

渤海湾盆地渤中坳陷储层超压特征与成因机制

刘晓峰, 解习农, 张 成

中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

摘要: 对储层超压的分析, 有助于理解渤中坳陷油气晚期快速成藏机理. 利用 RFT 实测储层压力资料分析了渤中坳陷储层超压的特征和成因. 渤中坳陷存在 3 套储层超压系统: 浅层明化镇组—馆陶组储层超压系统、中层东营组—沙河街组—孔店组储层超压系统、基底(中生界及以下地层)储层超压系统. 渤中坳陷的储层超压可能主要是由 3 种机制综合引起的, 即不均压实作用、超压传递作用和裂解气的生成作用. 少量保存的传递超压是深部超压流体注入的“化石”, 它是超压背景下油气快速充注成藏的结果.

关键词: 储层超压; 传递超压; 裂解气; 快速成藏; 渤中坳陷.

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2008)03-0337-05

收稿日期: 2008-02-25

Characteristics and Generation of the Reservoir Overpressure in Bozhong Depression, Bohai Bay Basin

LIU Xiao-feng, XIE Xi-nong, ZHANG Cheng

Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The analysis of fluid migration and rapid hydrocarbon accumulation is essential for exploring distribution of overpressure and probing into its generation. Based on the RFT of many drills in Bozhong depression, the characteristics and generation of reservoir overpressure have been discussed in this paper. Three reservoir overpressure systems have been identified in the Bozhong depression: an upper reservoir overpressure in Guantao Formation-Minghuazhen Formation, a middle reservoir overpressure in Dongying Formation-Shahejie Formation-Kongdian Formation, and a lower reservoir overpressure in base (Pre-Cenozoic). Detailed investigation of reservoir overpressure in the Bozhong depression shows that overpressure probably is the result of a combination of following three mechanisms: mechanical compaction disequilibrium, overpressure transference and thermal cracking. Transfer overpressure maybe is common in subsurface reservoirs, but recognizable transfer overpressures are infrequent. A few transfer overpressures preserved in reservoirs at shallower depths named “overpressure fluid fossil”, resulted from deeper overpressured fluid charging, helps us to understand the rapid petroleum accumulation in overpressured sedimentary basins.

Key words: reservoir overpressure; transfer overpressure; thermal cracking; rapid petroleum accumulation; Bozhong depression.

渤中坳陷位于渤海湾盆地的中部, 是海上独立的一个一级负向构造单元, 包括了 3 个凹陷(秦南凹陷、渤中凹陷及渤东凹陷)和 5 个凸起(秦南凸起、石臼坨凸起、渤东低凸起、庙西凸起及渤南凸起). 渤中坳陷的发育演化可以分为早期裂隙—坳陷阶段(孔店组—沙河街组沉积期)、中期裂隙—坳陷阶段(东

营组—明化镇组下段沉积期)和晚期构造活化阶段(明化镇组上段—第四系沉积期)3 个演化阶段.

自 1995 年以来, 在渤中坳陷先后发现了 QHD32-6、NB35-2、PL19V3、CFD11-1、BZ25-1 等大、中型油气田, 引起了国内外石油地质界的广泛关注, 它们的成因机制成为人们探索的焦点. 龚再升等

(2000)、龚再升和王国纯(2001)、龚再升(2004)提出新构造运动控制油气晚期成藏理论。米立军(2001)认为上新世—全新世(5.1 Ma 以来)的新构造运动对油气田的形成起了关键作用,并指出渤海海域具有晚期生排烃、晚期成藏的特点。郝芳等(2004)进一

步指出,较强的超压和强烈的断裂活动决定了超压—构造活动联控型流体流动,进而决定了油气幕式快速成藏过程和油气分布。因此,对渤中坳陷压力系统的研究,可加深对该区油气晚期快速成藏的理解。本文的目标是利用 RFT 测试压力资料分析渤中坳

