99.64	16.61	65.57	11.02	2.50	9.79	1.47	7.41	1.47	3.69	0.54	3.21	0.49
L-7	粉红色砒砂岩	109.50	162.60	26.38	104.30	17.59	3.85	14.68	2.03	9.69	1.86	4.41	0.61	3.55	0.52
UCC	上部地壳	30.00	64.00	7.10	26.00	4.50	0.88	3.80	0.64	3.50	0.80	2.30	0.33	2.20	0.32
NASC	欧洲页岩	32.00	70.00	7.90	31.00	5.70	1.24	5.21	0.85	5.54	1.04	3.40	0.50	3.10	0.48

注:欧洲页岩(NASC)引自Haskin(1966),上部地壳(UCC)引自黎丹(1990);测试单位为吉林大学测试科学实验中心。

表5 鄂尔多斯盆地砂岩稀土元素参数
Table 5 Sandstone REE parameter comparison table

样号	岩性	含量/10 ⁻⁶			LREE/HREE	Eu/Eu [*]	Ce/Ce [*]	Ce _{anom}	La _N /Yb _N	La _N /Sm _N	Gd _N /Yb _N
		ΣREE	LREE	HREE							
L-1	漂白砒砂岩	111.96	100.94	11.02	9.16	1.40	0.88	-0.07	1.60	1.14	1.43
L-2	漂白砒砂岩	149.16	134.96	14.20	9.51	1.28	0.85	-0.07	1.80	1.21	1.51
L-3	漂白砒砂岩	76.18	67.07	9.11	7.36	1.42	0.77	-0.12	1.35	1.30	1.30
L-4	漂白砒砂岩	187.05	168.11	18.94	8.88	1.00	0.72	-0.15	1.81	1.08	1.61
L-5	漂白砒砂岩	254.40	237.06	17.34	13.67	1.12	0.79	-0.11	3.07	1.33	1.96
L-6	浅红色砒砂岩	295.96	267.91	28.06	9.55	1.06	0.65	-0.19	2.19	1.17	1.81
L-7	粉红色砒砂岩	461.57	424.22	37.35	11.36	1.05	0.69	-0.17	2.99	1.11	2.46

注:Eu/Eu^{*} = Eu_N / (Sm_N · Gd_N)^{1/2}, Ce/Ce^{*} = Ce_N / (La_N · Pr_N)^{1/2}, Ce_{anom} = lg[3Ce_N / (2La_N + Nd_N)] ; La_N/Yb_N, La_N/Sm_N 和 Gd_N/Yb_N 均为球粒陨石标准化比值;Eu/Eu^{*}, Ce/Ce^{*} 和 Ce_{anom} 为异常系数。

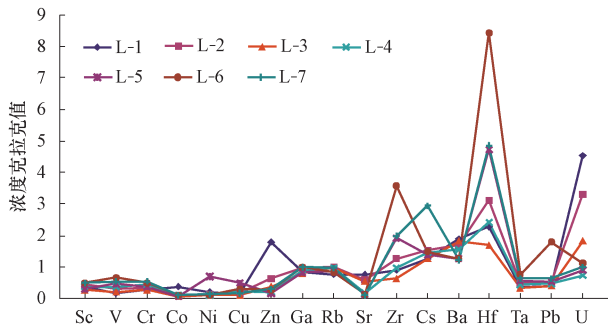


图4 鄂尔多斯盆地漂白砒砂岩微量元素富集关系

Fig. 4 Enrichment relationship of the trace elements in bleached Pisha sandstone of the Ordos Basin

