

# 鄂尔多斯盆地西部奥陶系古油藏 油源对比与靖边气田气源

张春林<sup>1,2</sup>, 庞雄奇<sup>1</sup>, 田世澄<sup>3</sup>, 张福东<sup>2</sup>, 刘锐娥<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249;

2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007;

3. 中国地质大学, 北京 100083)

**摘要:**岩心观察和镜下薄片鉴定表明,鄂尔多斯盆地奥陶系孔洞缝储集体中普遍存在沥青,平面上主要分布在盆地中西部地区,剖面上主要集中在桌子山组顶—克里摩里组和乌拉力克组。成层富集的沥青揭示出研究区存在3类古油藏:克里摩里组顶部孔洞型、桌子山组顶部孔隙型和乌拉力克组裂隙型。应用生物标志化合物进行油源对比,证实古油藏的油源为盆地西南缘的平凉组海相泥页岩;结合天然气碳同位素、黄金管热模拟实验、构造沉积演化史、成藏史及地质背景研究,认为中央古隆起东西两侧奥陶系储层中天然气的气源岩为平凉组海相泥页岩;侏罗纪—早白垩世,平凉组泥页岩生成的油气向中央古隆起区带运聚形成古油藏;晚侏罗世—古近纪,古油藏裂解生成的天然气向盆地北东方向的构造高部位进行区域性运移,形成群体性潜山风化壳大气田——靖边气田。

**关键词:**鄂尔多斯盆地;奥陶系;古油藏;油源对比;靖边气田;气源

**中图分类号:** TE122.1<sup>+</sup>14

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2014)08-1242-10

**引用格式:** Zhang Chunlin, Pang Xiongqi, Tian Shicheng, *et al.* Oil-source correlation of paleo-reservoir in Ordovician and the gas source of Jingbian Gasfield, west Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(8): 1242-1251. [张春林, 庞雄奇, 田世澄, 等. 鄂尔多斯盆地西部奥陶系古油藏油源对比与靖边气田气源[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(8): 1242-1251.]

## 0 引言

古油藏是指在地质历史时期的某个时段形成但现已破坏殆尽的油藏<sup>[1]</sup>,但可以凭其留下的种种迹象恢复重塑当时油藏面貌。但是,在地质历史时期由油藏演化成古油藏过程中,原油裂解生成多少气态烃,其对后期气藏的形成贡献作用有多大?这是研究学者们最关注的热点问题。多名学者<sup>[1-3]</sup>经过多年研究,认为鄂尔多斯盆地奥陶系海相碳酸盐岩地层中存在古油藏,但对盆地西部古油藏的发育层位与分布、古油藏的油源及其裂解气对奥陶系气藏形成的作用缺乏深入的分析。本文针对鄂尔多斯盆

地西部奥陶系沥青分布、赋存形式、古油藏分布和油源进行深入研究,结合气源对比,揭示其对盆地中部靖边风化壳油气成藏的重要贡献作用。

## 1 研究区地质背景

研究区位于鄂尔多斯盆地的西部,北与伊盟隆起相邻,南至平凉—泾川一带,东侧与伊陕斜坡相连,西至固原—银川一带,涉及天环坳陷和西缘逆冲带2个构造单元,面积约为 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1)。该地区是当前鄂尔多斯盆地地下古生界天然气勘探的重要地区之一,也是上古生界最早获得工业气流井(刘庆1井)的地区之一<sup>[4]</sup>。

**收稿日期:** 2013-08-14; **修回日期:** 2013-11-18.

**基金项目:** 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(编号: 2011ZX05007); 中国石油天然气股份有限公司科技攻关项目(编号: 2011B-0602)联合资助。

