

文章编号:1001-6112(2012)02-0173-05

# 鄂尔多斯盆地南部 中生界烃源岩特征及油源对比

张云霞, 陈纯芳, 宋艳波, 陶冶, 李松

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:**通过碳同位素分析以及生物标志化合物对比,确定鄂尔多斯盆地南部中生界只存在一套有效烃源岩,即延长组长4+5—长8厚度较大的深灰色、灰黑色湖泊相泥页岩,其主体分布在庆阳、正宁、直罗、吴旗、盐池及环县地区的范围内,又以长7沉积期沉积的暗色泥岩为研究区最有利的烃源岩,提供了包括自身储集层以及侏罗系富县组、延安组、直罗组储集层的油气。鄂尔多斯盆地南部中生界地层平缓,陕北斜坡倾角一般小于 $1^\circ$ ,储层低孔低渗、非均质性比较严重,砂体连通性差,缺乏裂缝系统作为垂向运移通道,其油气运移的距离较短,油气主要聚集在湖相生油坳陷或邻区。因此,勘探重点应放在距离延长组烃源岩较近的岩性圈闭等。

**关键词:**碳同位素;生物标志化合物;油气运移;岩性圈闭;烃源岩;储集层;中生界;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.1<sup>+</sup>14

文献标识码:A

## Features of Mesozoic source rocks and oil-source correlation in southern Ordos Basin

Zhang Yunxia, Chen Chunfang, Song Yanbo, Tao Ye, Li Song

(SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the studies of carbon isotopes and biomarkers, only one set of effective source rock was identified in Mesozoic in the southern Ordos Basin, that is, dark shale with big thickness deposited in lacustrine environment in the Upper Triassic Yanchang Formation. The source rocks mainly distributed in Qingyang, Zhengning, Zhiluo, Wuqi, Yanchi and Huanxian County. The dark shale in the seventh member of Yanchang Formation was the most favorable source rock in the study area, providing oil and gas for not only itself but also the Fuxian, Yan'an and Zhiluo Formations of Jurassic. With weak structural fluctuation and gentle stratigraphic dip angle (usually below  $1^\circ$ ), hydrocarbon had migrated for short distance before accumulating in low-porosity and low-permeability reservoirs. Sand bodies were poorly connected and few fractures worked as vertical migration pathways. Hydrocarbon mainly accumulated in lacustrine depressions or neighboring areas. The results showed that the favorable places for prospecting in the southern Ordos Basin should be the lithologic traps close to the source rocks in Yanchang Formation.

**Key words:** carbon isotopes; biomarker; hydrocarbon migration; lithologic trap; source rock; reservoir; Mesozoic; Ordos Basin

### 1 区域地质特征

鄂尔多斯盆地为一大型克拉通叠合盆地,现今构造特征比较单一,周缘断裂发育,内部平缓稳定,整体东高西低。盆地经历了早古生代克拉通边缘拗陷、晚古生代—中三叠世边缘碰撞的克拉通拗陷、中生代大型内陆拗陷、新生代周缘断陷4个时期<sup>[1-2]</sup>,北跨乌兰格尔凸起与河套盆地为邻,南越渭北挠褶带与渭河盆地相望,东接晋西挠褶带与吕梁隆起呼

应,西经冲断构造带与六盘山、银川盆地对峙,盆地整体轮廓大致呈矩形。东翼构成盆地的主体,为一个西倾的大单斜,倾角不足 $1^\circ$ <sup>[3]</sup>,称为伊陕斜坡。鄂尔多斯盆地南部指北纬 $38^\circ$ 以南,跨越伊陕斜坡、渭北隆起、天环拗陷及西缘冲断构造带(图1),中生界地层蕴藏着丰富的石油资源<sup>[3-4]</sup>。研究区中生界油藏根据烃源岩成油时间、储层特征、油气运移通道和过程、成藏主要控制因素<sup>[5-8]</sup>等,可以划分为下层三叠系原生油藏、上层侏罗系次生油藏等<sup>[9-10]</sup>。

