

文章编号: 0253-2697(2010)03-0394-06

渤中凹陷石南地区东营组烃源岩特征及油气勘探意义

吴小红^{1,2} 吕修祥^{1,2} 周心怀³ 魏 刚³ 加东辉³

(1. 中国石油大学盆地与油藏研究中心 北京 102249; 2. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249;
3. 中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300452)

摘要: 渤中凹陷石南地区东营组源岩有机质丰度高,属于中等—较好生油岩。油源对比表明,东营组源岩对研究区东营组和浅层油气成藏有重要作用。研究区构造发育演化特征表明,对于浅层油气成藏来说,在没有断层沟通深层沙河街组油源的情况下,东营组生成油气以沟通东营组油源断层以及晚期断层为主要油气运移通道,形成下生上储型油气藏,“花心”断块的油气富集程度比“花瓣”断块要高。所以,浅层油气成藏的关键是运移和圈闭的有效性。对于东营组油气成藏来说,如果圈闭和储层配置良好,也可以通过自生自储的方式捕获来自东营组成熟烃源岩生成的油气。QHD34-4 构造东营组蠕虫状地震反射特征的低位域河道砂岩分布广泛,QHD35-2 构造钻遇的东营组岩性圈闭含油气性好,这有可能打开渤中凹陷斜坡带东营组岩性圈闭的勘探局面。

关键词: 渤中凹陷;石南地区;东营组;烃源岩;主控因素;岩性油气藏;油气成藏

中图分类号: TE112.1

文献标识码: A

Characteristics of Dongying Formation source rock and its significance for hydrocarbon exploration in Shinan area of Bozhong Depression

WU Xiaohong^{1,2} LÜ Xiuxiang^{1,2} ZHOU Xinhui³ WEI Gang³ JIA Donghui³

(1. Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum,
Beijing 102249, China; 3. CNOOC China Ltd. Tianjin, Tianjin 300452, China)

Abstract: The source rock in Dongying Formation of Shinan area in Bozhong Depression has high abundance of organic matter, which is helpful for oil and gas generation and accumulation in Dongying Formation and shallow layers. The tectonic evaluation history shows that the faults which communicated oil source rock of Dongying Formation and the latter fault are the main pathway for the reservoirs of the shallow layers if they did not connect Shahejie Formation. The oil accumulation degree is richer in the middle than that in the edge for the flower fault trap. Hydrocarbon migration pathway and the effectiveness of trap are the key factors for oil and gas accumulation in the shallow layers. If the trap has good coordination with the reservoir, Dongying Formation reservoir could get oil and gas from the oil source rock of Dongying Formation by self-accumulation and self-generation way. The lithologic reservoirs are good in oil accumulation in the QHD35-2 and QHD35-4 structures where more oil and gas resources could be found out.

Key words: Bozhong Depression; Shinan area; Dongying Formation; oil source rock; main control factor; lithologic reservoir; hydrocarbon accumulation

对渤中探区新近系油气藏的研究较多^[1-6],但对渤中地区古近系勘探研究相对较少^[7-10]。自 2002 年以来,渤中探区期待在中深层能有好的发现。对于石南地区而言,勘探初期忽略了东营组烃源岩,随着勘探的深入,认识的加深,东营组烃源岩的生油意义对指导该区进一步的勘探有重要作用。

1 区域地理位置

石南地区位于石白坨凸起的东南部,南北相夹于

428 构造和 427 构造两个倾末端之间,主体北以石南 1 号边界断裂为界与石白坨凸起相连,南以石南 2 号断裂为界紧邻渤中凹陷的深凹部位,整个区带总面积约为 700 km²,主要包括 QHD35-4、QHD35-2、QHD34-3、QHD34-4 等构造(图 1)。渤中探区从 2002 年至今在古近系中深层的油气发现甚少。人们期望能在该区找到规模较大的勘探立足点,带动周边卫星构造勘探,给渤中探区中深层油气勘探带来借鉴意义。

