

文章编号:1009-3850(2019)04-0047-10

鄂尔多斯盆地西缘马家滩地区延长组烃源岩研究

陈庆龙¹, 蒲仁海¹, 郭 玮^{2,3}, 白清华^{2,3}

(1. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 地质学系, 陕西 西安 710003; 2. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710003; 3. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安 710003)

摘要:鄂尔多斯盆地延长组深湖相页岩在盆地内部均有分布,但在其西缘冲断带地区是否仍然存在、如何分布、是否具有生烃潜力,这些问题尚待进一步研究。本文根据近期在石沟驿向斜所钻的驿探1及其周边钻井、露头 and 地震资料对延长组暗色页岩厚度、层位、展布和生烃条件进行了研究。烃源岩测井响应、地震层位追定、地震正演模型及烃源岩热解等分析结果表明:(1)青铜峡-固原断裂以东的西缘冲断带中部马家滩地区仍然发育2-4层延长组黑色烃源岩,呈高伽马、高时差和低电阻率测井响应特征,但其单层厚度较薄,一般只有3-5m,累计厚度最大20m左右,一般分布在长10、长9、长8和长7等层位,在地震剖面上以强振幅响应;(2)与盆地内部不同,马家滩地区在延长组底部长10出现薄层黑色页岩,并成为区分上、中三叠统的标志;(3)马家滩地区深浅湖呈“十字”分布,与盆地主体湖盆并不连通,单独存在。主体生油岩为长9-长10段烃源岩;(4)驿探1井热解样品均达到较好-好的烃源岩条件,具备较好生烃潜力。

关键词:鄂尔多斯盆地;上三叠统延长组;马家滩地区;烃源岩;正演模型

中图分类号:TE122.1⁺12

文献标识码:A

引言

鄂尔多斯盆地在晚三叠世经受大规模构造运动,伴随华北台地西缘下降,海水大规模入侵,逐渐形成大型内陆拗陷湖盆。从晚三叠世延长组长10至长1共经历了发生、发展、鼎盛、衰减、直至消亡5个历程^[1],并发育了三角洲相、河流相和湖泊相沉积,为油气提供了良好的生储条件。前人研究认为,延长组湖盆呈西北-东南长轴方向展布,长6-长1时期主要发育河流、三角洲沉积体系^[2-6]。长6下部-长1发育深水砂质碎屑流沉积^[7-9],其中存在大量前积体地震反射现象^[10]。长10-长6范

围逐渐增大,至长7面积范围达到最大,随后逐渐消减,直至消亡,但其整体展布方向不变^[11-12]。长9、长7期湖盆发育最为鼎盛^[13],烃源岩广泛发育^[14-16],相较于长9烃源岩分布情况与生烃潜力^[17],长7期油气生成条件更好^[18-20]。前人研究认为,延长组长10-长9湖盆主要发育在湖盆中部和西南部^[21],但对于盆地西部边缘,由于受逆冲断褶带复杂构造影响,研究甚少,深湖与半深湖页岩是否存在且生烃能力如何都未曾明确。所以,该区延长组划分对比、泥质烃源岩发育分布和生烃潜力等研究对寻找中生界有关的油气藏至关重要,对加大该地区上三叠统地层油气勘探开发具有重要意义。

收稿日期: 2019-09-12; **改回日期:** 2019-10-12

作者简介: 陈庆龙(1994-),男,硕士研究生,矿产普查与勘探专业。E-mail:806203684@qq.com

资助项目: 中国石油天然气股份有限公司科技重大专项“长庆油田5000×104t持续高效稳产关键技术研究与应用”(编号:2016E-0502)

