

文章编号: 1001- 6112(2005)01- 0062- 05

常压箕状断陷油气成藏机理及运聚模式

姚合法^{1,2}, 林承焰¹, 任丽华¹, 许化政², 靳秀菊²

(1. 石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 中原油田 勘探开发研究院, 河南 濮阳 457001)

摘要: 苏北盆地高邮凹陷为新生代箕状断陷, 油气藏以常压为主, 具有多期演化的特点, 存在古近纪三垛期早期成藏和新近纪盐城期晚期成藏 2 个阶段, 发育网状、层状和断裂带 3 种类型的输导体系, 具有侧向、垂向、网状 3 种油气运聚模式。斜坡带 K_2t-E_{1f} 油气以侧向运聚为主; 深凹带 E_2d-E_2s 油气为网状运聚; 断裂带油气主要为垂向运聚, 包括浅(Ny)、中(K_2t-E_{1f})、深(Pz) 3 套含油气层系。

关键词: 油气运移; 输导体系; 成藏机理; 常压; 断陷

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

Magoon 和 Dow 的含油气系统理论^[1,2]以烃源岩研究为中心, 是客观评价油气资源潜力和有效发现油气藏的重要工具, 适用于油气勘探的早中期。随着勘探程度的提高, 成藏动力学以及油气成藏机理的研究对于发现油气藏和油气成藏模式的建立具有十分重要的意义。成藏动力学研究的基础是盆地演化历史和流体输导格架, 研究的核心是能量场(包括温度场、压力场、应力场)演化及其控制的化学动力学和流体动力学过程。成藏流体的来源和运

移通道、油气充注过程和充注历史及油气成藏各因素的配置关系是成藏机理研究的主要内容^[3]。

高邮凹陷位于中国东部, 是苏北盆地主要的含油气凹陷之一, 探明储量占苏北盆地的一半以上, 是一个具有 40 多年勘探历史的高勘探程度区。高邮凹陷是一个南断北超的新生代箕状断陷, 分别以真 1、真 2、吴 1、汉留等断层为界, 自南向北划分为断裂带、深凹带、斜坡带等二级构造单元(图 1)。沉积盖层自下而上有白垩系泰州组(K_2t)、古近系古新统阜

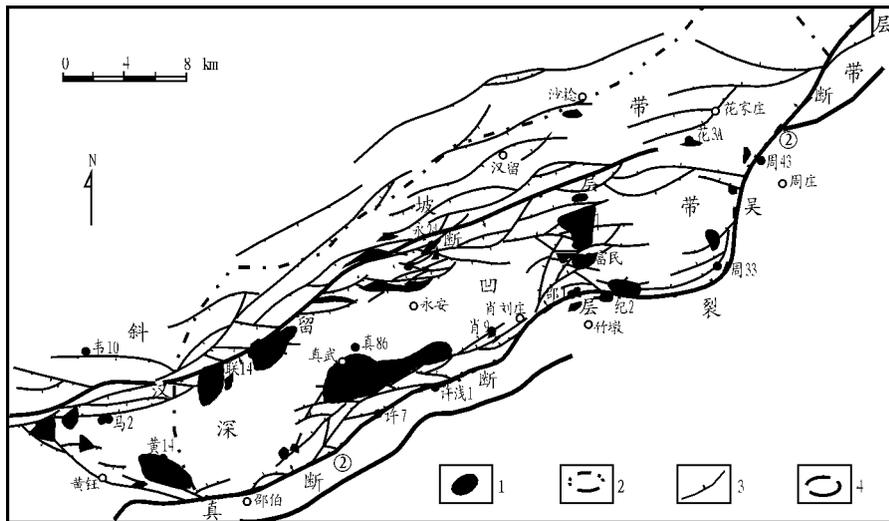


图 1 高邮凹陷构造单元划分及 E_2d-E_2s 油气分布图

1. 含油气区; 2. E_{1f}^4 有利生烃区; 3. 断层; 4. E_2d^2 输导层砂体分布

Fig. 1 Hydrocarbon distribution of the E_2d-E_2s Formation and structural unit division in the Gaoyou Depression