收稿日期:2011-07-19;修订日期:2012-01-29。

作者简介:张云霞(1970—),女,工程师,从事石油地质研究。E-mail: zyx.syky@sinopec.com。

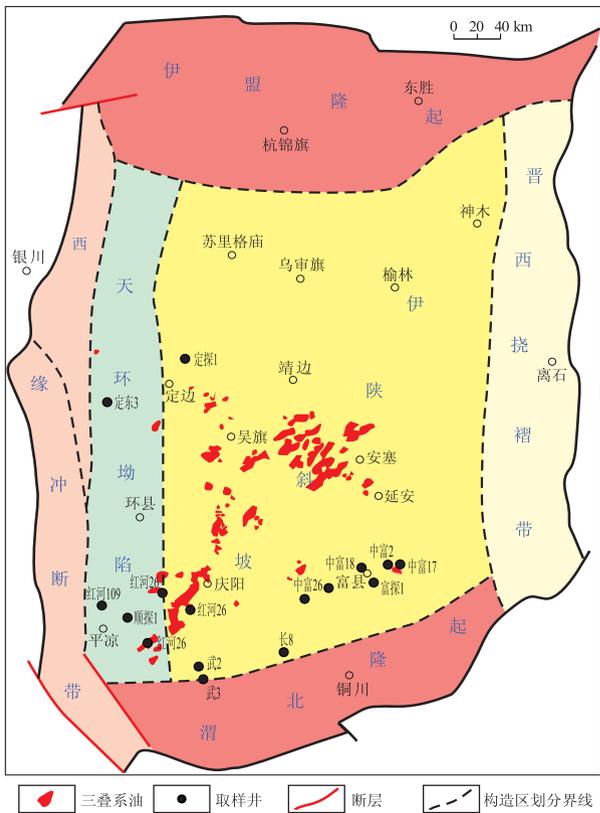


图1 鄂尔多斯盆地构造区划

Fig. 1 Structural division of Ordos Basin

## 2 中生界烃源岩沉积特征

研究表明,鄂尔多斯盆地南部中生界的主力烃源岩是上三叠统延长组(长4+5—长8),沉积环境为湖泊。从长10—长1沉积期均有湖泊发育,只是各油层组沉积时湖盆的范围及湖水的深浅有所不同,其中长7期沉积的暗色泥岩是研究区最有利的烃源岩。

长7沉积期湖盆急剧下沉,为延长组最大湖进

期,湖盆范围较长8期明显扩大,水体变深。该时期湖盆形态不对称,西陡东缓。在湖水覆盖区,长7下部沉积了巨厚的深灰—灰黑色的油页岩、碳质泥岩、黑色泥岩等,泥岩中动物化石丰富;黑色泥岩厚80~120 m,泥岩百分比为60%~90%,区域上称之为“张家滩页岩”,为湖泊沉积的典型代表;具自然电位曲线低平、高电阻、高伽马、高声波时差的特征(图2)。

## 3 烃源岩有机地球化学特征

### 3.1 有机质丰度

鄂尔多斯盆地中生界生油岩有机质丰度受控于沉积环境,还原—弱还原环境中湖相暗色泥页岩发育的层段和地区,有机质丰度都较高。长7有机质丰度最高,有机碳含量平均值大于2%,氯仿沥青“A”平均值大于0.3%,个别达1.0178%,烃含量平均值一般大于 $1\ 500 \times 10^{-6}$ ,为本区最优质生油岩;长8和长6其次,为好—较好生油岩;长1—长4+5、长9—长10为差生油岩。

三叠纪末印支运动使盆地全面抬升,沉积间断,延长组广遭剥蚀。至延安组沉积中期在盆地东部(吴旗、太白之东至延安一带)又形成了新的湖盆中心,湖水较浅,其外围则为大片沼泽,普遍含煤线及薄煤层,不利于烃源岩的发育。