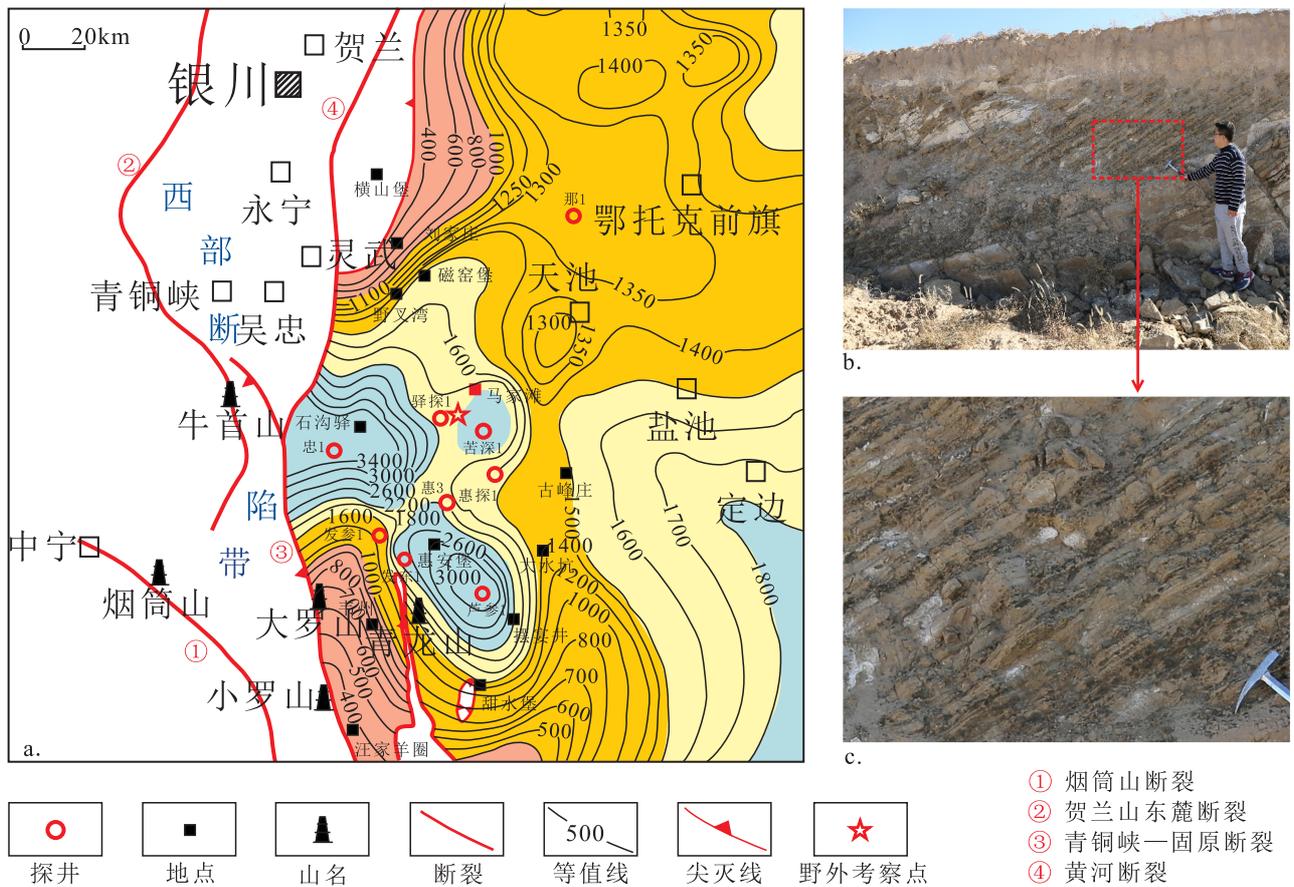


图1 马家滩地区上三叠统延长组地层残余厚度与驿探1井东3km附近延长组底部页岩露头照片
a. 马家滩地区上三叠统延长组地层残余厚度图(据东方物探2012修改); b, c 驿探1井东3km附近延长组底部页岩露头

Fig. 1 Residual stratigraphic thickness of the Upper Triassic Yanchang Formation in the Majiatan region (a) and shale outcrops at the bottom of the Yanchang Formation at the 3-km distance east to the Yitan-1 well in the Majiatan region (b and c)

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地西缘位于鄂尔多斯地块、阿拉善地块、河西走廊过渡带和祁连-六盘山地块的结合地带^[22],呈南北向窄带状展布,面积约60000km²(图2)。构造位置上位于华北克拉通西部边缘,是阿拉善地块和祁连地块共同作用位置,其受到的应力及挤压拉张情况复杂,构造发育复杂^[23-24]。根据张进等^[25]研究,青铜峡-固原断裂作为界线,将鄂尔多斯盆地西缘分为两大构造单元,向西为六盘山冲断体系,向东为桌子山-平凉冲断体系。桌子山-平凉冲断体系具有东西分带、南北分段特征,自北向南依次划分为桌子山-横山堡段、马家滩-甜水堡段和沙井子-彭阳段。

西缘沉积环境复杂。根据杨华、付金华、欧阳征健等人研究^[26],北部汝箕沟地区物源主要来自西

北方向阿拉善及巴彦浩特地区,水体自西向东加深。其上三叠统延长组岩性由砾岩、砂砾岩逐渐向粗-细-粉砂岩、黑色页岩过渡。沉积环境由扇三角洲水上部分向冲积扇、湖泊相过渡,具有颗粒度逐渐向上变细,水体逐渐变深的演化趋势^[27];中部石沟驿马家滩地区晚三叠世期处于走滑断层影响下的断陷环境,其延长组沉积厚度大于3000m,为该区沉降中心;南部平凉-华亭地区,延长组由三套砾岩、厚层块状细砂岩、粉砂岩,及向上渐变为黑色泥页岩的正旋回组成,其物源主要来自秦祁造山带。

2 西缘延长组及其页岩的识别和分布特征

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组与中下三叠统地层的主要区别是其是否含黑色页岩。上三叠统延长组地层为灰色调,中下三叠统为红色调。驿探

1井东侧沿惠沙断裂上升盘延长组出露地表,露头上可见延长组发育较厚的深灰-黑色页岩(图1)。西缘地区中部钻井表明,延长组一般含1~4层页岩,呈高伽马($>110\text{API}$)、高声波时差($>270\mu\text{s}/\text{m}$)和低电阻率($<10\ \Omega\text{m}$)测井响应特征,单层厚一般1~5m,与粉砂岩或泥质粉砂岩呈互层状(图3)。高伽马、高声波时差页岩段在垂向上主要位于长10、长9、长8和长7段,长7厚度最大,长8、长9、长

10较薄,该特征与湖盆主体区页岩主要发育在长9和长7不完全相同。

延长组与上覆下侏罗统延安组地层的区分主要依靠延安组延9、延10沉积的煤层。以低伽马、高时差、高电阻率为电性特征的煤层发育^[28],代表了河流-三角洲沉积环境中的沼泽沉积,该标志层用来区分延安组与延长组地层。

