

文章编号: 1009-3850(2006)01-0074-07

# 东营凹陷岩性油藏主控因素及成藏模式

祝厚勤, 庞雄奇, 林世国, 姜振学, 张俊, 张如才

(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)

摘要: 在对东营凹陷145个岩性油藏含油性统计分析的基础上, 结合典型岩性油藏和典型落空圈闭的剖析, 对岩性油藏成藏主控因素和成藏模式进行了系统研究。岩性油藏成藏主要受构造沉积背景、烃源岩(围岩)生排烃强度和砂体储集物性等3个因素控制, 不同的构造带上具有不同的成藏模式。洼陷带主要发育典型的自生自储自盖的砂岩透镜体油藏, 陡坡带主要发育砂岩透镜体、物性封闭、砂岩上倾尖灭、构造-岩性油藏组合, 缓坡带、中央背斜带的翼部主要发育砂岩透镜体、砂岩上倾尖灭和断层-岩性油藏。

关键词: 岩性油藏; 主控因素; 成藏模式; 东营凹陷; 山东

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

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, 新发现的构造油气藏探明储量难以保持储采平衡<sup>[1]</sup>, 岩性地层油气藏是今后相当长一个时期内我国陆上最现实、最有潜力、最有普遍性的油气勘探领域<sup>[2]</sup>。

东营凹陷构造变动频繁、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。东营凹陷1996年以来, 年探明岩性地层油气藏储量在 $2000 \times 10^4$ t以上, 根据勘探程度和现有研究资料估算, 东营凹陷岩性油藏的资源量在 $(3 \sim 4) \times 10^8$ t以上, 堪称我国东部断陷盆地岩性油气藏勘探的典范。系统总结东营凹陷岩性油藏成藏主控因素和成藏地质模式, 对我国东部断陷盆地岩性油藏勘探具有现实的指导意义。

东营凹陷是济阳拗陷内典型的开阔中、新生代箕状凹陷, 北以深大断裂与陈家庄凸起、滨县凸起接触, 南与鲁西隆起及广饶凸起呈超覆关系, 西邻林樊家构造、高青凸起, 东与青坨子凸起接壤, 面积约 $5700 \text{ km}^2$ <sup>[3]</sup>。剖面上具有北断南超的特征, 平面上呈“三凸两凹”的构造格局。东营凹陷由利津、博兴、

牛庄和民丰等4个次级洼陷和中央隆起带、北部陡坡带、南部斜坡带等若干个二级构造带组成(图1)。

## 1 东营凹陷岩性油藏成藏主控因素

### 1.1 典型岩性油藏和落空圈闭剖析

在东营凹陷选取含油性好(营11、郝7C和牛20C油藏)、含油性中等(王70B油藏)、含油性差(牛35B油藏)的典型砂岩透镜体油藏进行剖析, 主要包括砂体所处构造部位、埋深、沉积体系类型及储层的岩石学特征、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2), 营11、郝7C和牛20C油藏砂体物性、包裹砂体的烃源岩(以下简称“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