### 3.2 有机质类型

按照三类五型分类法划分,长7有机质类型最好,富县地区以I型为主,部分为II<sub>1</sub>型;镇原—泾川地区以及西峰油田为II<sub>1</sub>—II<sub>2</sub>型。长6和长8有机质类型较好,为II<sub>1</sub>—III型;长1—长4+5、长9—长10主要为III型,少量为II<sub>1</sub>—II<sub>2</sub>型;延安组主要为III型(表1,图3)。

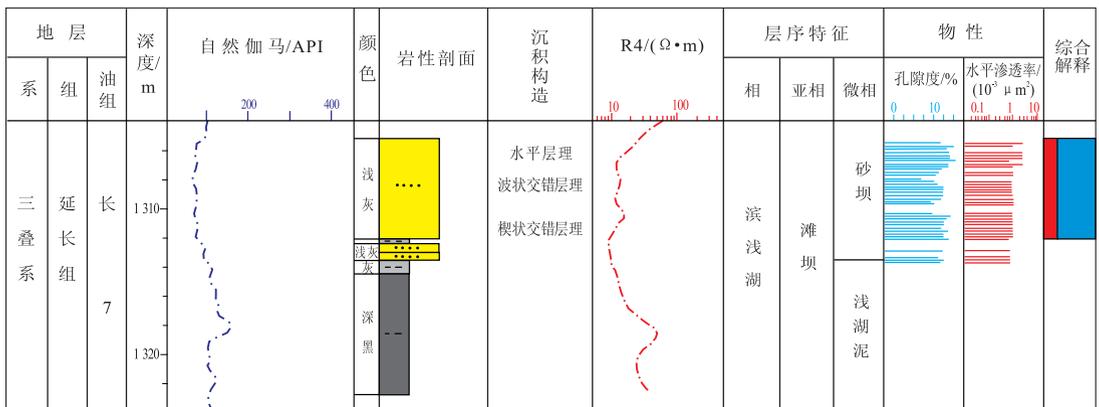


图2 鄂尔多斯盆地南部武2井长7油层组湖相烃源岩岩电特征

Fig. 2 Lithologic and logging curves of lacustrine source rocks in 7th member of Yanchang Formation in well Wu2, southern Ordos Basin

表1 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组暗色泥岩干酪根显微组分统计

Table 1 Macerals of kerogen in dark mudstones from Upper Triassic Yanchang Formation, southern Ordos Basin %

地层	腐泥组	壳质组	镜质组	惰质组	类型	资料来源
长3	0.8	6.6	74.8	1.2	Ⅲ	张文正,1996
长6	56	29.33	9.33	5.33	Ⅱ <sub>1</sub>	中富2井
	11~29(18.3)	3~39(20.7)	34~72(58.4)	0~23(3.7)	Ⅱ <sub>2</sub> -Ⅲ	安塞油田
长7	36~52(45.6)	0~1(0.11)	45~60(51.0)	2~6(3.3)	Ⅱ <sub>1</sub> -Ⅱ <sub>2</sub>	西峰油田
	28.2~72.1 (47.83)	4.26~44.39(18.94)	3.85~50.84(27.44)	0.19~18.09 (6.77)	Ⅱ <sub>1</sub> -Ⅱ <sub>2</sub>	镇原—泾川
	59.26~95.65 (84.37)	3.03~25.93(10.37)	0~7.41(1.48)	0~7.41(3.78)	I-Ⅱ <sub>1</sub>	中富22,中富2,中富26,中富27,中富28
长8	32.85~63.35 (48.2)	9.95~19.19(14.59)	26.7~47.09(36.9)	0.87	Ⅱ <sub>1</sub> -Ⅱ <sub>2</sub>	镇原—泾川,温爱琴等,2003 <sup>[11]</sup>

