

鄂尔多斯盆地西部上二叠统 石千峰组沉积环境地球化学表征

张 翔, 田景春, 陈洪德, 侯明才, 侯中健, 李君文, 刘 娟

(成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 在沉积学、生物和地球物理测井相标志研究基础上, 运用锶钡质量分数比值和锶钡散点图法, 锶钙和钍铀比值法、沉积磷酸盐法、碳氧同位素和氧化-还原电位法等地球化学方法, 根据微量元素和稳定同位素的特征对鄂尔多斯盆地西部上二叠统石千峰组沉积时的古盐度和氧化还原条件进行了详细分析。结果表明: 石千峰组为淡水沉积, 属干旱、炎热、氧化的陆相湖泊环境。其结论与石千峰组的棕红、紫红和紫灰色陆源碎屑岩沉积特别与红色沉积层为特征是相一致的。

关键词: 鄂尔多斯盆地西部; 石千峰组; 沉积地球化学表征; 古盐度; 氧化还原条件

中图分类号: P596 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)02-0139-05

Geochemistry Evidence of Sedimentary Environment of Upper Permian Shiqianfeng Formation, Western Ordos Basin

ZHANG Xiang, TIAN Jing-chun, CHEN Hong-de,
HOU Ming-cai, HOU Zhong-jian, LI Jun-wen, LIU Juan
(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation,
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract Based on the studying of sedimentary, biology and geophysical log facies and the character of trace elements and stable isotopes, this paper analyzes the paleosalinity and oxidation-reduction condition of upper Permian Shiqianfeng Formation of Western Ordos Basin by the geochemistry methods such as Sr/Ba ratio, Sr/Ba diagram, Sr/Ca and Th/U ratios, sedimentary phosphate method, oxidation-reduction method and carbon-oxygen isotope method. The result indicates that the Shiqianfeng Formation belongs to fresh water deposits of terrestrial lake in the sedimentary environment of aridity, blazing and oxidation. The conclusion is in concordance with the presence of brownish red, violet red and violet-grey clastic rock, specially the red sedimentary layer.

Key words: Western Ordos Basin; Shiqianfeng Formation; sedimentary geochemistry character; paleosalinity; oxidation-reduction condition

0 引言

鄂尔多斯盆地为富含天然气的大型叠合盆地, 不仅生气范围广、生气强度大, 而且含气层位多^[1]。在研究区上二叠统石千峰组中, 已有 14 口钻井获

得良好结果, 其中产气量在 $10 \text{ km}^3/\text{d}$ 以上者有 9 口, 产气量最高为 $10\,838.4 \text{ km}^3/\text{d}$ 。勘探证明, 石千峰组(尤其千 5 段)为天然气富集层位, 表明了其良好的勘探前景。在鄂尔多斯盆地 20 多年的勘探实践中, 对上古生界太原组、山西组、下石盒子组研

收稿日期: 2007-10-12

基金项目: 四川省重点学科建设基金项目(SZD0408)

作者简介: 张 翔(1978-), 男, 四川荣县人, 博士研究生, 从事储层沉积学研究。E-mail: zhangxiang06@cdut.cn

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

究程度高,并发现了相当规模的气藏。但是针对盆地内石千峰组的勘探程度总体较低,同时所开展的沉积环境研究还不够系统、精细和完善。因而,对研究区石千峰组进行详细的沉积环境研究对油气勘探具有重要的指导意义。

前人利用沉积地球化学方法探讨沉积物形成时的沉积环境及水介质的物理化学条件方面已做了大量研究工作,并取得很好效果^[2-6]。鄂尔多斯

盆地石千峰期为湖盆萎缩阶段,为晚古生代盆地演化的最后一个阶段。沉积体系自北向南以冲积平原(河流)-三角洲-湖泊体系为主(图 1)。其中河流沉积发育灰色细-中砂岩,砂岩之间夹薄层紫红色泥岩。三角洲以连续正粒序结构的灰绿色细砂岩沉积为特征。湖泊沉积物主要为紫-砖红色泥岩夹泥质粉砂岩和粉砂岩。总之,研究区石千峰组的岩性主要为棕红、紫红和紫灰色陆源碎屑岩,泥岩、

