

文章编号: 0253-9985(2009)04-0405-07

辽东湾凹陷石油运聚成藏过程中运载层 残留油量计算关键参数的求取

田立新¹, 武丽^{2,3}, 姜振学^{2,3}, 周晶晶^{2,3}, 姚蕾蕾^{2,3}

[1 中国石油大学 石油与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 102249; 3 中海石油(中国)有限公司 天津分公司 勘探开发研究院, 天津 300452]

摘要: 以辽东湾凹陷为例, 针对古近系沙河街组一、二段储层, 通过地质统计方法及储层残留烃量与储层物性等数据的地质分析, 根据油气在烃源灶内和灶外的残留特征, 结合运载层油柱浮力与孔隙毛管压力的关系, 确定残留油柱高度, 并对运载层残留油量进行了计算。结果表明, 辽东湾凹陷沙河街组一、二段运载层残留油量在 $1.84 \times 10^8 \sim 2.59 \times 10^8$ t, 约占排烃量的 7.4% ~ 10.4%。储层滞留烃是油气二次运移过程中的主要损耗方式, 残留油量计算模型关键参数的获得对于预测结果的准确性具有重要的影响。

关键词: 孔隙度下限; 石油运聚范围; 残留油柱高度; 残留油量; 辽东湾

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Method for obtaining key parameters for calculating residual oil amount in carrier beds after oil migration and accumulation in the Liaodong Bay Depression

Tian Lixin¹, Wu Li^{2,3}, Jiang Zhenxue^{2,3}, Zhou Jingjing^{2,3}, Yao Leilei^{2,3}

(1 Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, Beijing 102249, China;

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

3 Exploration and Development Research Institute, CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China)

Abstract The 1st and 2nd member of the Paleogene Shahejie Formation (E_3s^1 and E_3s^2) in the Liaodong Bay depression were taken as examples. We performed geologic and statistical analyses on the residual hydrocarbons and physical properties of the reservoirs. Based on the characteristics of residual hydrocarbons inside and outside the hydrocarbon kitchen and in combination with the relationship between buoyance of oil column in carrier beds and capillary pressure of pores, we determined the height of residual oil column and calculated the amount of residual oil in carrier beds. The results show that the amount of residual oil range from 184 to 259 million tons in the carrier beds of E_3s^1 and E_3s^2 in the Liaodong Bay depression, amounting to 7.4%–10.4% of the total hydrocarbon expulsion. Residual hydrocarbon in reservoirs is the main loss of hydrocarbon in the process of secondary migration. The key parameters for calculating residual oil have great impact on the accuracy of prediction.

Key words lower limit of porosity; oil migration-accumulation range; height of residual oil column; amount of residual oil; Liaodong Bay

在油气的生、排、运、聚过程中, 除一部分油气被烃源岩残留无法排出外, 相当一部分油气将在

运移至圈闭途中由于运载层滞留作用失去工业价值。源岩向上排出的烃量最先被运载层滞留, 当

收稿日期: 2009-05-21。

第一作者简介: 田立新(1970—), 女, 硕士生, 地球物理勘探。

基金项目: 中海石油(中国)有限公司项目(SC06TJ-TQL-004)。

项目的辖区划分,探区总面积为 $1.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。辽东湾探区可划分为三凹二凸共 5 个次级构造单元,自西向东分别是辽西凹陷、辽西凸起、辽中凹陷、辽东凸起、辽东凹陷。

1.2 勘探现状

自 1979 年开始实施钻探以来,项目辖区内共钻构造 57 个,已发现 11 个油气田和 27 个含油气构造;累计完钻探井 133 口,总进尺 327 055.8 m,累计获得各级石油地质储量 $109\,497.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、天然气 $489.82 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中探明石油地质储量 $62\,252.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、天然气 $349.63 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

对于辽东湾地区,二次资评认为该区油气资源量为 $23.62 \times 10^8 \text{ t}$ ^①,张功成(2000)的评价结果为 $24.59 \times 10^8 \text{ t}$ ^[22]。按目前探明储量,资源探明率仅为 20%,相对较低。以往的评价结果采用聚集系数法、盆地模拟法和残留烃法。评价结果是否可靠?剩余的油气资源分布在哪里?这些问题都将直接制约着油气勘探的部署。

