

文章编号: 1006-6616 (2011) 02-0132-12

地应力对油气运移的驱动作用

王连捷, 孙宝珊, 王 薇, 乔子江, 王红才, 孙东生

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要: 论述了地应力驱动油气运移的机理, 给出了地应力作用下孔隙地层中流体移动的本构方程和渗流方程。作为实例, 模拟计算了胜利油田东营凹陷中央背斜带的地应力场和运移势场。结果表明, 该背斜带已有的油藏分布与低应力区和低势区有很好的对应关系, 大部分油藏位于低应力区和低势区, 说明地应力对油气运聚成藏有重要控制作用。依据地应力场和运移势场的分布, 对油藏的有利地区进行了预测, 为油田的勘探开发提供了科学依据。

关键词: 地应力; 油气驱动作用; 东营凹陷; 渗流方程; 油藏预测

中图分类号: TU45, P618.13

文献标识码: A

0 前言

地应力是控制油气运移, 集聚的重要因素之一^[1-3], 地壳在地应力作用下, 发生构造运动和岩层变形, 岩层的变形产生孔隙的体积变化, 压缩或膨胀使岩层内孔隙流体压力增加或减小, 产生孔隙流体压力梯度或势差, 推动流体在岩层内流动。在流动过程中, 遇到合适的圈闭, 油气就会聚集成藏, 形成油田^[4-7]。

岩层的变形也导致孔隙度和渗透率的改变, 从而影响渗流的速度和方向。近年来, 很多作者关注地应力对油气运移的驱动作用, 油田应力场与油气运移、聚集成藏的研究, 取得了很大进展^[8-14]。但地应力对油气运移的驱动作用是一个复杂的问题, 目前仍处于探索阶段。

李四光教授认为, 构造应力场在油气运移聚集中起着主导作用, 他指出: “自然界中, 生产出来的点滴石油混杂在泥砂之中, 是没有工业价值的, 必须经过一种天然的程序, 把那些分散的点滴集中起来, 才有工业价值。这个天然的程序, 就是含有石油的地层发生了褶皱和封闭性的断裂活动。”“挤压性或者扭压性断裂附近产生褶皱, 褶皱弯曲部位应力变小, 油气在应力驱动下, 就会集中到一起”^[15-16]。构造应力能使含油气流体发生运移并在一定部位聚集。

收稿日期: 2011-01-03

基金项目: 国土资源部深部探测技术与试验研究专项 (项目编号: Sinoprobe-07)。

作者简介: 王连捷 (1933-), 男, 研究员, 从事地质灾害, 地应力测量, 应力场数值分析及应用研究; E-mail: wanglj01@sina.com

1 地应力驱动油气运移理论基础

1.1 孔隙介质中流体的流动

达西通过试验确定了流体流过孔隙介质的流速^[17]。他将流体在孔隙介质中的流速定义为单位时间, 流过单位面积流体通过的体积。流速正比于该点孔隙压力梯度。

$$V_x = \frac{k}{\eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \quad V_y = \frac{k}{\eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \quad V_z = \frac{k}{\eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \quad (1)$$

式中: V_x, V_y, V_z 为流速沿 x, y, z 方向上的分量; η 为流体的粘度; k 为介质的渗透系数。达西所表示的公式是用水头高度 h 来表示的。我们这里采用压力的形式更为方便。渗透率是影响流体流动的重要参数, 而渗透率如前所述, 同样也与地应力有关。

由上述分析可见, 孔隙岩层中流体的流动速度决定于孔隙压力梯度, 渗透系数和流体的粘度。

1.2 有效应力与孔隙压力

岩层受到应力作用后, 一部分应力由岩层孔隙中的流体承受, 称为孔隙压力。一部分由岩层骨架承受, 称为有效应力。在饱和的岩层中, 应力可表示为:

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij}p \quad (2)$$

$$\sigma'_0 = \sigma_0 - p \quad (3)$$

式中: σ'_{ij} 为有效应力; σ_{ij} 为总应力; p 为孔隙流体压力; δ_{ij} 为单位函数; $\sigma'_0 = \frac{1}{3} (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)$ 称为有效平均应力, $\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$ 为有效主应力; $\sigma_0 = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$ 称为平均总应力。孔隙压力的大小有时用孔隙压力系数表示比较方便。孔隙压力系数的表达式如下^[11]:

$$\frac{p}{\sigma_0} = - \frac{1}{1 + \frac{nK}{K_v}} = B \quad (4)$$

式中: n 为孔隙率; K_v 为孔隙的体积压缩模量; K 为岩层骨架的体积压缩模量; B 称为孔隙压力系数。对饱和岩层因为水的压缩性比岩层骨架的压缩性低得多, 即 $K_v \gg K$, $\frac{K}{K_v} \approx 0$, 所以 $B \approx 1$ 。对于干岩层, 孔隙的压缩性很大, 所 $B \approx 0$, 非饱和的湿岩层, B 在 $0 \sim 1$ 之间, 饱和度越大, B 越接近于 1。对于饱和岩层 $\frac{p}{\sigma_0} = 1$ 即: $p = \sigma_0$, 上式说明, 总应力全部由孔隙中的流体所承受。总应力全部转为孔隙压力。