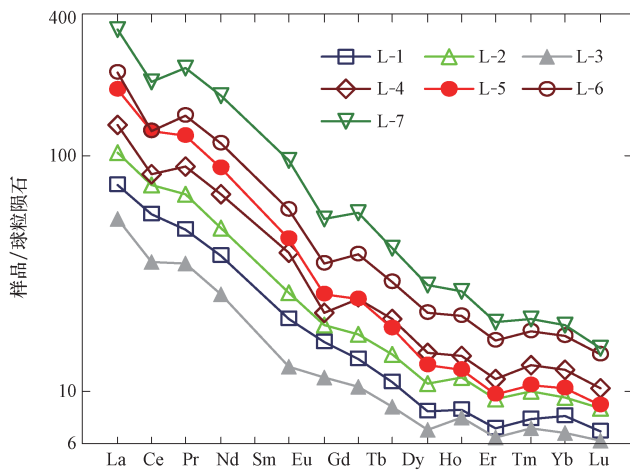


图5 鄂尔多斯盆地漂白砒砂岩稀土元素配分模式

Fig. 5 REE patterns of bleached Pisha sandstone in the Ordos Basin

7.36 ~ 13.67, 平均 9.93。Eu/Eu* 介于 1 ~ 1.42, 平均 1.19。Ce/Ce* 介于 0.65 ~ 0.88, 平均 0.76。对样品进行球粒陨石标准化,从配分模式曲线(图5)上看出,漂白砒砂岩 REE 配分模式趋势表现为轻稀土富集、重稀土亏损, LREE 分馏程度较高, HREE 分馏程度较低; Eu 呈明显负异常, Ce 表现出弱亏损。

沉积岩的稀土元素特征可以反映沉积水体的氧化-还原条件; Elderfield 等^[13] 提出 Ce 异常 (Ce_{anom}) 计算公式:

$$Ce_{anom} = \lg[2Ce_n / (2La_n + Nd_n)] \quad (1)$$

式中: Ce_n, La_n 及 Nd_n 分别为 Ce, La 及 Nd 实测数值在与北美页岩标准化之后的数值。当 Ce_{anom} > -0.1 时, 指示缺氧、还原的古水体环境; 当 Ce_{anom} < -0.1 时, 指示氧化的古水体环境。研究区砒砂岩 Ce_{anom} 介于 -0.07 ~ -0.17 (表5), 平均 -0.125。指示上部微红色砒砂岩形成于氧化古水体环境, 底部漂白砒砂岩形成于缺氧、还原的古水体环境。

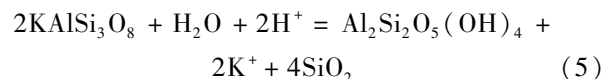
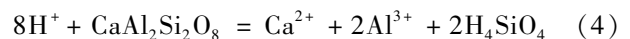
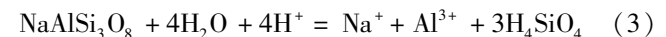
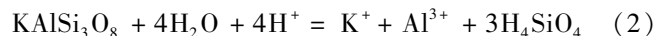
4 讨论

研究区漂白砒砂岩具有独特的粘土矿物组成: 伊/

蒙混层 + 伊利石, 高岭石和伊利石主要分布在浅红 - 粉红色砒砂岩中。这一特点区别于美国科罗拉多高原^[12]、犹他东南部^[4]、鄂尔多斯盆地东北部^[1]和松辽盆地钱家店^[2]分布的漂白砂岩粘土矿物组成: 伊/蒙混层 + 伊利石 + 高岭石。笔者认为这一独特现象与样品的采集和流体 - 岩石相互作用过程差异有关。

4.1 粘土矿物组成差异

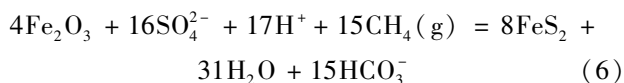
前人报道的粘土矿物组成中高岭石含量占 60% 以上^[1,2,4,12], 集中体现在样品都是采集在漂白砂岩与红色砂岩过渡带, 这一结果与本次研究样品中 L4 和 L5 号样品一致, 而本次研究选取的是连续剖面。根据薄片鉴定和 X-射线衍射分析结果(表1), 漂白砂岩矿物组成中不含斜长石, 随深度的增加碱性长石含量增大, 高岭石含量减小, 互为消长关系。同时常量元素分析(表2)中 K₂O 和 Al₂O₃ 含量基本不变, Na₂O 和 CaO 含量低, 因此推断研究剖面底部在酸性流体作用下长石矿物发生了溶解作用[公式(2)~(4)], 在剖面上部发生了溶蚀、溶解作用[公式(2)和(5)], 从而造成粘土矿物组成的差异, 形成微量元素 Hf, Zr, Sr, Ba 和 U 的相对富集, 稀土元素 Eu 负异常和 Ce 亏损, 这种酸性流体的来源与漂白砒砂岩的形成紧密相关。



