

东营凹陷砂岩透镜体油气成藏机理及有利区预测

张俊^{1,2}, 庞雄奇^{1,2}, 姜振学^{1,2}, 陈冬霞^{1,2}, 杜春国¹, 李丕龙³

1. 中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249

2. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 1022493

3. 中石化胜利油田有限公司, 山东东营 257051

摘要: 近几年济阳坳陷的勘探实践表明, 对岩性油藏的含油性差异、成藏机理尚认识不清, 这制约了隐蔽油气藏的进一步勘探。在东营凹陷 145 个砂岩透镜体油藏含油性统计分析的基础上, 结合典型透镜体油藏详细解剖和核磁共振物理模拟实验结果综合研究后发现: 砂岩透镜体圈闭形成时的构造和沉积环境、围岩生排烃条件、砂体储集条件是其成藏的主控因素。只有围岩(源岩)进入供烃门限后, 其与砂体界面处的毛管压力差、烃浓度梯度产生的扩散力和膨胀力三者之和大于砂体中过剩的水向外渗滤遇到的阻力, 即成藏动力大于成藏阻力时, 砂岩透镜体才能成藏。当砂体沉积环境、围岩生排烃条件、砂体自身储集条件三方面均满足一定条件时, 圈闭才具备形成砂岩透镜体油藏的条件, 并且上述三方面条件越优越, 圈闭含油性就越好。用此方法对东营凹陷下第三系沙三中亚段砂岩透镜体油藏的分布进行了预测。

关键词: 陆相断陷盆地; 砂岩透镜体; 主控因素; 成藏动力学机理与模式; 供烃门限; 有利区预测。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2006)02-0250-07

收稿日期: 2005-08-22

Main Accumulation Controlling Factors and Forecast of Sand Lens Reservoir, Dongying Depression, China

ZHANG Jun^{1,2}, PANG Xiong-qi^{1,2}, JIANG Zhen-xue^{1,2}, CHEN Dong-xia^{1,2},
DU Chun-guo¹, LI Pi-long³

1. Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation of Education of Ministry, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

3. Shengli Oilfield Ltd., Dongying 257051, China

Abstract: Jiyang sub-basin is the most important area of subtle traps in China. Exploration in recent years has shown that the petroliferous property of the sand lens reservoir is quite different and the accumulation mechanism of lithologic reservoir is not clearly comprehended, restricting further exploration. A statistical analysis of the petroliferous properties of 145 lens reservoirs in Dongying depression was carried out, as well as the analysis of typical lenticular pools and NMR modeling experiments. Results show that structural and sedimentary factors, and hydrocarbon generation and expulsion conditions of the surrounding source rock, as well as reservoir properties, are the main controlling factors for lens reservoir formation. Lens reservoir formation depends primarily upon the balance of accumulation power and resistance. When the hydrocarbon supply thresholds have been exceeded the accumulation power is bigger than the resistance at the sand and mud interface, so oil/gas would possibly accumulate to the lens. Accumulation power is made up of different capillary pressures between source and reserve, and hydrocarbon diffusion, as well as hydrocarbon volume expansion. Resistance is the osmotic resistance of flowing liquid. The better the three accumulation controlling factors are matched, the higher the petroliferous property. By applying the research results, the lens reservoir distribution of the third member of the Neogene Shahejie Formation in Dongying depression is forecast.

基金项目: 国家自然科学基金项目“砂岩透镜体成藏门限及其控油气作用”(No. 40172057); 国家“十五”攻关项目“济阳坳陷隐蔽油气藏成藏机理研究”(2003BA613A-02)。

作者简介: 张俊(1978-), 女, 博士, 主要研究方向为油气成藏机理与分布规律。E-mail: kittyzhangjun126@163.com

Key words: Non-marine rift basin; sand lens; main accumulation controlling factors; dynamic accumulation mechanism; hydrocarbon supply thresholds.

0 引言

随着油气勘探的不断深入,大型整装构造油藏的发现概率逐渐降低,岩性油藏已经逐渐成为济阳坳陷油气勘探的重要对象和焦点. 东营凹陷是济阳坳陷内的一个二级负向构造单元(图1),其构造变动频繁、沉积体系时空展布和发展历史复杂,具有发育岩性油藏的有利条件. 根据勘探程度和现有研究资料推算,东营凹陷岩性油藏的勘探潜力在 $3 \times 10^8 \sim 4 \times 10^8$ t以上.“九五”以来的勘探实践也已证明,岩性油藏是东营凹陷乃至整个济阳坳陷今后增储稳产的主要目标.

