

# 微量元素分析在判别沉积介质环境中的应用 ——以鄂尔多斯盆地西部中区晚三叠世为例

范玉海<sup>1,2</sup> 屈红军<sup>2</sup> 王 辉<sup>1,2</sup> 杨县超<sup>3</sup> 冯杨伟<sup>2</sup>

(1.中煤航测遥感局遥感应用研究院,陕西 西安 710054;2.西北大学大陆动力学国家重点实验室,陕西 西安 710069;  
3.延长油田股份有限公司,陕西 延安 716000)

**摘要:**以鄂尔多斯盆地西部中区晚三叠世样品中微量元素测试结果为基础,选用对沉积介质环境反映比较敏感的锶(Sr)、铜(Cu)、钡(Ba)、铀(U)、钛(Ti)、钒(V)、镍(Ni)等微量元素指标,分析研究区地层中微量元素含量及其比值与沉积介质环境之间的对应关系,进而探讨鄂尔多斯盆地西部中区晚三叠世的沉积介质环境。结果表明,鄂尔多斯盆地西部中区晚三叠世延长组长 9—长 7 期基本为温湿气候且变得越来越温暖潮湿;长 9—长 7 期为微咸水相的淡水环境,长 7 期盐度含量略有增加;长 9、长 8 期水体的氧化还原条件比较正常,长 7 期变为厌氧环境;长 9—长 7 期垂向上水体分层不强。

**关键词:**微量元素;沉积介质环境;晚三叠世;延长组;鄂尔多斯盆地西部中区

**中图分类号:**P595 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)02-0382-08

沉积岩中的微量元素与其形成环境有密切关系<sup>[1]</sup>。在沉积过程中,沉积物与水介质之间有着复杂的地球化学平衡,如沉积物对某些元素的吸附及沉积物与水介质之间的元素交换等。这种吸附和交换作用除与元素本身性质有关外,还受到沉积介质物理化学条件的影响,而不同沉积环境的水介质有不同的物理化学条件,元素的分散与聚集的规律也不相同,这就为利用沉积物微量元素及其含量进行古环境分析提供了理论依据<sup>[2-5]</sup>。通过对沉积岩中微量元素含量及分布,尤其是一些相关元素比值的研究,可以推断当时的沉积环境,反演沉积时期的地质条件<sup>[6-11]</sup>。

随着鄂尔多斯盆地延长组勘探开发程度的提高,前人主要借助于岩相来判断其形成期的沉积环境,而利用微量元素判断沉积介质环境的文章不多。本文测定了鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组 10 个泥质岩样品中的微量元素含量,选用对沉积介质环境反映比较敏感的锶(Sr)、铜(Cu)、钡(Ba)、铀(U)、钛

(Ti)、钒(V)、镍(Ni)等微量元素指标,分析研究区地层中微量元素含量及其比值与沉积介质环境之间的对应关系,进而探讨鄂尔多斯盆地西部中区晚三叠世延长组的沉积介质环境。

## 1 区域地质概况

研究区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡西部中区,西临天环坳陷(图 1)。鄂尔多斯盆地晚三叠世总体表现为东北缓、西南陡,且向西南水体逐渐加深的簸箕状形态<sup>[12]</sup>;延长组沉积记录了湖盆演化经历的长 10 初始形成,中心以浅湖为主,周边沉积多个较粗碎屑的三角洲沉积;长 9—长 8 的湖盆扩张,形成第一套主力湖相烃源岩,俗称为“李家畔页岩”,并形成延长湖的基本形态;长 7 期湖盆达到鼎盛时期,湖进范围可到达盆地北部横山—乌审旗一线,并发育有最深超过 60 m 的大范围深湖—半深湖相烃源岩,俗称为“张家滩页岩”;之后,随着河流的不断注入充

收稿日期:2011-07-06;改回日期:2011-10-01

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05025-006)及国家重点基础研究发展规划“973”项目(2009CB219400)联合资助。

