

东营凹陷流体压力系统研究

刘晓峰,解习农

(中国地质大学资源学院,湖北武汉 430074)

摘要: 利用钻井泥岩声波测井资料和实测地层压力资料,分析了东营凹陷流体压力系统的结构和分布及其影响因素. 单井的压力—深度曲线呈现出“二段式”,即上段正常压力系统(正常压实带)和下段异常压力系统(欠压实带). 剖面 and 平面压力系统综合分析的结果表明,东营凹陷压力系统呈现环状结构,即内环为超高压系统,中环为高压系统,外环为常压—低压系统. 中环高压系统和内环超高压系统构成了封闭的巨型超压封存箱复合体,因其与沙河街组三、四段活跃的烃源岩有着成因的联系,故称之为烃源岩—超压封存箱复合体(SR—OPCC). 受渗透性砂岩层、断层及盐构造等压力输导系统的影响,封存箱内产生压力分隔现象,形成了若干个由压力输导系统联系的次级超压封存箱. 概括了封存箱—压力输导系统—封存箱组合模式. 烃源岩—超压封存箱复合体(SR—OPCC)的存在对油气的运移和聚集产生了深远的影响.

关键词: 流体压力系统;超压封存箱;压力输导系统;次级超压封存箱;东营凹陷.

中图分类号: P618.1

文献标识码: A

文章编号: 1000—2383(2003)01—0078—09

作者简介: 刘晓峰(1970—),男,讲师,1999年毕业于中国地质大学,获硕士学位,现从事盆地流体和油气成藏动力学的研究工作. E-mail: xfliu@cug.edu.cn

0 引言

大量的油气勘探与开发实践充分表明,压力是油气排出、运移和聚集的前提与基础,且与油气生成、保存及成岩—成矿流体的联系十分密切^[1]. 流体压力系统的研究是盆地流体历史分析及油气成藏动力学研究的重要内容. 因此,弄清盆地孔隙流体压力特征,对于含油气盆地勘探开发的整个过程都是非常重要的^[2].

东营凹陷属渤海湾裂谷盆地中济阳坳陷的一次级构造单元,北为陈家庄凸起,西为滨县凸起、青城凸起,南为鲁西隆起、广饶凸起,东为青坨子凸起. 面积约 5 700 km². 是我国重要的石油、天然气产地. 自 1961 年首次在东营凹陷营 2 井沙河街组三段碎屑岩超压地层中发现高产油流以来,异常压力的存在引起了广泛的兴趣. 陈荷立等^[3]根据泥岩声波时差资料讨论了异常压实带的分布特征. 杨绪充^[4]根据试油压力将济阳凹陷沙河街组区域地层压力划分为 3 个带,即上部的静水压力带(正常压实带),中部的

压力过渡带(混合压实带)和深部的高异常压力带(欠压实带). 譙汉生^[5]指出渤海湾盆地地层孔隙流体的异常高压与有机质的热成熟和烃的运移有关. 胡济世^[6,7]指出东营凹陷存在异常高压生烃泥岩并讨论了异常高压—流体压裂的油气运移机制. 王明明等^[8]指出东营凹陷牛庄—六户地区为异常高压岩性油气藏富集区. 李春光^[9]利用实测压力资料初步探讨了已知的高压油气藏的特征和成因. 解习农等^[10]指出东营凹陷超压主要由烃源岩的快速沉积和有机质生烃所致,并认为在拱张地堑系内超压顶界面较相邻区明显抬升. 尽管如此,迄今为止对于东营凹陷压力的结构和分布及其影响因素的认识依然缺乏全面和精细. 特别是近几年来,几乎没有关于东营凹陷压力系统的研究成果发表. 然而就在近几年,异常压力的研究已成为全球性的研究热点和前沿,异常压力流体封存箱、压力封闭、异常压力的成因机制以及超压流体的幕式释放等研究成果不断丰富和深入. 因此重新认识东营凹陷压力系统是非常必要的.

目前在地层压力的研究和预测中主要是利用实测地层压力(DST、RFT、FMT 等)、声波测井和地震层速度资料^[11~13]. 东营凹陷已有勘探井 1 200 余口,提供了较为丰富的声波测井资料和实测压力资

料, 本文将综合利用这 2 类资料来详细地分析压力系统的结构、空间分布及其影响因素。

1 单井压力系统结构分析

1.1 利用声波测井资料研究流体压力

(1)正常压实—正常压力型. 该类型的单井压实曲线在半对数坐标系中呈一直线,即压实程度随深度变化基本符合 Rubey 等^[14]所指出的指数关系. 流体压力曲线基本趋于静水压力梯度线. 代表井为 Zh603 井、Lx372 井等. 该压力结构类型主要分布在凹陷的边缘. 此外,在断裂带之中亦存在正常压力型.

(2)欠压实—异常压力型. 单井压实曲线可区分为截然不同的上、下 2 段(图 2): 上段属正常压实型, 下段(从某一深度开始)偏离了正常压实趋势线, 出现了欠压实. 类似地, 压力曲线也呈现出“二段式(双层式)”结构, 即上段正常压力, 下段异常压力. 异常压力的顶界在凹陷的不同地区有差异, 但大多在 SB_3 界面之下并靠近 SB_3 界面.

