

鄂尔多斯盆地二叠系烃源岩地球化学特征 与沉积环境的关系

苗建宇¹ 赵建设² 刘池洋¹ 朱亚军¹ 王武龙¹

(1. 大陆动力学国家重点实验室(西北大学), 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069;

2. 陕西省物理无机化学重点实验室/化学系, 陕西 西安 710069)

摘要:鄂尔多斯盆地二叠系烃源岩是盆地重要潜在的生烃岩系,以钻井岩心地球化学分析资料为主,对泥岩、泥质碳酸盐岩的微量元素、稀土元素和有机质地球化学特征进行了系统分析,其中微量元素含量与同类岩石的克拉克值相比,差别较大。轻稀土富集程度较高,重稀土相对较低, Ce/Ce^* 具有较明显的正异常,反映出烃源岩沉积环境总体为还原环境。研究认为,半深湖—深湖相带沉积的灰黑色泥岩类烃源岩还原程度强,有机质丰度高,有机质能被及时埋藏;河流—沼泽相沉积环境沉积的灰色—绿灰色泥岩类烃源岩有机质丰度较低。还原程度强、具一定深度水体的沉积相带是原始有机质沉积的良好场所,有机质能沉积并及时保存下来;而气候条件相对干燥、降水少、陆源碎屑物补充不足或较长时间处于氧化环境条件下沉积的泥质碳酸盐岩类岩石,有机质丰度明显偏差。

关键词:烃源岩;沉积环境;地球化学;鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)03-0430-06

鄂尔多斯盆地是中国第二大沉积盆地,北与阴山为邻,南与秦岭相望,东接吕梁隆起,西到六盘山一线,盆地轮廓呈矩形,面积 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

现今的鄂尔多斯盆地构造总体划分为6个二级构造单元,分别为伊盟隆起、渭北隆起、伊陕斜坡、西缘逆冲带、晋西挠褶带和天环拗陷(图1)。边缘断裂褶皱较发育,而内部构造相对简单,地层平缓。

鄂尔多斯盆地南部基底由下元古界变质岩组成。沉积盖层缺失志留系和泥盆系,中上元古界主要以海相、陆相的裂谷沉积为主,厚度200~3000 m,下古生界主要以海相碳酸盐岩沉积为主,厚度400~1600 m^[1]。

上古生界二叠系陆相沉积主要以湖泊、河流及沼泽相为主,局部夹泥质碳酸盐岩,地层厚600~1700 m。预探结果表明,鄂尔多斯盆地具有良好的含油气远景。油气源对比得出,上古生界二叠系暗色泥岩、泥质碳酸盐岩及部分煤层,是盆地主要的烃源岩类型^[2]。

1 岩性特征及沉积分布

根据地表露头及钻遇地层并参照国际地层新分类方案

分析认为^[3],盆地二叠系烃源岩主要分布于太原组和山西组(相当于二叠系乌拉尔统)。

二叠系太原组的上部为灰黑色泥岩夹煤层及灰色细砂岩,下部为褐灰色含砾砂岩,偶见黄铁矿,夹灰黑色泥岩薄层。二叠系山西组灰色泥岩、灰绿色砂质泥岩与灰绿色泥质砂岩、细砂岩组成韵律互层,主要分布在该组的下部和顶部,暗色泥岩性硬且脆。黑色炭质泥岩及煤层质纯,细微薄层理和水平层理发育。受晚石炭世和早二叠世盆地沉降和沉积体系的影响,盆地西部沉积暗色泥岩达200 m以上,向盆地内部沉积厚度快速减少。盆地东部沉积厚度一般为100~130 m,最厚的地区达140 m以上。盆地中部沉积厚度稳定,一般为60~100 m,盆地南北两侧厚度较小。

2 岩石地球化学特征

针对鄂尔多斯盆地二叠系烃源岩沉积分布特点,重点选择鄂尔多斯盆地镇探1井、大15井等进行样品采集和剖面研究。所有样品微量元素地球化学测试在同济大学海洋地质系国家重点实验室用ICP-MS方法完成(表1~2),样品有机地球化学测试在中国石油勘探开发研究院完成(表3)。

收稿日期:2007-02-12;改回日期:2007-03-26

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214600)、教育部长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0559)资助。

