

文章编号: 1000-0550(2008) 02-0202-09

鄂尔多斯盆地东部山西组海相沉积环境分析

叶黎明¹ 齐天俊² 彭海燕³

1. 同济大学海洋地质国家重点实验室 上海 200092
- 2 四川石油管理局井下作业公司研发中心 成都 610051;
3. 成都理工大学沉积地质研究院 成都 610059)

摘要 以地球化学指标为主,结合地层古生物和原生沉积构造等各方面的证据,进一步分析了鄂尔多斯盆地东部山西组的沉积环境。泥岩样品的地球化学特征表明,由于受潮汐和海侵作用的影响,整个山西期盆地东部的沉积水体以混合水为主,其中硼元素反映了基准面长期旋回的变化特征,而 Sr/Ba 则是超长期的变化指标;从沉积构造和海相化石分布特征可知,在山西早期中等强度的潮汐作用直接影响了研究区的东南部,对三角洲沉积进行改造,到了山西中晚期三角洲进积作用增强,潮汐作用范围逐渐退至研究区东南缘;此外,地层的分布特点和沉积相也说明在整个山西期盆地东部地层和晋西地层联片沉积且属于同一三角洲沉积体系,东部的水下隆起还不足以阻隔水体形成湖盆,所以鄂尔多斯盆地东部山西组是发育在浅海陆棚基础上的三角洲沉积。

关键词 鄂尔多斯盆地 山西组 三角洲 浅海陆棚

第一作者简介 叶黎明 男 1978 年出生 博士 海洋地质 E-mail: xinshanren@163.com

中图分类号 TE12L.3⁺1 **文献标识码** A

鄂尔多斯盆地在晚加里东运动后期,由于秦、祁海槽关闭,上升为陆并与华北地块连成一片,使区内经历了长达 1.3~1.5 亿年之久的风化剥蚀,至海西旋回中期,秦岭、祁连海槽和中亚—蒙古海槽再度拉开,包括研究区在内的整个鄂尔多斯地块发生区域沉降,进入了海相沉积阶段^[1-2]。盆地西缘自早石炭世开始接受沉积,而东缘直至晚石炭世早期才开始接受沉积,并在早二叠世东部海水从东—东南方侵入并越过中央古隆起与西部海域联合,形成统一陆表海^[3]。在历经本溪期、太原期沉积之后,到海西旋回末期,秦岭、祁连海槽再次对挤、挟击,海水被迫逐渐退出了鄂尔多斯盆地^[4]。盆地东部山西组的沉积环境众多学者进行过研究,基本上可归纳为三种观点:陆相湖盆、近海湖盆和浅海陆棚^[5-8]。由于构造运动的影响,沉积环境和沉积相在太原期的基础上重新分化组合,盆地东部山西组以三角洲相沉积为主,关键在于此三角洲的沉积背景是浅海陆棚还是近海湖盆,抑或是内陆湖盆?这涉及到盆地东部海退的时间问题,是在太原期末迅速海退,使盆地东部成为近海湖盆或内陆湖盆;还是缓慢海退,盆地东部在山西期仍为浅海陆棚,直到山西晚期海水才逐渐退出盆地东部?

表 1 鄂尔多斯盆地东部沉积环境研究概况

Table 1 The general situation of depositional environment in Eastern Ordos Basin

作者	郭英海 (2000)	聂武军 (2001)	庞军刚 (2006)	刘家铎 (2006)
研究区域	靖边—佳县以北	榆林以北	子洲—清涧区块	塔巴庙区块
目标层位	山西组	山西组	山 ₃ 亚段	山 ₃ 段
主要指标	沉积相	沉积相	地球化学	矿物学、古生物
沉积环境	浅海陆棚	陆相湖盆	近海湖盆	浅海陆棚

如表 1 所示,郭英海等的研究区域与聂武军等的研究区域相当,所采用的环境指标也一样,但研究结果却不相同;子洲—清涧区块比塔巴庙区块更靠南,但研究结果却显示前者为近海湖盆后者为浅海陆棚。由于环境指标具有多解性,特别是用沉积相去反演沉积环境具有很大的片面性,而且个别区块的研究结果无法全面地反映整个盆地东部的沉积环境,因此要明确盆地东部的沉积环境,需注意三个问题:一是采样空间必须涉及整个盆地东部地区;二是环境指标的多样性,单一指标即使是盐度也不能如实反映沉积环境;三是要结合周边地区的沉积环境。针对上述问题,本文在前人研究的基础上,以地球化学指标为主,结合地层古生物和原生沉积构造等各方面的证据,进一步分析了盆地东部山西组的沉积环境。

