

沾化凹陷异常高压分布特征及其成因机制探讨

魏海泉^{1,2,3} 徐东锋⁴ 赵红佳⁴ 刘见宝^{1,2} 夏斌^{*1,5}

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 中石化胜利油田分公司, 东营 257000; 4. 大庆油田装备制造研究院, 大庆 163311; 5. 中山大学海洋学院, 广州 510006)

摘要:采用声波时差法计算沾化凹陷沙三、沙四段的地层压力。发现异常高压纵向上存在两个独立的异常高压系统, 规模较大、持续活动强的断层往往是异常高压区的边界, 并起到泄压的作用。平面上, 以洼陷为中心形成异常高压区, 向外逐渐过渡为正常压力带。从沙三上段至沙三四上段, 异常高压范围经历了一个扩张-萎缩的轮回, 沙三下段凹陷内异常高压分布面积达到最大。对沾化凹陷新生代沉降史及生排烃史的研究表明, 较高的沉积速率及有机质生烃是沾化凹陷异常高压发育的主要因素。构造作用通过断层泄压、控制沉积速率及有机质展布起到对异常高压分布直接或间接的控制作用。

关键词:异常高压; 形成机制; 欠压实; 有机生烃

中图分类号: TE122 **文献标识码:** A

Abnormal High Pressure Distribution of Zhanhua Depression and Discussion of Its Formation Mechanism

WEI Haiquan^{1,2,3} XU Dongfeng⁴ ZHAO Hongjia⁴ LIU Jianbao^{1,2} XIA Bin^{*1,5}

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640; 2. Graduate University of China Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Shengli Oilfield Branch Corporation, China Petroleum & Chemical Corp., Dongying 257000; 4. Institute of Equipment Manufacturing, Daqing Oilfield Branch Corporation, China National Petroleum Corp., Daqing 163311; 5. Maritime Academy of Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510006)

Abstract: Interval transit time is applied to calculate the formation pressure of sha-3 and sha-4 member in Zhanhua depression. There are two vertical separate abnormal high pressure systems. Large-scale sustained activity faults are always boundaries of abnormal high pressure zone, and play the role of pressure relief. Abnormal high pressure zone is formed in the center of sag, normal pressure is outside the center. From sha-3 upper member to sha-4 upper member, abnormal high pressure has gone through a range of expansion-contraction cycles. And in sha-3 lower member the abnormal pressure reaches the maximum. Cenozoic sedimentation history and hydrocarbon generation history of Zhanhua depression show that a higher deposition rate and organic hydrocarbon generation are major factors of the abnormal pressure development in Zhanhua depression. The formation pressure distribution is controlled directly or indirectly by the tectonism through faults relief pressure, sedimentation rate and organic matter distribution.

Key words: abnormal high pressure; formation mechanism; uncompacted; organic hydrocarbon generation

1 引言

异常高压有利于保存储层的孔隙度; 压裂岩石产生裂隙, 从而增加储层的渗透性能; 形成压力封堵作为油气藏的盖层; 还为油气的运移提供动力, 因此研究异常高压的分布及其成因机制具有重要意义^[1]。至今, 有关超压形成机理有十多种, 如欠压实、构造应力、流体热作用、成岩作用、有机质生烃作用、浮力作用、水压头作用或潜水面差异等^[2-8]。根据各异常高压形成机理的不同, 可总结为以下三种类型: 1) 与应力有关的生压作用及过程; 2) 地层孔隙流体体积增大引起的生压及过程; 3) 流体流动和浮力的增压作用。然而不同的地质条件, 其主要形成机制是不同的。沾化凹陷新生代沉积速率快, 欠压实作用明显, 沙三、沙四层位发育异常高压。文章采用声波时差法计算沾化凹陷目标层位的剩余压力及压力系数, 对其异常高压分布特征及形成机制进行了探讨。

2 声波时差法计算地层压力

该方法求取地层压力的原理是: 假设某个孔隙四周被岩

石包围, 那么上覆岩层施加的压力和孔隙流体压力之间的压差就是上覆净压力, 而岩石孔隙度和上覆净压力呈指数关系。已知声波测井记录的是压缩声波经过 1m 地层所需的传播时间, 其大小主要取决于岩性和孔隙度。在岩性已知的条件下, 传播时间与岩石孔隙度成线性正比例变化^[9,10]。