1.3 流体的势

流体的运移是由运移通道和流体势决定的。运移通道是岩石中张开的孔隙, 裂隙和断裂等组成。流体的势由流体所在的位置及应力状态决定, 相对于某一基准面, 单位体积流体所具有的总能量 E_0 为^[18]:

$$E_0 = \int_0^h \rho g dz + P \quad (5)$$

式中 ρ —流体的密度, g —重力加速度, h —相对于基准面的高程 (基准面上为正), P —高程 h 处流体的压力。

上式右边第一项为位置势能,可理解为将单位体积流体从基准面移动到高程 Z 处为克服重力所做的功。第二项为压力势能,可理解为单位体积流体由基准面到高程处因压力变化所做的功。对于第二项一些作者是不考虑地应力作用的,只考虑地层压力。我们考虑地应力的作用,且把地应力作为主要因素。

引入函数 $\phi = \frac{k}{\eta} E_0$, 则由流体势的梯度可得流体的流速:

$$V = \text{grad}(\phi) \cdots \cdots (6)$$

由上述可知,油气的运移与地应力有密切关系,根据各期次应力场的分布可以确定油气的运移方向,圈定有利地区,划分圈闭等级,为油气勘探提供依据。

1.4 应力平衡方程与耦合渗流微分方程

应力平衡方程^[17]:

$$\sigma_{ij} + \rho x_j = 0 \quad (i, j) = 1, 2, 3 \quad (7)$$

几何方程:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (8)$$

本构方程^[17]:

$$\sigma_{ij} = \lambda \delta_{ij} \varepsilon_v + 2G \varepsilon_{ij} + \delta_{ij} \alpha p \quad (9)$$

$$\theta = \frac{p}{Q} - \alpha \varepsilon_v = \frac{p}{R} - \frac{\sigma}{3H} \quad (10)$$

用位移表示的平衡方程:

$$(\lambda + G) \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial x_j} + G \nabla^2 u + \rho x_j + \alpha \frac{\partial p}{\partial x_j} = 0 \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (11)$$

耦合渗流方程^[17-22]:

$$\nabla^T K \nabla \phi + A = C \frac{\partial p}{\partial t} + G \frac{\partial \sigma_0}{\partial t} \quad (12)$$

以上方程也称为 Biot 方程或流固耦合方程。若不考虑地层压缩性及地应力随时间的变化,则式(12)变为:

$$\nabla^T K \nabla \phi + A = 0 \quad (13)$$

如果研究区内无源存在,则上式变为:

$$\nabla^T K \nabla \phi = 0 \quad (14)$$

式(12)称为瞬态渗流方程,式(13)及(14)称为稳态渗流方程。在上式中: θ 为单位体积上的孔隙介质中流体体积变化; $\sigma = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$; $H, R, Q,$

α 为系数^[19], δ_{ij} 为单位矩阵, $\delta_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$; k_{ij} 为渗透系数。 $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}$ 为应力和应变, ε_v 为

体应变, $\varepsilon_v = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}$ 。 $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}$ 为正应变; G 为剪切模量, $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$; λ 为拉

梅常数, $\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$, ν 为泊松比; K 为体积模量, $K = \frac{E}{3(1-2\nu)} = \frac{3\lambda + 2G}{3}$; E 为弹

性模量; ρ 为密度。 ∇ 为拉普拉斯算子, ∇^T 为 ∇ 的转置。

联立求解方程(11)和方程(12),可得出应力、孔隙压力、流体势或运移势、流速等

随空间和时间的变化。如果不考虑渗流随时间的变化, 则不需要联立求解。只需求解方程 (11), 即求解线弹性应力。这时得出构造变动开始时刻的应力, 孔隙压力和运移势场。

2 胜利油田东营凹陷中央背斜带地应力场与油气运移的模拟计算

我们以胜利油田东营凹陷中央背斜带作为实例, 分析地应力场对油气运移的驱动作用。

2.1 地质概况

该地区发育太古宇, 古生界、中生界和新生界, 以及上奥陶统至下石炭统、上二叠统至三叠系及新生界古新统地层。凹陷内新生界除古新统外, 地层发育齐全, 古近系为本区最主要含油层系, 新近系和古近纪地层是次要的含油层系^[23-28]。