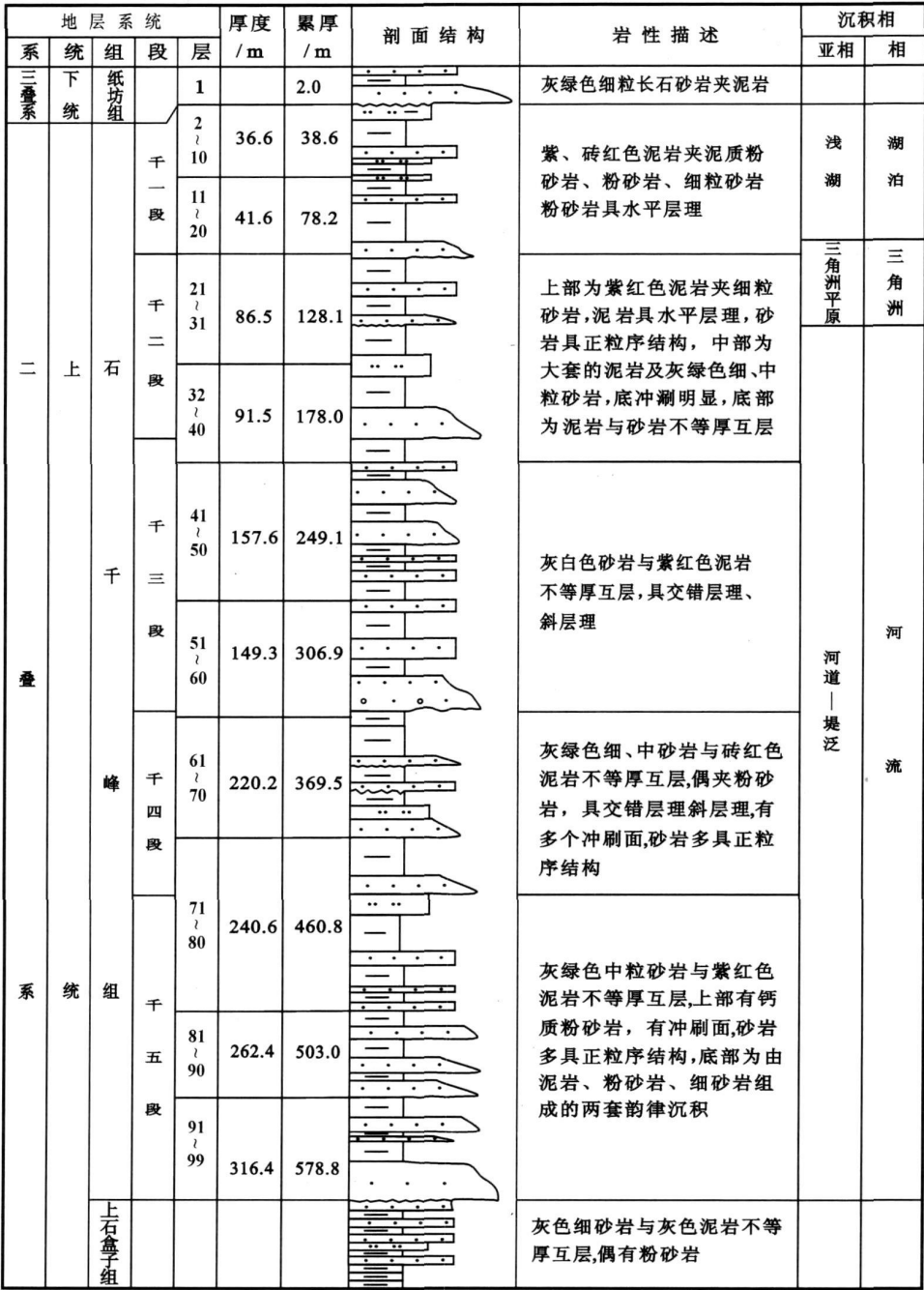


图 1 石千峰组岩性及沉积相剖面(以汝箕沟剖面为例)

