

文章编号: 1000-0747(2009)01-0056-06

鄂尔多斯盆地东部上古生界致密岩性气藏成藏模式

李明瑞^{1,2}, 窦伟坦², 蔺宏斌², 张清³, 焦积田²

(1. 成都理工大学沉积地质研究院; 2. 中国石油长庆油田公司勘探部; 3. 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院)

摘要: 鄂尔多斯盆地东部上古生界气藏为典型的致密砂岩岩性气藏, 其特点是气源充足、多层系含气、致密砂岩储集层发育、盖层封闭条件相对较好。根据鄂尔多斯盆地东部气藏形成特征, 以成藏期次为主线, 以致密岩性圈闭为重点, 综合考虑成藏主控因素, 分别对早侏罗世末期、晚侏罗世中晚期、早白垩世末期、早白垩世末期至今4个具有代表性的阶段进行了成藏模式分析, 认为晚侏罗世中晚期及早白垩世末期是盆地东部天然气成藏的关键时期。受致密岩性圈闭气藏储集层物性差的影响, 输导层不同决定了天然气二次运移的方式不同, 本溪组、太原组、山西组、下石盒子组形成的天然气气藏在平面上连片性好, 而石千峰组及上石盒子组天然气在输导层发育的地方常形成“小而肥”的次生气藏。图3表2参22

关键词: 鄂尔多斯盆地; 上古生界; 致密砂岩; 岩性圈闭; 次生气藏; 成藏模式

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

Model for tight lithologic gas accumulation in Upper Palaeozoic, east of Ordos Basin

Li Mingrui^{1,2}, Dou Weitan², Lin Hongbin², Zhang Qing³, Jiao Jitian²

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Exploration Department, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China)

Abstract: The Upper Palaeozoic gas reservoirs in the east of Ordos Basin are typical tight sandstone lithologic reservoirs which feature abundant gas source, gas contained in multiple series of strata, tight sandstone reservoirs developed and relatively good seal. According to the characteristics of the gas reservoir forming in the east of Ordos Basin, based on the forming periods, focusing on tight lithologic trap, and taking account of key factors for reservoir forming, this paper analyzed the models of gas reservoir-forming in four typical stages including late Early Jurassic, middle-late Late Jurassic, late Early Cretaceous and late Early Cretaceous to present. It is believed that middle-late Late Jurassic and late Early Cretaceous are the key periods for the gas accumulation in the east of the basin. Due to poor physical properties of the tight lithologic gas reservoirs, the different transport layers lead to different ways of gas secondary migration. The gas reservoirs at Benxi Formation, Taiyuan Formation, Shanxi Formation and Lower Shihezi Formation have good continuity in plane, while some “small but rich” secondary gas reservoirs are usually formed at Shiqianfeng Formation and Upper Shihezi Formation in the places where transport layers develop.

Key words: Ordos Basin; Upper Palaeozoic; tight sandstones; lithologic trap; secondary gas reservoir; gas accumulation model

0 引言

岩性圈闭是指由于沉积成因形成的圈闭, 包括各类堆积型储集圈闭及成岩与后生作用引起的岩性、物性变化形成的圈闭^[1]。近年来, 随着油气勘探理论和技术的不断发展, 岩性油气藏在新发现的油气藏中所占比例越来越大, 在松辽、渤海湾、二连、鄂尔多斯、塔里木、准噶尔等盆地陆续发现了一批大中型岩性油气藏^[2]。国内学者对岩性油气藏成藏机制的研究也取得了一系列进展, 如利用实验方法证实砂岩-泥岩孔隙的毛细管力及烃源岩排烃压力综合控制了不同位置砂岩透镜体的油气充注^[3]。研究了超压系统内的油气聚集

机理^[4], 烃源岩内及烃源岩之下岩性油气藏成藏机制^[5], 对油气优势运移通道进行了物理模拟实验^[6]等。鄂尔多斯盆地东部上古生界除本溪组、太原组局部发育不整合侵蚀谷充填的地层圈闭和古地貌地层圈闭外, 其他层系主要发育砂岩透镜体及砂岩上倾尖灭的岩性圈闭。本文从天然气的烃源岩、储集层、盖层、运聚条件等方面对鄂尔多斯盆地东部上古生界气藏进行分析, 阐明其主要特征, 探讨其成藏模式。