作者简介:苗建宇,男,1952年生,博士,教授,主要从事石油地质教学和研究工作;E-mail:jymiao@126.com。

2.1 微量元素

从分析的微量元素结果(表 1)可见,该盆地二叠系泥岩中大部分元素(Li,Be,Sc,Cr,Co,Ni,Zn,Ga,Rb,Zr,Nb,Cs,Ta,Th,U)的平均值与同类岩石的克拉克值相比,含量较高;泥岩中部分元素(V,Cu,Sr,Y,Ba,Bi)的含量较同类岩石的克拉克值偏低;泥质碳酸盐岩中多数元素的含量较碳酸盐岩的克拉克值含量高,只有少数元素的含量偏低,显然这些特征与岩石的吸附能力有关^[4]。

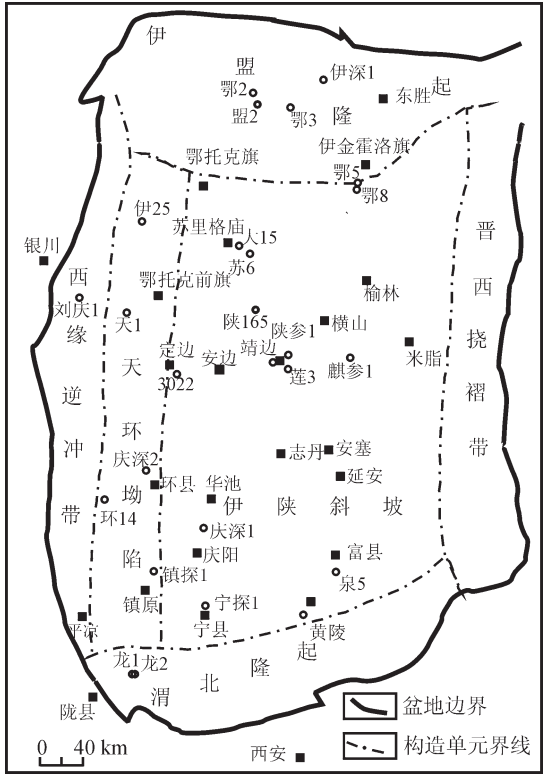


图 1 鄂尔多斯盆地研究区位置图
Fig.1 Geographic location of the Ordos basin

2.2 稀土元素

通过分析该盆地稀土元素结合球粒陨石和北美页岩标准化后的稀土分布模式和有关参数变化情况的研究^[5-9],发现盆地二叠系的稀土元素(表 2)地球化学有以下特点(图 2)。

(1)球粒陨石标准化后,轻稀土富集程度较高,重稀土相对较低,LREE/HREE 平均值为 4.7,较球粒陨石的 2.4 要高。经北美页岩标准化后,泥岩的 LREE/HREE 平均值为 0.70,泥质碳酸盐岩的 LREE/HREE 平均为 0.26。由此说明,从物源区到沉积区经风化、搬运到沉积的过程中,地表沉积环境具有重要的影响^[7]。

(2)经球粒陨石标准化后,Eu 具有较明显的亏损,平均 Eu/Eu* 值为 0.67。其中泥质碳酸盐岩的 Eu/Eu* 平均值为 0.79,泥岩的 Eu/Eu* 平均值为 0.64。两类岩石虽有差异,但都与上地壳平均值 0.65 相差不大,反映了剥蚀区母岩的性质,体现出沉积物源对岩石成分特征的控制^[8]。

(3)经北美页岩标准化后,Ce/Ce* 的平均值为 0.43,反映了明显的还原环境条件。其中泥质碳酸盐岩 Ce/Ce* 的平均值为 0.67,泥岩的 Ce/Ce* 平均值为 0.18,但也显示出不同岩类沉积环境的差异。

(4)泥岩中稀土元素(REE)富集程度与北美页岩、欧洲及澳大利亚页岩相比明显偏高,推测一方面在温暖潮湿的气候条件下发生的强化学风化作用,可以使稀土元素的活性增强;另一方面,泥岩沉积中生物较多,应是稀土元素含量较高的主要原因^[9-10]。此外,不同岩类沉积环境总体为还原环境也应是重要原因之一。

