

文章编号: 0253-9985(2007)04-0466-07

鄂尔多斯盆地上古生界压力封存箱 与天然气的富集规律

李仲东¹, 郝蜀民², 李良², 惠宽洋², 过敏¹, 王震¹

(1. 成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川 成都 610059

2. 中国石化 华北油田分公司, 河南 郑州 450006)

摘要: 根据鄂尔多斯盆地北部沉积埋藏史、成烃史、地热史和烃类包裹体分析、地层剥蚀厚度、沉积速度等资料, 结合鄂尔多斯盆地上古生界普遍低压异常、储层致密、构造简单、含气层分散、天然气聚集受封存箱控制的特点, 对盆地北部上古生界异常压力分布规律、压力成因及演化历史的研究认为, 该区上古生界具备压力封存箱发育的地质环境。压力封存箱区域分布的特点是上古生界为一个高低压相间共存的复杂压力封存箱型含气系统, 储层属异常低压-常压, 泥岩仍保持幅度不等的高压。压力封存箱的形状、内幕结构、箱内砂泥岩的配置关系控制了箱内天然气藏的分布。

关键词: 上古生界; 压力封存箱; 箱内天然气分布规律; 鄂尔多斯盆地北部

中图分类号: TE112.1 **文献标识码:** A

Compartments in the Upper Paleozoic of northern Ordos basin and their relationship with gas enrichment

Li Zhongdong¹, Hao Shumin², Li Liang², Hui Kuanyang², Guo Min¹, Wang Zhen¹

(1. State Key Lab of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu,

Sichuan 610059 2. SINOPEC North China Company, Zhengzhou, Henan 450006)

Abstract Based on previous research data of sedimentary burial history, hydrocarbon-generating history, geothermal history, inclusion analysis, denuded thickness, deposition velocity, and etc., in the northern Ordos basin, a study is initiated with the aim of understanding the pattern of abnormal pressure distribution, and the genesis and evolution of pressure in the Upper Paleozoic of the basin by combining its characteristics of universal low abnormal pressure, tight reservoirs, simple structures, dispersed gas pays, and compartment-controlled gas accumulation. The results confirm the existence of favorable geological conditions for developing compartments in the Upper Paleozoic of the basin. The Upper Paleozoic is recognized to be a complicate gas system with high and low pressure coexisted in compartments, i.e. the reservoir belongs to normal pressure-abnormal low pressure, while the mudstone still maintains high pressure. The study also suggests that the shape, inner structure, and sandstone-mudstone relationship of the compartment decide the distribution of gas reservoirs in the compartment.

Key words Upper Paleozoic; pressure compartment; gas distribution inside compartment; northern Ordos basin

异常地层压力往往在含油气盆地深部出现, 据不完全统计, 世界 180 个沉积盆地中存在着异常压力封存箱^[1, 2], 异常压力封存箱是一个封闭的水动力系统 and 物理化学系统, 是油气生成、运移、

聚集的基本单元, 研究盆地中的压力封存箱的分布及特征对于了解地下流体压力的分布、流体的运移、油气的聚集、含油气系统的划分, 尤其是对研究异常流体压力封存箱的成藏动力学特征、成

收稿日期: 2007-06-08

第一作者简介: 李仲东 (1958-), 男, 教授, 博士, 石油工程

基金项目: 国家 973 煤层气项目 (2002CB211705) 资助

藏规律具有重要意义^[3]。

含油气盆地异常高压最为常见,研究也比较深入^[4~6]含油气盆地低压异常比较少见,龚再升(1991)曾对世界上160多个油气田统计,显示异常压力油气田占59.5%(高压约占47.7%。低压约占11.8%)^[7]。所以对低压及低压力封存箱的研究也显得很薄弱。

鄂尔多斯盆地上古生界是一个典型的低压异常气藏,近年来有许多学者从不同角度研究其上古生界气藏的低压异常特征,刘孝汉等(1989)初步分析了上古生界气水分布和地层压力的关系^[8];刘宝宪等(2002)、王飞雁等(2004)研究了上古生界地层压力特征及低压的成因^[9 10];王震亮等(1998)分析了上古生界压力形成过程^[11],王震亮等(2004)、袁际华等(2005)恢复了压力演化历史^[12 13]。总结其研究成果认为:1)鄂尔多斯盆地上古生界储层总体以低压和异常低压为主;2)泥岩非均衡压实作用、生烃作用是形成高孔隙流体压力的主要原因;3)烃类包裹体分析资料证实,上古生界在地质历史中出现过古高压,古压力系数为1.35~1.79,也存在地层压力增高与降低的演化过程;4)现今低异常压力主要是后期地层抬升剥蚀的结果。但把上古生界气藏作为一个统一的压力封存箱,对压力封存箱的形态、封存箱的内幕结构、封存箱的演化及其与箱内气藏分布规律等方面研究报道甚少。笔者根据研究区大量详实的砂泥岩压实资料所反映的上古生界压力封存箱宏观分布及内幕结构特征,分析了压力封存箱的形成环境及箱内天然气分布特点,揭示了上古生界压力封存箱成藏特征,预测了气藏分布规律。