**作者简介:** 张春林(1979-),男,天津武清人,博士后,主要从事石油与天然气地质综合研究. **E-mail:** mike\_zcl@163.com.

早古生代时期,沿鄂尔多斯盆地西南缘的秦祁贺坳拉谷再度活动,秦岭、祁连 2 支拉开较大形成海槽,贺兰 1 支被遗弃成坳拉槽,秦祁贺海槽呈“L”形包围鄂尔多斯地块。

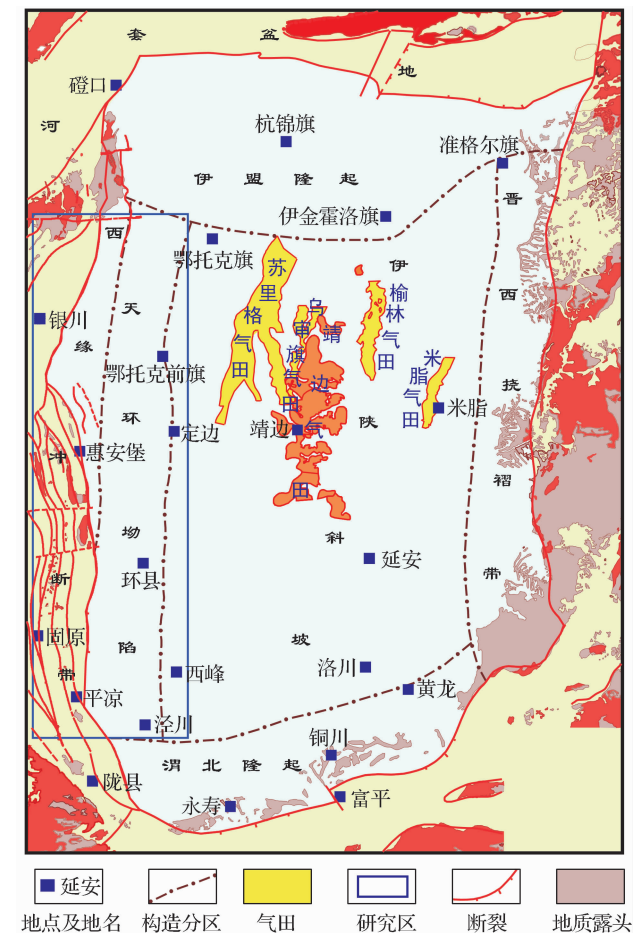


表 1 鄂尔多斯盆地部分探井奥陶系有机质定量统计与沥青形成期次

Table 1 The quantitative statistics of organic matter and formation stages of bitumen in Ordovician,Ordos Basin					沥青形成期次分析
井名	取样位置/m	岩性	有机质/%	沥青占有机质/%	
陕 56	3 500	灰岩	0.08	14	1 期沥青,反射色较高,主要呈条带状,部分被黄铁矿化
陕参 1	3 665.7	灰岩	1.50	90	2 期沥青,第一期为块状,轮廓分明,分布于晶间缝,形态取决于晶体轮廓;第二期亦呈块状,主要分布在脉中,灰白色,与黄铁矿共生
旬探 1	6(4/43)	灰岩	0.50	78	2 期沥青,第一期分布在晶缝处,灰—浅灰色;第二期分布在裂隙(晶洞)边缘,灰—灰白色,形态
天深 1	6(40/44)	灰岩	0.20	30	第一期沥青主要分布在晶缝中,反射色灰—灰白色;第二期沥青分布在溶孔矿物边缘,含量较少
鄂 7	4 128.7	孔洞白云岩	0.60	80	第一期为灰白—亮黄白色,块状,主要赋存在孔隙边缘;第二期为灰色,块状,表面充填浸染状黄铁矿,主要赋存在溶孔边缘。有时二者共生
鄂 8	4(2/16)	孔洞白云岩	0.15	28	第一期为灰白色,主要赋存在晶间、晶缝处;第二期为灰色,主要赋存在溶孔边缘
鄂 9	10(43/46)	灰岩	0.15	20	第一期沥青,灰—灰白色,呈块状,分布在方解石矿物表面含泥质处