在不均衡压实带产生的异常地层压力, 可用下式计算:

$$P = R_w H_c + R_{wv} (H - H_c) \quad (1)$$

其中, H_c 为孔隙度与 H 处相当的正常压实趋势线上对应点的深度。在正常压实情况下, 声波时差与深度有如下指数关系:

$$\Delta t = \Delta t_0 e^{-C/H} \quad (2)$$

等式两边取对数变形得

$$H_c = -(1/C) \ln (\Delta t / \Delta t_0) \quad (3)$$

式中: R_w 为静水压力梯度; R_{wv} 为上覆沉积岩的平均静岩压力梯度; C 为压实系数; Δt 为深度 H 处的声波时差, $\mu s/m$; Δt_0 为地表声波时差, $\mu s/m$ 。

3 沾化凹陷异常高压分布特征

沾化凹陷位于渤海湾盆地济阳拗陷的东北部, 是济阳拗陷中典型的“北断南超”的箕状拗陷。地质历史时期, 其区域应力场多期转换, 经历多次构造反转^[11-13]。沾化凹陷发生多期裂陷作用, 主要发育沙四上段、沙三段和沙一段等三套主

* 通讯作者: E-mail: xiabin01@gmail.com

力烃源岩,沙二段、馆陶组储层较为发育,沙一段和明化镇是二套区域性盖层。

3.1 纵向压力分布

沾化凹陷超压现象较为普遍,异常压力在2500m左右开始出现,地质时代相当于沙三段。沙二段及以上地层基本保持在静水压力状态,主要为正常压力系统。从沙三段开始普遍发育地层异常高压,在4500m左右又趋于正常压实,相当于沙四下段[14]。

在连井压力剖面上(图1),凹陷深洼处异常高压发育;向洼陷边缘和构造高部位,随泥岩含量减小,断层切割及构造抬升剥蚀作用,压力系数减小直至出现异常低压。其纵向展布特征主要可以概括为以下2点:

1) 纵向上存在两个独立的压力系统,即上部压力系统和下部压力系统,前者分布在3000m以上的部位,层位上包括沙二及其以上地层,压力系数可达1.2。下部压力系统约在3000m之下,分布在沙三及其以下地层,压力系数可达1.4以上。

2) 上、下压力系统平面上压力分布均与断裂体系及沉积中心有以下对应关系:一是规模较大(切穿古近系)、持续活动强的断层往往也是异常高压区的边界,这类断层往往起到泄压作用;二是异常高压区与沉积中心一致,同时也是洼陷的生烃中心。

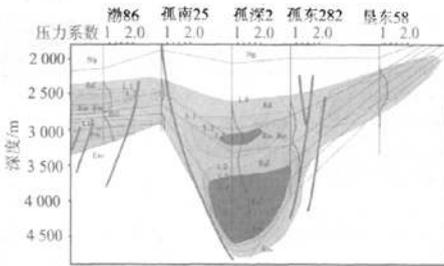


图1 沾化凹陷地层压力分布剖面图

Figure 1 Formation pressure distribution profile of Zhanhua depression

3.2 平面压力分布

沾化凹陷异常高压主要分布在沙三、沙四段。离洼陷中心较近的位置异常高压发育,尤其是洼陷中心的超高压发育,而缓坡及离洼陷中心较远的地区异常高压相对不发育。

平面上,以渤南洼陷的义83井、孤北洼陷桩25井及孤南洼陷孤南39井为中心形成三个异常高压区,向外逐渐过渡为正常压力带。纵向上,由上而下,从沙三上段至沙三下段,异常高压范围逐渐扩大,直至沙三下段,凹陷内异常高压分布面积达到最大,至沙四上段异常高压面积又有所减小,整体经历了一个扩张-萎缩的轮回(图2)。

4 异常高压成因机制

4.1 欠压实作用

沾化凹陷经历了孔店期(65~50.4 Ma)的初始张裂期,沙河街期及东营期(50.4~24.6 Ma)的快速沉降,为盆地的断陷阶段(图3)。而在距今24.6 Ma以来沉降速率减小,为盆地的拗陷阶段,但在距今14 Ma以来沉降速率又突然加

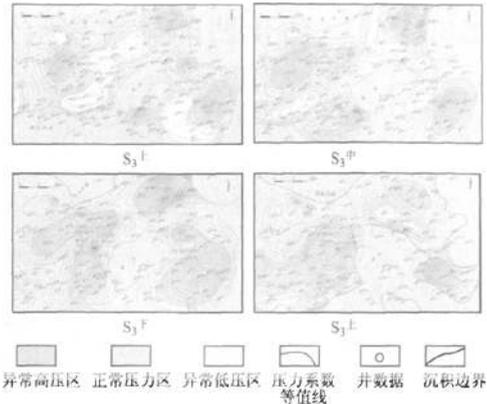


图2 沾化凹陷s3上-s4上压力系数等值线图

Figure 2 Pressure coefficient contour map of upper sha-3 member to upper sha-4 member in Zhanhua depression