1 基本地质概况

鄂尔多斯盆地属稳定的克拉通内部盆地,盆地内部构造稳定,仅在燕山运动作用下东部抬升,形成一个宽缓的西倾大单斜,盆地南北方向近乎水平,向北有少量抬升,到伊盟隆起迅速抬升。上古生界从老到新依次发育有:中石炭统本溪组(C_2b)、晚石炭统太原组(C_3t)、下二叠统山西组(P_1s)和下石盒子组(P_{1x})、上二叠统上石盒子组(P_2s)和石千峰组等地层。其气源岩主要为太原组、山西组海陆过渡相至陆相的煤及暗色泥岩,印支旋回开始进入生烃阶段,燕山旋回中期(侏罗

纪),烃源岩埋深达3 000 m左右,盆地内大部分地区均进入大量生气阶段,早白垩世末,烃源岩埋深达3 900 m左右,进入湿气阶段。沉积方面,上古生代发育多条三角洲平原分流河道储集砂体,持续来自北部的物源供应,使沉积物北粗南细,砂体近南北向展布,砂体两侧为支间湾的泥岩,决定了连通砂体储层分布范围有限,气藏多为岩性尖灭或“透镜”状圈闭。上古生界上部发育有大面积分布的上石盒子组区域性盖层,泥岩厚度100~160 m,兼之盆地内部断层不发育,其垂向封盖能力十分良好^[14]。

目前,在上古生界已发现苏里格、榆林、大牛地等大型气田(控制储量大于 $1\ 000\times 10^8\text{ m}^3$),气层分别为太原组、山西组山1、2段和下石盒子组盒1、2、3段(注:中国石油长庆分公司与中国石化华北分公司在石炭-二叠系的地层划分中略有不同,为了不产生误解,原则上不修改现场的分层。所以,论文中中国石化的盒3、盒2段相当于中国石油盒5~7,盒1段相当于盒8段,中国石化山1、山2段相当于中国石油的山2、山1段)。总体上属低孔、低渗型致密储层,非均质性强,平均孔隙度5.6%~7.8%,平均渗透率 $0.339\times 10^{-3}\sim 1.111\times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$ 。储层含气普遍,含气饱和度较低,一般在55%~85%,不同层位及同一层位的不同地区天然气产能差异较大,表现为气藏充满程度低,成藏过程中气排水不完善等特征^[14 15]。

2 压力封存箱形成的地质环境

鄂尔多斯盆地独特的埋藏和受热历史,使非均衡压实、生烃作用等产生高压的重要机理得以实现。盆地在晚三叠世和早白垩世为快速沉积时期,仅仅在10 Ma内就沉积了上三叠统延长组巨厚地层,晚三叠世沉积速率($0.108\ 1\sim 0.118\ 3$) m/1 000 a,早白垩统沉积速率也有0.044 2 m/1 000 a而较高的沉积速率、较大的沉积厚度和较小的砂泥比例是形成沉积型异常高压的必要条件。通过对鄂尔多斯盆地砂泥岩压实规律、古压力成因研究,纵向上形成了上三叠统延长组、石千峰组-石盒子组两个明显的“非均衡压实”带,最大过剩压力幅度可达22 MPa,它们构成了稳定分布的区域性压力封盖体系,气藏能量难于突破这一封盖层。所以目前发现的天然气在纵向上集

中分布于下石盒子组、山西组及太原组,区域压力封盖体系控制了上古生界天然气层分布及成藏组合方式^[16~17];晚侏罗世—早白垩世末异常热事件,古地温梯度每百米达 $3.92^{\circ}\text{C} \sim 4.07^{\circ}\text{C}$ ^[17],伴随着早白垩世快速埋藏,烃源岩迅速升温,达到生气高峰,烃源岩生气增压,成为上古生界主要的成藏动力。所以,晚侏罗世—早白垩世末是上古生界形成古高压和增压成藏的关键时期。