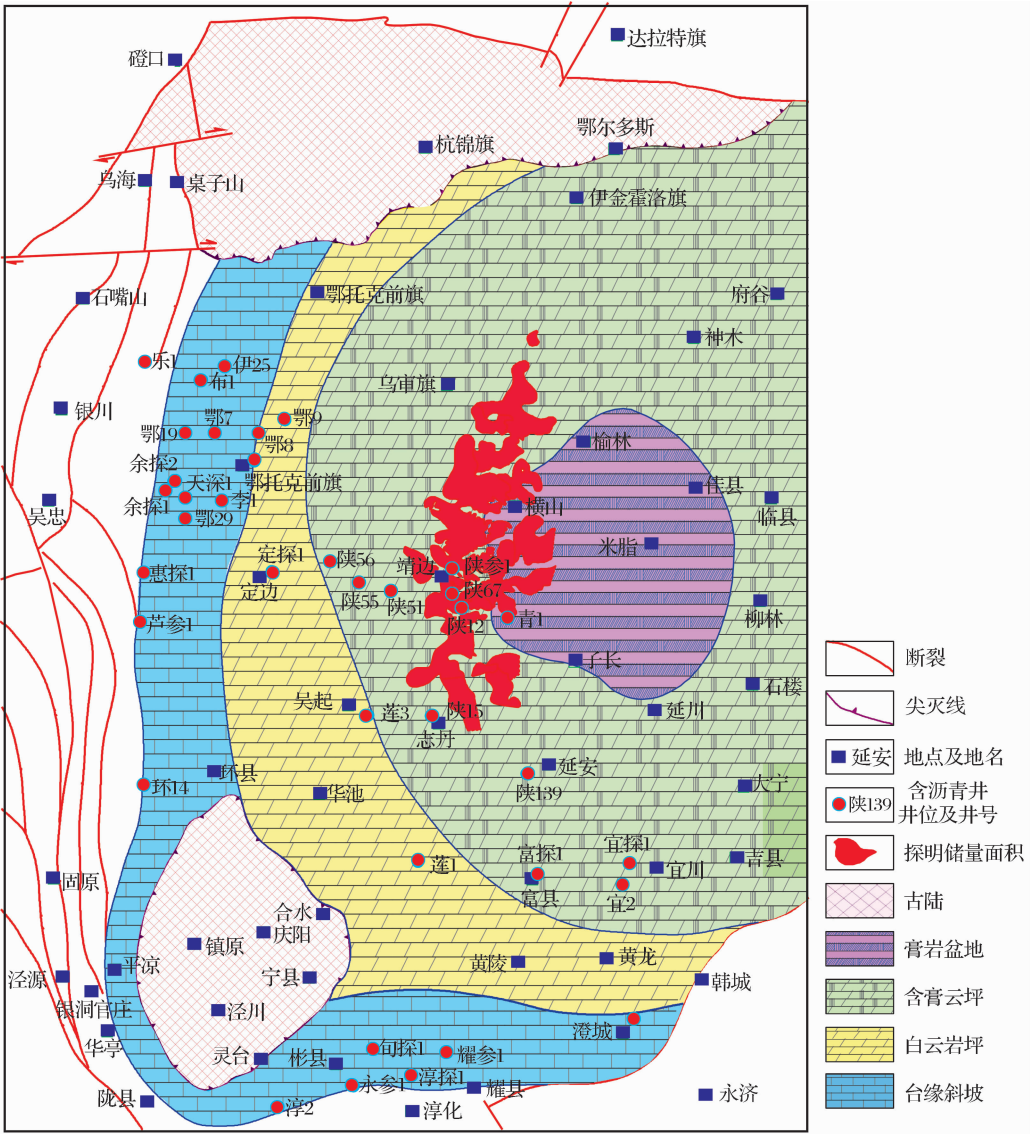


图 2 鄂尔多斯盆地奥陶系含沥青井分布特征

Fig. 2 Distribution map of bitumen-bearing in Ordovician,Ordos Basin



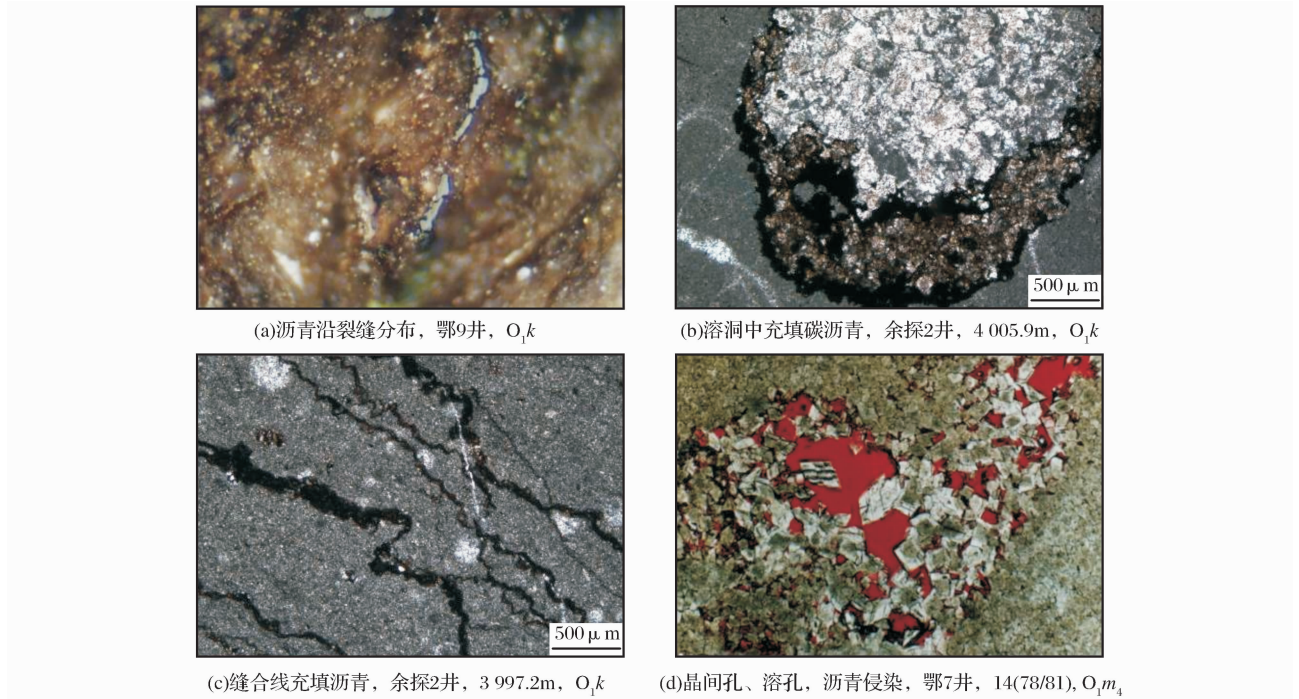


图3 研究区奥陶系沥青赋存形式

Fig. 3 Occurrences of bitumen in the Ordovician system of study area

表2 研究区奥陶系储层不同光性结构沥青反射率

Table 2 Bitumen reflectance of different light structure in the Ordovician reservoir of study area

井名	取样位置/m	光学结构类型	$R_{b,max}/\%$	$\Delta R_b/\%$
天 2	6(40/44)	各向异性,消光	1.96	0.35
陕 37	3 500	镶嵌结构	2.82	1.23
陕 101	3 778.7	镶嵌结构	2.97	1.41
陕参 1	3 665.7	粒状镶嵌结构	3.74	2.12
鄂 7	4 128.7	粒状镶嵌结构	4.57	3.62

纵向上相互叠置、多数横向上可连接成片、厚度较大和规模大的特征,可称为古油藏。

2.4 古油藏的分类

地质历史时期的古油藏分布通常受油气运移通道和储集空间性质控制。由图 5 可看出,按层位和储集性质将研究区的古油藏分为 3 类:①克里摩里组顶部孔隙型古油藏,固体沥青的赋存形式比较复杂,以晶间孔、粒间孔充填为主,也见呈粒状充填于溶孔中,或呈短脉状充填于微裂隙及缝合线中,后者往往反射率较低,形成时间较晚,其多位于克里摩里组顶部或上部,以余探 2 井最为发育,厚度为 2~15m,单样固体沥青含量为 0.22%~0.31%,其他钻井一般仅厚为 1~3m,单样固体沥青含量为 0.20%~0.37%;鄂 7 井比较特别,单层厚度小,不足 1m,而固体沥青含量相对较高,达到 0.48%;②桌子山

组顶部孔隙型古油藏,固体沥青主要充填于白云岩晶间孔中,粒度细小、形态不规则,岩性多为白云岩或白云质灰岩,主要分布于研究区内的布 1、任 3 和李 1 等钻井中,规模比克里摩里组古油藏明显较小,单层厚度通常为 1~3m,单样固体沥青含量为 0.20%~0.35%,由于控制样品较少,多数钻井中的情况还未完全掌握;③乌拉力克组裂隙型古油藏:仅见于鄂 19 井乌拉力克组底部灰黑色泥岩中,厚度约 2m,固体沥青呈粗脉状充填于裂缝中,与周围岩石界线清晰,尽管厚度不大,但其样品固体沥青含量高达 3.26%和 5.37%,这样的丰度在全盆地是罕见的,泥岩一般不被列为储集层,但后生阶段构造裂隙发育具有较大储集空间时,也不排除形成小规模古油藏的可能性。

3 古油藏的油源对比

由于生物标志化合物结构的特征性及相对稳定性,其作为一种复杂的有机化合物普遍存在于沉积有机质、原油、油页岩和煤中。近年来,国内外的实验和研究表明,其是进行油源对比研究的有效指标<sup>[7-10]</sup>。本文采用饱和烃色谱和芳烃色谱—质谱实验数据对古油藏的油源进行了分析探讨。

通过对钻井岩心的残留沥青和野外烃源岩样品(有机质类型为 I 型,TOC 值为 0.82%, $R_o$  值为



0.52%)<sup>[11]</sup>进行抽提,发现抽提物中都含有三环萜烷和五环三萜烷。其中,三环萜烷化合物碳数主要分布在 C<sub>19</sub>—C<sub>26</sub>之间,含量较高;五环三萜含量相对

三环萜烷较低,最高峰为 C<sub>30</sub> 藿烷,其次是 C<sub>29</sub> 降藿烷,莫烷和  $\gamma$ -蜡烷丰度较高,T<sub>m</sub> 值大于 T<sub>s</sub> 值,C<sub>31</sub>—C<sub>34</sub> 升藿烷系列呈阶梯状递减(图 6)。