快[15]。凹陷的快速沉降为沙三、沙四段地层异常压力的产生创造了地质条件。

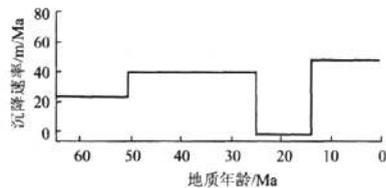


图3 沾化凹陷构造沉降速率曲线[15]

Figure 3 Curve of tectonic subsidence rate of Zhanhua depression [15]

图4显示了孔隙度在2500m以深偏离正常压实线,有变大的趋势,而孔隙度与渗透率良好的相关性,则表明储层物性主要受压实作用的控制,孔隙类型应以原生孔隙为主。原生孔隙的保存证明欠压实的存在。而2500m以下恰恰是超压分布的层位,进一步说明欠压实是超压分布的主要因素。

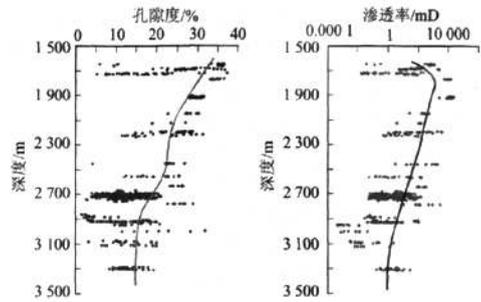


图4 富林洼陷储层孔隙度、渗透率纵向变化特征

Figure 4 Longitudinal change of Reservoir porosity and permeability in Fulin sag

4.2 有机生烃作用

沙三段为沾化凹陷主要烃源岩系,特别是沙三段下亚段,广泛发育泥灰岩、灰质泥岩、灰质油页岩、油页岩沉积,有机质含量高,有利于增加有机质热降解生成烃的增压作用效率。沙三段下亚段的埋深为2200~3500m,干酪根类型为

I型,总有机碳含量为2%~5%,镜质体反射率一般为0.6%~1.2%,目前主要处于大量生气阶段(图5)。随着埋深的增加,特别是在2500~3800m以上时(此时镜质体反射率值为0.45%~0.70%)后,相应地温在100~140℃之间,干酪根降解生成烃的速度加快,干酪根在热降解生成石油和伴生气的同时,也产生大量水和非烃气体(CO₂等),这些流体的体积远大于原来有机物质的体积,导致泥岩中孔隙流体压力的增高。

同时异常高压与洼陷中心的叠合关系,也说明异常压力的产生与有机质生烃作用有关。

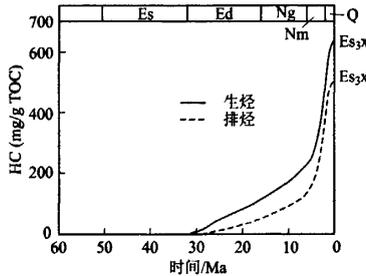


图5 孤南洼陷沙三下生排烃曲线

Figure 5 Hydrocarbon generation and expulsion Curve of under sha-3 in Gunan Sag

5 结论

沾化凹陷异常高压主要发育在沙三、沙四段,纵向上分布2套高压体系,上、下压力系统平面上压力分布均与断裂体系及沉积中心有以下对应关系:一是规模较大(切穿古近系)、持续活动强的断层往往是异常高压区的边界,这类断层往往起到泄压作用;二是异常高压区与沉积中心一致,同时也是洼陷的生烃中心。从某种意义上说明了构造作用控制了沾化凹陷异常高压的分布,这种控制作用可以分为直接控制和间接控制:断层的泄压作用体现了构造的直接控制作用;而构造通过控制沉积速率及有机质的空间展布进而控制异常高压分布则体现了构造的间接控制作用^[16,17]。

平面上,以渤南洼陷、孤北洼陷及孤南洼陷为中心形成三个异常高压区,向外逐渐过渡为正常压力带。从沙三上-沙三四上段,异常高压范围经历了一个扩张-萎缩的旋回,沙三下段凹陷内异常高压分布面积达到最大。异常高压的空间展布旋回特征跟凹陷的沉积速率变化呈现良好的相关性:沾化凹陷沉积速率由沙三上-沙四上段,也经历了沉积