包裹体资料^[18]分析表明,上古生界砂泥岩在地质历史中均出现过古高压,但对石千峰组—石盒子组泥质非烃源岩、山西—太原组烃源岩、砂岩的压力成因是有区别的。非均衡压实作用是石千峰组—石盒子组泥质非烃源岩形成古高压的主要原因,而生烃作用是山西—太原组泥质烃源岩产生高压的主要机理(只有局部烃源岩厚度大的地区存在非均衡压实作用),其中砂岩高压是由泥岩非均衡压实的封闭、排流不畅、成藏流体的均衡作用从传递泥岩所造成。由于砂泥岩弹塑性的差异及塑性岩石压实作用的不可逆性^[19,20],孕育和维持压力的能力不同,抬升剥蚀作用,使储层由高压降为异常低压,现今储层压力系数为 $0.76 \sim 1.02$ 形成异常低压—常压气藏,而目前泥岩仍保持幅度不等的高压,石盒子泥岩内过剩压力达 $16 \sim 20 \text{ MPa}$,石炭—二叠系烃源岩内因成藏、流体排出,过剩压力较低。目前上古生界内部为高低压相间共存的含气系统。该含气系统顶部由石千峰组—石盒子组构成区域压力封盖层,底部为本溪组铁铝土岩及泥岩,侧向上受不均匀分布的、目前仍残留部分非均衡压实作用而表现为高压的分流间湾相

泥岩所遮挡。在三维空间形成一个大的压力封存箱。由于压力封存箱内优质砂岩的不均匀性分布和高压泥岩的遮挡,压力封存箱的内幕结构复杂多变。

上古生界压力演化历史的详细研究认为,在埋深 $1\,800 \sim 2\,000 \text{ m}$ 的中三叠世末,石盒子组泥岩开始出现非均衡压实现象,为压力封存箱的雏形期,目前上石盒子—山西组泥岩内仍存在较大过剩压力,说明压力封存箱维持时间长达 220 Ma 加之鄂尔多斯盆地上古生界油气大量排烃时的致密背景和构造格局与沉积相展布方向的不一致性、以及区域性高压封盖层(上石盒子组)的压力封闭作用,形成了区域分布的压力封存箱。

3 压力封存箱特征与气藏分布关系

3.1 宏观特征

通过对研究区 200 多口井上古生界砂泥岩压实特征研究及压力计算,鄂尔多斯盆地纵向上发育两个区域分布的异常流体压力封存箱,一个出现在上三叠统延长组,由于埋藏较浅,在区域上断续分布。另一个也是对天然气勘探最重要的压力封存箱,出现在上古生界石千峰组—本溪组。区域对比结果,石千峰组—本溪组异常压力封存箱有如下特点(图 1)。

1)鄂尔多斯盆地已发现的天然气区石千峰组—石盒子组均出现异常压力,在全区可以对比。
2)各区层位有一定差别,封存箱顶绝大多数出现在上二叠统石千峰组,泥岩最大过剩压力主要分

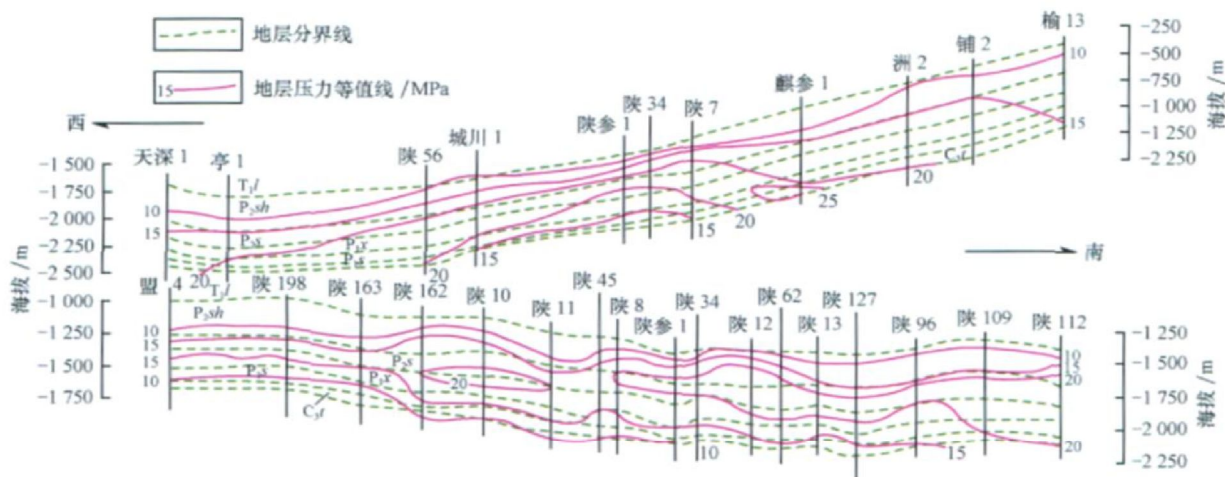


图 1 鄂尔多斯盆地上古生界泥岩过剩压力分布^[21]

