

东濮凹陷北部深层异常高压形成机理及 对有机质热演化的抑制作用

王东晔

(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:东濮凹陷北部深层存在明显的异常高压,欠压实作用和有机质热演化是主要的控制因素,相应地主要发育成岩高压和生烃高压2种类型的异常高压。成岩高压主要分布在深洼部位,其余分布在向深洼的过渡带;生烃高压分布范围广,除西部断阶带胡庆地区外,其他地区均有发育。异常高压对有机质热演化的抑制作用应具备4个条件,即压力达到门限压力、异常高压为早期成因、有机质类型较好和原始有机质丰度较高。东濮凹陷北部深层异常高压对有机质热演化具有抑制作用,尤其是早期形成的异常高压,抑制作用更为明显。通过门限压力、异常高压发育状况以及异常高压形成时期的综合分析,认为东濮凹陷北部深层有机质热演化受抑制的区域主要分布在东部洼陷和西部洼陷,其中东部洼陷分布较广。

关键词:异常高压 成岩高压 生烃高压 抑制作用 有机质热演化 东濮凹陷

中图分类号: TE112.11

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)03-0033-04

由于中国东部中、浅层油气藏已进入高勘探程度阶段,盆地深层(埋深大于3 500 m)成为东部油气勘探的主要领域之一,然而,深层油气成藏条件较苛刻,受储层物性条件的限制,且油气源条件尤为重要,因为在深层存在“孔隙死亡线”和“油气死亡线”,传统的油气演化理论在一定程度上制约了东部深层油气的进一步勘探。

传统研究认为,有机质热演化主要受温度和时间双重因素控制,没有考虑压力作用。但中外众多学者研究认为,在一定条件下,异常高压对有机质热演化具有抑制作用^[1-11]。如Sajgo等对未成熟藻质体和褐煤进行热解模拟实验,认为高压对沥青成熟和煤化作用具有抑制作用^[1];杨天宇等通过烃源岩高温高压模拟实验,认为在达到一定值之后,压力的增大对有机质热演化具有明显的抑制作用^[2-7];倪建华等研究认为早期异常高压对有机质的热演化具有抑制作用,而晚期异常高压对其无抑制作用^[8];郝芳等认为早期存在的异常高压对有机质热演化的抑制作用至关重要^[9]。异常高压对有机质热演化抑制作用的发现有助于解决深层油气的油气源和储层问题,因此,笔者对东濮凹陷北部深层异常高压的形成机理及其对有机质热演化的抑制作用进

行了研究,以期研究区深层油气勘探提供参考和依据。

1 异常高压形成机理

东濮凹陷北部深层存在明显的异常高压,是沉积物物性、封闭条件、欠压实作用、烃类大量生成、高地温场、脱水效应(粘土矿物和石膏)等多种地质因素共同作用的结果,其中,欠压实作用和烃类大量生成(有机质热演化)是主要的控制因素,相应地研究区主要发育成岩高压和生烃高压2种类型的异常高压。

1.1 成岩高压

成岩高压带主要分布在东濮凹陷北部的深洼部位(前梨园洼陷、柳屯—海通集洼陷),其余分布在向深洼的过渡带。主要是因为凹陷强烈裂陷期,深洼沉积厚度和沉积速率过大,导致地层沉积速度超过了流体(沉积水、粘土矿物转化释放水)的排出速度,地层中的流体不能及时排出,形成异常高压;向深洼的过渡带由于沉积厚度和沉积速率相对也较大,加上文东、文西断裂的影响(增大了可容纳空间),差异压实作用在局部地区也可能形成异

收稿日期: 2013-03-07。

作者简介:王东晔,男,工程师,从事油气勘探综合研究。联系电话:(0546)8715302,E-mail:wangdongye861.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006)。