东营凹陷古近系由孔店组、沙河街组和东营组组成, 新近系可分为馆陶组和明化镇组, 第四系为平原组。

该区主要为帚状断块群构造^[29] (图 1)。位于东营凹陷中央隆起带西南端, 北以河 4 大断层为界, 南以河 125 大断层为界, 面积约 120km², 是冀鲁帚状构造体系派生的低级序帚状断块群。它由旋扭核心和四个旋回层组成, 平面呈帚状展布。各旋回层均向北东收敛、向南西撒开, 呈向南东凸的弧形。剖面为向北西节节下掉的断阶带。据大量的地质和地球物理资料证实, 该断块群在沙三段沉积晚期出现雏形, 沙二段沉积期基本定型, 东营组沉积期强烈活动, 该帚状构造成熟, 派生和伴生了低级序的放射状、墙角状、平行弧状、“入”字型等类型的断块区。各断块区的特征和形成机制不同, 因而导致油气聚集规律、富集程度和控制因素也常常不相同。

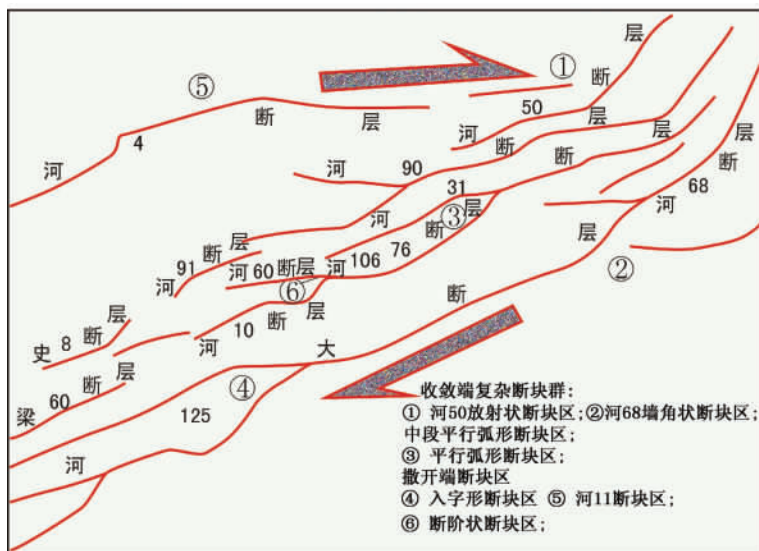


图 1 东营凹陷中央背斜带地质构造简图

Fig. 1 The tectonic sketch map of the central uplift belt in Dongying sag

2.2 有限元模型

对该区进行了三个时期, 即沙三期, 东营期和现今时期的应力场和运移场的计算。限于篇幅, 我们将主要叙述现今应力场和运移场的计算结果。

下面简述三维模型的建立,由构造平面图,剖面图和等深线图建立三维有限元模型,其做法是在构造平面和剖面图的基础上将断层按倾向和倾角向上或向下沿伸,沿伸的深度等于地层的厚度。形成空间三维体模型。模型的长和宽各约 20 km,深约 0.5 km。

为了便于施加不同方向的边界力和便于约束,还使用了边框单元。

利用 ANSYS 软件的网格自动化功能,进行网格化,采用 10 节点等参单元网格,共划分 76000 个单元。如图 2。

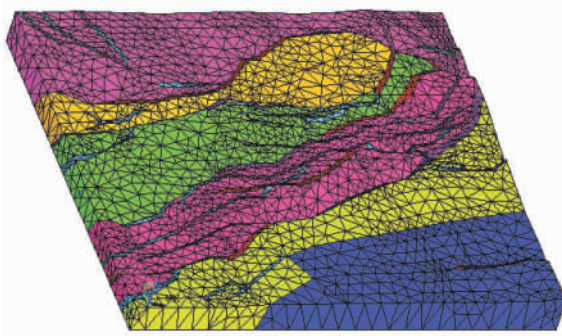


图 2 三维有限元分析网格

Fig. 2 The 3D finite element analytic meshes

2.3 模型的力学参数

根据该地区钻井岩芯的力学参数测试结果,并考虑到断层带和地层的差别,力学参数如表 1。

表 1 模型的力学参数

Table 1 Mechanics parameters of the model

		弹模 /MPa	泊松比	岩石密度 g/cm^3
断 层	1	9000	0.20	2.22
	2	10500	0.20	2.22
	3	12000	0.21	2.22
地 层	1	15000	0.21	2.25
	2	16500	0.22	2.25
	3	18000	0.22	2.25
	4	19500	0.21	2.25
	5	20000	0.21	2.25
	6	20500	0.21	2.25
边 框		15000	0.22	2.25
上覆地层		15000	0.22	2.25

2.4 边界力作用方式

边界力包括水平构造力、重力、上覆岩层压力。重力由岩层的密度和重力加速度计算,由程序自动产生。考虑现代水平应力场,地应力方向和大小由地层倾角四臂测井和声发射资料获得,应力随深度变化,变化的梯度由测井资料获得。最大主应力方向为北西 80° 。

2.5 应力场模拟结果

应力场模拟结果给出主应力和应力分量的分布图。为了减少篇幅,我们只给出一个最大主压应力图和一个剖面图如图 3 及图 4。由图可看出地应力场总体特征与分布规律:

(1) 东营凹陷中央背斜带应力场总体来看,南部 125 大断层以南应力偏高,为高应力区,中部 125 大断层与郝 6 断层之间应力值偏低,为低应力区。北部郝 6 断层以北亦为高应力区(断层位置见图 5)。即南部为高应力区,中部为低应力区,北部为次高应力区。

(2) 断层对应力分布有明显的影响,断层带内和断层附近应力值低。

(3) 多处分布有局部地应力低值区,对比图 3 及图 5 可以看出,这些局部地应力低值区与油藏分布有很好的对应关系。已有油藏大部分都落在应力低值区。典型断块都是相对低值区,如河 4 断层、河 60 断层、河 43 断层等。油气容易在这里聚集成藏。

(4) 从剖面上看,地应力随深度增加,深部应力高,浅部应力低。一般来说断层的上升盘靠近断层应力值低。反向屋脊处应力值低。

(5) 应力场的总体分布,有利于油气由南北两侧向中央隆起带运聚,由深部向浅部运移或沿地层上倾方向运移,并被断层遮挡形成断块油藏。

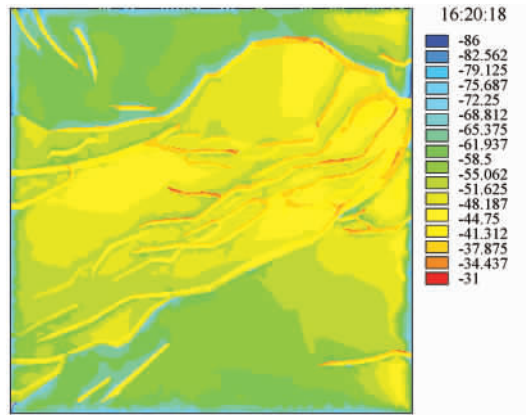


图 3 现今应力场主应力 σ_3 /MPa

Fig. 3 The main stress in the present field

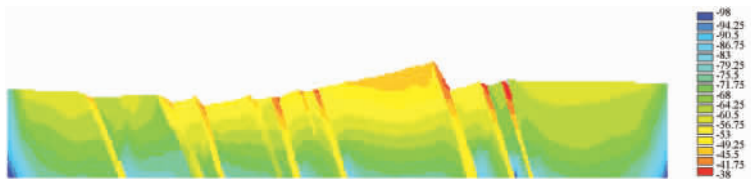


图 4 L281 剖面上现今应力场主应力 σ_3 /MPa (剖面位置见图 5)

Fig. 4 The main stress of the L281 section in the present field

2.6 运移势场模拟结果

在应力场模拟的基础上,利用前述的方法计算了运移势场,结果如图 6。运移势场的总体特征如下:

(1) 运移势场的总体特征与应力场相似,同样可以分为 3 个区,即南部 125 大断层以南地区为高运移势区,中部 125 大断层和郝 6 断层以南的中部地区为低运移势区,在北部郝 6 断层以北亦为高势区(断层位置见图 5)。