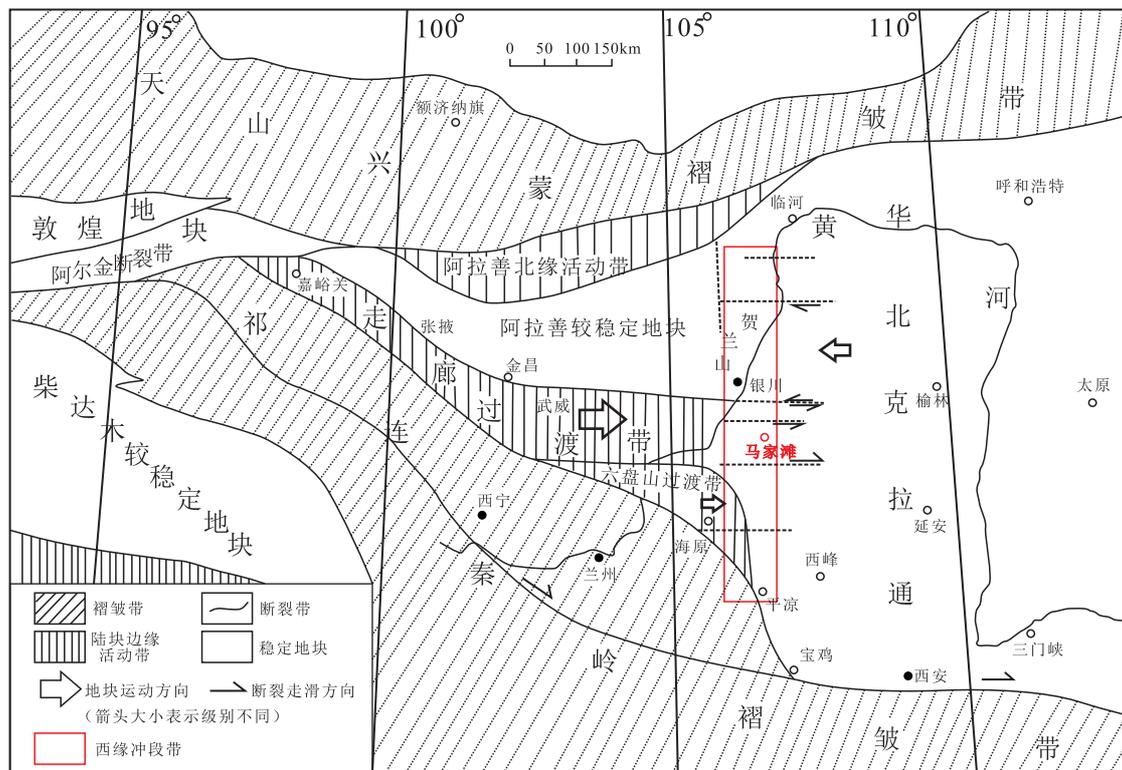


图2 鄂尔多斯盆地西部冲断带与相邻构造单元图

Fig. 2 Tectonic division of the thrust zones and adjacent tectonic units on the western margin of the Ordos Basin

3 烃源岩厚度与地震反射关系

由于延长组暗色页岩速度明显低于背景地层的速度,所以在地震剖面上形成了强振幅较连续反射,在地震剖面上强振幅反射是区别延长组与中下三叠统弱振幅的重要标志(图4a)。通过合成记录和地震层位标定与追踪,可以看出,长10-长7的页岩强振幅较连续,一般延伸10km以上。驿探1井位于H126489地震剖面上(图4b),该井开钻于惠沙逆冲断裂上升盘,断裂上、下盘的侏罗系底界、上三叠统底界和下三叠统刘家沟组底界均出现了强振幅波组。三叠系底界附近的长10段反射振幅

最强。

与测井对比剖面图类似,地震剖面上显示的延长组强振幅页岩呈多层分布,在延长组底部的强振幅分布最稳定,且连续性最好。延长组上部的强振幅分布连续性不如底部,说明长10可能页岩分布最广,长9-长7页岩零散分布,这一分布特点与湖盆主体区有所不同(图4)^[29]。

根据过井地震剖面强振幅波峰谷组合类型,马家滩地区延长组页岩在地震剖面中的反射类型主要有以下4种:一峰两谷、两峰三谷、三峰三谷、四峰四谷,其代表累厚5~20m不同厚度的页岩反射(图4)。惠探1井、忠3井均为一峰两谷反射类型,

其厚度 10 ~ 16m,属于较薄类型(图 5a,b)。忠探 1 井和李 3 井均以两峰三谷反射显示,厚度为 12 ~ 13m,与前一类型厚度相当(图 5c,d)。李 5 井、忠 4

井分别为三峰三谷和四峰四谷反射类型,其厚度 18 ~ 21m 左右,为该地区页岩最厚反射类型(图 5e、f)。

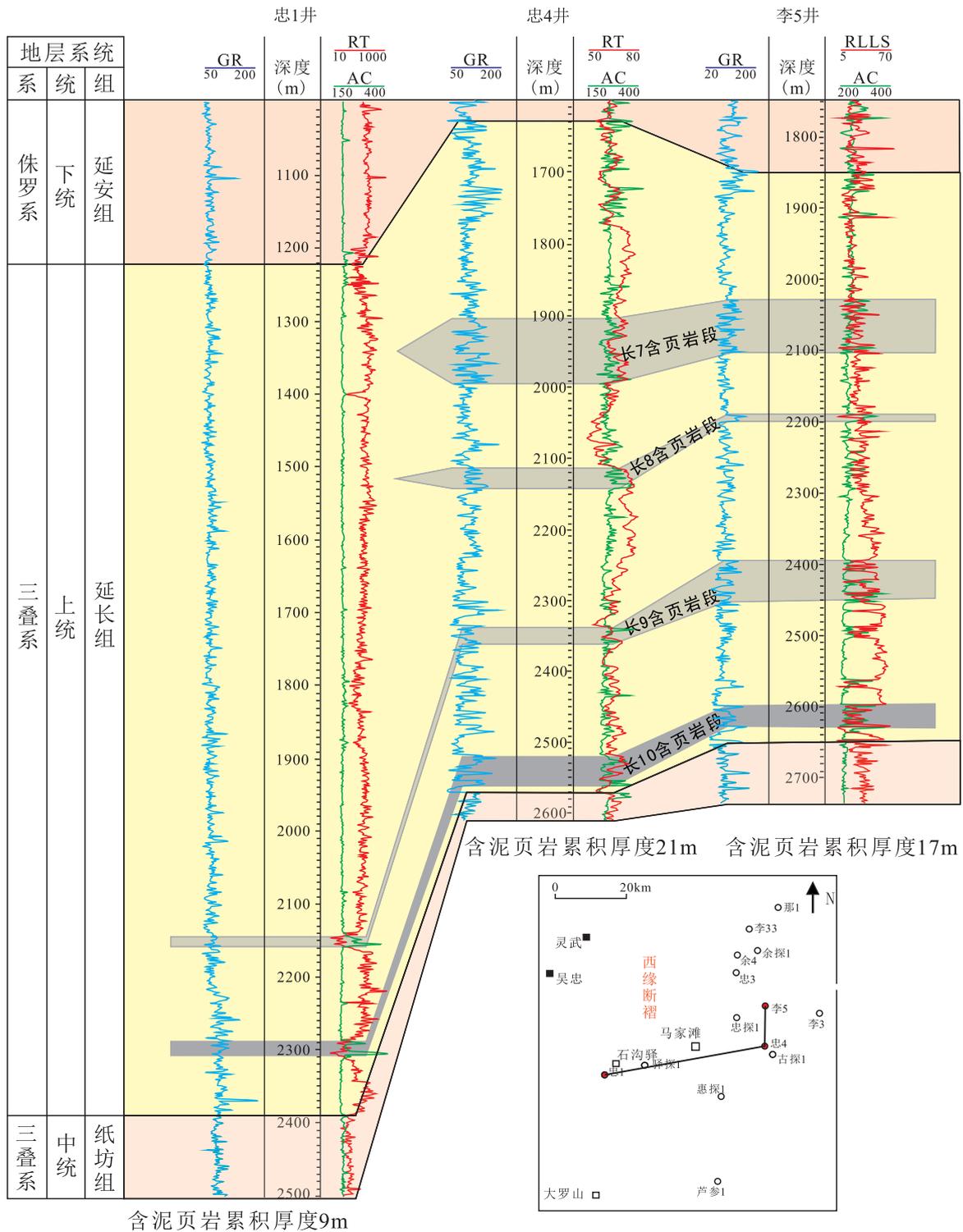


图3 忠1井、忠4井、李5井延长组页岩垂向分布图

Fig. 3 Vertical distribution of the shales in the Upper Triassic Yanchang Formation through the Zhong-1 well, Zhong-4 well and Li-5 well