常高压;中央隆起带及凹陷的东、西断阶带由于相变为砂砾岩体(浊积扇、水下扇、扇三角洲等),沉积速率虽然大,但由于物性好,流体容易排出,差异压实作用难以形成异常高压。如文东、桥口、白庙地区在沙三³亚段沉积时期—古近纪末期,盆地抬升、剥蚀之间均具有较大沉积速率,文东—桥口、白庙地区及深洼沙三³亚段的沉积速率分别为191,193和226.4 m/Ma,符合Waples提出的“以快速沉积为异常高压主导因素的沉积盆地沉积速率应不小于100 m/Ma”的结论^[12],充分说明快速沉积引起的欠压实作用是该区形成异常高压的主要因素。但李熙哲等认为东濮凹陷异常高压带的分布整体上与深度有关,而与层位关系不大^[13-16],异常高压带顶面在 seismic 剖面上是穿层的,不受岩相带的控制,表明东濮凹陷北部某些地区的欠压实作用并不是异常高压形成的决定性因素。此外,东濮凹陷北部发育的多套膏盐岩(厚度约为1 300 m,单层厚度为300~400 m),由于膏盐岩塑性强、传导性弱^[15-16],该区压力和温度高于相同埋深的其他地区,这也是深洼及过渡带形成异常高压的重要原因。

1.2 生烃高压

研究区生烃高压带分布范围广,除西部断阶带胡庆地区外,其他地区均有发育。进入生烃高压带的深度随地区变化而变化,一般为2 900~3 500 m。按照东濮凹陷平均地温梯度(3.0~3.4 °C/hm),可计算出压力转换带的温度为87~119 °C,与有机质热演化生烃高峰期相对应。在高地温场条件下,由于流体膨胀率比岩石骨架大得多(水的膨胀系数为 0.207×10^{-3} ,原油的膨胀系数为 0.955×10^{-3} ,天然气的膨胀系数约为 4×10^{-3} ,岩石骨架的膨胀系数仅为 0.009×10^{-3}),此时生成的大量烃类、水等在良好封闭条件下难以排出,极易导致异常高压的形成。

东濮凹陷发育古近系暗色泥岩及石炭—二叠系煤系地层2套烃源岩。古近系烃源岩以沙三段暗色泥岩为主,有机质丰度高,埋深为3 500~6 000 m,热演化程度高,已进入生油高峰至干气期,3 500 m以下油和气的资源量分别为 2.76×10^8 t和 $1 145.2 \times 10^8$ m³。石炭—二叠系分布稳定,山西组、太原组和本溪组为含煤层系,厚度约为220 m,该层系有机质丰度高,暗色泥岩有机碳含量为0.61%~4.26%,煤岩有机碳含量为43.55%~99%,由于埋深一般大于4 000 m,二次生气强度大,为 $10 \times 10^8 \sim 50 \times 10^8$ m³/km²,表明有机质热演化对该区异常高压的形成具有重要的作用。

2 异常高压对有机质热演化的抑制作用

2.1 抑制作用的形成条件

异常高压对有机质的抑制作用应具备4个条件:①压力超过门限压力^[1-7]。但是,门限压力并不是固定不变的,其随盆地类型、有机质热演化程度、有机质类型、异常高压体系封闭能力等因素的变化而变化。相对而言,挤压性盆地地温梯度高,有机质热演化程度高,在异常高压带封闭性能相同的条件下,门限压力较大;拉张性盆地则正好相反。②异常高压为早期成因^[8-9]。因为异常高压形成越早,相应的成岩作用越弱,沉积物连通性好,整个高压系统相当于一个大的反应器,从化学动力学角度看,此时压力的变化对有机质热演化影响较大,即具有较强的体积膨胀效应和较高的产物浓度变化速率,促进了异常高压对有机质热演化的抑制;相反,异常高压形成越晚,成岩作用越强,孔隙间连通性变差,整个高压带被分割成多个不连通体系或连通性极差的体系,此时压力的变化对有机质热演化影响相对较小;另外,早期异常高压地层保持较丰富的地层水,可以明显降低粘土矿物的催化作用,有利于促进异常高压对有机质热演化的抑制。③较好的有机质类型。不同类型的有机质具有不同的结构,特别是干酪根结构中的活性部分所占的比例明显不同,I型和II型干酪根具有较高的活性组分,在热演化过程中具有较强的体积膨胀效应和较大的产物浓度变化速率,更容易受到异常高压的抑制,III型干酪根由于活性组分含量相对低,受抑制程度较低。④较高的原始有机质丰度。有机质丰度越高,其热演化的增压效应越强,抑制作用也就越强;若有机质丰度太低,其热演化的增压效应太弱,将不利于抑制作用的发生。