基金项目: 中国海洋石油总公司重点科技攻关项目(SC06TJ-TQL-004)资助。

作者简介: 吴小红,女,1979 年 9 月生,2007 年获中国地质大学(武汉)硕士学位,现为中国石油大学(北京)在读博士研究生,主要从事石油地质及油气成藏机理与分布规律研究。E-mail: xhwu01@126.com



图1 石南地区构造位置

Fig. 1 Tectonic location of Shinan area

2 东营组烃源岩地化特征

渤海中凹陷东营组发育于盆地构造演化裂陷Ⅲ幕^[11],这个时期基底快速沉降、湖盆水域面积快速扩大、水体快速加深,加之北亚热带温凉气候为主的古气候条件,使得优质湖相泥岩和湖盆周缘三角洲砂体同时发育,因此,东营组也是渤海中凹陷重要的烃源层段和储集层段。东营组沉积期的沉降速率超过400m/Ma,高于沙河街组沉积期的沉降速率,也高于渤海湾盆地其他地区同期的沉降速率^[12]。石南地区 QHD34-4-1 井是在石南斜坡上钻探最深的一口井(完钻层位为东三段),其东二段和东三段烃源岩发育,累计厚度超过1000 m,泥质很纯,基本为深湖一半深湖相泥岩。烃源岩地化分析表明,该井东营组烃源岩有机质丰度较高,有机碳含量(TOC)平均为1.43%,生烃潜力($S_1 + S_2$)平均为8.46 mg/g,总烃综合评价为中等含量;有机质类型总体上为I—II₁型,并且随着深度的增加,有机质类型有变好的趋势;镜质体反射率为0.6%~0.8%,表明烃源岩已进入大量生油阶段,其生烃门限约为3100 m。综合评价该层段烃源岩属于中等—较好生油岩。此外,此井烃源岩生物标志化合物表现为 $\alpha\alpha\alpha$ RC₂₇甾烷优势、高重排甾烷、低伽马蜡烷和低4-甲基甾烷的特征,这也说明东营组烃源岩具有较好的有机质类型和良好的生烃潜力。QHD34-2-1井东二段浅湖—扇三角洲相泥岩厚度为195 m,占层段总厚度约为47%,有机碳含量为0.59%~1.47%;生烃潜力为2.09~4.00 mg/g;总烃含量为(521~1300) × 10⁻⁶,综合评价为中等—好烃源岩。

QHD34-4-1井测井解释东二段油层厚度为4 m,馆陶组为9 m,明下段为2 m。渤海中凹陷南部有东营组烃源岩贡献的油层,而北部没有发现东营组烃源岩贡献的油层^[13]。石南地区 QHD34-4 构造油气的发现揭示了渤海中凹陷北部有以东营组为主要油源的油层。

从油—岩色谱图对比来看(图2),QHD34-4-1井及邻区东二段原油和浅层原油色质与东营组烃源岩色质具有非常好的对比关系,都具有较低的C₃₀-4甲基甾烷和较低的伽马蜡烷(这些是以东营组为主油源的地化特征),浅层原油的伽马蜡烷含量略高于深层东营组原油,表明浅层原油可能混入了深层沙河街组生成的原油。所以东营组源岩对该区中深层和浅层油气聚集作用较大。

3 浅层油气成藏特征

3.1 东营组油气由深层运移至浅层

石南地区浅层具有良好储盖组合。QHD35-4构造从凸起到斜坡地区,明下段地层加厚,岩性变细。QHD34-3-1井明下段井壁取心实测孔隙度为33.0%~41.6%,平均为36.6%;渗透率为(13.5~326.3) × 10⁻³ μm²,平均为128.8 × 10⁻³ μm²,综合评价为好储层。QHD34-3构造油气显示主要为明下段,但显示不好,其原因主要是油气运移路径不太通畅,油气充满度低。所以,对于浅层油气成藏来说,运移因素是关键。