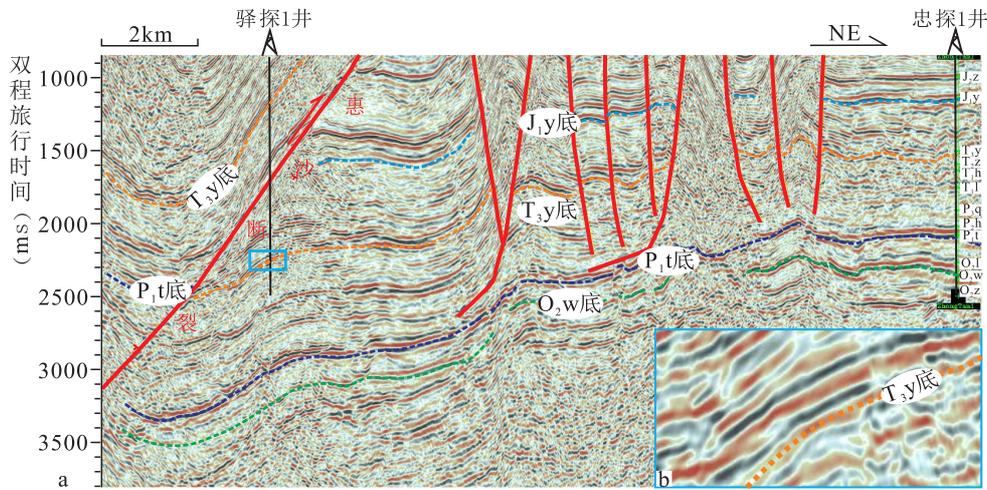


图4 H126489 地震剖面(平面位置见图7)

a. 过驿探1井和忠探1井 H126489 地震剖面;b. 驿探1井钻遇延长组放大大局部地震剖面
Fig.4 H126489 seismic reflection profile in the Upper Triassic Yanchang Formation

以上分类反映页岩累计厚度与地震强振幅同相轴数目存在一定关系。一峰两谷和两峰三谷强振幅代表厚度较薄,一般 10 ~ 15m 左右,三峰三谷强振幅时页岩累计厚度可达 17m 左右,四峰四谷可达 20m 厚度。这种强振幅同相轴与页岩累计厚度的关系反映了强振幅由纵向上多个薄层页岩的复合反射造成,否则形成多同相轴强振幅则可能指示更厚的页岩。例如,过李5井和忠4井的 H125874

地震剖面上延长组页岩强振幅反射从忠4井附近一直向南延伸剖面右端,超过 10km。

通过钻井资料建立正演模型,可以揭示页岩累厚与地震强振幅响应之间的关系。正演模型延长组总厚度 1000m,横向宽度 900m,各地层岩性速度、密度如表 1 所示,模型中分别在延长组长 7、长 8、长 9、长 10 段地层含 5m 页岩。正演结果显示(图 6),长 7-10 叠加页岩厚度最大处,其振幅最强,同相

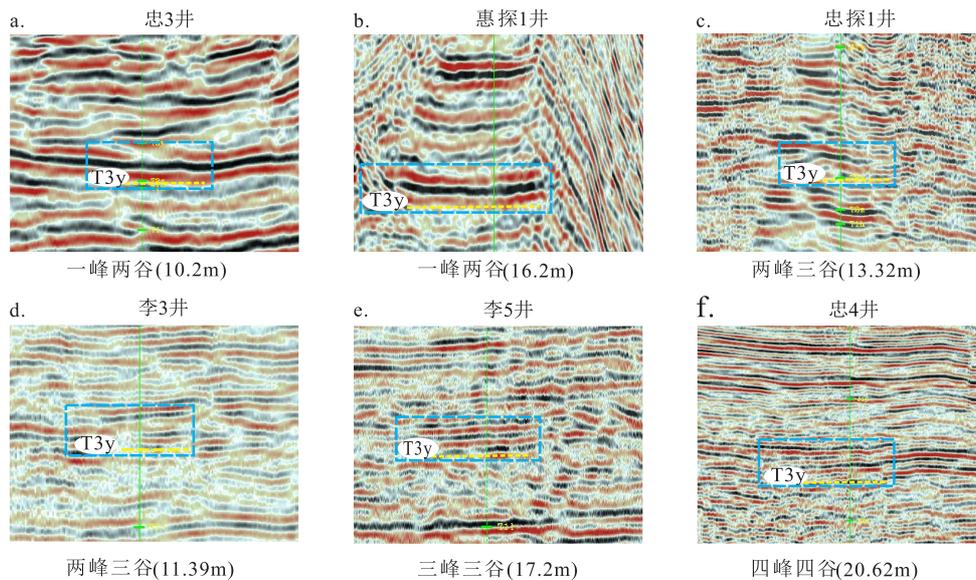


图5 过井地震剖面延长组底部强振幅组合类型与页岩累厚(黄虚线代表延长组底)

Fig.5 Relationship between high amplitude associations and shale thickness at the bottom of the Yanchang Formation indicated by the seismic reflection profiles in individual wells

表 1 正演模型页岩和砂岩速度、密度值

Table 1 Velocity and density values of the shales and sandstones indicated by the forward model

地层(岩性)	速度 V_p (m/s)	密度 ρ (g/cm ³)
下侏罗统延安组砂岩	3000	2.8
上三叠统延长组长 3-10 段砂岩	3200	2.7
中三叠统纸坊组砂岩	3400	2.5
延长组页岩	2800	1.8