东濮凹陷北部深层异常高压现象明显,大部分地区压力系数为1.15~1.35,东、西部洼陷压力系数可达1.5~1.7。另外,凹陷北部深层生油层为沙三段,大量镜下观察和电镜扫描样品鉴定表明,干酪根类型以I型和II型为主(含量约为75.4%)。从东濮凹陷异常高压发育情况不难看出,东濮凹陷北部深层异常高压具备抑制有机质热演化的客观条件。

2.2 抑制作用的证据

东濮凹陷北部深层早期形成的异常高压对有机质的热演化具有明显的抑制作用,其主要证据

为:①濮深13、濮深7等井的镜质组反射率(R_o)和最高热解峰温(T_{max})呈现明显的两段式,拐点深度均在3 700 m附近(图1)。②深层烃源岩的热演化程度比用常规热模拟方法预测的低,如濮深7井沙三³亚段实测镜质组反射率为0.8%~1.2%,处于生凝析油阶段,在5 613.2 m处可见浅棕色凝析油,而常规热模拟沙三³亚段镜质组反射率大于2%。③埋藏深度为5 500 m的地层中含有较丰富的烃类,正构烷烃碳数可达C₃₀以上,且发育较丰富的异戊间二烯烷烃,特别是姥鲛烷和植烷,姥鲛烷与相邻正构烷烃比值、植烷与相邻正构烷烃比值在小于4 300 m深度范围内变化正常,在大于4 300 m的深度范围内,随深度的增加而增大。④在Pusey认为的“液态窗”地层(深度大于4 500 m,温度高于150℃)中发现工业油流,如濮深8井沙三²亚段4 488.39~4 647.93 m井段获工业油流,产油量为23.93 m³/d。⑤超深部位发育大量的有机质热演化成因的次生孔隙(图2)。⑥随深度的增加,地层水矿化度增幅变缓,主要原因因为粘土矿物脱水导致地层水矿化度明显降低。

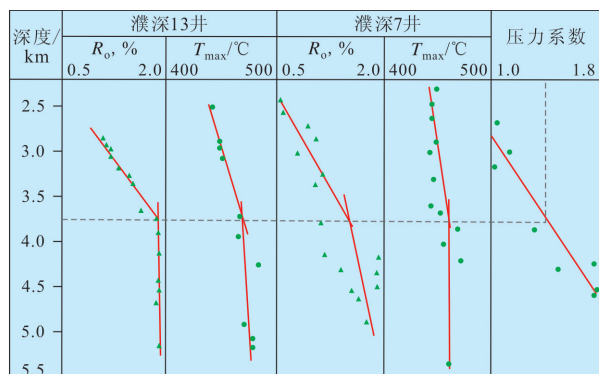


图1 东濮凹陷濮深13井和濮深7井镜质组反射率、最高热解峰温和压力系数垂向分布

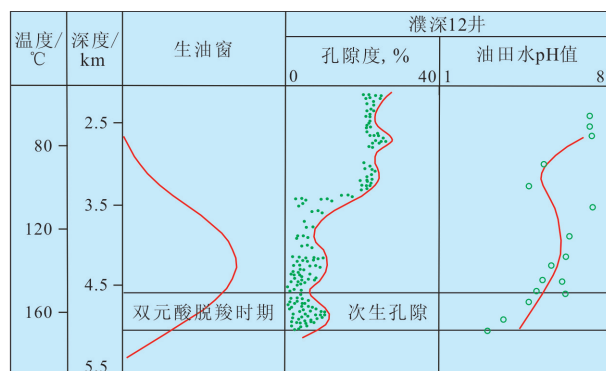


图2 东濮凹陷濮深12井次生孔隙成因模式

2.3 抑制区块预测

门限压力、异常高压发育状况以及异常高压的形成时期是决定有机质热演化受抑制区域分布的主要因素。由于门限压力是有机质演化时间、有机

质类型、有机质丰度、地温梯度等众多因素的函数,定量化研究存在很大困难,只能通过半定量方法来研究。濮深13、濮深7等井的镜质组反射率、最高热解峰温及压力系数在垂向上的分布规律表明,在3 700 m处(对应压力系数为1.42时)有机质热演化就已开始受到抑制,结合压力系数平面展布规律,由异常高压形成时期可知,东濮凹陷深层北部有机质热演化受抑制区域主要分布在东部洼陷和西部洼陷,其中,东部洼陷分布较广(图3),这与东部洼陷沉积厚度和沉积速率大存在一定的关系。