就异常压力系统而言,在其内部尚存在正常压力段或相对低的高压段(与其上、下的超压段相比),

对应的地质体为渗透性的砂岩层、断层等输导系统。这是泄压作用存在的表征。如图 1 所示的 L101 井异常压力系统内有 2 层砂岩泄压, 从而分隔了异常压力系统。Magara^[11] 较早地注意到这种现象, 并以 Notikewin 砂岩为实例, 提出了“供水包壳”的概念。该概念也暗示输导系统与超压泥岩之间存在着封闭层。

1.2 利用试油实测压力资料研究流体压力

东营凹陷试油实测地层压力随深度的变化如图 2 所示. 东营凹陷存在 2 类异常压力, 即超压和低压. 低压现象不甚发育, 异常低压 ($PC \leq 0.8$) 仅占异常压力的 13% 左右. 气藏和稠油油藏的异常低压多存在于 2 100 m 以上, 分布于凹陷边缘; 常规油藏的异常低压出现于中央隆起带和凹陷北部边缘断裂带附近, 且深度区间大 (图 2b). 超压在凹陷内部具普遍性. 超压顶界面一般起始于 2 100 m (图 2a). 各地区超压顶界面略有差异: 东营地区约为 2 300 m, 郝家地区约为 2 500 m, 利津地区约为 2 300 m, 牛庄地区约为 2 200 m.

李春光^[9]的统计表明,在东营凹陷已知的 86 个高压油气藏中,有 8% 赋存在沙一、沙二段,有 62% 在沙三段,有 30% 在沙四段地层中,并且认为位于

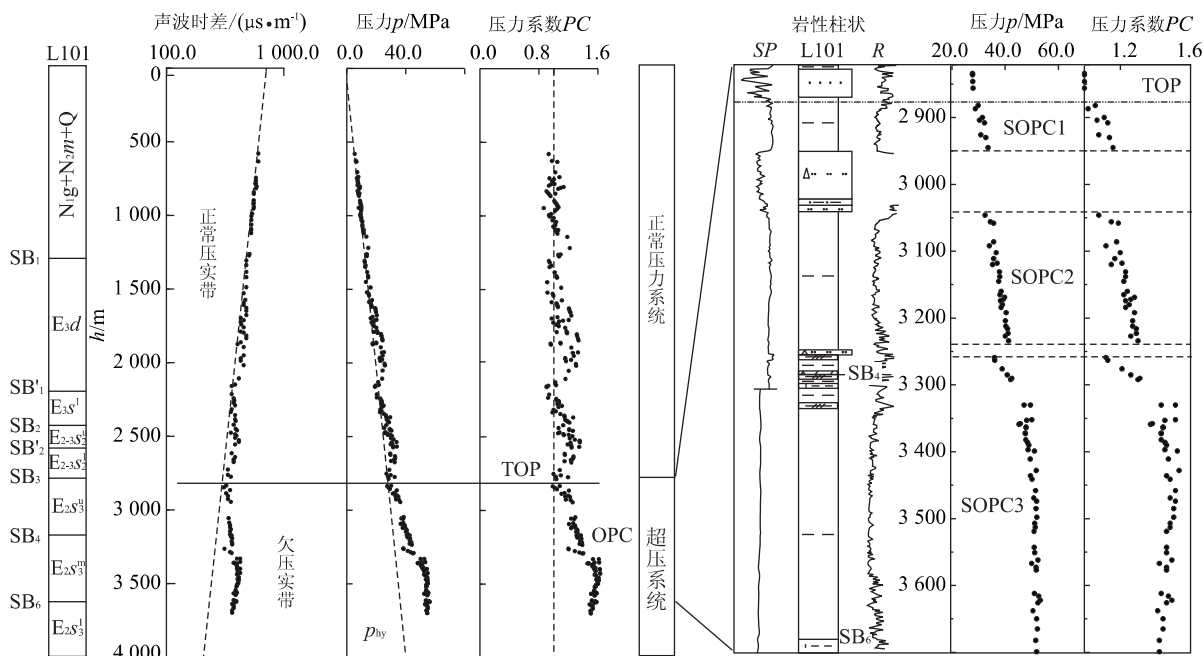


图 1 欠压实与异常压力(L101 井)

Fig. 1 Under compaction and abnormal pressure (well L101)

TOP. 超压顶界面; OPC. 超压封存箱; SOPC. 次级超压封存箱; 图中地层单元: $E_2s_3^1$. 沙河街组三段下亚段; $E_2s_3^2$. 沙河街组三段中亚段; $E_2s_3^3$. 沙河街组三段上亚段; $E_2-3s_2^1$. 沙河街组二段下亚段; $E_2-3s_2^2$. 沙河街组二段上亚段; E_3s_1 . 沙河街组一段; E_3d . 东营组; N_1g+N_2m+Q . 馆陶组+明化镇组+第四系(其他图中代码相同); SP . 自然电位测井曲线; R . 电阻率测井曲线