收稿日期: 2004- 05- 22; 修订日期: 2004- 11- 13。

作者简介: 姚合法(1967—), 男(汉族), 河南中牟人, 高级工程师、博士研究生, 研究方向为石油地质综合研究。

基金项目: 山东省自然科学基金项目(Y2000F01)。

表 1 高邮凹陷各油田油藏压力系数

Table 1 Reservoir pressure factors of various oilfields in the Gaoyou Depression

区带及层系	油田	井深/m	压力系数
凹陷带 E ₂ d-E ₂ s	永安	2 092.7~ 2 170.0	0.93~ 0.98
	黄珏	1 569.4~ 1 581.4	0.90
	马家嘴	1 453.4~ 1 613.1	1.06~ 1.07
	联盟庄	2 439.4~ 2 487.4	0.86
	曹庄	2 470.2~ 3 436.0	1.01~ 1.02
	真武	1 929.8~ 2 823.6	0.90~ 1.20
	富民	2 156.4~ 2 950.6	0.99~ 1.10
斜坡带 E ₁ f	赤岸	1 520.4~ 1 530.6	0.99
	码头庄	1 612.9~ 1 700.0	1.00~ 1.04
	沙埕	2 176.1~ 2 416.9	0.83~ 0.98
断阶带 E ₁ f	陈堡	2 463.8~ 2 470.4	0.97

宁组(E₁f)、始新统戴南组(E₂d)、三垛组(E₂s)、新近系盐城组(N_y)和第四系东台组(Qd)。其中,泰州组二段、阜宁组二段、阜宁组四段是主要的烃源岩系,主要包括阜宁—泰州组、三垛—戴南组两套含油气层系,盐城组和古生界也发现了油气藏。高邮凹陷油气藏以常压为主,异常高压不发育(表 1)。

在油气充注历史、输导体系特征、油气运聚方式研究的基础上,总结了油气运聚模式及其控制因素,以期达到指导油气勘探的目的。

1 油气充注历史

油气充注历史研究的方法或技术主要包括圈闭形成时间与生排烃史综合分析法、油藏地球化学、流体包裹体方法、同位素测年法、有机岩石学方法、饱和压力和露点压力法及油气水界面追溯法等^[4,5]。其中,流体包裹体方法可以直接提供油气充注时的

古地温信息,已成为当今油气成藏年代学研究中最重要的一种方法。但油气充注时间的确定需要通过热史和储层埋藏史的恢复来确定,尤其是古今地温场差异较大的地区,古地温梯度的准确应用就成为确定油气充注历史的关键。

苏北盆地新生代以来经历了古近纪古新世—始新世的强烈拗陷—断陷、渐新世的区域抬升和新近世的拗陷 3 个演化阶段。其中,渐新世的抬升持续了 18Ma^[6],造成了苏北盆地古近世和新近世在沉积速率和古地温场等方面的较大差异。研究表明,高邮凹陷古新世—始新世平均地温梯度在 $4.0 \times 10^{-2} \sim 4.5 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$,高于现今地温梯度($3.0 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$)。阜宁组烃源岩在渐新世三垛组沉积末期达到最高地温,主要生烃期在始新世三垛组沉积期。中深层的泰州组—阜宁组和三垛—戴南组圈闭形成于始新世戴南—三垛期,而浅层的盐城组圈闭形成于新近纪盐城期。因此,高邮凹陷油气的充注存在早期充注(三垛期)和晚期充注(盐城期)两个阶段。

永安油田位于高邮凹陷深凹带,含油气层位为戴南组—三垛组。永 7-2 井包裹体样品取自戴一段 3 015.2, 3 017.0, 3 019.4 和 3 035.8 m,包裹体分布非常丰富,主要以油气包裹体为主(油相+气相)。包裹体样品均一温度变化范围较宽,介于 72.4~113 $^\circ\text{C}$ 。不同产状的均一温度表现出明显的变化,即分布于石英自生加大边或自生钠长石中、石英强加大边、自生石英微晶内的包裹体均一温度分别为 72.4~87.5, 81.2~94.6 和 89.6~113 $^\circ\text{C}$,表明至少存在 3 期包裹体的形成过程,也反映出至少有 3 期主要的油气注入过程。由图 2 可以看出永 7-2 井戴一段储层中油气注入时间为 42~45Ma,即始