Fig. 1 Distribution of excess pressure of mudstone in the Upper Paleozoic of Ordos basin

布在石盒子组,个别地区出现在山西组,压力幅度为 15~25 MPa。3)该压力封存箱是一个完整的含气系统,包含了烃源岩、储集岩、封盖层等基本油气地质条件,具备了各种物理(压力、能量)、化学(热动力、成岩作用)过程,并在时空上配备良好。大多数地区(大牛地气田、苏里格气田、榆林气田、乌审旗气田、杭锦旗地区等)压力封存箱在成箱以后的地质历史中没有明显地与外界发生流体和物质交换、没有受到明显的破坏而保持至今,油气的生成、运移、聚集、成藏基本是在压力封存箱内完成的。4)盆地东部神木、米脂(上古生界生烃中心)及西部的天深 1 井一带压力封存箱被破坏,上部过剩压力有所散失,在石千峰组形成次生气藏。

3.2 最大过剩压力幅度与气层分布

1)详细对比盆地北部各主要气区的压力封存箱最大过剩压力出现的层位发现(图 2),最大过剩压力出现的层位不同,主力气层出现的层位就不同。如榆林地区南部,最大过剩压力出现在山 1 段,产气层主要在山 2 段以下。苏里格气区最大过剩压力出现在盒 5~7 段,主力产气层为盒 8、山 1 段。塔巴庙地区最大过剩压力出现在上石盒子组,所以该区的盒 2~3 段(相当于苏里格盒 5~7 段)为主力产气层段。神木地区最大过剩压力发育在山西-太原组,过剩压力向上变小,显然纵向上失去了压力封盖层。因此产气性较差,在石千

峰组形成次生气藏。

2)压力封存箱内主要产气层位多出现在最大过剩压力对应深度以下的 100~200 m。说明最大过剩压力不仅是上古生界含气组合的区域压力封盖层,同时也是紧邻气藏的最直接封盖层。对远离区域压力封盖层的气藏而言,气藏的直接封盖层不是最大过剩压力对应的层位,应该是气层附近、具过剩压力的泥岩,压力封存箱下部不均匀分布的过剩压力段对山西、太原气藏成藏起到了关键作用。也反映压力封存箱内部的非均质性及有限连通性,如果封存箱体内是一个连通的压力系统,天然气应该在浮力的作用下优先向下石盒子组顶部砂岩聚集成藏,而目前在山西、太原组形成气藏,由于有局部的封隔条件,阻止了天然气向箱体上部富集的机会,造成现今压力封存箱内部气藏的分散性。

3)压力封存箱作为一个封闭的水动力系统和物理化学系统,油气生成、运移、聚集主要是在封存箱内完成。尽管在封存箱体内压力系统是不均匀的,不同层段砂体与砂体之间、同一层段泥岩与砂体之间不是一个统一的压力连通系统,甚至在一个小范围内,目前砂体表现为正常-低压特征,而泥岩多为高压状态,但在封存箱内压力封隔体——石盒子组的封盖下,油气生运聚过程中与外界的流体和物质并没有明显的交换。所以,压力封存箱内的流体分配特征、天然气产出与分布