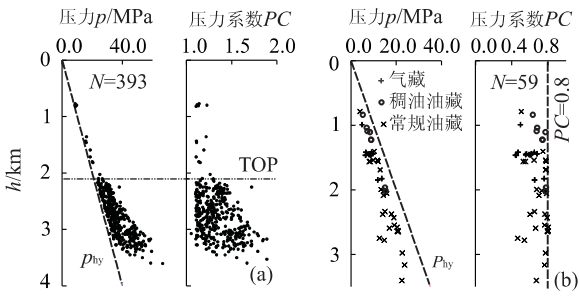


图 2 东营凹陷试油实测压力深度

Fig. 2 Measured pressure-depth plot from different areas in Dongying depression

a. 超压($PC \geq 1.1$); b. 异常低压($PC \leq 0.8$); p_{hy} , 静水压力

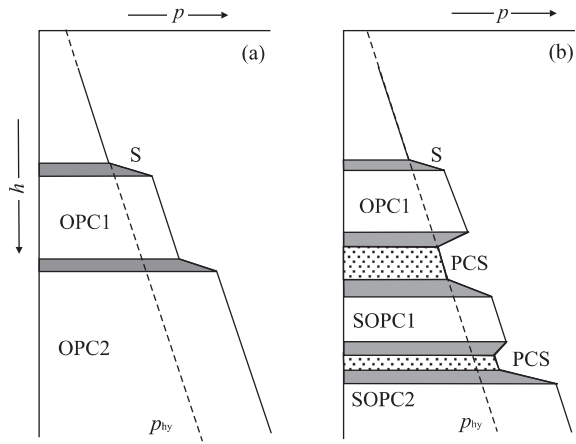


图 3 超压流体封存箱组合模式

Fig. 3 Model of assemblage of two or more overpressured fluid compartments

a. 封存箱—封存箱模式; b. 封存箱—压力输导系统—封存箱模式; S, 压力封闭层; OPC, 超压封存箱; SOPC, 次级超压封存箱; PCS, 压力输导系统; p_{hy} , 静水压力

沙一、沙二段的高压油气藏都是所在构造深层(沙三、沙四段)的高压油气沿断层运移至浅层断块圈闭中形成的次生油气藏. 可见非烃源岩和非欠压实带内的这些高压油气藏(压力系数 PC 为 $1.05 \sim 1.31$)是超压传递的结果. 由于传递超压的存在,使局部超压顶界面抬升.

Bradley^[15]注意到水力封闭必须看作是三维完全封闭的封隔体. Powley^[16]正式提出了“异常压力流体封存箱”的概念——压力封存箱是一些各自封闭的呈盒子状的地质实体. Hunt^[17]也指出,只有存在阻止水力自由穿越边界的封闭层才能形成异常压力. 可见,封存箱的概念必然包含封闭层. 东营凹陷的异常压力系统便是由封闭层包围起来的异常压力流体封存箱. 对于多个压力封存箱的组合的情况,

Powley^[16]和 Hunt^[17]均是仅用“封闭层”来分隔 2 个或 2 个以上的封存箱的,即 2 个封存箱共用同一封闭层,本文称之为“封存箱—封存箱”组合模式(图 3a). 然而对于本区因封存箱内部存在输导系统而产生的压力分隔现象,并不能完全对应于这样的模式. 故本文将东营凹陷压力分隔现象概括为“封存箱—压力输导系统—封存箱”组合模式(图 3b). 压力输导系统是指能够传递超压或输导超压流体的地质体,常见的有渗透性的砂岩层、断层、水力压裂裂隙、盐构造等. 存在于或切割至超压系统内部的输导系统常常引起压力分隔现象,而导致形成次级的封存箱. 因为封存箱的存在,必然要有封闭层的包围,所以输导系统与封存箱之间并不是完全连通的,只有当封闭层破裂时,它们才是连通的.

为了进一步说明本文的模式,以 S119 井为例进行压力结构解剖(图 4). 由图可知,该井大致于 2 900 m 处开始在沙三段出现超压,受富砂段 SR3、SR4 和富砂含油段 SRP1、SRP2 的泄压分隔,分别形成了 SOPC1、SOPC2、SOPC3、SOPC4 4 个次级超压封存箱. 王明明等^[8]指出在增压带(即异常压力带)下部都有压力(或流体)释放段,说明在好的封闭条件下也有流体排出现象. 通过岩心和岩屑观察发现,超压带内泥岩与砂岩接触带多具有水平或垂直的矿脉发育,并且埋藏越深越发育. 这证明在超压带内水力压裂或流体压裂的裂隙式排液的普遍存在,并且这种排液方式呈现幕式特征. “封存箱—压力输导系统—封存箱”组合模式有助于揭示超压烃源岩向其所包围的砂岩储层的排烃作用. 正如 L101、S119 井显示的,作为输导系统的砂岩段常常是含油气段或油斑、油迹、发荧光段.

此外,压力输导系统不仅仅是指有输导能力的砂岩层,断层也是主要的输导系统,可以产生压力分隔. T711 井便是一个例子(图 5). 断层附近为正常压力,且不存在砂岩的泄压作用,证明了断裂泄压作用的存在. 断层之下发育着超压,显然超压段与断层之间存在封闭层,并与断裂维持一定的压力平衡,不致因断裂的存在而将压力完成泄尽.