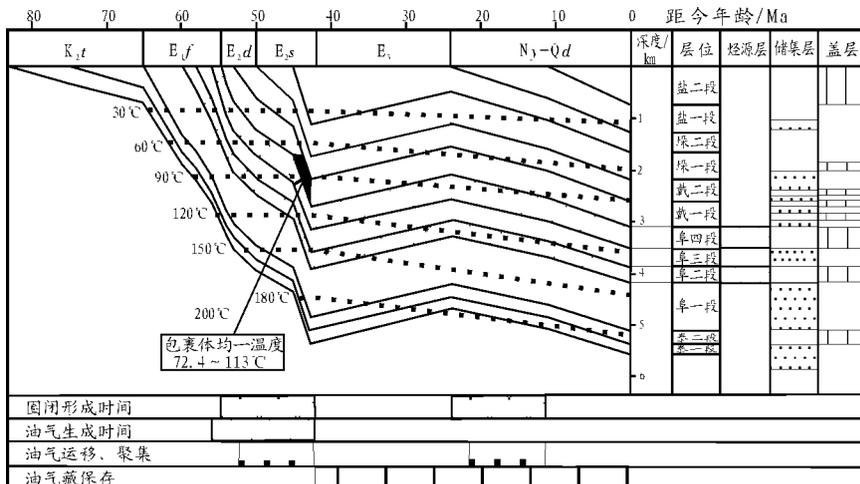


图 2 高邮凹陷永 7-2 井油气充注历史分析图

Fig. 2 Hydrocarbon injection history of well Yong 7-2 in the Gaoyou Depression

新世三垛组沉积期。

2 流体输导系统及油气运移方式

流体输导系统是指渗透性岩层、不整合面、断裂及其组合^[7]，在不同尺度上有效地预测各种输导体的流体行为和输导能力是成藏动力学研究的基础。高邮凹陷的运移通道主要是连通孔隙和断层 2 种类型，可以构成网状、层状、断裂 3 种类型输导系统。

层状输导系统发育在泰州组和阜宁组，运移通道主要为 $K_2t^1, E_{1f}^1, E_{1f}^3$ 的砂层，呈层状分布于凹陷内及斜坡带。平面上，泰一段河道砂体和阜一段、阜三段三角洲砂体相带展布较宽，砂体连通性好；纵向上，每套输导层之上均有巨厚的区域性泥质岩封隔，具有侧向疏导能力强、垂向疏导能力差的特点。油气以侧向运移为主，浮力是运移的主要动力。

断裂输导系统发育于高邮凹陷真武—吴堡断裂带，由油气运移期活动的油源断层组成，高邮凹陷的真 1、吴 1、吴 2 等断层是真武—吴堡断裂带和杨村断裂带的主要油源断层。最近的研究表明^[8-11]，流体沿断层运移的最主要方式是断层幕式活动期间的地震泵效应，它使包括烃类在内的流体被间歇地抽到浅部储层中。因此，断裂带油气运移方式以垂向为主，运移的动力为构造作用力。

网状输导系统发育在戴南组和三垛组，油气运移通道由砂层和断裂组成。平面上相带变化快，砂体分布和连续性比较局限；纵向上砂体相互叠置，缺乏大套的厚层区域性盖层。凹陷内发育的断裂在活动期具有一定的开启性，起沟通油气源及上部和下

部砂体的作用。因此，戴南组和三垛组砂体和断层共同构成的网状输导体系具有垂向疏导能力强、侧向疏导能力差的特点。油气二次运移方式包括垂向和侧向两种方式，油气沿砂体运移的动力是浮力，而沿断层垂向运移的动力主要为构造作用力。