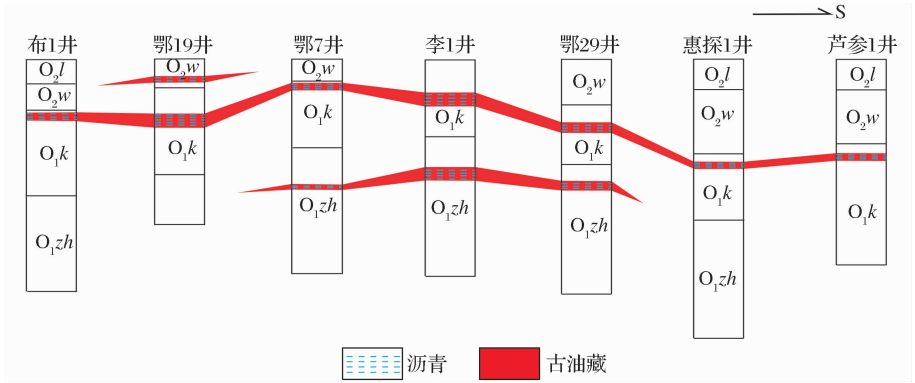


图 4 研究区固体沥青成层富集分布示意

Fig. 4 Distribution of layer-enrichment solid bitumen in the study area

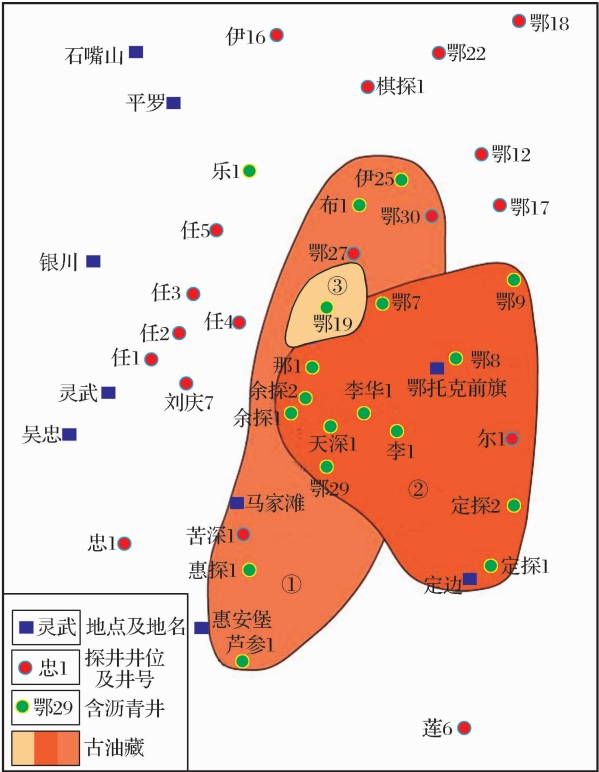


图 5 鄂尔多斯盆地西部地区古油藏分布

Fig. 5 Distribution of paleo-reservoir in west Ordos Basin

① 克里摩里组顶部孔隙型古油藏;② 桌子山组顶部孔隙型古油藏;③ 乌拉克组裂隙型古油藏

据 Aquino Neto<sup>[12]</sup> 研究结果,三环萜烷主要由微生物细胞膜中三环类异戊二烯醇形成,可能与某些菌藻类具有一定的成因联系<sup>[13]</sup>。由图 6 可知,储层沥青和烃源岩样品的三环萜烷与五环萜烷图谱特征非常相似,表明古油藏与平凉组泥页岩之间存在

亲源关系。

在沉积岩成岩过程中,生物体内的甾醇形成碳数相同的甾烷,所以通过甾烷分布可以恢复古环境和推断游离烃的生物来源<sup>[14]</sup>。在石油有机地球化学中,C<sub>29</sub> 甾烷优势被认为是陆相有机质输入的标志,而 C<sub>27</sub> 甾烷优势被认为是海相有机质输入的标志,C<sub>27</sub> 甾烷与 C<sub>29</sub> 甾烷的双峰分布被认为是海陆相源岩的双重贡献,因此常用 C<sub>27</sub>/C<sub>29</sub> 值来反映有机质来源。

由表 3 可知,研究样品中 C<sub>27</sub>/C<sub>29</sub> 值大于 1,明显以 C<sub>27</sub> 甾烷占优势,表明盆地奥陶系储层中沥青的油源主要为海相烃源岩。同时,应用甾烷图谱特征进行对比研究(图 7),发现储层中沥青的甾烷图谱特征与盆地西缘平凉组的泥页岩非常相似,甾烷 C<sub>27</sub>>C<sub>28</sub><C<sub>29</sub> 均呈似“L”字形,因此,可进一步确认储层中沥青的油源应为平凉组的泥页岩。

#### 4 靖边风化壳气田气源

很多研究学者针对靖边风化壳气田的气源做了大量的研究,但观点尚未统一。到目前为止,主要有 3 种认识:第一种认为上古煤系地层产生的天然气通过奥陶系顶部的沟槽下灌进入风化壳储层中进而成藏<sup>[15-16]</sup>;第二种认为靖边气田的天然气主要来自于奥陶系海相碳酸盐岩的供给<sup>[17]</sup>;第三种认为靖边气田的天然气为上古煤型气和下古油型气的混源气,并且在不同区块,其混源的比例不同,尤其是在靖边气田主体及其西部、南部地区以油型气为主<sup>[18]</sup>。近年来,笔者通过对盆地中西部新钻井的天