Fig. 1 Lithologic and Sedimentary Facies of Siquan Feng Formation

砂质泥岩、砂岩、含砾粗砂岩均有发育, 其间常含泥灰岩薄层或钙质结核。

本次研究系统采取了鄂尔多斯盆地西缘深井、汝箕沟等 10 个野外剖面(图 2)的泥岩样品。采用 ICP-AES 发射光谱分析方法对每件样品进行铁、钠、钾、钙、锶、钡、钍、铀、铷等常量、微量元素测试。利用泥岩中微量及常量元素的组合特征及一些典型元素的分布特征详细分析了沉积时水体的古盐度、古气候和氧化还原条件, 为研究区石千峰组的

沉积环境更精确分析提供了定量一半定量依据。

1 环境古盐度的地球化学特征

关于古盐度的测定和判别方法众多, 笔者采用元素比值法、沉积磷酸盐法和碳、氧同位素法对古盐度进行判别。

1.1 锶钡比值及散点图法

锶和钡的化学性质十分相似, 二者均可形成可溶性重碳酸盐、氧化物和硫酸盐进入水溶液中。当水体矿化度(盐度)逐渐加大时, 钡以硫酸钡的形式首先沉淀, 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硫酸锶的形式和递增的方式沉淀, 因而记录在沉积物中的锶丰度和锶钡质量分数比值与古盐度呈明显的正相关关系。钡的硫酸盐化合物溶解度要低一些, 且易在岸边区沉积, 而锶的硫酸盐化合物迁移能力较高。根据对中国陆相盆地沉积的锶钡质量分数比值的研究表明, 锶钡的比值常作为区分淡水和咸水沉积的标志。一般情况是当锶钡比值大于 1 时, 为咸水环境, 当锶钡比值小于 1 时, 为淡水-半咸水环境^[7]。

从对石千峰组的测试数据(表 1)可以看出锶钡比值小于 1, 其变化范围较小, 为 0.012~0.254, 平均为 0.11, 表明石千峰组为淡水-微咸水的沉积环境。

