

文章编号: 1001 - 6112 (2005) 06 - 0601 - 05

陆相断陷盆地断裂系统与 异常压力分布特征初探 ——以济阳拗陷东营凹陷为例

陈宝宁¹, 白全明¹, 周香翠², 李保²

(1. 中国石油 石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石化 胜利油田, 山东 东营 257000)

摘要: 陆相断陷盆地是中国东部盆地的重要类型, 在我国石油勘探开发领域中占有重要地位。深层广泛发育的异常流体压力和复杂断裂系统是 2 个重要特征, 研究两者的相互作用有助于更加科学、有效地进行油气运移、聚集研究。在综合分析陆相断陷盆地流体压力和断裂特征的基础上, 以济阳拗陷东营凹陷为典型例证, 充分应用钻、测井资料, 建立了高精度的凹陷异常压力分布模型; 结合断裂系统特征, 探讨了在三级构造单元格架下, 流体压力与断裂系统在空间上的配置关系以及断裂系统对流体压力纵横向分布及封闭特征的影响。

关键词: 异常压力; 断裂系统; 陆相断陷盆地; 东营凹陷; 济阳拗陷

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

含油气盆地流体运移与分布研究是以压力研究为基础和核心的, 是贯穿盆地生、运、聚过程的纽带^[1]。关于压力赋存的状态及其与油气的关系, 国内外有很多成熟的例证^[2~4]。

陆相断陷盆地因其快速的沉降拉伸和较大的沉积速率, 导致深部大范围的异常压力发育, 中国渤海湾盆地的黄骅拗陷、济阳拗陷均为典型实例。但在描述断陷盆地异常流体压力空间状态的同时, 往往回避广为发育的断裂系统对异常压力的形成、发展所产生的重要影响。

断裂系统与压力分布的关系实际上是一个复杂的问题, 涉及到沉积盆地动力演化的方方面面。在油气藏形成机理研究中, 断裂系统与压力分布都是非常重要的因素, 存在一定的因果关系。在油气藏定量描述

过程中, 它们具有非常重要的作用, 这也是研究该问题的重要意义之所在。本文以济阳拗陷东营凹陷为例, 详细研究异常流体压力的分布状态, 细致剖析断裂系统与异常流体压力的共生关系, 为在陆相断陷盆地中研究此类问题提供研究思路和技术手段。

1 陆相断陷盆地断裂系统特征

陆相断陷盆地是大洋板块碰撞俯冲引起弧后拉伸, 滨洋大陆区张裂、沉陷而形成的拉张盆地。由于陆相断陷盆地特殊的成因机制, 造成盆地内具有“断—超”不对称的“箕状结构”。一般来讲, 陆相断陷盆地发育 5 种典型的二级构造带类型: 陡坡带、缓坡带、洼陷带、中央背斜带和边缘凸起 (图 1)。