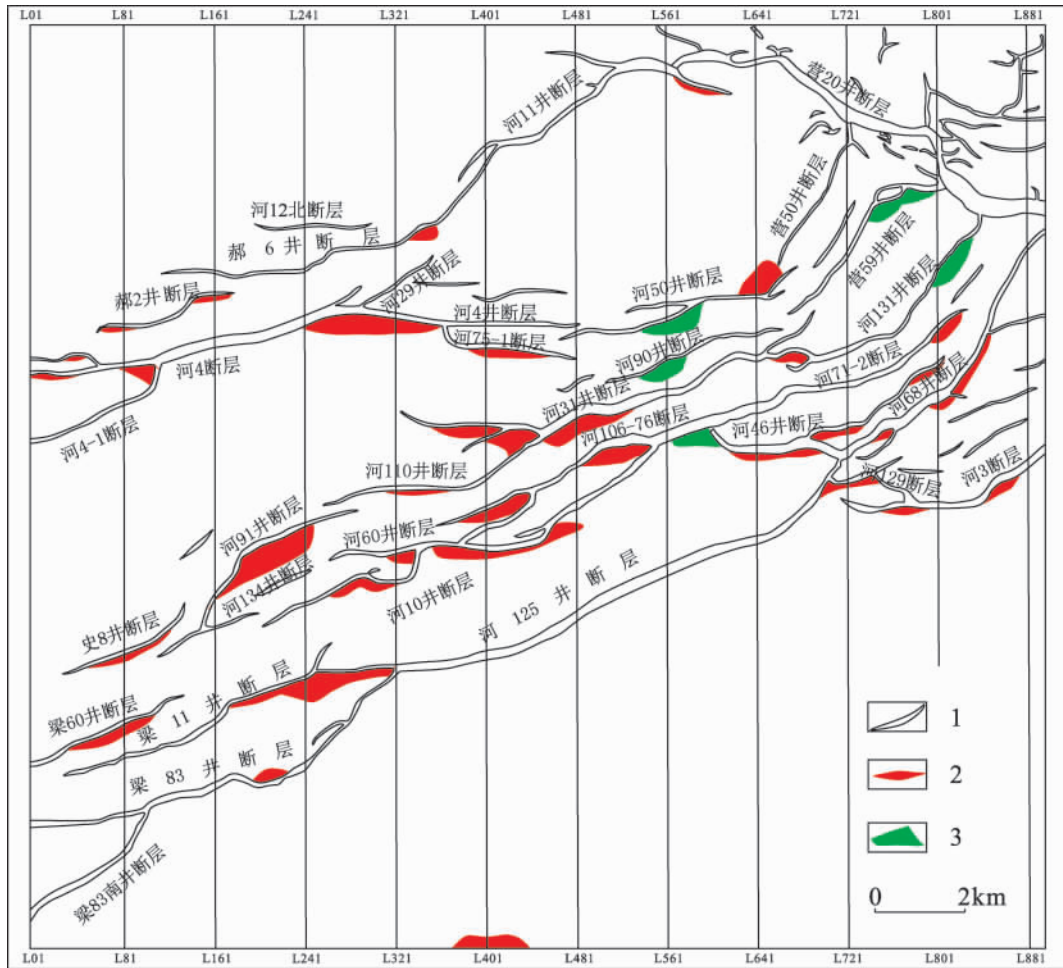


图5 东营凹陷中央背斜带油藏预测图 (红色区为已有油藏, 绿色为预测区)

Fig. 5 The predicted petroleum reservoir (in green) distribution map of the central uplift in Dongying sag

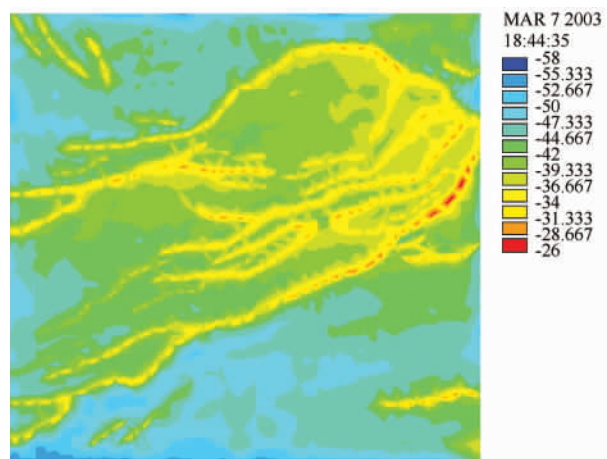


图6 现今运移势场

Fig. 6 The present migrating potential field

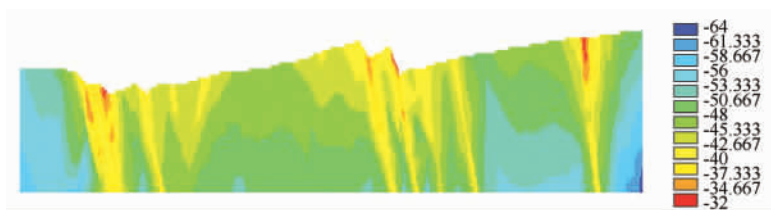


图 7 L81 剖面现今运移势场 (剖面位置见图 5)

Fig. 7 The present migrating potential field of section L81 (see location in figure 5)

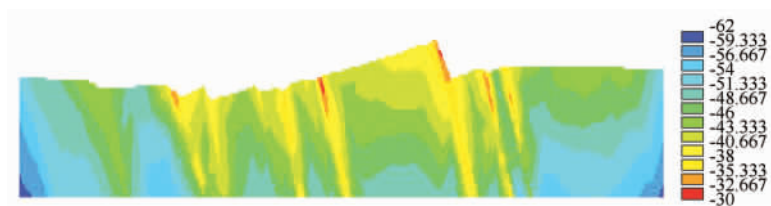


图 8 L281 现今剖面运移势场 (剖面位置见图 5)

Fig. 8 The present migrating potential field of section L281 (see location in figure 5)

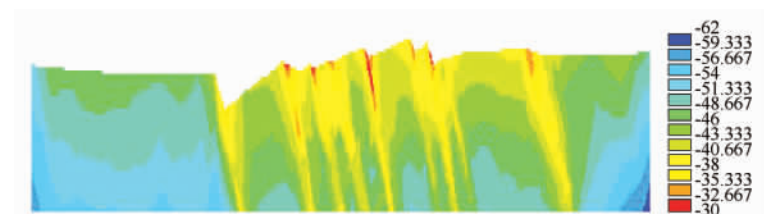


图 9 L401 现今剖面运移势场 (剖面位置见图 5)

Fig. 9 The present migrating potential field of section L401 (see location in figure 5)