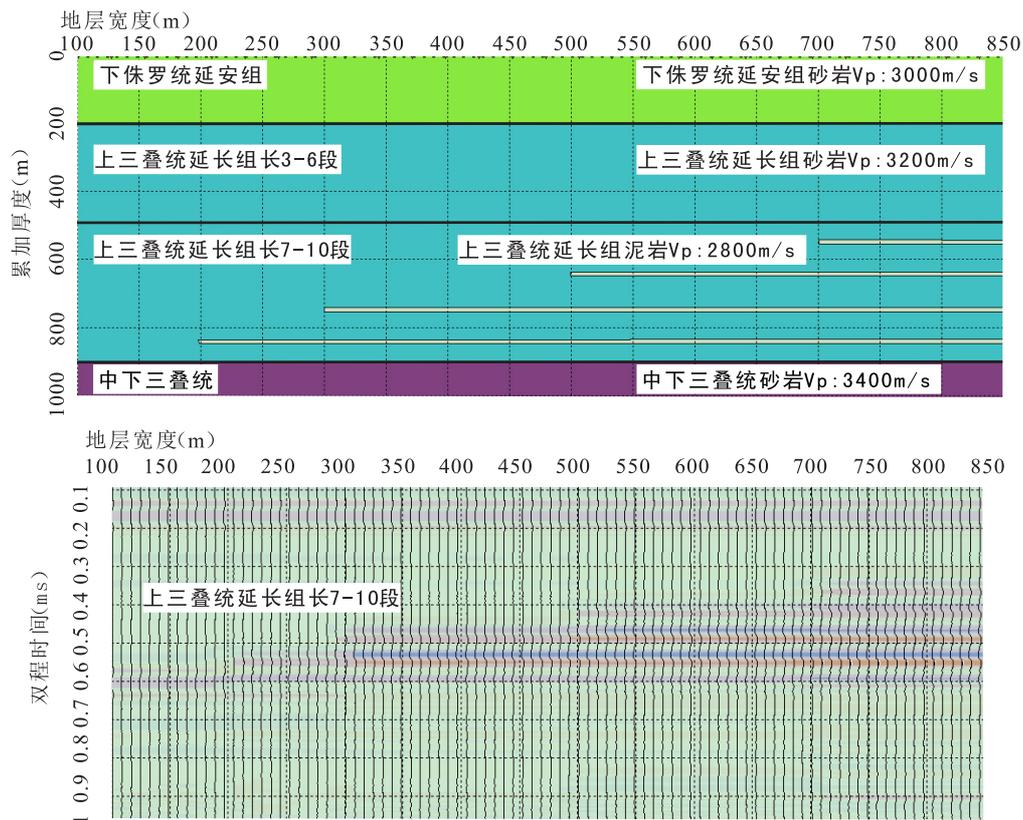


图 6 延长组烃源岩正演模拟

Fig. 6 Forward model for the source rocks in the Upper Triassic Yanchang Formation

轴数目最多,四套页岩重叠以四峰四谷显示,三套页岩以三峰三谷反射显示,两套页岩重叠以两峰两谷反射显示,一套页岩以一峰两谷谷反射显示,证实了前述页岩厚度与振幅强弱、同相轴数目的关系。

4 西缘马家滩地区驿探 1 井延长组黑色泥岩的热解特征及生烃潜力评价

本次在驿探 1 井延长组 3370 ~ 3419m 深度段采集 9 个黑色泥岩样品进行热解实验。分析结果显示(表 2),延长组黑色页岩总有机碳含量(TOC)分布于 0.63% ~ 4.86%,平均 1.91%。热解 S_1 0.14 ~ 1.33mg/g; S_2 0.51 ~ 17.9mg/g; 生烃潜力 ($S_1 +$

S_2) 介于 0.66 ~ 19.06mg/g, 平均生烃 5mg/g, 为中等至好丰度标准^[30]。

根据热解分析结果,对这 9 个样品的干酪根类型加以确定。利用 9 个样品各自 S_3 、 S_2 分别除以各自的有机碳含量,所得到的氧指数($I_o = S_3/TOC$)、氢指数($I_H = S_2/TOC$)可以划分干酪根类型。据此,将这 9 个样品划分为 2 个 I 型干酪根、3 个 II A 型干酪根和 2 个 II B 型干酪根。

根据干酪根类型和 T_{max} 值,利用 T_{max} 划分有机质成熟度界限表^[31]。 T_{max} 值介于 441 ~ 460℃ 之间,该 9 个 I 型干酪根、II A 型干酪根、II B 型干酪根烃源岩样品总体属于成熟 - 高成熟阶段。总体来说,

通过热解驿探 1 井的 9 个黑色泥岩样品,所得到的有机质丰度、干酪根类型、有机质成熟度这 3 个指标

均说明驿探 1 井延长组黑色页岩属于优质烃源岩,具有良好生油潜能。

表 2 驿探 1 井上三叠统延长组黑色页岩热解结果

Table 2 Pyrolysis results of the black shales in the Upper Triassic Yanchang Formation through the Yitan-1 well

分析号	层位	井段 (m)	有机碳 TOC (%)	T _{max} (%)	S ₁ (mg/g)	S ₂ (mg/g)	S ₃ (mg/g)	S ₁ +S ₂ (mg/g)	母质类型	I ₀ (mg/g)	I _H (mg/g)	I _{HC} (mg/g)
1	延长组	3370	4.86(极好)	441(成熟)	1.33	14.07	1.2	15.4	II A	24.69	289.51	27.35
2	延长组	3375	1.89(好)	445(成熟)	0.35	0.86	1.47	1.21	III	77.78	45.50	18.51
3	延长组	3385	1.11(好)	450(成熟)	0.14	1.19	0.9	1.33	II B	81.08	107.21	12.67
4	延长组	3390	1.22(好)	451(成熟)	0.34	1.46	1.16	1.8	II A	95.08	119.67	27.81
5	延长组	3395	1.22(好)	451(成熟)	0.25	1.96	1.1	2.21	II A	90.16	160.66	20.48
6	延长组	3400	4.59(极好)	446(成熟)	1.16	17.9	1.05	19.06	I	22.88	389.98	25.28
7	延长组	3410	1.81(好)	460(高成熟)	0.29	1.88	0.99	2.17	I	54.70	103.87	16
8	延长组	3415	1.09(好)	457(高成熟)	0.16	0.51	1.06	0.67	II B	97.25	46.79	14.66
9	延长组	3419	0.63(中等)	458(高成熟)	0.15	0.51	1.14	0.66	II A	180.95	80.95	23.97