根据锶钡元素在图 3 中的投点特征, 所有样品均位于 I、II 区, 也表明石千峰组为淡水-微咸水的沉积环境。

1.2 锶钙比值法

锶钙质量分数比值也可以用来推测湖水介质的古盐度, 湖水和河水以锶钙比值低为特征, 而在海水

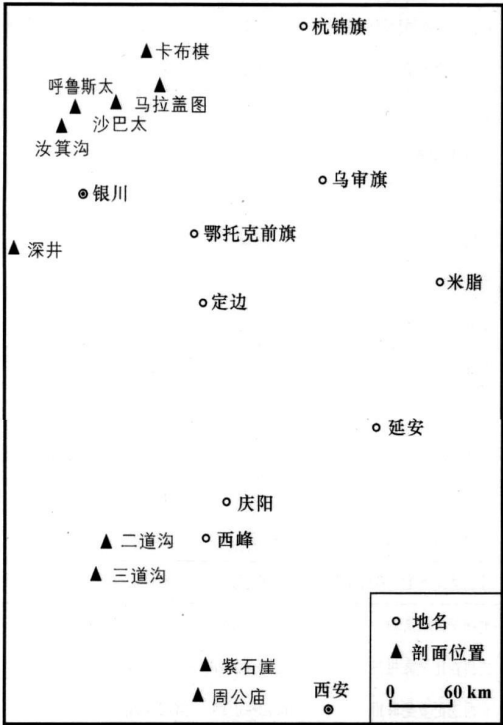


图 2 鄂尔多斯盆地西缘剖面位置

Fig. 2 Section Position in Western Ordos Basin

表 1 鄂尔多斯盆地西部石千峰组多种元素质量分数比值

Tab. 1 Element Ratios of Shiqianfeng Formation in Western Ordos Basin

剖面	Sr/ Ba	Sr/ Ca	Th/ U	Rb/ K	K/ Na	Na/ Ca	Ca/ (Ca+ Fe)
深井	0.060 4	0.003 301	6.0	0.006 92	1.647	1.465 3	0.268 5
二道沟	0.011 945	0.001 667	7.5	0.004 91	6.2	1.547 6	0.075 1
紫石崖	0.069 1	0.001 283	5.0	0.005 52	3.448	0.339 25	0.409 9
三道沟	0.153 97	0.001 91	6.0	0.005 34	1.133 1	0.342 5	0.665 4
周公庙	0.050 5	0.11	6.5	0.003 8	6.612 9	14.467	0.010 71
卡拉盖图	0.238 1	0.010 98	3.0	0.006 11	10.875 9	0.334 1	0.176 65
呼鲁斯太	0.047 05	0.039 1	11.5	0.008 48	2.044 2	11.118	0.024 37
卡布棋	0.151 1	0.015 45	4.67	0.005 16	5.415 6	1.804 5	0.049 9
沙巴太	0.065 32	0.005 45	5.75	0.006 37	3.619 05	1.22 7	0.162 65
汝箕沟	0.253 73	0.001 17	10	0.005 62	2.845	0.070 3	0.816 68

注: 成都地质矿产研究所测试中心测试, 每条剖面测试 5 个样品

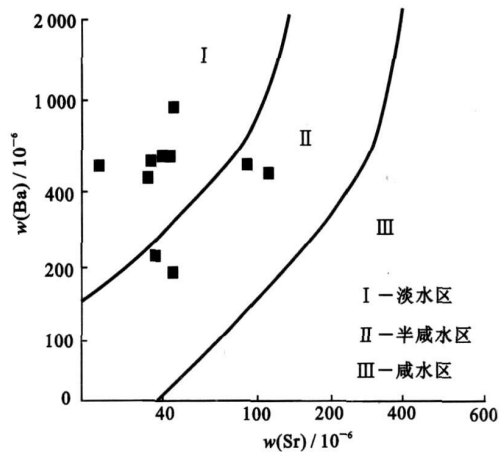


图 3 研究区石千峰组锶钡散点图
Fig. 3 Sr-Ba Distribution Scatter
Diagram in Western Ordos Basin

中较淡水中大。有人提出淡水沉积物中锶钙比值小于 1, 而海水中锶钙比值大于 1^[7]。研究区样品分析结果均表现为锶钙比值小于 1, 平均为 0.051 1 (表 1), 因而也说明当时水体介质性质为淡水环境。

1.3 钍铀比值法

已有的研究表明, 在风化过程中, 铀和钍在表生氧化条件下产生分离, 铀易氧化和淋失, 钍则易吸附到粘土矿物中, 逐渐富集在土壤和风化岩石的残留物中。所以在陆相沉积环境中的泥岩或页岩中, 钍铀质量分数比值可高达 7 以上, 而在海水中沉积的泥岩、页岩或灰岩中钍铀比值小于 2^[8]。因此, 可以利用钍铀比值判别水介质的性质。研究区泥岩中的钍铀最大比值为 10.42, 最小值为 2.979 (表 1), 说明当时水体的介质性质为淡水。

1.4 沉积磷酸盐法

采用了 Nelson^[9] 提出的沉积磷酸盐法进行古盐度的测定, 即

$$F_{Ca-P} = 0.09 + 0.26 \times w(NaCl)$$

磷酸钙组分 = 磷酸钙 / (磷酸钙 + 磷酸铁)