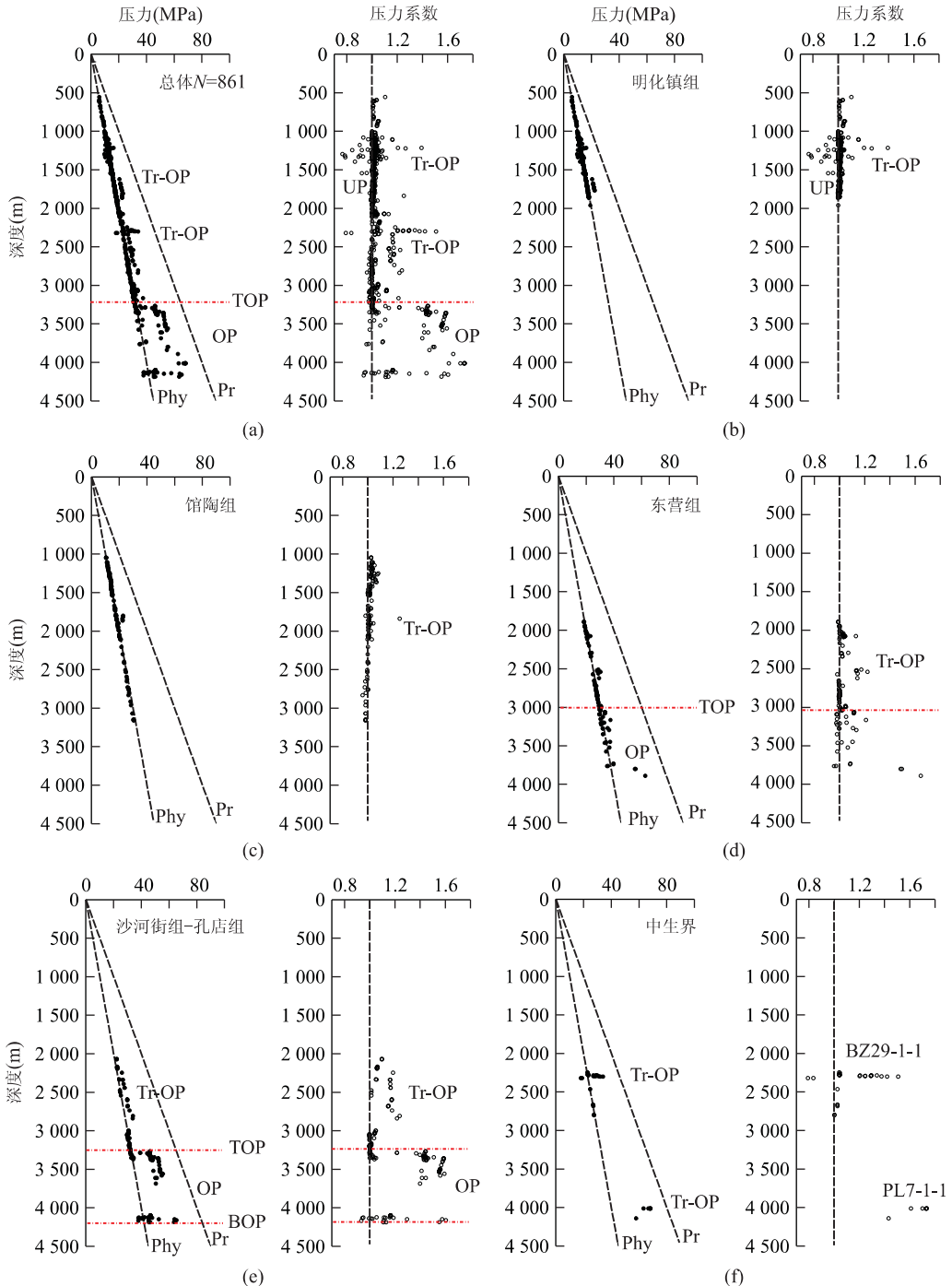


图 1 渤中坳陷各地层单元储层压力—深度图

Fig. 1 Plots of pressure vs. depth for different stratigraphic units in Bozhong depression

OP, 超压; Tr-OP, 传递超压; UP, 低压; TOP, 超压交界面; BOP, 超压底界面; Phy, 静水压力梯度; Pr, 静岩压力梯度

陷储层压力系统的特征和成因机制。

1 渤中拗陷储层超压特征

储层 RFT 实测压力数据统计表明(图 1a),渤中拗陷储层孔隙流体超压发育。根据储层压力的垂直变化,把盆地从上到下分为 3 个储层压力系统:到地下约 3 200 m 深度,遵循平均静水压力梯度的上部正常压力系统;中部是比平均静水压力梯度高的超压系统,以及下部(现有资料显示约 4 150 m 之下)的正常压力系统。超压顶界面之上存在零星的超压点,属于传递超压。此外本区还存在少量低压异常。图 1b 显示明化镇组(Nm)储层压力大多为正常压力,存在少量的超压异常和低压异常,超压最大压力系数为 1.39(QHD3264);图 1c 显示馆陶组(Ng)储层内为正常压力;东营组(图 1d)储层超压集中发育在 3 000 m 之下,最大压力系数达 1.64(BZ2221ST);在 2 500 m 附近存在零星的超压异常,最大压力系数达 1.22(CFD1411);沙河街组(图 1e)超压最为发育,集中发育在 3 300 m 之下,最大压力系数达 1.60(BZ2221ST);3 300 m 之上零星发育有超压异常,最大压力系数 1.24(CFD14-1-1);中生界(图 1f)储层压力测量值比较少,分别在 2 300 m (BZ2911)和 4 000 m (PL711)左右存在超压,最大压力系数为 1.74(PL711)。

