

文章编号: 1001 - 6112(2005)02 - 0169 - 04

异常高压对烃源岩成烃 机理和油气运聚成藏的影响

卓勤功^{1,2}

(1. 石油大学, 山东 东营 257061; 2. 中国石化胜利石油有限公司地质科学研究所, 山东 东营 257015)

摘要: 流体异常高压控制着烃源岩的成烃机理和油气运聚成藏。超压促进沙四上亚段富硫烃源岩的生烃, 而对贫硫的沙三中下亚段烃源岩生烃起抑制作用。因而沙四上亚段烃源岩早生、早排、成熟度较低, 生成的油气充注凹陷外围及上部圈闭; 沙三中下亚段烃源岩晚生、晚排、成熟度较高, 生成的油气充注凹陷内部及下部圈闭。流体异常高压还能形成油气运聚的通道。所以, 隐蔽输导体系的预测是今后岩性油气藏勘探的关键。

关键词: 异常高压; 成烃机理; 运聚成藏; 隐蔽输导体系; 济阳拗陷

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

济阳拗陷经历 40 余年的勘探和研究, 目前已累计发现 71 个油气田, 探明石油地质储量 $41.7 \times 10^8 \text{ t}^{[1]}$; 关于油气来源及油气分布规律的探索, 也取得了大量研究成果^[2~4]。油源对比表明, 油气主要来源于下第三系沙四上亚段和沙三中下亚段烃源岩, 其次为下第三系沙一段烃源岩。就油源而言, 平面上和剖面上, 凹陷边缘和凹陷上部层位(一般为沙二段以上层位)的油气源自沙四上亚段烃源岩, 凹陷内部和凹陷下部层位的油气来自沙三中下亚段烃源岩, 其间局部出现两类原油的混源产物。

前人对油气分布规律进行了大量描述性的研究工作, 但对造成该规律的成因和意义缺乏系统的分析, 譬如, 为什么沙四上亚段烃源岩生成的油气成熟度相对较低, 甚至为低熟油, 且油气分布在凹陷的边部和上部; 沙三中下亚段烃源岩生成的油气成熟度相对较高, 油气分布在凹陷的内部和下部。本文从两类主力烃源岩的成烃机理入手, 深入探讨了济阳拗陷油气运聚成藏规律, 指明了油气进一步勘探的潜力。

1 烃源岩流体异常压力

1.1 烃源岩地质地球化学特征

沙四上亚段烃源岩在惠民凹陷的滋镇和阳信、东营凹陷和沾化凹陷、车镇凹陷和惠民凹陷的临南

洼陷厚度依次减小, 分别为 350 ~ 400, 250 ~ 300, 100 m。其岩性以灰褐色钙质页岩、深灰色泥岩为主, 夹薄层油页岩、白云岩、鲕状灰岩。富含生物化石, 德弗兰藻、颗石藻、渤海藻属、盘星藻属和小古囊藻共生密集形成韵律层。有机质丰富, 有机地化特征为植烷优势 ($\text{Pr}/\text{Ph} < 0.5$)、富伽马蜡烷(- 蜡烷/ C_{30} 藿烷 > 0.2)、富硫(含硫化合物占芳烃馏分的 65%), 为沙四上三级层序湖扩展系域咸水—半咸水湖相密集段。

沙三中下亚段烃源岩分别为沙三中和沙三下两个三级层序的湖扩展体系域密集段, 具有南薄北厚的特点。东营和惠民凹陷烃源岩厚约 250 m, 沾化和车镇凹陷烃源岩一般厚约 300 ~ 450 m。岩性为油页岩、灰质泥岩、泥灰岩和油泥岩。由于此时湖水加深, 湖生生物大量繁植, 介形类、腹足类、轮藻、沟鞭藻、疑源类组成生物富集层与泥质互层的韵律层。有机质丰富, 有机地化以姥鲛烷优势 ($\text{Pr}/\text{Ph} > 0.5$)、贫伽马蜡烷 C_{30} 藿烷 < 0.2 、贫硫为特征, 为微咸水—淡水湖相沉积, 其中沙三下亚段烃源岩为微咸水沉积环境, 沙三中下亚段烃源岩为淡水沉积环境。

1.2 烃源岩流体异常压力

全世界 180 多个盆地被确认存在流体异常压力, 其中 160 多个为富含油气盆地, 异常高压(超压)油气田约占全球油气田的 30% 左右^[5~8]。超压的

收稿日期: 2004 - 09 - 15; 修订日期: 2005 - 02 - 10。

作者简介: 卓勤功(1969—), 男(汉族), 安徽萧县人, 硕士、工程师, 主要从事油气藏地质研究。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科研项目(P00018)。