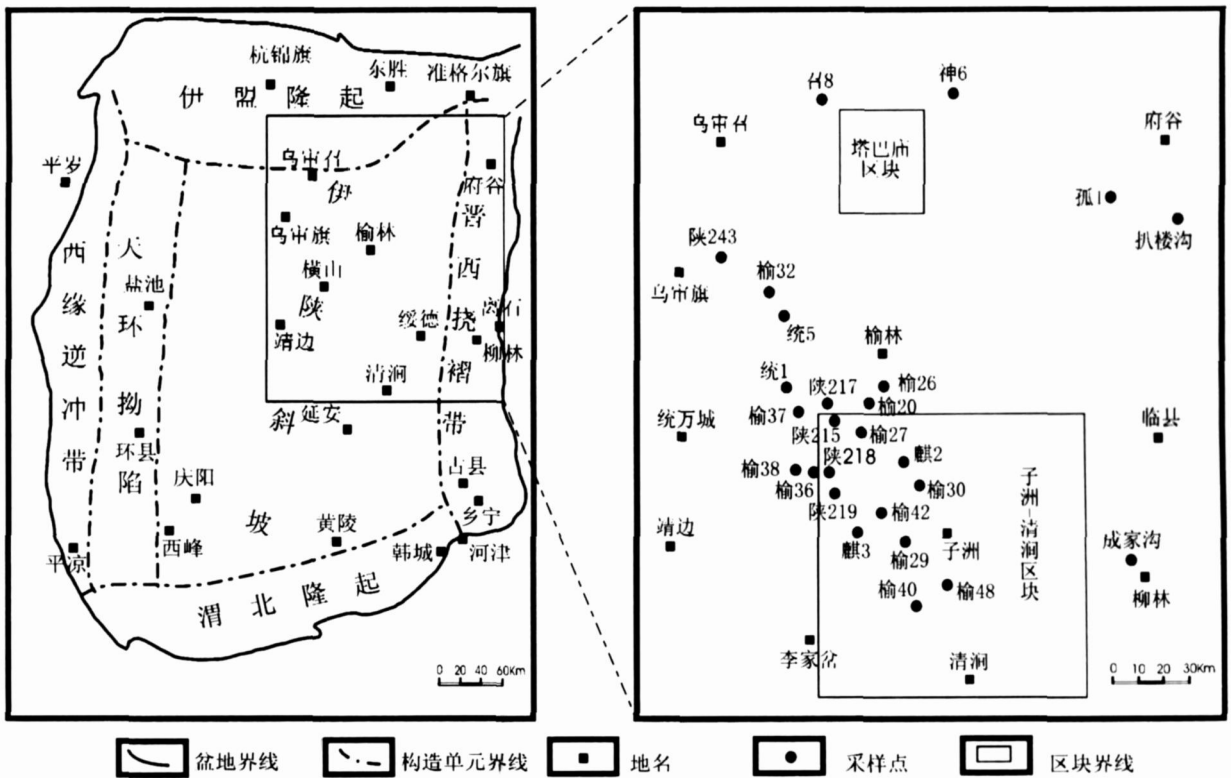


图 1 鄂尔多斯盆地构造纲要及山西组采样位置图

Fig 1 The tectonic framework and the sampling sites in Ordos basin

1 地球化学特征

地球化学特征是反映沉积环境最重要的指标。据刘旭峰等研究, 泥岩中的微量元素特征可以很好地反映介质环境, 其中对于海水和淡水环境的判别, 常用的微量元素为: Sr, Ba, Rb, Ga, Rb 等^[9]。本次研究对 25 口钻井岩芯、3 个野外剖面中的 191 个样品进行了上述微量元素的分析测试, 采样范围基本覆盖整个盆地东部 (图 1)。样品在国土资源部中南矿产资源监督检测中心进行测试分析, 其中 Rb 的含量采用火焰原子吸收分光光度法测定, 分析精度为 10^{-6} ; Sr, Ba, Ga 采用 ICP-AES 发射光谱分析方法, 分析精度为 0.5×10^{-6} 。所有样品均采用国家一级标样水系沉积物标样进行控制, 部分结果如表 2 所示。

1.1 硼元素

古盐度是判断沉积环境最直观的指标, 定量计算的方法很多, 其中比较好的是根据硼和粘土矿物来计算。硼是不稳定的元素, 在水中可以作长时间的迁移, 河水中硼的含量较低, 约为 0.01×10^{-6} , 海水中硼的含量受河水补给, 火山活动和粘土矿物吸附作用所控制, 可达 4.5×10^{-6} ^[10]。古盐度计算公式目前

较常用的是沃克尔和科奇 (Couch) 公式, 由于科奇公式计算的古盐度范围较大 ($1.3\% \sim 33\%$), 且考虑了不同粘土矿物组成对硼含量的影响, 因此适用于本区:

$$\lg B_k = 1.28 \lg S + 0.11, \quad B_k = B / (4X_i + 2X_m + X_k)$$

式中 B_k 为高岭石中的硼; S 为古盐度 ($\%$); X_i 、 X_m 、 X_k 分别为伊利石、蒙脱石和高岭石的质量分数; B 为实测的硼质量分数 ($\mu\text{g/g}$)^[11]。研究表明硼含量的高低与粘土矿物的成分和组成密切相关, 伊利石、蒙脱石、高岭石对硼的吸附能力之比为 4:2:1。由于山西组泥岩中的粘土矿物几乎全部为高岭石且含有少量的非粘土矿物^[12], 因此高岭石的硼质量分数 $B_k = B^* \cdot 1.1 / (4^* \cdot 0 + 2^* \cdot 0 + 1) \approx 1.1B^*$ ^[7]。

盐度计算结果如表 2 所示, 区内最大盐度为 24.5% 位于榆 30 井山₂段 (图 2), 最小盐度为 3.1% 位于陕 243 井山₁段。根据威尼斯的盐度分类方案^[13], 区内除西北部淡水作用强烈外, 其它区域泥岩的沉积水体以中盐水为主, 榆 30 井和榆 40 井部分层段可达多盐水。泥岩是低能环境的产物, 一般属于

基准面旋回的高水位体系域,此时,基准面高,可容空间大,海水入侵导致了盆地沼泽环境的形成^[14],同时河流作用相对减弱,水体被咸化,而在废弃河道、岸后沼泽等淡水环境中沉积的泥岩在海侵过程中大部分被冲蚀,只有少部分如陕 243井和召 8井等离岸较远的地区其部分泥岩样品反映的水体为淡水。因此泥岩中微量元素特征主要反映基准面旋回中高水位体系域的沉积环境,而在低水位体系域时,河流作用相对增强,三角洲广泛进积,水体淡化。如长江口北支三和港附近在枯季平均盐度达 5.9‰~19.3‰,洪季日平均盐度不超过 0.3‰,即使是位于口门的圆陀角,其平均盐度介于 4.2‰~13.6‰之间,由此可见,