收稿日期: 2005-09-15; 修改日期: 2005-11-23

第一作者简介: 祝厚勤, 1970年生, 博士生, 主要研究方向为油气成藏机理与分布规律。

资助项目: 国家“十五”攻关项目(2003BA613A-02)和国家自然科学基金项目(40172057)。

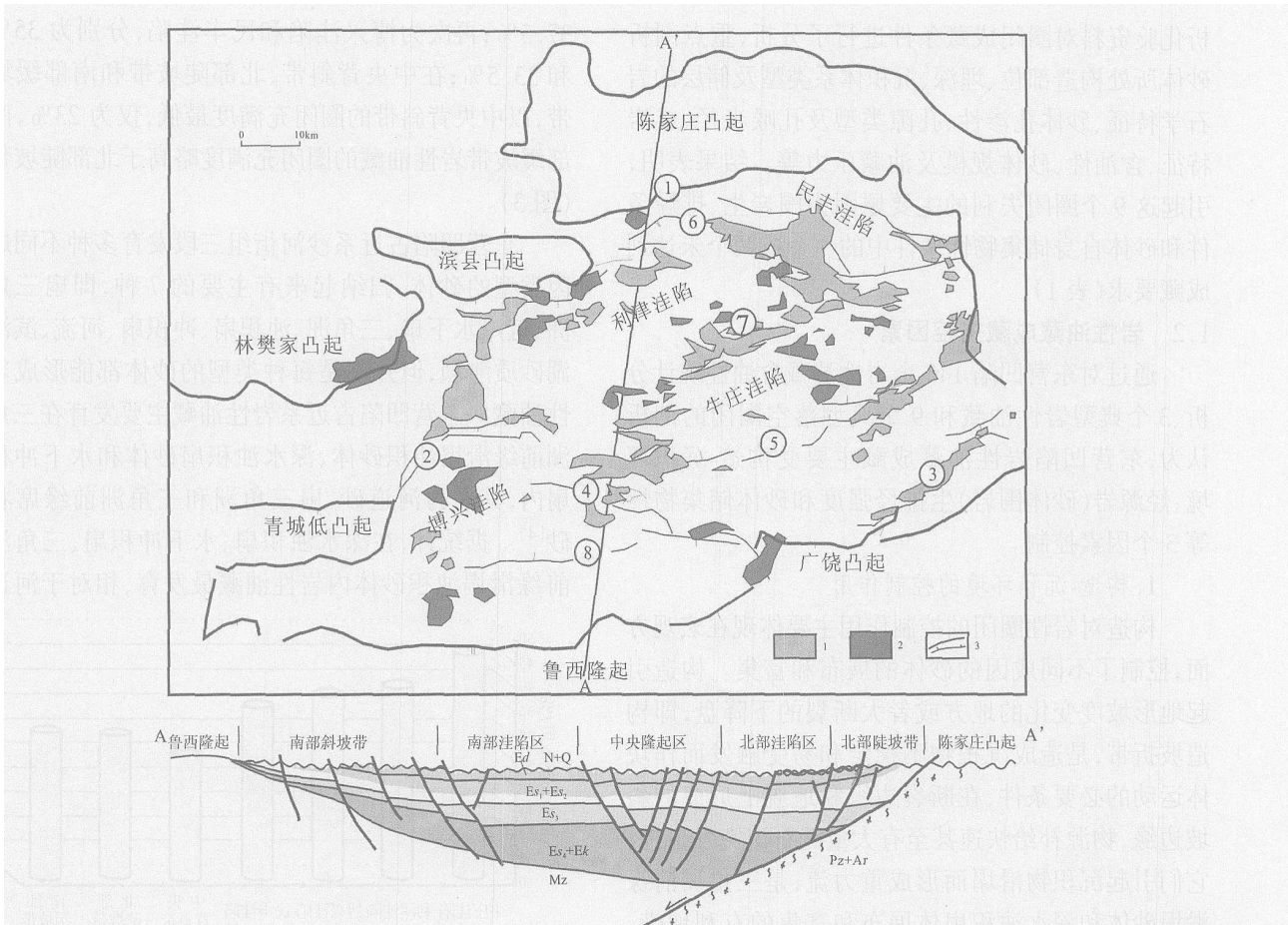


图 1 东营凹陷构造区及剖面图

1. 构造油气藏 2. 隐蔽油气藏 3. 断层。①. 陈南断裂；②. 高青-平南断裂；③. 八面河断裂；④. 四春断裂；⑤. 陈官庄断裂；⑥. 胜北断裂；⑦. 中央断裂；⑧. 博兴断裂

Fig. 1 Tectonic division and section in the Dongying depression

1= structural oil pool 2= buried oil pool 3= fault. ①= Chennan fault; ②= Gaoqing-Pingnan fault; ③= Bamianhe fault; ④= Sichun fault; ⑤= Chenguanzhuang fault; ⑥= Shengbei fault; ⑦= Central fault; ⑧= Boxing fault

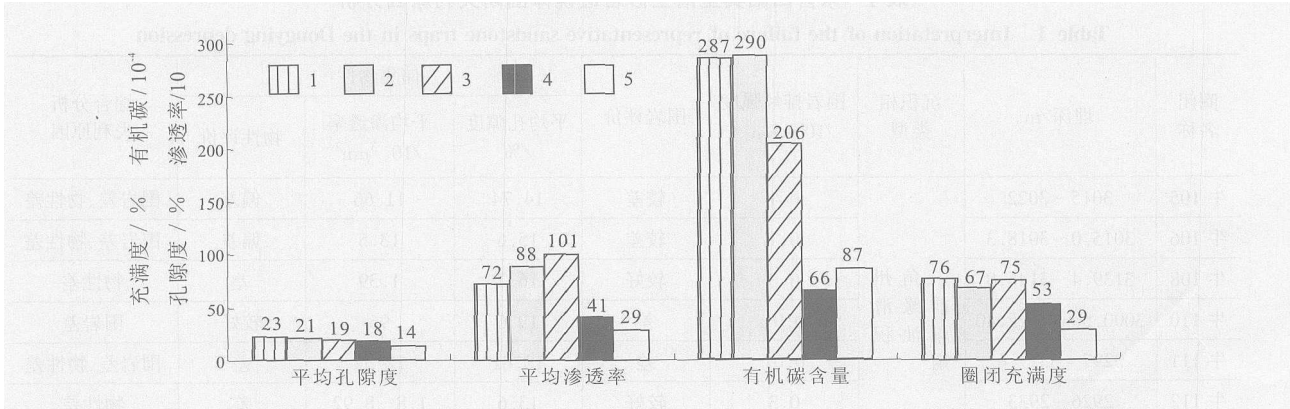


图 2 东营凹陷典型砂岩透镜体油藏各成藏参数对比

1. 营 11; 2. 郝 7C; 3. 牛 20C; 4. 王 70B; 5. 牛 35B

Fig. 2 Histograms of the parameters for the representative sandstone oil pools in the Dongying depression