(2) 在中部地区总的来看是运移势低数值, 但分布不均匀, 有许多局部低值区或圈闭区。在河 4、河 50、河 58、河 31、河 11 等断块皆出现局部低势区。

(3) 在剖面上看, 深部为高势区, 浅部为低势区。反向屋脊处为低势区。断层带内及靠近断层附近为低势区 (图 7、图 8、图 9)。

(4) 运移势场与应力场的分布特点有相似性, 即高应力区一般为高运移势区, 低应力区一般为低运移势区。

(5) 从运移势的总体分布来看, 油气主要由南北两侧向中部运移。从这一情况看民丰凹陷、牛庄凹陷等均应对背斜带的油藏有贡献。

(6) 对比图 5 及图 6 可以看出, 已有的油藏与运移势的低值区有较好的对应关系, 大部分油藏分布在运移势的低值区。从剖面看, 反向屋脊为低值区, 这些低值区多分布有反向屋脊油藏, 这是该区一种主要油藏类型。

3 油藏预测

根据应力场和运移势场的分布并结合地质构造, 对本区油藏进行了预测。该油田经过多年的勘探与开发, 大部分油田已被发现并开采多年, 寻找新的油藏是很困难的, 但我们仍然

预测了有利地区。这些地区都是应力场、流体运移势低值部位,如河 50 断层的河 74 井的西南,河 131 断层的东北部等五处有利地区如图 5,同时对剩油进行了评估,为油田勘探开发提供了科学依据。

4 结论

通过分析,得出以下基本认识:

(1) 地应力是驱动油气运移的主要动力因素之一。在地应力的作用下,孔隙岩层内形成运移势的高势区和低势区。根据最小位能原理,油气由高势区向低势区运移,在适当的构造部位形成圈闭油藏。运移势的分布与地应力有一定的对应关系,高应力区和低应力区往往与高势区和低势区相对应。

(2) 胜利油田东营凹陷中央背斜带应力场的特点是背斜带的南北两侧为高应力区,油气由两侧的生油洼陷地区向应力低的中央背斜带帚状构造地区运移。

(3) 东营凹陷中央背斜带,有多处低应力区。油藏的分布与低应力区和低势区有很好的对应关系,已有油藏大多位于低应力区和低势区,说明地应力对该区油藏有控制作用。

(4) 地应力随深度增加,深部应力高,浅部应力低,油气由深部向浅部运移。反向屋脊处应力值低,这是形成反向屋脊类型油藏的重要原因之一。

(5) 根据应力场和运移势场并结合地质构造,可对油藏进行预测。划出了 5 处有利地区,同时对剩油进行了评估,为油田勘探开发提供科学依据。

参 考 文 献

- [1] 王连捷,张利容,袁佳音,等. 地应力与油气运移 [J]. 地质力学学报, 1996, 2 (2): 3~10.
WANG Lian-jie, ZHANG Li-rong, YUAN Jia-yin, et al. Crustal stress and oil and gas migration [J]. Journal of Geomechanics, 1996, 2 (2): 3~10 (in Chinese with English abstract).
- [2] 张春明. 塔西南群苦克构造带油气运移与聚集 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26 (5): 151, 8~9.
ZHANG Chun-ming. Migration and accumulation of oil and gas in Qunkuqiake structural belt, Southwest Tarim basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26 (5): 8~9 (in Chinese with English abstract).
- [3] 李阳. 复杂断块油藏构造特征 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
LI Yang. Structural features of complex faulted reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- [4] 孙宝珊,丁原辰,邵兆刚,等. 声发射法测量古今应力在油田的应用 [J]. 地质力学学报, 1996, 2 (2): 11~17.
SUN Bao-shan, DING Yuan-chen, SHAO Zhao-gang, et al. Application of acoustic emission technique in determination of fossil and present-day stresses in oil fields [J]. Journal of Geomechanics, 1996, 2 (2): 11~17 (in Chinese with English abstract).
- [5] 董亨茂. 应力对流体及油气二次运移作用的几种模式 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 1999, 23 (2): 112, 14~17.
TONG Heng-mao. Models of formation stress action on fluid and oil and gas migration in reservoir [J]. Journal of University of Petroleum, China, 1999, 23 (2): 14~17 (in Chinese with English abstract).
- [6] 孙雄. 构造应力场对油气运移的影响 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25 (1): 141~191.
SUN Xiong. Influence of tectonic stress on hydrocarbon migration [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25 (1): 141~191 (in Chinese with English abstract).
- [7] 冯向阳,沈淑敏,刘文英. 应力驱动与油气运移势场的剖面研究 [J]. 地质力学学报, 1996, 2 (2): 26~30.
FENG Xiang-yang, SHEN Shu-min, LIU Wen-ying. Study of tectonic stress control of oil and gas migration in sections