1 地质概况

鄂尔多斯盆地东部地区处于伊陕斜坡西倾单斜东段(见图1), 该区上古生界含气层系包括石炭系本溪

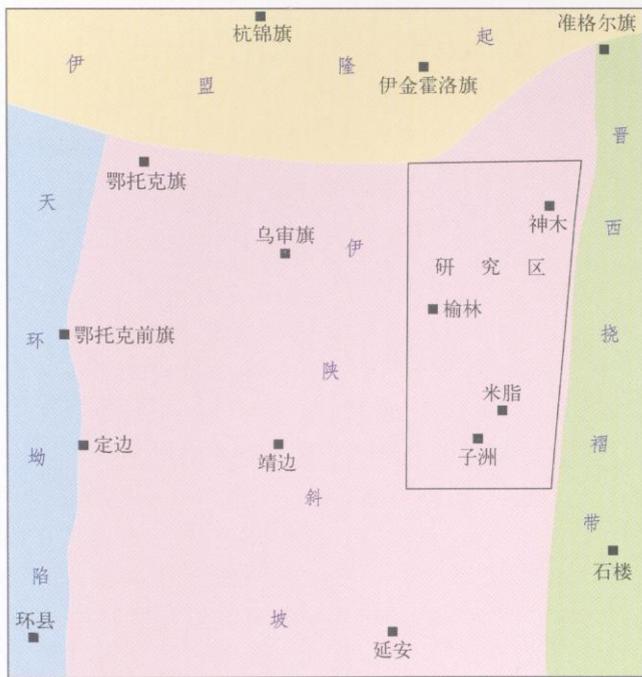


图1 研究区位置图

组,二叠系太原组、山西组、石盒子组及石千峰组等(见图2),为典型的多层系含气。垂向上,上古生界下部本溪组、太原组及山西组形成了自生自储的生储盖组合,下石盒子组储集层直接覆盖在山西组烃源岩之上,形成下生上储式的生储盖组合。而上石盒子组、石千峰组距离烃源岩较远,发育一套厚的泥质岩区域盖层,在局部砂岩发育地区形成了次生气藏。

2 气藏形成条件

2.1 气源特征

鄂尔多斯盆地本溪组—山西组沉积期气候温暖潮湿,灰黑色泥岩发育,为含煤地层,其中煤层、暗色泥岩及生物灰岩为该区的主要烃源岩。从下石盒子组沉积期至石千峰组沉积期气候逐渐变得干燥,植被稀少,泥岩虽发育,但有机质贫乏,不具有生烃能力。

本溪组—山西组烃源岩干酪根类型主要为II型,部分烃源岩的干酪根属于II型。有机质成熟度 R_o 值为1.5%~2.0%,达到成熟—高成熟阶段,属煤成气。烃源岩开始生烃的时间为三叠纪,早—中侏罗世开始