Oil pools: 1= Ying-11; 2= Hao-7C; 3= Niu-20C; 4= Wang-70B; 5= Niu-35B

析化验资料对圈闭成藏条件进行了分析,重点剖析砂体所处构造部位、埋深、沉积体系类型及储层的岩石学特征、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。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一个或两个未达到成藏要求(表1)。

1.2 岩性油藏成藏主控因素

通过对东营凹陷145个岩性油藏含油性统计分析,3个典型岩性油藏和9个典型落空圈闭的剖析认为,东营凹陷岩性油藏成藏主要受构造-沉积环境、烃源岩(砂体围岩)生排烃强度和砂体储集物性等3个因素控制。

1. 构造-沉积环境的控制作用

构造对岩性圈闭的控制作用主要体现在宏观方面,控制了不同成因的砂体的展布和富集。构造引起地形坡度变化的地方或者大断裂的下降盘,即构造坡折带,是造成沉积物不稳定和易受触发而作块体运动的必要条件,在断裂边缘和地貌上形成的斜坡边缘,物源补给快速甚至有大量泥石流突发事件,它们引起沉积物滑塌而形成重力流,是三角洲前缘滑塌砂体和深水浊积扇体展布和富集的有利地带,即岩性圈闭发育的主要地方。

从岩性油藏发育的构造部位与圈闭充满度含油性关系来看,洼陷带岩性油藏的含油性要明显好于凹陷的其它构造部位。具体来说,牛庄洼陷的圈闭充满度最高,平均为46%;其次是利津洼陷,平均为

37.5%;再次为博兴洼陷和民丰洼陷,分别为35%和33.5%;在中央背斜带、北部陡坡带和南部缓坡带,以中央背斜带的圈闭充满度最低,仅为23%,南部缓坡带岩性油藏的圈闭充满度略高于北部陡坡带(图3)。

东营凹陷古近系沙河街组三段发育多种不同成因类型的砂体,归纳起来有主要的7种,即扇三角洲、近岸水下扇、三角洲、浊积扇、冲积扇、河流、滨浅湖砂质滩坝,但并不是每种类型的砂体都能形成岩性油藏。东营凹陷古近系岩性油藏主要发育在三角洲前缘滑塌浊积砂体、深水浊积扇砂体和水下冲积扇内,其次为河道砂、扇三角洲和三角洲前缘席状砂<sup>[4]</sup>。据统计,在深水浊积扇、水下冲积扇、三角洲前缘滑塌浊积砂体内岩性油藏最发育,相对于河道

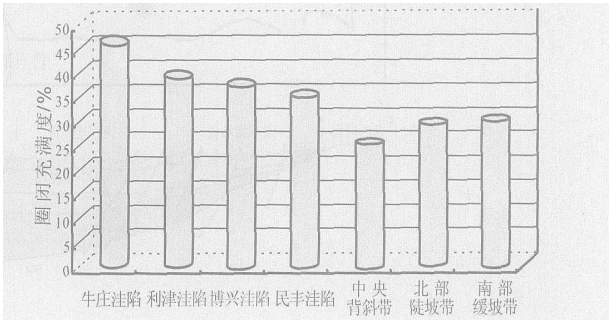


图3 东营岩性油藏圈闭充满度与构造位置和烃源岩的关系

Fig. 3 Diagram showing the relationship between the filling degree of the lithologic traps and tectonic settings in the Dongying depression

表1 东营凹陷典型落空砂岩透镜体圈闭失利原因分析  
Table 1 Interpretation of the failure of representative sandstone traps in the Dongying depression