1.3 石油地质条件

辽东湾地区古近纪沉积的地层自下而上包括孔店组、沙河街组和东营组,其中孔店组分为 3 段、沙河街组分为 4 段、东营组分为 3 段。辽东湾地区古近系沉积演化表现出了明显的阶段性和差异性^[23-24]。沙河街组的沉积类型主要包括扇三角

洲、冲积扇、水下扇、湖泊及碳酸盐台地;东营组则演变为三角洲、河流和湖泊沉积。裂陷阶段的各个发育期,决定了多旋回沉积特点和横向沉积环境的迁移,控制了多种形式生储盖组合的形成。根据生储盖层在时空上的配置关系,可分为自生自储、下生上储、新生古储 3 种组合型式。辽东湾地区古近系 Ed^3 、 Es^1 和 Es^3 层序是主要的烃源岩,同时也是良好的区域盖层。 Ed^2 沉积时期发育的大规模三角洲砂体是良好的储集体,与 Ed^3 层序的泥岩可构成下生上储式的生储盖组合; Es^3 层序的泥岩也可与 Es^3 沉积时期发育的扇三角洲砂体构成下生上储式的生储盖组合。 Ed^3 、 Es^{1+2} 、 Es^3 层序发育泥、页岩,同时三角洲、辫状河三角洲、扇三角洲、近岸水下扇等储集砂体也较发育,由于纵向上的相互叠置与交错,可构成自生自储式的生储盖组合。

2 运载体残留油量计算模型及关键参数求取

2.1 残留油量计算模型

运载体滞留烃主要指油气排出源岩后滞留在区域盖层下运载体中的烃量,包括吸附残留烃、水溶残留烃、油溶残留气和游离相残留气等多种形式。油气在运载体中的运移模式如图 2。

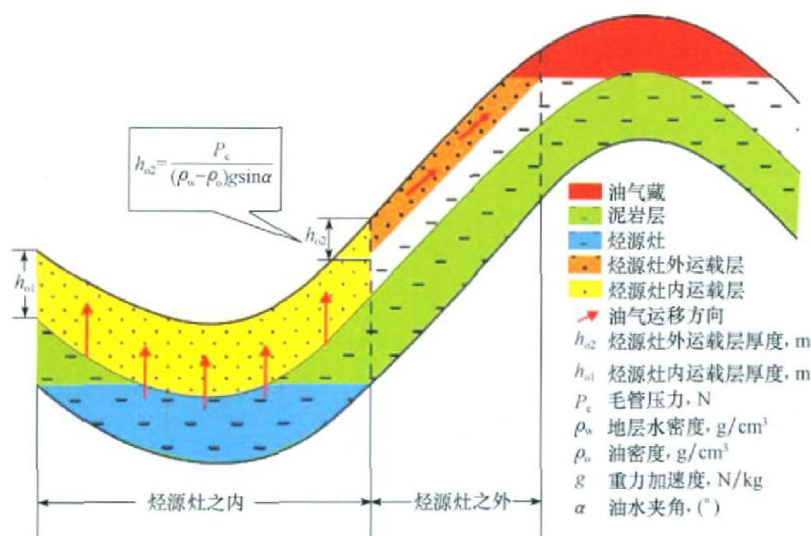


图 2 油气运移模式

Fig. 2 Hydrocarbon migration model

① 于水. 渤海海域油气资源定量预测与评价. 渤海石油公司研究院, 1997

运载层残留油量的大小主要取决于运载层中油气流域面积、运载层厚度、运载层孔隙度、通道内残留油饱和度和油密度, 计算模型为:

$$Q_{m0} = S_L H_0 \Phi S_0 \rho_0 \quad (1)$$

式中: Q_{m0} 为运载层残留油量, kg; S_L 为石油流域范围, km^2 ; H_0 为残留油厚度, m; Φ 为运载层孔隙度, %; S_0 为残留油饱和度, %; ρ_0 为原油密度, kg/m^3 。

2.2 残留油饱和度的确定

对于一定的岩石, 油气运移需要一定的油气饱和度作为连续运移的条件, 一般残留油饱和度在 20% ~ 30%、气达到 10% 即可, 但不同地质情况残留油饱和度不同^[19]。残留油饱和度不但与孔隙度有关, 还与孔隙连通情况和岩石性质有关。目前最常用的方法就是统计研究区运移通道的残留油含量, 运载层氯仿沥青“A”含量是残留油含量的一种表示方法, 可以根据运载层抽提的氯仿沥青“A”含量建立其计算模型。