式中: F_{Ca-P} 为磷酸钙组分; $w(NaCl)$ 为盐度百分数。

实际上沉积磷酸盐钙组分钙/(钙+铁)的值与盐度的正比关系也主要是由于钙和铁在水中的迁移习性不同所造成的。国内外学者对一些现代和古代湖相和海相沉积物中的沉积磷酸盐的钙/(钙+铁)比较与相应的盐度值的研究, 表明其比值与盐度成正相关关系, 淡水沉积钙/(钙+铁)小于 0.4, 海相沉积钙/(钙+铁)大于 0.801^[10]。

通过对石千峰组湖盆水体钙/(钙+铁)的计算, 其值为 0.008 6~0.816 7, 平均为 0.183 0 (表 1), 结

合表 2 可以看出, 其值介于淡水相与半咸水之间, 可认为该区为淡水-微咸水。结合前面的分析, 表明了沉积作用是处于陆相条件并在具有较大蒸发环境下形成。

表 2 现代和古代海相、湖相沉积磷酸盐
钙/(钙+铁)值与相应盐度

Tab. 2 Showing the Ca/(Ca+Fe) Value and According Salinity of Modern and Ancient Marine and Lacustrine Facies				
时代	地区	w(Ca)/w(Ca+Fe)	w(NaCl)/%	资料来源
现代	珠江三角洲前缘区	0.59	19.20	蓝洪先等 ^[10]
	珠江三角洲潮汐河口湾	0.46	14.20	
	珠江三角洲浅海内陆架	0.69	32.10	
	鄱阳湖	0.15	2.31	王益友等 ^[11]
	淀山湖、巢湖	0.43	13.10	
	西湖	0.64	21.20	
	太湖	0.66	21.92	
	渤海湾	0.89	30.77	
	黄海	0.83	28.46	
	古代	东海	0.93	32.31
舟山		0.84	28.85	
苏北海岸		0.90	31.15	
苏北海岸		0.94	32.69	
苏北海岸		0.95	33.08	
苏北金湖下第三系海相灰岩		0.86~0.96	29.62~3.46	王益友等 ^[12]
古		奥陶纪海相灰岩	0.51~0.99	16.2~34.6
	密西西比纪海相灰岩	0.80~0.97	27.3~33.8	
	宾西法尼亚纪海相	0.72~0.99	24.2~34.6	
	宾西法尼亚纪半咸水相	0.39~0.55	11.5~17.7	
	宾西法尼亚纪淡水相	0~0.11	0~0.77	

1.5 碳氧同位素法

海水中氧、碳同位素含量均高于淡水, 主要由于水分蒸发时 $\delta^{16}O$ 逸出, 因而海水中 $\delta^{18}O$ / $\delta^{16}O$ 值高。陆地淡水主要来自大气降水, 因而 $\delta^{18}O$ / $\delta^{16}O$ 值低, 海水与淡水氧、碳同位素成分的这一区别, 也反映在沉积物中。Epstein 等^[13] 发现海水中 $\delta^{18}O$ / $\delta^{16}O$ 值随盐度的增加而增加, Degers 等^[14] 也发现碳酸岩盐的碳同位素随盐度变化而变化。以后许多研究者证实盐度与碳、氧同位素之间呈正相关关系。在进行古水介质盐度定性判别时, 一般采用 Keith 等^[15] 所提出的经验公式^[6]

$$Z = 2.048[\delta^{13}C] + 50] + 0.498[\delta^{18}O] + 50]$$

根据 PDB 标准, Z 大于 120 为海相灰岩; Z 小于 120 为淡水灰岩。

对研究区油井山、石嘴山和汝箕沟野外剖面灰岩和泥灰岩条带进行碳氧同位素分析(表 3), Z 为 70.27~106.42, 平均为 94.34, 根据 PDB 标准, Z 小于 120 为淡水灰岩, 表明鄂尔多斯盆地西缘石千峰沉积期为湖泊淡水环境下沉积的灰岩。