以上分析表明,渤中拗陷存在 3 套储层超压系统:浅层(明化镇组—馆陶组)储层超压系统、中层(东营组—沙河街组—孔店组)储层超压系统、基底(中生界及以下地层)储层超压系统。

2 超压成因机制分析

郝芳等(2004)认为,渤中拗陷较强的超压是快速沉降引起的压实不均衡和生烃作用共同作用的结果。本文调查表明,渤中拗陷的储层超压可能主要是由 3 种机制综合引起的,即不均衡压实、超压传递和裂解气的生成。

2.1 不均衡压实

不均衡压实不仅仅是快速埋藏的低渗透率层序形成超压的可行机制,也是形成储层超压的可行机制。Magara(1978)认为,由于来自相邻泥岩的流体排入,泥岩中的砂岩夹层和孤立的砂体也可形成欠

压实,以维持砂岩和泥岩之间的压力平衡。而连通性好的砂体,由于流体通过砂岩逸出,可造成超压释放。Osborne and Swarbrick(1997)也认为由于在细粒的、低渗透性地层中储层的隔绝,或者由于断层等原因造成侧向渗透性降低,在邻近的高渗透性储层中也可形成不均衡压实导致的超压。20 口钻井的声波时差资料的综合分析表明,渤中拗陷存在 2 套欠压实带:上部欠压实带发育于东营组一段,分布局限;下部欠压实带发育于东营组二段下亚段、东三段、沙河街组和孔店组。欠压实顶埋深与深度关系不大,而与层位关系紧密。盆地内,东营组和馆陶组分界面以及东二段上、下亚段分界面是两个欠压实的顶界。BZ1311 井(图 2)显示,泥岩欠压实出现于 3 184 m 左右,对应为东二段上、下亚段的分界。东二段下、东一段和沙三段发育强的欠压实,反映了泥岩的超压。BZ1311 试油数据显示:3 750~3 790 m 储层压力系数为 1.54,3 971~3 989 m 储层压力系数

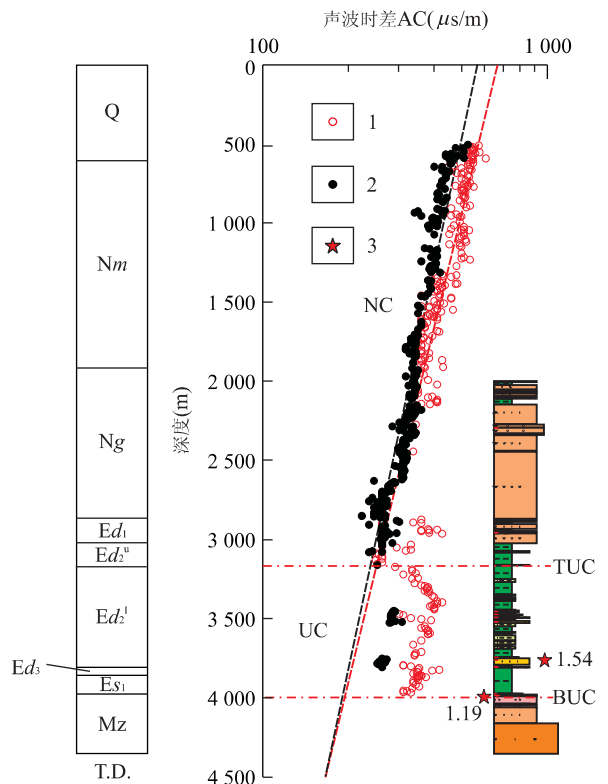


图 2 渤中拗陷 BZ1311 井泥岩和砂岩声波时差—深度图
Fig. 2 Interval travel time vs. depth for mudstone and sandstone respectively in the well BZ1311
NC. 正常压实; UC. 欠压实; TUC. 欠压实顶界; BUC. 欠压实底界; T.D. 完钻深度; 1. 泥岩的声波时差; 2. 砂岩的声波时差; 3. 试油实测的储层流体压力系数

为 1.20, 图 2 中两个不完全超压释放段(刘晓峰和解习农, 2001)正好对应了储层发育层段, 此处的砂岩也是欠压实的. 渤中拗陷泥岩和砂岩欠压实带与中层储层超压系统相对应, 表明不均衡压实作用对储层超压的形成贡献较大.