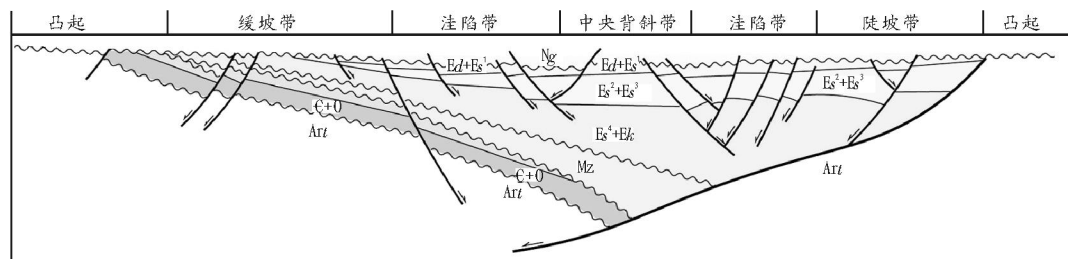


图 1 陆相断陷盆地分带模式

Fig. 1 Zonation model of continental fault basin

收稿日期: 2005 - 02 - 28; 修订日期: 2005 - 09 - 21。

作者简介: 陈宝宁 (1972 -), 男 (汉族), 山东济南人, 博士生、工程师, 主要从事矿产普查与勘探。

济阳拗陷东营凹陷是中国东部陆相断陷盆地的典型代表,是新生代渤海湾裂谷盆地中的一个次级构造盆地,面积 5 700 km²[5] (图 2)。属典型的具有“断—超”不对称“箕状结构”的断陷盆地,具有北断南超、北陡南缓的构造特征。可以划分为以下 5 个基本构造单元:东营东部洼陷、博兴洼陷、中央背斜带、北部陡坡带和南部斜坡带[6]。图 2 中的 A—A' 剖面明显地表现了东营凹陷北陡南缓的地质结构。

东营凹陷断层总数有 1 500 多条,主要的断裂系统包括:北部的陈南断层、利津—滨南断裂带、坨胜永断裂带,中央隆起断裂带,南部的高青—石村断裂带、陈官庄—王家岗断裂带等。其中的主断裂为生长断层,控制着盆地的构造格局和沉积体系[7,8]。

2 流体异常压力分布特征

尽管形成条件、发育规模存在很大差异,中国东部陆相盆地中大多存在异常流体压力,如松辽盆地、渤海湾盆地、莺歌海—琼东南盆地等[9,10]。东营凹陷作为渤海湾盆地中典型的陆相断陷盆地,油

气资源丰富,经过 30 多年的勘探,积累了大量的实际钻探资料。笔者应用探井测井、试油、测试等资料,采用地层因子法计算预测东营凹陷的异常流体压力,建立了压力封存箱模式[11]。

应用地层因子法计算的地层压力系数做出的主要异常压力分布段沙三中亚段、沙三下亚段的东营凹陷压力分布平面图(图 3)表明,东营凹陷可划分为 2 个相互独立的压力封存箱系统:利津—牛庄—民丰压力封存箱和博兴—纯化封存箱,其间为纯化古隆起构造带分隔。其中,利津—牛庄—民丰压力封存箱系统平面分布范围大,压力系数高,内部能量强,纵向延伸厚度大,影响着整个东营凹陷含烃流体的生成、运移和聚集。而博兴—纯化压力封存箱系统分布范围、压力系数均小于利津—牛庄—民丰压力封存箱系统,影响范围仅局限在博兴洼陷周围。

搞清异常压力的区域分布只能完成对含烃流体运移、聚集的定性评价。对局部油藏的定量评价过程,需要综合研究控制油气分布的断层因素和压力分布以及它们之间的相互作用和影响。断裂系统是如何影响压力的、产生的结果又是什么,这是众多文献