岩性油藏形成机制和分布规律复杂,勘探上具有较高的难度和风险,其理论与勘探技术一直是国内外石油地质学家研究和探索的重要内容之一. 对岩性油藏的成藏特征、分布规律、形成机理、预测技术等,国内外学者曾做过大量的研究,并取得了许多重要的成果(李思田等,2002;庞雄奇等,2000,2003;曾溅辉和王洪玉,1999;曾溅辉等,2002). 东营凹陷的勘探实践表明,不同的岩性圈闭含油性相差很大,部署探井存在很高的风险,从而在一定程度上制约着岩性油藏的勘探. 因此,在勘探中还需要寻求更全面、宏观和微观相结合的适合岩性油藏勘探的新理论和新方法.

1 砂岩透镜体油藏成藏主控因素分析

1.1 东营凹陷砂岩透镜体油藏含油性统计

本次统计的145个砂岩透镜体油藏主要分布在牛庄洼陷、利津洼陷、博兴洼陷、民丰洼陷、北部陡坡带、南部缓坡带和中央断裂背斜带等7个不同的构造单元内(图1).

从砂岩透镜体油藏发育的构造环境与含油性关系来看,洼陷带的含油性要明显好于凹陷的其他构造部位,其中牛庄洼陷的圈闭充满度最高,平均为45%,而中央背斜带的圈闭充满度最低,仅为23.2%(图2a). 东营凹陷的砂岩透镜体油藏主要发育在三角洲前缘滑塌油积扇和深水油积扇2种沉积体系内,其中以深水油积扇体圈闭充满度最高,达38%(图2b).

从埋藏深度来看,排烃高峰范围控制着砂岩透

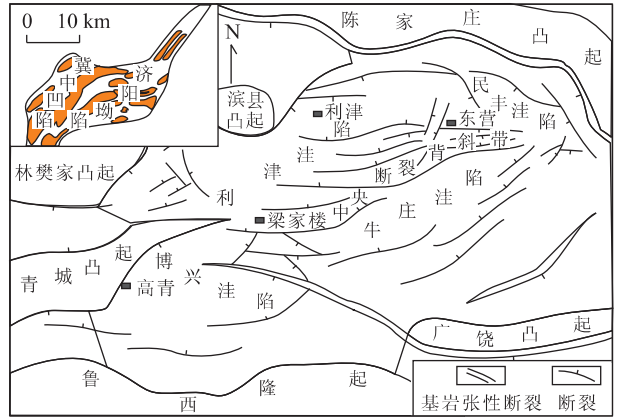


图1 东营凹陷构造位置及构造区划

Fig. 1 Geographical location and structure of Dongying depression, China

镜体油藏的纵向分布及其含油性差异. 东营凹陷砂岩透镜体油藏主要分布在2500~3600 m范围内,在该范围内其充满度具有随埋深增加先增大后减小的特点(图2c),且在3300~3600 m圈闭充满度最高,即从层位上看,砂岩透镜体油藏主要分布在沙三段,并以沙三中、下亚段圈闭充满度值最高,而仅有少量分布在沙二、四段,且充满度值相对较低. 这是由于东营凹陷下第三系源岩排烃门限大于2500 m,排烃高峰处在2800~3500 m范围内,从而造成了上述现象的产生. 东营凹陷下第三系中被有效烃源岩包裹的岩性圈闭,其含油性要明显好于与烃源岩呈侧向接触的圈闭,同样被烃源岩包裹的圈闭,离有效烃源岩排烃中心的距离越近,圈闭含油性越好,反之则越差. 在源岩有效排烃范围内,砂岩透镜体油藏充满度与包裹砂体的围岩的排烃强度呈明显的正相关性(图2d),即排烃强度较高区域内的砂岩透镜体油藏含油性较好.

东营凹陷含油砂体的储集物性存在一个临界值,即当砂体的孔隙度 $> 12\%$,渗透率 $> 2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时,砂体内才能有油气聚集,含油砂体主要分布在孔隙度为 $14\% \sim 22\%$ 、渗透率为 $2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储集体内(图2e,2f),且在该范围内具有随砂体物性条件变好圈闭充满度变高的趋势.