由石南地区构造演化史分析看出(图3),石南地区以晚期断裂为主,大部分断层断至东营组,很少断至沙河街组,可以看出东营组烃源岩相对于沙河街组烃源岩对浅层油气运聚成藏的贡献要大。由于渤海海域下第三系沙二段和沙三段之间的不整合面是在沙三期的强烈裂后热沉降阶段形成的,是渤海海域分布范围最广、规模最大的不整合面,它多表现为上覆的沙二段扇三角洲砂岩沉积直接覆盖在沙三段的浅湖一半深湖的泥岩沉积之上,因此,沙二段与沙三段之间的不整合面可能就是沙三段生成油气的主要运移通道,而断层和砂体则是次要的运移通道。但是对于东营组生成的油气来说,沟通油源断层则是主要的油气输导通道,不整合面和砂体是次要的油气运移通道。另外,QHD34-4-1井的包裹体分析表明油气充注为一期充注,成藏时间为平原组—现今。所以,石南斜坡区浅层油气成藏特征可概括为:东营组生成油气以油源断层以及晚期断层为主要油气运移通道,辅以馆陶组砂砾岩体横向运移,最终至浅层成藏,是下生上储型成藏模式,油气充注一般为晚期充注。

QHD34-4-1井3800 m以浅的泥岩基本处于正常压实状态;东二段和东三段泥岩声波时差存在明显的跳跃,表明东二段泥岩存在非常明显的欠压实,处于超压系统(图4)。深部超压状态下的东二段烃源岩生成的油主要有两个运移方向:一是在深部超压系统内部由泥岩向源内砂岩运聚成藏;二是深部超压含烃流体经通源断层向上穿层运移到浅层