作者简介:范玉海,男,1983 年生,助理工程师,主要从事沉积学及古地理环境研究;E-mail:fanyuhai2008@163.com。

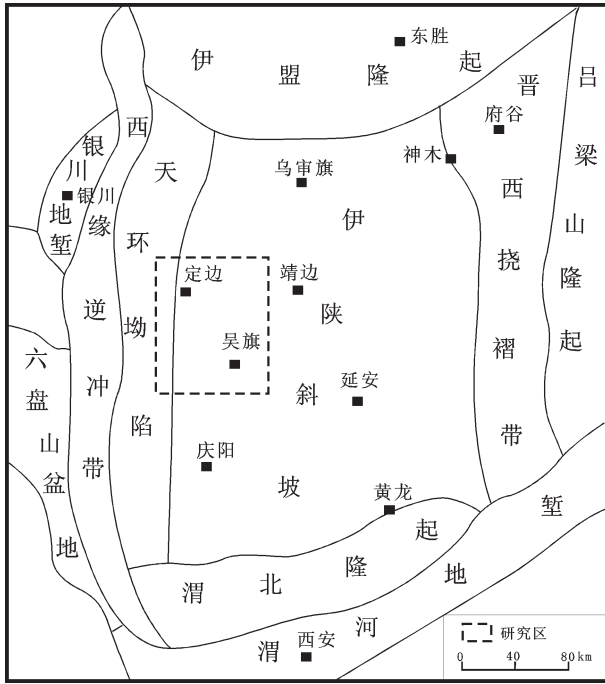


图 1 研究区构造位置图

Fig.1 Tectonic location of the study area

填,湖盆趋向萎缩,长 6 期湖缘发育多个三角洲砂带,长 4+5 期经历短暂的折返,长 3-长 2 以一套较粗碎屑辫状河沉积为主,至长 2 顶部-长 1 湖泊处于萎缩及消亡过程<sup>[13]</sup>。

## 2 资料选取

针对鄂尔多斯盆地西部中区晚三叠世延长组沉积分布特点,重点采集了研究区延长组两个最大湖泛期长 9、长 7 油层组各 3 个,长 8 油层组 4 个泥岩样品进行分析和研究,所有样品微量元素地球化学测试在西北大学大陆动力学国家重点实验室用 ICP-MS 测试完成,仪器精密度优于 5%,标样结果与推荐值相对误差小于 10%。

本次微量元素分析的泥岩样品主要分布在长 9、长 8 及长 7 期,这段时期湖盆构造稳定沉降,水域面积广泛,泥岩较为发育,对判别湖盆气候、盐度、氧化还原条件等沉积介质环境特征较为有利。分析测试的元素主要有:Li、Be、Sc、Cr、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Ba、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Hf、Ta、Pb、Th 及 U,各种微量元素含量如表 1 所示:

## 3 研究区晚三叠世微量元素的沉积环境响应

### 3.1 微量元素对古气候的反应

运用沉积物元素含量的波动性提取环境演变信息是研究环境演变的常用手段之一。在不同的表生自然环境下,不同元素的分解、迁移、富集等特征不同,因此元素含量在沉积物中的波动在一定程度上反映沉积时的环境条件<sup>[14-16]</sup>。

前人研究成果认为<sup>[17]</sup>,喜湿型元素主要有 Cr、Ni、Mn、Cu、Fe、Ba、Br、Co、Cs、Hf、Rb、Sc、Th 等,而喜干型元素主要为 Sr、Pb、Au、As、Ca、Na、Ta、U、Zn、Mg、Mo、B 等。本文选取了喜干型元素 Sr 和喜湿型元素 Cu 的比值作为对古气候的变化研究的参数。通常 Sr/Cu 比值介于 1~10 之间指示温湿气候,而大于 10 指示干热气候<sup>[18-20]</sup>。根据研究区各个样品中微量元素 Sr、Cu 含量,做了 Sr/Cu 比值变化图(图 2),在此基础上将延长组各样品中 Sr/Cu 比值进行加和平均,并用柱状图直观地表现出来(图 3)。由图 2~3 可知,研究区延长组 Sr/Cu 比值基本介于 1~10 之间,说明该地区长 9、长 8 及长 7 期基本为温湿气候;各层位 Sr/Cu 比值平均值呈现从长 9 到长 7 逐渐递减的趋势,说明该地区从长 9 期到长 7 期气候越来越温暖潮湿。

### 3.2 微量元素对古盐度的反应

Sr/Ba 比值可作为古盐度判别的灵敏标志,是依据溶液中锶的迁移能力及其硫酸盐化合物的溶度积远大于钡的地球化学性质<sup>[21]</sup>。在自然界的水体中,锶和钡以重碳酸盐的形式出现,当水体矿化度即盐度逐渐加大时,钡以 BaSO<sub>4</sub> 的形式首先沉淀,留在水体中的锶相对钡趋于富集。当水体的盐度加大到一定程度时锶亦以 SrSO<sub>4</sub> 的形式和递增的方式沉淀,因而记录在沉积物中的 Sr/Ba 比值与古盐度呈明显的正相关关系。一般来说,淡水沉积物中 Sr/Ba 值小于 1(1.0~0.6 为半咸水相,小于 0.6 为微咸水相),而盐湖(海相)沉积物中 Sr/Ba 值大于 1<sup>[7,18,21,22]</sup>。

本文利用微量元素测试数据(表 1)分析了 Sr/Ba 比值变化(图 4),结果显示研究区从长 9 到长 7 期 Sr/Ba 比值都小于 0.6,为微咸水相的淡水环境,长 7 期 Sr/Ba 比值平均值为 0.497,高于长 9、长 8 期,揭示长 7 期水体盐度略有增加。

表 1 研究区晚三叠世样品微量元素统计 ( $\mu\text{g/g}$ )Table 1 Trace element data for samples of Late Triassic strata in the study area ( $\mu\text{g/g}$ )