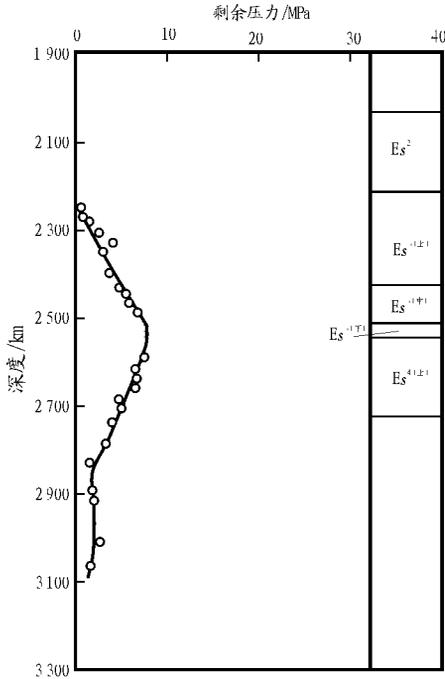


图 1 纯 47 井异常压力剖面

Fig. 1 Abnormal pressure profile of well Chur-47

成因包括快速沉积而欠压实、烃类生成、粘土矿物转化脱水、流体受热膨胀和构造挤压^[9~11]。对于拉伸盆地而言,济阳拗陷异常压力的形成主要与压实不均衡和生烃作用有关,即成岩超压和成烃超压。压力封存箱的顶界面为沙三上亚段三角洲前缘相块状砂岩底部的泥岩隔层,泥岩厚度为 50~100 m 不等,底界面为沙四段和孔店组致密的盐膏层,周边为幕式活动的大断层封闭;封存箱内部发育层位为沙三段和沙四上亚段(图 1),也就是说,沙三中下亚段和沙四上亚段烃源岩均存在流体异常高压。根据济阳拗陷流体异常高压的成因,推论两类烃源岩在生、排烃期也存在异常高压。

2 烃源岩成烃机理

不同学者就压力对烃源岩有机质演化和生烃的影响进行了不同角度的研究^[12~15]。归纳而言,超压抑制有机质的热演化,超压对富硫干酪根生烃起促进作用,而对贫硫干酪根生烃起抑制作用。

对富硫的沙四上亚段烃源岩而言,流体超压有利于有机质的转化,生成的烃类,特别是气体又将增大源岩成烃超压,压力增大与烃类转化相互促进,形成良性循环。因此,沙四上亚段烃源岩为干酪根早期降解,其生、排烃较早,门限值相对较浅(图 2),再加上超压对有机质热演化的抑制作用,烃类的成熟

度相对较低,甚至为低熟油。

沙三中下亚段烃源岩因为贫硫,超压对有机质生烃起抑制作用,烃类的转化速率减缓。随着埋深增加和一定量烃类的产生,成岩超压和成烃超压均增大,不利于烃类的转化。因而,沙三中下亚段烃源岩为干酪根晚期降解,生、排烃较晚,相应的生、排烃门限值较深(图 2),虽然有机质热演化会受超压的抑制,但由于有机质热成熟作用主要与温度有关,而且烃源岩成烃晚、埋藏深,生成的烃类成熟度一般较高。

3 油气运聚成藏

3.1 油气充注

由于沙四上亚段烃源岩生、排烃期较早,油气沿输导体系先进入附近埋藏相对浅的有利圈闭成藏;而沙三中下亚段烃源岩生、排烃期相对较晚,埋藏相对较深,油气只有充注相对较深的圈闭成藏,或沿沙四上亚段油气运聚的输导体系运移,进入已有油气注入的圈闭,并驱替圈闭中的油气。由油气差异聚集原理,早期充注的沙四上亚段油气向远处圈闭运聚,从而在横向上和垂向上被沙三中下亚段油气所取代。沾化凹陷的罗家油田、东营凹陷的梁家楼油田和胜坨油田、惠民凹陷的临南油田的含氮化合物及包裹体研究均证明,这种油气充注方式具有普遍性^[16,17]。因此,沙四上亚段油气分布在外环及上部层位,沙三中下亚段油气分布在内环及下部层位。