1.2 典型圈闭剖析

在东营凹陷选取含油性好(营11、郝7C和

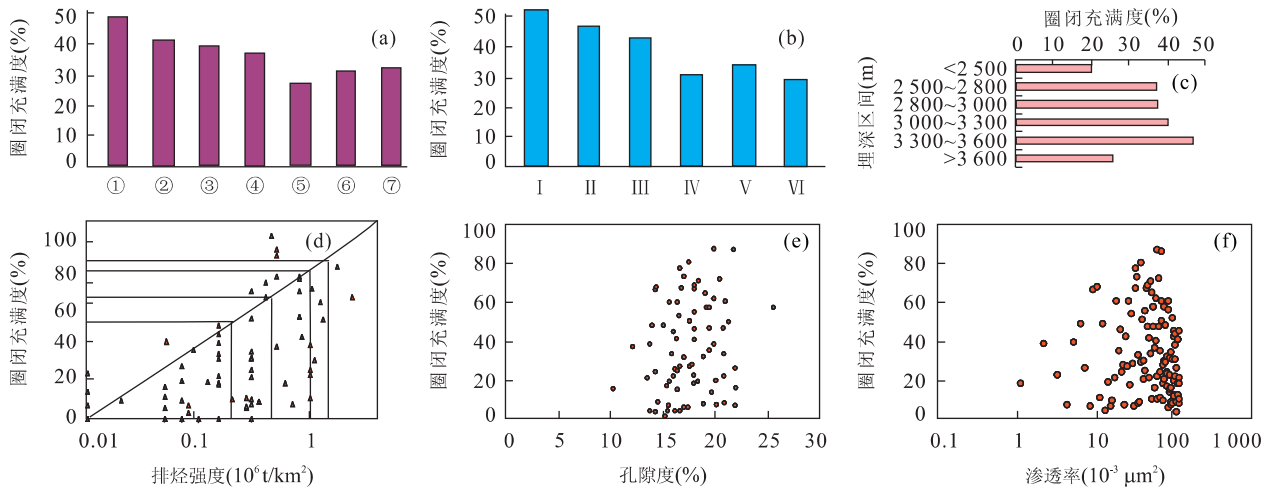


图 2 东营凹陷砂岩透镜体油藏圈闭充满度与各成藏条件的关系

Fig. 2 Hydrocarbon full degree versus accumulation conditions of Neogene sand lens reservoirs in Dongying depression

①. 牛庄洼陷; ②. 利津洼陷; ③. 博兴洼陷; ④. 民丰洼陷; ⑤. 中央背斜带; ⑥. 北部陡坡带; ⑦. 南部缓坡带; I. 深水浊积扇; II. 水下冲积扇; III. 三角洲前缘滑塌浊积扇; IV. 三角洲前缘席状砂; V. 扇三角洲; VI. 河道砂

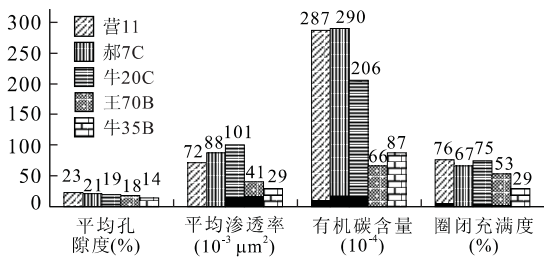


图 3 东营凹陷典型砂岩透镜体油藏各成藏参数对比

Fig. 3 Reservoir parameter bar chart of typical sand lens reservoirs in Dongying depression

牛 20C 油藏)、中(王 70B 油藏)、差(牛 35B 油藏)的典型砂岩透镜体油藏进行解剖。剖析内容主要包括:砂体所处构造部位、层位、埋深、沉积体系类型及沉积相、岩石学特征、砂体孔渗性、孔隙类型及孔喉半径、成岩特征、含油性、砂体规模及油藏压力等。剖析结果显示(图 3):营 11、郝 7C 和牛 20C 油藏砂体物性、包裹砂体围岩的生排烃条件都比较好,砂体含油性较好,充满度分别为 76%、67%和 75%;王 70B 油藏的砂体孔渗条件中等,围岩生排烃条件中等,圈闭的充满度较前三者差,为 53%;而牛 35B 油藏两方面条件都比较差,砂体的含油性最低,充满度仅为 27%。