2.3 有机碳含量

测试结果表明,不同岩石类型有机碳含量不同(表 3)。鄂尔多斯盆地二叠系泥质碳酸盐岩的有机碳含量为 0.25%;泥岩的有机碳含量最高值为 7.95%,最低值为 0.11%,平均值为 1.31%。其次,具不同颜色的泥岩中有机碳含量有所差别,大部分黑灰色泥、页岩中有机碳含量为 1%;多数灰色泥、页岩中含量为 1%~0.5%;灰色—绿灰色泥岩中大多含量<0.4%,显然与它们形成的沉积环境有关^[11]。

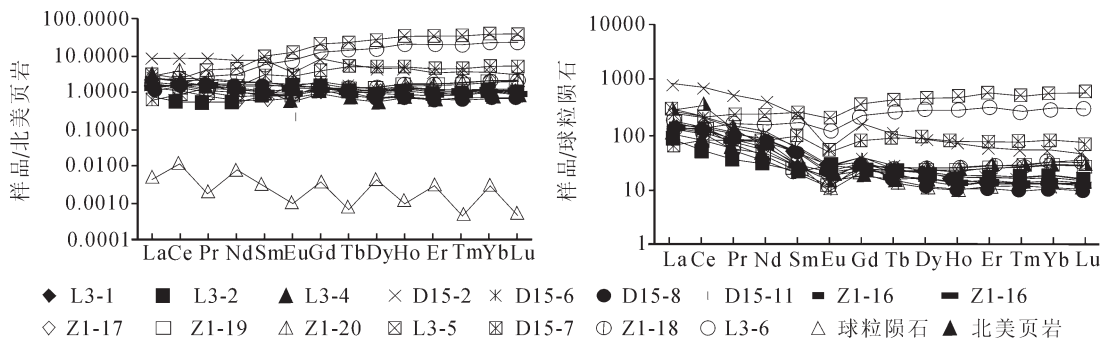


图 2 鄂尔多斯盆地二叠系部分岩石稀土元素分布模式图
Fig.2 REE distribution patterns for Permian source rocks in the Ordos basin

表 1 鄂尔多斯盆地二叠系部分岩石微量元素统计(μg/g)
Table 1 Trace element data for Permian source rocks in the Ordos basin(μg/g)

样号 井下号 岩石 定名	1 L3-1 绿灰色 砂质泥岩	2 L3-3 灰色 泥岩	3 L3-4 灰色 泥岩	4 D15-2 深灰 色泥岩	5 D15-6 深灰 色泥岩	6 D15-8 深灰 色泥岩	7 D15-11 深灰 色泥岩	8 Z1-16 灰黑 色泥岩	9 Z1-17 灰黑 色泥岩	10 Z1-19 褐灰 色泥岩	11 Z1-20 褐灰 色泥岩	12 Z1-21 褐灰 色泥岩	平均值	16 L3-6 泥质碳 酸盐岩	页岩克 拉克值	碳酸盐 岩克 拉克值
Li	31.66	75.47	147.80	156.36	38.77	48.24	24.87	56.49	113.63	281.85	313.95	242.28	127.61	34.44	66	5
Be	3.66	7.97	3.59	10.41	3.95	3.76	3.95	8.24	2.48	0.74	1.16	3.48	4.45	1.36	3	*
Sc	19.02	19.21	23.71	33.62	25.78	26.29	16.03	11.97	11.97	15.71	16.43	22.24	20.16	59.00	13	1
V	108.63	142.03	161.05	183.57	102.56	141.44	108.29	101.21	111.63	99.17	130.42	147.67	128.14	127.14	130	20
Cr	73.63	82.19	75.89	86.01	59.64	79.70	56.12	105.75	74.19	133.08	171.99	175.70	97.82	199.61	91	11
Co	44.45	17.21	64.62	19.72	24.42	51.27	26.34	4.46	1.86	3.90	4.43	6.23	22.41	149.03	19	0.1
Ni	35.25	51.19	91.44	43.04	21.33	52.57	41.88	39.79	21.25	61.86	70.25	66.39	49.69	345.04	68	20
Cu	77.21	88.43	47.57	72.59	40.57	54.56	38.99	36.49	25.85	39.49	47.26	61.55	52.55	74.22	45	4
Zn	128.07	158.01	276.94	126.35	172.81	182.08	94.37	8.62	-1.95	-3.40	-1.83	7.73	95.65	360.83	95	20
Ga	44.41	56.93	36.05	131.95	117.87	47.76	67.86	80.98	61.07	64.15	73.87	69.65	71.05	49.68	19	4
Rb	131.28	138.34	49.31	207.48	168.80	153.86	195.87	159.55	113.43	20.05	50.65	77.80	122.20	32.92	130	3
Sr	168.86	183.48	212.83	240.79	126.58	144.15	190.98	176.48	130.01	92.27	103.41	101.62	155.95	9753.42	300	610
Y	21.21	35.96	17.19	104.64	29.91	14.72	30.59	16.93	23.67	34.65	34.36	33.85	33.14	349.14	26	30
Zr	31.91	58.07	29.91	33.45	196.87	60.98	21.39	244.21	295.96	439.23	402.31	667.06	206.78	79.32	160	19
Nb	15.18	22.57	15.11	40.03	24.91	22.71	16.58	22.64	29.57	40.91	39.18	48.67	28.17	15.80	11	0.3
Cs	8.04	10.76	2.90	15.09	7.07	5.05	12.95	13.93	21.44	2.67	6.11	11.97	9.83	1.57	5	*
Ba	554.67	653.02	320.09	975.56	1161.72	423.03	468.64	1050.77	464.81	104.58	196.38	264.70	553.16	600.42	580	10
Ta	2.65	4.00	8.21	8.43	5.31	4.99	4.07	2.06	2.12	4.00	3.95	4.69	4.54	101.85	0.8	*
Bi	0.24	0.64	1.37	1.53	0.37	0.58	0.42	0.68	0.49	2.99	2.81	2.60	1.23	0.99	20	9
Th	12.47	23.45	16.80	39.53	17.90	15.60	16.12	28.97	26.91	59.01	69.03	57.49	31.94	6.58	12	1.7
U	4.55	5.35	6.88	10.96	3.57	3.81	3.34	5.36	4.21	10.49	9.35	9.78	6.47	81.66	3.7	2.2
Sr/Ba	0.30	0.28	0.66	0.25	0.11	0.34	0.41	0.17	0.28	0.88	0.53	0.38	0.38	16.24		
V/(V+Ni)	0.75	0.74	0.64	0.81	0.83	0.73	0.72	0.72	0.84	0.62	0.65	0.69	0.73	0.27		