虽然长江口外海滨东侧的盐度高达 32‰~34‰,由于河流的影响,在长江三角洲河口区的盐度却介于 0.3‰~19.3‰之间变化^[15]。依据山西组层序地层的划分方案^[16],第一个长期旋回的最大洪泛面出现在山₂¹亚段(图 2),从榆 30井的盐度变化特征可知,处在海侵早期的山₂³亚段地层中的盐度不是最高的,最高盐度出现在山₂¹亚段达 24.2‰,榆 40井也反映了相同的情况,到了山₁段海退时,盐度显骤下降到 16.4‰,盐度特征表明,在盆地东部古河口外存在正常海水,三角洲沉积区是海洋和河流相互作用的区域,随着海河作用的此消彼长,水体盐度不断变化。

表 2 盆地东部部分钻井岩芯中泥岩微量元素含量

Table 2 The volume of element in mudstone in some cores East Ordos Basin

微量元素	孤 1井						陕 243井							
	山 ₂ ¹		山 ₁ ³	山 ₁ ²	山 ₁ ¹		山 ₂ ²		山 ₂ ¹	山 ₁ ³	山 ₁ ²	山 ₁ ¹		
Rb	149	131	157	176	67.1	214	134	162	27.9	112	38.8	117	153	153
Sr	184	140	160	197	113	176	155	147	113	154	124	157	113	117
Ba	683	627	648	686	441	744	564	576	272	508	176	372	467	464
B	47.8	42.6	38.8	43.7	24.5	42	29.8	25.6	3.77	23.6	5.01	23.1	27.9	30.9
Ga	42.7	34	34.4	33.8	31.2	39.4	24	34.4	53.1	25.4	48.7	37.3	26.3	30.2
Sr/Ba	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.7	0.4	0.2	0.3
盐度 /‰	18.1	16.6	15.4	16.9	10.8	16.4	12.5	11.1	2.5	10.4	3.1	10.3	11.9	12.9

微量元素	榆 30井													
	太原组				山 ₂ ³						山 ₂ ²			
Rb	1.1	1.1	82.6	19	121	36.8	6.1	14.3	61.7	107	55.4	26.8	134	107
Sr	931	272	1540	1080	178	102	67.8	85.7	126	157	141	48.9	152	124
Ba	67.9	59.1	308	114	333	178	62.6	133	229	317	182	132	374	349
B	0.9	0.9	54.7	12.9	71.4	44.9	22	16.6	39	60.1	43	13.2	52	52.7
Ga	2.4	2.63	16.7	9.55	39	43.2	24.4	39.3	19.7	31.8	20	8.54	32.6	37.7
Sr/Ba	13.7	4.6	5.0	9.5	0.5	0.6	1.1	0.6	0.6	0.5	0.8	0.4	0.4	0.4
盐度 /‰	灰岩	灰岩	20.1	6.5	24.8	17.3	9.9	7.9	15.5	21.7	16.7	6.6	19.4	19.6

微量元素	榆 30井							榆 40						
	山 ₂ ²		山 ₂ ¹		山 ₂ ¹			山 ₂ ²		山 ₂ ¹		山 ₁		
Rb	108	107	16.7	106	159	174	208	146	89.4	71.4	106	114	164	113
Sr	148	163	121	148	231	168	183	163	217	117	115	103	181	125
Ba	329	2220	287	632	869	876	831	1030	295	375	430	510	723	417
B	44.6	53.7	12.4	28.3	44.5	69.2	70.4	27.1	47.1	48.1	55	59.5	42	44.7
Ga	41.5	43	52.8	24.8	36.8	33	43.2	30.6	26.2	34.9	35.9	28.9	40.7	28.5
Sr/Ba	0.4	0.1	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.7	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3
盐度 /‰	17.2	19.9	6.3	12.0	17.1	24.2	24.5	11.6	17.9	18.2	20.2	21.5	16.4	17.2