- [J]. *Journal of Geomechanics*, 1996, 2 (2): 26 ~ 30 (in Chinese with English abstract).
- [8] 沈淑敏. 中国东南大陆边缘地区构造应力场特征与东海盆地油气运移规律 [J]. 中国地质科学院地质力学研究所刊, 1989, 12: 1 ~ 6.
SHEN Shu-min. Tectonic stress field of continental marginal area of China's east and south and migration and accumulation of oil and gas in East China Sea basin [J]. *Bulletin of the Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences*, 1989, 12: 1 ~ 6.
- [9] 魏忠文. 南堡凹陷北部东营末期构造应力场与油气运移关系的探讨 [J]. 现代地质 (中国地质大学研究生院学报), 2000, 14: 435 ~ 439.
WEI Zhong-wen, XIONG Bao-xian, GE Yun-long, et al. Relationship between structural stress field and hydrocarbon migration in the northern Nanpu depression at the last stage of Dongying [J]. *Geosciences*, 2000, 14: 435 ~ 439 (in Chinese with English abstract).
- [10] 沈淑敏, 冯向阳, 刘文英. 塔里木盆地北部地区主要断裂带构造应力场与油气运移 [J]. 地质力学学报, 1995, 1 (2): 11 ~ 20.
SHEN Shu-min, FENG Xiang-yang, LIU Wen-ying. Tectonic stress driving and migration of gas and oil in northern Tarim basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 1995, 1 (2): 11 ~ 20 (in Chinese with English abstract).
- [11] 谭成轩, 王连捷, 孙宝珊, 等. 含油气盆地三维构造应力场数值模拟方法 [J]. 地质力学学报, 1997, 3 (1): 71 ~ 80.
TAN Cheng-xuan, WANG Lian-jie, SUN Bao-shan. An approach to numerical simulation of 3D tectonic stress field of the oil gas bearing basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 1997, 3 (1): 71 ~ 80 (in Chinese with English abstract).
- [12] 王红才, 王薇, 王连捷, 等. 油田三维构造应力场数值模拟与油气运移 [J]. 地球学报, 2002, 23 (2): 175 ~ 178.
WANG Hong-cai, WANG Wei, WANG Lian-jie, et al. Three dimensional tectonic stress field and migration of oil and gas in Tanhai [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2002, 23 (2): 175 ~ 178 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王连捷, 王红才, 王薇, 等. 油田三维构造应力场、裂缝与油气运移 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (23): 4052 ~ 4057.
WANG Lian-jie, WANG Hong-cai, WANG Wei, et al. Relation among three dimensional tectonic stress field fracture and migration of oil and gas in oilfield [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23 (23): 4052 ~ 4057 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王连捷, 孙宝珊, 张利蓉, 等. 沙雅隆起及邻区现今地应力场及其在油气运移聚集研究中的应用 [C]. 中国塔里木盆地北部油气地质研究, 1991, 第二辑, 地质大学出版社.
WANG Lian-jie, SUN Bao-shan, ZHANG Li-rong, et al. Present-day stress field and its application in the study of migration and accumulation of oil and gas in uplift and adjacent areas [C]. *Research of petroleum geology of Northern Tarim basin in China*. 1991, (2). China University of Geosciences Press (Beijing).
- [15] 沈淑敏, 冯向阳, 郑芳芳. 构造应力驱动与油气运移 [M]. 北京: 地震出版社, 1998.
SHEN Shu-min, FENG Xiang-yang, ZHENG Fang-fang. Tectonic stress drive of oil and gas migration [M]. Beijing: Seismological Press, 1998.
- [16] 黄汉纯, 黄庆华, 马寅生. 柴达木盆地地质与油气预测 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
HUANG Han-chun, HUANG Qing-hua, MA Yin-sheng. *Geology of Qaidam Basin and Its Petroleum Prediction* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [17] Jaeger J C, Cook N W. *Fundamentals of rock mechanics*. 3rd. London Chapman and Hall, 1979.
- [18] 武红岭, 王小凤, 马寅生, 等. 多孔介质构造应力驱油的固流耦合分析 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 33 (1): 76 ~ 79.
WU Hong-ling, WANG Xiao-feng, MA Yin-sheng, et al. Solid-fluid coupling analysis of tectonic stress driven oil-gas movement in porous media [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33 (1): 76 ~ 79 (in Chinese with English abstract).
- [19] 王连捷, 王薇, 张利蓉, 等. 地应力驱动油气运移的基本方程与有限元模拟 [J]. 地质力学学报, 1999, 5 (1): 27 ~ 32.