运载层抽提的氯仿沥青“A”含量在一定程度上可以代表运载层的残留油含量^[25]。统计发现, 氯仿沥青“A”含量与岩石的物性, 即孔隙度有明显的相关关系, 另外还和岩石性质有关, 而孔隙度是深度的函数, 因此氯仿沥青“A”含量与深度有明显的拟合关系(图 3)。根据沙一、二段构造等值线图, 即可得出该层的氯仿沥青“A”含量值。取 3 000 ~ 3 500 m 埋深, 得出沙一、二段氯仿沥青“A”含量范围值为 0.26% ~ 0.37%。

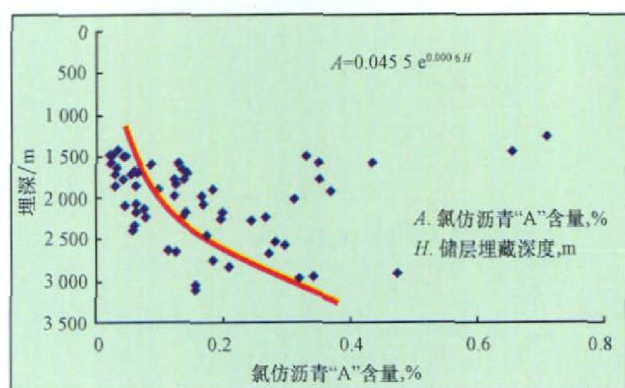


图 3 辽东湾沙一、二段氯仿沥青“A”含量与深度的关系

Fig. 3 Relationship between chloroform bitumen “A” and depth of $E_3 s^1$ and $E_3 s^2$ in the Liaodong Bay

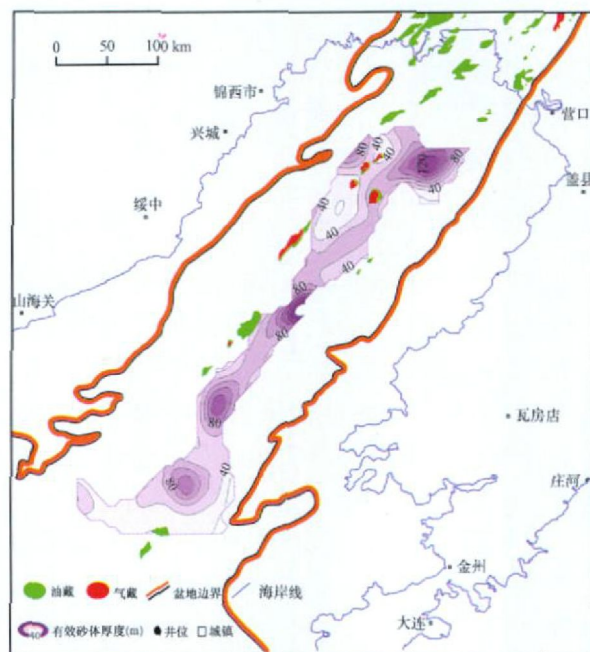


图 4 辽东湾沙一、二段有效砂体厚度分布

Fig. 4 Net pay thickness map of $E_3 s^1$ and $E_3 s^2$ in the Liaodong Bay

2.3 残留油高度的确定

石油在烃源灶内和烃源灶外的残留高度不同, 因此要分别计算。在烃源灶内, 石油以垂向运移为主, 所以此时的残留高度即为有效砂体厚度。结合辽东湾沙一、二段地层厚度图和砂岩百分比图以及有效烃源岩分布范围, 即可得到有效砂体厚度分布图(图 4)。

在烃源灶范围之外, 石油以侧向运移为主。当运载层中石油的浮力大于毛管压力时, 石油就可以在盖层之下运载层上部向圈闭运移^[26-27]; 当浮力与毛细管力相等时, 残留油高度即为临界油柱高度。故烃源灶范围外残留油厚度应等于临界油柱高度^[18]。通过毛管压力数据的统计、石油密度的确定以及地层倾角的求取, 依据相关的计算公式(图 2), 即可求出石油在烃源灶范围外的残留厚度。根据我国东部砂质储集岩的石油毛管压力统计数据^[25], 取毛管压力值为 0.036 MPa, 由此计算出的辽东湾沙一、二段石油在烃源灶范围外的残留厚度为 22.5 m。