2 剖面压力系统结构分析

建立在声波时差资料之上的压力系数等值线剖面图(图 6)提供了本区压力分布的信息. 有 3 个压力系统呈环带状分布:内环为超高压系统,中环带为

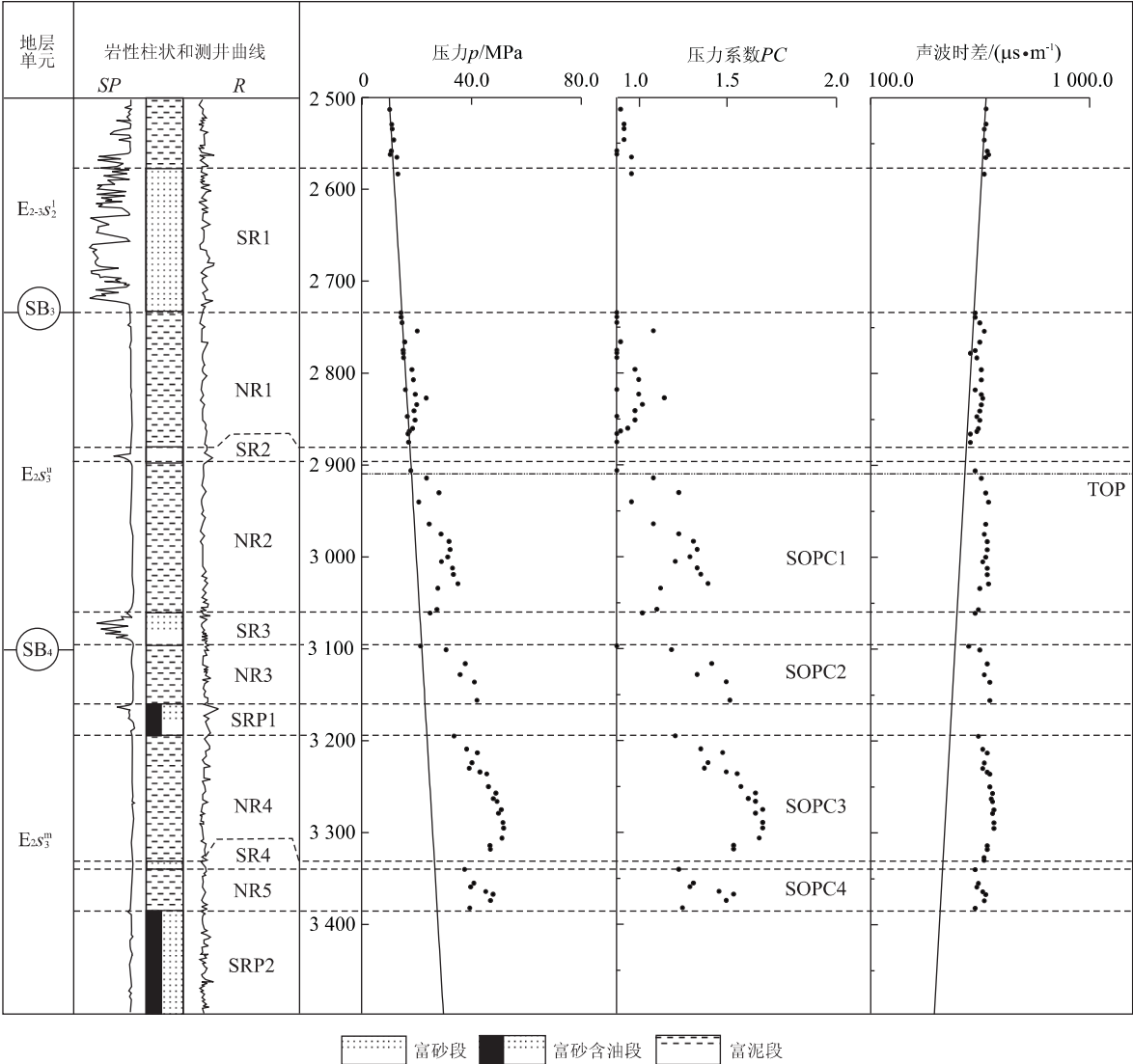


图 4 S119 井压力结构与压力输导系统

Fig. 4 Pressure structures and conduit systems of well S119

TOP. 超压顶界面; NR. 富泥段; SR. 富砂段; SRP. 富砂含油段; SOPC. 次级超压封存箱; PCS. 压力输导系统

高压系统,外环为常压系统. 又据试油实测资料,在各系统内零星发育有低压异常,特别在常压系统内,低压最发育,故而外环可概括为常压—低压系统.

(1)外环常压—低压系统($PC<1.1$). 由剖面可知,正常压力系统发育于 SB_3 界面之上的地层中,包括沙二上亚段、东营组、馆陶组、明化镇组和第四系;此外,在盆地边缘,盆倾断层之外及基底不整合面附近普遍为正常压力,局部发育有低压异常,主要赋存于气藏和稠油油藏内. (2)中环高压系统($1.1\leq PC<1.5$),即压力过渡带. 主要发育于沙三段上亚段及盆地边缘和底部. (3)内环超高压系统($PC\geq 1.5$). 主要发育在沙三中、下亚段和沙四段. 实测地

层压力资料证实在沙四段和孔店组内储层中的压力系数为 $1.5\sim 1.7$,最高达 $1.8\sim 1.9$. 在超高压系统内局部存在相对较低的高压带或正常压力带,甚至少数储层中出现异常低压,是输导系统泄压作用的结果.