| 圈闭名称 | 埋深/m            | 沉积相类型      | 围岩排烃强度/<br>$10^6\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$ | 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/<br>$10^{-3}\mu\text{m}^2$ | 物性评价 |          |
| 牛105 | 3015~3022       | 三角洲前缘滑塌浊积扇 | 0.1                                          | 较差   | 14.74   | 11.66                            | 偏差   | 围岩差、物性差  |
| 牛106 | 3015.0~3018.3   |            | 0.1                                          | 较差   | 15.6    | 13.5                             | 偏差   | 围岩差、物性差  |
| 牛108 | 3139.4~3146.8   |            | 0.3                                          | 较好   | 16.7    | 1.39                             | 差    | 物性差      |
| 牛110 | 3000.50~3022.40 |            | 0.01                                         | 差    | 19.6    | 96                               | 较好   | 围岩差      |
| 牛111 | 3297~3317.6     |            | 0.01                                         | 差    | 12.81   | 12.52                            | 差    | 围岩差、物性差  |
| 牛112 | 2926~2933       |            | 0.3                                          | 较好   | 13.6    | 1.8~8.92                         | 差    | 物性差      |
| 牛250 | 3279.7~3287     | 深水浊积扇      | 0.01                                         | 差    | 14.2    | 12.03                            | 偏差   | 围岩差、物性差  |
| 河89  | 2965.04~2967.0  |            | 0.3                                          | 较好   | 11.55   | 0.16                             | 差    | 物性差      |
| 河169 | 2934.8~2941.2   |            | 0.3                                          | 较好   | 14.43   | 13.5                             | 偏差   | 物性差      |
|      | 3061.3~3071.6   |            |                                              |      | 12.4    | 11.15                            | 差    | 物性差      |

资料来源:胜利油田地质院

砂等其它类型沉积体含油性较好、充满度值较高(图4),并且在这3类砂体中以深水浊积扇沉积体系含油性最好,其平均充满度为38%,平均含油饱和度为54%,且同是浊积体,深水浊积体的充满度较三角洲前缘滑塌浊积成因砂体充满度高。

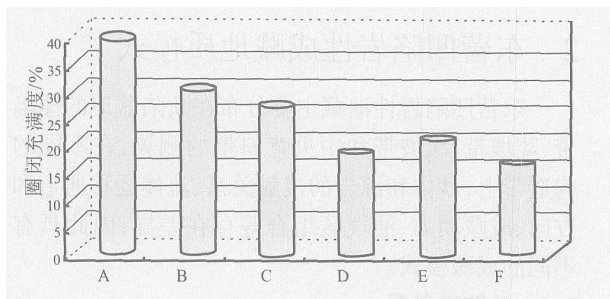


图4 东营岩性油藏圈闭充满度与沉积体系的关系

A. 深水浊积扇; B. 水下冲击扇; C. 三角洲前缘滑塌浊积岩; D. 三角洲前缘席状砂; E. 扇三角洲; F. 河道砂

Fig. 4 Diagram showing the relationship between the filling degree of the lithologic traps and sedimentary bodies in the Dongying depression

A= deep marine turbidite fan; B= submarine alluvial fan; C= fluxoturbidite on the delta front; D= sheet sandstone on the delta front; E= fan delta; F= channel sandstone

## 2. 烃源岩生排烃强度的控制作用

当烃源岩经热演化生成的烃量足以满足自身吸附、孔隙水溶解和毛细管封堵等多种存留需要,即达到排烃门限后,烃类才能开始以游离相大量排出<sup>[5]</sup>,为岩性圈闭提供油气。随生排烃强度增大、离生排烃强度中心越近的圈闭含油性越好。东营凹陷有效烃源岩和排烃高峰控制岩性油藏在平面上和纵向上的含油性。

从圈闭与有效烃源岩的位置关系来看,除断层沟通的构造-岩性油藏外,已发现的孤立砂体岩性油藏均分布在有效烃源岩范围内或接触有效烃源岩,如牛庄洼陷、利津洼陷沙三中亚段(图5)。在东营凹陷古近系处于有效烃源岩中心被其包裹的圈闭,其含油气性要好于与烃源岩呈侧向接触的岩性圈闭;同样被烃源岩包裹的圈闭,离有效烃源岩中心的距离越近,圈闭含油气性越好,反之越差(图6),即排烃强度较高区域内的岩性油藏含油气性一般较好,反之较差。东营凹陷古近系烃源岩排烃门限大于2500m,排烃高峰处在2800~3500m范围内,从而造成了东营凹陷岩性油藏主要分布在2500~3600m范围内,在该范围内其含油饱和度具有随埋深增加先增大后减小的特点(图7)。

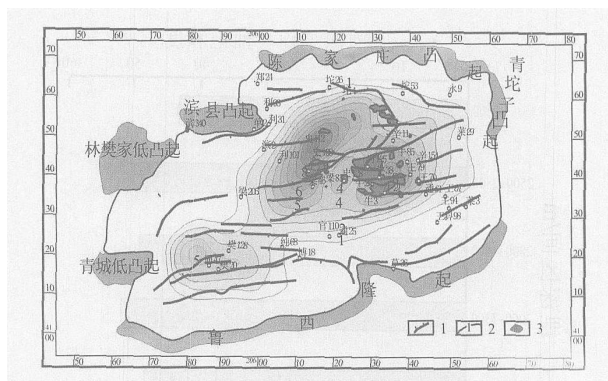


图5 东营岩性油气藏与有效烃源岩的关系

1. 断层; 2. 排烃强度( $10^6 \text{ t/km}$ ); 3. 岩性油气藏

Fig. 5 Diagram showing the relationship between the lithologic traps and effective source rocks