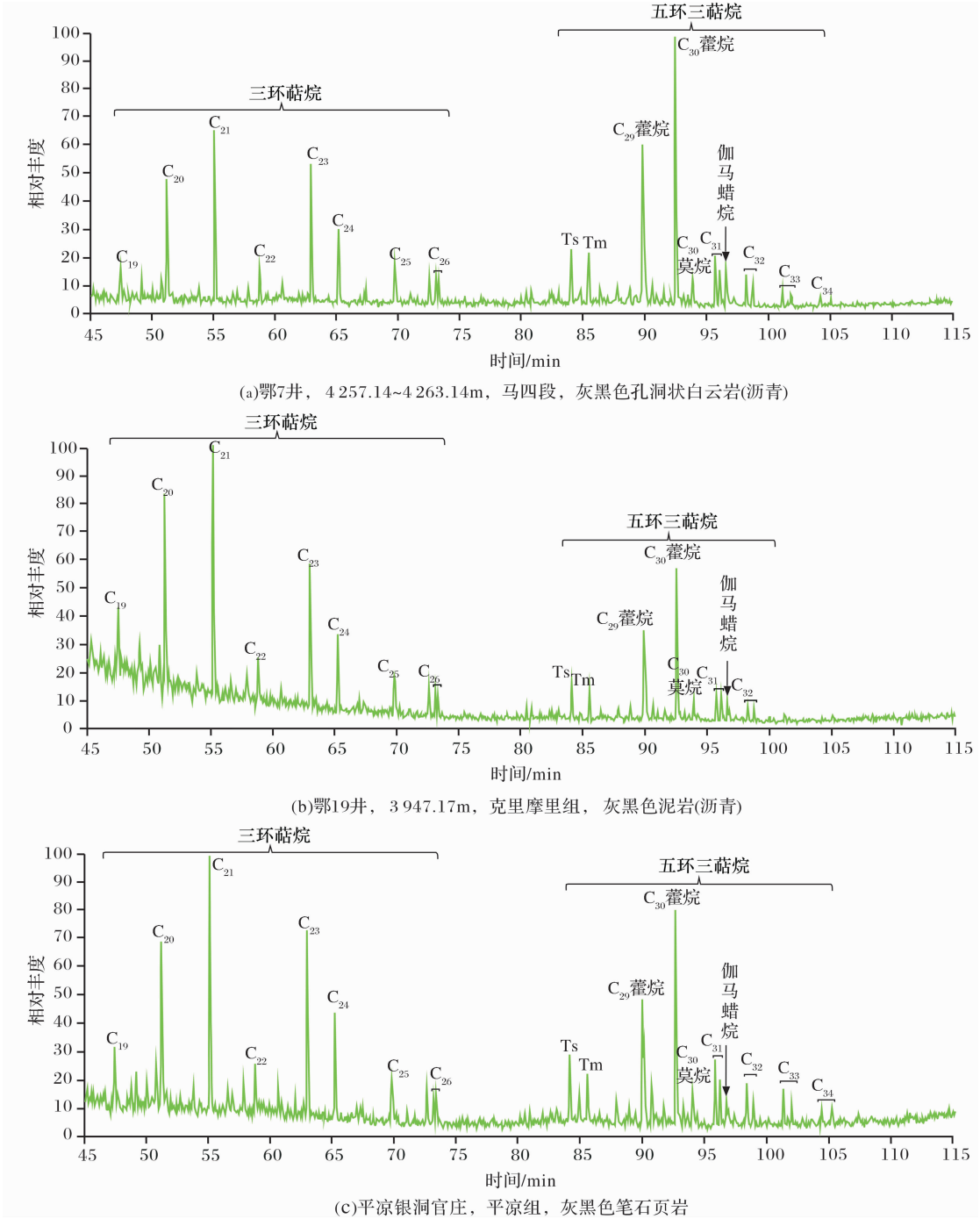


图 6 储层沥青与平凉组页岩萜烷质量色谱

Fig. 6 Terpane chromatogram of reservoir bitumen and Pingliang Formation shale

表 3 奥陶系储层沥青中饱和烃甾烷参数

Table 3 Sterane parameters of saturated hydrocarbon in bitumen of Ordovician reservoir

井号	岩性	层位	ααα 甾烷/%			C <sub>27</sub> /C <sub>29</sub> 甾烷
			C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>	
鄂 7	孔洞白云岩	马四段	42.75	27.12	30.13	1.42
鄂 9	孔洞白云岩	马五段	38.17	28.83	33	1.16
淳 2	灰岩	平凉组	6.18	4.6	3.76	1.64
惠探 1	灰岩	马五段	3.5	2.45	1.85	1.89

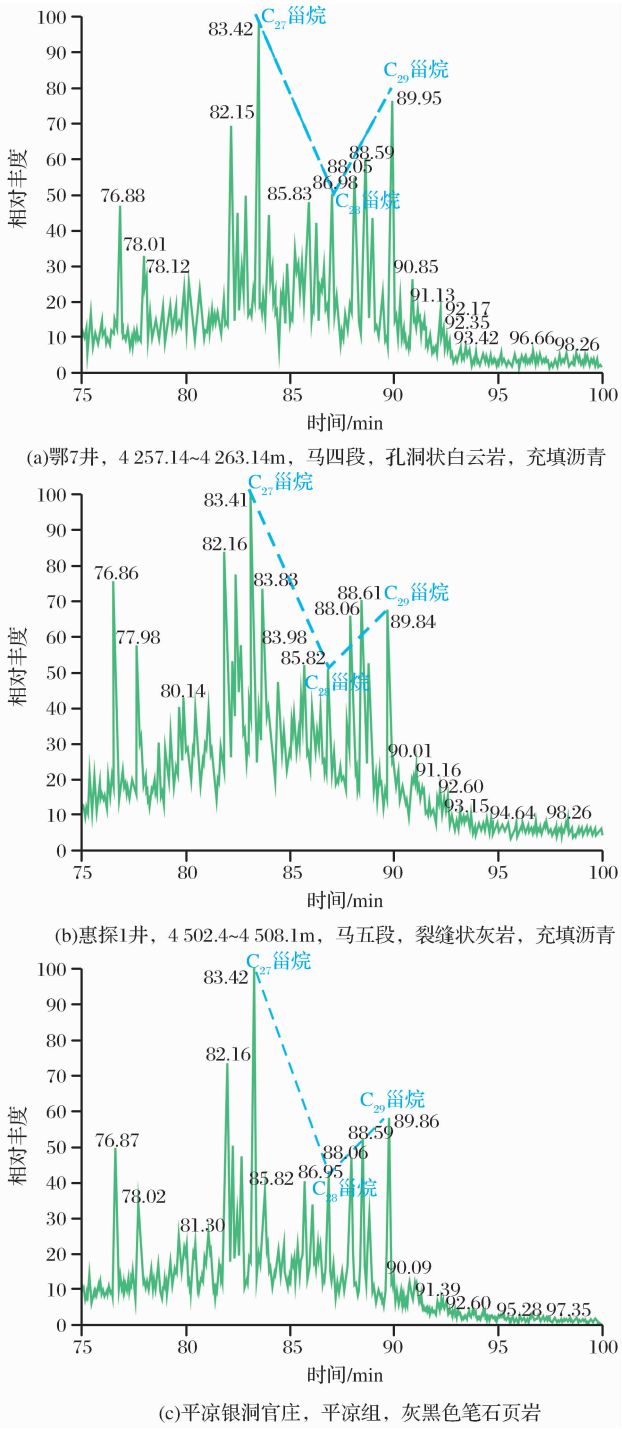


图 7 储层沥青与平凉组页岩甾烷质量色谱

Fig. 7 Steranes mass chromatogram of reservoir bitumen and Pingliang Formation shale

然气同位素进行分析,进而研究奥陶系储层的气源,得出的结论与第 3 种观点基本一致。但前人对靖边气田气源的研究仅仅局限于地球化学指标的对比,并没有从整个盆地角度探讨奥陶系烃源岩、盆地构造运动对下古地层生成的天然气运聚成藏的影响。笔者应用近年来盆地中西部地区的气探井资料,结