样品号	定 1259	定 1787	定 3155	定 3605	定 4129	定 4814	定 5131	化 152	星 3	YCH
层位	长 9	长 8	长 7	长 8	长 9	长 7	长 8	长 8	长 7	长 9
Li	86.7	37.7	77.4	162	71.0	42.6	43.0	26.6	59.7	24.5
Be	2.96	3.44	2.51	5.72	4.30	2.25	3.14	3.18	5.48	4.25
Sc	19.1	16.7	14.7	23.9	19.1	10.5	18.5	10.5	19.6	15.6
V	132	114	129	106	129	267	123	69.6	145	92.3
Cr	94.3	94.6	89.4	110	94.4	55.6	89.6	51.8	117	72.7
Co	24.5	24.6	25.0	20.4	29.5	32.3	22.8	60.0	32.0	21.7
Ni	37.8	40.6	45.0	54.5	49.8	57.0	39.8	24.4	80.8	26.0
Cu	19.9	30.0	63.0	88.4	33.9	193	42.2	45.9	73.0	45.1
Zn	62.0	105	104	157	141	103	90.7	59.3	112	128
Ga	29.6	25.2	24.3	32.2	26.4	18.0	23.7	22.7	29.8	26.5
Ge	1.58	1.74	1.99	1.62	1.80	1.18	1.86	1.45	1.79	1.48
Rb	106	149	97.7	167	168	82.3	152	151	166	267
Sr	420	248	522	373	329	521	205	464	347	322
Y	27.3	30.5	25.3	37.3	43.1	21.3	30.3	17.9	23.7	25.1
Zr	220	161	116	92.7	198	45.3	204	109	132	168
Nb	16.3	12.3	11.3	13.9	14.0	6.55	13.1	12.5	14.9	14.9
Cs	5.73	8.41	3.96	7.75	13.7	5.12	9.99	9.00	10.7	15.4
Ba	1038	660	1157	1645	1038	727	584	1180	1075	750
La	54.9	34.9	50.0	59.1	47.5	28.6	35.5	37.1	55.6	40.3
Ce	103	71.3	102	126	97.8	51.9	71.0	78.4	105	79.8
Pr	11.6	7.90	11.3	13.6	11.4	6.12	7.72	8.19	11.6	8.95
Nd	44.1	30.1	43.7	52.4	46.6	24.5	29.4	27.3	43.8	32.8
Sm	7.64	5.87	7.48	9.42	9.66	4.67	5.50	4.66	7.45	5.61
Eu	1.72	1.30	1.73	2.01	2.09	1.08	1.21	0.98	1.54	1.20
Gd	6.18	5.45	6.10	8.11	9.05	4.12	4.91	3.74	5.84	4.83
Tb	0.86	0.86	0.82	1.18	1.29	0.59	0.77	0.55	0.79	0.70
Dy	4.94	5.12	4.54	6.82	7.22	3.39	4.85	3.23	4.40	4.04
Ho	1.01	1.08	0.90	1.40	1.46	0.71	1.06	0.66	0.88	0.84
Er	2.78	2.94	2.39	3.77	3.85	1.90	3.05	1.86	2.44	2.33
Tm	0.43	0.45	0.35	0.57	0.57	0.29	0.48	0.30	0.38	0.36
Yb	2.82	2.90	2.23	3.71	3.60	1.85	3.17	1.93	2.55	2.42
Lu	0.42	0.44	0.33	0.54	0.54	0.28	0.47	0.29	0.39	0.37
Hf	5.61	4.25	3.07	2.62	5.14	1.19	5.22	2.87	3.47	4.36
Ta	1.02	0.86	0.69	0.89	0.94	0.37	0.91	0.71	0.86	0.96
Pb	29.9	31.3	13.6	34.6	33.8	33.5	23.1	24.6	32.1	35.4
Th	14.6	13.6	12.1	16.7	15.2	6.97	13.5	13.7	14.6	14.9
U	3.37	3.78	5.12	3.83	3.67	33.8	3.50	6.80	5.36	6.29

注:样品测试在西北大学大陆动力学国家重点实验室测试完成。

### 3.3 微量元素对环境氧化-还原性的反应

利用微量元素判断氧化还原环境的方法很多,本文主要利用  $\delta\text{U}$  法、Th/U 比值法、 $V/(V+\text{Ni})$  比值法 3 种方法对研究区延长组氧化-还原条件做了分析。