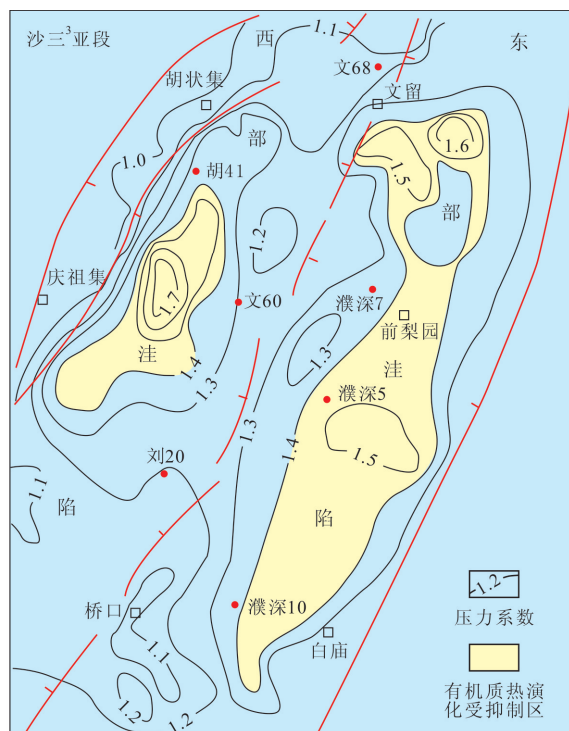


图3 东濮凹陷北部深层抑制有机质热演化异常高压平面分布(据苏玉山^[14]修改)

3 结束语

异常高压抑制有机质热演化为深层油气勘探提供了重要的理论依据,对深层发育异常高压的中国东部大部分油田来说,具有重要的理论及现实意义。具体表现在以下4个方面:①由于异常高压对有机质热演化和生烃过程的抑制作用,异常高压盆地中有机酸的释放空间和有机酸对砂岩成岩作用的影响范围大大超过常压盆地,因此在异常高压盆地中有效应力引起的压实作用减弱、流体流动性引起的胶结作用减缓,有利于深层孔隙的保存和溶蚀次生孔隙的形成;②深层异常高压体系内地层水引起的水力压裂作用和有机质热演化过程中的幕式排烃,可形成大规模的裂缝,增大了深层油气的储

集空间;③异常高压对有机质热演化的抑制导致生烃窗范围扩大,使深层具有良好的生烃潜力;④烃源岩中的流体异常高压是深层油气初次运移和二次运移的主要动力。

参考文献:

- [1] Sajgo C S, McEvoy J, Wolef G A, et al. Influence of temperature and pressure on maturation process, preliminary report [J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 10(13): 331-337.
- [2] 杨天宇, 王涵云. 岩石中有机质高温高压模拟实验[J]. *石油与天然气地质*, 1987, 8(4): 380-389.
- [3] Price L C, Wenger L M. The influence of pressure on petroleum generation and maturation as suggested by aqueous pyrolysis [J]. *Organic Geochemistry*, 1992, 19(13): 141-159.
- [4] 宋来亮. 东营凹陷陡坡带深部储层储集空间演化特征[J]. *油气地质与采收率*, 2008, 15(5): 8-12.
- [5] 姜峰, 杜建国, 王万春, 等. 高温超高压模拟实验研究 I. 温压条件对有机质成熟作用的影响[J]. *沉积学报*, 1998, 16(3): 153-155.
- [6] 何玉光. 有机质成熟史模拟探讨[J]. *地质地球化学*, 2000, 28(3): 82-85.
- [7] 王传远, 杜建国, 段毅, 等. 岩石圈深部温度压力条件下褐煤与

水的热模拟研究[J]. *油气地质与采收率*, 2006, 13(3): 1-4.