1= fault; 2= hydrocarbon drainage intensity ( $10^6 \text{ t/km}$ ); 3= lithologic oil pool

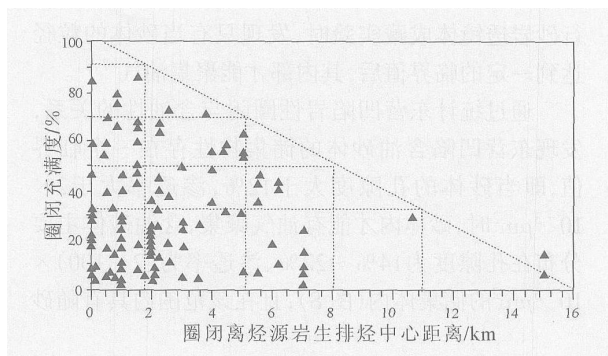


图6 东营岩性油藏圈闭光满度与离烃源岩生排烃中心距离的关系

Fig. 6 Diagram showing the relationship between the filling degree of the lithologic traps and distance from the centres of hydrocarbon generation and hydrocarbon drainage in the source rocks in the Dongying depression

## 3. 砂体物性的控制作用

砂岩储层物性常常受多种因素控制,如沉积条件(即颗粒成分、粒度、分选性、磨圆度、颗粒间杂基含量)以及岩石在埋藏过程中所经历的一系列成岩作用如压实、胶结、溶解和交代等作用。之所以能够储集油气,是由于具备了两个基本特性——孔隙性和渗透性。孔隙性的好坏直接决定岩层储存油气的数量,渗透性的好坏则控制了储集层内所含油气的产能。

对于砂岩透镜体储集物性对含油性的控制作用,陈章明等(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<sup>[6]</sup>;曾斌辉等(2000)、邱楠生等(2003)在进

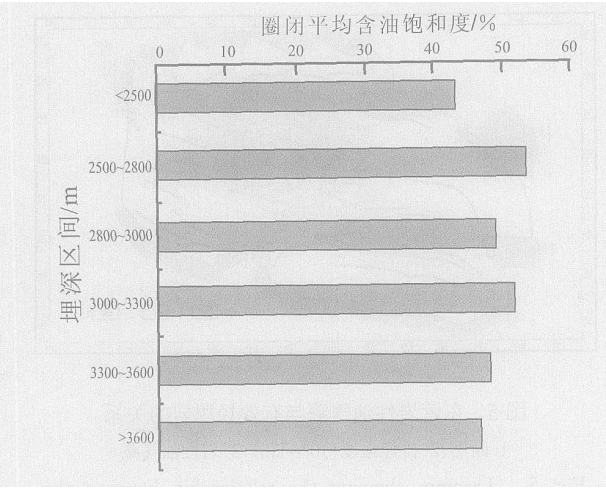


图 7 东营岩性油藏圈闭含油饱和度与埋深的关系  
Fig.7 Diagram of oil saturation vs. burial depth of the lithologic traps in the Dongying depression

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后,其内部才能聚集油气<sup>[7,8]</sup>。

通过统计东营凹陷岩性圈闭与含油性的关系,发现东营凹陷含油砂体的储集物性存在一个临界值,即当砂体的孔隙度大于12%,渗透率大于 $2\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 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%~22%、渗透率为 $(2\sim 100)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的储集体内(图8),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。因此,物性的好坏直接影响着岩性圈闭的含油气性,物性越好,储集体储集性能越好,储集空间的孔隙结构越好,越有利于烃源岩中生成的油气排出而进入砂岩体内。

2 东营凹陷岩性成藏地质模式

东营凹陷岩性油藏主要分布在断陷盆地的洼陷带、陡坡带、缓坡带和中央背斜带的侧翼,在不同的构造带上,砂体和源岩的接触关系、流体运移通道和方向、成藏动力、油气藏组合等存在差异,因此具有不同的成藏模式。

2.1 洼陷带背景

洼陷带背景下岩性油藏成藏模式的主要特点是在洼陷带内向斜构造本身或附近即是烃源岩发育的有效生烃区,而储集体一般是浊积成因的砂体,形成的岩性圈闭一般为孤立分布在烃源岩中被烃源岩包裹的典型原生砂岩透镜体油藏(图9A)。在成岩作用过程中,砂岩体与烃源岩一起压实成岩,在砂泥岩接触带内,大小孔隙之间存在毛细管力的差异。在差异毛细管力和油气生成引起的膨胀力及烃浓度差引起的扩散力的作用下,油气克服流体粘滞阻力和吸附阻力,首先从较大孔隙进入透镜体中<sup>[9-12]</sup>。油气在烃源岩中排运的路径是由粗细不均的孔隙和