#### 3.3.1 $\delta\text{U}$ 法及 Th/U 比值法

Th 和 U 在还原状态下地球化学性质相似,在氧化状态下差别很大<sup>[23]</sup>。在表生环境下,Th 只有 +4

价一种价态且不易溶解,而 U 则不一样。U 在强还原状态下为 +4 价,不溶解于水,导致它在沉积物中富集;而在氧化状态下,U 以易溶的 +6 价存在,造成沉积物中 U 的丢失。基于这两种元素的地球化学性质差异,常利用  $\delta\text{U}$  法和 Th/U 比值法判断沉积环境的氧化还原状态<sup>[24-25]</sup>。 $\delta\text{U}$  法关系式如下: $\delta\text{U} = \text{U} / [0.5 \times (\text{Th}/3 + \text{U})]$ ,  $\delta\text{U} > 1$ , 表明缺氧环境; $\delta\text{U} < 1$ , 则说明为正常的水体环境<sup>[26-28]</sup>。Th/U 值在 0~2 指示

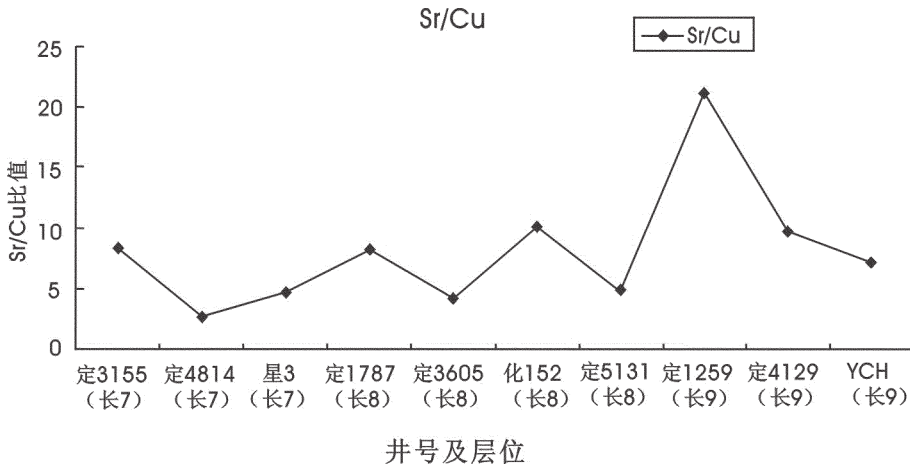


图 2 研究区延长组各样品中 Sr/Cu 比值变化图

Fig.2 Variation of the Sr/Cu ratio in samples from Yanchang Formation in the study area

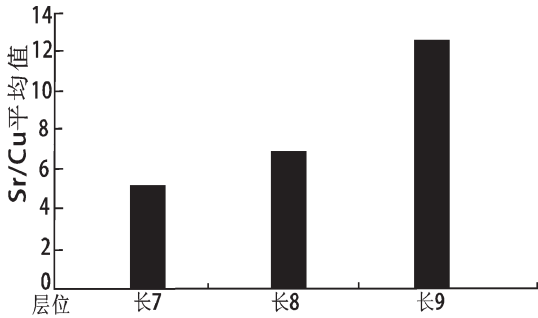


图 3 研究区延长组长 9—长 7 Sr/Cu 平均值柱状图  
Fig.3 Histogram of the average Sr/Cu ratio in samples from Chang-9 to Chang-7 of Yanchang Formation in the study area

缺氧环境,在强氧化环境下这个比值可达 8<sup>[25]</sup>。

本文结合微量元素测试结果(表 1)做了 &U 值变化图(图 5)、Th/U 比值变化图(图 6)及 Th/U 平

均值柱状图(图 7),图 5 中研究区长 9—长 8 期 &U < 1,长 7 期 &U 值 > 1,说明研究区从长 9、长 8 期的正常水体环境过渡到长 7 期的厌氧环境。图 6~7 显示研究区延长组 Th/U 比值为 0~4,趋向于还原环境;长 9、长 8 期 Th/U 平均值在 3.5 左右为正常水体环境,长 7 期 Th/U 平均值为 1.76,在 0~2 指示当时为厌氧环境。

### 3.3.2 V/(V+Ni)比值法

前人研究认为,V、Ni同属铁族元素,其离子价态易随氧化度变化,V、Ni主要被胶体物质或粘土等吸附沉淀,但V易于在氧化环境下被吸附富集,Ni则在还原环境下更易于富集,因此元素V/(V+Ni)比值可反映沉积水体的氧化还原环境<sup>[20,29,30]</sup>。高比值(> 0.84)反映水体分层及底层水体中出现 H<sub>2</sub>S 的厌氧环境;中等比值(0.6~0.82)为水体分层不强的厌氧环

