文章编号: 1009-3850(2010)04-0024-05

鄂尔多斯盆地上古生界泥岩在油气成藏中的作用

王 伟, 崔晓朵

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 泥岩可以作为烃源岩提供油气来源,也可以作为盖层保存油气。此外,泥岩在形成异常超压、控制地层流体分布方面也有着特殊的作用,对油气成藏有着非常重要的意义。鄂尔多斯盆地整体处于低压状态,但受泥岩排烃、欠压实影响,局部地层超压。由于区域上的直接盖层厚度较小,超压泥岩是区域油气保存的重要保障,预示着油气勘探的有利区带。盆地地层水外来补给较少,受厚层泥岩的封堵作用,矿化度和 pH 值整体较高,造成本区成岩作用阶段明显晚于同期同深度的其它区域地层。后期受泥岩中粘土矿物脱水作用影响,泥岩中的水释放使地层水矿化度有所降低,也形成了本区特殊的气水倒置的成藏结构。

关 键 词: 泥岩盖层; 气水倒置; 地层水; 超压; 溶蚀孔隙

中图分类号: TE122.1+2 **文献标识码**: A

泥岩是一种层理或页理不明显的粘土岩,矿物成分复杂,主要由粘土矿物(水云母、高岭石、蒙脱石等)组成,其次为碎屑矿物(石英、长石、云母等)、后生矿物(如绿帘石、绿泥石等)以及铁锰质和有机质。鄂尔多斯盆地上古生界地层中泥岩的成分主要为高岭石、伊利石,其次为黄铁矿、菱铁矿以及有机质等[1~3]。颜色多为灰色、深灰色、灰黑色,岩芯和野外剖面观察发现泥岩中多见黄铁矿晶体和菱铁矿结核及条带,泥岩 Sr/Ba 小于 0.5[4],反映其沉积环境为潮湿气候下的陆相淡水弱还原-还原环境。上古生界特别是山西组煤层的大面积分布,表明该时期沼泽较发育,水体较浅。

泥质沉积物的压实程度比砂质沉积物大,孔隙度变化也大[5]。因此富含有机质的泥岩层可以作为生油层排烃向上部或向下部的储层中运移[6]。发育在储层之上的泥岩可以作为盖层对油气封堵,在合适的条件下甚至可以作为储层,如胜利油田在罗家、永安镇、高青、大北等地区相继发现了泥岩裂缝油气藏[7]。因此,泥岩在油气成藏的过程中都起着不可或缺的作用。笔者通过对鄂尔多斯盆地山西组地层中泥岩的研究,着重探讨泥岩同异常超压和地层流体性质二者之间的关系。

1 泥岩和异常超压

泥岩在正常埋藏压实过程中,骨架中的水和流体排出。如果岩层足够厚[8]或者由于压力封闭和毛细管封闭的共同作用,流体没有及时排出而得以保留,就会形成异常压力[9]。此外不均衡压实、水热增压、粘土矿物脱水[10]、侧向挤压地应力、干酪根成熟生烃作用和液态烃的裂解、构造抬升、烃类散失量大于烃类聚集量等多因素综合作用也可能会造成地层异常压力的形成。由于异常压力的形成条件同油气成藏有着密切的关系,因此在油气勘探中历来受到高度重视。

研究表明[5-15],鄂尔多斯盆地上古生界地层以异常低压和低压为主,超压较少,这是由于盆地特殊的构造和沉积背景造成的。早白垩世末以来,盆地大范围抬升遭受剥蚀,泥质烃源岩因埋深变浅而终止生烃,地温梯度也大幅降低。随着天然气散失,地层逐渐形成现今在气水密度差的影响下呈现出的负

收稿日期: 2010-03-15; **改回日期**: 2010-07-24
作者简介: 王伟(1981-), 工程师 油气藏勘探开发专业。E-mail: kinvey@163.com

压状态。而实际上盆地整体低压的状态并不意味着没有超压地层的存在。盆地内大型的油气藏都跟超压有着或多或少的联系[11],特别是同超压泥岩的作用密不可分。

同碎屑岩储层中的异常高压不同,泥岩异常高压的主要作用是显著提高盖层的封闭能力。这种超压盖层不仅有较强的封闭游离相烃类的能力,同时也能阻止水溶烃、扩散烃的逸失。鄂尔多斯盆地上古生界气藏泥质岩直接盖层的扩散系数[12]为 10^{-7} ~ $10^{-8}cm^2/s$,属中等级别的盖层,天然气可以发生扩散和渗透。与油藏相比,天然气藏对储层条件要求低,而对盖层条件要求高[13]。相较于其它地区的气藏本区盖层厚度不大(表 1),那么盆地内众多大型气藏又是如何形成的呢?