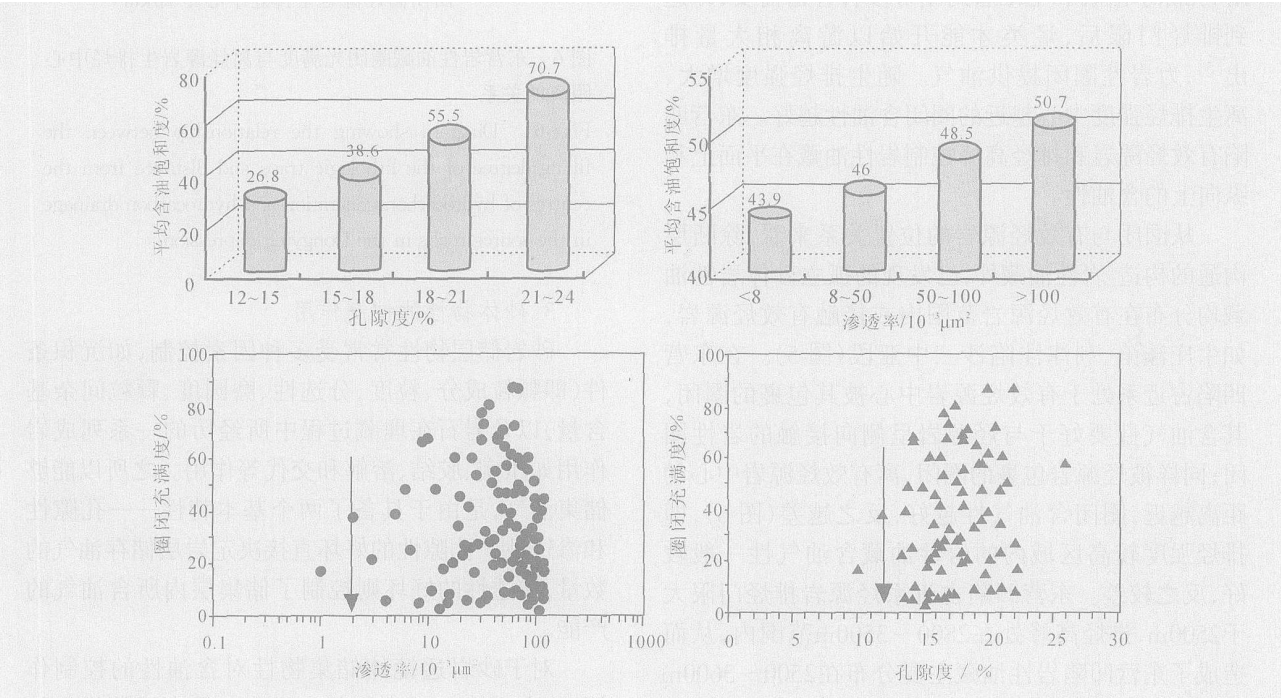


图 8 东营凹陷砂体物性与圈闭充满度的关系

Fig.8 Diagrams showing the relationship between physical property and filling degree of the traps in the Dongying depression

喉道或异常压实作用下的泥岩微裂缝组成。透镜体油藏形成后,四周的泥岩即为有效的盖层,盖层的封闭能力非常好,油气一旦在圈闭内聚集成藏,就不易遭后期的改造破坏,形成自生自储自盖的成藏组合系统。

2.2 缓坡带背景

缓坡带位于凹陷的边部,地层、岩性变化较弱,缓坡带上断层、不整合往往较为发育,该带可发育砂岩上倾尖灭、砂岩透镜体、构造-岩性油藏组合。该模式的砂岩上倾尖灭油藏特点是在临近生烃凹陷的区域性单斜构造背景下,分布的三角洲前缘相至前三角洲断续砂体,由于后期构造运动导致砂体的倾向由下倾而转为上倾,靠近物源一侧,受断层控制,在砂体的边缘,由于砂体侧向尖灭或物性变差,油气分布受岩性的控制;而该模式的砂岩透镜体油藏指砂岩透镜体不在有效烃源岩范围内,而是与其有一定距离,来自临近生油凹陷中的油气沿断层或不整合面或储层向斜坡上运移,在上倾方向形成的岩性圈闭中聚集成藏(图 9B)。