3 油气富集规律及运聚模式

高邮凹陷的油气主要分布在斜坡带的阜宁组、深凹带的三垛—戴南组和真武—吴堡断裂带的阜宁组—泰州组，具有 $E_{2d}-E_{2s}$ 网状、 K_2t-E_{1f} 侧向和断裂带垂向 3 种油气运聚模式(图 3)。

3.1 $E_{2d}-E_{2s}$ 网状运聚模式

$E_{2d}-E_{2s}$ 油气藏分布在深凹带，油气来自下部的阜四段烃源岩^[12]，油气通过垂向和侧向运移两种方式向上运移，在真 2 断层下降盘、汉留断层下降盘以及凹中隆起等构造上富集(表 2)。

表 2 高邮凹陷 E_2d-E_2s 主要油田特征
Table 2 Characters of major oilfields in the E_2d-E_2s Formation of the Gaoyou Depression

区带	油田	圈闭类型	储量规模/ 10 ⁴ t	储量丰度/ (10 ⁴ t·km ⁻²)
真 2 断层下降盘	真武	滚动背斜	1 000~ 2 000	203
	曹庄	断鼻	500~ 1 000	123
	黄钰	断块	500~ 1 000	118
	徐家庄	断鼻	< 500	191
汉留断层下降盘	联盟庄	断鼻	500~ 1 000	79
	永安	断块	500~ 1 000	165
	马家嘴	断鼻	< 500	57
凹中隆起	富民	断鼻	500~ 1 000	169

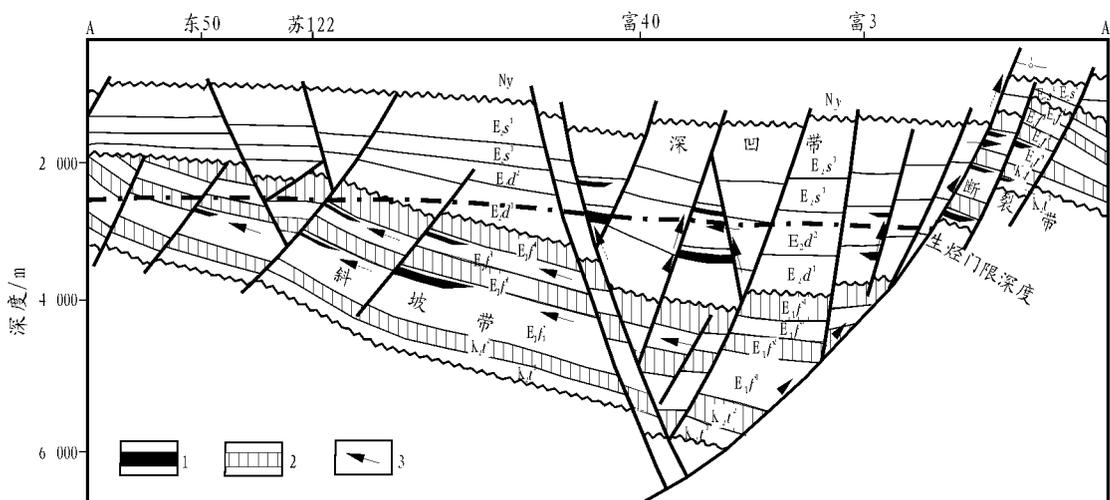


图 3 高邮凹陷油气运聚模式图

1. 油藏; 2. 烃源岩及盖层; 3. 油气运移方向

Fig. 3 Migration and accumulation patterns of hydrocarbon in the Gaoyou Depression

真武、曹庄、黄钰、徐家庄油田分布在真 2 断层下降盘, 联盟庄、永安为汉留断层下降盘的富油气构造。这是由于: 1) 真 2 断层和汉留断层是高邮凹陷的二级断层, 断层断距大、活动时间长, 尤其是三垛期活动强度较大, 是高邮凹陷 $E_{2d}-E_{2s}$ 油气藏的主要油源断层; 2) 真 2 断层下降盘和汉留断层下降盘砂体比较发育, 提供了良好的侧向和垂向运移通道; 3) 真 2 断层和汉留断层作为高邮凹陷的二级断层, 断距大, 为 500~3 000 m, 使得下降盘的 $E_{2d}-E_{2s}^1$ 储集层与上升盘的以泥质岩为主的戴南组下部及阜宁组地层接触, 被断面和上升盘致密岩性遮挡, 侧向封闭能力强。