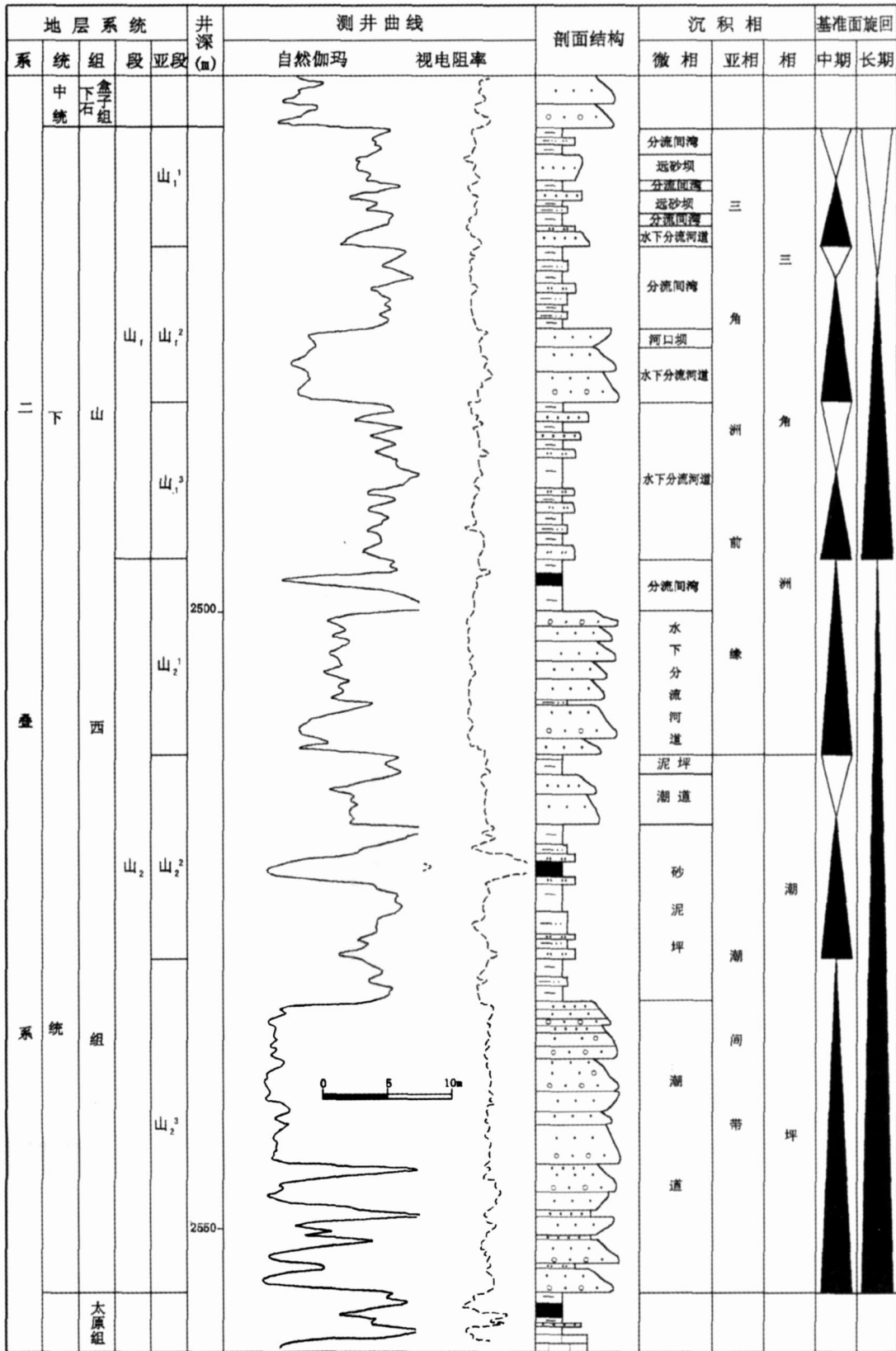


图 2 鄂尔多斯盆地东部榆 30 井综合柱状图

Fig 2 The comprehensive column of Well YU 30 in East Ordos Basin

1.2 Sr/Ba

Sr/Ba是定性反映古盐度的重要指标。锶和钡元素在表生过程中的化学性质有很大的差异, 锶比钡迁移能力强, 在淡水湖泊中, 水介质的酸性比较强, 矿化度很低, 锶钡均以重碳酸盐的形式保留在湖水中, 当湖水不断咸化, 矿化度逐渐增加时, 钡首先以硫酸钡的形式沉淀出来, 而锶只有当湖水或海水浓缩到一定程度后才产生硫酸锶沉淀^[17]。我国海底样品的研究表明, 泥岩中的 Sr/Ba为 0.8~1, 而对于鄂尔多斯中生代陆相地层的研究发现, 大多数泥岩样的 Sr/Ba为 0.54 因此利用 Sr/Ba划分沉积环境的常用标准为: 大于 1为海水; 0.5~1混合水; 小于 0.5为淡水^[18, 20]。如表 2所示, 孤 1井 Sr/Ba平均为 0.3, 陕 243井平均为 0.4 榆 30井山₃亚段平均为 1.9 山₂亚段平均为 0.3 山₁亚段平均为 0.2。按照上述标准, 只有榆 30井山₃亚段的沉积环境为海水, 其余均为淡水, 但是庞军刚等人的研究结果也表明盆地东部子洲地区山西组的平均盐度为 23.7‰(据原文 B元素数据计算), 对应的 Sr/Ba为 0.38^[7], 更有甚者如云南保山盆地南林组平均盐度为 13.3‰, Sr/Ba仅为 0.06, 羊邑组平均盐度为 12.8‰, Sr/Ba 仅为 0.08^[19], 只有中生代的鄂尔多斯三叠系长 6油层组的平均盐度为 10‰, Sr/Ba为 0.49^[20], 基本上符合上述标准。显然, 母岩类型和水化学条件的差异决定了在不同盆地、不同层位应有不同的地化标准, 对于山西组来说, 将 Sr/Ba等于 0.3作为淡水和混合水的界线是比较合理的。从表 2可知 Sr/Ba的变化趋势与盐度变化略有不同, 最大值并不是出现在长期旋回的最大洪泛面, 如山₂段顶部, 而是从山西组底部至顶部逐渐减小, 显然它反映的是更高一级的旋回—超长期的变化特征。鄂尔多斯盆地东部从晚石炭世发生强烈海侵, 在太原早期海水越过中央古隆起, 一直到太原期末开始逐渐海退, 至于海水全部退出盆地的时间尚有争论, 但可以肯定的是这一超长期的最大洪泛面出现在太原期末, 整个山西期在超长期旋回中属于海退过程, 榆 30井的 Sr/Ba最大值出现在太原组达 13.7, 此后逐渐降低至山西组顶部仅为 0.2。从超长期时间尺度来看, 从太原组顶部至山西组顶部盐度也是逐渐降低的。因此, 微量元素所反映的地球化学特征与海陆相互作用的物理过程—基准面旋回是相对应的, 不同时间尺度的物理过程造成微量元素不同频率的波动, 总的来看, Sr/Ba和盐度都表明盆地东部山西组主要沉积在混合水体中。