3.2 勘探潜力和方向

以东营凹陷为例,据统计,目前发现的 33 个油田中有 22 个油田的原油主要来自沙四上亚段烃源

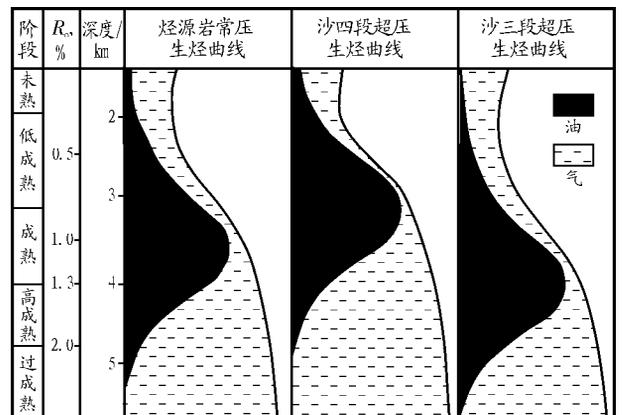


图 2 超压条件下不同沉积环境烃源岩的油气生成演化示意图

Fig. 2 Sketch map of hydrocarbon generation and evolution for source rocks in different depositional environments under overpressure

岩,其余油田上部产层局部还混有沙四上亚段原油。因此,油气勘探的潜力主要在于沙三中下亚段油气的寻找,而且凹陷深层勘探空间很大,勘探程度相对较低。胜坨背斜油藏下部砂砾岩油气藏的勘探实践对此提供了有利的证明。

3.3 隐蔽输导体系

异常高压不但是油气运聚的主要动力,而且在其产生与演化的过程中能形成微裂缝型油气运聚输导体系。对于凹陷深部油气藏的勘探,应注意寻找隐蔽输导体系和泥岩裂缝油气藏。隐蔽输导体系是相对于由易识别的断层、砂体、不整合面组成的输导体系而言的,它是由目前地震技术无法识别的小断层和微裂缝组成。隐蔽输导体系的形成与地层流体异常压力有关,当流体压力超过静水压力的1.42~2.4倍时,岩石就会产生裂隙(Snarsky, 1962),烃源岩中的油气将沿该裂隙向上运移成藏。

东营凹陷胜坨油田砂砾岩油气藏的形成提供了一个有意义的实例。坨143砂体和坨74砂体位于沙三中亚段泥岩中,为透镜体岩性油藏。油源对比表明,原油以沙四上亚段烃源岩贡献为主,沙三下亚段烃源岩贡献为次,并非其周围沙三中亚段烃源岩所生(图3)。沙三中亚段烃源岩突出的特点,一是

热演化成熟度远低于原油的成熟度;二是4-甲基甾烷含量极低,远不及原油中4-甲基甾烷的含量。因此,油藏中的原油只有来自深部沙四上亚段烃源岩和沙三下亚段烃源岩,但目前三维地震解释砂体与下部烃源岩无断层沟通,由此推断砂体与深部油源之间必然有小断层或裂缝等隐蔽输导体系相连。

4 结语

超压对有机质热演化具有抑制作用,对富硫的沙四上亚段烃源岩生烃起促进作用,而对贫硫的沙三中下亚段烃源岩生烃起抑制作用,因而沙四上亚段烃源岩早生、早排,沙三中下亚段烃源岩晚生、晚排。烃源岩成烃机理决定了油气的成藏规律。在异常压力的作用下,油气先后充注圈闭成藏,造成沙四上亚段烃源岩生成的油气充注凹陷外围及上部圈闭,沙三中下亚段烃源岩生成的油气充注凹陷内部及下部圈闭。由油气成藏规律指出,济阳拗陷油气勘探的潜力和方向在凹陷深层,特别是洼陷内的岩性油气藏。超压的另一个作用是产生微裂缝等隐蔽输导体系,因此对微裂缝的预测是下一步岩性油气藏勘探的关键。

参考文献:

- 李丕龙,金之钧,张善文等. 济阳拗陷油气勘探现状及主要研究进展[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 1~4
- 王秉海,钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1992
- 朱光有,金强. 烃源岩的非均质性研究——以东营凹陷牛38井为例[J]. 石油学报, 2002, 23(5): 34~39
- 张林晔,蒋有录,刘华等. 东营凹陷油源特征分析[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 61~64
- John M Hunt. The generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(1): 1~12
- 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
- Law B E, Dickinson W W. Conceptual model for origin of abnormally pressured gas accumulations in low permeability reservoirs[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(8): 1 295~1 304
- 张启明. 中国含油气盆地中的超压体系[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 1~11
- Osborne M J, Swarbrick R E. Mechanisms for generating overpressure in sedimentary basins: a reevaluation[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(6): 1 023~1 041
- Mctavish R A. The role of overpressure in the retardation of organic matter maturation[J]. Journal of Petroleum Geology,