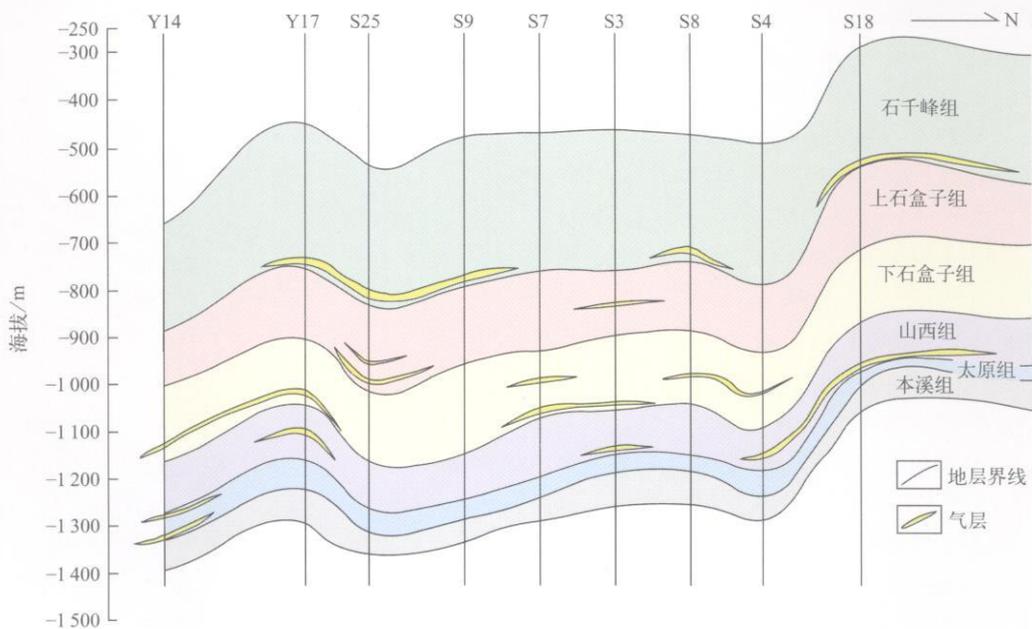


图2 鄂尔多斯盆地东部上古生界气藏剖面对比图

排烃,到晚侏罗世—早白垩世达到生排烃高峰期,其生气强度可达 $50 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,现今的排气强度可达 $40 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ [7]。本溪组—山西组煤层及泥岩分布面积广、稳定、巨厚、富含有机质,且处于生烃有利区附近,这为盆地东部上古生界气层多层系复合连片分布提供了物质基础,同时丰富的气源供给条件也为上部上石盒子组、石千峰组次生气藏的形成奠定了基础;通

过对不同井不同层位天然气同位素及组分分析后认为,石千峰组的天然气与山西组、石盒子组的天然气是同源的。受烃源岩内不同层位有机质成熟度差异的影响,从本溪组、太原组到山西组二段(山₂段),随着层位的升高,天然气组分中甲烷的含量逐渐降低,乙烷、丙烷、丁烷的含量却逐渐升高, $\delta^3\text{C}_1$ 值也逐渐变重(见表1、表2)。

表1 鄂尔多斯盆地东部上古生界天然气组分分析统计表

井号	层位	组分含量/%					
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	C ₄₊
S8	千 ₅ 段	97.990	1.254	0.270	0	0.140	
S25	千 ₅ 段	96.440	2.460	0.140	0.020	0.020	
S3	盒 ₈ 段	95.500	3.390	0.830	0.130	0.150	
S6	盒 ₈ 段	94.470	2.460	0.730	0.180	0.180	
Y9	山 ₁ 段	92.030	3.910	0.450	0.110	0.060	
Y32	山 ₂ 段	88.210	4.960	2.040	0.600	0.610	
M5	太原组	90.840	1.760	0.630		0.110	0.110
Y26	本溪组	97.400	1.460	0.210	0.120	0.040	0.042

表2 鄂尔多斯盆地东部上古生界碳同位素分析统计表

井号	层位	δ ³ C ₁ /‰	δ ³ C ₂ /‰	δ ³ C ₃ /‰	δ ³ C ₄ /‰
S5	千 ₅ 段	-37.02	-27.91	-26.26	-25.82
M5	千 ₅ 段	-36.16	-28.07	-24.77	-25.90
Y4	盒 ₈ 段	-35.03	-23.88	-21.51	-21.17
S1	盒 ₈ 段	-36.83	-24.98	-23.93	-23.36
T5	山 ₁ 段	-33.85	-23.73	-24.17	-22.36
Y10	山 ₂ 段	-33.85	-22.16	-20.50	-21.18
Y13	山 ₂ 段	-34.46	-22.94	-21.34	-20.70
Y12	太原组	-36.91	-23.66	-23.49	-23.75
ZC11	本溪组	-35.13	-21.42	-19.40	-20.11