胡济世^[6,7]曾提出东营凹陷存在异常高压生烃泥岩体——由“壳”包围起来的. 它包括沙三中、下亚段,沙四段和孔一段的泥岩及膏盐段. 显然“壳”的概念近似于“封闭层”. 来自阿纳达科盆地的例子给予笔者很好的启迪. Al Shaieb^[18]通过对该盆地的地质和流体资料的综合研究,指出该盆地中存在一个全盆地范围的巨型全封闭超压封存箱复合体(MCC)——由若干个完全孤立的、小的巢状封存箱

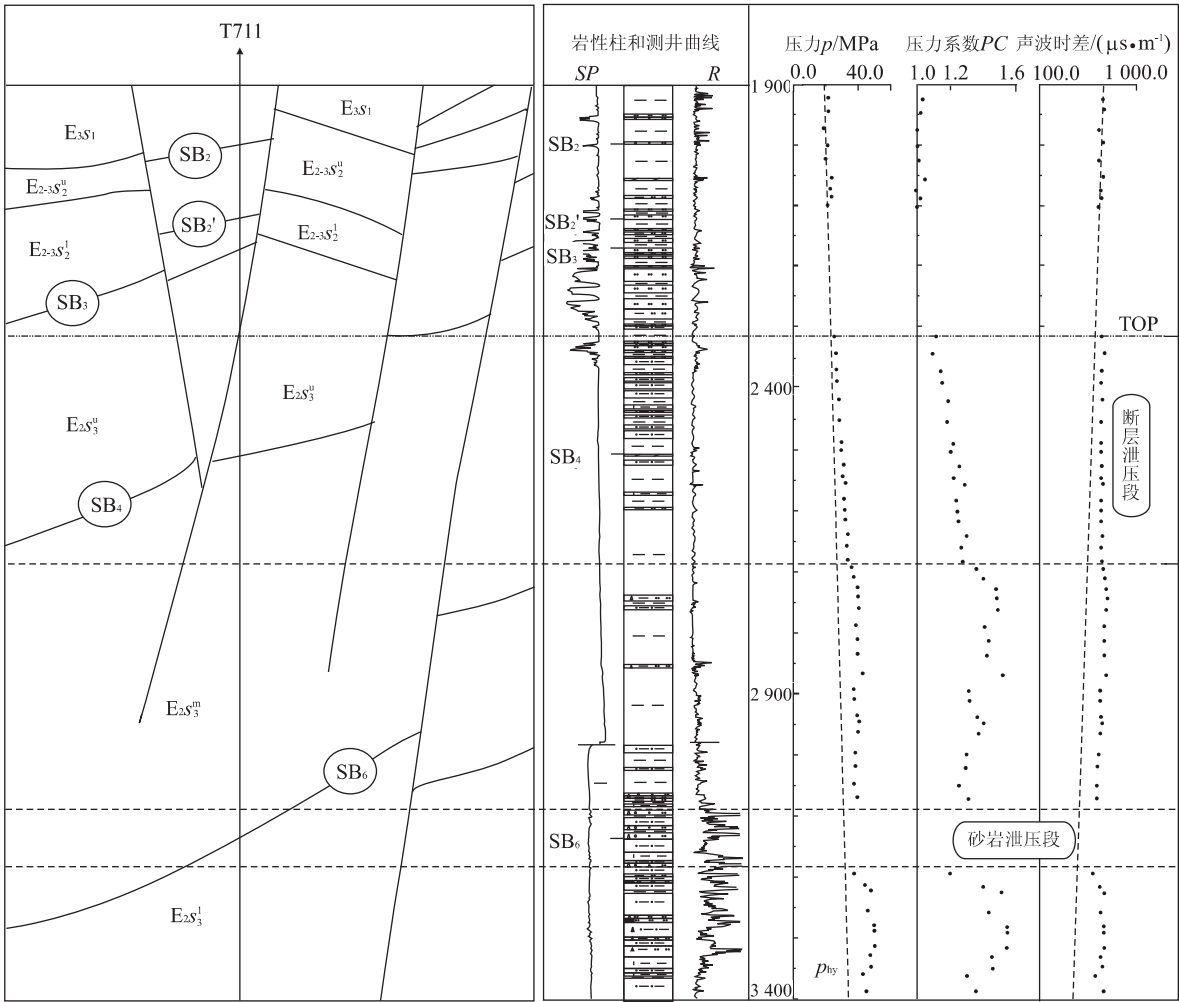


图 5 T711 井异常压力与断裂的关系

Fig. 5 Relationship between a fault and abnormal pressure of well T711

组成. 本区 B—B' 剖面呈现了孤立的、巢状的次级超压封存箱的存在.

综合上述, 东营凹陷存在着一个盆地级的巨型超压封存箱复合体, 由于其内环包含着本区活跃的烃源岩, 故称之为巨型烃源岩—超压封闭箱复合体 (SR-OPCC). 烃源岩的超压反映了生烃作用对东营凹陷超压的形成起着重要的作用^[4,7,10].

3 平面压力系统结构分析

本文选择了超压较发育的沙三段中、下亚段为目的层, 利用 300 余口井的声波测井资料和实测地层压力资料, 绘制出本区沙三段中亚段和下亚段顶界面的压力系数等值线平面图 (图 7, 8).

3.1 沙三中亚段顶界面 (SB₄) 压力系统结构

平面上呈环带状分布 (图 7). 在盆倾断层外侧

为外环正常压力系统. 盆倾断层内侧为中环高压系统, 在利津洼陷出现了洼陷范围的高压系统, 牛庄洼陷的高压系统也较发育. 盆地中央隆起带的雁列式断裂系统的泄压作用明显, 分隔了利津洼陷和牛庄洼陷的高压系统. 内环超高压系统仅发育于牛庄洼陷, 规模较小.