1.3 B Ga Rb三角图

在粘土矿物晶体格架中的 B Ga Rb三种元素随着沉积环境的不同, 它们之间的相对含量会发生有规律的变化。同济大学严钦尚等人曾将已知沉积相的样品分析结果进行投点^[21], 发现通过此法得出的结论与实际相吻合, 故用此法作为沉积环境分析的依据是可靠的。我们将鄂尔多斯盆地东部山西组具有代表性的 81个泥岩样品和 2个煤样品以及榆 30井的 2个太原组样品进行投点, 结果如图 3所示, 除了 2个灰岩样品和 2个煤样品由于岩性的影响位于淡水区外, 陕 243井、召 8井和榆 37井共有 4个泥岩样品位于淡水区, 同时榆 30井和麒 2井共有 14个点位于海水区, 其余 77.8%的山西组泥岩样品都位于混合水区。表明除了研究区西北部少数时间段内泥岩沉积以淡水环境为主, 东南部山₃亚段受海水影响外, 盆地东部绝大部分地区山西组都沉积于混合水中。

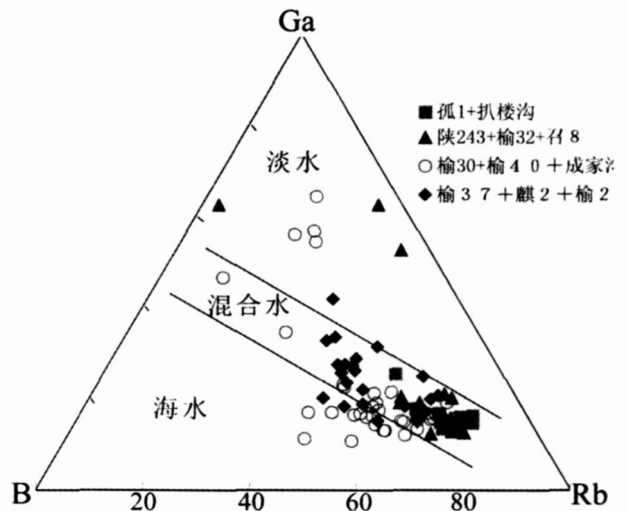


图 3 B Ga Rb三角投点图

Fig 3 The triangle plot of element B Ga Rb

2 地层及古生物

地球化学特征表明, 由于受海水的影响, 盆地东部在整个山西期的沉积水体以混合水为主, 山西组三角洲沉积体系的沉积背景不可能是陆相湖盆, 而且如此强烈的混合水作用不太可能出现在近海湖盆中, 但要区分近海湖盆还是浅海陆棚, 则需进一步分析地层分布、原生沉积构造和古生物化石等方面的证据。

2.1 地层分布

通过考察野外剖面, 发现鄂尔多斯盆地东部山西省境内, 山西组广泛出露, 其海相地层分布具有如下

特征(图 4):

A、下含煤段含有三个海相夹层, 组成由砂岩—泥岩—煤—海相层—泥岩的岩性旋回、海相夹层的组成, 分别由灰岩、硅质岩、含海相化石的泥岩层或含钙质的泥岩层组成。

B、海相层的分布, 在离石—太原—孟县一线以北基本上不存在, 向南逐渐出露, 岩性也有所变化。晋东南的平顺—陵川—晋城一线以南海相层最多, 通常有 2~3 层含海相生物化石的灰岩层, 而在太原西山地区, 仅见有海相化石的页岩层及含钙质泥岩层或迭锥灰岩层。

C、晋东南的晋城、陵川的山西组, 三层灰岩分别称为毛古掌灰岩、附城灰岩和小东沟灰岩, 其中均有筳类化石存在, 壶关县宋家河剖面的附城灰岩中亦有筳类化石发现。在乡宁甘草山剖面底部的硅质泥灰岩中, 有大量腕足类化石发现^[2]。

由此可知, 鄂尔多斯盆地东缘山西省境内的山西组中确有海相地层存在, 其分布特点是由南向北逐渐变薄, 在太原以北消失。鄂尔多斯盆地作为华北地块的一部分, 其地层与周边地区具有很好的可比性, 山西组在陕、晋、豫联片沉积, 除东缘吕梁山区(府谷—柳林一带)受水下吕梁古隆起影响, 厚度变薄至 60~80 m, 盆地其它地区厚度变化介于 90~120 m, 而吕梁山区山西组的沉积相与盆地东部其它地区同属于一个三角洲沉积体系^[3, 22]。地层分布和沉积相都表明当时盆地东部水体与外海联通较充分, 没有明显的泄水口, 吕梁古隆起的高度还不足以阻隔水体的交换, 使盆地东部成为湖盆, 只是水下坡度极其平缓且水体较浅, 在低海平面时三角洲进积作用强烈, 而在高海平面时浅水环境起“缓冲”作用, 降低了海侵对三角洲的影响, 如里海的伏尔加河三角洲, 在低海平面时三角洲增长幅度达每年 2~180 km², 而在高海平面时三角洲被侵蚀程度很小^[23]。山西期后吕梁隆起才进一步抬升, 同时渭北隆起也继续抬升, 海水从盆地东南方泄水口退出, 形成了典型的近海湖盆, 郑荣才等认为晚三叠世延长统时鄂尔多斯仍为一近海湖盆^[20]。

2.2 原生沉积构造

野外工作中, 根据乡宁甘草山、蒲县宋家沟、柳林成家沟, 以及太原西山柳子沟等地山西组典型剖面的详细观察, 在山西早期地层中发现大量与海相沉积环境有关的原生沉积构造:

A、羽状交错层理: 层系形态呈板状, 上下相邻层

系中的前积纹层的倾向相反, 规模较大, 大量见于成家沟剖面山西组底部细砂岩中, 出露的单层厚度约 0.8 m, 是由周期性往返运动的水流形成的, 一般认为是典型的潮道沉积。在乡宁甘草山剖面底部砂岩中也有出露, 陈钟惠等也认为该处是典型的潮道沉积^[24]。

B、潮汐层理: 是在水动力强弱交替的情况下, 由砂和泥交替沉积而形成。根据砂层和泥层的相对比例、内部构造和空间上的连续性可分为脉状、波状和透镜状层理, 通常出现于潮坪带的泥岩中, 由若干粉砂岩的透镜体或细条带组成透镜状、脉状和条带状。在蒲县宋家沟剖面、太原西山柳子沟剖面发现大量脉状和透镜状层理, 它们主要发育于潮下带和潮间带, 其形成与潮流期和平潮期的周期性交替有关。

上述这些具有海相成因的沉积构造, 均见于成家沟及太原以南地区。在剖面上, 它们大都集中于山西组下部, 它们的分布特点是: 底部的粗砂岩中单向水流形成的板状层理、块状层理为主, 局部出现羽状交错层理, 中上部则为具有潮汐层理的泥质砂岩和泥岩所覆盖, 这些层理构造的分布特点, 反映了在山西早期潮汐作用直接影响了研究区的东南部, 对三角洲沉积进行改造, 到了中后期北部构造运动增强, 三角洲快速进积, 水体进一步淡化, 真海水退却至盆地东南缘, 但仍存在小型海侵作用。

2.3 古生物化石

此次工作中, 我们在榆 48 井山₂段的泥岩中(井深 2566~2568 m), 发现有棘皮类化石碎片存在, 大小约 1~2 mm, 边缘部份已被菱铁矿交代, 但棘皮类化石的单晶结构特点, 仍清晰可见, 碳酸盐矿物的菱形解理特征也基本保留, 确系棘皮类化石碎片无疑。此外, 在塔巴庙区块的大 12 井和大 13 井山₂段地层中发现有海百合和有孔虫(其中有始瘤虫)骨屑^[8]。据孔亚珍等研究, 长江口处为中等潮差环境, 口门附近平均潮差为 2.67 m, 潮流界可伸及距口门约 200 km 的江阴^[15], 一些正常海相的生物化石可被潮流带入长江河道沉积下来。因此, 从生态环境来看, 榆 48 井的棘皮类化石可能是原地沉积的, 而北部的塔巴庙地区的化石因该是由涨潮流带入的。除盆地东部二叠系山西组外, 南京大学刘冠邦在鄂尔多斯盆地华池三叠系地层中也发现了代表海相地层的空棘鱼类, 边立增等在鄂尔多斯盆地西南区三叠系长 2、长 3 和长 6 地层中发现了属海源生物的疑源类化石^[25]。这些发现都从大的构造背景上有力地佐证了

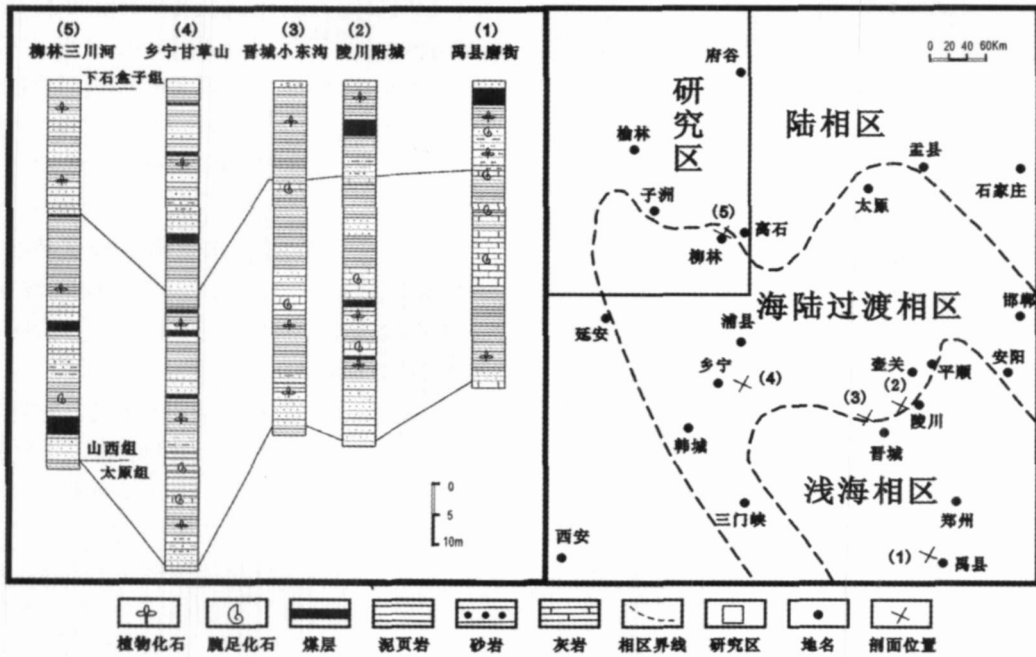


图4 野外剖面地层对比及岩相古地理略图¹

Fig 4 The comparison of stratum of out-profile and the Lithofacies-paleogeographic scheme¹

盆地东南部在山西期仍继承了太原期的海相沉积环境。

3 结论

通过分析盆地东部山西组的地球化学特征和地层及古生物,可以得出如下结论:

(1) 由于受潮汐和海侵作用的影响,整个山西期盆地东部的沉积水体以混合水为主,其中硼元素反映了基准面长期旋回的变化特征,而 Sr/Ba则是超长期的变化指标。

(2) 在山西早期潮汐作用直接影响了研究区的东南部,对三角洲沉积进行改造,且只有中等强度的潮汐才能将海相化石带入距河口 200 多千米的塔巴庙地区,到了山西中晚期三角洲进积作用增强,潮汐的作用范围逐渐退至研究区东南缘。

(3) 在整个山西期盆地东部地层和晋西地层联片沉积且属于同一三角洲沉积体系,东部的水下隆起还不足以阻隔水体形成湖盆。

(4) 综合上述三点可知,鄂尔多斯盆地东部山西组是发育在浅海陆棚基础上的三角洲沉积,浅海陆棚东界范围于安阳—邯郸一线,北界经太原、柳林、榆林以南,西界经延安、韩城、三门峡一线,呈倒 W 字

形,浅海相主要位于晋东南及豫北地区,研究区东南隅在山西早期也存在浅海相,之后整个东部都被三角洲沉积占据,三角洲范围内(包括晋、豫地区)的沉积以砂岩、泥岩、粉砂岩、炭质泥岩、煤层为主,并夹有若干海相页岩层。

本文承蒙成都理工大学沉积地质研究院陈洪德教授、刘文均教授、向芳副教授的帮助和指导,在此表示衷心的感谢。

参考文献 (References)

- 1 王同和,王喜双,韩宇春,等. 华北克拉通构造演化与油气聚集 [M]. 北京:石油工业出版社, 1999: 72-73 [Wang Tonghe, Wang Xishuang, Han Yuchun, et al. Tectonic Evolution and Petrogas Assemblage in North China Craton [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 72-73]
- 2 地质矿产部. 山西省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1982: 672-673 [Ministry of Geology and Mine Geological Record in Shanxi province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982: 672-673]
- 3 郭英海,刘焕杰,权彪,等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演 [J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 44-52 [Guo Yinghai, Liu Huanjie, Quan Biao, et al. Late Paleozoic sedimentary system and paleogeographic evolution of Ordos Area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3): 44-52]

¹ 陈洪德,刘文均,侯中健,等. 鄂尔多斯盆地东部山西组高分辨率层序地层学与砂体研究. 成都理工大学沉积地质研究院, 2005.