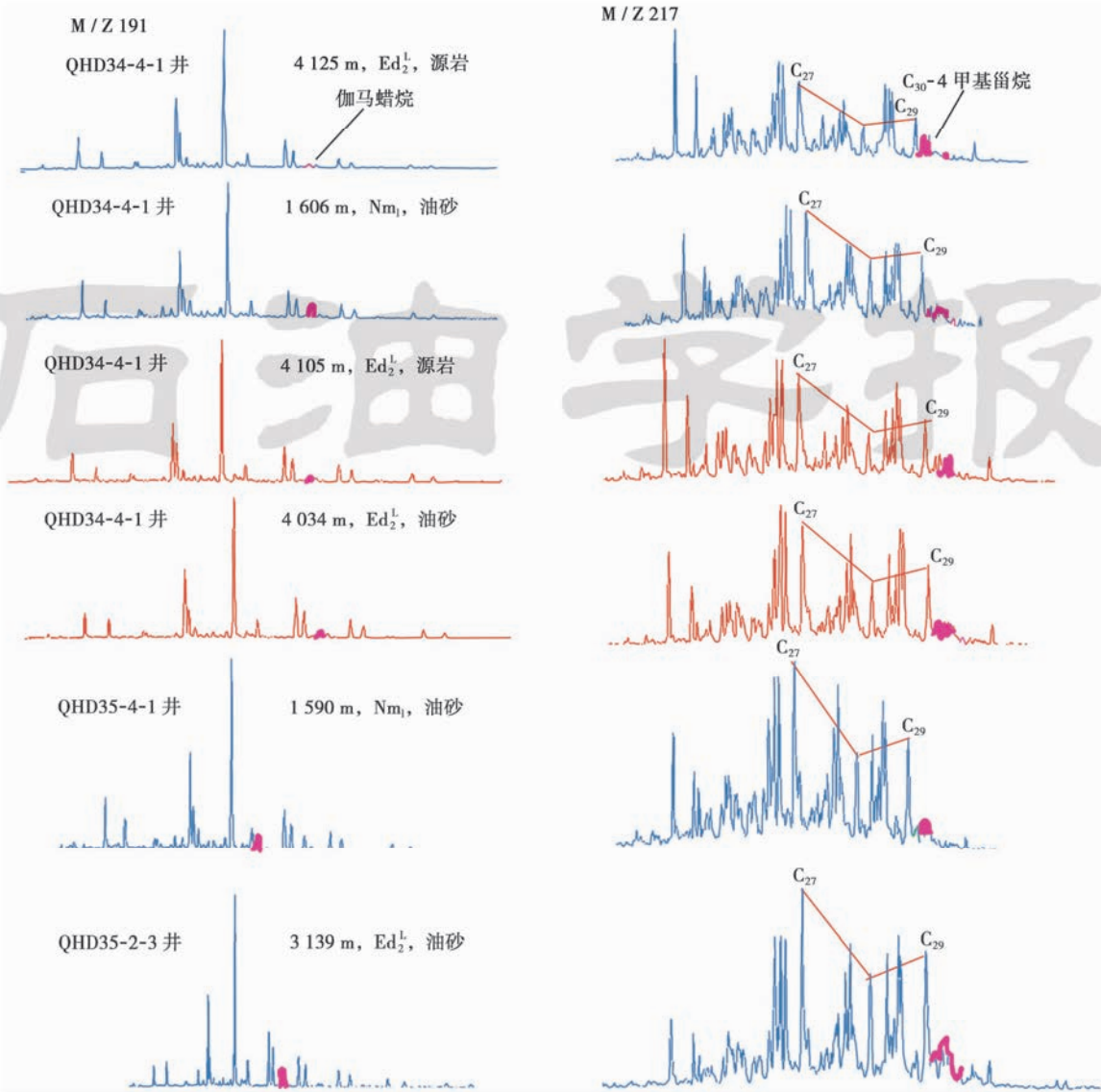


图2 QHD34-4-1井源岩与该井及邻区原油的对比

Fig. 2 Chromatograph-mass contrast of oils and source rocks in QHD34-4-1 Well and its adjacent area

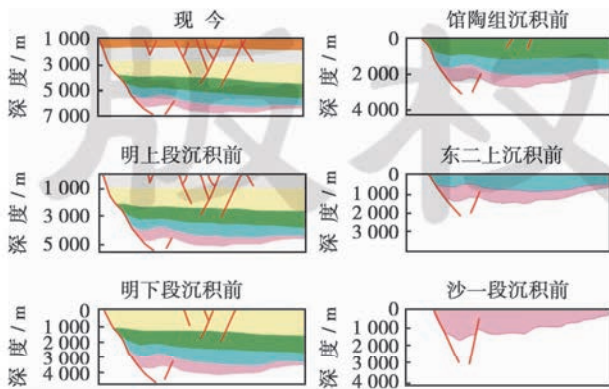


图3 石南地区构造演化剖面

Fig. 3 Tectonic evolution in Shinan area

常压系统中聚集成藏。石南地区存在长期继承性活动的石南2号通源断裂,并处于油气运移的低势区,馆陶

组横向输导层低势区与浅层圈闭叠合,晚期断层又断至馆陶组横向输导层,有利于油气从深层向浅层运移。

3.2 浅层圈闭的有效性

QHD35-4构造和QHD34-3构造为完整的断裂背斜,油源分析证实浅层明下段原油主要来自东营组烃源岩。QHD35-4构造中块北界断层没有断入沙河街组成熟烃源岩,但已断入了东营组成熟烃源岩,起到沟通油源的作用,油气沿这条断层运移到浅层后,通过晚期断层再进一步分配到浅层圈闭中,因此,“花心”断块的油气富集程度比“花瓣”断块要高(图5)。钻探证实,位于“花瓣”的QHD34-3-2井和QHD35-4-1井油气层厚度和油气显示厚度都不大,分别为6 m和15 m。位于“花心”断块的QHD34-3-1井不同深度段的油气层厚度和油气显示厚度相对来说