对东营凹陷 9 个运聚及保存条件均较好的典型落空圈闭,利用区域地质、地震、综合录井、测井和分析化验资料对圈闭成藏条件进行分析,结果表明,引起这 9 个圈闭失利的主要原因为围岩生、排烃条件和砂体自身储集物性条件中的 1 个或 2 个条件未达到成藏要求(表 1)。

1.3 物理模拟实验

以人工胶结的石英砂岩为岩心,其四周被不同含油饱和度的泥质(玻璃微珠)包围,放入有机玻璃管内压实,管两端加压封闭,并放恒温箱内加热,实验进行到一定时间后,将岩心取出,放入核磁共振仪中,进行成像和含油饱和度的定量测量。核磁共振物理模拟实验结果显示:随着围岩含油饱和度增加,岩心含油饱和度呈增大的趋势,即围岩含油性好,岩心的含油性也好,二者之间有很好的正相关性,并存在一个临界的围岩含油饱和度门限值(约为 5%),小于该值,砂体内没有油气聚集(图 4a),砂体含油性具有随物性变好而增大的趋势,并且存在一个临界的物性门限值(约为 $2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),即只有当渗透率大于该临界值时,岩心中才有油气聚集,否则没有油气聚集(图 4b)。

1.4 成藏主控因素

由上述东营凹陷砂岩透镜体油藏含油性统计分析、典型油藏解剖和物理模拟实验综合研究可知,砂岩透镜体油藏成藏主要受以下 3 方面因素控制:(1)圈闭形成时的构造因素和沉积环境对油气聚集成藏起着重要的影响。构造因素和沉积环境控制不同成因砂体的展布和富集,构造引起地形坡度变化的地方或大断裂的下降盘,即构造坡折带和沉积坡折带,易引起沉积物滑塌形成重力流,是三角洲前缘滑塌砂体和深水浊积扇体富集的最有利地带,是砂岩透镜体圈闭发育的主要地方(薛良清, 2002);(2)围岩生排烃条件是控制砂岩透镜体圈闭成藏的关键因素之一。包围或临近储集体的烃源岩在埋深演化过程

表 1 东营凹陷典型落空砂岩透镜体圈闭失利原因分析(胜利油田地质院)

Table 1 Reason analysis of typical oil-empty sand lens reservoirs

| 圈闭名称 | 埋深(m) | 沉积相类型 | 围岩排烃强度 (10 ⁶ t/km ²) | 围岩 评价 | 储集物性 | | | 综合分析 失利原因 |
|-------|-------------------|----------------|--|----------|--------------|--|----------|--------------|
| | | | | | 平均孔隙度 (%) | 平均渗透率 (10 ⁻³ μm ²) | 物性 评价 | |
| 牛 105 | 3 015.0~3 022.0 | 三角洲前缘 滑塌浊积扇 | 0.10 | 较差 | 14.74 | 11.66 | 偏差 | 围岩差、物性差 |
| 牛 106 | 3 015.0~3 018.3 | | 0.10 | 较差 | 15.60 | 13.50 | 偏差 | 围岩差、物性差 |
| 牛 108 | 3 139.4~3 146.8 | | 0.30 | 较好 | 16.70 | 1.39 | 差 | 物性差 |
| 牛 110 | 3 000.50~3 022.40 | | 0.01 | 差 | 19.60 | 96.00 | 较好 | 围岩差 |
| 牛 111 | 3 297.0~3 317.6 | | 0.01 | 差 | 12.81 | 12.52 | 差 | 围岩差、物性差 |
| 牛 112 | 2 926.0~2 933.0 | | 0.30 | 较好 | 13.60 | 1.80~8.92 | 差 | 物性差 |
| 牛 250 | 3 279.7~3 287.0 | 深水浊积扇 | 0.01 | 差 | 14.20 | 12.03 | 偏差 | 围岩差、物性差 |
| 河 89 | 2 965.04~2 967.0 | | 0.30 | 较好 | 11.55 | 0.16 | 差 | 物性差 |
| 河 169 | 2 934.8~2 941.2 | | 0.30 | 较好 | 14.43 | 13.50 | 偏差 | 物性差 |
| | 3 061.3~3 071.6 | | 0.30 | 较好 | 12.40 | 11.15 | 差 | 物性差 |