注:由上海同济大学海洋地质系国家重点实验室分析;页岩和碳酸盐岩克拉克值均引自参考文献[4]。

2.4 有机质显微组分

沉积岩中分散有机质一般可划分为四大类:即来源于高等植物的陆生有机质;来源于低等生物的水生有机质;来源于动物壳屑和经强烈分解、破坏的无定形有机质^[1]。研究发现,鄂尔多斯盆地二叠系暗色泥岩中腐泥组及藻类含量变化较大,平均含量为 71.3%,最高可达 99.4%,最低仅为 7.4%;壳质组较少为 0.2%~3.7%;镜质组含量变化较大,平均含量达 47.08%,最高含量可达 92.4%,最低含量为 0.6%;惰性组含量为 0~4.2%,因而岩石中干酪根类型较好(表 3)。

3 沉积环境与岩石有机质地球化学特征的关系

3.1 沉积环境与岩石有机质的丰度和类型

岩石有机质丰度取决于它的沉积环境^[13-17],有机质沉积具有强烈的不均一性^[18],实际上都与沉积环境密切相关。研究证实,沉积于不同沉积环境岩石有机质的显微组分有所差异,干酪根类型也不同^[19]。

岩石有机质来自与环境有密切关系的生物体,环境条件、发育阶段都会影响生物从外界环境吸收物质。鄂尔多斯盆地部分二叠系岩石样品中微量元素和有机碳含量的关系显示(表 1,表 3),部分微量元素丰度与有机质数量具有密切的相关关系。从岩石中微量元素的含量来看,生物出现的种类和繁衍程度与沉积环境密切相关。事实上,一些微量元素含量高低受沉积环境的影响,实际上也就控制了沉积物原始有机质的产率。