合热模拟实验和盆地构造演化史,对靖边风化壳气田的气源进行深入的探讨。

4.1 中央古隆起东西两侧气源对比特征

通过对中央古隆起西侧灰岩岩溶缝洞体和古隆起东侧白云岩储层气体的同位素进行对比(表 4),发现古隆起西侧位于平凉组之下的岩溶缝洞体产气层(克里摩里组)的乙烷、丙烷同位素组成明显比古隆起东侧的白云岩储层的偏重,而奥陶系的主要烃源岩为平凉组泥灰岩、泥页岩,其生成的油型气从地质角度来分析应优先充注于离其较近的岩溶缝洞体储层,使其乙烷同位素组成应偏轻,但结果却相反。

表 4 盆地西部地区部分探井天然气碳同位素数据

Table 4 Carbon isotope of nature gas in partial wells of west Ordos Basin

井号	层位	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$			备注
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	
天 1	克里摩里组	-34.26	-25.71	-20.45	
余探 1	克里摩里组	-38.2	-28.3	-24.7	古隆起西
余探 2	克里摩里组	-35.4	-25.8	-21.9	侧岩溶缝
鄂 19	克里摩里组	-34.64	-27.28	-25.85	洞体储层
	平均值	-34.85	-25.51	-23.39	
苏 222	马五 5	-32.68	-34.21	-30	
陕 373	马五 5	-34.35	-33.65	-26.84	
陕 430	马五 5	-32.16	-33.84	-27.41	古隆起东
莲 19	马五 5	-33.85	-31.18	-29.99	侧白云
桃 15	马五 5	-35.68	-30.45	-26.81	岩储层
紫探 1	马五 5-10	-33.2	-33.9	-30.4	
	平均值	-34.12	-33.58	-29.02	

同时,如果仅依据天然气碳同位素来分析,中央隆起西侧岩溶缝洞体中的天然气应判别为以煤层气为主的混源气。但通过对这些探井的产层位置分析,发现岩溶缝洞体产气层距奥陶系顶部达 40~225m,距平凉组尖灭线达 16~24km(表 5),并且碳酸盐岩储层非均质性较强,储层在横向上的连通能力较差,产气层与上古煤系地层之间夹有以灰岩、泥灰岩和泥页岩等致密岩性为主的平凉组,其可以作为较好的盖层。因此,上古煤系地层所产出的煤型气从地质背景上来看,很难从垂向和侧向上进行长距离的倒灌运移进入其储层中。因此,需要对天然气的生过程做进一步分析。

中国科学院广州地球化学研究所于 2005 年所做的平凉组泥灰岩黄金管热模拟实验碳同位素组成(图 8)显示,随着热解温度的增高,烷烃同位素值逐渐增加<sup>[19]</sup>。同时,结合盆地的埋藏史和热演化史分



析,认为研究区侏罗纪—早白垩世时期大量生成的油型气受古地形的控制,向盆地中东部运移和聚集;燕山晚期—喜马拉雅期,研究区整体构造定型,晚期生成的碳同位素组成偏重的天然气就近聚集成藏。最后,造成了岩溶缝洞体储层中的气体碳同位素组成偏重,而位于古隆起东侧的白云岩储层中的气体碳同位素组成偏轻。

表 5 天然气碳同位素与产层位置对比

Table 5 Carbon isotope of nature gas and production layer

井号	层位	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$			距奥陶系 顶深度/m	距平凉组尖 灭线距离/km
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>		
余探 1	O <sub>1</sub> k	-38.2	-28.3	-24.7	224.2	23.5
余探 2	O <sub>1</sub> k	-35.4	-25.8	-21.9	119.6	18.7
天 1	O <sub>1</sub> k	-34.26	-25.71	-20.45	83	16.2
鄂 19	O <sub>1</sub> k	-34.64	-27.28	-25.85	40.4	16.4

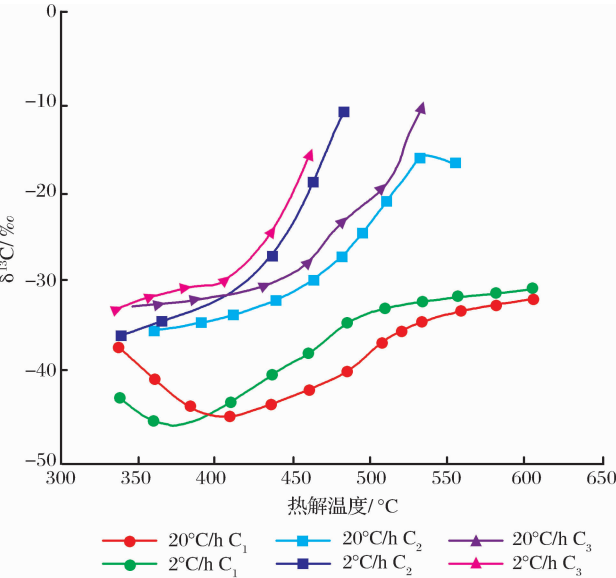


图 8 平凉组泥灰岩黄金管热模拟实验碳同位素组成<sup>[19]</sup>

Fig. 8 Carbon isotope composition of Pingliang Formation marlite according to gold-tube thermal simulation<sup>[19]</sup>

4.2 靖边风化壳气田成藏过程

鄂尔多斯盆地中—晚奥陶世地层主要分布在现今盆地的西南缘,中央古隆起及其以东的广大地区缺失中奥陶统一泥盆系。奥陶纪末,加里东运动使全盆地抬升,沉积间断 10Ma 以上,致使下奥陶统马家沟组碳酸盐岩经历了长时间的风化剥蚀和改造,形成了奥陶系顶部的优质风化壳。自中石炭世末期开始,中央古隆起区带隐伏地下,成为平凉组泥页岩生成油气的运聚中心,从而在此位置形成古油藏。侏罗纪—早白垩世,随着古油藏埋深继续增加,且盆

地主体进入高温演化阶段,古地温梯度高达 4.0~4.4℃,中央古隆起带奥陶系风化壳的地温由 90℃(T<sub>2</sub>)缓慢上升至 180℃以上(K<sub>1</sub>),有机质成熟度 R<sub>o</sub> 值由低于 1.0% 上升至 2.5%~4.0%,古油藏内的石油逐渐完成了向天然气的转化(图 9)。