2.2 超压传递

Osborne and Swarbrick(1997)将压力传递定义为地下剩余孔隙流体压力的重新分配, 并认为尽管在某些沉积盆地中没有发现超压产生的原生机制, 但压力传递是控制超压分布的主要因素. 对于储层超压系统而言, 超压传递是超压形成的重要机制. 根据源超压流体系统(传递者)与传递超压流体系统(受传递者)的空间位置关系, 可区分出接触式传递和连通式传递(刘晓峰和解习农, 2003).

(1)接触式传递. 接触式传递指源超压系统与传递超压系统彼此接触, 通过接触边界传递超压. 在厚层泥岩(通常为烃源岩)夹砂岩的层序中, 欠压实和与烃类成熟有关的超压产生的破裂导致了烃类从烃源岩中运移出来进入相邻的多孔的、高渗透的储层中, 进而导致储层超压. 大量超压油气藏的存在是烃类注入导致储层超压的直接证据. 渤中拗陷东营组下部—沙河街组超压储层发育于成熟的沙河街组和东一段烃源岩内, 很可能经历了接触式超压传递作用. 正如图 2 显示的, 储层处的泥岩欠压实显著降低, 表明泥岩具有向相邻储层充注油气的能力. 这些点处计算的砂岩压力数值往往小于实测的压力数值. 实测储层压力与计算储层压力之差, 基本代表了油气注入引起的超压.

(2)连通式传递. 连通式传递是指源超压系统与传递超压系统彼此远离, 必须借助断裂、渗透性岩

层、不整合面等输导通道相连通, 才能发生超压的传递. 许多研究表明, 断裂作用使深部超压封存箱内的流体发生向上的泄漏, 并在浅部岩层中形成超压(Grauls and Baleix, 1994). 许多储层超压发育在欠压实层、烃源岩层范围之外, 而与欠压实和烃类生成无关. 渤中拗陷浅层明化镇组—馆陶组和基底中生界—古生界内的储层超压就属此类. QHD324 在浅层馆陶组和明化镇组储层中均出现一些孤立的超压点(图 3), 压力系数达 1.2~1.4, 属于传递超压. PL2561 井在浅部馆陶组 1 100~1 600 m 段存在许多超压异常点(图 3), 压力系数达 1.1~1.24. 该井正位于超压流体释放带——气烟囱附近, 经历了深部超压流体注入作用.

尽管由于超压传递作用导致传递超压是非常普遍的现象, 但大量的浅层传递超压因封闭层封闭能力差而散失. 少量保存的传递超压成为深部超压流体注入的“化石”, 它是超压背景下油气快速充注成藏的结果.

2.3 储层内裂解气的生成

储层中已聚集流体的变化, 特别是液态烃向气态烃的转变, 也会导致增压. 大多数研究者认为气体的生成伴随有体积的大量膨胀, 在封闭系统中能产生很高的超压(Law and Dickinson, 1985; Barker, 1990). BZ2221ST 井 4 185.5~4 348.6 m(沙河街组一、二段—中生界)存在油顶气, 测试结果 $\delta^{13}C_1$ 为 -37.3% , $\delta^{13}C_2$ 为 25.1% , $\delta^{13}C_3$ 为 -25.5% , $\delta^{13}C_4$ 为 23.9% , 属于高过成熟裂解气. 裂解气赋存的储层孔隙流体为超压, 最大压力系数达到 1.60. 储层内裂解气的存在必然会导致超压增强. 目前渤中拗陷钻井大多分布在拗陷边缘, 推测拗陷中心由裂解

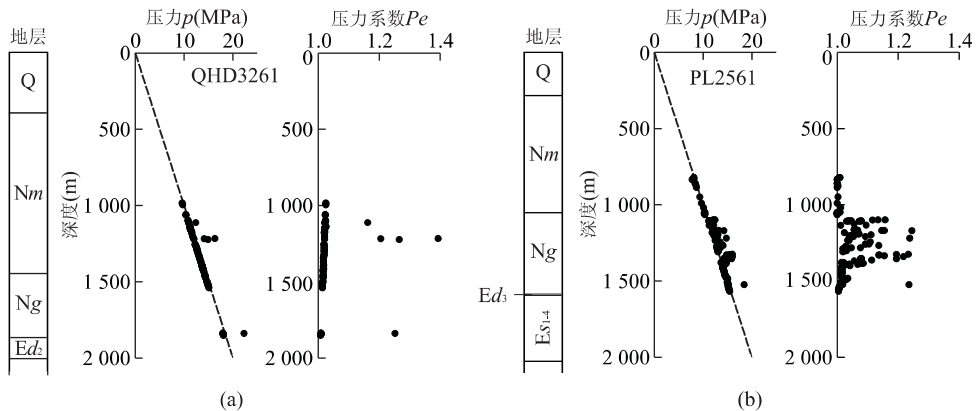


图 3 渤中拗陷 QHD324 井(a)和 PL2561 井(b)压力—深度图

Fig. 3 Plots of pressure vs. depth for well QHD324 (a) and PL2561 (b) in Bozhong depression