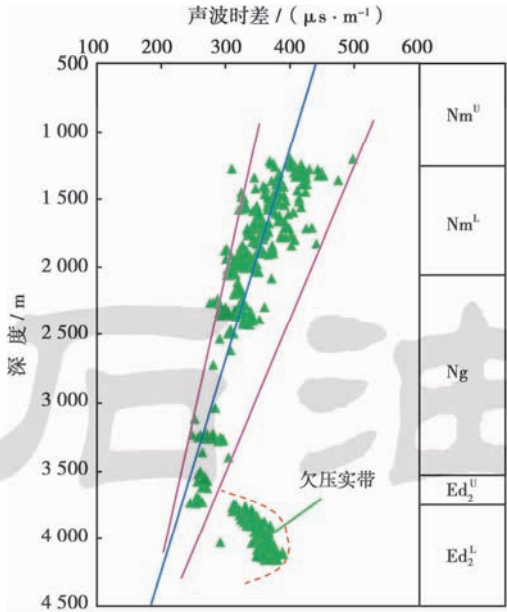


图 4 QHD34-4-1 井泥岩声波时差随深度变化

Fig. 4 The change of interval transit time with depth in QHD34-4-1 Well

都比较厚,分别为 27 m 和 46 m。所以石南地区浅层的这种“花心”断块的油气勘探潜力是很大的。

4 深层油气成藏特征

石南地区具有东营组自生自储油藏类型。东营组主要是东二段辫状三角洲前缘砂体与浅湖相泥岩组合。QHD34-4-1 井东二段和东三段存在欠压实作用,在 4032 m 的铸体薄片上有保存完好的溶蚀孔隙,说明欠压实作用的存在对深部孔隙具有一定的保护作用。

东营组典型油气藏发育在 QHD35-2 构造上。QHD35-2 构造位于石臼坨凸起东倾末端南侧陡坡带上,北依石臼坨凸起,南临渤中富生烃凹陷(图 1)。在凸起边界大断层的控制下,古近系长期继承性发育断鼻型圈闭。其含油层位主要为东二段,油源分析表明,东二段油气主要来源于东营组烃源岩。

石臼坨凸起是长期遭受风化剥蚀的大型物源区,为凸起下降盘砂体发育提供了充足的物质基础。凸起南坡沟谷为碎屑物质搬运提供有效的通道,陡坡坡折

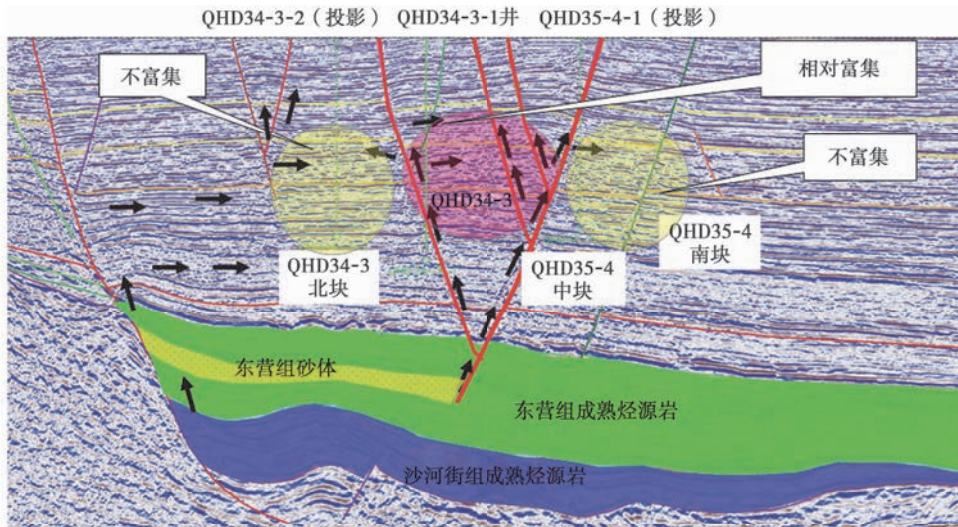


图 5 石南斜坡带浅层油气成藏模式

Fig. 5 Hydrocarbon accumulation model in shallow layer of Shinan area

的发育为下降盘碎屑物质沉积提供了场所,因此,研究区陡坡带古近系砂体十分发育。东二段低位域和湖侵体系域主要发育近源辫状三角洲沉积,砂体发育。QHD35-2 构造陡坡带断背斜和断鼻圈闭主要目的层埋深为 2900~4100 m,该深度处于中成岩阶段,有利于次生孔隙的发育。圈闭中储层平均孔隙度为 15%,渗透率为 $(0.1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,因此,中深层目的层砂体具有中等的储集物性。