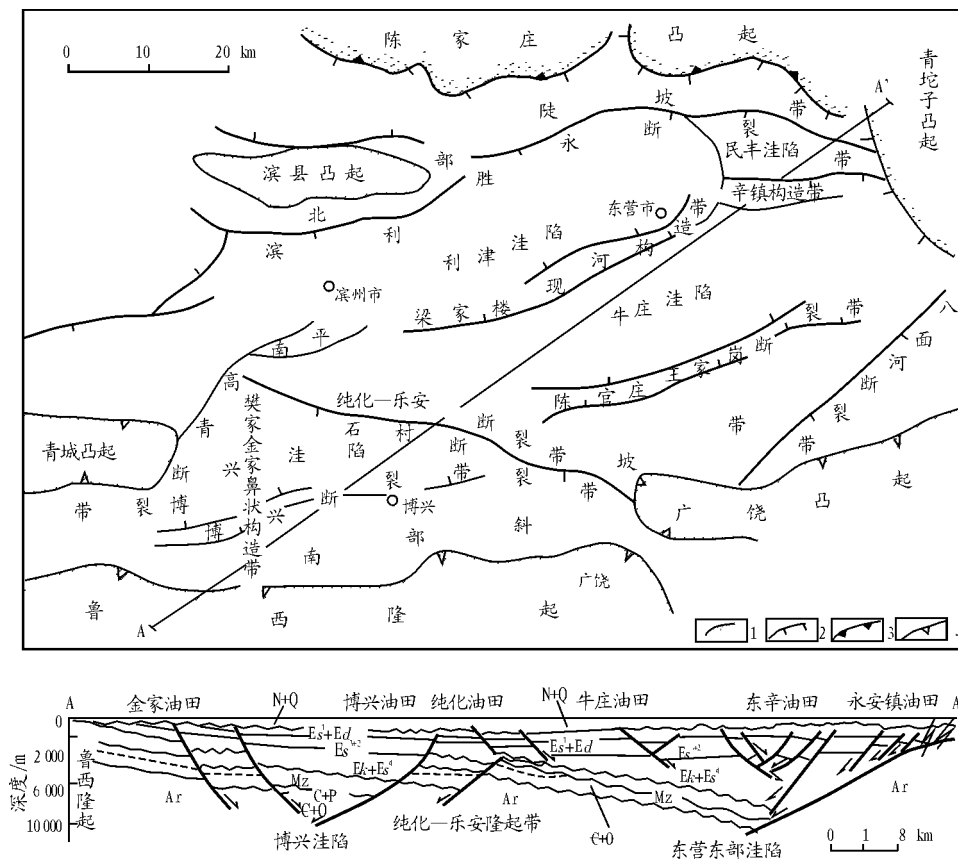


图 2 济阳拗陷东营凹陷构造纲要

1. 下第三系分布范围; 2. 主要断层; 3. 下第三系超覆线; 4. 下第三系剥蚀线

Fig. 2 Tectonic outline of the Dongying sag of Jiyang depression

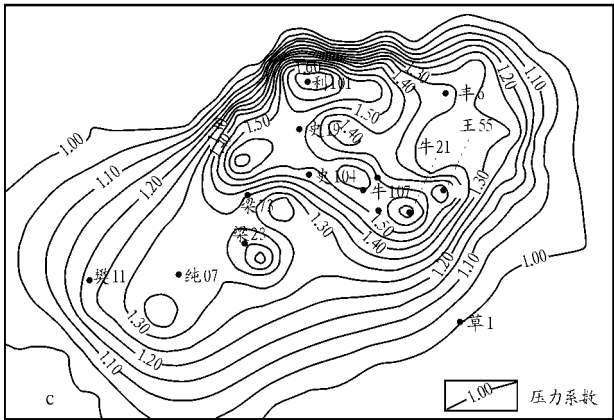
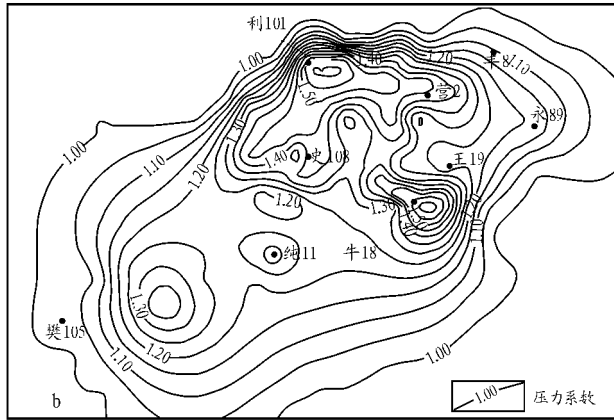
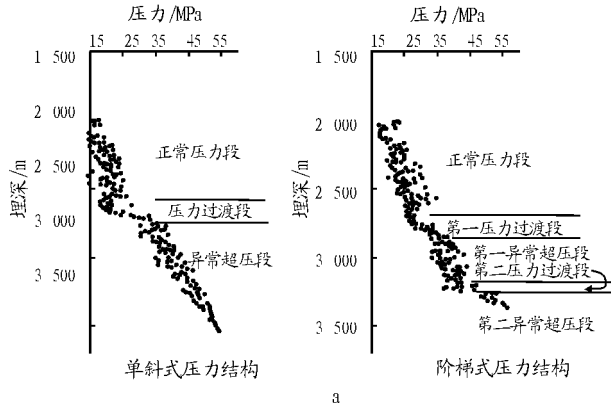