气导致的储层超压会更发育。

综合以上分析,渤中坳陷浅层(明化镇组—馆陶组)储层超压的形成机制是超压传递作用;中层(东营组—沙河街组—孔店组)储层超压的形成机制是不均衡压实作用、超压传递作用和裂解气生成作用的综合;基底(中生界及以下)储层超压可能是超压传递作用和裂解气生成作用的综合。

3 结论

渤中坳陷存在3套储层超压系统:浅层明化镇组—馆陶组储层超压系统、中层东营组—沙河街组—孔店组储层超压系统、基底(中生界及以下地层)储层超压系统。渤中坳陷的储层超压可能主要是由3种机制综合引起的,即不均衡压实作用、超压传递作用和裂解气的生成作用。少量保存的传递超压成为深部超压流体注入的“化石”,它是超压背景下油气快速充注成藏的结果。通过对储层超压的分析,可更深刻理解渤中坳陷晚期快速成藏机理。

References

- Barker, C., 1990. Calculated volume and pressure changes during the thermal cracking of oil to gas in reservoirs. *AAPG Bulletin*, 74: 1254—1261.
- Gong, Z. S., 2004. Neotectonics and petroleum accumulation in offshore China basins. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 513—517 (in Chinese with English abstract).
- Gong, Z. S., Wang, G. C., 2001. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea. *Acta Petrolei Sinica*, 22(2): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Gong, Z. S., Wang, G. C., He, Q., 2000. The Neogene: A main realm of hydrocarbon exploration in Bozhong sag and its surrounding areas. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 14(3): 145—156 (in Chinese with English abstract).
- Grauls, D. J., Baleix, J. M., 1994. Role of overpressures and in situ stresses in fault-controlled hydrocarbon migration—A case study. *Marine and Petroleum Geology*, 11: 734—742.
- Hao, F., Cai, D. S., Zou, H. Y., et al., 2004. Overpressure-tectonic activity controlled fluid flow and rapid petrole-

um accumulation in Bozhong depression, Bohai Bay Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 518—524 (in Chinese with English abstract).

- Law, B. E., Dickinson, W. W., 1985. Conceptual model for origin of abnormally pressured gas accumulations in low-permeability reservoirs. *AAPG Bulletin*, 69: 1295—1304.
- Liu, X. F., Xie, X. N., 2001. Overpressure relief and its implication to hydrocarbon migration and accumulation. *Geological Science and Technology Information*, 20(4): 51—56 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X. F., Xie, X. N., 2003. Review on formation mechanism of the reservoir overpressure fluid system. *Geological Science and Technology Information*, 22(3): 55—60 (in Chinese with English abstract).
- Magara, K., 1978. Compaction and fluid migration; Practical petroleum geology. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1—313.
- Mi, L. J., 2001. The neotectonism and major Neogene oil and gas fields in Bohai Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 15(1): 21—28 (in Chinese with English abstract).
- Osborne, M. J., Swarbrick, R. E., 1997. Mechanisms for generating overpressure in sedimentary basins: A reevaluation. *AAPG Bulletin*, 81(6): 1023—1041.
- 附中文参考文献**
- 龚再升, 2004. 中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(5): 513—517.
- 龚再升, 王国纯, 2001. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏. *石油学报*, 22(2): 1—7.
- 龚再升, 王国纯, 贺清, 2000. 上第三系是渤中坳陷及其周围油气勘探的主要领域. *中国海上油气(地质)*, 14(3): 145—156.
- 郝芳, 蔡东升, 邹华耀, 等, 2004. 渤中坳陷超压—构造活动联控型流体流动与油气快速成藏. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(5): 518—524.
- 刘晓峰, 解习农, 2001. 超压释放及其对油气运移和聚集的意义. *地质科技情报*, 20(4): 51—56.
- 刘晓峰, 解习农, 2003. 储层超压流体系统的成因机制述评. *地质科技情报*, 22(3): 55—60.
- 米立军, 2001. 新构造运动与渤海海域上第三系大型油气田. *中国海上油气(地质)*, 15(1): 21—28.