2.2 储集层特征

致密砂岩是指孔隙度低(小于12.00%),渗透率比较低(小于 $1.00 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),砂岩孔喉半径一般小于 $0.5 \mu\text{m}$ 的砂岩^[8]。通过统计分析发现,鄂尔多斯盆地东部本溪组、太原组主要储集层以三角洲前缘亚相的水下分流河道砂体、混合沉积砂坝和障壁岛砂体为主,累计砂体厚度为5~10 m,砂岩类型以岩屑石英砂岩及石英砂岩为主,主要孔隙类型为粒间孔及岩屑溶孔,储集层段平均孔隙度为5.2%,平均渗透率为 $0.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。山西组及下石盒子组主要储集层为三角洲平原亚相的分流河道砂体及三角洲前缘亚相的水下分流河道砂体,累计砂体厚度为5~15 m,砂岩类型以岩屑石英砂岩及岩屑砂岩为主,主要孔隙类型为岩屑溶孔及晶间孔,储集层段平均孔隙度5.7%,平均渗透率 $0.53 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。上石盒子组及石千峰组以辫状河—三角洲砂体为主。其中上石盒子组累计砂体厚度为6~12 m,石千峰组累计砂体厚度为15~30 m,砂岩类型以岩屑长石砂岩及长石岩屑砂岩为主,主要孔隙类型为粒间孔及长石溶孔、粒间溶孔,储集层段平均孔隙度7.9%,平均渗透率 $1.16 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。总体上,本溪组至下石盒子组为致密砂岩,且物性变化不大^[7];上石盒子组及石千峰组储集层物性相对较好,为相对致密储集层。

造成研究区储集层致密的原因主要有:①砂岩发生机械压实作用,使原始孔隙减少约40%;②在成岩作用中晚期,黏土矿物的类型由无序的蒙脱石或蒙皂石向有序的伊利石、绿泥石转变,这些黏土矿物及自生矿

物的次生加大作用充填了部分孔隙及喉道,形成了网格式的微细孔喉结构,具有较高的毛细管力,由此演化成低渗透致密砂岩储集层^[8]。由目前在鄂尔多斯盆地东部上古生界已经发现的大气田来看,相对高渗砂体的展布控制着气藏的范围。

2.3 盖层特征

盆地东部上古生界区域盖层主要为上石盒子组及石千峰组的三角洲平原和前缘分流河道间湾的泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩等泥质岩类。其中上石盒子组泥质岩累计厚度为30~50 m,石千峰组泥质岩累计厚度为80~140 m。根据盆地东部160口井泥岩声波时差测井资料统计发现,三叠系刘家沟组底部进入欠压实泥岩地层,二叠系上石盒子组底部盒₄段普遍存在压力封闭高数值,山西组二段二亚段(山₂²)存在次压力封闭高数值(见图3)。根据欠压实层内平衡深度的理论分析,结合地层的沉积速率和厚度等资料^[9],可知盆地东部上古生界盒₄段欠压实泥岩盖层压力封闭开始