富民油田是高邮凹陷规模较大的油田之一, 位于高邮凹陷深凹带的中部, 为一近南北向展布的构造高带, 含油气层系为垛一段、戴二段和戴一段。其成藏特点主要表现为: 圈闭位于阜四段烃源岩的上方、樊川次凹和刘五舍次凹两个有利烃源灶中间, 油气在侧向上由四周向中央高带汇聚, 油气源充足; 在垂向上, 圈闭上发育的一系列断层在三垛期活动, 可作为油源断层, 油气可以沿断面进行垂向运移; 圈闭形态是一个被断层岩性复杂化的南倾鼻状构造圈闭, 盖层弯曲和断层及其两侧的致密岩性构成遮挡方式, 成藏条件优越。

3.2 断裂带垂向运聚模式

高邮凹陷断裂带主要发育真 1、真 2、吴 1、吴 2 等断层, 包括真吴断阶带、吴堡断阶带、真 1 断层—吴 1 断层上升盘等次级构造单元, 目前已经发现吴

堡、许庄、宋家垛等阜宁—泰州组油气田、周庄浅层 (N_y) 气藏和真 43 等深层古生界油气藏, 其油气源主要来自凹陷内的阜二段烃源灶, 也有来自深层幔源的无机 CO_2 和 N_2 , 如竹墩的纪 1、纪 2 并在 K_{2t}, E_{1f} 见有 CO_2 气层, 纪 1 并在 泰州组 2 214.0~2 222.0 m 井段 5 mm 油嘴日产气 13 400 m^3 , 真 1 断层附近许庄的许 2、4、9 井、真 31 等寒武、奥陶系地层有 CO_2 气层。油气运移方式主要表现为沿断层的垂向运移。真 1、真 2、吴 1、吴 2 断层是主要的油源断层。油气的成藏期可能为两期。其中, 三垛期是阜二段烃源岩的主要生烃、排烃期, 也是中深层 (阜宁—泰州组和古生界) 圈闭的形成期和油源断层的主要活动期。因此, 中深层油气藏的油气充注主要在三垛期; 而浅层油气藏主要是由于吴 1 等断层的持续活动导致早期油气藏破坏油气的重新运移聚集而形成的次生小型气藏, 其成藏期在新近纪盐城期, 如周庄气藏。

断裂带垂向运聚模式的主控因素有储层、圈闭及保存条件等。在深、中、浅 3 套含油气层系中, 阜宁组—泰州组是主要的含油气层系, 已发现较大规模的陈堡、许庄、宋家垛等油田的阜三段、阜一段、泰一段油藏。这是由于阜三段、阜一段、泰一段等层位储层发育, 其上分别被阜四段、阜二段、泰二段厚层泥质岩封盖, 构成有利的储盖组合。而浅层的盖层和圈闭条件较差, 古生界要么深埋于中生界之下, 储层不发育, 或者中新世缺失, 盖层和保存条件差。因此, 浅层和深层不具备形成大型油气田的条件, 以