5 讨论

5.1 西缘马家滩地区延长组湖泊与盆地主体湖盆关系

前人关于鄂尔多斯盆地延长组湖盆发育演化规律认为,长 10 主要发育浅湖亚相和三角洲沉积

相,长 9 发生湖侵,长 8 发育浅湖亚相沉积,长 7 湖盆发育达到鼎盛,长 1 期基底抬升及差异沉降使盆地内仅残留部分闭塞浅水湖泊^[21,32]。根据其湖岸线分布范围,只有长 7 时期,湖岸线到达了马家滩地区,其它时期湖盆范围最大仅到盐池以南地区。另外,在西缘延长组第三段、第五段沉积模式中^[17],长

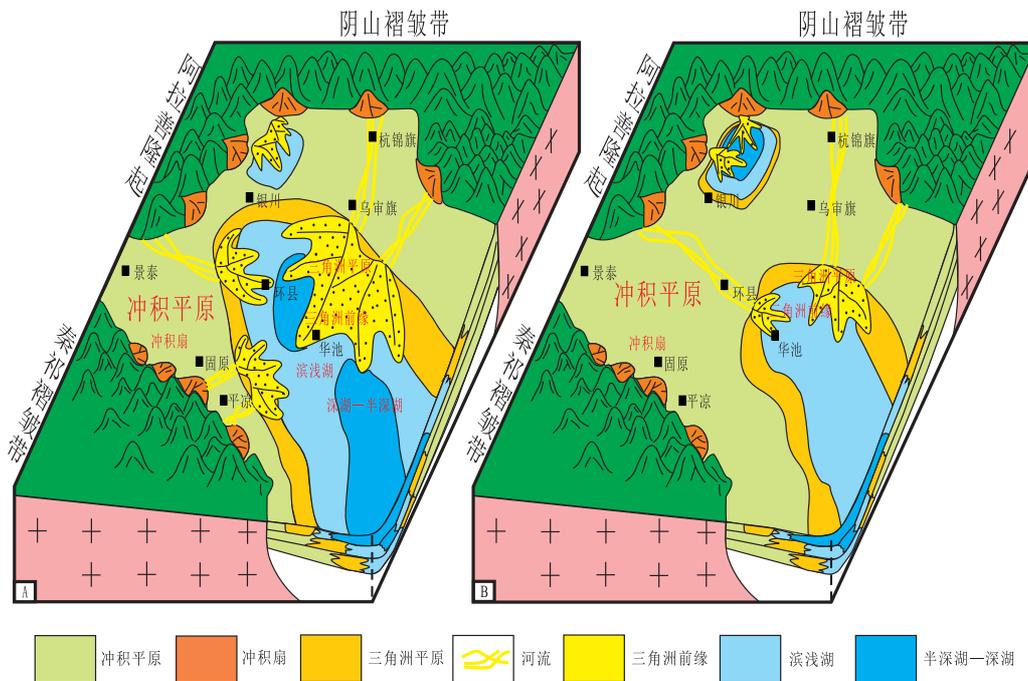


图 7 鄂尔多斯盆地西缘延长组长 3 段(长 7,长 6,长 4+5)、长 5 段(长 1)沉积模式

A. 延长组长 3 段沉积模式;B. 延长组长 5 段沉积模式

Fig.7 Sedimentary models for the 3rd and 5th members of the Upper Triassic Yanchang Formation on the western margin of the Ordos Basin

7 时期在盆地西缘马家滩北部的汝箕沟地区首先发现湖泊相,长 1 时期汝箕沟地区又因构造拗陷作用发育深湖相(图 7)。由于汝箕沟地区与马家滩地区位于银川南北两侧,且相距不远,因此根据以上观点,认为西缘马家滩地区在长 7、长 1 期的确有闭塞湖盆发育,马家滩地区湖盆应为该湖盆南部边缘,但与鄂尔多斯盆地湖盆主体并不连通。长 7 期马家滩地区闭塞湖盆形成可能是最大湖泛期背景下的水体漫溢至西缘北部,在该地区局部构造抬升下导致。长 1 期则是湖盆不断收缩,水体下降背景下,因西缘北部地区强烈拗陷作用形成的闭塞湖。

根据西缘马家滩地区钻井统计和地震强振幅反射类型的分析,作出西缘马家滩地区上三叠统延长组暗色页岩累计厚度图(图 8)。该厚度图是依据延长组烃源岩较大波阻抗产生强振幅反射,在此基础上,沿该层强反射在研究区范围内得出烃源岩分布范围。根据泥页岩高声波时差、高伽马、低电阻率的测井响应,得出其各含泥页岩段累加厚度,照此厚度和范围,绘制出西缘马家滩地区延长组烃源岩总厚度及范围分布图。

从该图中可以看出(图 8),在马家滩以西地区暗色页岩厚度介于 5~20m。在西至忠 1 井、东至李 3 井、南至芦参 1 井和北至那 1 井的范围内大致呈“十”字型分布,总面积约 1700km²,在惠探 1 井和忠 4 井地区页岩厚度最大,局部超过 20m。但无论页岩厚度还是面积大小,总体均小于天环向斜以东地区^[33]。从页岩累加厚度图来看(图 8),延长组西缘马家滩地区的湖泊可能与东部湖盆主体不连通,为单独存在发育的深浅湖相。

5.2 马家滩油田主要油气来源

目前关于西缘马家滩地区烃源岩的研究仍然匮乏。前人研究认为,对马家滩油田生油贡献最大的应为长 7 和长 9 两套烃源岩,认为长 7 烃源岩全盆地发育分布,最大限度控制了油气田的分布范围,而长 9 烃源岩分布范围较为有限,在马家滩油田发育较差^[34]。

结合暗色泥岩垂向分布剖面与地震剖面分析认识,长 9-长 10 段泥页岩在平面分布范围上应该大于长 7 段泥页岩。与长 7 烃源岩相比,长 9、长 10 两套烃源岩在石沟驿以西的忠 1 井都有分布(图 3)。