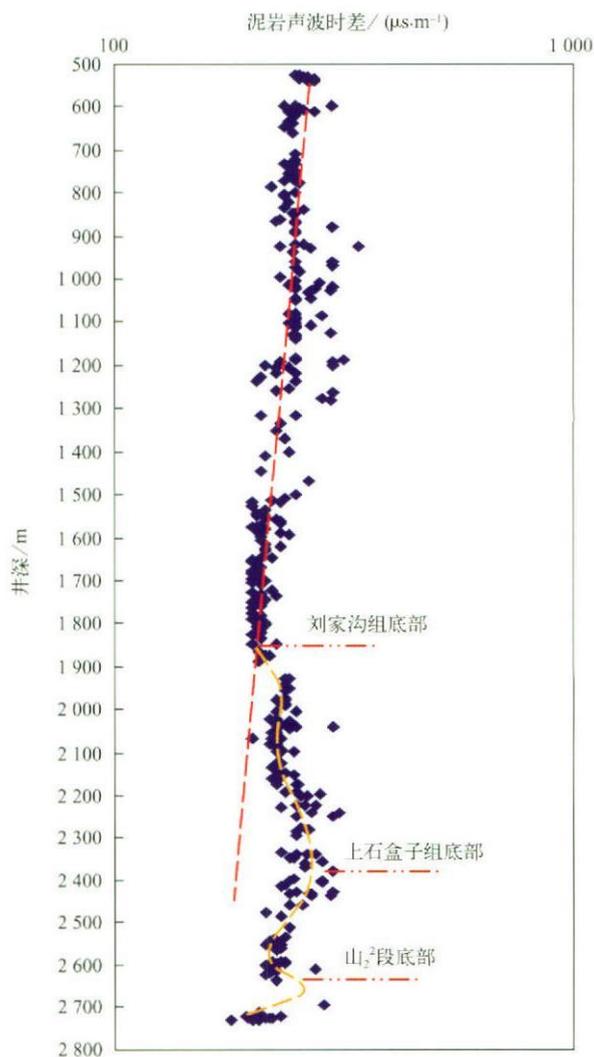


图3 榆25井泥岩声波时差测井与深度关系图

形成时期为晚三叠世末, S_2^2 段次压力封闭开始形成的时期为晚侏罗世中晚期。而根据泥岩声波时差与排替压力之间的关系, 得出石千峰组的物性封闭能力最强, 在气源充足、排驱压力较高时, 天然气可以经过微裂缝或微观封闭能力较差的输导层运移至石千峰组聚集成藏。

2.4 运聚特征

由研究区不同层位的样品组分及碳同位素分析(见表1、表2)可知, 由于天然气在运移过程中的分馏作用, 纵向上, 从 S_1 段到上部的 S_3 段, 天然气组分中甲烷的含量逐渐增加, 而乙烷、丙烷、丁烷的含量却逐渐降低, δ^3C_1 逐渐变轻。研究发现次生气藏的甲烷碳同位素主要分布于 $-38.5\% \sim -33.0\%$, 乙烷碳同位素主要分布于 $-28.5\% \sim -23.0\%$ ^[10], 石千峰组甲烷、乙烷碳同位素的值, 恰好处于这个范围(见表2)。另外, 盆地东部太原组、山西组的气藏地层压力一般都大于 22 MPa, 压力系数在 1.2 左右; 石盒子组气藏的地层压力在 20 MPa 左右, 压力系数大于 1.0; 而石千峰组气藏的地层压力小于 15 MPa, 个别气藏甚至为 7.1 MPa, 压力系数小于 1.0^[10]。从不同层系的压力变化分析, 次生气藏可能有两种成因: 在下部烃源岩供气有限的情况下, 山西组、石盒子组盖层封闭性较差, 天然气以扩散为主向上运移并聚集于不同的层位中, 需要长时间调整, 最终达到动态平衡, 层位越高, 聚集的量越少, 含气饱和度也越低, 形成了石千峰组低压气藏; 由于构造破坏或超压释放, 下部聚集的天然气以断裂、裂缝等为运移通道, 在较短时间内以脉冲式充注聚集, 在局部砂岩发育的地区形成低压次生气藏。所以, 不论从组分分析、碳同位素分析, 还是从气藏的压力分布特征上看, 上部层位的上石盒子组及石千峰组的气藏都属于次生气藏。

从本溪组到下石盒子组, 其输导层为河流-三角洲沉积环境下的网毯式砂岩, 致密砂岩的物性变化不大, 天然气二次运移与初次运移的条件基本相同^[11]。从上石盒子组到石千峰组, 输导层为小断层、裂缝以及河流-三角洲沉积环境下的网毯式砂岩, 致密砂岩物性相对变好。输导层不同决定了天然气二次运移的方式不同, 本溪组、太原组、山西组、下石盒子组天然气二次运移以侧向运移为主, 形成的气藏在平面上连片性好; 而石千峰组及上石盒子组天然气二次运移以垂向运移为主, 在输导层发育的地方形成“小而肥”的气藏。天然气运移的方式主要有两种, 一是以烃浓度差为驱动力, 天然气以扩散流的方式直接参与聚集成藏; 二是通过优势运移通道和有效运移空间以达西流的方式在较短的时间内聚集成藏。这两种方式参与了该区天然气运移的全