4.2 漂白砒砂岩形成机理

前人对红色砒砂岩漂白有不同的观点^[2,4,12], 其关键为红色砂岩中的 Fe³⁺ 被还原成易溶的 Fe²⁺, 实现以上还原反应的地质流体主要为油气和幔源 CO₂。漂白砂岩与烃运移有关的观点提出于 20 世纪 20 年代^[3], 通过近百年来的地质观察, 积累了较多的支持该观点的空间关系证据: ①漂白砂岩与焦油砂共生^[4]; ②在 Moab 断层带, 漂白砂岩中发育沥青脉^[4]; ③显示烃漂白红砂岩的实验室实验^[14]; ④显示甲烷还原和活化铁的地球化学模拟^[12]; ⑤在松辽盆地, 漂白砂岩主要钻遇于钱家店铀矿区的上白垩统姚家组^[2]、门达地区上白垩统姚家组^[15]、三台子凹陷下白垩统泉头组和上白垩统姚家组^[16-17]和白兴吐地区上白垩统姚家组^[15], 其形成被认为与间氧化^[2]、油气运移^[15-16]和煤层气^[16]有关。漂白样式表明, 还原流体是浮力驱动的, 沿断层向上运移, 聚集于背斜圈闭的顶部或地层圈闭的高点, 这意味着该还原性流体为油气而不是其他的还原流体。前人通过油气包裹体和碳氧同位素已经证实东

胜地区漂白砒砂岩中碳酸盐胶结物的形成与有机质有关^[1],实际考察中发现煤层顶部黑色泥岩中含量大量的黄铁矿结核,结合 Ce_{anom} 所指示漂白砒砂岩处于缺氧、还原的古水体环境,因此认为红色砒砂岩漂白发生了如下反应:



煤层和泥岩演化释放的天然气和酸性流体混合硫酸盐将红色砒砂岩漂白,随反应的进行还原流体在浮力驱动下携带 HCO_3^- 向上运移,使储层砂岩中长石矿物发生溶蚀、溶解,在靠近顶部红色砒砂岩位置形成高岭石沉淀, HCO_3^- 和被浅层喜氧细菌氧化的天然气转化为 CO_2 ,并最终与碳酸盐胶结物的形式沉淀,这与漂白砒砂岩上部直罗组发育大量钙质结合现象一致。

5 结论

1) 漂白砒砂岩矿物组成主要为石英和碱性长石,其次为伊利石和高岭石,含有少量的伊蒙混层。

2) 漂白砒砂岩 SiO_2 含量为 72.76% ~ 74.96%, Al_2O_3 含量为 16.17% ~ 17.48%, K_2O 含量为 1.93% ~ 2.65%, CaO 含量为 0.08% ~ 0.57%, Fe_2O_3 含量为 0.01% ~ 0.69%。 Hf, Zr, Ss, Ba 和 U 相对富集。 ΣREE 介于 67 ~ 296 $\mu g/g$, 平均 219.5 $\mu g/g$ 。 $LREE/HREE$ 介于 7.36 ~ 13.67, 平均 9.93。 REE 配分模式为轻稀土富集、重稀土亏损, Eu 呈明显负异常, Ce 表现出弱亏损。