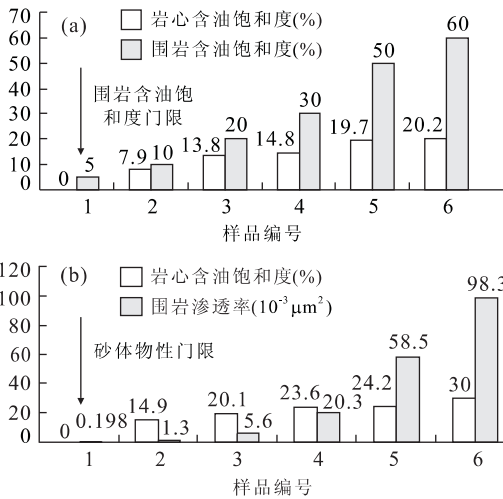


图 4 核磁共振物理模拟实验结果

Fig. 4 Results of NMR physical modeling experiment (a)围岩条件与含油性的关系;(b)物性条件与含油性的关系

中,当其生烃量满足了自身吸附、孔隙水溶解、油溶解(气)和毛细管封堵等多种形式的残留需要后,进入排烃门限(庞雄奇,1995),开始以游离相形式大量排运油气,此时那些被有效烃源岩包裹、接触或断层沟通有效烃源岩的圈闭便具备了成藏条件,并且随着埋深增加,源岩逐渐进入排烃高峰,排烃强度不断增大,岩性圈闭含油性也不断变好;(3)砂体物性条件对圈闭成藏具有重要的控制作用.砂岩透镜体圈闭成藏与否除了受沉积和围岩条件控制外,起决定性的因素还有砂岩体内部的孔、渗条件.只有当砂体内部的物性条件达到一定的临界值时,砂体才能够接受外部烃源岩所提供的油气,并且在源岩供烃等外部条件一定的情况下,砂体自身物性越好,圈闭含油性就越高.对于砂岩透镜体内部接受条件对含油

性的控制作用(陈章明和张云峰,1998);在实验基础上得出了粒径大的砂体含油性好,粒度细的砂体中可能没有油气聚集的结论(曾溅辉和金之钧,2000).在进行砂岩透镜体成藏实验时,发现只有当砂体的粒径达到一定的临界值时,其内部才能聚集油气.

2 成藏动力学机理与模式

源岩中烃浓度差产生的有机网络扩散作用和毛细管输导作用是砂岩透镜体成藏的基本动力(庞雄奇等,2000,2003; Russell, 1972; Silver, 1973).砂岩透镜体圈闭能否成藏,取决于 3 种力的关系:第一种是围岩(源岩)与砂体之间烃浓度梯度产生的扩散作用力和膨胀力(P_d)(Stainforth, 1990; Cordell, 1977; Apbe *et al.*, 1995);第二种是围岩与砂体界面处二者孔喉半径差产生的毛细管差异作用力(P_c)(Barker, 1980);第三种是由于压实作用及油气进入砂体后,砂体中过剩的水向外渗滤所遇到的岩石吸附和粘滞阻力(P_f)(曾溅辉和王洪玉,1999).只有在第一种力和第二种力之和(P_F)大于(等于)第三种力时油气才能进入砂体,即:

$$P_F = P_d + P_c \geq P_f. \quad (1)$$

将源岩向砂岩透镜体供油所必需的最低临界饱和和油量称为源岩的供油门限,该门限式(1)中的成藏动、阻力刚好达到平衡状态.因此,只有其进入供油门限后,成藏动力大于成藏阻力,油才能向砂体中聚集成藏.