2.3 陡坡带背景

陡坡带与凸起相邻,沟豁切割相当剧烈,形成了山麓带的残丘、深谷,在这些古地貌的背景上,烃源岩层层超覆,洪积、冲积、浊积扇间互沉积,断裂和不整合十分发育。该带可发育砂岩透镜体、物性封闭、砂岩体上倾尖灭、构造-岩性油藏组合。当下部烃源岩中流体压力增大至超过毛细管力、粘滞力和吸附力等阻力时,烃源岩中生成的油气在剩余压力和浮力的作用下,可沿裂隙或断层或不整合或储层砂体或它们的组合运移至岩性圈闭中聚集成藏(图 9C)。

2.4 中央背斜带翼部背景

东营凹陷中央背斜带为陈南断层活动引发沙四段岩盐塑性拱张而形成,具有临近洼陷同沉积拱升的特点,一般处于沉积盆地浅湖—深湖区,在其两翼三角洲前缘滑塌砂体十分发育,对岩性油藏的形成十分有利。东营凹陷中央背斜带的翼部可发育砂岩透镜体、砂岩体上倾尖灭和断层-岩性油藏,其中被烃源岩包裹的岩性油藏,当烃源岩中流体压力增大

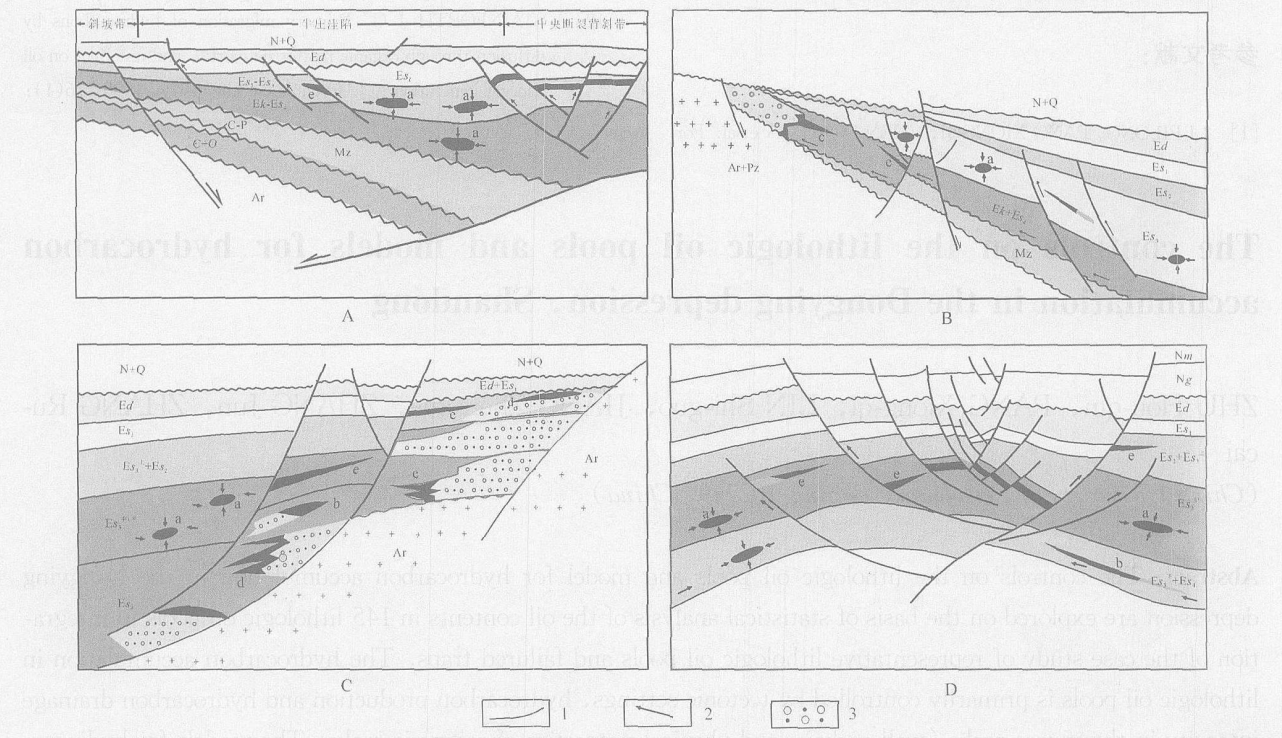


图 9 东营凹陷不同构造背景下岩性油藏成藏模式

A. 洼陷带; B. 缓坡带; C. 陡坡带; D. 中央背斜带翼部。a. 砂岩透镜体油气藏; b. 砂岩上倾尖灭油气藏; c. 物性封闭油气藏; d. 背斜-岩性油气藏; e. 断层-岩性油气藏。1. 断层; 2. 油气运移方向; 3. 砂砾岩