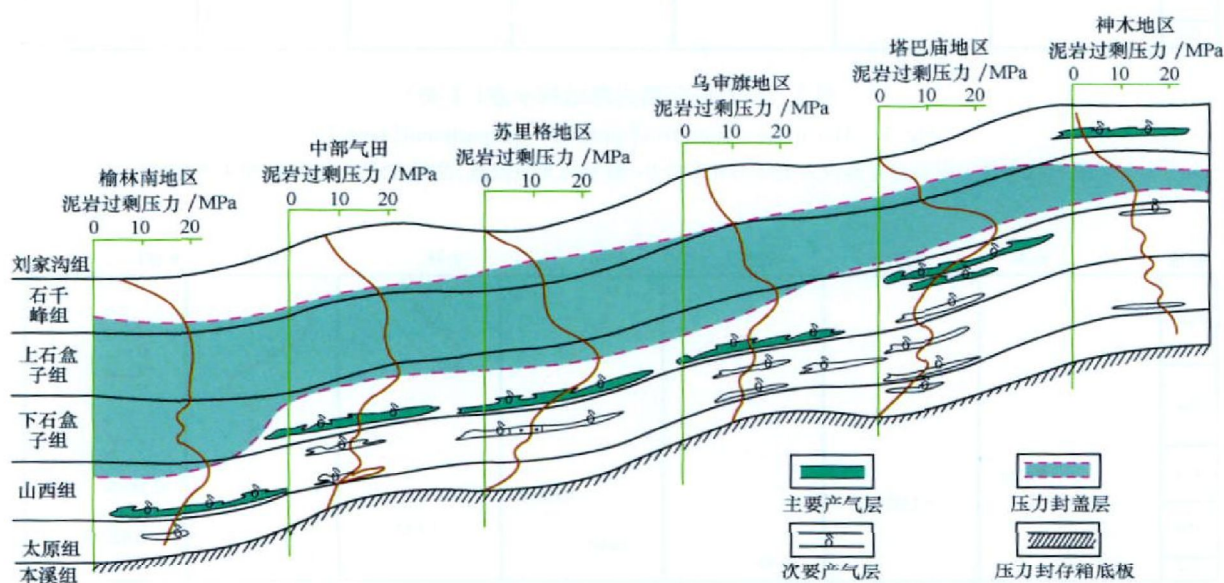


图 2 鄂尔多斯盆地主要气区压力封存箱与主力气层分布

Fig. 2 The relationship between pressure compartment and distribution of main gas pools in the Upper Paleozoic of Ordos Basin

形式与常规油气藏迥然不同。压力封存箱的形状控制了箱内天然气藏的分布。由于上石盒子组最大过剩压力的高压封盖作用目前依然明显,使下石盒子-太原组形成了一个低势区,天然气在纵向上集中分布于下石盒子组和山西、太原组,天然气成藏很难突破该高压封盖,成为上古生界最有利的天然气聚集场所。

3.3 压力封存箱的内幕结构与气藏分布

上古生界压力封存箱内部压力幅度有一定变化,根据塔巴庙地区 150 多口井压力封存箱过剩压力的形状和内幕结构,可划分成 3 种类型。

iv 类: 占研究井的 62%, 代表研究地区产气井和产气区的主体包括 3 个区域 (图 3)。以大开 1 井、大开 2 井为代表的西南部高产区; ④东南部大 22-56 井区; ④西北部大 34 井区; 主要产气层在盒 3、盒 2 段, 直接分布在纵向过剩压力突变带的拐点处, 产气量大。

⑤类: 占研究井的 27%, 分布比较分散, 主要在研究区的中部、东部及东北部。箱内压力为双峰型, 与 iv 类最大区别是在下石盒子组出现一个压力峰值, 这个压力峰值下移的结果造成这些井的产气层位普遍下移 (图 4), 所以主要产气层为盒 1 段-太原组, 盒 3 段产气较差。很可能在成藏时, 下部烃源岩在向上部运移时, 成藏动力不足以突破箱内次级压力封隔层而在盒 1 段以下聚集成藏, 所以, 总体上比 iv 类井产气层位深、产层少、产气性差。

⑥类: 靠近 iv 类井区分布, 最大过剩压力层出现层位有变化, 盒 3 段几乎不产气, 产层主要在山西-太原组, 只有部分井在盒 1 段。压力在纵向上变化多样, 一种是从下石盒子组向上压力减小, 最大过剩压力层出现在下石盒子组 (图 5 左), 烃源岩向上运移的阻力增大, 造成纵向上含气层位下移, 含气性较差。实际上, 在下石盒子组出现较大的过剩压力本身就说明砂岩欠发育。