由砂岩透镜体油藏成藏动力和阻力分析可知,其成藏综合能力受生油岩与储集体孔喉半径差异、烃浓度差、储层孔渗、地层埋藏深度等条件共同制

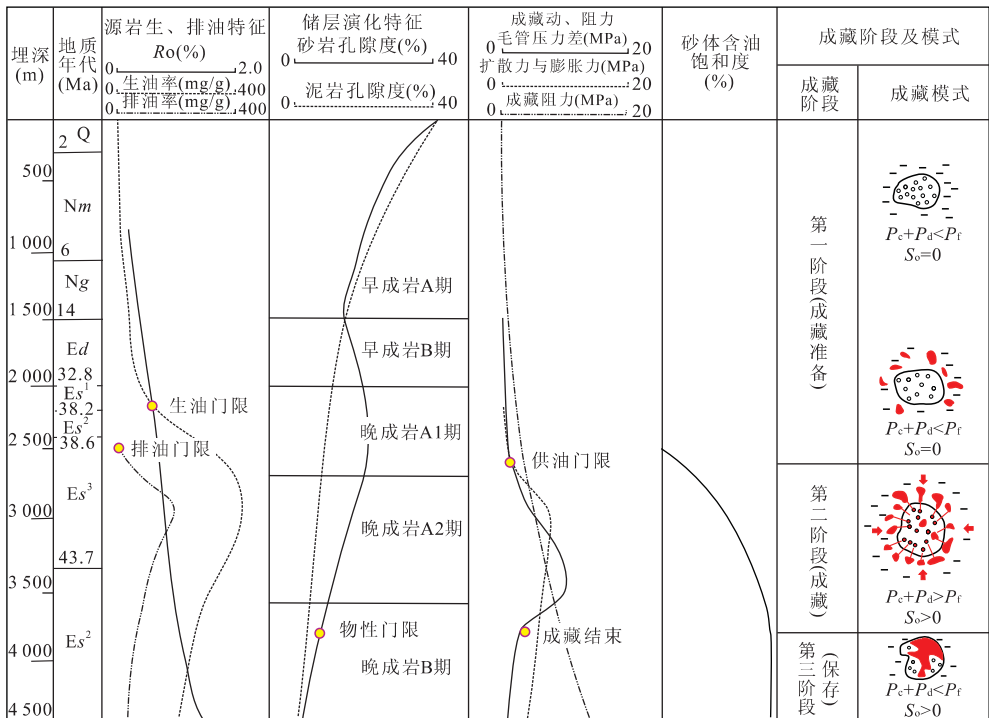


图 5 东营凹陷砂岩透镜体油藏成藏动力学机理与模式

Fig. 5 Accumulation dynamic mechanism of sand lens reservoir in Dongying depression

约。随埋藏深度增加,砂岩透镜体圈闭成藏表现出一定的阶段性(图 5),在埋藏浅的第一阶段,包围砂体的源岩没有进入供油门限,砂体与围岩之间的运烃动力不足以克服流体阻力,此时难以形成砂岩透镜体油藏;在埋深适宜的第二阶段,源岩热演化大量生油并进入供油门限,砂泥岩界面处毛管压力差、烃浓度梯度产生的扩散力和膨胀力之和大于成藏阻力,油气开始进入砂体并逐渐聚集成藏,在此阶段随埋深增加砂体含油饱和度不断增大;在埋深过大的第三阶段,砂泥岩界面处的毛管压力差由于压实成岩作用造成砂体物性变差而减小,源岩生、排油量降低造成扩散作用力和膨胀力变小,从而导致成藏动力小于成藏阻力,油便不再进入砂体,砂岩透镜体油藏成藏结束并进入保存阶段,在该阶段砂体含油饱和度达到最大值。

3 东营凹陷砂岩透镜体油藏有利分布区预测

3.1 预测原理和方法

通过上述砂岩透镜体油藏成藏主控因素及机理分析可知,在断陷湖盆沉积背景下,砂岩透镜体油藏

成藏的基本要素是:坡折带岩性砂体(主要为滑塌油积扇和深水油积扇)、具有一定供排烃能力的烃源岩和较高孔渗的砂岩储集体。当一个岩性砂体这三方面均满足一定条件时,圈闭才具备形成砂岩透镜体油藏的条件,且这三方面条件越优越,圈闭含油性就越好。当一个圈闭形成时的构造位置、沉积环境、源岩生排烃特征、砂体类型、埋深及物性条件等已知的情况下,根据这三方面条件好坏就可以判断该圈闭是否成藏。因此,在源岩排烃强度分析、沉积相平面展布和储层综合评价的基础上,将三者进行叠合就可以预测一个区块或层系内是否有含油砂体分布。

该原理对砂岩透镜体油藏分布区的评价标准为:(1)圈闭、有效烃源岩和储集条件均满足的砂体分布区域,为 I 类含油性好的油藏发育区;(2)只满足圈闭和有效烃源岩条件而储集条件较差($>2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),或圈闭和储集条件满足而未被有效烃源岩包裹(侧向接触有效烃源岩)的砂体分布区域为 II 类含油性一般的油藏发育区;(3)只满足圈闭和有效烃源岩条件而储集条件不满足($<2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),或圈闭和储集条件满足而距离有效烃源岩较远,或仅满足圈闭条件而有效烃源岩条件和储集条件均不满足的砂体分布区域,为 III 类含油性差的油藏发育区。值得注意的是,距离有效烃源岩较远,只满足圈闭和