表 1　不同气藏盖层厚度和相关参数对比(据[19])

Table 1　Correlation of the thickness of the gas pools and relevant parameters (after Lu Yanfang et al., 2005)

地区	厚度/m	压力系数	排替压力/MPA
榆林	60	0.96	13
克拉 2	300	2.25	28
台南	1012	1.14	23
平湖	170	1.58	11
春晓	380	1	11
苏里格	20	0.93	14.4
靖边	28	0.94	14

事实上,鄂尔多斯盆地上古生界气藏自形成后至今,天然气散失作用始终存在[11],只是不同地区的散失量有差异。通过对鄂尔多斯盆地北部上古生界 5091 个样品的分析表明,储层孔隙度为 2% ~ 10%,渗透率为 $0.4\times10^{-3}\mu m^2$ 以下[14],属于典型的低孔低渗致密砂岩储层。由于本区砂岩致密,储层渗透率较小,天然气在储层中的运移效率受到一定程度的限制。此外,气藏直接盖层的厚度虽然不大,但是由气源向圈闭聚集的过程不可忽视。

上古生界沉积时期,整个鄂尔多斯盆地进入相对稳定沉降阶段,山西组下部地层砂体沉积较厚,在横向上有着很好的连续性,沉积相带展布均匀,气层分布稳定,是区内的主要储集砂体。山西组沉积晚期发生较大规模的湖侵,特别是在南部地区,湖相分布稳定,发育厚层的泥岩沉积层。根据研究[15-16],靖边气田山 1 段地层的砂地比在 10% ~20% 左右,榆林气田附近的砂地比为 20% ~50% 左右。这就意味着作为区域盖层,靖边气田山 1 组地层的封堵能力要大大高于榆林气田,而实际上靖边气田的探明储量也远大于榆林气田[13~20],但其上部地层石盒子组天然气产量则比后者小,这充分表明了泥岩封堵有效性的差异对油气成藏的重要作用。同样,随着山 2^2 时期的水进,榆林气田南区湖相泥岩连片发育,而北区由于处于构造高部位,水体较浅,泥岩连片性相对较差。直接结果就是榆林南区建产一直高于北区[17, 18]。也就是说从气源到气藏之间的泥岩地层厚度弥补了直接盖层厚度的不足。

当然,超压泥岩盖层是更重要的因素。王勇等人[20]利用上古生界泥岩压实曲线定性预测靖边气田的单井无阻流量总符合率达到 74.3%;经对刚完试的开发井检验其符合率为 73.8% 就表明了这一点。总的来说,异常高压可以为油气勘探提供直接目标,而通过分析异常低压产生的原因和背景,也可以找到油气运移的方向从而确定油气来源或者油气现今聚集带[21]。

2　泥岩同地层流体的关系

鄂尔多斯盆地构造相对简单,北高南低,是一个继承性的克拉通沉积盆地,北部为伊盟古陆,南部为近海内陆湖泊,其内部很少发育应力构造,多形成上倾致密遮挡或岩性差异压实造成的岩性油气藏。由于古生界时期气候温度较低,鄂尔多斯盆地的地层水补给偏少[22]。

鄂尔多斯盆地上古生界储层流体[4,15]以 NaCl-H_2O 盐水体系为主,含少量 $CaCl_2$-H_2O 或 NaCl-$MgCl_2$-H_2O 体系。NaCl-H_2O 盐水体系的盐度较高,反映研究区上古生界储层处于相对封闭的环境中,这同厚层的泥质岩层不无关系。作为区域盖层,泥岩不仅对区域储层形成封堵,也使得储层中的地层流体处于相对封闭的环境中。

泥岩对地层流体性质的影响主要表现在其对成岩作用的影响,鄂尔多斯盆地上古生界地层储层埋藏深度大致在 2650 ~3050m,岩石古地温较低[23],在 90 ~110℃之间。本区发育的成岩作用类型主要有机械压实作用、压溶作用,胶结作用(包括硅质胶结作用、碳酸盐胶结作用和粘土矿物胶结作用)、交代作用、溶解作用,另外还有粘土杂基的充填作用。储层岩石填隙物成分包括自生胶结物与杂基,自生胶结物类型较多,有高岭石、自生石英、菱铁矿和碳酸盐矿物(图 1),由下至上自生矿物的含量有所不同,总体来看,从下向上高岭石、自生石英和碳酸盐矿物含量逐渐减少,这就意味着下部地层水矿化度较高,而且地层长时间保持酸性条件[24]。