过程。第一种方式是一个渐变积累的过程, 第二种方式是突变过程, 突变往往对气藏的形成起关键作用。

3 致密岩性圈闭气藏成藏模式

从盆地东部上古生界流体包裹体的赋存状态及成分特征上看, 包裹体主要赋存于微裂缝中, 包裹体的颜色为浅灰黑色半透明状, 结合圈闭形成时间及烃源岩的主要生排烃时间等资料分析认为: 该区天然气运聚开始于早侏罗世末期, 主要集中在晚侏罗世中晚期及早白垩世中晚期^[12]。下部本溪组、太原组、山西组、下石盒子组的气藏形成时间主要为晚侏罗世早期—早白垩世末期, 而上石盒子组、石千峰组气藏的形成主要集中于晚侏罗世末期—早白垩世末期。结合国内对岩性油气藏等成藏机理的研究^[13-22], 对研究区分早侏罗世末期、晚侏罗世中晚期、早白垩世末期、早白垩世末期至今 4 个时期进行了成藏模式分析。

3.1 早侏罗世末期

早侏罗世末期(相当于印支运动 II 期—燕山运动 I 期), 烃源岩已经开始排烃。此时, 从圈闭形成到烃类排出已经经历了 100 Ma 左右的时间, 砂岩透镜体及其他岩性圈闭中早已被水充满, 烃类要进入储集层中, 必须同时有等量的水被排出, 而此时鄂尔多斯盆地构造演化格局以稳定拗陷整体升降运动为主, 缺少沟通砂体及烃源岩的大量断裂及裂缝, 因此源岩与储集层的接触关系使烃类只能以扩散流和渗透流的方式发生少量运移, 在烃源岩内部的储集层内局部充注。该时期, 上石盒子组底部异常压力封闭层已经形成。受到气源不充足及上石盒子组盖层封闭作用影响, 邻近烃源岩的储集层如下石盒子组 S_3 段, 仅部分孔渗条件相对好的储集层被烃类少量充注。

3.2 晚侏罗世中晚期

晚侏罗世中晚期(相当于燕山运动 II 期—III 期), 烃源岩内有机质成熟度进一步升高, 生烃量逐渐增加, 流体压力再次增高, 部分微裂缝再次开启, 发生二次大量排烃。此时, 受天然气大量形成及黏土矿物由蒙脱石向伊利石转换等影响, 在烃源岩内部的 S_2^2 段形成一个比上石盒子组 S_4 段异常孔隙流体压力相对低一些的封闭层。在此封闭层下部形成了主要向 S_2^3 段、太原组、本溪组储集层充注的排烃区。在 S_2^2 段封闭层及 S_4 段封闭层之间, 烃源岩孔隙中的烃类向上排出, 形成一个以向下石盒子组储集层充注为主的排烃区(见图3)。同时, 受拉萨板块与欧亚板块大陆碰撞以及古太平洋板块与欧亚板块碰撞的影响, 鄂尔多斯盆地主体抬升、隆起, 构造应力造成上石盒子组、石千峰

组超压释放,产生大量微裂隙,上石盒子组对下部天然气的超压封盖遮挡作用暂时性消失,早期储集在下部圈闭中的天然气随同烃源岩内的大量天然气突破下部盖层,在上石盒子组及石千峰组高渗储集层中聚集。

3.3 早白垩世末期

早白垩世末期(相当于燕山运动IV期),鄂尔多斯盆地处于应力松弛状态下的构造伸展格局下,盆地整体抬升剥蚀,上覆静压骤减,易脆泥岩伴随压力释放产生大量的高角度裂缝。同时盆地发生了明显的构造热事件,主要表现为地热梯度及大地热流值增高,烃源岩层内有机质成熟度达到最大值,供烃量急剧增加,源岩内流体压力再次升高,发生再次大量排烃,并向烃源岩内储集层中充注,为天然气运聚的又一重要时期。此时,随着供烃量增加,下石盒子组储集层中含气量也增加,同时逐渐调整,为上石盒子组及石千峰组提供烃类。