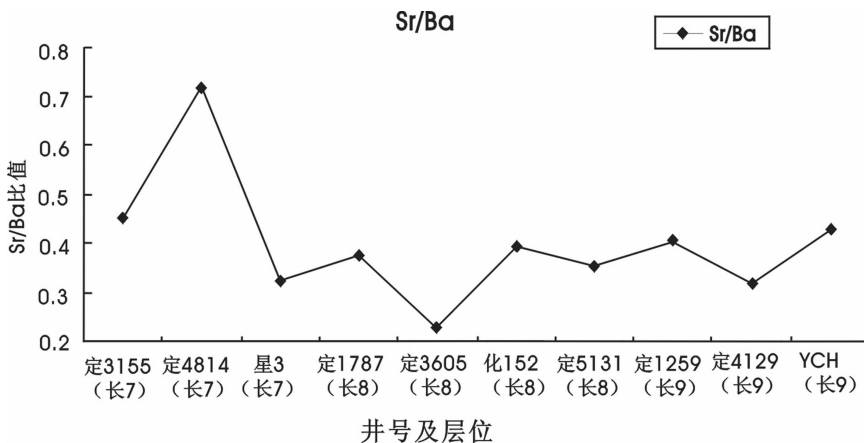


图 4 研究区延长组各样品中 Sr/Ba 比值变化图

Fig.4 Variation of the Sr/Ba ratio in samples from Yanchang Formation in the study area

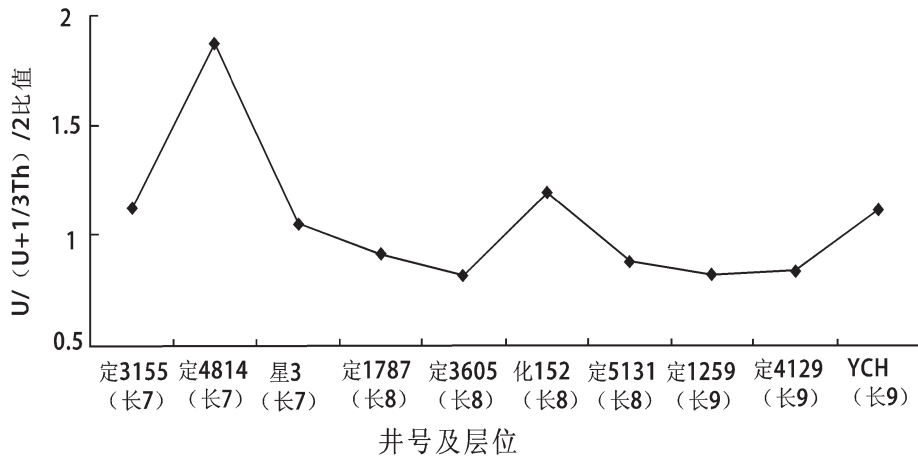


图 5 研究区延长组各样品中 &U 值变化图

Fig.5 Variation of the &U in samples from Yanchang Formation in the study area

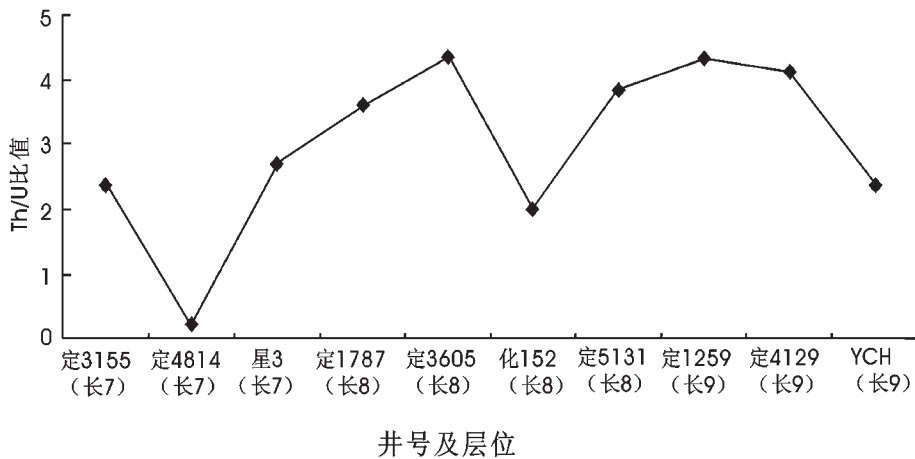


图 6 研究区延长组各样品中 Th/U 比值变化图

Fig.6 Variation of the Th/U ratio of the samples from Yanchang Formation in the study area

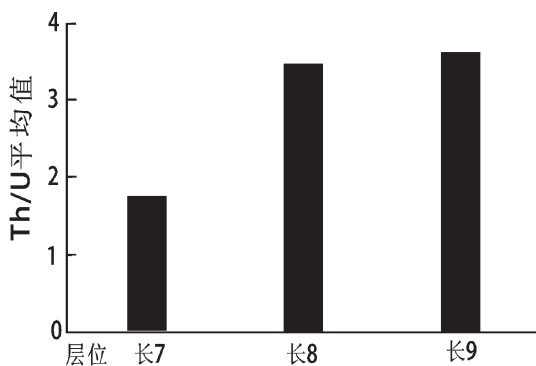


图 7 研究区延长组长 9—长 7 Th/U 平均值柱状图

Fig.7 Histogram of the average Th/U ratio in the samples from Chang-9 to Chang-7 of Yanchang Formation in the study area