Fig. 9 Models for hydrocarbon accumulation in the lithologic oil pools in different tectonic settings in the Dongying depression  
A= depression zone; B= gentle-slope zone; C= steep-slope zone; D= flank of a central anticline. a= sandstone lens oil pool; b= sandstone oil pool with upwarp dedined pinches; c= oil pool with enclosed physical properties; d= anticline-lithologic oil pool; e= fault-lithologic oil pool. 1= fault; 2= oil and gas migration direction; 3= sandstone and conglomerate

至超过毛细管力、粘滞力和吸附力等阻力时, 源岩所排出的油气可直接运移至其内部聚集成藏; 对于未被烃源岩包裹的岩性油藏, 源岩排出的油气可沿裂隙或断裂或储层或它们的组合运移至岩性圈闭中聚集成藏(图9D)。

### 3 结 论

东营凹陷岩性油藏成藏主要受构造沉积环境、烃源岩(砂体围岩)生排烃强度和砂体储集物性等3个因素控制; 东营凹陷岩性油藏主要分布在断陷盆地的洼陷带、陡坡带、缓坡带和中央背斜带的侧翼, 在不同的构造带上, 砂体和源岩的接触关系、流体运移通道和方向、成藏动力、油气藏组合等存在差异, 具有不同的成藏模式。洼陷带主要发育典型的自生自储自盖的砂岩透镜体油藏, 缓坡带主要发育砂岩上倾尖灭、砂岩透镜体、构造-岩性油藏组合, 陡坡带可发育砂岩透镜体、物性封闭、砂岩上倾尖灭、构造-岩性油藏组合, 中央背斜带的翼部可发育砂岩透镜体、砂岩上倾尖灭和断层-岩性油藏。

#### 参考文献:

[1] LI PILONG, PANG XIONGQI, CHEN DONGXIA et al. For-

mation mechanism and model for sand lens reservoirs in the Jiyang Sub-basin, East China [J]. Science in China Ser. D Earth Sciences, 2004, 47(sII): 167—176.

- [2] 贾承造, 赵文智, 邹才能, 等. 岩性地层油藏勘探研究的两项核心技术[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 3—7.
- [3] 张德武, 冯有良, 邱以钢, 等. 东营凹陷下第三系层序地层学研究及隐蔽油气藏预测[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 67—72.
- [4] 曾溅辉, 张善文, 邱楠生, 等. 济阳坳陷砂岩透镜体油气藏充满足度大小及其主控因素[J]. 地球科学, 2002, 27(6): 729—732.
- [5] 庞雄奇, 陈冬霞, 李丕龙, 等. 砂岩透镜体成藏门限及其控油作用机理[J]. 石油学报, 2003, 24(3): 38—41.
- [6] 陈章明, 张云峰. 凸镜状砂体聚油模拟实验及其机理分析[J]. 石油实验地质, 1998, 20(2): 166—170.
- [7] 曾溅辉, 金之钧. 油气二次运移和聚集物理模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 207—210.
- [8] 邱楠生, 万晓龙, 金之钧, 等. 渗透率级差对透镜状砂体成藏的控制模式[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 48—52.
- [9] 庞雄奇, 金之钧, 左胜杰. 油气藏动力学成因模式与分类[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 507—513.
- [10] BERG R R. Capillary pressures in stratigraphic traps [J]. AAPG Bulletin, 1975, 59(5): 939—956.
- [11] CORDELL R J. How oil migration in elastic sediments? [J]. World Oil, 1977, 183(1): 6—7.
- [12] STAINFORTH J G. Primary migration of hydrocarbons by diffusion through organic matter networks, and its effect on oil and gas generation [J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(1): 1—3.

## The controls on the lithologic oil pools and models for hydrocarbon accumulation in the Dongying depression, Shandong

ZHU Hou-qin, PANG Xiong-qi, LIN Shi-guo, JIANG Zhen-xue, ZHANG Jun, ZHANG Ru-cai

(China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** The controls on the lithologic oil pools and model for hydrocarbon accumulation in the Dongying depression are explored on the basis of statistical analysis of the oil contents in 145 lithologic oil pools in integration of the case study of representative lithologic oil pools and failed traps. The hydrocarbon accumulation in lithologic oil pools is primarily controlled by tectonic settings, hydrocarbon production and hydrocarbon drainage intensity in the source rocks (wall rocks), and physical properties of reservoir rocks. The models for hydrocarbon accumulation tend to vary in different tectonic settings. The self production-self reservoir-self seal sandstone lenses oil pools occur in the depression zone; structural-lithologic sandstone lenses oil pools with enclosed physical properties and upward declined pinches of sandstone in the steep-slope zone, and fault-lithologic sandstone lenses oil pools with upward declined pinches of sandstone in the gentle-slope zones or on the flanks of the central anticlines.

**Key words:** lithologic oil pool; controls; model for hydrocarbon accumulation; Dongying depression; Shandong