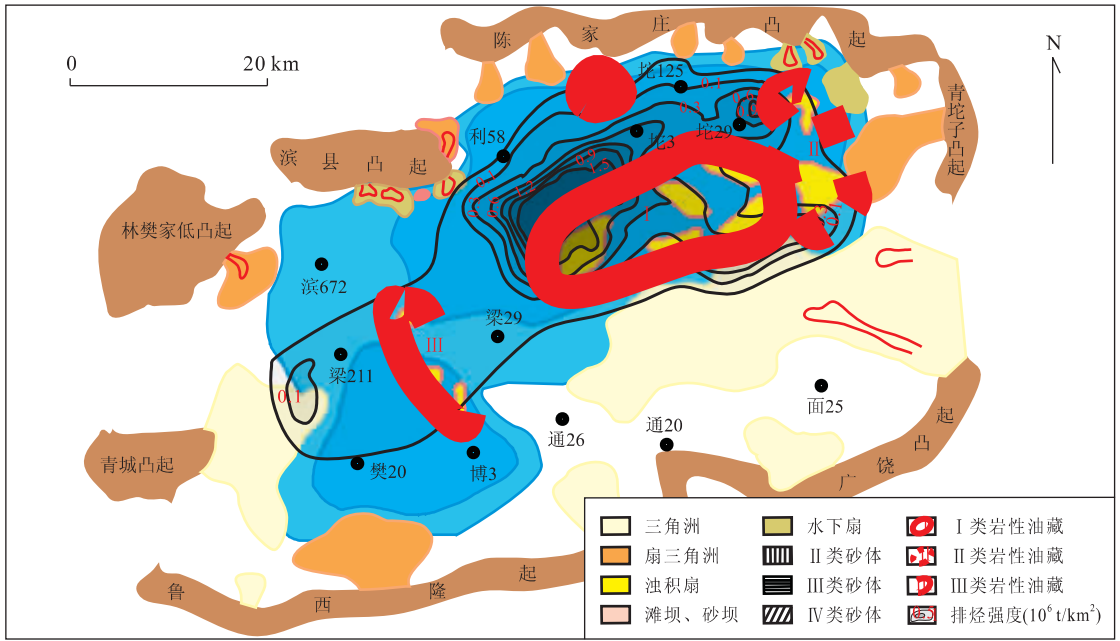


图 6 东营凹陷下第三系层序 II 沙三中亚段岩性油藏分布预测

Fig. 6 Forecasting map of sand lens reservoirs of Neogene Shahejie formation in Dongying depression

储集条件的砂体,在有断层沟通油源的情况下,可形成构造—岩性油藏。

3.2 有利区预测

东营凹陷砂岩透镜体油藏主要分布在下第三系的沙三下~沙二下亚段,其中以沙三中亚段(层序 II)发育最多,约占 73%。因此,本文以沙三中亚段为例来对砂岩透镜体油藏分布有利区进行预测。

东营凹陷沙三中亚段在牛庄洼陷和利津洼陷排烃范围较大,两洼陷中心及中央低背斜带翼部分布的浊积砂体被有效烃源岩包裹,为有利的 I 类岩性油藏发育区;牛庄洼陷东北部的砂体在排烃有效范围的边缘,接触有效烃源岩,为较有利的 II 类岩性油藏发育区;利津洼陷北部和博兴洼陷北部斜坡带的浊积砂体距有效烃源岩较远,为 III 类区,若有断层沟通,源岩排出的油可通过断层疏导,也可能形成有利的构造—岩性油藏(图 6)。

References

Barker, C., 1980. Primary Migration—The importance of water-organic-mineral matter interactions in the source rock. *AAPG Studies in Geology, Tulsa*, 1—13.

Chen, Z. M., Zhang, Y. F., 1998. A modeling experiment and mechanism analysis of oil accumulation in pod-like sand body. *Experimental Petroleum Geology*, 20(2): 166—170 (in Chinese with English abstract).

Cordell, R. J., 1977. How oil migration in clastic sediments. *World Oil*, 183(1): 6—7.

Li, S. T., Pan, Y. L., Lu, Y. C., et al., 2002. Key technology of prospecting and exploration of subtle traps in lacustrine fault basins: Sequence stratigraphic researches on the basis of high resolution seismic survey. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(5): 592—596 (in Chinese with English abstract).