- WANG Lian-jie, WANG Wei, ZHANG Li-rong, et al. Fundamental equation and finite element modeling for oil and gas migration driven by crustal stress [J]. *Journal of Geomechanics*, 1999, 5 (1): 27 ~ 32 (in Chinese with English abstract).
- [20] 王连捷, 孙东生, 周春景, 等. ANSYS 软件在求解地应力与流体耦合作用中的应用 [J]. *地质力学学报*, 2008, 14 (2): 141 ~ 148.
WANG Lian-jie, SUN Dong-sheng, ZHOU Chun-jing, et al. Application of the ANSYS software to solving coupling of in-situ stress and fluid [J]. *Journal of Geomechanics*, 2008, 14 (2): 141 ~ 148 (in Chinese with English abstract).
- [21] 陶一川. 油气运移聚集的流体动力学机理问题 [J]. *石油与天然气地质*. 1983, 4 (3): 11 ~ 17.
TAO Yi-chuan. On fluid-dynamic mechanism in oil and gas migration and accumulation [J]. *Oil & Gas Geology*, 1983, 4 (3): 11 ~ 17 (in Chinese with English abstract).
- [22] 武红岭, 王小凤, 马寅生, 等. 油田构造应力场驱动油气运移的理论和方法研究 [J]. *石油学报*, 1999, 20 (5): 7 ~ 12.
WU Hong-ling, WANG Xiao-feng, MA Yin-sheng. Theory and method of studying hydrocarbon migration driven by tectonic stress field [J]. *Acta Petroleum Sinica*, 1999, 20 (5): 7 ~ 12 (in Chinese with English abstract).
- [23] 李红南, 刘伟, 蔡传强, 等. 豫冀鲁不同级序旋扭构造体系和油气富集规律 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (4): 385 ~ 395.
LI Hong-nan, LIU Wei, CAI Chuan-qiang. Rotational shear tectonic systems in different levels and their relation to hydrocarbon enrichment rules in Hebei, Shandong and Henan provinces [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (3): 385 ~ 395 (in Chinese with English abstract).
- [24] 孟玮, 钟建华, 王嘉玮. 东营凹陷永北地区砂砾岩体储集层特征及影响因素 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (3): 305 ~ 314.
MENG Wei, ZHONG Jian-hua, WANG Jia-wei. The characteristics and affecting factors of glutenite reservoirs in northern Yongxin area of Dongying sag [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (3): 305 ~ 314 (in Chinese with English abstract).
- [25] 肖淑明, 王国壮, 钟建华, 等. 东营凹陷沙一段断层封闭性研究 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (3): 296 ~ 304.
XIAO Shu-ming, WANG Guo-zhuang, ZHONG Jian-hua. Analysis of the sealing process of faults in member I of Shahejie Formation in the Dongying sag [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (3): 296 ~ 304 (in Chinese with English abstract).
- [26] 孙海宁, 夏景生, 钟建华, 等. 山东东营凹陷东部冲积扇油藏成藏条件与模式 [J]. *地质力学学报*, 2008, 14 (3): 221 ~ 230.
SUN Hai-ning, XIA Jing-sheng, ZHONG Jian-hua, et al. The condition and pattern of turbidite fan reservoir formation in eastern Dongying depression, Shandong province [J]. *Journal of Geomechanics*, 2008, 14 (3): 221 ~ 230 (in Chinese with English abstract).
- [27] 韩清华, 尧鹏, 余朝华, 等. 渤海湾盆地东营凹陷辛东地区构造演化及油气成藏规律 [J]. *地质力学学报*, 2008, 14 (4): 362 ~ 373.
HAN Qing-hua, YAN Peng, YU Zhao-hua, et al. Structural evolution and hydrocarbon accumulation in the Xindong area of Dongying sag, Bohaiwan basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2008, 14 (4): 362 ~ 373 (in Chinese with English abstract).
- [28] 徐守余, 李学艳. 胜利油田东营凹陷中央隆起带断层封闭模式研究 [J]. *地质力学学报*, 2005, 11 (1): 19 ~ 24.
XU Shou-yu, LI Xue-yan. Fault seal model of the central uplift Dongying depression [J]. *Journal of Geomechanics*, 2005, 11 (1): 19 ~ 24 (in Chinese with English abstract).
- [29] 刘泽容. 断块群油气藏形成机制和构造模式 [M]. 石油工业出版社. 北京. 2000.
LIU Ze-rong. Formation mechanism of fault block group reservoir and tectonic model [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.

DRIVING EFFECT OF THE CRUSTAL STRESS ON PETROLEUM MIGRATION

WANG Lian-jie , SUN Bao-shan , WANG Wei ,

QIAO Zi-jiang , WANG Hong-cai , SUN Dong-sheng

(*Institute of Geomechanics , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100081 , China*)

Abstract: Oil and gas migration mechanics driven by the crustal stress and constitutional equation and flowing equation are discussed in this paper. Take the Dongying depression of Shengli oil field as an example , this study models the crustal stress and migration potential field at the central zone of the anticline. The results show that the anticline has a well corresponding relation between oil and gas migration , and low stress zone or low potential zone. Most reservoirs occur in low stress zone or low potential zone , indicating the control of crustal stress over the migration and reservoiring of oil and gas. Based on the distribution of crustal stress and migration potential fields , the oil-favored areas predicted in this study will provide scientific guide for oil exploration and development.

Key words: crustal stress driving mechanism , Dongying depression , flow equation , oil reservoir prediction