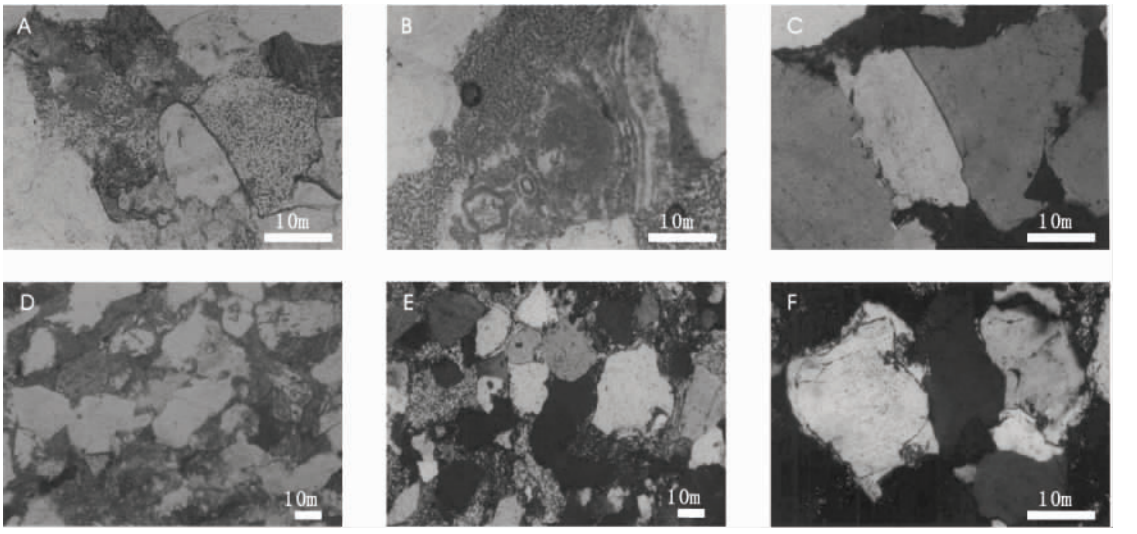

图1 上古生界地层普遍发育的粘土矿物转化和溶蚀作用

A: 岩屑石英砂岩,部分岩屑高岭石化,形成少量晶间孔; 陕224井,3323.06m,山1段,×100(-); B: 粗粒石英砂岩,含燧石,岩屑高岭石化; 陕186井,3108.45m,山2段,×100(-); C: 粗粒石英砂岩,颗粒间锯齿状接触,见伊利石,G25-16井,3240.34m,山2段,×100(+); D: 中-粗粒岩屑砂岩,绿泥石化强烈,陕192井,2978.5m,盒8段,×40(-); E: 含砾岩屑石英砂岩,伊利石充填孔隙,陕238井,3141.11m,盒8段,×40(+); F: 石英加大边,榆19井,2015m,山1段,×100(+)

Fig. 1 Wide-spread transition and dissolution of the clay minerals from the Upper Palaeozoic strata

A. Lithic quartz sandstone with locally kaolinized lithoclastics and a small amount of intercrystall pores, 3323.06 m in the Shan-224 well in the 1st member of the Shanxi Formation, plane-polarized light, ×100; B. Chert-bearing coarse-grained quartz sandstone with kaolinized lithoclastics, 3108.45 m in the Shaan-186 well in the 2nd member of the Shanxi Formation, plane-polarized light, ×100; C. Coarse-grained quartz sandstone with illite, 3240.34 m in the G25-16 well in the 2nd member of the Shanxi Formation, cross-polarized light, ×100; D. Highly chloritized medium- to coarse-grained lithic sandstone, 2978.5 m in the Shaan-192 well in the 8th member of the Shihezi Formation, plane-polarized light, ×40; E. Gravel-bearing lithic quartz sandstone with the pores filled by illite, 3141.11 m in the Shaan-238 well in the 8th member of the Shihezi Formation, cross-polarized light, ×40; F. Quartz overgrowth, 2015 m in the Yu-19 well in the 1st member of the Shanxi Formation, cross-polarized light, ×100

本区古生界地层埋深在3200m以下,地温梯度相对较低,处于中成岩B期-晚成岩A2期[25-28],而相同埋深的济阳凹陷地层却处于晚成岩A1期[29]。这是什么原因造成的呢?