境;低比值时(0.46~0.60)为水体分层弱的贫氧环境<sup>[3]</sup>。

根据分析的微量元素测试结果(表 1)得出 V/(V+Ni) 比值变化图(图 8),结果显示研究区长 9—长 7 期 V/(V+Ni) 的比值基本分布在 0.6~0.8,说明该地区为水体分层不强的厌氧环境。

### 4 结 论

本文对研究区样品进行微量元素地球化学分析,探讨了该地区晚三叠世延长组沉积期的湖盆气候、盐度、氧化还原条件等沉积介质环境特征,得出以下 3 点认识:

- (1)研究区晚三叠世延长组从长 9 到长 7Sr/Cu



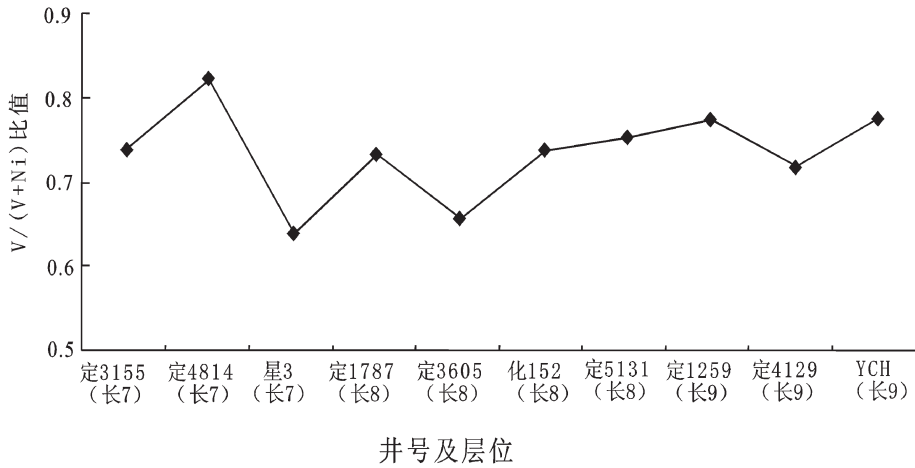


图 8 研究区延长组各样品中 V/(V+Ni) 比值变化图  
Fig.8 Variation of the V/(V+Ni)ratio in samples from Yanchang Formation in the study area

比值大都为 1~10,并呈现从长 9 到长 7 逐渐递减的趋势,反映该地区长 9、长 8 及长 7 期基本为温湿气候,且从长 9 期到长 7 期气候越来越温暖潮湿。

(2)研究区从长 9 到长 7 期 Sr/Ba 比值都小于 0.6,为微咸水相的淡水环境,长 7 期 Sr/Ba 比值平均值为 0.497,高于长 9、长 8 期,揭示长 7 期水体盐度略有增加。

(3)利用 &U 法、Th/U 比值法、V/(V+Ni) 比值法分析了研究区延长期沉积时的氧化-还原条件,结果显示长 9-长 8 期 &U<1,到长 7 期 &U 值>1,长 9、长 8 期 Th/U 平均值在 3.5 左右,到长 7 期 Th/U 平均值为 1.76,反映研究区从长 9、长 8 期的正常水体环境过渡到长 7 期的厌氧环境;长 9-长 7 期 V/(V+Ni) 的比值基本分布在 0.6~0.8 说明该地区垂向上水体分层不强。

参考文献 (References):

[1] 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京:地质出版社, 1985:23-28.  
Liu Baojun, Zeng Yunfu. Bases and Methods of Sedimentary Facies and Paleogeography[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985 (in Chinese).

[2] Miller E K, Blum J D, Friedland A J. Determination of soil exchanheable-cation loss and weat hering rates using Sr isotope [J]. Nature, 1993, 362:438-441.

[3] 匡耀求, 黄永祥, 钟和贤. 东太平洋海盆 CC 区沉积物因子分析揭示的沉积环境地球化学演化信息 [J]. 中国地质, 2004, 31(3): 325-331.  
Kuang Yaoqiu, Huang Yongyang, Zhong Hexian. Clues to the geochemical evolution of the sedimentary environment as revealed

by factor analysis of sediments in area CC of the East Pacific oceanic basin[J]. Geology in China, 2004, 31(3):325-331(in Chinese with English abstract).

[4] Reinhardt E G, Blenkinsop J, Patrerson R T. Assessment of a Sr isotope (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) vital effect in marine taxa from Lee Stocking Island, Bahamas [J]. Geo-Marine Letters, 1998, 18(3):241-246.

[5] 张义纲. 油气地球化学的若干展望 [J]. 石油实验地质, 2005, 27 (5):484-489.  
Zhang Yigang. Prospection of petroleum geochemistry[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27 (5):484-489 (in Chinese with English abstract).

[6] 苗建宇, 赵建设, 刘池阳, 等. 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[J]. 中国地质, 2007, 34(3):430-435.  
Miao Jianyu, Zhao Jianshe, Liu Chiyang, et al. Relationship between the geochemical characteristics and sedimentary environment of Permian hydrocarbon source rocks in the Ordos basin[J]. Geology in China, 2007, 34(3):430-435(in Chinese with English abstract).