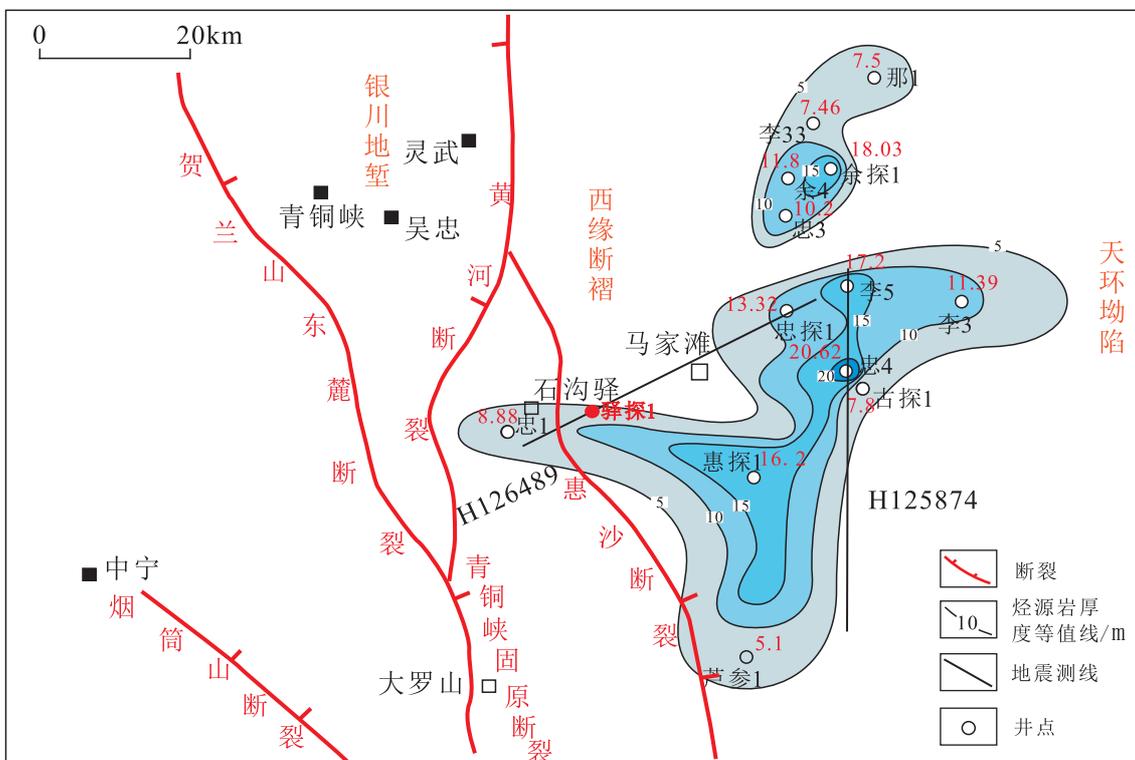


图 8 马家滩地区上三叠统延长组烃源岩分布范围及厚度

Fig. 8 Distribution and thickness of the source rocks in the Upper Triassic Yanchang Formation in the Majiatan region

在过驿探1井的H126489地震剖面上(图4),延长组底部存在一套强振幅反射,且分布范围很广,这套强振幅反射应是长10、长9烃源岩的地震反映。底部向上的强振幅,应为长8、长7及以上烃源岩,但其分布较为零散,连续性也较差。根据以上两点分析认识,认为马家滩油田的主要油气来源应该是长9-长10段烃源岩,而并非是以长7烃源岩为主。因此对于马家滩油田主要油气来源这一认识还有待进一步研究。

6 结论

鄂尔多斯盆地西缘冲断带中部马家滩地区延长组湖相页岩依然发育,呈1~5m的多个薄层分布于长10-长7层段,累厚可达20m左右。与天环向斜以东的主体湖盆不同,马家滩地区的延长组页岩在长10底部最发育,其分布范围呈十字状,具南北两个沉积中心,总面积1700km²。该地区深浅湖与盆地主体湖盆可能并不连通,单独存在。

延长组页岩除具有高伽马、高时差和低电阻率测井识别特征外,其累计发育厚度与地震强振幅反射具有4种关系。一峰两谷或两峰三谷强振幅反射一般代表10~15m页岩,三峰三谷代表17m左右的页岩,四峰四谷则反映20m左右厚度的页岩。

热解分析表明,驿探1井延长组页岩具备中等-高的有机碳含量,II型、I型有机质类型,全部到达成熟条件,总体上达到中等-好的烃源岩标准,具备较好生烃潜力。同时马家滩油田的油气来源可能主要是长9-长10段暗色泥页岩。

参考文献:

- [1] 付金华,李士祥,刘显阳,邓秀芹. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组长9油层组沉积相及其演化[J]. 古地理学报,2012,14(3):269-284.
- [2] 付锁堂,邓秀芹,庞锦莲. 晚三叠世鄂尔多斯盆地湖盆沉积中心厚层砂体特征及形成机制分析[J]. 沉积学报,2010,28(6):1081-1089.
- [3] 曾少华. 陕北三叠系延长统湖盆三角洲沉积模式的建立[J]. 石油与天然气地质,1992,13(2):229-234.
- [4] 郭艳琴,李文厚,郭彬程,张倩,陈强,王若谷等. 鄂尔多斯盆地沉积体系与古地理演化[J]. 古地理学报,2019,21(2):293-320.
- [5] 武富礼,李文厚,李玉宏,席胜利. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. 古地理学报,2004,6(3):307-315.
- [6] 杜贵超. 鄂尔多斯盆地七里村油田延长组长6油层组沉积相特征及沉积模式[J]. 沉积与特提斯地质,2014,34(4):30-39.
- [7] 李相博,刘化清,完颜容,魏立花,廖建波,马玉虎. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组砂质碎屑流储集体的首次发现[J]. 岩性油气藏,2009,21(4):19-21.
- [8] 杨华,邓秀芹. 构造事件对鄂尔多斯盆地延长组深水砂岩沉积的影响[J]. 石油勘探与开发,2013,40(5):513-520.
- [9] 李秋朋,万友利,江琦,丁晓琪,刘曦翔,任启豪等. 鄂尔多斯盆地彬长地区长6储层成岩作用及有利成岩相带[J]. 沉积与特提斯地质,2016,36(4):21-29.
- [10] 李慧琼,蒲仁海,王大兴,赵玉华,张杰,赵德勇. 鄂尔多斯盆地延长组地震前积反射的地质意义[J]. 石油地球物理勘探,2014,49(5):985-996.
- [11] 张文正,杨华,李剑锋,马军. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用—强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发,2006,33(3):289-293.
- [12] 张文正,杨华,付锁堂,管川莉. 鄂尔多斯盆地长9₁湖相优质烃源岩的发育机制探讨[J]. 中国科学,2007,37(增刊I):33-38.
- [13] 丁熊,田景春,姚泾利,余杭航,罗安湘. 鄂尔多斯盆地延长组长9油层组三角洲砂岩沉积特征[J]. 沉积与特提斯地质,2015,35(4):25-34.
- [14] 姚泾利,高岗,庞锦莲,刘凤妍,柳广弟,张雪峰,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组非主力有效烃源岩发育特征[J]. 地学前缘,2013,20(2):116-124.
- [15] 国吉安,庞军刚,王桂成,李文厚,陈全红,曹红霞. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组湖盆演化及石油聚集规律[J]. 世界地质,2010,29(2):277-283,291.
- [16] 袁伟,柳广弟,徐黎明,牛小兵. 鄂尔多斯盆地延长组7段有机质富集主控因素[J]. 石油与天然气地质,2019,40(2):326-334.
- [17] 尹泽,刘自亮,彭楠,沈芳,谭梦琪,王玉冲等. 鄂尔多斯盆地西缘上三叠统延长组沉积相特征研究[J]. 沉积学报,2019,37(1):163-176.
- [18] 杨华,窦伟坦,刘显阳,张才利. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7沉积相分析[J]. 沉积学报,2010,28(2):254-263.
- [19] 张文正,杨华,杨奕华,孔庆芬,吴凯. 鄂尔多斯盆地长7优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J]. 地球化学,2008,37(1):59-64.
- [20] 杨华,梁晓伟,牛小兵,冯胜斌,尤源. 陆相致密油形成地质条件及富集主控因素—以鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7段为例[J]. 石油勘探与开发,2017,44(1):12-20.
- [21] 郭艳琴,惠磊,张秀能,魏千盛,李文厚,李百强. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积体系特征及湖盆演化[J]. 西北大学学报(自然科学版),2018,4(48):593-602.
- [22] 赵红格. 鄂尔多斯盆地西部构造特征及演化[D]. 西安:西北大学,2003.
- [23] Liu C, Zhao H, Wang F, et al. Attributes of the Mesozoic

- Structure on the West margin of the Ordos Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(6): 747–747.
- [24] 李斌, 宋岩, 孟自芳, 等. 中国中部前陆盆地盆山耦合关系分析[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2009, 31(1): 23–28.
- [25] 张进. 陕甘宁地区古生代以来的构造及演化特征研究[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2002.
- [26] 杨华, 付金华, 欧阳征健, 孙六一. 鄂尔多斯盆地西缘晚三叠世构造—沉积环境分析[J]. *沉积学报*, 2011, 29(3): 427–439.
- [27] 苏春乾, 杨兴科, 刘继庆, 张忠义. 从贺兰山区的三叠—侏罗系论国内前陆盆地研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 2004, 23(4): 318–326.
- [28] 李慧琼, 蒲仁海, 屈红军, 赵德勇. 鄂尔多斯盆地三叠系与侏罗系不整合面测井识别方法讨论[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2017, 47(4): 577–584.
- [29] 付金华, 郭正权, 邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. *古地理学报*, 2005, 7(1): 34–44.
- [30] 朱光有, 金强. 东营凹陷两套优质烃源岩层地球化学特征研究[J]. *沉积学报*, 2003, 21(3): 506–512.
- [31] 柳广弟. *石油地质学*[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [32] 李文厚, 庞军刚, 曹红霞, 肖丽, 王若谷. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组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.
- [33] 邓秀芹, 付金华, 姚泾利, 庞锦莲, 孙勃. 鄂尔多斯盆地中及上三叠统延长组沉积相与油气勘探的突破[J]. *古地理学报*, 2011, 13(4): 443–455.
- [34] 马国良. 鄂尔多斯盆地马家滩油田延长组油气成藏规律研究[J]. *沉积与特提斯地质*, 2015, 35(2): 35–44.

An approach to the source rocks from the Upper Triassic Yanchang Formation in the Majiatan region on the western margin of the Ordos Basin

CHEN Qinglong¹, PU Renhai¹, GUO Wei^{2,3}, BAI Qinghua^{2,3}

(1. *State key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710000, Shaanxi, China*; 2. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Changqing Oil Field Company, CNPC, Xi'an 710000, Shaanxi, China*; 3. *National Engineering Laboratory of Exploration and Development of Low-Permeability Oil and Gas Fields, Xi'an 710000, Shaanxi, China*)

Abstract: The deep lacustrine shales occur mostly in the interior of the Ordos Basin. However, there remains uncertain about how and whether they occur or have the hydrocarbon potential in the thrust zones on the western margin of the ordos Basin. The present paper gives a detailed study of thickness, horizon, distribution and hydrocarbon potential of the black shales from the Yanchang Formation on the basis of outcrops and seismic data from the Yitan-1 well and other wells in the Shigouyi geosyncline. The results of well logs, seismic horizon tracing, seismic forward modeling and pyrolytic analysis of the source rocks led us to draw the following conclusions. (1) There are still 2 to 4 beds of the black source rocks in the Yanchang Formation, Majiatan region in the central part of the thrust zone east of Qingtongxia-Guyuan fault. These black source rocks are characterized by high gamma, high time difference and low-resistivity well logs, 3 to 5 m in thickness for a single bed with a total thickness of about 20 m in the Chang-10, Chang-9, Chang-8 and Chang-7 horizons, and also with high amplitude responses. (2) The thin-bedded black shales in the Chang-10 horizon at the bottom of the Yanchang Formation in the Majiatan region are interpreted as the indicator for the distinction from the Upper and Middle Triassic strata. (3) The deep and shallow parts of the lake exhibit the “cross” distribution, isolated and discontinuous with the main body of the lake basin. The Chang-10 and Chang-9 horizons are believed to be major source rocks. (4) The samples collected from the Yitan-1 well for the pyrolytic analysis indicate better to good source rocks with good hydrocarbon potential.

Key words: Ordos Basin; Upper Triassic Yanchang Formation; Majiatan region; source rock; forward model