结合盆地部分二叠系岩石岩相沉积特征和岩石有机质丰度及有机显微组分特征分析,发现沉积于鄂尔多斯盆地二叠系暗色泥岩及中腐泥组及藻类含量变化较大。结合沉积环境研究,发现沉积于半深湖—深湖相沉积环境的岩石,有机质丰度值多数要高,干酪根中腐泥组显微组分含量较高,镜质组分含量较低,壳质组和惰性组基本未见,干酪根多属Ⅰ—Ⅱ型。沉积于浅湖相沉积环境的岩石,其特点是有机质丰度值多数为中等含量,干酪根显微组分中腐泥组含量较低,壳质组含量低,镜质组含量最高可达 92.4%,最低含量为 0.6%,偶见少

表 2 鄂尔多斯盆地二叠系部分岩石稀土元素含量统计(μg/g)

Table 2 REE data of Permian source rocks in the Ordos basin(μg/g)																
样品号 井下号 岩石 定名	1 L3-1 灰色砂 质泥岩	2 L3-3 灰色 泥岩	3 L3-4 灰色 泥岩	4 D15-2 深灰 色泥岩	5 D15-6 深灰 色泥岩	6 D15-8 深灰 色泥岩	7 D15-11 深灰 色泥岩	8 Z1-16 灰黑 色泥岩	9 Z1-17 灰黑 色泥岩	10 Z1-19 褐灰 色泥岩	11 Z1-20 褐灰 色泥岩	12 Z1-21 褐灰 色泥岩	平均值	16 L3-6 泥质碳 酸盐岩	球粒 陨石 ^①	北美 页岩 ^②
La	56.3	24.2	47.0	36.9	81.0	269.0	78.9	41.1	50.3	40.6	52.3	89.1	72.2	58.8	0.31	32
Ce	113.0	41.2	132.8	103.9	173.5	606.3	162.3	112.6	104.9	82.7	107.8	289.4	169.2	119.3	0.808	73
Pr	12.6	4.2	12.2	12.3	18.4	64.8	16.8	9.6	9.9	6.0	7.7	13.8	15.7	20.1	0.122	7.9
Nd	49.8	17.3	43.8	51.2	67.8	236.5	63.0	36.6	35.6	19.6	24.4	37.7	56.9	99.1	0.6	33
Sm	9.0	4.5	5.5	9.4	11.2	43.2	11.3	5.4	5.9	3.6	4.3	5.3	9.9	34.5	0.195	5.7
Eu	2.0	1.9	0.8	1.5	2.0	4.4	1.9	1.1	1.6	0.8	1.0	1.1	1.7	9.1	0.0735	1.24
Gd	8.2	5.9	5.5	7.3	9.9	40.8	10.2	5.4	6.5	5.4	6.0	8.4	9.9	60.1	0.259	5.2
Tb	1.0	0.8	0.6	0.8	1.1	5.0	1.3	0.7	0.9	1.0	1.0	1.0	1.3	12.2	0.0474	0.85
Dy	4.8	5.2	3.6	3.8	6.0	25.7	6.6	4.0	5.1	7.4	7.5	7.2	7.3	89.1	0.322	5.8
Ho	0.9	1.1	0.8	0.8	1.2	4.7	1.3	0.9	1.0	1.6	1.7	1.6	1.5	20.6	0.0718	1.04
Er	2.7	3.5	2.5	2.2	3.5	12.4	3.7	2.7	3.0	5.3	5.3	5.5	4.4	65.1	0.21	3.4
Tm	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	1.7	0.5	0.4	0.4	0.8	0.8	0.9	0.6	9.7	0.0324	0.5
Yb	2.6	3.5	2.3	2.2	3.4	11.1	3.6	3.0	3.0	6.0	6.0	6.5	4.4	67.2	0.209	3.1
Lu	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	1.5	0.5	0.4	0.4	0.9	0.9	1.0	0.6	10.4	0.0332	0.48
Eu/Eu* ¹	0.70	1.13	0.44	0.26	4.22	0.56	0.59	0.61	0.79	0.58	0.57	0.49	0.91	0.79		
Eu/Eu* ²	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	0.87	1.13	0.83	0.83	0.70	1.09	6.29		
Ce/Ce* ¹	0.15	0.14	0.22	0.18	0.17	0.19	0.17	0.20	0.16	0.17	0.18	0.28	0.18	0.07		
Ce/Ce* ²	0.65	0.68	0.87	0.73	0.74	0.58	0.73	0.61	0.79	0.58	0.57	0.49	0.67	0.39		
LREE ¹	1.6	0.8	1.3	7.2	2.0	1.4	2.1	1.16	1.28	0.84	1.06	1.90	1.9	3.7		
LREE ²	96.8	40.3	88.0	470.9	130.3	83.8	137.5	75.7	80.8	57.5	73.5	143.9	19.5	161.5		
HREE ¹	2.6	2.7	2.0	12.9	3.4	2.2	3.3	0.9	1.0	1.5	1.5	1.6	3.0	17.9		
HREE ²	16.3	17.4	12.7	77.1	21.3	13.5	20.1	14.1	16.1	24.4	24.9	26.7	23.7	287.2		
LREE/H	0.61	0.30	0.65	0.56	0.59	0.64	0.66	1.36	1.32	0.56	0.69	1.16	0.8	0.21		
LREE/H	5.9	2.3	6.9	6.1	6.1	6.2	6.9	5.4	5.0	2.4	3.0	5.4	5.1	0.6		