[7] 王益友, 郭文莹, 张国栋. 几种地球化学标志在金湖凹陷阜宁群沉积环境中的应用[J]. 同济大学学报, 1979, 7(2):51-60.  
Wang Yiyou, Guo Wenying, Zhang Guodong. Application of some geochemical indicators in determining of sedimentary environment of the Funing Group (Paleogene), Jin Hu depression, Kiangsu Province [J]. Journal of Tongji University, 1979, 7 (2):51-60(in Chinese with English abstract).

[8] 陶树, 汤达祯, 周传祎, 等. 川东南-黔中及其周边地区下组合烃源岩元素地球化学特征及沉积环境意义 [J]. 中国地质, 2009, 36 (2):397-403.  
Tao Shu, Tang Dazhen, Zhou Chuanyi, et al. Element geochemical characteristics of the lower assemblage hydrocarbon source rocks in southeast Sichuan-central Guizhou (Chuandongnan-Qianzhong) region and its periphery areas and their implications to sedimentary environments [J]. Geology in China, 2009, 36 (2):397-403 (in

- Chinese with English abstract).
- [9] Domini K J, Stanley D J. Boron, Beryllium and Sulfur in Holocene sediments and peats of the Nile delta, Egypt: Their use as indicators of salinity and climate[J]. *Chemical Geology*, 1993, 104:203-216.
- [10] 陈志华, 石学法, 王湘芹, 等. 南黄海 B10 岩心的地球化学特征及其对古环境和古气候的反映[J]. *海洋学报*, 2003, 25(1):69-77. Chen Zhihua, Shi Xuefa, Wang Xiangqin, et al. Geochemical changes in Core B10 in the southern Huanghai Sea and implications for variations in paleoenvironment and paleoclimate [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 25(1):69-77(in Chinese with English abstract).
- [11] 宋明水. 东营凹陷南斜坡沙四段沉积环境的地球化学特征[J]. *矿物岩石*, 2005, 25(1):67-73. Song Mingshui. Sedimentary environment geochemistry in the Shasi section of Southern Ramp, Dongying Depression [J]. *J. Mineral. Petrol.*, 2005, 25(1):67-73(in Chinese with English abstract).
- [12] 曹红霞, 李文厚, 陈全红, 等. 鄂尔多斯盆地南部晚三叠世沉降与沉积中心研究[J]. *大地构造与成矿学*, 2008, 32(2):159-164. Cao Hongxia, Li Wenhou, Chen Quanhong, et al. Center of late Triassic subsidence and depocenter for the southern Ordos Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2008, 32 (2):159-164 (in Chinese with English abstract).
- [13] 李文厚, 庞军刚, 曹红霞, 等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长期沉积体系及岩相古地理演化[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2009, 39(3):501-506. Li Wenhou, Pang Jungang, Cao Hongxia, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the late Triassic Yanchang Stage in Ordos Basin [J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 2009, 39 (3):501-506 (in Chinese with English abstract).
- [14] 孙黎明, 杨用彪, 吴云霞, 等. 内蒙古西河盆地新近纪“红土”记录的沉积环境[J]. *中国地质*, 2008, 35(4):683-690. Sun Liming, Yang Yongbiao, Wu Yunxia, et al. Sedimentary environment of Neogene laterite records in the Xihe basin, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 2008, 35(4):683-690(in Chinese with English abstract).
- [15] 余素华, 郑洪汉. 宁夏中卫长流水剖面沉积物中稀土元素及其环境意义[J]. *沉积学报*, 1999, 17(1):149-155. Yu Suhua, Zheng Honghan. REE of sediments of the Chang Liu-shui section at Zhong Wei County of Ning Xia and the environmental significance [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(1): 149-155(in Chinese with English abstract).
- [16] 李玉成, 王苏民, 黄耀生. 气候环境变化的湖泊沉积学响应[J]. *地球科学进展*, 1999, 14(4):412-416. Li Yucheng, Wang Sumin, Huang Yaosheng. The lake sediments rediments to environmental and climatic change [J]. *Advance in Earta Sciences*, 1999, 14 (4):412-416 (in Chinese with English abstract).
- [17] 金明, 李婉巍. 乌兰花地区下白垩统-上新统岩石地球化学特征及其古气候演变[J]. *铀矿地质*, 2003, 19(6):349-354. Jin Ming, Li Wuwei. Petrogeochemical characteristics of Lower Cretaceous and Pliocene rocks and paleoclimate evolution in Wulanhua region [J]. *Uranium Geology*, 2003, 19 (6):349-354(in Chinese with English abstract).
- [18] 刘刚, 周东升. 微量元素分析在判别沉积环境中的应用—以江汉盆地潜江组为例[J]. *石油实验地质*, 2007, 29(3):307-311. Liu Gang, Zhou Dongsheng. Application of microelements analysis in identifying sedimentary environment—taking Qianjiang Formation in the Jiang Han Basin as an example [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29 (3):307-311 (in Chinese with English abstract).
- [19] A·莱尔曼主编, 王苏民等译. 湖泊的化学地质学和物理学[M]. 北京:地质出版社, 1989. Leman A. *Chemical Geology and Physics of Lake* [M]. Translated by Wang Sumin. Beijing:Geological Publishing House, 1989(in Chinese).
- [20] 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).
- [21] 郑荣才, 柳梅青. 鄂尔多斯盆地长 6 油层组古盐度研究[J]. *石油与天然气地质*, 1999, 20(1): 20-25. Zheng Rongcai, Liu Meiqing. Study on palaeosalinity of Chang-6 oil reservoir set in Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 1999, 20 (1):20-25(in Chinese with English abstract).
- [22] Emilio Custodio. Aquifer Overexploitation: What Does It Mean? [J]. *Hydrogeology Journal*, 2002, 10:254-277.
- [23] Rogers J J W, Adams J A S. *Handbook of Thorium and Uranium Geochemistry*[M]. Beijing:Atomic Press (Chinese version), 1976.
- [24] Wignall P B, Twitchett R J. Oceanic anoxia and the end Permian mass extinction[J]. *Science*, 1996, 272:1155-1158.
- [25] Kimura H, Watanabe Y. Ocean anoxia at the Precambrian—Cambrian boundary[J]. *Geology*, 2001, 29:995-998.
- [26] 腾格尔, 刘文汇, 徐永昌, 等. 缺氧环境及地球化学判别标志的探讨—以鄂尔多斯盆地为例[J]. *沉积学报*, 2004, 22(2):365-372. Tonger, Liu Wenhui, Xu Yongchang, et al. The discussion on Anoxic environments and its geochemical identifying indices [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22 (2):365-372 (in Chinese with English abstract).
- [27] Steiner M, Wallis E, Erdtmann B D, et al. Submarine—hydrothermal exhalative ore layers in black shales from South China and associated fossils—insights into a Lower Cambrian facies and bio—evolution[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, 169: 165-191.
- [28] 杨兴莲, 朱茂炎, 赵元龙, 等. 黔东南寒武纪—寒武纪转换时期微量元素地球化学特征研究[J]. *地质学报*, 2007, 81(10):1391-1397. Yang Xinglian, Zhu Maoyan, Zhao Yuanlong, et al. Trace element geochemical characteristics from the Ediacaran Cambrian transition interval in Eastern Guizhou, South China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(10):1391-1397(in Chinese with English abstract).