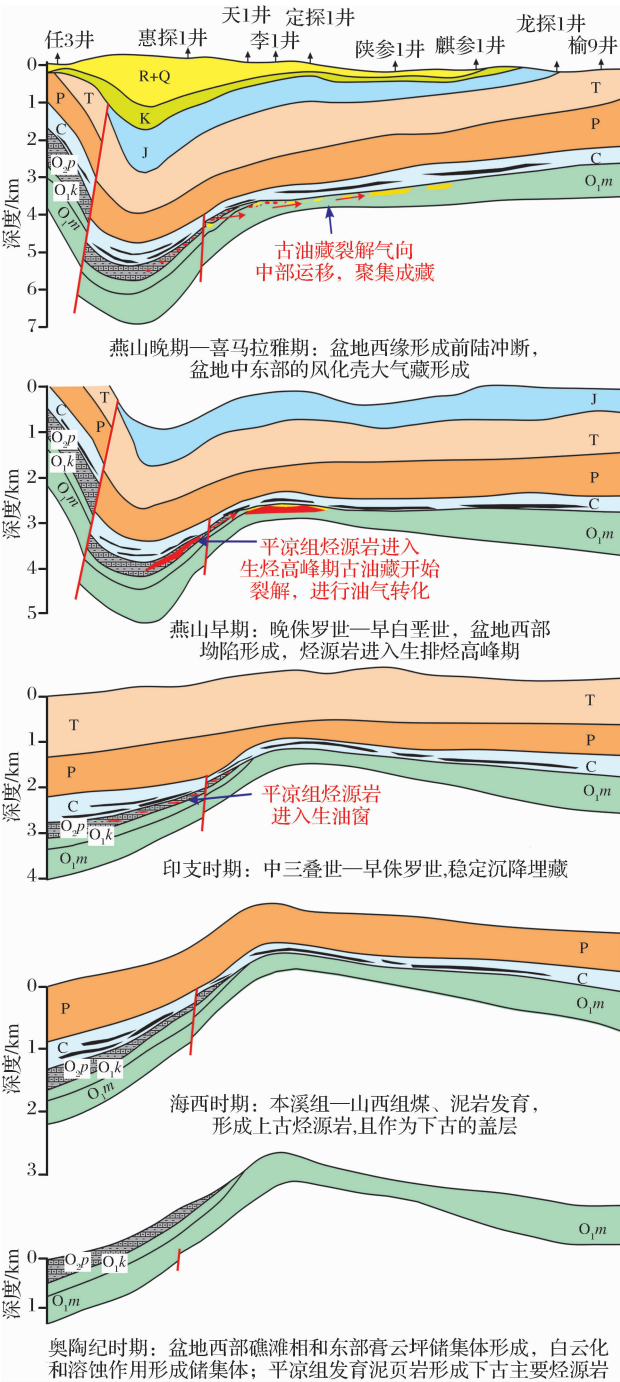


图 9 鄂尔多斯盆地东西向剖面构造沉积演化及靖边风化壳气田成藏过程

Fig. 9 Tectonic-sedimentary evolution of east-west section and accumulation process of Jingbian Gasfield in Ordos Basin

同时,晚侏罗世—古近纪,鄂尔多斯盆地主体形

成西倾的伊陕斜坡,中央古隆起带成为大型斜坡的一部分并位于斜坡低位处。自此,中央古隆起带汇聚油气的优势被改造,油气继续向盆地北东方向的构造高部位(即靖边气田)进行区域性运移,而盆地中部的下奥陶统马家沟组岩溶古地貌储层为天然气聚集成藏提供了良好空间,天然气运移过程中受到铝土岩、泥岩、泥灰岩及膏盐岩等致密岩性的封堵,致使天然气在此聚集成藏。后期,新近纪的构造反转时间短、规模小,并未改变盆地西倾单斜的整体构造格局,最终形成甲烷含量高于95%的群体性潜山风化壳大气田——靖边气田(图9)。

## 5 结论

鄂尔多斯盆地奥陶系孔洞缝中普遍存在沥青,平面上主要分布在盆地中西部地区,剖面上主要集中在桌子山组顶—克里摩里组和乌拉力克组;沥青主要赋存于裂缝、晶间孔、溶蚀孔隙和缝合线中;成层富集的固体沥青揭示出盆地中西部地区发育3类古油藏:克里摩里组顶部孔洞型古油藏、桌子山组顶部孔隙型古油藏和乌拉力克组裂隙型古油藏。

古油藏残留沥青的生物标志化合物具有低等藻类生源的特征,油源对比结果确认其油源为位于盆地西南缘的平凉组海相泥页岩;气源对比结果表明中央古隆起东西两侧的奥陶系储层中天然气的气源岩为平凉组泥页岩,碳同位素组成特征表现为中央古隆起东侧白云岩储层气体的偏轻,中央古隆起西侧的岩溶缝洞体中气体的偏重。

构造沉积演化与成藏史研究表明,侏罗纪—早白垩世,平凉组泥页岩生成的油气向中央古隆起区带运聚形成古油藏;晚侏罗世—古近纪,古油藏裂解生成的天然气向盆地北东方向的构造高部位进行区域性运移,形成群体性潜山风化壳大气田——靖边气田。