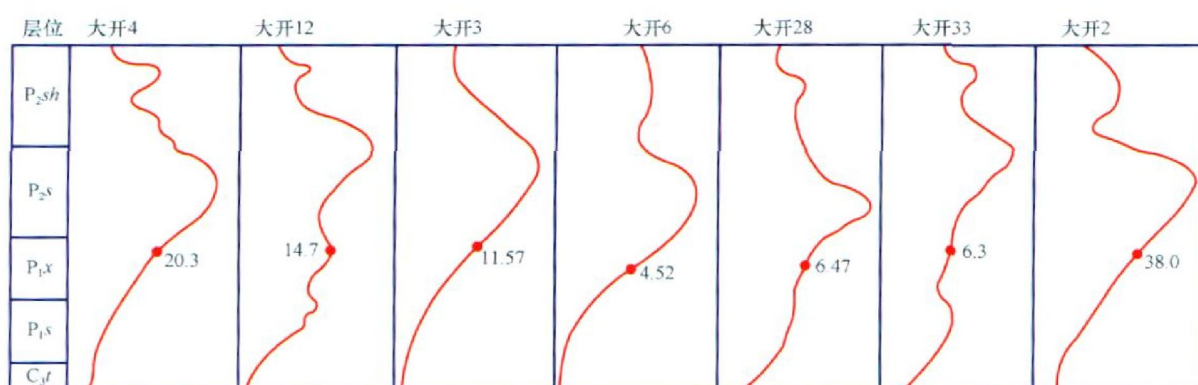


图 3 压力封存箱内幕结构示意图 (iv 类)

Fig. 3 The inner structure of pressure compartment (type iv)

(图中曲线表示压力封存箱内过剩压力相对大小, 数字为无阻流量, 曲线表示压力系数, 图 4、5 相同)

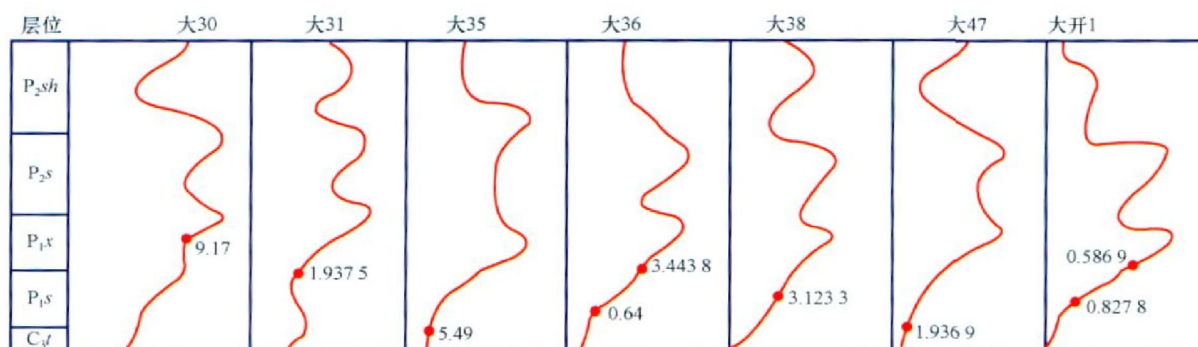


图 4 压力封存箱内幕结构示意图 (⑤类)

Fig. 4 The inner structure of pressure compartment (type ⑤)

从而失去了发育主要储层段的机会。另一种是多个压力峰值(图 5 右), 而且最下面的压力峰值出现在山西组, 使烃源岩成藏系统分成两部分, 山西组上部与下石盒子组下部构成一个成藏组合、山西组下部与太原组构成一个成藏组合, 产层多出现在山西-太原组。由于烃源岩出现较大的过剩压力, 明显反映出烃源岩排流不彻底, 有较多的流体残留在地层中, 影响了整个系统的成藏效果。

3.4 砂泥岩的不同配置与气藏关系

采用产气层段上部直接接触的泥岩层过剩压力与产层的无阻流量交汇, 结果表明, 盒 3 段、盒 2

段产层的无阻流量与过剩压力反相关(图 6a 图 b), 也就是说, 泥岩层过剩压力越小, 相邻产层的无阻流量越大, 而盒 1 段的特征正好相反(图 6c)。山 1、山 2 段泥岩层过剩压力与无阻流量关系似乎与盒 1 段相似(图 6d)。

泥岩层过剩压力小, 代表产层发育, 附近产层的成藏阻力小, 泥岩卸压充分, 属低势能环境区, 有利天然气的聚集。而砂岩附近泥岩层过剩压力大, 反映泥岩排流不充分, 有较多的流体滞留在泥岩中, 同时也表明泥岩周围的排流环境差, 缺少砂体, 不利于天然气成藏。