封闭体系内,在没有外来流体补充的情况下,圈闭中的流体来源主要是烃类和储层中的原始地层水,二者相对稳定。此外还有粘土矿物转化产生的结晶水,这是油气成藏过程中最主要的地层水来源,而这些结晶水主要是由泥岩中的蒙脱石脱水造成的,由于粘土矿物脱水量相当大[10-25],而且上部泥岩的脱水作用发生在油气成藏之后,推测同本区气水倒置的成藏模式有一定关系。在相同沉积环境的沉积物中,由于离子渗滤作用的结果,含盐量可随压实作用而增加。鄂尔多斯盆地地层水由于相对封闭而且缺乏补给,因此矿化度相对较高。在地层饱含高矿化度地层水的条件下,岩石突破压力大幅度地提高、扩散系数大幅度地下降,从而使渗透作用和扩散作用同时受到抑制,直至达到平衡。在这个过程中,泥岩中的粘土矿物、微量元素等也会被渗流流到储层中,进而影响储层流体的性质[30]。上部的泥岩欠压实带由于压实作用相对较弱,流体得以保存,地层水矿化度相对较低。

泥岩中丰富的有机质在热演化中必然不断生成有机酸等物质对碳酸盐矿物进行溶蚀,进而改善泥岩和储层的孔隙状况。泥岩中被溶蚀的物质主要是碳酸盐矿物,泥岩中的酸性溶液主要依靠自身内部物质的供给,所以它与泥岩中是否含有丰富的有机质有关。有机质含量高的泥岩,其碳酸盐含量往往也高,这些较高的碳酸盐含量可为改变后期孔隙结构提供物质基础。

对鄂尔多斯盆地中部气田92个古生界地层水样的统计分析表明[31],其平均矿化度达109.5g/l,远高于海水的盐度35g/l,达卤水级,明显反映出本区总矿化度高的特点。不同层位总矿化度也存在明显差异,总体来说自下向上地层水矿化度呈现逐渐降低的趋势[15,27]。这种较高的矿化度显示下部地

层的溶蚀作用相对强烈。统计表明[24,32]，上古生界地层水 pH 值介于 3.7 ~8.7 之间，属于偏酸性-弱碱性，pH 值以 5 ~6.5 为主(偏酸性-酸性)，显示地层流体性质同该区高的总矿化度有关[24,32]。

3　结论

(1) 鄂尔多斯盆地在整体低压背景下，直接盖层厚度较小，大型油气藏的形成主要是靠欠压实的泥岩封堵作用形成有效的盖层;

(2) 盆地地温较低，同其它盆地相比相同埋深和层位成岩作用阶段明显较晚，但溶蚀作用广泛发育，主要是受超压泥岩较好的封堵作用造成的;

(3) 由于泥岩封堵作用，地层水矿化度较高，长期保持酸性状态，有利于次生孔隙的形成。

参考文献:

[1] 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 -23.

[2] 付金华，魏新善，石晓英. 鄂尔多斯盆地榆林气田天然气成藏地质条件[J]. 天然气工业，2005，25(4)：9 -11.

[3] 王震亮，张立宽，孙明亮，等. 鄂尔多斯盆地神木-榆林地区上石盒子组-石千峰组天然气成藏机理[J]. 石油学报，2004，25(3)：37 -43.

[4] 樊爱萍. 西北大学，鄂尔多斯盆地上古生界储层流体包裹体研究[D]. 2004，10 -25.

[5] 张厚福，张万选. 石油地质学(第二版) [M]. 北京：石油工业出版社，1989. 120 -150 .

[6] 王金鹏，彭仕宓，管志强，等. 柴达木盆地第四系生物气藏泥岩盖层封闭机理[J]. 西南石油大学学报，2007，29(6)：63 -67.

[7] 李时涛，王宣龙，项建新. 泥岩裂缝储层测井解释方法研究[J]. 特种油气藏，2004，11(6)：12 -15.

[8] BERG R R，GANGI A F. Primary migration by oil-generation microfracturing in low-permeability source rocks: application to the Austin chalk，Texas[J]. AAPG Bulletin，1999，83(5)：727 -756.

[9] 真柄钦次著，陈荷立，邱世祥，汤锡元等译. 石油科学进展 9: 压实与流体运移[M]. 北京: 石油工业出版社，1981. 120 -160.

[10] 苗建宇，祝总祺，刘文荣，等. 泥岩有机质的赋存状态与油气初次运移的关系[J]. 沉积学报，2004，22(1)：169 -174.

[11] 袁际华，柳广弟. 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.

[12] 刘文彬，罗大恒，伏万军. 陕甘宁盆地上古生界天然气泥质岩直接盖层的扩散系数研究[J]. 天然气地球科学，1996，7(1)：30 -33.