3.2 沙三下亚段顶界面 (SB₆) 压力系统结构

图 8 显示 SB₆ 界面附近压力系统的环状结构更加显著. 内环超高压系统的规模较 SB₄ 界面的明显扩展. 在利津洼陷发育了洼陷级的超高压系统, 牛庄洼陷的超高压系统显著扩大. 中环高压系统的发育规模也有扩展, 并且利津、牛庄、民丰洼陷的高压系统连成一片. 雁列式断裂带的泄压分隔作用大大减弱, 仅在东段存在泄压现象. 博兴洼陷的压力系统依然不甚发育. 就现有的高压油气藏的试油压力的平面分布来看^[9], 储层压力系统也呈环带状分布, 在利

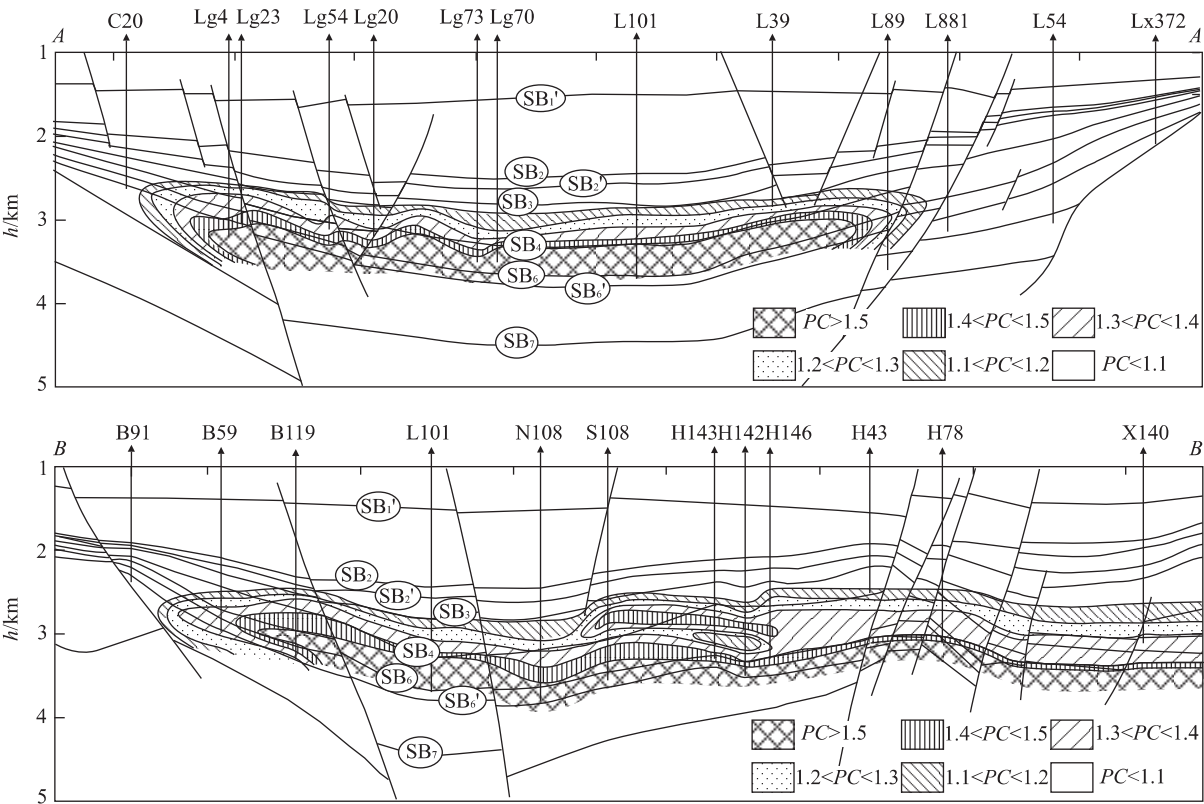


图 6 东营凹陷剖面压力系统结构

Fig. 6 Calculated pressure coefficient section of Dongying depression

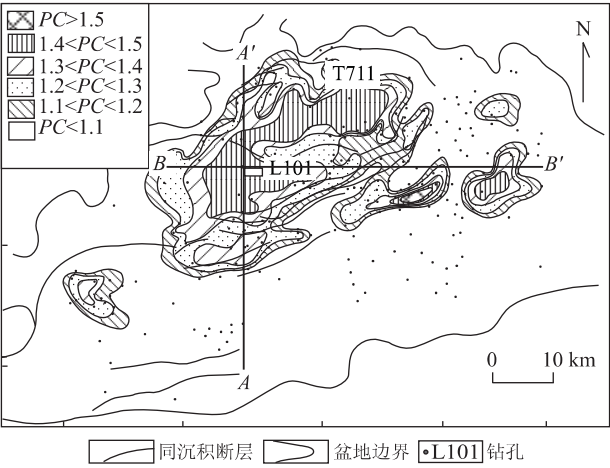


图 7 东营凹陷沙三中亚段顶界面(SB_4)压力系数等值线平面

Fig. 7 Calculated pressure coefficient plane map at the top of submember $E_2s_3^m$

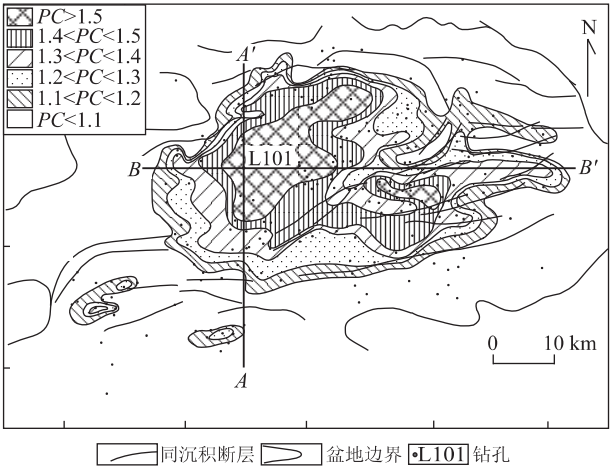


图 8 东营凹陷沙三下亚段顶界面(SB_5)压力系数等值线平面

Fig. 8 Calculated pressure coefficient plane map at the top of submember $E_2s_3^l$