注:由上海同济大学海洋地质系国家重点实验室分析,①和 ②引自参考文献[5]。

表 3 鄂尔多斯盆地二叠系部分岩石有机地球化学参数统计

Table 3 Organic geochemical parameters of Permian source rocks in the Ordos basin															
剖面	岩性	有机碳/%			腐泥组/%		壳质组/%		镜质组/%		惰性组/%		有机质类型		
		变化范围	均值	样数	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	
L3	泥岩	0.20-3.49	1.15	8											
D15	泥岩	0.11~2.27	1.07	3											
ZT1	泥岩	0.17-795	2.08	8	7.4-99.4	59.2	0.2-0.4	0.1	0.6-92.4	53.1	0-0.2	0.1	I-III		
NT1	泥岩	0.29-6.60	0.72	7	66.5-78.2	72.4	0.2-3.7	2.0	20.5-25.5	23	1.0-4.2	2.6	II ₁		
L3	泥岩碳 酸盐岩	0.25	0.25	1											

注:由中国石油勘探开发研究院分析。

量惰性组,有机质母质以陆源生物为主,干酪根类型相对发育较好,为腐植型(Ⅱ2—Ⅲ型)。沉积于河流—沼泽相发育的近岸湖相沉积环境,有机质丰度值多数含量较低,干酪根显微组成中腐泥组与壳质组含量都明显偏低,镜质组所占比重大,壳质组及惰性组很少,除少数样品外,基本属腐殖型(Ⅲ)干酪根,有机质生源组合中陆生植物占绝对优势。显然,沉积环境

控制了沉积物原始有机质的丰度和类型(表 3)。

3.2 沉积环境与岩石有机质的沉积和保存

研究表明^④,在富含有机质的岩石中常富集有 V、Ni、Co、Cu、Zn 和 Cr 等微量元素。从盆地镇探 1 井井下纵向沉积剖面发育特点来看,二叠系泥质碳酸盐岩有机质以藻类等低等水生生物为主要来源,干酪根类型较好;但由于泥质碳酸盐

岩大多形成在陆源碎屑物补充不足或较长时间处于氧化程度较高的沉积条件下,大部分此种类型的岩石中有机质丰度偏低,即沉积有机质处于较氧化的湖相沉积环境中,多数有机质易发生氧化、分解或变质^[20]。

研究认为^[21],元素 V/(V+Ni) 比值可反映沉积水体的氧化还原环境。高比值(>0.84)反映水体分层及底层水体中出现 H₂S 的厌氧环境;中等比值(0.54~0.72)为水体分层不强的厌氧环境;低比值时(0.46~0.60)为水体分层弱的贫氧环境。统计显示(表 1),鄂尔多斯盆地部分二叠系泥岩的 V/(V+Ni)比值为 0.62~0.90,泥质碳酸盐岩的 V/(V+Ni)比值为 0.10~0.51。

显然,不同类型的岩石沉积水体及氧化-还原程度不同,即泥岩类岩石沉积时的水体深度及厌氧程度要大于泥质碳酸盐岩类岩石。

4 结 论

运用岩石有机质含量及类型特征,判别岩石的沉积环境是许多研究者探求的目标之一。研究表明,沉积水体的有机-无机地球化学相互作用对沉积环境中氧化还原条件变化至关重要。基于上述研究,该盆地具以下特征。

(1)该盆地二叠纪地层岩石中少数微量元素的含量较同类岩石的克拉克值偏高,泥岩中多数微量元素的含量较同类岩石的克拉克值偏高,泥质碳酸盐岩中多数微量元素的含量较页岩的克拉克值要低。