3.4 早白垩世末期至今

早白垩世末期至今鄂尔多斯盆地处于构造相对稳定阶段,烃源岩内生烃量大量减少,烃类以微弱的浮力及扩散流在已充注的岩性圈闭中局部调整,在微观封闭能力差的地方有少量散失。由于下石盒子组局部地区不发育异常压力,在浮力作用下,天然气从这些地区向上散失至石千峰组中,在毛细管阻力作用下聚集。早白垩世以来上覆岩层剥蚀也减少,形成了很好的宏观、微观泥质岩封盖能力。

4 结论

鄂尔多斯盆地东部上古生界上石盒子组、石千峰组的气藏属于次生气藏,其主要特点是甲烷组分含量高,重烃组分含量低,有机碳同位素明显降低,气藏压力系数低,优势运移通道主要为由于构造运动或超压释放形成的小断裂、微裂隙。

对研究区分早侏罗世末期、晚侏罗世中晚期、早白垩世末期、早白垩世末期至今4个时期进行成藏模式分析,认为晚侏罗世中晚期及早白垩世末期是盆地东部天然气成藏的关键时期。

受致密岩性圈闭气藏储集层物性差的影响,输导层不同决定了天然气二次运移的方式不同,本溪组、太原组、山西组、下石盒子组形成的天然气气藏在平面上连片性好,而石千峰组及上石盒子组天然气在输导层发育的地方常形成“小而肥”的气藏。

在勘探实践中,不仅要重视上古生界太原组、山西组的气藏,同时也要注意石千峰组气藏,虽然气藏压力较低,但埋藏浅(2 000 m左右),与其他层系复合连片

仍有勘探开发的潜力。

参考文献:

- [1] 赵文智,何登发,李小地,等.石油地质综合研究导论[M].北京:石油工业出版社,1999.366-368.
Zhao Wenzhi, He Dengfa, Li Xiaodi, et al. An introduction to the integrated study on petroleum geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. 366-368.
- [2] 勘探与生产分公司.岩性地层油气藏勘探理论与实践[M].北京:石油工业出版社,2005.
Petroleum Exploration & Production Company. Exploration theology and practice of litho-stratigraphic oil and gas pool[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005.
- [3] 陈章明,张云峰,韩有信,等.凸镜状砂体聚油模拟实验及其机理分析[J].石油实验地质,1998,20(2):166-170.
Chen Zhangming, Zhang Yunfeng, Han Youxin, et al. A modeling experiment and mechanism analysis of oil accumulation in pod-like sandbody [J]. Experimental Petroleum Geology, 1998, 20(2): 166-170.
- [4] 郝芳,董伟良.沉积盆地超压系统演化、流体流动与成藏机理[J].地球科学进展,2001,16(1):79-85.
Hao Fang, Dong Weiliang. Evolution of fluid flow and petroleum accumulation in overpressured systems in sedimentary basins[J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(1): 79-85.
- [5] 王西文,刘全新,吕焕通,等.储集层预测技术在岩性油气藏勘探开发中的应用[J].石油勘探与开发,2006,33(2):189-193.
Wang Xiwen, Liu Quanxin, Lü Huantong, et al. Application of reservoir prediction technique in the exploration and development of lithologic oil-gas reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(2): 189-193.
- [6] 姜振学,庞雄奇,曾溅辉,等.油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究[J].地学前缘,2005,12(4):507-516.
Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi, Zeng Jianhui, et al. Research on types of the dominant migration pathways and their physical simulation experiments[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4): 507-516.
- [7] 何自新.鄂尔多斯盆地演化与油气[M].北京:石油工业出版社,2003.
He Zixin. Evolution and hydrocarbon in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [8] 杨晓宁,张惠良,朱国华.致密砂岩的形成机制及其地质意义——以塔里木盆地英南2井为例[J].海相油气地质,2005,10(1):31-35.
Yang Xiaoning, Zhang Hui liang, Zhu Guohua. Formation mechanism and geological implication of tight sandstones: A case