- 4 郭绪杰,焦贵浩. 华北古生界石油地质 [M]. 北京:地质出版社, 2002: 135-138 [Guo Xu jie Jiao Gu hao Palaeozoic Petroleum Geology in North China [M]. Beijing Geological Publishing House, 2002 135-138]
- 5 郭英海,刘焕杰. 陕甘宁地区晚古生代沉积体系 [J]. 古地理学报, 2000, 2(1): 19-31 [Guo Yinghai Liu Huanjie The Late Palaeozoic depositional systems of Shanxi-Gansu-Ningxia Area [J]. Journal of Palaeogeography, 2000 2(1): 19-31]
- 6 聂武军,刘棣民,袁芳政,等. 鄂北下二叠统含气层段沉积相划分及古地理演化 [J]. 天然气工业, 2001, 21(增刊): 45-50 [Nie Wujun Liu Damin Yuan Fangzheng *et al*. Sedimentary facies division and paleogeographic evolution of gas-bearing intervals in Lower Permian in Northern Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21 (Supplement): 45-50]
- 7 庞军刚,李文厚,郭艳琴,等. 陕北子洲地区二叠纪山西组沉积环境 [J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(5): 5-8 [Pang Jungang Li Wenhou Guo Yanqin *et al*. Sedimentary environment of Permian Shanxi Formation in Zizhou region northern Shanxi [J]. Coal Geology and Exploration, 2006 34(5): 5-8]
- 8 刘家铎,田景春,张翔,等. 鄂尔多斯盆地北部塔巴庙地区山西组一段海相、过渡相沉积标志研究及环境演化分析 [J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 36-43 [Liu Jiaduo Tian Jingchun, Zhang Xiang *et al*. Depositional markers of marine transition facies and its evolution of member 1 of Shanxi Formation, Tabamiao Area North Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006 24(1): 36-43]
- 9 刘岫峰. 沉积岩实验室研究方法 [M]. 北京:地质出版社, 1991: 206-207 [Liu Xiufeng. Laboratory Methods of Sedimentary Rock [M]. Beijing Geological Publishing House, 1991: 206-207]
- 10 刘英俊,曹励明,李兆麟,等. 元素地球化学 [M]. 北京:科学出版社, 1984: 422-428 [Liu Yinjun, Cao Liming, Li Zhaolin, *et al*. Elemental Geochemistry [M]. Beijing Science Press, 1984 422-428]
- 11 李进龙,陈东敬. 古盐度定量研究方法综述 [J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(5): 1-5 [Li Jinlong Chen Dongjing. Summary of quantified research method on paleosalinity [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003 10(5): 1-5]
- 12 李炳云,王苏建,王赛明. 鄂尔多斯盆地东北缘高岭岩及其深加工工艺研究 [J]. 非金属矿, 2000, 23(5): 33-36 [Li Bingyun Wang Sujian Wang Saoming. Research on kaolin ore and its process in Northeastern margin of Ordos Basin [J]. Non Metallic Mines, 2000, 23(5): 33-36]
- 13 顾家裕,等. 沉积相与油气 [M]. 北京:石油工业出版社, 1994: 44-46 [Gu Jiayu *et al*. Sedimentary Facies and Petrogas [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1994 44-46]
- 14 李增学,余继峰,郭建斌. 华北陆表海盆地海侵事件聚煤作用研究 [J]. 煤田地质, 2002, 30(5): 1-5 [Li Zengxue Yu Jifeng Guo Jianbin. Study on coal accumulation under marine transgression events in the Epicontinental Basin of North China [J]. Coal Geology and Exploration, 2002 30(5): 1-5]
- 15 孔亚珍,贺松林,丁平兴,等. 长江口盐度的时空变化特征及其指示意义 [J]. 海洋学报, 2004, 26(4): 9-18 [Kong Yazhen He Songlin Ding Pingxing *et al*. Characteristics of temporal and spatial variation of salinity and their indicating significance in the Changjiang Estuary [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(4): 9-18]
- 16 郑荣才,文华国,梁西文. 鄂尔多斯盆地上古生界高分辨率层序地层分析 [J]. 矿物岩石, 2002, 22(4): 66-74 [Zheng Rongcai Wen Huaguo Liang Xiwen. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy for Upper Palaeozoic in Ordos Basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2002, 22(4): 66-74]
- 17 李成凤,肖继风. 用微量元素研究胜利油田东营盆地沙河街组的古盐度 [J]. 沉积学报, 1988, 6(4): 100-108 [Li Chengfeng Xiao Jifeng. The application of trace element to the study on paleosalinities in Shahejie Formation of Dongying Basin Shengli Oilfield [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1988 6(4): 100-108]
- 18 张茂盛. 微量元素在地质沉积环境中的应用 [J]. 光谱仪器与分析, 2001, 4: 19-21 [Zhan Maosheng. Usage of microelements in sedimentary environment [J]. Light-Spectrum and Analysis, 2001, 4: 19-21]
- 19 赵永胜,宋振亚,温景萍,等. 保山盆地湖相泥岩微量元素分布与古盐度定量评价 [J]. 海洋与湖沼, 1998, 29(4): 409-416 [Zhao Yongsheng Song Zhenya Wen Jingping *et al*. Quantitative evaluation of paleosalinities and distribution of trace elements in the lacustrine mudstone of Baoshan Basin [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1998 29(4): 409-416]
- 20 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): 20-26 [Zheng Rongcai Liu Meiqing. Study on paleosalinity of Chang-6 oil reservoir set in Ordos Basin [J]. Oil and Gas Geology, 1999, 20(1): 20-26]
- 21 严钦尚,张国栋,项立嵩,等. 苏北金湖凹陷阜宁群的海侵和沉积环境 [J]. 地质学报, 1979, (1): 74-83 [Yan Qinshang Zhang Guodong Xiang Lishong *et al*. Transgression and sedimentary environment of Funing Group in Jinghu Sunken North Jiangsu Province [J]. Acta Geologica Sinica, 1979, (1): 74-83]
- 22 汪正江,陈洪德,张锦泉. 鄂尔多斯盆地晚古生代沉积体系演化与煤成气藏 [J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(2): 18-24 [Wang Zhengjiang Chen Hongde Zhang Jinquan. The Late Palaeozoic sedimentary systems and humic gas pools in the Ordos Basin [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, 22(2): 18-24]
- 23 李从先,伊万诺夫 V,范代读,等. 近百年里海海平面的升降与伏尔加三角洲的发育 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(3): 1-10 [Li Congxian Ivanov Vadin, Fan Daidu, *et al*. Caspian sea-level fluctuation and development of the Volga River Delta during the last 100 Years [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2002, 22(3): 1-10]
- 24 陈钟惠,张年茂,张守良,等. 鄂尔多斯盆地东缘晚古生代含煤岩系沉积体系和聚煤作用的时间演化 [J]. 地球科学, 1989, 14(4): 357-366 [Chen Zhonghui Zhang Niannao Zhang Shouliang *et al*. The time and spatial evolution of sedimentary systems and coal accumulation center in Late Palaeozoic coal-bearing measures on the eastern margin of Ordos Basin [J]. Earth Science, 1989 14(4): 357-366]
- 25 徐旺,王文彦,张清. 我国近年来石油地质理论新进展会议 [J]. 中国石油勘探, 2003, 8(2): 18-24 [Xu Wang Wang Wenyan,

Depositional Environment Analysis of Shanxi Formation in Eastern Ordos Basin

YE Liming¹ QITian-jun² PENG Hai-yan³

(1. The State Key Laboratory of Marine Geology at Tongji University, Shanghai 200092;

2. The Research Center of Techniques Under Well at Sichuan Petroleum Bureau, Chengdu 610051;

3. The Institute of Sedimentary Geology at Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract The depositional environment was deeply analyzed in this paper by geochemical proxies, stratum and fossil distribution, and original sedimentary tectonics. The geochemical proxies in mudstone implied that tide and transgression reacted with the fresh water and mixed each other, concretely speaking, Element B implied the characteristics of long-term cycle of basic level, and Sr/Ba is a good proxy of super long-term cycle in the period of Shanxi in Eastern Ordos Basin. The sedimentary tectonics and fossil distribution indicated that the middle-level tide has directly influenced the delta in southeastern part of the area in the early period of Shanxi, gradually the delta progradation became strong and tide evacuated to the southeast fringe of the basin in the middle and late period. What's more, the stratum distribution and lithofacies also illuminated that the stratum in Eastern Ordos Basin and West Shanxi province belongs to the same delta-sedimentary system, and the underwater dome in the east part of the area is not efficient to obstruct the flow to form the lake. Consequently, the delta in Shanxi Formation deposited in the shallow-sea continental shelf.

Key words Ordos Basin, Shanxi Formation, delta, shallow-sea continental shelf