注:表中数字意义为:最小值~最大值(平均值)。

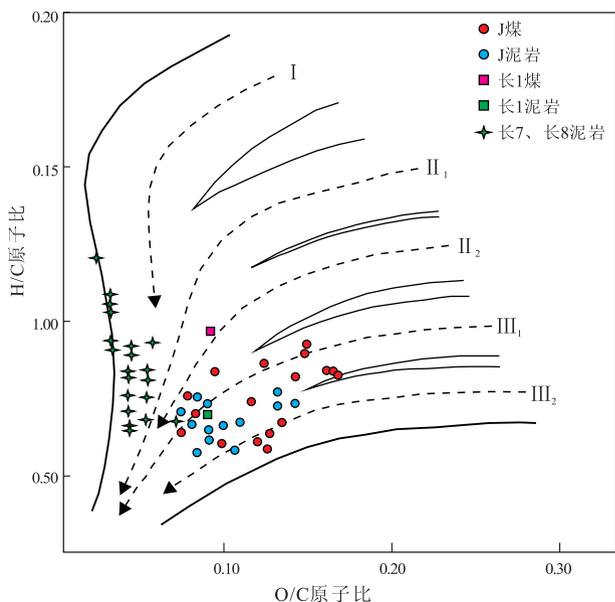


图3 鄂尔多斯盆地南部中生界有机质干酪根分类

Fig. 3 Kerogen types of organic matters from Mesozoic, southern Ordos Basin

### 3.3 有机质成熟度

鄂尔多斯盆地中生界延长组镜质体反射率介于0.5%~1.13%之间,从盆地边缘向盆地内部增高,南部区高于北部区<sup>[9]</sup>。碳奇偶优势指数(OEP)值为0.941~1.22。长4+5以上地层处于生油早期,长4+5以下延长组地层进入成熟阶段,甚至局部为高成熟阶段。藿烷中表征不成熟特征的ββ构型没有出现,也说明延长组生油岩已进入成熟阶段。

时间—温度指数(TTI)值计算表明,延长组烃源岩早白垩世(118 Ma)开始进入生油门限,早白垩世末期(10 Ma)油大量生成<sup>[12]</sup>;晚白垩世—古近纪以来持续有油生成,部分烃源岩逐渐达到高成熟并有少量气生成。

在鄂尔多斯盆地南部中生界烃源岩的热演化过程中,构造热事件对延长组烃源岩生烃灶的形成和分布具有重要的控制作用,对延长组油气生成、运移及富集成藏具有重要意义。鄂尔多斯盆地中生代地热异常分布区在盆地南部的吴旗—庆阳—富县一带<sup>[13-14]</sup>。

## 4 中生界油源对比

### 4.1 碳同位素特征对比

应用碳同位素、生物标记化合物作为油源对比参数普遍受到重视,因为它们既为母岩与油气共有,又具有相对的稳定性。一般应选取一个以上的参数,以便互相补充和验证。研究区延长组原油和侏罗系原油之间的同位素组成性质十分相似,与延长组烃源岩有着良好的相关性,表明它们的来源是一致的,属于湖相原油;与延安组煤系差异很大,煤、油之间的关系并不明显(图4—图7)。说明长9、长7、长4+5、长6暗色泥岩是侏罗系油藏的生源层<sup>[12]</sup>,侏罗系煤系地层和油气则没有成因上的联系。

镇7井长3、镇8井长8、镇18井延9原油中正构烷烃系列、姥鲛烷、植烷碳同位素( $\delta^{13}C$ )值分布在-34.04‰~-30.07‰之间,轻烃单体分子的 $\delta^{13}C$ 值分布在-33.33‰~-27.08‰之间,轻烃中正构烷烃的 $\delta^{13}C$ 值为-32.85‰~-32.63‰,异构烷烃的 $\delta^{13}C$ 值为-31.22‰~-30.51‰,环烷烃的 $\delta^{13}C$ 值为-28.34‰~-28.25‰。总体上看,原油3类不同结构的烃分子碳同位素分馏关系为: $\delta^{13}C_{\text{正构烷烃}} < \delta^{13}C_{\text{异构烷烃}} < \delta^{13}C_{\text{环烷烃}}$ 。

根据族组分的 $\delta^{13}C$ 值变化曲线(图6),进一步分析确定鄂尔多斯盆地南部中生界原油的主力烃源岩为延长组暗色泥页岩,油、源的碳同位素组成非常接近,碳同位素分馏模式也十分相似。它们的