- of well YN-2 in Tarim Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2005, 10(1): 31-35.
- [9] 庞雄奇. 地质过程定量模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 275-281.
- Pang Xiongqi. Quantitative modeling of geological processes[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003. 275-281.
- [10] 袁际华, 柳广第. 鄂尔多斯盆地上古生界异常低压分布特征及形成过程[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 792-799.
- Yuan Jihua, Liu Guangdi. Distribution characteristics and formation processes of Upper Paleozoic abnormally low pressure zones in Ordos basin[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 792-799.
- [11] 姜振学, 林世国, 庞雄奇. 两种类型致密砂岩气藏对比[J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 210-214.
- Jiang Zhenxue, Lin Shiguo, Pang Xiongqi. The comparison of two types of tight sand gas reservoir[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(3): 210-214.
- [12] 李明瑞, 窦伟坦, 简宏斌, 等. 鄂尔多斯盆地神木地区上古生界盖层物性封闭能力与石千峰组有利区域预测[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(5): 21-25.
- Li Mingrui, Dou Weitan, Jian Hongbin, et al. Evaluation on physical property sealing ability of Upper Paleozoic caprocks and favorable range predication of Shiqianfeng formation in the Shenmu block of Ordos basin[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(5): 21-25.
- [13] 黄志龙, 高岗, 刚文哲. 川西平落坝气田原生与次生气藏烃类组成特征[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(2): 116-119.
- Huang Zhilong, Gao Gang, Gang Wenzhe. Hydrocarbon characteristics of primary and secondary gas accumulation in Pingluoba gas field in western Sichuan [J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(2): 116-119.
- [14] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- Li Mingcheng. Migration of oil and gas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [15] 闵琪, 付金华, 席胜利, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气运移聚集特征[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 26-29.
- Min Qi, Fu Jinhua, Xi Shengli, et al. Characteristics of natural gas migration and accumulation in the Upper Paleozoic of Ordos basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(4): 26-29.
- [16] 赵文智, 邹才能, 谷志东, 等. 砂岩透镜体油气成藏机理初探[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 273-284.
- Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Gu Zhidong, et al. Preliminary discussion on accumulation mechanism of sand lens reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 273-284.
- [17] 赵靖舟. 幕式成藏的机理和规律探讨[J]. 天然气工业, 2006, 26(3): 9-11.
- Zhao Jingzhou. Mechanism and regularity of episodic reservoiring [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(3): 9-11.
- [18] 贾承造, 赵文智, 邹才能, 等. 岩性地层油气藏地质理论与勘探技术[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 257-272.
- Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, et al. Geological theory and exploration technology for lithostratigraphic hydrocarbon reservoirs [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 257-272.
- [19] 戴金星, 王庭斌, 宋岩, 等. 中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- Dai Jinxing, Wang Tingbin, Song Yan, et al. Formation and distribution of medium-large-sized gas fields in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.
- [20] 周广胜, 彭仕宓, 张秀丽, 等. 中国大中型气田断裂和砂体输导特征对比[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 653-657.
- Zhou Guangsheng, Peng Shimu, Zhang Xiuli, et al. Contrast of transporting characteristics between faults and sandbodies of medium and large gas fields in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(6): 653-657.
- [21] 马新华. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆地气特点与成藏机理探讨[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 231-236.
- Ma Xinhua. Discussion on characteristics and reservoiring mechanism of deep basin gas in Upper Paleozoic in Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2): 231-236.
- [22] 李多丽, 关平. 中国油气二次运移的研究现状及展望[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2004, 40(4): 658-665.
- Li Duoli, Guan Ping. Research situation and prospect of hydrocarbon migration in China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2004, 40(4): 658-665.

第一作者简介: 李明瑞(1975-), 男, 内蒙古商都人, 中国石油长庆油田公司勘探部工程师, 主要从事油气地质勘探研究与生产工作。地址: 陕西省西安市兴隆园小区, 长庆油田公司勘探部, 邮政编码: 710021。E-mail: lmrui_cq@petrochina.com.cn

收稿日期: 2007-06-21 修回日期: 2008-08-10

(编辑 黄昌武 绘图 李秀贤)