- [8] 倪建华, 张坤, 廖成君, 等. 莺琼盆地高温超压成烃作用及成藏贡献[J]. *天然气地球科学*, 2001, 12(3): 20-26.
- [9] 郝芳, 姜建群, 邹华耀, 等. 超压对有机质热演化的差异抑制作用及层次[J]. *中国科学: D辑 地球科学*, 2004, 34(5): 443-451.
- [10] 刘玉华, 王祥. 含油气盆地超压背景下油气成藏条件述评[J]. *断块油气田*, 2011, 18(1): 55-57.
- [11] 程本合. 超压盆地热演化及其对油气勘探潜力的影响——以南海北部陆缘盆地为例[J]. *石油实验地质*, 2009, 31(1): 36-39.
- [12] Douglas W, Waples, John M Hunt, et al. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments: discussions and replies [J]. *AAPG Bulletin*, 1991, 75(2): 326-338.
- [13] 李熙哲, 杨玉凤, 郭小龙, 等. 渤海湾盆地压力特征及超压带形成的控制因素[J]. *石油与天然气地质*, 1997, 18(3): 236-243.
- [14] 苏玉山, 王生朗, 张联盟, 等. 超压异常对东濮凹陷深层油气成藏的控制作用[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(2): 49-54.
- [15] 唐小云, 龚晶晶, 杨世刚, 等. 东濮凹陷文留地区古近系超压成因分析[J]. *油气地质与采收率*, 2007, 14(5): 20-22.
- [16] 孙波, 蒋有录, 张善文, 等. 东濮凹陷北部膏盐岩分布特征及其对地层温度的影响[J]. *油气地质与采收率*, 2012, 19(1): 28-30.

编辑 武云云

(上接第32页)

子沟油田古近系下干柴沟组储层中共捕获盐水、液态烃、气液烃和气态烃4种流体包裹体,以盐水包裹体和气液烃包裹体为主,主要沿石膏充填的灰岩缝洞呈带状分布。根据流体包裹体荧光分析和均一温度、盐度测试,认为研究区下干柴沟组储层中主要存在2期油气充注,同时具有多期充注和持续充注的特征。综合埋藏史、生烃史和热演化史分析表明,研究区第1期油气充注发生于上新世中期,距今约12~10 Ma;第2期发生于上新世末期,距今约4~2 Ma。

参考文献:

- [1] 卢焕章, 李秉伦, 沈岚, 等. 包裹体地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [2] 卢浩, 蒋有录, 刘华, 等. 沾化凹陷渤南洼陷油气成藏期分析[J]. *油气地质与采收率*, 2012, 19(2): 5-8.
- [3] 董立, 王伟明, 余学兵, 等. 海拉尔盆地呼和湖凹陷南屯组油气成藏期次研究[J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(3): 21-24.
- [4] 徐波, 郭华强, 林拓, 等. 辽河拗陷西部凹陷油气成藏期次[J].

油气地质与采收率, 2010, 17(1): 12-14.

- [5] 李文涛. 临清拗陷东部地区石炭—二叠系油气成藏时期研究[J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(3): 1-4.
- [6] 曹海防. 柴达木盆地西部第三系油气成藏条件与富集规律研究[D]. 北京: 中国科学院, 2007.
- [7] 康永尚, 邱楠生, 吴文旷, 等. 柴达木盆地西部油气成藏流体动力系统分析[J]. *地质科学*, 2000, 21(5): 13-15.
- [8] 李延钧, 江波, 张永庶, 等. 柴西狮子沟构造油气成藏期与成藏模式[J]. *新疆石油地质*, 2008, 29(2): 176-178.
- [9] 刘震, 党玉琪, 李鹤永, 等. 柴达木盆地西部第三系油气晚期成藏特征[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2007, 22(1): 1-6.
- [10] 青藏油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志: 卷14·青藏油气区[M]. 北京: 石油工业出版社, 1985.
- [11] 金之均, 张明利, 汤良杰, 等. 柴达木盆地中—新生代构造演化[C]. 北京: 中国地质学会, 1999.
- [12] 徐凤银, 尹成明, 巩庆林, 等. 柴达木盆地中—新生代构造演化及其对油气的控制[J]. *中国石油勘探*, 2006, 11(6): 9-16.
- [13] 刘德汉, 卢焕章, 肖贤明. 油气包裹体及其在石油勘探和开发中的应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 2007.

编辑 邹澍滢