Pang, X. Q., 1995. Hydrocarbon expel threshold. Petroleum Industry Press, Beijing, 1—245 (in Chinese).

Pang, X. Q., Chen, D. X., Li, P. L., et al., 2003. Accumulation thresholds of sand lens and controlling mechanism for oil and gas distribution. *Acta Petrolei Sinica*, 24(3): 38—41 (in Chinese with English abstract).

Pang, X. Q., Jin, Z. J., Zuo, S. J., 2000. Dynamics models and classification of hydrocarbon accumulations. *Earth Science Frontiers*, 7(4): 507—513 (in Chinese with English abstract).

Russell, W. L., 1972. Pressure-depth relation in Appalachian region. *AAPG Bull.*, 56(3): 528—536.

Silver, C., 1973. Entrapment of petroleum in isolated porous bodies. *AAPG Bull.*, 57(5): 726—740.

Stainforth, J. G., 1990. Primary migration of hydrocarbons by diffusion through organic matter networks, and its effect on oil and gas generation. *Organic Geochem.*, 16(1): 1—3.

Xue, L. Q., 2002. Sequences, system tracts, and subtle hydrocarbon pools in lacustrine basins. *Oil and Gas Journal*, 23(2): 115—117 (in Chinese with English abstract).

Zeng, J. H. , Jin, Z. J. , 2000. Physical modeling experiment of hydrocarbon second migration and accumulation. Petroleum Industry Press, Beijing, 207—210 (in Chinese).

Zeng, J. H. , Wang, H. Y. , 1999. An experimental study of petroleum migration and accumulation in carrier bed and lithologic trap. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 24(2): 193—196 (in Chinese with English abstract).

Zeng, J. H. , Zhang, S. W. , Qiu, N. S. , et al. , 2002. Degree of oil-gas charged in lens shaped sand body in Jiyang depression and its main controlling factors. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(6): 729—732 (in Chinese with English abstract).

Арбе, А · Г. , 1995. The discuss about petroliferous mechanism of sand lens in clayey rock. *Oil/Gas Geology, Russia*, (2): 41—45 (in Russian).

附中文参考文献

陈章明, 张云峰, 1998. 凸镜状砂体聚油模拟实验及其机理分析. *石油实验地质*, 20(2): 166—170.

李思田, 潘元林, 陆永潮, 等, 2002. 断陷湖盆隐蔽油藏预测及勘探的关键技术——高精度地震探测基础上的层序地层学研究. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(5): 592—596.

庞雄奇, 1995. 排烃门限控油气理论与应用. 北京: 石油工业出版社, 1—245.

庞雄奇, 陈冬霞, 李丕龙, 等, 2003. 砂岩透镜体成藏门限及其控油气作用机理. *石油学报*, 24(3): 38—41.

庞雄奇, 金之钧, 左胜杰, 2000. 油气藏动力学成因模式与分类. *地学前缘*, 7(4): 507—513.

薛良清, 2002. 湖相盆地中的层序、体系域与隐蔽油气藏. *石油与天然气地质*, 23(2): 115—117.

曾溅辉, 金之钧, 2000. 油气二次运移和聚集物理模拟. 北京: 石油工业出版社, 207—210.

曾溅辉, 王洪玉, 1999. 输导层和岩性圈闭系统中油气运移和聚集模拟实验研究. *地球科学——中国地质大学学报*, 24(2): 193—196.

曾溅辉, 张善文, 邱楠生, 等, 2002. 济阳坳陷砂岩透镜体油气藏充满度大小及其主控因素. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(6): 729—732.

《地球科学——中国地质大学学报》

2006 年 第 31 卷 第 3 期 要目预告

| | |
|---|------|
| 大陆克拉通早期构造演化历史探讨: 以华北为例..... | 李江海等 |
| 基于 GIS 的 P-A 与 N-A 分形模型定量度量糜棱岩变形过程中石英微结构的变化 | 王志敬等 |
| 周家湾地区前侏罗系古地貌恢复及油气富集规律 | 郭少斌等 |
| 原油粘度变化对水驱油开发动态影响的数学模拟方法 | 鞠斌山等 |
| 基于模糊预测对象的证据权方法及其在土地沙漠化评价中的应用 | 张生元等 |
| 北京东郊 722 土壤垂向剖面重金属污染的磁学响应及其统计意义 | 沈明洁等 |
| 库车坳陷脆性构造序列及其对构造古应力的指示 | 张仲培等 |