3) 综合研究表明漂白砒砂岩形成于酸性流体环境下硫酸盐和天然气的还原作用。

参 考 文 献

- [1] 马艳萍,刘池阳,赵俊峰,等.鄂尔多斯盆地东北部砂岩漂白现象与天然气逸散的关系[J].中国科学(D辑),2007,37(增刊I):127-138.
Ma Yanping, Liu Chiayang, Zhao Junfeng, et al. Bleached sandstone in northeastern Ordos Basin gas emission phenomena and the relationship [J]. Chinese Science (D Series), 2007, 37 (Suppl I): 127-138.
- [2] 庞雅庆,向伟东,李田港,等.钱家店铀矿床漂白砂岩成因探讨[J].世界核地质科学,2007,24(3):142-146.
Pang Yaqing, Xiang Weidong, Li Tianguang, et al. Discussion on the origin of bleached sandstone of Qianjiadian uranium deposit [J]. World Nuclear Geoscience, 2007, 24 (3): 142-146.
- [3] Moulton G F. Some features of redbed bleaching [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1922, 10: 304-311.
- [4] Chan M A, Parry W T, Bowman J R. Diagenetic hematite and manganese oxides and fault-related fluid flow in Jurassic Sandstones, Southeastern Utah [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84 (9): 1281-1310.
- [5] Parry W T, Blamey N J F. Fault fluid composition from fluid inclusion measurements, Laramide age Uintathrust fault, Utah [J]. Chemical Geology, 2010, 278: 105-119.
- [6] Beitler B, Parry W T, Chan M A. Fingerprints of fluid flow: Chemical diagenetic history of the Jurassic Navajo Sandstone, Southern Utah, USA [J]. Journal of Sedimentary Research, 2005, 75: 547-561.
- [7] 白玉彬,赵靖舟,赵子龙,等.鄂尔多斯盆地志丹地区延长组7致密油成藏条件与成藏特征[J].石油与天然气地质,2013,34(5):631-639.
Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Zhao Zilong, et al. Accumulation conditions and characteristics of the Chang 7 tight oil reservoir of the Yan-chang Formation in Zhidan area, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34 (5): 631-639.
- [8] 李军,赵靖舟,凡元芳,等.鄂尔多斯盆地上古生界连续型气藏天然气运移机制[J].石油与天然气地质,2013,34(5):592-600.
Li Jun, Zhao Jingzhou, Fan Yuanfang, et al. Gas migration mechanism of quasi-continuous accumulation in the Upper Paleozoic of Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34 (5): 592-600.
- [9] 李军,赵靖舟,凡元芳,等.鄂尔多斯盆地上古生界连续型气藏天然气运移机制[J].石油与天然气地质,2013,34(5):592-600.
Li Jun, Zhao Jingzhou, Fan Yuanfang, et al. Gas migration mechanism of quasi-continuous accumulation in the Upper Paleozoic of Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34 (5): 592-600.
- [10] 苏复义,周文,金文辉,等.鄂尔多斯盆地中生界成藏组合划分与分布评价[J].石油与天然气地质,2012,33(4):582-590.
Su Fuyi, Zhou Wen, Jin Wenhui, et al. Identification and distribution of the Mesozoic plays in Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33 (4): 582-590.
- [11] 李思田,程守田,杨士恭,等.鄂尔多斯盆地东北部层序地层及沉积体系分析[M].北京:地质出版社,1992,163-174.
Li Sitian, Cheng Shoutian, Yang Shigong, et al. Sequence stratigraphy and depositional system of the northeast Ordos Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992, 163-174.
- [12] Parry W T, Chan M A, Beitler B. Chemical bleaching indicates episodes of fluid flow in deformation bands in sandstone [J]. AAPG Bulletin, 2004, 88 (2): 175-191.
- [13] Elderfield H, Greaves M J. The rare earth elements in seawater [J]. Nature, 1982, 296: 214-219.
- [14] Surdam R C, Crossey L J, Mac Gowan. Redox reaction involving hydrocarbons and mineral oxidants: a mechanism for significant porosity enhancement in sandstones [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77 (9): 1509-1818.
- [15] 张振强,赵忠华,杨冰,等.松辽盆地南部白兴吐地区油气后生还原对铀成矿的作用[J].铀矿地质,2009,25(5):290-295.
Zhang Zhenqiang, Zhao Zhonghua, Yang Bing, et al. Epigenetic-reduction of oil and gas to uranium mineralization in Yaojia formation in Baixingtu area of southern Songliao Basin [J]. Uranium Geology, 2009, 25 (5): 290-295.
- [16] 林锦荣,田华,董文明,等.松辽盆地东南部油气、煤层气后生蚀变硫同位素特征[J].世界核地质科学,2009,26(2):6367.
Lin Jinrong, Tian Hua, Dong Wenming, et al. Characteristics of sulfur isotope during the epigenetic alteration of oil-gas and coalbed methane in the southwestern Songliao Basin [J]. World Nuclear Geoscience, 2009, 26 (2): 6367.
- [17] 肖辉,赵靖舟,王大兴,等.鄂尔多斯盆地奥陶系原生天然气地球化学特征及其对靖边气田气源的意义[J].石油与天然气地质,2013,34(5):601-609.
Xiao Hui, Zhao Jingzhou, Wang Daxing, et al. Geochemical characteristics of primary gas in the Ordovician and their significance for the gas source of Jingbian gas field, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34 (5): 601-609.

(编辑 董立)