盒 3、2 段离烃源岩远, 天然气从烃源岩到盒 3、2 段要经过 200~300 m 厚的地层, 关键是要突

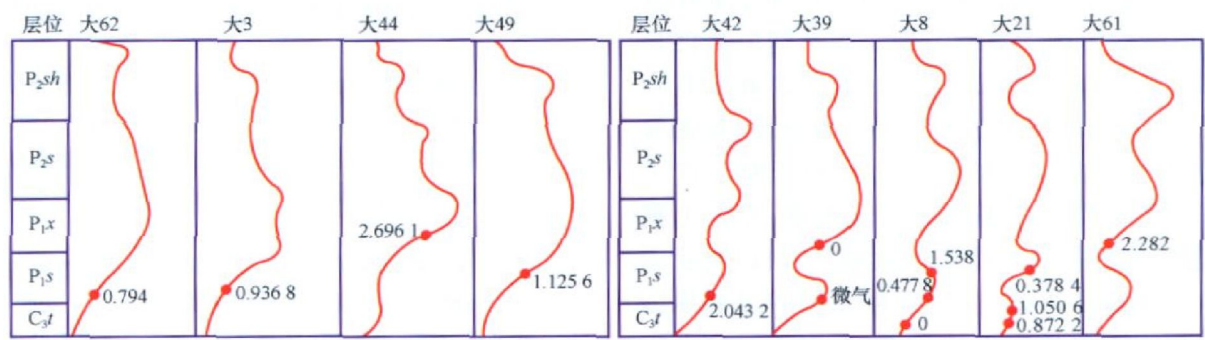


图 5 压力封存箱内幕结构示意图 (⊕ 1 类左、⊕ 2 类右)
Fig. 5 The inner structure of pressure compartment(left type ⊕ 1; right type ⊕ 2)

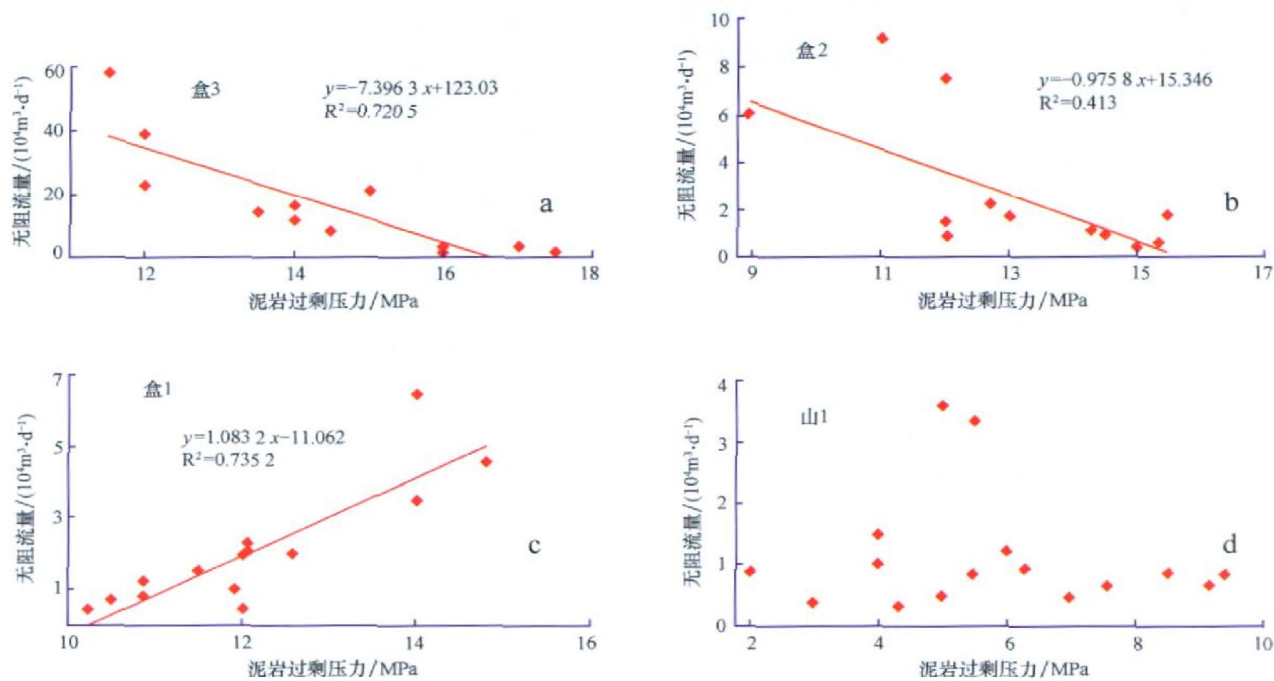


图 6 无阻力流量与过剩压力关系
Fig. 6 The relationship between openflow potential and excess pressures