2.4 残留油范围的确定

本文采用的方法是根据孔隙度与含油饱和度的关系, 确定石油运移的孔隙度下限值, 只有达到临界值的运载层才可以作为运移通道^[28]; 再结合

沉积相, 将砂体分布与孔隙度分布区域叠合起来, 确定石油流域的面积。

首先根据统计确定沙一、二段的石油运移临界饱和度, 并根据孔隙度与临界饱和度的关系确定石油运移的孔隙度下限值, 只有满足了下限值的区域才能输导石油。从统计得出的关系图 (图 5) 上可以看出, 辽东湾沙一、二段的孔隙度下限值为 6%。根据孔隙度的平面等值线分布图圈定出大于下限值的范围, 再根据沉积相图圈定出可以作为连续通道的范围, 将孔隙度图与沉积相图进行叠合, 结合辽东湾沙一、二段有效烃源岩的分布范围图, 重叠区即为石油流域范围。有效烃源岩的分布范围相当于石油垂向运移的范围, 垂向运移以外的范围则属于侧向运移的范围。如图 6 蓝色区域表示烃源灶内残留油范围, 红色区域表示烃源灶外残留油范围。通过计算可得出, 有效烃源岩范围的面积为 $5\,661.3\text{ km}^2$ 。

2.5 其他参数的确定

通过对辽东湾地层的分析, 认为东 (营组) 三段底埋深能够反映沙一、二段的地层形态, 故参照东三段底构造等值线图求地层倾角。等值线图中两条相邻等值线表示的实际垂直距离为 200 m, 依据比例尺计算出的水平距离为 5 000 m, 由此可以得出地层倾角 α 的正弦值为 0.04。

渤海海域油气藏以断块型为主, 油、气、水关系复杂, 不同层位、不同深度的油气藏特征差异明显。彭文绪对 600 多个具有独立油水系统的油气藏进行了统计分析, 得出了渤海海域油气藏地面原油密度与深度的关系^[29]。本次将沙一、二段原油密度取值为 0.84 g/cm^3 。

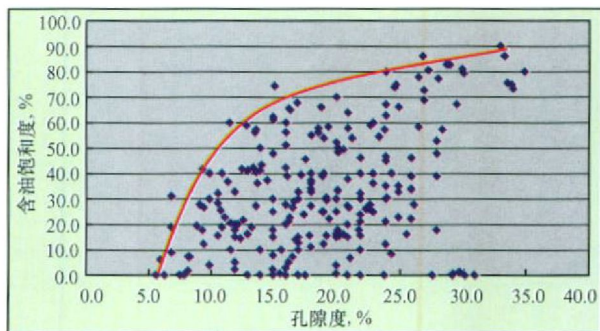


图 5 辽东湾沙一、二段孔隙度与含油饱和度的关系
Fig. 5 Relationship between porosity and oil saturation
in E_3s^1 and E_3s^2 in the Liaodong Bay

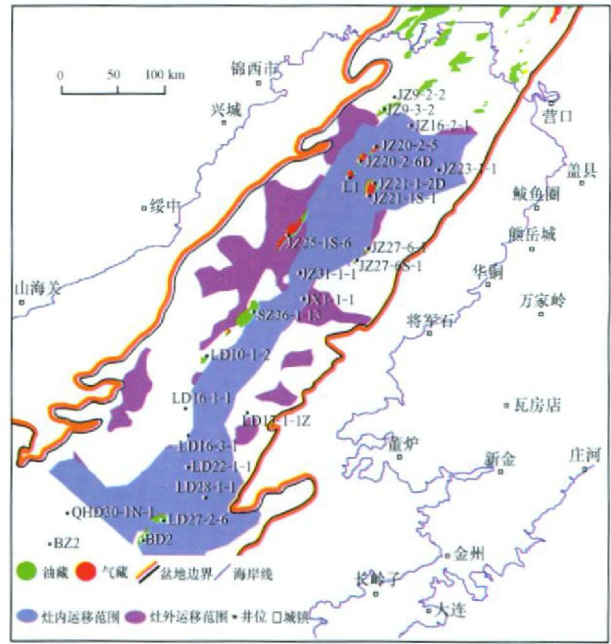


图 6 辽东湾沙一、二段烃源灶内、灶外残留烃范围
Fig. 6 Range of residual hydrocarbon distribution
inside and outside the hydrocarbon kitchen in E_3s^1
and E_3s^2 in the Liaodong Bay