图 3 济阳坳陷东营凹陷沙街组异常压力分布
a. 单井压力结构; b. 沙三中亚段压力分布; c. 沙三下亚段压力分布

Fig. 3 Abnormal pressure distribution in the Shahejie Formation of the Dongying sag of the Jiyang depression

中很少涉及的问题，也是研究中的难题。本文选择断陷盆地中央背斜带和陡坡带 2 个典型断裂区域，重点研究断裂系统与压力的关系。

3 中央背斜带与压力封存箱特征

在陆相断陷盆地中，中央背斜带具有特殊意义：由于构造原因，它往往是油气富集的最有利场所，同时由于构造应力状态复杂，导致这一区域断

裂系统最为复杂、流体流动最为活跃^[12]（图 4）。研究这一地区的异常压力分布状态具有典型意义。

如图 4，H144 井—H71 井压力剖面为过中央背斜带的一条南北向剖面，该剖面中有 4 条断层断到封存箱内部，从南向北分别标记为 ①~④ 号断层。其中，过 H128 井的 ③ 号断层是中央背斜带的一条主要断层，早期开始活动，是沙三中最为活跃的同沉积断层，控制着中央背斜带地层的分布，平均断距达 300 m。结合压力剖面分析，得出以下认识：

3.1 封闭层厚度受断层控制

封闭层是能有效阻止压力封存箱与环境进行物质交换的地质单元^[13]，其对压力封存箱的封闭使得整个系统成为一个封闭的水力化学系统。

中央背斜带由多个复杂断块组成，不同断块上的封闭层厚度差异较大。如图 4，H128 井为一个地堑块，该地堑内的封存箱封闭层厚度最小，为 97 m，而两侧上升盘的封闭层厚度分别为 170 m 和 158 m。封闭层厚度差异的原因在于：上升盘的泥岩层与三角洲前缘块状砂体渗透带对接，导致封闭效率下降，封闭住同样压力所需封闭层的厚度要大于下降盘。而断层的下降盘封闭层与上升盘的封闭层泥岩对接，封闭层质量高，侧向封闭性好。

3.2 断裂带封闭层底部高度趋于一致

虽然由于断层的切割使得块砂底与封闭层的高度变化复杂，但封闭层底部横向变化有一定规律，即封闭层底部高度趋于水平。如图 4 所示，①~④ 号断层之间的 3 个断块上的封闭层底部在断层点上并没有产生与断层相当的断距，而是相互缝合，形成局部平板，近似于 Hunt 所说的“水平底板”^[11]。这种现象的产生，同样应该是化学成岩作用的结果，共同的烃—岩反应使封闭层的形成不受断层影响。

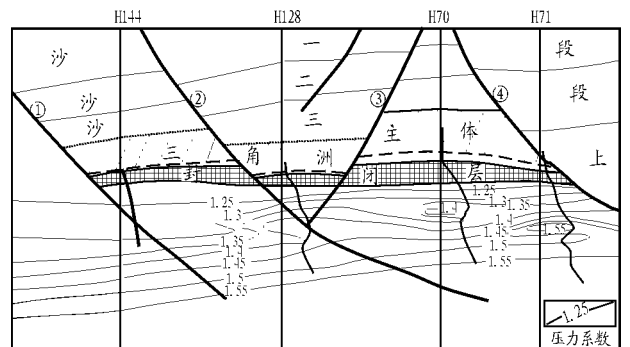


图 4 济阳坳陷东营凹陷中央背斜带断裂系统与压力分布关系图

Fig. 4 Relationship between fault system and pressure in the central anticline zone of the Dongying sag of the Jiyang depression