- [29] Hatch J R, Leventhal J S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale . Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U. S. A [J]. *Chemical Geology*, 1992, 99:65-82.
- [30] Rimmer S M. Geochemical paleoredox indicators in Devonian—Mississippian black shales, Central Appalachian Basin (USA) [J]. *Chem. Geol.*, 2004, 206:373-391.
- [31] 苗建宇, 周立发, 邓昆, 等. 吐鲁番坳陷二叠系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. Relationship between the depositional environment and geochemistry of Permian hydrocarbon source rocks in the Turpan depression [J]. *Geology in China*, 2004, 31(4):424-430(in Chinese with English abstract).

## The application of trace elements analysis to identifying sedimentary media environment: a case study of Late Triassic strata in the middle part of western Ordos Basin

FAN Yu-hai<sup>1,2</sup>, QU Hong-jun<sup>2</sup>, WANG Hui<sup>1,2</sup>, YANG Xian-chao<sup>3</sup>, FENG Yang-wei<sup>2</sup>

(1. Remote Sensing Application Institute of ARSC, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China; 3. Yanchang oilfield Corporation, Yan'an 716000, Shaanxi, China)

**Abstract:** This paper deals mainly with sedimentary media environment of Late Triassic epoch in the middle part of western Ordos Basin through identifying the corresponding relationships between trace element compositions and sedimentary media environment on the basis of analytical results of some special trace elements such as Sr, Cu, Ba, U, Ti, V and Ni which are sensitive to sedimentary media environment. The results of the study show that the sedimentary media environment of Late Triassic epoch from Chang-9 to Chang-7 was warm humid climate in general and tended to become increasingly warm and humid in upward direction, indicating the brackish water phase of the freshwater environment with a slight increase in salinity of Chang-7. The redox condition from Chang-9 to Chang-8 was normal, while that of Chang-7 became anoxic. The vertical variation of water column stratification is not obvious from Chang-9 to Chang-7.

**Key words:** trace element; sedimentary media environment; Late Triassic; Yanchang Formation; middle part of western Ordos Basin

**About the first author:** FAN Yu-hai, male, born in 1983, assistant engineer, mainly engages in the study of sedimentology and paleogeographic environment; E-mail: fanyuhai2008@163.com.