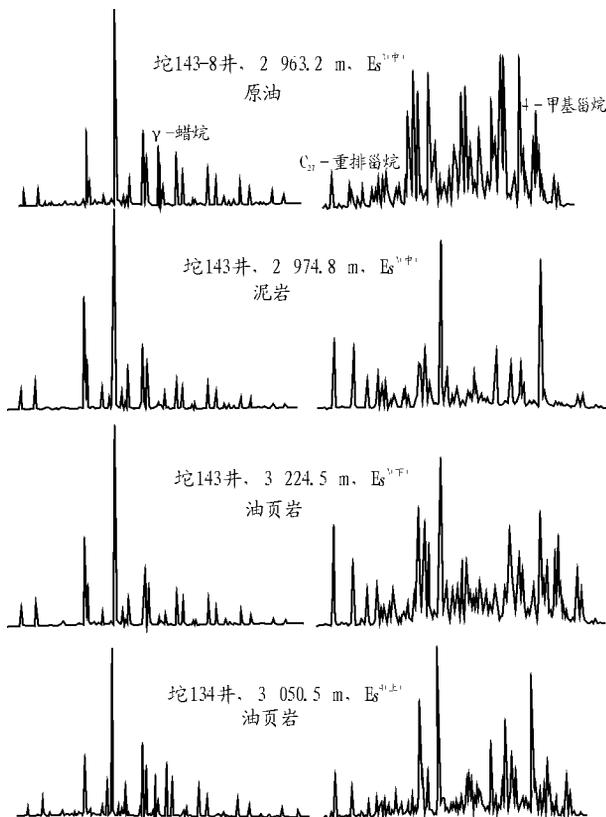


图3 坨143砂体油源生物标志化合物对比

Fig. 3 Comparison diagrams of biomarker analysis for oil and sources in Tu-143 sandbody

- 1998, 21:153~186
- 11 Charles W Spencer. Hydrocarbon generation generation as a mechanism for overpressuring in Rock Mountain Region [J]. AAPG bulletin, 1987, 71(8):368~388
- 12 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, 27(1):19~23
- 13 王兆云,赵文智,何海清. 超压与烃类生成相互作用关系对油气运聚成藏的影响[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4):12~15
- 14 邹艳荣,刘金钟,彭平安. 压力对高硫干酪根生烃的影响[R]. 第八届有机地球化学会议, 2000
- 15 孙晓明,廖前进,胡耀军等. 异常高压条件下烃源岩热压模拟及其地质意义[R]. 第八届有机地球化学会议, 2000
- 16 宗国洪,卓勤功,郝雪峰等. 利用有机包裹恢复油藏油气充注史及应用实例[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(3):49~51
- 17 陈庆春,林玉祥,唐洪三. 临南地区石油运移方向与成藏期次研究[J]. 沉积学报, 2001, 19(4):611~616

EFFECTS OF ABNORMAL HIGH PRESSURE ON THE HYDROCARBON-FORMING MECHANISM OF SOURCE ROCKS AND THE MIGRATION AND ACCUMULATION OF OIL AND GAS

Zhuo Qingong^{1,2}

(1. Petroleum University, Dongying, Shandong 257061, China;

2. Research Institute of Geological Sciences, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: The abnormal high-pressure of fluid controls the hydrocarbon-forming mechanism of source rocks and the migration and accumulation of oil and gas. Overpressure promoted the hydrocarbon generation of sulphur-rich source rocks in the upper sub-member of Es⁴; by contraries, it restrained the hydrocarbon generation of sulphur-poor source rocks in the middle and lower sub-members of Es³. Thus, in the former situation, hydrocarbon generated and discharged early, its maturity was lower, and it filled the peripheral and top traps of sags; in the latter, hydrocarbon generated and discharged late, its maturity was higher, and it filled the inner and lower traps of sags. The abnormal high-pressure of fluid also formed passages for hydrocarbon migration and accumulation. For the future, the forecast of subtle transportation systems is the key of exploration for lithological reservoirs.

Key words: abnormal high-pressure; hydrocarbon-forming mechanism; migration and accumulation; subtle transportation system; the Jiyang Depression