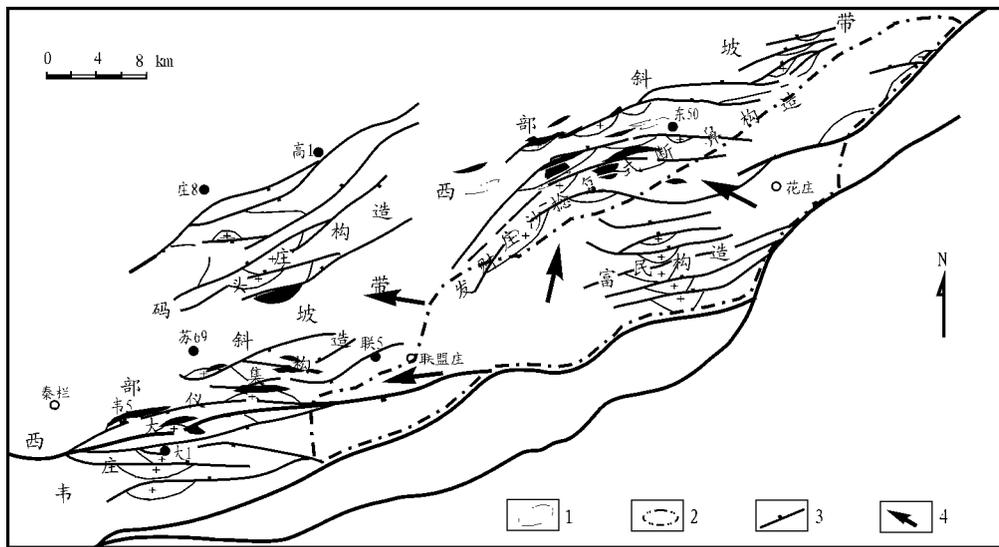


图 4 高邮凹陷 $K_{2t}-E_{1f}$ 油气侧向运聚及分布图

1. 含油气区; 2. E_{1f}^2 有利生烃区; 3. 断层; 4. 油气运移方向

Fig. 4 Distribution and lateral migration and accumulation of hydrocarbon in the $K_{2t}-E_{1f}$ Formation of the Gaoyou Depression

小型油气藏为主。

3.3 $K_{2t}-E_{1f}$ 侧向运聚模式

高邮凹陷斜坡带 $K_{2t}-E_{1f}$ 是油气富集的主要区带之一,已发现的油藏主要分布在斜坡带的发财庄—沙埝—河口复鼻状构造和码头庄、韦庄等构造。油气源主要来自凹陷深部的阜二段烃源岩^[13]; 输导体系以 E_{1f}^1 、 E_{1f}^3 孔渗层为主,呈层状分布; 油气二次运移以侧向运移为主,成藏期为 $E_{1s}^1-E_{1s}^2$ 。

斜坡带发育的一系列与油气二次运移方向垂直或近似垂直的断裂导致输导系统的非均质性,可以有效阻滞油气二次运移的继续进行,形成油气富集。如位于高邮凹陷斜坡带北部的码头庄—发财庄—沙埝—刘陆舍构造带,发育一系列北东及北东—东西向的弧形断裂断层,以反向断层为主,有效地阻滞了油气的进一步侧向运移,形成了沙埝、码头庄、发财庄等富油气构造; 而外带的成藏条件明显变差,油气富集程度降低。位于高邮凹陷斜坡带西部的大仪集—韦庄构造带呈北东向展布,断层以北东走向的为主,走向与该区油气的运移方向近平行,油气的侧向运移距离较远,油气的分布相对比较分散(图 4)。

4 结果与讨论

1) 高邮凹陷第三系油气大量生成期在古近纪三垛期,油气充注存在早期(三垛期)和晚期(新近纪盐城期) 2 个阶段。

2) 高邮凹陷第三系发育网状、层状和断裂带 3 种类型的输导系统,具有侧向、垂向和网状 3 种运移方式,油气运移动力主要包括浮力和构造作用力 2 种。

3) 高邮凹陷第三系存在 $E_{2d}-E_{2s}$ 网状、 $K_{2t}-E_{1f}$ 侧向和断裂带垂向 3 种油气运聚模式。其中,深凹带 $E_{2d}-E_{2s}$ 油气运移方式包括垂向和侧向 2 种,真 2、汉留断层下降盘和富民凹中隆起构造是油气的主要富集区; 斜坡带 $K_{2t}-E_{1f}$ 以侧向油气运聚为主,一系列与油气运移方向近垂直的反向断层

是油气富集的关键因素; 断裂带油气运移的主要方式是沿油源断层的垂向运移,可以形成深(古生界)、中(阜宁组—泰州组)、浅(盐城组) 3 套含油气层系,而阜宁—泰州组油藏是主要的油气藏类型。

致谢: 本文的完成得到了江苏油田有关人员的大力支持和帮助,并提供了大量资料,在此一并致谢!