QHD35-2 构造圈闭位于东营组优质储层及有利相带发育区。东营组具备形成自生自储油气藏的条件。从石臼坨凸起向渤中凹陷,石南地区发育的大范

围的辫状河三角洲砂体向深凹部位相变为湖相暗色泥岩,东二段和东三段广泛发育的厚层湖相泥岩是良好的区域盖层。QHD35-2-3 井的油气显示表明东营组储盖组合良好,3700 m 以深仍然有好的储层,东二段湖相泥岩是厚达 240 m 的盖层。圈闭类型也多,有地层超覆圈闭、断层—岩性圈闭等。因此,石南地区东营组储层与圈闭配置良好,可形成自生自储油气藏。

5 东营组烃源岩油气勘探意义

5.1 拓宽了斜坡带东营组和浅层的勘探领域

石南地区典型的东营组生成的油气中深层油气藏

有 QHD35-2 构造,新近系浅层典型油气藏有 QHD35-4 构造。中深层的是自生自储,浅层的是下生上储。QHD34-4 构造东二段砂体的地震相特征为蠕虫状、连续性较好的前积反射,垂向上多期叠置(至少由 3 期组成),横向上叠合连片,分布范围十分广泛[图 6(a)],蠕虫状反射的底界为大套下切河道砂岩底部的沉积响应。这套下切河道砂岩在离物源区较远的地区,砂岩有可能变薄,泥岩盖层将会变厚,储盖组合会更加理想,成藏的可能性也会变大,具有良好的勘探前景。石南地区具有良好的浅层和深层的勘探潜力,QHD34-3 和 QHD35-4 构造“花心状”的浅层构造有利于深层东营组烃源岩生成油气向上的运移聚集,QHD34-4 构造的东营组蠕虫状反射特征的砂岩有利

于东营组烃源岩自生自储成藏。

渤中拗陷外环(主要指围绕渤中凹陷的凸起区)原油主要以沙河街烃源为主,渤中拗陷的内环(主要指凸起下降盘—凹陷的斜坡区)原油主要来自东营组,油源的分布呈环形分异特点,这种油源分布特点将会拓宽斜坡带东营组及浅层油气的勘探领域。斜坡带东营组内发育的砂体在没有断层沟通深层沙河街组油源的情况下,也可以通过自生自储的方式捕获来自东营组油气。同样,浅层沟通东营组成熟烃源岩的断层同样也起到输导油气的作用。QHD35-4-3 井明下段获得高产油气,合计有 19.3 m 的油层,产油量为 268.5 m³/d,产气量为 10 920 m³/d,渤中地区斜坡带浅层高丰度富集块的发现,拓宽了浅层油气勘探的新领域。

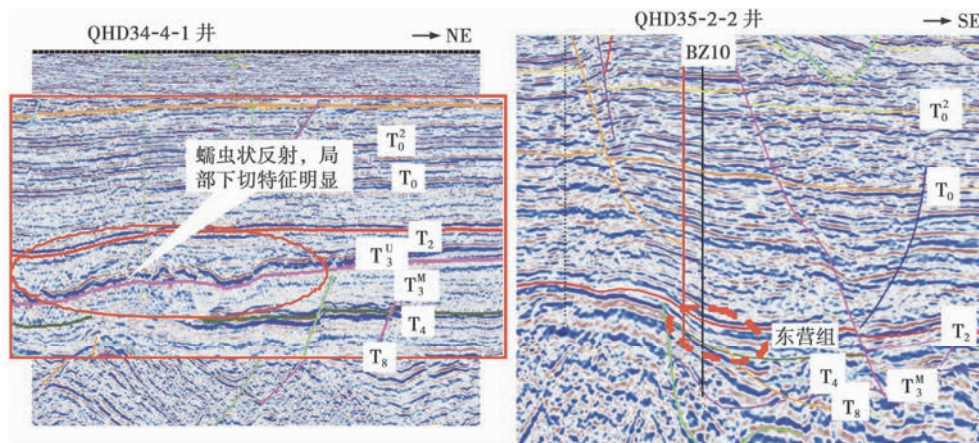


图 6 渤中凹陷石南地区东营组构造特征

Fig. 6 Tectonic characters of Dongying Formation in Shinan area of Bozhong Depression