津洼陷的北部和牛庄洼陷发育超高压系统, 压力系数最大达 1.8~1.9; 中环高压系统发育范围广泛; 靠近盆地边缘的储层内为常压—低压系统。

4 压力系统结构的影响因素

有许多因素影响压力系统分布的格局, 认识这些因素对压力系统结构的作用规律, 可以更好地

预测压力系统的分布. 本区压力系统的总体面貌是呈同心环状的巨型超压封存箱. 因受沉积作用、断层和盐构造等的影响, 压力系统结构复杂化.

4.1 沉积作用对压力系统结构的影响

沉积作用对压力系统的控制作用主要表现在沉积厚度、岩性及岩性组合上. (1)如前文分析, 本区压力系统的分布与地层有很好的对应关系, 异常压力主要发育于 SB_3 界面之下. 沉积厚度最大区也是超压发育区; (2)超压系统与烃源岩有很好的对应关系, 反映了本区超压的成因很可能是以生烃作用为主; (3)封闭层的存在对压力系统的影响. Tigert 等^[19]认为压力封闭层均是低渗透的, 能够圈闭异常压力的包壳, 并划分了 3 类封闭层——底、顶和侧向封闭层. 从岩性而言, 膏盐层、压实的泥岩等均可作封闭层. 本区自上而下发育的规模较大的封闭层为: 沙三段顶部白云岩、钙质泥岩, 沙四段的膏盐层. 侧向的封闭层主要为断层和岩相分界面. 封闭层的存在为本区超压封存箱的形成提供了必要的条件; (4)渗透性岩性输导系统对压力系统的分隔. SB_3 界面附近是东营三角洲发育的层位, 厚层的砂岩起到了很好的输导作用, 从而降低了异常压力的顶界面. 此外, SB_4 界面之上和 SB_5 界面之上的低位扇砂体也可能是很好的压力输导层.

4.2 断裂对压力系统结构的影响

尽管已认识到断层对压力分布乃至超压的形成有着重要的影响, 然而由于断层本身的两面性——导通的和非导通的^[20], 以及断裂与其他地质因素的紧密联系, 很难确切地描述断裂在压力系统分布中的作用. 断裂对本区压力系统的影响主要表现为: (1)本区存在 Dickinson^[21]所描述的保存异常压力环境所必须的断层类型封闭, 即断层两侧的砂岩与砂岩相接触的产生正常压力; 反之, 隔绝的砂岩(亦即砂岩与页岩跨过断层相接触)产生超压; (2)一般认为断层对压力系统结构的影响主要体现在对压力系统的分隔和破坏作用. 本区的情况是处于常压系统和超压系统中的断裂段并不分隔压力系统. 可能的分隔作用存在于高压系统及超压系统的界面附近. 主要表现是断层下降盘压力界面降低. 然而这种现象往往是断层与岩性共同作用的结果.

4.3 盐构造对压力系统的影响

东营凹陷盐构造比较发育, 主要分布在中央隆起带和北部陡坡带. 大部分盐构造均是隐刺穿的. 在全世界的钻井作业中, 不论是陆上还是海上, 都遇到

过盐丘和与之相伴的超高压. 本区底辟带之上的压力界面所呈现的抬升趋势与之类似^[10]. 胡济世^[6,7]也认识到了盐核和泥核的上拱(或刺穿)能在核的上方形成断层. 当断层穿过“壳”及其上的静水压力带时, 就会使欠压实泥岩内的高压含烃流体经过断面的渗透带流入常压带.

5 结论

东营凹陷存在着以沙河街组三、四段活跃的烃源岩为主体的巨型烃源岩—超压封存箱复合体(SR—OPCC). 受砂岩层、断层及盐构造等压力输导系统的影响, 封存箱内产生压力分隔现象. 烃源岩—超压封存箱复合体(SR—OPCC)的存在对东营凹陷的油气运移和聚集产生了深远的影响. 巨型超压封存箱虽是一个封闭的系统, 但受沉积负载、生烃等的作用, 内部压力不断增高. 当流体压力接近或超过压力封闭的极限时, 就会发生断裂的导通、水力压裂等, 箱内超压流体和油气通过裂缝和断裂向外排放. 随着排放的进行, 箱内压力降低, 封闭重新恢复. 然后箱内继续增压, 封闭再次破裂, 流体和油气再排除..., 如此, 呈现出幕式特征. 中环的高压系统(压力过渡带)及外环常压—低压系统的内带, 是最有利的油气聚集带, 东营凹陷的大部分储量就分布在其中. 此外, 在封存箱内部尚分布有许多高压油气藏. “封存箱—压力输导系统—封存箱”组合模式有助于揭示超压的烃源岩所包围的砂岩油气藏的成藏作用.