3 辽东湾凹陷石油运聚成藏过程中残留油量计算

3.1 主要烃源岩成藏期及排烃量

辽东湾凹陷有辽中、辽西和辽东 3 个次级凹陷。其中, 辽中凹陷和辽西凹陷沉积地层厚度较大, 发育沙河街组三段、一段和东营组三段 3 套烃源岩。3 套烃源岩中, 沙三段分布面积广, 且沉积厚度大^[30]。沙一、二段烃源岩质量也较好, 虽然厚度相对较薄, 但有机质丰度较高, TOC 平均值在 0.40% ~ 3.17%, 氯仿沥青“A”含量平均值为 0.038% ~ 0.560%, 有机质类型以 II_1 型为主, 处于成熟—高成熟阶段。相对而言, 东三段烃源岩质量较差。研究表明, 沙三段烃源岩在东一段沉积时期达到排烃高峰, 而沙一、二段和东三段烃源岩在馆陶组沉积末期—明化镇组沉积早期达到排烃高峰。因此, 辽东湾凹陷的成藏期主要为东营末期和馆陶末期。依据生烃潜力法的理论基础和计算模型^[31], 得到辽东湾沙一、二段的总排烃量为 $25.57 \times 10^8\text{ t}$ 。

3.2 主要运载层分析

辽东湾凹陷古近系沙一、二段是一套主力储

集层。沙一、二段沉积时期,辽东湾凹陷进入稳定热沉降阶段,构造活动明显减弱,地形也相对变缓。此时期,物源主要来自凹陷东侧的扇三角洲沉积体系和西侧的辫状河三角洲沉积体系^[32],水体浅,沉积体系在盆地内延伸远是该期沉积的主要特征。因此,沉积砂体分选程度高,储集物性较好;且由于成岩作用,次生孔隙发育^[33],孔隙度平均值在18%左右,渗透率平均值为 $226 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。另外,由于沉积砂体深入凹陷中心,与自身的烃源岩呈指状连接,与其下的沙三段烃源岩呈大面积平行接触,因此无论是沙三段还是沙一段生成的油气,都会很容易地经过初次运移直接进入该套运移层,进行二次运移而聚集成藏。目前,在沙一、二段储集体内已发现油气田和含油气构造10个,表明该套储集层具有优越的储集性能。

3.3 主要运移层残留油量计算

根据上述各参数的计算结果,石油密度取值 0.84 g/cm^3 ,残留油饱和度 $0.26\% \sim 0.37\%$,灶内有效烃源岩范围的面积为 3580 km^2 ,占运移层面积的 41.9% 。结合有效砂体厚度图和孔隙度等值线图,可以计算出辽东湾沙一、二段烃源灶内运移层滞留油量约为 $0.85 \times 10^8 \sim 1.17 \times 10^8 \text{ t}$ 。

在烃源灶范围之外,有效烃源岩范围的面积为 2080 km^2 ,占运移层面积的 24.4% ,石油密度和残留油饱和度与烃源灶内取相同数据,地层倾角的正弦值为 0.04 ,在烃源灶范围外石油的残留厚度为 22.5 m 。由此,可以计算出辽东湾沙一、二段烃源灶外运移层滞留油量约为 $0.99 \times 10^8 \sim 1.42 \times 10^8 \text{ t}$ 。辽东湾沙一、二段排烃量为 $25.57 \times 10^8 \text{ t}$,运移层总残留油量为 $1.84 \times 10^8 \sim 2.59 \times 10^8 \text{ t}$,占排烃量的 $7.4\% \sim 10.4\%$ 。

4 结论与探讨

1) 辽东湾沙一、二段含油饱和度为 $0.26\% \sim 0.37\%$,孔隙度下限值为 6% ;结合砂体分布,石油运移优势通道的范围为 5661.3 km^2 ,占运移层的 66.3% 。油气充注期,运移层孔隙度平均值为 18% ,根据毛细管压力公式确定的烃源灶外残留油柱高度为 22.5 m 。残留油饱和度与埋深具有良好关系,辽东湾沙一、二段运移层残留油饱和度为 $0.26\% \sim 0.37\%$ 。