3.3 封闭层形成时期

如图 4 所示，号断层是东营运动后期形成的次生断层，但其控制封闭层的厚度表明，封闭层是在东营运动之后的拗陷期形成的。因为如果东营运动前封闭层已经形成，封闭层应该随地层升降而升降，但水平底板的发生证明封闭层是在东营运动后、盆地热沉降时期逐渐形成的。构造沉降史和古压实模拟分析表明，东营运动发生前，沙四段、沙三段地层已经形成超压，但由于封闭层尚未形成，保存条件尚不具备，并没有生成压力封存箱，东营运动构造抬升使部分压力逸失。东营运动后，盆地沉降使上覆地层的沉积逐渐加厚，封闭层逐渐形成，封存箱形成。

3.4 封存箱内断层附近压力分布状况

作为同沉积断层，号断层控制该区域的沉积，但如图 4 所示并没有对压力形成分割，断层两盘的压力呈连续分布，这是在本次研究中得出的一个认识。在此之前的研究都认为该类级别的断层对压力具有分割作用。

断层在早期活动强烈，后期趋于稳定，成为不活跃断层，这一时期断层两盘地层在相同条件下经历沉积、埋藏、压实等一系列过程。由于蕴含强大的能量，封存箱始终是一个不稳定热反应器^[13]，频繁发生的运动使其内部断层处于间歇性的开启状态，两盘流体发生流动，压力、温度变得相对平衡。泥岩的成熟是连续的，没有受断层的影响。这样，这些断层不会成为封存箱内压力的阻挡层。

中央隆起带的压力分布比较复杂，主要是因

为：1) 中央隆起带受东营三角洲推进的影响，封闭层和异常压力的顶面走向受三角洲块状砂底面控制，断层的作用使块状砂底呈多个断块高低不平，导致压力的分布复杂化。2) 含烃热流体的活动。断层是油气垂向运移的主要通道，热流体向断层方向的流动使断层附近压力和温度受到强烈的扰动，导致局部压力增高和温度异常，形成所谓的“热点”^[13]。从压力剖面上分析，号断层附近压力与其他几条断层相比稍微偏高，而从东营凹陷地温梯度平面分布图上看，断层带的地温梯度明显异常。

4 陡坡带断裂系统与压力分布

陆相断陷盆地陡坡带一般由 1~2 条主干断层及其控制的构造圈闭与一系列次级断层及其控制的次级构造共同组成。陡坡带是断裂拉伸作用最强烈的地区，断层数量众多，样式复杂多变，仅东营凹陷就发育板式、阶梯式、座椅式等多种陡坡边界样式。陡坡带是油气聚集的重要区域。以东营凹陷西部利津断裂带为例，该断裂带以一个主断层为主，断层呈左阶斜列展布，由多条顺向断层组成，逐级下掉，并发育多条反向断层，因而构造更加复杂。与主断裂同向伴生发育多条断裂，在 L91 井区断裂相互连接形成网状断裂，而在 L92 井区主断裂消失，但在同向上发育多条断层，向南延展逐渐与滨南断裂带相连。异常压力分布受断层影响，不同断块压力特征有所不同（图 5）。