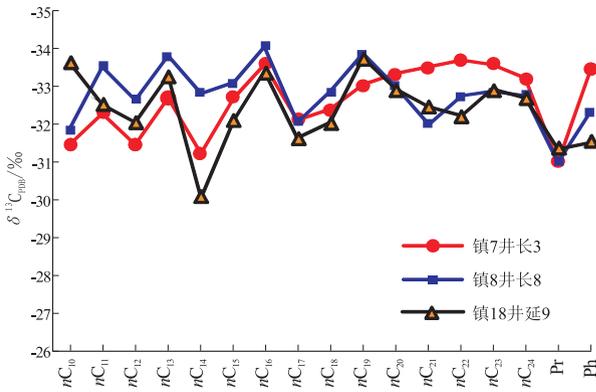


图4 鄂尔多斯盆地南部中生界原油正构烷烃、姥鲛烷、植烷碳同位素指纹对比

Fig. 4 Carbon isotope fingerprints of alkane, pristane and phytane of Mesozoic crude oils in southern Ordos Basin

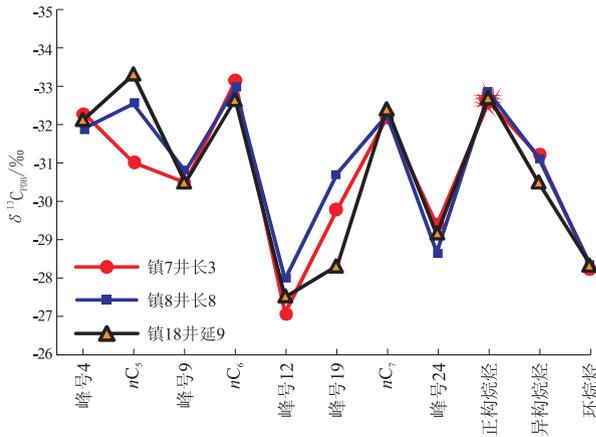


图5 鄂尔多斯盆地南部中生界原油轻烃单体分子碳同位素指纹对比

Fig. 5 Carbon isotope fingerprints of single molecule of light hydrocarbons in Mesozoic crude oils in southern Ordos Basin

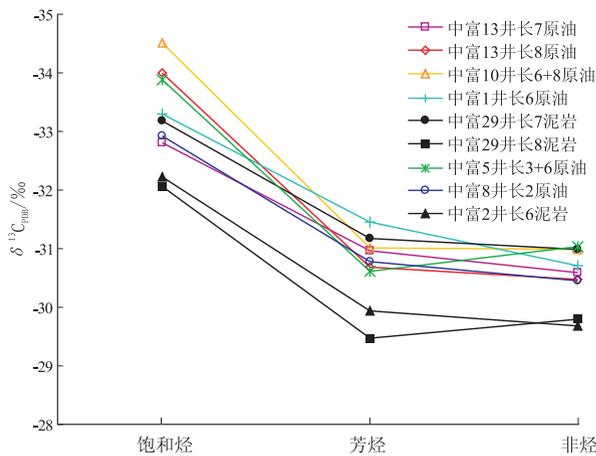


图6 鄂尔多斯盆地南部延长组原油及暗色泥岩族组分碳同位素曲线对比

Fig. 6 Carbon isotopic curves of group composition of crude oils and dark mudstone source rocks in Yangchang Formation, southern Ordos Basin

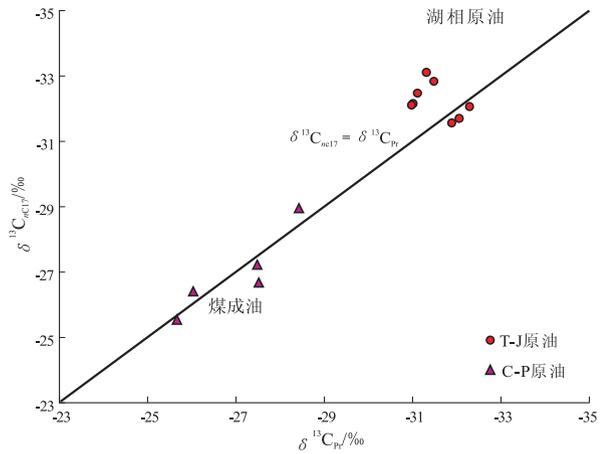


图7 鄂尔多斯盆地南部中生界原油  $\delta^{13}C_{n_{C17}}$  与  $\delta^{13}C_{Pr}$  关系  
Fig. 7  $\delta^{13}C_{n_{C17}}$  vs.  $\delta^{13}C_{Pr}$  in Mesozoic crude oils in southern Ordos Basin