[13] 蒋有录. 气藏与油藏形成和保存条件差异问题讨论[J]. 天然气地球科学，1998，9(2)：1 -4.

[14] 丁晓琪，张哨楠，周文，等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩储层特征及其成因探讨[J]，2007，28(4)：491 -496.

[15] 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十二)[M]. 北京：石油工业出版社，1992. 40 -60.

[16] 张晓丽. 鄂尔多斯盆地中部上古生界沉积相演化[J]，地球科学与环境学报，2005，27(3)：26 -29.

[17] 刘锐娥，孙粉锦，张满郎. 鄂尔多斯盆地北部上古生界储集岩的化学分类及储集性评价[J]. 天然气地球科学，2003，14(3)：196 -199.

[18] 韩申庭，杨华，王大兴，等. 鄂尔多斯盆地榆林区山西组砂岩气藏岩性地震勘探[J]. 天然气工业，1998，18(5)：10 -13.

[19] 吕延防，付广，于丹. 中国大中型气田盖层封盖能力综合评价及其对成藏的贡献[J]. 石油与天然气地质，2005，26(6)：742 -753.

[20] 王勇，梁铭，达世攀. 利用泥岩压实曲线特征预测靖边气田高产区带[J]. 天然气工业，2005；25(4)：47 -49.

[21] 李仲东，郝蜀民，李良，等. 鄂尔多斯盆地上古生界压力封存箱与天然气的富集规律[J]. 2007，28(4)：466 -472.

[22] 黄冠星，孙继朝，齐继祥，等. 鄂尔多斯地下水同位素组成与气候变化关系[J]. 地球学报，2007，28(6)：550 -554.

[23] 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京: 石油工业出版社，1999. 67 -90.

[24] 王伟，纪友亮，张善文，等. 胜利油区古近系地层水性质对储层物性的影响[J]. 高校地质学报，2007，13(4)：714 -721.

[25] 李熙喆，张满郎，谢武仁，等. 鄂尔多斯盆地上古生界层序格架内的成岩作用[J]. 沉积学报，2007，25(6)：921 -932.

[26] 李士祥，胡明毅，李霞. 榆林气田山西组 2 段砂岩成岩作用及孔隙演化[J]. 天然气地球科学，2005，16(2)：200 -205.

[27] 朱宏权，张哨楠. 鄂尔多斯盆地北部上古生界储层成岩作用[J]. 天然气工业，2004，24(2)：29 -32.

[28] 王伟，张欣，张丽艳. 蒙古国宗巴音油田查干组沉积相研究[J]. 天然气勘探与开发，2010，33(3)：1 -9.

[29] 钱峥，李淳，李跃，等. 济阳坳陷深层砂岩储层成岩作用及其阶段划分[J]. 石油大学学报(自然科学版)，1996，20(2)：6 -11.

[30] 寿剑锋，张惠亮，斯春松等. 砂岩动力成岩作用[M]. 北京: 石油工业出版社，2005. 34 -78.

[31] 李贤庆，侯读杰，胡国艺，等. 鄂尔多斯盆地中部气田地层流体特征与天然气成藏[M]. 北京：地质出版社，2005. 20 -55.

[32] HANOR J S. Physicial and chemical controls on the composion of waters in sedimentary basins [J]. Marine and Petroleum Geology，1994，11(1)：31 -45.

Role of the Upper Palaeozoic mudstones in the hydrocarbon accumulation in the Ordos Basin

WANG Wei, CUI Xiao-duo

(*Research Institute of Geological Sciences*, *Shengli Oil Field Company*, *SINOPEC*, *Dongying* 257015, *Shandong*, *China*)

Abstract: The mudstones as the source rocks to provide oil and gas for the reservoir rocks and also as the cap rocks to preserve oil and gas have important implications for hydrocarbon accumulation due to their special role in the controls of abnormal overpressure and fluid distribution. The present paper deals with the mudstone distribution and its bearings on formation fluids. On the whole, the formation pressure is relatively low in the Ordos Basin. However, the overpressure often appears in local parts due to hydrocarbon expulsion and undercompaction. The overpressured mudstone may act as important seal rocks for regional hydrocarbon preservation, and indicate the favourable zones for oil and gas exploration. Due to the sealing of thick mudstones, higher mineralization degree and pH values are responsible for later diagenesis in this region than the equivalents in other regions. Moreover, the dehydration of clay minerals may lead to the decrease of the mineralization degree in formation water and thus contribute to the formation of the special inverse gas-water reservoir architectures in the study area.

Key words: mudstone overburden; inverse gas-water reservoir architectures; formation water; overpressure; solution openings