2) 辽东湾沙一、二段烃源灶内运移层残留油量约为 $0.85 \times 10^8 \sim 1.17 \times 10^8 \text{ t}$;烃源灶外运移层残留油量约为 $0.99 \times 10^8 \sim 1.42 \times 10^8 \text{ t}$;总残留油量为 $1.84 \times 10^8 \sim 2.59 \times 10^8 \text{ t}$;约占沙一、二段烃源排烃量的 $7.4\% \sim 10.4\%$ 。

3) 根据残留烃饱和度确定油气优势运移通道范围,根据运移层物性所决定的毛细管力与油柱浮力的关系确定临界残留油柱厚度的方法更加科学合理。

4) 油气运移残留量的计算是物质平衡法计算资源量的重要组成部分,但也是难度较大的一个科学问题。本方法使用的适用条件是油气以向上运移残留为主;如果油气沿断裂以脉冲幕式运移,油气向下灌注或研究区内以微裂缝、微断裂、微细层间缝或者不整合为主要疏导体时,则本方法还应进一步完善。因此,在具体操作过程中应根据研究区的地质情况,充分判别其适用条件以后再进行应用。

参 考 文 献

- 1 左胜杰. 油气成藏门限理论研究与应用——以济阳凹陷为例[D]. 中国石油大学(北京), 2002
- 2 庞雄奇, 李丕龙, 金之钧, 等. 油气成藏门限研究及其在济阳凹陷中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 204~209
- 3 姜振学, 庞雄奇, 金之钧, 等. 门限控烃作用及其在有效烃源岩判别研究中的应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(6): 689~695
- 4 姜福杰, 姜振学, 田丰华, 等. 松辽盆地滨北地区中浅层油气成藏体系定量研究[J]. 西安石油大学学报, 2005, 20(6): 3~4
- 5 姜福杰, 姜振学, 庞雄奇. 东营凹陷油气成藏体系的划分与定量评价[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2008, 33(5): 654~656
- 6 Gussow W C. Differential entrapment of oil and gas: a fundamental principle[J]. AAPG Bulletin, 1954, 38: 816~853
- 7 Gussow W C. Migration of reservoir fluids[J]. Journal of Petroleum Technology, 1968, 20: 353~363
- 8 Dembicki H J, Anderson M J. Secondary migration of oil: experiments supporting efficient movement of separate buoyant oil phase along limited conduits[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73: 1018~1021
- 9 Catalan L, Xiaowen F, Chatzis I, et al. An experimental study of secondary oil migration[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76: 638~650
- 10 罗晓容. 油气运移动力学研究进展及存在问题[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(5): 337~346
- 11 庞雄奇, 金之钧, 姜振学. 油气成藏定量模式[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 123~145
- 12 王震亮, 陈荷立. 有效运移通道的提出与确定初探[J]. 石油实