碳同位素曲线都表现为  $\delta^{13}C_{\text{芳烃}} < \delta^{13}C_{\text{饱和烃}} > \delta^{13}C_{\text{非烃}}$ ，具有一定共性，但  $\delta^{13}C$  值的大小也存在一些小差别，亲缘关系明显。再通过  $\delta^{13}C_{n_{C17}}$  和  $\delta^{13}C_{Pr}$  关系 (图7) 可见，中生界原油属于湖相成因，与石炭系、二叠系煤成油截然不同，完全处于2个不同的区域内，也排除了煤成油的可能性。

#### 4.2 生物标志化合物特征对比

##### 4.2.1 饱和烃色谱对比

延长组烃源岩、原油以及延安组原油之间的饱和烃色谱特征均非常相似，主峰碳数为  $nC_{17} - nC_{21}$ ，呈“前峰态”，说明它们之间的亲缘关系。其中，长武区块武3井例外，长8油砂主峰碳数为  $nC_{20}$ ，与本井主峰碳数为  $nC_{25}$  的长7、长8泥岩都不相同，推测油气应该来自其他地区。这与长武地区延长期一直处于远离生油凹陷的盆地南缘的地质条件相一致。

##### 4.2.2 生物标志化合物特征对比

样品取自镇原—泾川地区 DK8 井 1 891 ~ 1 899 m 井段原油，红河1井和红河2井延长组源岩。总体上，原油和源岩的生物标志化合物具有极相似分布特征。

(1) 三环萜烷。三环萜烷丰度都很低，三环萜烷/五环萜烷比值平均仅为0.15，三环萜烷主峰碳为  $C_{23}, C_{21}, C_{23}, C_{24}$  三环萜烷呈现不对称的倒“V”字型， $(C_{19} + C_{20} + C_{21}) / (C_{23} + C_{24})$  平均值为0.83。 $C_{24}$  四环萜烷含量相对较低， $C_{24}$  四环萜烷/ $C_{26}$  三环萜烷平均为0.62。

(2) 五环萜烷。 $C_{29}$  降藿烷/ $C_{30}$  藿烷为0.49 ~ 0.55， $C_{29}$  降莫烷和  $C_{30}$  莫烷丰度较低， $C_{29}$  降莫烷/ $C_{30}$  藿烷为0.07 ~ 0.08， $C_{30}$  莫烷/ $C_{30}$  藿烷为0.11 ~

0.16;  $C_{31}$  藿烷 ( $22S/22S+22R$ ) 为 0.57 ~ 0.58, 已接近异构化的终点, 表明源岩及原油都已进入成熟阶段; 伽马蜡烷指数仅为 0.07 ~ 0.08, 表明源岩沉积于富含粘土矿物的弱氧化淡水环境。

(3) 甾烷。样品的孕甾烷和升孕甾烷丰度较高, 孕甾烷/升孕甾烷值为 2.42 ~ 2.90。源岩重排甾烷发育, 总重排甾烷/总规则甾烷值为 0.30 ~ 0.33, 表明源岩形成于相对偏酸性的弱氧化环境。规则甾烷  $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{29}$   $\alpha\alpha\alpha 20R$  构型呈“V”字型分布, 即  $C_{27} > C_{28} < C_{29}$ , 表明该原油母质具有低等浮游生物和高等植物双重来源, 且低等水生生物的贡献较大。