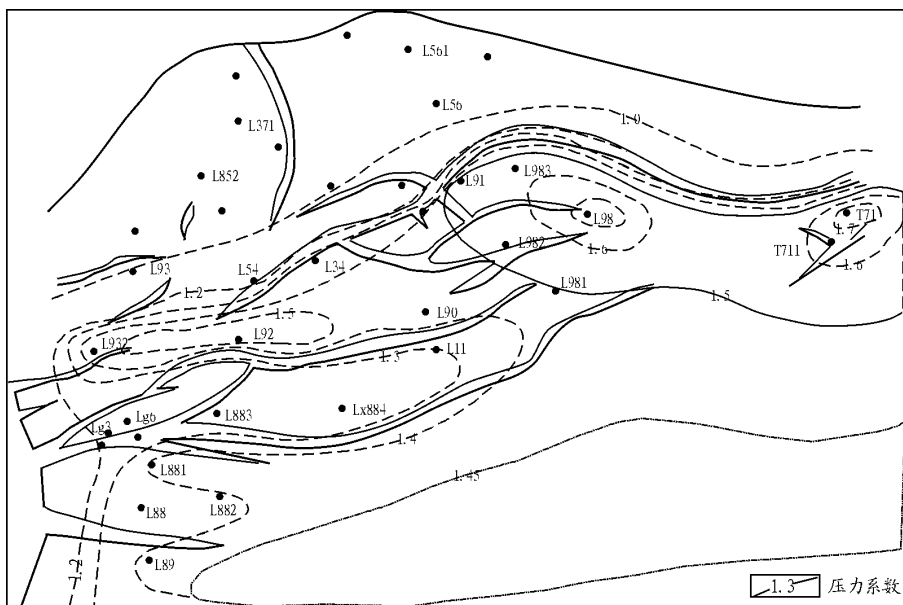


图 5 济阳拗陷东营凹陷陡坡带断裂系统与压力分布关系

Fig. 5 Relationship between fault system and pressure distribution in the Dongying sag of the Jiyang depression

4.1 压力走向与断层走向一致,呈条带状分布

总体上,向盆地凹陷方向压力逐渐增大,组成利津断裂带的4条主断层对压力分布起分割作用,主断层下伴生的次级断层对压力分布不起作用。受断层分割的影响,异常压力区明显沿断层走向呈条带状展布,表明主断层之间的断块流体处于相对封闭状态,流体的赋存和排泄影响着该断块的油气分布状态。油气藏也成条带状分布。

4.2 断层压力侧向封闭机制

如上所述,断层控制该区压力分布,如Lg6泄压区的影响范围仅限于该断块上,其南北断块依然保持相当高的异常压力。而北部断块的超高压范围也受到断层的限制,局限在该断块内。这一现象表明,断层转换带的断层确实对压力起到了分隔作用。

作为盆地压力封存箱的侧向封闭边界,断裂带有其独特的封闭机制。以L92北断层的封闭机制为例,该断层作为胜北断层向西延伸的分支,在断层发育的地方具有较好的封闭性是很好理解的,但在如图5所示的L92—L932井区,该断层已经消失,取而代之的是多条断距只有50 m左右的小断层。这些小断层断层的形成是由于主断层消失后构造应力分散,在其前端侧向出现一系列的次级断层,形成所谓的断层位移传递带或“桥式构造带”。在构造应力转换传递过程中,传递带地层因构造应力作用在断层附近形成一系列脆性变形,使岩石颗粒产生微裂缝,形成变形滑动带。这些滑动面的孔隙度接近于0,滑动面的渗透率减小7个数量级,而毛细管压力则增加了10~100倍^[14,15]。在上述作用下,断层和断层之间的地层形成断层—岩性封闭带,使异常压力区形成有效的侧向封堵。

5 结论

陆相断陷盆地复杂断裂带异常压力特征的描述是一个复杂问题。研究尺度需要精细到三级构造单元乃至油藏级别,在研究思路和技术上都需要有新的突破。断裂系统与压力分布的匹配关系是油气运移、聚集及成藏的关键因素之一,应用新的技术方法计算盆地的异常压力,使其横、纵向分辨率均有很大提高,使得研究局部断裂带的压力分布成为可

能。2个典型地区的实例解剖表明:复杂断裂带的发育演化强烈影响压力的形成、演化和分布;断层作为压力侧向封闭边界存在;异常压力的分布状态与不同断块的油气富集程度有很大关系。

虽然在机理上有许多问题尚待讨论,在技术上也需要进一步发展和提高,但可以预见,在高分辨率油藏建模过程中,以及油气藏形成机理研究中,断裂系统与压力分布的因果关系具有非常重要的作用。

参考文献:

- Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74 (1): 1~12
- 刘福宁. 北三台地区异常地层压力的成因及油气运移聚集条件 [J]. 石油勘探与开发, 1990, 17 (4): 14~19
- 彭大均. 济阳盆地沉积型异常高压带及深部油气资源的研究 [J]. 石油学报, 1988, 9 (3): 13~19
- 隋风贵. 应用“聚油单元”研究济阳拗陷的石油资源潜力 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (6): 783~787
- 陆克政, 漆家福. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 21~23
- 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践 [M]. 东营: 石油大学出版社, 1992. 30~32
- 李丕龙, 张善文, 宋国奇等. 断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳拗陷为例 [J]. 石油实验地质, 2004, 26 (1): 3~10
- 宗国洪. 同沉积断裂带砂砾岩隐蔽油藏研究——以东营凹陷胜北断裂带为例 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (3): 274~279
- 郑和荣, 冯有良. 东营凹陷下第三系地层异常高压体系及其石油地质意义 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27 (4): 67~70
- 陈红汉. 莺—琼盆地的独特埋藏史 [J]. 中国海上油气 (地质), 1994, 8 (5): 329~336
- 陈宝宁, 王宁. 异常流体压力研究进展与方法实践 [J]. 油气地质与采收率, 2001, 8 (1): 36~39
- 王建宝. 渤海湾盆地东营凹陷烃源岩生烃动力学研究 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (4): 403~407
- Deming D. Factors necessary to define a pressure seal [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78 (7): 1 005~1 009
- Ortoleva P J. Compartmentation: definition and mechanisms [A]. In: Peter J O, ed. AAPG memoir 61 [M]. Oklahoma: AAPG, 1994
- Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments [J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14 (2): 161~280

research and discussion are carried out from such aspects as porosity, T_2 cutoff value, permeability, movable fluid saturation, oil saturation, pore and pore throats distribution, wettability, oil viscosity, etc. Research proves that, the NMR logging technology realizes rapid measurement and evaluation of petrophysics, and has guiding significance and reference value for in-site decision-making and after drilling and testing discussion.

Key words: relaxation; cut off value; T_2 spectrum; physical property of rock; Nuclear Magnetic Resonance

(continued from page 605)

RELATIONSHIP BETWEEN FAULT SYSTEM AND ABNORMAL PRESSURE DISTRIBUTION IN CONTINENTAL FAULT BASIN —A CASE STUDY OF THE DONGYING SAG OF JIYANG DEPRESSION OF BOHAI BAY BASIN

Chen Baoning¹, Bai Quanming¹, Zhou Xiangcui², Li Bao²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083, China;

2. Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257000, China)

Abstract: Continental fault basin is an important basin type in the east of China, and is significant for oil exploration and production. It is characterized by abnormal fluid pressure extensively formed in deep formation and complex fault system. Study of the mutual action of these two characteristics is helpful for the analysis of oil migration and accumulation. Based on the analysis of fluid pressure and fault characteristics of continental fault basin, a precise model of abnormal pressure distribution in sag is made. It is also discussed in this paper the spatial relationship between fluid pressure and fault system and the influence of fault system on vertical distribution of fluid pressure as well as the sealing characteristics.

Key words: abnormal pressure; fault system; continental fault basin; the Dongying sag; the Jiyang depression

(continued from page 611)

and "steric effect". Geochemical parameters related to methylated naphthalenes can be used to indicate the differences of maturity, biodegradation, and source input between oil and sedimentary organic matters. Oil samples selected from Damintun Depression in Bohai Bay Basin have been analyzed for methylated naphthalene series. The results show that the high waxy oils are more thermally mature than normal oils, even though some saturated hydrocarbon composition such as steranes and terpanes isomeric ratios get to equilibrium end. This conclusion is consistent with the geological background and the basin modeling results in the study area. It is proved that these methylated naphthalene parameters are very useful geochemical indicators.

Key words: methylated naphthalene; maturity parameter; high waxy oil; Damintun depression