参考文献:

- 1 Magoon L B. Identified petroleum systems within the United States[A]. In: The Petroleum System—status of Research and Methods[C]. USGS Bulletin 2007, 1992: 2~ 11
- 2 Magoon L B, Dow W G. The petroleum system: from source to trap[J]. AAPG Memoir 60, 1994: 3~ 24
- 3 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 11~ 21
- 4 赵靖舟. 油气成藏年代学研究进展及发展趋势[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 378~ 383
- 5 刘小平, 徐健, 杨立干. 有机包裹体在油气运聚研究中的应用——以苏北盆地高邮凹陷为例[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 94~ 99
- 6 钱基. 苏北盆地油气田形成与分布[J]. 石油学报, 2001, 22(3): 12~ 17
- 7 赵忠新, 王华, 郭齐军等. 油气输导体系的类型及其输导性能在时空上的演化分析[J]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 527~ 532
- 8 华保钦. 构造应力场、地震泵和油气运移[J]. 沉积学报, 1995, 13(2): 77~ 85
- 9 金之钧, 张一伟, 王捷等. 油气成藏机理与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000
- 10 Sibson R H, Mcmoore J, Rankin A H. Seismic pumping— a hydrothermal fluid transport mechanism[J]. Journal of Geological Society of London, 1975, 131: 653~ 659
- 11 Losh S, Eglinton L, Schoell M, et al. Vertical and lateral fluid flow related to a large growth fault, South Eugene Island Block 330 Field, Offshore Louisiana[J]. AAPG, 1999, 83: 244~ 276
- 12 徐健, 熊学洲. 苏北盆地高邮凹陷油气成藏特征研究[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 80~ 83
- 13 侯建国. 利用含氮化合物研究苏北盆地油气运移[J]. 江汉石油学院学报, 2001, 23(S0): 31~ 33

POOL-FORMING MECHANISM AND MIGRATION AND ACCUMULATION PATTERNS OF HYDROCARBON IN NORMAL PRESSURE HALFGRABEN-TYPED FAULT DEPRESSIONS

Yao Hefa^{1,2}, Lin Chengyan¹, Ren Lihua¹, Xu Huazheng², Jin Xiuju²

(1. School of Earth Resources and Information, University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China; 2. Institute of Petroleum Exploration and Development, Zhongyuan Oilfield, Puyang, Henan 457001, China)

quantitatively estimates petroleum resources, but also provides many sorts of valuable outcome maps. But from now on, some further research should be taken urgently to improve petroleum migration and accumulation module, so as to enhance the reliability of resource estimation. Statistical method establishes relevant mathematical models to estimate petroleum resources in the exploration area with higher exploration maturity, according to the changing trend of petroleum reserves (output) or supposing that, pool size submits to a certain distribution function. Some kinds of utility models of statistic method are introduced, such as lognormal distribution, truncated shifted Pareto distribution, generalized Pareto distribution, pool size sequence and Weng's life cycle. In practice, many kinds of models should be chosen to make crosswise verification according to petroleum geology condition and exploration maturity, so as to ensure the reliability of estimation result.

Key words: genetic method; basin simulation; statistical method; resource assessment

(continued from page 66)

Abstract: The Gaoyou Depression in the North Jiangsu Basin is a Cenozoic halfgraben-typed fault depression. Its hydrocarbon pools are dominated by normal pressure, which have the characters of multi-stage evolution and the two stages of pool formation early in the Sanduo period of the Paleogene and late in the Yancheng period of the Neogene and develop reticulated, bedded and faulted three types of conduit systems and lateral, vertical and branchy three kinds of hydrocarbon migration and accumulation patterns. The hydrocarbon migration and accumulation is mainly lateral in the $K_2\text{--}E_1f$ Formation of slope zones, branchy in the $E_2\text{--}E_2s$ Formation of deep depressed zones and vertical in faulted zones which including shallow (Ny), medium ($K_2\text{--}E_1f$) and deep three sets of petroleum measures.

Key words: hydrocarbon migration; conduit system; pool-forming mechanism; normal pressure; fault depression