## 5 结论

1) 鄂尔多斯盆地南部中生界原油与烃源岩的三环萜烷、五环萜烷和甾烷分布特征的相似性极好, 反映了它们之间的亲缘关系。结合稳定碳同位素分布及族组成分析, 确定上延长组暗色泥页岩为中生界的主力烃源岩。其主体分布在庆阳、正宁、直罗、吴旗、盐池及环县地区的 40 000 ~ 50 000  $km^2$  范围内, 又以长 7 期沉积的暗色泥岩为研究区最有利的烃源岩, 其分布广、厚度大、有机质丰度高<sup>[15]</sup>, 提供了包括自身储集层以及侏罗系富县组、延安组、直罗组储集层的油气。

2) 鄂尔多斯盆地南部中生界地层平缓、陕北斜坡倾角一般小于  $1^\circ$ ; 储层低孔低渗、非均质性比较严重, 砂体连通性差<sup>[16-17]</sup>, 缺乏裂缝系统作为垂向运移通道, 其油气运移的距离也不会太长, 油气主要聚集在湖相生油坳陷或邻近区域。

3) 鄂尔多斯盆地南部中生界烃源岩条件的差异是战略选区的重要依据之一。勘探应放在距离延长组烃源岩较近的岩性圈闭, 而储层发育区分流河道形成的相对高孔、高渗带与低幅度构造的叠压区<sup>[18]</sup>是研究区油气勘探的重点。

## 参考文献:

- [1] 朱建辉, 吕剑虹, 缪九军, 等. 鄂尔多斯西南缘下古生界烃源岩生烃潜力评价[J]. 石油实验地质, 2011, 33(6): 662-667.
- [2] 李振宏, 胡健民. 鄂尔多斯盆地构造演化与古岩溶储层分布[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 640-647.
- [3] 席胜利, 刘新社, 王涛. 鄂尔多斯盆地中生界油气运移特征分析[J]. 石油实验地质, 2004, 26(3): 229-235.
- [4] 王志辉, 黄伟. 鄂尔多斯盆地南部直罗油田长 8 油层油气沸腾包裹体群研究[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(2): 146-151.
- [5] 张明山, 杨玉征. 陕内蒙古河非常规油藏特征及成因[C]//王春鹏, 主编. 第一届全国特种油气藏技术研讨会文集. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [6] 丁晓琪, 张哨楠, 谢世文, 等. 鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界成藏系统[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(2): 157-164.
- [7] 刘联群, 刘建平, 李勇, 等. 鄂尔多斯盆地彭阳地区侏罗系延安组油气成藏主控因素分析[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(3): 263-267.
- [8] 张惠, 孟祥振, 郭艳琴, 等. 鄂尔多斯盆地富县地区延长组长 6 储层特征[J]. 石油实验地质, 2010, 32(3): 242-246.
- [9] 何自新. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 110-135.
- [10] 张明山, 王天新. 姬原古高地东斜坡侏罗系油藏特征与勘探策略[J]. 特种油气藏, 2007, 14(4): 20-21.
- [11] 温爱琴, 范久霄. 鄂尔多斯盆地镇—泾地区三叠系烃源岩地化特征及勘探前景[J]. 河南石油, 2003, 17(2): 15-17.
- [12] 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(长庆油田卷)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992: 198-240.
- [13] 李德生. 重新认识鄂尔多斯盆地油气地质学[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 1-7.
- [14] 任战利, 张盛. 鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 674-675.
- [15] 周文, 苏复义, 戴建文, 等. 鄂尔多斯盆地曙光地区延长组低丰度油藏成藏机理[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(3): 330-336.
- [16] 王仲应, 庞正宽. 鄂尔多斯盆地东南部中生界油气成藏条件分析[J]. 断块油气田, 1996, 3(4): 9-13.
- [17] 杨华, 俞建, 宋江海. 鄂尔多斯盆地中生界隐蔽型油藏成藏规律[J]. 低渗透油气田, 2001, 6(1): 6-10.
- [18] 李士春, 冯朝荣. 鄂尔多斯盆地南部延长组沉积体系与油气富集[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2): 80-83.

(编辑 徐文明)