- 验地质, 1999, 21(1): 71~75
- 13 陈荷立. 油气运移研究的有效途径 [J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 126~130
 - 14 姜振学, 庞雄奇, 曾贻辉, 等. 油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究 [J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 507~516
 - 15 Schowalter T T. Mechanics of secondary hydrocarbon migration and entrapment [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63(2): 723~760
 - 16 England W A. The movement and entrapment of petroleum fluids in the surface [J]. Journal of Geological Society London, 1987, 144: 327~347
 - 17 Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: a 3-D model [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1451~1481
 - 18 李明诚. 石油与天然气运移 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 27~28
 - 19 Thomas M M, Clouse J A. Scaled physical model of oil migration [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(1): 19~29
 - 20 郭秋麟, 米石云, 石广仁, 等. 盆地模拟原理方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 93~174
 - 21 Berg R R. Capillary pressures in stratigraphic traps [J]. AAPG Bulletin, 1975, 59(5): 939~956
 - 22 张功成. 渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布 [J]. 中国海上油气 (地质), 2000, 14(2): 96~97
 - 23 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 201~206
 - 24 朱筱敏, 董艳蕾, 杨俊生, 等. 辽东湾地区古近系层序地层格架与沉积体系分布 [J]. 中国科学 (D 辑), 2008, 38(增刊 I): 1~10
 - 25 张枝焕, 王铁冠. 不同含油级别储集层的地球化学特征 [J]. 地质科技情报, 2002, 21(3): 48~54
 - 26 庞雄奇, 陈冬霞, 姜振学, 等. 隐伏砂岩透镜体成藏动力学机制与基本模式 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 217~219
 - 27 洪世铎. 油藏岩石的润湿性毛管力和相对渗透率驱替-吸吮循环分析 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 1990, 14(6): 107~114
 - 28 王永诗. 油气成藏“相-势”耦合作用探讨——以渤海湾盆地济阳拗陷为例 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(5): 472~477
 - 29 彭文绪, 周心怀, 彭刚, 等. 渤海海域油气藏特征统计分析 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(1): 19~20
 - 30 李潍莲, 代春萌, 于水. 辽东湾断陷与下辽河拗陷油气成藏条件及油气分布特征的差异性分析 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2006, 21(4): 15~19
 - 31 姜福杰, 庞雄奇, 姜振学, 等. 东营凹陷沙三段源岩排烃特征及潜力评价 [J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(4): 7~11
 - 32 李德江, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 辽东湾拗陷古近系沙河街组层序地层分析 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 669~676
 - 33 蒋恕, 蔡东升, 朱筱敏, 等. 辽东湾地区孔隙演化的机理 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2007, 32(3): 366~372

(编辑 李 军)

(上接第 404 页)

- 21 Lewan M D, Williams J A. Evaluation of petroleum generation from resinite by hydrous pyrolysis [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(2): 207~214
- 22 England W A. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface [J]. Journal of the Geological Society London, 1987, 144(2): 327~347
- 23 熊永强. 热模拟实验结合 GC-IRMS 在有效烃源岩研究中的应用 [D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所
- 24 Leythaeuser D. Geochemical effects of primary migration of petroleum in Kimmeridge source rocks from Brae Field Area North Sea: I gross composition of C_{15}^{+} -saturated hydrocarbons [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1988, 52(6): 701~713
- 25 周光甲, 张方吼. 有机质成烃演化的定量模型研究——东营凹陷南斜坡沙四上亚段低熟烃源岩体描述 [A]. 见: 王捷, 关德范, 编. 油气生成运移聚集模型研究 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 10~50
- 26 郑红菊, 董月霞, 朱光有, 等. 南堡凹陷优质烃源岩的发现 [J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 385~391
- 27 侯读杰, 张善文, 肖建新, 等. 济阳拗陷优质烃源岩特征与隐蔽油气藏的关系分析 [J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 137~146
- 28 庞雄奇, 姜振学, 李建青, 等. 油气成藏过程中的地质门限及其控制油气作用 [J]. 石油大学学报, 2000, 24(4): 53~57
- 29 庞雄奇, 李丕龙, 金之钧, 等. 油气成藏门限研究及其在济阳拗陷中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 204~209
- 30 姜福杰. 源控油气作用机制及其定量模式 [D]. 北京: 中国石油大学, 2008
- 31 周海燕, 庞雄奇, 姜振学. 油气成藏门限及其研究方法 [J]. 石油学报, 2003, 24(6): 40~44
- 32 姜福杰, 姜振学, 庞雄奇, 等. 东营凹陷油气成藏体系的划分与定量评价 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2008, 33(5): 651~660
- 33 朱伟林, 葛建党. 渤海海域天然气勘探前景分析 [J]. 石油学报, 2001, 22(2): 8~13
- 34 朱伟林, 王国纯, 周毅. 渤海油气资源浅析 [J]. 石油学报, 2000, 21(3): 1~7
- 35 龚再升, 王国纯, 贺清. 上第三系是渤中拗陷及周围油气勘探的主要领域 [J]. 中国海上油气, 2006, 14(3): 145~156
- 36 龚再升. 渤海海域将成为我国东部石油稳产的重要基地 [J]. 石油科技论坛, 2000, 4: 17~25
- 37 王国纯, 张厚和. 渤海及周缘天然气资源分析 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(5): 439~444
- 38 张功成. 渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布 [J]. 中国海上油气 (地质), 2000, 14(2): 93~99
- 39 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 201~206

(编辑 高 岩)