速率由低-高-低的旋回,并且在沙三上至最大值。

欠压实作用和有机生烃作用是沾化凹陷异常高压形成的主要因素。

参考文献

- [1]查明,曲江秀,张卫海.异常高压与油气成藏机理[J].石油勘探与开发,2002,29(1):19-23.
- [2]杜棚,郑洪印,焦秀琼.异常压力与油气分布[J].地学前缘,1995,2(4):137-148.
- [3]SWARBICK R E, OSBORNE M J. Mechanisms that generate abnormal pressures: An overview [A]// Law B E, Ulmishak G F, Salvin V, eds. Abnormal pressures in hydrocarbon environments [C]. AAPG Memoir, 1998: 13-20.
- [4]RLAUS B. Mechanisms for generating overpressure in sedimentary basins [J]. AAPG Bull, 1999, 83(5): 798-800.
- [5]ANISSIMOV L. Overpressure phenomena in the Precaspian Basin [J]. Petroleum Geoscience, 2001, 7(3): 389-410.
- [6]王效美,张立强.沾化凹陷沙河街组异常高压分布及形成机制探讨[J].油气地质与采收率,2004,11(3):37-39.
- [7]谢启超,王宁.渤南洼陷超压发育特征及形成机理分析[J].西北油气勘探,2005,17(1):22-28.
- [8]徐国盛,王威,徐兴友.沾化凹陷渤南洼陷沙四段-孔店组的热史及超压演化[J].物探化探计算技术,2007,29(6):524-530.
- [9]何新贞.东营凹陷压力系统特征分析[J].油气地质与采收率,2002,9(4):21-24.
- [10]王福勇.东营凹陷南坡异常高压分布与油气运移[J].油气地质与采收率,2008,15(3):43-47.
- [11]吴智平,李伟,郑德顺,等.沾化凹陷中、新生代断裂发育及其形成机制分析[J].高校学报,2004,10(3):405-417.
- [12]朱光有,金强,张水昌,等.陆相断陷盆地复式成烃及成藏系统研究——以济阳凹陷沾化凹陷为例[J].石油学报,2004,25(2):12-18.
- [13]鄯继华,张鹏,陈世悦,等.沾化凹陷断块转换期层序地层及沉积特征[J].新疆石油地质,2007,28(4):465-467.
- [14]陈中红,查明.断陷湖盆地超压分布特征及其与油气成藏的关系[J].石油学报,2008,29(4):509-515.
- [15]郭兴伟,施小斌,丘学林,等.济阳拗陷新生代构造沉降特征[J].中国石油大学学报,2006,30(3):6-11.
- [16]张凡芹,王伟锋,张晶,等.沾化凹陷断层对沉积的控制作用[J].石油大学学报,2005,29(5):1-6.
- [17]杜振川,金瞰昆,孙玉壮,等.高分辨率层序地层模式及油气地质意义——以沾化凹陷下第三系为例[J].中国矿业大学学报,2002,31(4):430-434.

(上接第313页)

- [16]PASCAL L, VIANEY-SABAN C, VISSING J. 162nd ENMC international workshop: disorders of muscle lipid metabolism in adults, 28-30 november 2008, Bussum, the Netherlands [J]. Neuromuscular Disorders, 2010, 20: 283-289.
- [17]HAN HO, KIM SH, KIM K H, et al. Design and synthesis of oxime esters of α -acyl- β -phenylpropanoic acids as PPAR dual agonists [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2007, 17: 937-941.
- [18]栾洋,王蕊,河野一弥,等.甘油-酯转酰基酶药物治疗肥胖的新靶点[J].沈阳药科大学学报,2004,21(1):48-51.
- [19]VILLANUEVA M J, YOKOYAMA W H, HONG Y J, et al. Effect of high-fat diets supplemented with okara soybean by-product on lipid

profiles of plasma, liver and faeces in Syrian hamsters [J]. Food Chemistry, 2011, 124: 72-79.

- [20]PARK H, GOJI H, SHIMA T, et al. The fatty acid composition of plasma cholesteryl esters and estimated desaturase activities in patients with nonalcoholic fatty liver disease and the effect of long-term ezetimibe therapy on these levels [J]. Clinica Chimica Acta, 2010, 411: 1735-1740.
- [21]AL-LAHHAM S H, PEPPELENBOSCH M P, HAN R, et al. Biological effects of propionic acid in humans; metabolism, potential applications and underlying mechanisms [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2010, 180: 175-183.