破一层层具异常高压的泥岩,而且面对的是越往上泥岩的过剩压力越大,源岩成藏动力消耗越大,这就需要有源源不断的能量补充、较容易聚集成藏的通道条件及孔隙结构较好的储集体配合。塔巴庙西南部盒 3、2 段砂岩以辫状河道沉积为主,砂层厚度大,多为Ⅱ类压力箱内幕结构特征,烃源岩泄压彻底,泥岩过剩压力小。据研究,盒 2、3 层段的孔隙空间以粒间残余类孔为主,而山 1—盒 1 段储层孔隙以各种溶蚀孔隙为主,同时,山 1—盒 1 段的硅质胶结强于盒 2、3 层段。较小的泥岩层过剩压力以及较好的储层配合是盒 3、2 段得以成藏的关键。因此,处于这种环境下的产层无阻流量就大。

盒 1 段泥岩的过剩压力绝对值较盒 2、3 段小,但产气量也小的多,很少发现一口井分别在盒 1、2、3 层段均为高产气的情况。固然储层条件是主要因素,是否存在盒 2、3 与盒 1 在成藏上有互补关系?如果真如此,盒 1 段要实现成藏,就需要较大过剩压力的泥岩来封挡,才能在天然气向上运移的路径上拦截一部分天然气成藏,邻近上覆层的过剩压力越大,封盖条件就越好,可以阻止天然气向上聚集。因此,泥岩直接盖层的过剩压力与产气层无阻流量成正比关系,反应了纵向上成藏作用的选择性特征。综上所述,压力封存箱的形状、内幕结构、箱内砂泥岩的配置关系控制了箱内天然气藏的分布。深入研究压力封存箱的细微结构对认识研究区高产气井控制因素、预测含气性具有重要的现实意义。

参 考 文 献

- 1 JM Hunt. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(1): 1~12
- 2 郝石生. 封存箱 [J]. 中国海上油气 (地质), 1993, 7(1): 61~69
- 3 李明诚, 李剑, 万玉金. 盆地封隔体及其地质内涵 [J]. 中国海上油气 (地质), 1999, 13(6): 396~400
- 4 彭大钧. 含油气盆地异常高压带 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994
- 5 杜棚, 郑洪印, 焦秀琼. 异常压力与油气分布 [J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 137~148
- 6 马启富, 陈斯忠, 张启明, 等. 超压盆地与油气分布 [M]. 北京: 地质出版社, 2000, 1~25
- 7 龚再升. 异常压力油气田 [J]. 中国海上油气 (地质), 1991, 5(5): 29~31
- 8 刘孝汉, 王欣, 董钢, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界气水分布和地层压力 [J]. 低渗透油气田, 1989, 3(2): 32~36
- 9 刘宝宪, 张军. 鄂尔多斯盆地苏里格庙区块上古生界地层压力特征及成因分析 [J]. 低渗透油气田, 2002, 7(3): 1~4
- 10 王飞雁, 魏新善, 王怀厂, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界古压力分布特征及其压力降低原因浅析 [J]. 低渗透油气田, 2004, 9(1): 10~14
- 11 王震亮, 陈荷立, 王飞雁, 等. 鄂尔多斯盆地中部上古生界天然气运移特征分析 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(6): 104
- 12 王震亮, 张立宽, 孙明宽. 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)
- 13 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
- 14 郝蜀民, 惠宽洋, 李良. 鄂尔多斯盆地大牛地大型低渗气田成藏特征及其勘探开发技术 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 762~768
- 15 李良, 袁志祥, 惠宽洋, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气聚集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 268~271
- 16 李仲东, 过敏, 李良, 等. 鄂尔多斯盆地北部塔巴庙地区上古生界低压力异常及其与产气性关系 [J]. 矿物岩石, 2006, 26(4): 48~53
- 17 杨明慧, 刘池洋. 鄂尔多斯中生代陆相盆地层序地层格架及多种能源矿产聚集 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 56~57
- 18 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究 [J]. 石油学报, 1996, 17(1): 17~24
- 19 杨华, 姬红, 李振宏, 等. 鄂尔多斯盆地东部上古生界石千峰组低压气藏特征 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(4): 413~419
- 20 陈荷立, 罗晓容. 砂泥岩中异常高流体压力的定量计算及其地质应用 [J]. 地质论评, 1988, 34(1): 54~63
- 21 陈荷立, 王震亮. 陕甘宁盆地西部泥岩压实研究 [J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(3): 263~271
- 22 付金华. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏条件及富集规律 [D]. 西安: 西北大学, 2004

(编辑 高 岩)