(2)稀土元素分析中,二叠系泥岩和泥质碳酸盐岩的轻稀土富集程度相对较高,重稀土相对较低,表明从物源区到沉积区经风化、搬运到沉积的过程中,地表沉积环境具有重要的影响,不同岩类沉积环境总体为还原环境,只是不同岩类烃源岩沉积环境有所差异。

(3)多项地球化学分析显示,二叠系岩石有机质丰度、有机质类型分布及保存与沉积水体条件密切相关,反映出盆地在多数二叠系岩石层段沉积时具有还原环境的沉积条件。

(4)二叠系岩石层段有机碳丰度值分析证实,泥质碳酸盐岩多数处于氧化程度较高的的沉积条件下,大部分岩石有机质丰度偏低;而有机质沉积时水体的还原程度强、有机质能被及时埋藏的相带所沉积的泥岩,大多具有有机质丰度高的形成特点。

参 考 文 献(References):

[1] 杨华, 席胜利, 魏新善, 等. 鄂尔多斯多旋回叠合盆地演化与天然气富集[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(1):17-25.
Yang Hua, Xi Shengli, Wei Xinshan, et al. Evolution and natural gas enrichment of multicycle superimposed basin in Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(1):17-25.
[2] 杨俊杰, 等. 中国石油地质志 (12)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992, 23-132.
Yang Junjie, et al. The China Records of Petroleum Geology (12) [M]. Beijing:Petroleum Industry Publishing House, 1992:23-132

(in Chinese with English abstract).
[3] 金玉玕, 尚庆华, 曹长群. 二叠纪地层研究述评 [J]. 地层学杂志, 2000, 24 (2):99-108.
Jin Yugan, Shang Qinghua, Cao Changqun. A review of Permian stratigraphy [J]. Journal of Stratigraphy, 2000, 24 (2):99-108 (in Chinese with English abstract).
[4] 黎彤, 倪守斌. 地球和地壳的化学元素丰度[M]. 北京:地质出版社, 1990:44-51.
Li Tong, Ni Shoubin. Chemical Element Abundance in Earth and Earth's Crust [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1990:44-51(in Chinese).
[5] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1992:179-182.
Li Changnian. Trace Element Petrology in Volcanic Rocks [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1992:179-182 (in Chinese).
[6] Haskin M A, Haskin L A. Rare earth in European shales: a redetermination[J]. Science, 1966, 154:507-509.
[7] Condie K C. Another look at rare earth elemnts in shales [J]. Geochim et Cosmochim Acta, 1991, 55:2527-2531.
[8] 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 183-204.
Zhao Zhenghua. Principle of Trace Element Geochemistry [M]. Beijing:Science Press, 1997:183-204(in Chinese).
[9] 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学导论 [M]. 北京: 地质出版社, 1987:57-80.
Liu Yingjun, Cao Liming. Introduction to Element Geochemistry [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1987:57-80(in Chinese).
[10] Boyton.W. Cosmochemistry of the rare earth elements;Meteorite studies[J]. Dev. Geochem, 1984, 2:63-114.
[11] 程克明, 王铁冠, 钟宁宁, 等. 烃源岩地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1995:17-40.
Cheng Keming, Wang Tieguan, Zhong Ningning, et al. Geochemistry of Hydrocarbon Source Rocks [M]. Beijing:Science Press, 1995:17-40(in Chinese).
[12] 刘春莲, 杨建林, Hans J R, 等. 影响湖相沉积岩中有机碳分布的主要因素[J]. 沉积学报, 2001, 19(1):113-115.
Liu Chunlian, Yang Jianlin, Hans J R, et al. Factors influencing organic distribution in lacustrine sediments[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(1):113-115(in Chinese with English abstract).
[13] Carroll A R, Bohacs K M. Lake-type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basins[J]. AAPG Bull, 2001, 85 (6):1033-1053.
[14] 邓宏文, 钱凯. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社, 1993:95-104.
Deng Hongwen, Qian Kai. Sedimentary Geochemistry and Environment Analysis [M]. Lanzhou:Gansu Science and Technology Press. 1993:95-104(in Chinese).
[15] 苗建宇, 周立发, 张宏福, 等. 新疆北部中二叠统烃源岩地球化学特征与沉积环境[J]. 地质学报, 2004, 78(4):534-541.
Miao Jianyu, Zhou Lifa, Zhong Hongfu, et al. The relationship