由于石南地区晚期发育的大多数断层没有深入烃源岩,影响了浅层圈闭捕获油气的能力,油气丰度偏低。QHD34-3 构造油气丰度为 $278 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$,油气充满度为 50%。QHD35-4 构造油气丰度为 $247 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$,该井明下段地面原油密度为 0.884 6 kg/m³,黏度为 18.32 mPa·s,含硫量为 0.094 2%,含蜡量为 13.74%,凝固点为 -12℃,具有中等密度、低黏度、低硫、高含蜡量、低凝固点的特征。进一步说明本区距离油源近,油气成藏没有经过远距离的运移,油质较好,是寻找浅层优质小油田群的有利区带。

QHD35-2 围区东营组构造—岩性复合圈闭潜在资源量规模合计为 $8 740.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,石臼坨裙边带东营组砂体是凸起区亿吨级油田油气运移的“高速公路”,只要在该路上有岩性圈闭就有可能成藏,所以岩性圈闭是本区油气勘探的关键。QHD35-2-2 井位于 BZ10 井区附近的岩性圈闭的较高部位,录井油气显示厚度大、集中,全井有 95 m 的油气显示,东营组有 88 m,最大单层厚度为 27 m,并且显示的级别高。井

壁取心结果表明,馆陶组至沙河街组总共取心 47 颗,其中东二下段取心 32 颗,其中 27 颗有显示,19 颗为 A 级荧光,荧光面积为 100%。QHD35-2 构造东二下段低位体系域岩性圈闭面积合计为 33 km²,潜在资源量为 $4 920.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。QHD35-2-2 井东营组岩性圈闭含油气性的发现,证实了斜坡挠曲带东营组岩性圈闭的成藏,其所处的坡折带处由于水动力能量的突变,极易导致砂体的不连续性,易形成岩性尖灭圈闭,侧封也比较好,是岩性油气藏形成的有利场所[图 6(b)]。这种岩性圈闭在石臼坨凸起裙边带还有很多,有可能打开渤中凹陷斜坡带东营组的勘探局面。

5.2 东营组是渤海海域古近系油气勘探的重点层系

渤海海域东营组地层分布范围广,储盖组合良好,尤其是东二段大型三角洲砂体发育,埋深较浅。渤海东营组共有未钻有利圈闭近 60 个,总资源量中原油为 $147 531.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,天然气为 $1 319.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,这表明东营组具有一定的勘探潜力。而且,结合已钻构造统计分析,东营组在低凸起背斜构造上储量最大,占东营

组储量的54%,勘探程度高;而在大断层下降盘及斜坡区断块(断鼻)总共发现的储量仅占33%。这两种油气藏类型成藏条件较好,但是勘探程度较低,是今后东营组勘探的主要方向。东营组以三角洲(在辽东湾为短轴三角洲)为储层类型的油气藏储量占总共的78%,储层因素对油气成藏的控制是很明显的,因此东营组勘探应寻找圈闭和储层匹配较好的区带。

另外,近几年渤海湾盆地陆上油田储量增长主要来自构造—岩性油气藏。渤海海域东二段发育大型三角洲沉积体系,除前三角洲滑塌浊积岩可形成透镜状岩性油气藏外,三角洲前缘砂体与二级构造带的有效匹配可形成各种岩性尖灭性质的构造—岩性油气藏和断层遮挡的构造—岩性油气藏。绥中水系三角洲与辽西低凸起匹配区、辽河水系三角洲与辽西低凸起的匹配区、复洲水系三角洲与辽东低凸起的匹配区、秦皇岛水系三角洲与辽西低凸起南缘的匹配区、石臼坨水系三角洲与石南斜坡带的匹配区、渤东水系三角洲与渤东凹陷北部斜坡带的匹配区、黄河口水系与沙东南构造带的匹配区和黄河口西斜坡的匹配区以及黄河口东部三角洲与黄河口东斜坡的匹配区等都是构造—岩性油气藏容易发育的地方。

6 结 论

(1) 渤中凹陷石南地区东营组烃源岩对该区浅层和深层油气成藏贡献都很大。浅层油气主要通过沟通东营组源岩的大断裂进行垂向运移,“花心状”的断块是油气富集地带。石南地区浅层油气成藏的关键是油气的运移以及浅层圈闭的有效性。