表 3 石千峰组碳氧同位素分析结果

Tab. 3 Carbon and Oxygen Isotopes of Shiqianfeng Formation in Western Ordos Basin			
剖面名称	岩石名称	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/10^{-3}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/10^{-3}$
油井山	灰岩条带	-6.822	-13.876
油井山	灰岩条带	-6.965	-13.689
石咀山	泥灰岩	-23.074	-8.825
石咀山	泥灰岩	-23.839	-16.485
汝箕沟	泥灰岩	-7.355	-16.485
汝箕沟	灰岩条带	-7.543	-16.821

注: 成都地质矿产研究所测试中心测试, 每条剖面测试 2 个样品

2 环境的氧化还原条件特征

判断沉积环境的氧化还原条件主要根据同生矿物组合, 如对介质氧化还原电位值高低反映灵敏的铁、锰矿物组合。铁在海盆中沉积具有明显的规律性, 随着 pH 值的增大, 氧化还原电位值的降低, 铁矿物呈不同的相依次分布, 铁的化合价态也相应变化, 因而可用来反映环境的地球化学相。

通过对鄂尔多斯盆地西部石千峰组 5 个样品进行了测试, 氧化还原电位 0~3 mV。据有关资料介绍, 氧化还原电位 0~15 mV 时为氧化环境, 氧化还原电位 30~40 mV 时为还原环境。本区氧化还原电位值表明当时为氧化环境, 这与红层十分发育是一致的^[19]。

3 结语

(1) 利用微量元素质量分数及组合特征, 可以很好识别不同的沉积环境, 通过一些典型元素的分布及质量分数特征确定沉积时水体的物理化学条件(古盐度和氧化还原条件)。

(2) 对鄂尔多斯盆地西缘石千峰组进行地球化学研究, 表明当时为淡水、氧化和炎热的沉积环境。

(3) 定量-半定量的地球化学方法判断沉积环境, 结合沉积学理论能更准确地确定沉积环境。

研究中应注意的是要系统取样, 综合分析, 特别是要多元素, 不同分析方法对照分析才有可能得出可靠结论。

参考文献:

[1] 杨 华, 姬 红, 李振宏, 等. 鄂尔多斯盆地东部上古生界石千峰组低压气藏特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(4): 413-419.

[2] 牟保盛. 元素地球化学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1999.

[3] 吴艳宏, 李世杰, 夏威夷. 可可西里苟仁错湖泊沉积物元素地球化学特征及其环境意义[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 64-68.

[4] 胡以铿. 地球化学中的多元分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.

[5] 柴之芳, 祝汉明. 微量元素化学概论[M]. 北京: 原子能出版社, 1997.

[6] 邬金华, 余素玉. 一个湖泊—三角洲沉积总体中泥质岩成因地层研究的元素统计分析[J]. 沉积学报, 1996, 14(1): 59-68.

[7] 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.

[8] 南京大学地质系. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984.

[9] Nelson B. Sedimentary Phosphate Method for Estimating Paleosalinities[J]. Science, 1967, 158: 917-920.

[10] 蓝先洪, 马道修, 徐明广, 等. 珠江三角洲若干地球化学标志及指相意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1987, 7(1): 39-49.

[11] 王益友, 郭文莹, 张国栋. 几种地化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.

[12] 王益友, 吴 萍. 江浙海岸带沉积物的地球化学标志[J]. 同济大学学报, 1983, 11(4): 79-87.

[13] Epstein S, Mayeda T K. Variations of ^{18}O Content of Waters from Natural Sources[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1953, 4: 213-224.

[14] Degens E T, Williams E G, Keith M L. Environmental Studies of Carboniferous Sediments[J]. Bull Am Assoc Petrol Geol, 1957, 41: 2455-2477.

[15] Keith M L, Weber J N. Isotopic Composition and Environmental Classification of Selected Limestone and Fossils Geochim[J]. Cosmochim Acta, 1964, 28: 1787.

[16] 张 翔, 田景春, 侯明才, 等. 宁夏汝箕沟盆地上二叠统石千峰组沉积环境分析[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(6): 10-12.