- between the environment and source rocks, geochemistry characteristics of Middle Permian in Northern Xinjiang, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78 (4):534–541 (in Chinese with English abstract).
- [16] 苗建宇, 周立发, 邓昆, 等. 吐鲁番二叠统烃源岩地球化学与沉积环境的关系[J]. *中国地质*, 2004, 31(4):424–430.
- Miao Jianyu, Zhou Lifa, Deng Kun, et al. The relationship between the deposition environment and Middle Permian source rocks geochemistry in the Turpan depression[J]. *Geology in China*, 2004, 31(4):424–430(in Chinese with English abstract).
- [17] 柏道远, 孟德保, 刘耀荣, 等. 青藏高原北缘昆仑山中段构造隆升的磷灰石裂变径迹记录[J]. *中国地质*, 2003, 30(3):240–246.
- Bai Daoyuan, Meng Debao, Liu Yaorong, et al. Apatite fission-track records of the tectonic uplift of the central segment of the Kunlun Mountains on the northern margin of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geology in China*, 2003, 30 (3):240–246 (in Chinese with English abstract).
- [18] 朱光有, 金强. 烃源岩的非均质性及其研究—以东营凹陷牛 38 井为例[J]. *石油学报*, 2002, 23(5):34–39.
- Zhu Guangyou, Jin Qiang. Study on source rock heterogeneity—A case study of the well Niou-38, Dongying depression [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(5):34–39(in Chinese with English abstract).
- [19] 钟宁宁, 秦勇. 碳酸盐岩有机岩石学 [M]. 北京: 科学出版社, 1995:14–33.
- Zhong Ningning, Qin Yong. *Organic Petrology of Carbonate Rocks*[M]. Beijing: Science Press, 1995:14–33(in Chinese).
- [20] 夏新宇, 曾凡刚, 洪峰. 中国陆表海碳酸盐岩有机质的生烃潜力 [J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(4):287–292.
- Xia Xinyu, Zeng Fangang, Hong Feng. Hydrocarbon-generating potential of organic matter in epicontinental sea carbonate rocks in China[J]. *Oil and Gas Geology*, 2001, 22(4):287–292(in Chinese with English abstract).
- [21] Hatch J R, Leventhal J S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale [J]. Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U. S. A. *Chemical Geology*, 1992, 99:65–82.

Relationship between the geochemical characteristics and sedimentary environment of Permian hydrocarbon source rocks in the Ordos basin

MIAO Jian-yu¹, ZHAO Jian-she², LIU Chi-yang¹, ZHU Ya-jun¹, WANG Wu-long¹

(1. *Key Laboratory of Continental Dynamics(Northwet University), Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China*; 2. *Shaanxi Key Laboratory for Physico-Inorganic Chemistry/ Chemistry Department, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China*)

Abstract: Permian source rocks are important and potential source rocks in the Ordos basin. A systematic analysis of the trace element and REE geochemistry and organic geochemistry of argillaceous carbonate rocks and mudstones has been carried out mainly according to the geochemical data of the well core samples. The LREE abundance is high and the HREE abundance is low and Ce/Ce* has a relatively pronounced positive anomaly, indicating that the source rocks were deposited in a reducing environment. The contents of trace elements in the source rocks are significantly different from their clark values in similar rocks in the Ordos basin. Study shows that grayish black mudstone source rocks deposited in semi-deep lake-deep lake facies zones are strongly reduced and rich in organic matter, where organic matter could be buried timely, and grayish black mudstone source rocks deposited in a fluvial-swampy environment have a low organic matter abundance. The strongly reduced depositional facies zone with a fairly deep water body was an ideal locus for deposition of primary organic matter, where the organic matter could be buried and preserved timely; whereas organic matter abundance was obviously low in argillaceous carbonate source rocks deposited where the climate was dry with little precipitation and terrigenous clastic material supply was inadequate or in a long-term oxidizing environment.

Key words: source rock; geochemistry; depositional environment; Ordos basin

About the first author: MIAO Jian-yu, male, born in 1952, doctor and professor, mainly engages in the teaching and study of petroleum geology; Email: jymiao@126.com.