(2) 东营组内发育的砂体在没有断层沟通深层沙河街组油源的情况下,也可以通过自生自储的方式捕获来自东营组成熟烃源岩的油气。中深层油气成藏的关键是储层与圈闭的良好配置。QHD34-4构造东营组蠕虫状反射特征的河道砂体分布范围广泛,QHD35-2构造东营组岩性圈闭含油气性的发现,证实了东营组自生自储型岩性—构造类油气藏对于渤中探区很有油气勘探潜力。

(3) 渤中地区斜坡带浅层高丰度油气富集块的发现,拓宽了浅层油气勘探的新领域。而类似于QHD35-2斜坡挠曲带的岩性圈闭在石臼坨凸起裙边带还有很多,有可能打开渤中凹陷斜坡带东营组的勘探局面。

参 考 文 献

[1] 魏刚,王应斌,邓津辉,等. 渤中34北区浅层油气成藏特征和主控因素分析[J]. 中国海上油气,2005,17(6):372-375.

Wei Gang, Wang Yingbin, Deng Jinhui, et al. Shallow hydrocarbon accumulation characteristics and controlling factors in the northern BZ34 block[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2005, 17(6):372-375.

[2] 米立军,段吉利. 渤中坳陷中浅层油气成藏特点及其聚集规律[J]. 石油学报,2001,22(2):32-37.

Mi Lijun, Duan Jili. Characteristics of middle and shallow strata oil-gas reservoirs and oil-gas accumulation rule in the middle area of Bohai[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(2):32-37.

[3] 孙永河,漆家福,吕延防,等. 渤中坳陷断裂构造特征及其对油气的控制[J]. 石油学报,2008,29(5):669-675.

Sun Yonghe, Qi Jiafu, Lü Yanfang, et al. Characteristics of fault structure and its control to hydrocarbon in Bozhong Depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(5):669-675.

[4] 邓运华. 渤海湾盆地上第三系油藏类型及成藏控制因素分析[J]. 中国海上油气(地质),2003,17(6):359-364.

Deng Yunhua. Types and accumulation controls of Neogene oil reservoirs in Bohai Bay Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(6):359-364.

[5] 徐长贵,姜培海,武法东,等. 渤中坳陷上第三系三角洲的发现、沉积特征及其油气勘探意义[J]. 沉积学报,2002,20(4):588-594.

Xu Changgui, Jiang Peihai, Wu Fadong, et al. Discovery and sedimentary characteristics of the Neogene delta in Bozhong Depression and its significance for oil and gas exploration[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4):588-594.

[6] 龚再升,王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. 石油学报,2001,22(2):1-7.

Gong Zaisheng, Wang Guochun. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(2):1-7.

[7] 项华,徐长贵. 渤海海域古近系隐蔽油气藏层序地层学特征[J]. 石油学报,2006,27(2):11-15.

Xiang Hua, Xu Changgui. Sequence stratigraphic characteristics of subtle oil-gas pool in the Palaeogene of Bohai Sea area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(2):11-15.

[8] 何仕斌,李丽霞,李建红. 渤中坳陷及其邻区第三系沉积特征和油气勘探潜力分析[J]. 中国海上油气(地质),2001,15(1):61-71.

He Shibin, Li Lixia, Li Jianhong. Tertiary sedimentology and hydrocarbon potential in Bozhong depression and its adjacent area[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2001, 15(1):61-71.

[9] 李友川,黄正吉,张功成,等. 渤中坳陷东下段烃源岩评价及油源研究[J]. 石油学报,2001,22(2):44-49.

Li Youchuan, Huang Zhengji, Zhang Gongcheng, et al. Evaluation of the lower Dongying source and oil source research in Bozhong Depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(2):44-49.

[10] 徐长贵. 渤海古近系坡折带成因类型及其对沉积体系的控制作用[J]. 中国海上油气,2006,18(6):365-371.

Xu Changgui. Genetic types of Paleogene slope-break zones and their controls on depositional system in Bohai offshore[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2006, 18(6):365-371.