参考文献:

- [1] 叶加仁, 邵容, 王连进. 辽河盆地大民屯凹陷流体压力场研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(2): 127—131.
YE J R, SHAO R, WANG L J. Research into fluid pressure field in Damintun depression, Liaohe basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(2): 127—131.
- [2] 刘文龙, 李思田, 孙德君, 等. 松辽盆地深层孔隙流体压力预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(2): 137—142.
LIU W L, LI S T, SUN D J, et al. Prediction of pore-fluid pressure in deep strata of Songliao basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(2): 137—142.
- [3] 陈荷立, 汤锡元. 山东东营凹陷泥岩压实作用及油气初

- 次运移问题探讨[J]. 石油学报, 1983, 4(2): 9—16.
- CHEN H L, TANG X Y. A discussion on the compaction of argillaceous rocks and primary migration of oil and gas in Dongying sag of Shandong Province [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1983, 4(2): 9—16.
- [4] 杨绪充. 济阳拗陷沙河街组区域地层压力及水动力特征探讨[J]. 石油勘探与开发, 1985, 12(4): 13—20.
- YANG X C. A discussion on the regional pore pressure and the hydrodynamic features of Shahejie Formation (Es) in Jiyang depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1985, 12(4): 13—20.
- [5] 譙汉生. 渤海湾地区异常高压与烃的生成及运移[J]. 石油勘探与开发, 1985, 12(3): 1—4.
- QIAO H S. Abnormal pressures in Bohai Gulf area and its relation on the generation and migration of hydrocarbons [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1985, 12(3): 1—4.
- [6] 胡济世. 异常高压、流体压裂与油气运移(上)[J]. 石油勘探与开发, 1989, 16(3): 16—23.
- HU J S. Abnormal pressure, fluid fracturing, and migration of oil and gas (Part 1) [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1989, 16(3): 16—23.
- [7] 胡济世. 异常高压、流体压裂与油气运移(下)[J]. 石油勘探与开发, 1989, 16(3): 16—22.
- HU J S. Abnormal pressure, fluid fracturing, and migration of oil and gas (Part 2) [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1989, 16(3): 16—22.
- [8] 王明明, 譙汉生, 胡见义. 东营凹陷牛庄六户地区高压油气藏成因分布[J]. 石油勘探与开发, 1990, 17(2): 13—20.
- WANG M M, QIAO H S, HU J Y. Formation and distribution of abnormally high pressure oil-gas pools in Niuzhuang-Liuhu area of Dongying depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1990, 17(2): 13—20.
- [9] 李春光. 试论东营盆地高压油气藏的特征及找油意义[J]. 石油学报, 1992, 13(1): 37—43.
- LI C G. On the characters and formation of abnormally high pressure hydrocarbon reservoirs in Dongying basin and its significance in oil finding [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1992, 13(1): 37—43.
- [10] 解习农, 刘晓峰. 超压盆地流体动力系统与油气运聚关系[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(2): 103—108.
- XIE X N, LIU X F. Related to black shale series fluid dynamic system and relationship with accumulation of hydrocarbon in overpressured basin [J]. *Bulletin of Mineralogy and Geochemistry*, 2000, 19(2): 103—108.
- [11] Magara K. Compaction and fluid migration—practical petroleum geology [M]. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978. 1—313.
- [12] Fertl W H. Abnormal formation pressures—implications to exploration, drilling, and production of oil and gas resources [M]. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978. 1—365.
- [13] Sahay B, Fertl W H. Origin and evaluation of formation pressures [M]. London: Kluwer Academic Publishers, 1988. 1—287.
- [14] Rubey W W, Hubbert M K. Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting [J]. *Bulletin of the Geological Society of America*, 1959, 70: 167—205.
- [15] Bradley J S. Abnormal formation pressure [J]. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1975, 59(6): 957—973.
- [16] Powley D E. Pressure and hydrogeology in petroleum basins [J]. *Earth-Science Reviews*, 1990, 29(1): 15—226.
- [17] Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments [J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(1): 1—12.
- [18] Al Shaieb Z. Compartmentation, fluid pressure important in Anadarko exploration [J]. *Oil and Gas Journal*, 1991, 7(1): 52—55.
- [19] Tigert V, Al Shaieb Z. Pressure seals: their diagenetic banding patterns [J]. *Earth-Science Reviews*, 1990, 29(1): 227—240.
- [20] Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1991, 14(2): 161—280.
- [21] Dickinson G. Geological aspects of abnormal reservoir pressures in Gulf coast Louisiana [J]. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 1953, 37(2): 410—432.

Study on Fluid Pressure System in Dongying Depression

LIU Xiao-feng, XIE Xi-nong

(*Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*)

Abstract: Based on mudstone sonic log and measured fluid pressure, the paper analyzes the fluid pressure systems and the controlling factors of pressure system structures and distributions. According to the calculated pressure-depth plot of drills, we can recognize two pressure systems. The upper is normal pressure system, and the lower is abnormal system. The pressure sections and plane maps show that there exist three ring pressure systems in Dongying depression. The inner ring is overpressured system. The middle ring is highly pressured system. The external ring is normal-subnormal pressured system. The highly pressured and overpressured system made up a sealed compartment complex. Because the overpressured system includes the active source rock in the third and forth member of Shahejie Formation, the source rock-compartment complex (SR-OPCC) is named here. The pressure conduit systems in the abnormal pressured fluid compartments separate the SR-OPCC into many smaller, nested subcompartments, which include permeable sandstone beds, faults and salt tectonics. So the model of the overpressured compartment-pressure conduit system-overpressured compartment is summarized in the paper. The SR-OPCC has profound and lasting effects on the migration and accumulation of petroleum in Dongying depression.

Key words: fluid pressure system; overpressure compartment; pressure conduit system; subcompartment; Dongying depression.