## 参考文献(References):

- [1] Zhang Chunlin, Sun Fenjin, Liu Ruie, *et al.* Bitumen and hydrocarbon generation potential of paleo-reservoirs in the Ordovician, south Ordos Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(6): 668-673. [张春林, 孙粉锦, 刘锐娥, 等. 鄂尔多斯盆地南部奥陶系沥青及古油藏生气潜力[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(6): 668-673.]
- [2] Ning Ning, Chen Mengjin, Sun Fenjin, *et al.* Determination and its significance of ancient oil pools in Ordovician weathering crust, Ordos Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(2): 280-286. [宁宁, 陈孟晋, 孙粉锦, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳古油藏的确定及其意义[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(2): 280-286.]
- [3] Xie Zengye, Hu Guoyi, Li Jian, *et al.* A study on validity identification of source rock by new experimental techniques for Ordovician in Ordos Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(2): 29-32. [谢增业, 胡国艺, 李剑, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系烃源岩有效性判识[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(2): 29-32.]
- [4] Yang Hua, Fu Jinhua, Wei Xinshan, *et al.* Natural gas exploration domains in Ordovician marine carbonates, Ordos Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(5): 733-740. [杨华, 付金华, 魏新善, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系海相碳酸盐岩天然气勘探领域[J]. *石油学报*, 2011, 32(5): 733-740.]
- [5] Li Wenhui, Chen Qiang, Li Zhichao, *et al.* Lithofacies palaeogeography of the Early Paleozoic in Ordos area[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2012, 14(1): 85-100. [李文厚, 陈强, 李智超, 等. 鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[J]. *古地理学报*, 2012, 14(1): 85-100.]
- [6] Xie Zengye, Li Jian, Wu Damao, *et al.* The features and significance on organic maceral of Ordovician source rock in Ordos Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2003, (supplement 1): 35-39. [谢增业, 李剑, 伍大茂, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系烃源岩有机显微组分特征及意义[J]. *海相油气地质*, 2003, (增刊 1): 35-39.]
- [7] Li M W, Fowler M G, Obermajer M, *et al.* Geochemical characterization of Middle Devonian oils in NW Alberta, Canada: Possible source and maturity effect on pyrrolic nitrogen compounds[J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30: 1039-1057.
- [8] Li M, Larter S R, Stoddart D, *et al.* Practical liquid chromatographic heterocycle fractions from crude oils suitable for rapid characterisation of geochemical sample[J]. *Analytical Chemistry*, 1992, 64: 1337-1344.
- [9] Li M W, Yao H X, Stasiuk L D, *et al.* Effect of maturity and petroleum expulsion on pyrrolic nitrogen compound yields and distribution in Duvernay Formation petroleum source rocks in Central Alberta, Canada[J]. *Organic Geochemistry*, 1997, 26: 731-744.
- [10] Duan Yi, Zhang Hui, Wu Baoxiang, *et al.* Distribution of nitrogen compounds and migration of the oils in the Xifeng Oil-field, Ordos Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(5): 17-20. [段毅, 张辉, 吴保祥, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田原油含氮化合物分布特征与油气运移[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(5): 17-20.]
- [11] Wang Chuangang, Wang Yi, Xu Huazheng, *et al.* Discussion on evolution of source rocks in Lower Paleozoic of Ordos Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(1): 38-45. [王传刚, 王毅, 许化政, 等. 论鄂尔多斯盆地地下古生界烃源岩的成藏演化特征[J]. *石油学报*, 2009, 30(1): 38-45.]
- [12] Aquino Neto F R, Trendel J M, Restle A, *et al.* Occurrence and Formation of Tricyclic and Tetracyclic Terpanes in Sediments and Petroleum[M]. New York: In *Advances in Organic Geochemistry*, 1983: 659-676.
- [13] Liu Dameng, Ai Tianjie, Tang Dazhen. Optical alteration of

- zooclast and its study significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 291-296. [刘大锰, 艾天杰, 汤达祯. 动物碎屑的光性变化及其研究意义[J]. *地学前缘*, 2000, 7(3): 291-296.]
- [14] Peters K E, Moldowan J M. A Manual of Novel Biomarker: The Interpretation of Ancient Deposits and Molecular Fossil From Oil[M]. by Jiang Naihuang, *et al.* Translated. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. [Peters K E, Moldowan J M. 生物标记化合物指南——古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1995.]
- [15] Dai Jinxing, Li Jian, Luo Xia, *et al.* Alkane carbon isotopic composition and gas source in giant Gasfields of Ordos Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(1): 18-26. [戴金星, 李剑, 罗霞, 等. 鄂尔多斯盆地大气田的烷烃气碳同位素组成特征及其气源对比[J]. *石油学报*, 2005, 26(1): 18-26.]
- [16] Yang Hua, Zhang Wenzheng, Zan Chuanli, *et al.* Geochemical characteristics of Ordovician subsalt gas reservoir and their significance for reunderstanding the gas source of Jingbian Gasfield, east Ordos Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(1): 8-20. [杨华, 张文正, 管川莉, 等. 鄂尔多斯盆地东部奥陶系盐下天然气地球化学特征及其对靖边气田气源再认识[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(1): 8-20.]
- [17] Jiang Zhusheng, Hu Guoyi, Li Zhisheng, *et al.* The novel approach of the correlation between Paleozoic natural gas and source rock in Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(supplement): 820-824. [蒋助生, 胡国艺, 李志生, 等. 鄂尔多斯盆地古生界气源对比新探索[J]. *沉积学报*, 1999, 17(增刊): 820-824.]
- [18] Li Xianqing, Hu Guoyi, Zhang Aiyun, *et al.* The sources of Lower Paleozoic natural gases in central gas field in Erdos [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2002, 16(2): 191-198. [李贤庆, 胡国艺, 张爱云, 等. 鄂尔多斯中部气田下古生界天然气的气源研究[J]. *天然气地球科学*, 2002, 16(2): 191-198.]
- [19] Zhang Haizu. Kinetic Simulation of Thermogenic Natural Gas Generation and its Geological Applications[D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2005. [张海祖. 热成因天然气生成动力学模拟及其地质应用[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2005.]

## Oil-Source Correlation of Paleo-reservoir in Ordovician and the Gas Source of Jingbian Gasfield, West Ordos Basin

ZHANG Chun-lin<sup>1,2</sup>, PANG Xiong-qi<sup>1</sup>, TIAN Shi-cheng<sup>3</sup>, ZHANG Fu-dong<sup>2</sup>, LIU Rui-e<sup>2</sup>

(1. College of Geoscience, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;

2. Langfang Branch of PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Langfang 065007, China;

3. School of Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Core observation and slice analysis indicate that bitumen is generally distributed in the porous-cave-fractured reservoir of Ordovician and distributed planely in the middle-west of Ordos Basin and concentrated on Zhuozishan top-Kelimoli and Wulalike on the section. In the study area, the layered enrichment of bitumen shows that it has three types of paleo-reservoirs, such as Kelimoli formation pore, Zhuozishan pore and Wulalike fracture (?). It is confirmed that the marine mud shale of Pingliang Formation is oil sources of paleo-reservoir by the oil-source correlation of biomarker. Based on the natural gas carbon isotopic analysis, gold-tube pyrolysis, tectono-depositional history, hydrocarbon accumulation history and geological background, the marine mud shale of Pingliang Formation is the source rocks of natural gas in the reservoir of Ordovician, both sides of central paleouplift. The hydrocarbon generated by the mud shale of Pingliang Formation migrated and accumulated in the central paleouplift in the period of Jurassic-Early Cretaceous. The paleo-reservoir was formed. The oil-cracking gas of paleo-reservoir territorially migrated to the higher portions of structure in north-east direction of Ordos Basin in the period of Late Jurassic-Paleogene. Jingbian Gasfield was finally formed in the buried hill weathering crust.

**Key words:** Ordos Basin; Ordovician; Paleo-reservoir; Oil-source correlation; Jingbian Gasfield; Gas source