

中国东部部分富油断陷盆地增储潜力与勘探对策

程喆¹, 徐旭辉^{1,2}, 邹元荣¹, 闵斌¹, 李娜¹

(1. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏无锡 214126)

摘要:通过油气资源基础与勘探潜力分析认为, 东部富油断陷盆地中国石化探区仍然处在石油储量稳定增长时期。从新增储量构成看, 地层、岩性等隐蔽油气藏、复杂小断块油气藏是主要勘探目标, 重点增储区带具有较大的储量增长空间。加强油气成藏差异性与定量评价研究, 深化富集规律认识, 以及实施三维地震(含高精度)二次采集, 是现阶段油气勘探的主要对策。

关键词:勘探对策; 隐蔽油气藏; 增储区带; 富油断陷盆地; 中国东部

中图分类号: TE132.1

文献标识码: A

Reserve growth potential and exploration measures of oil-rich faulted basins in eastern China

Cheng Zhe¹, Xu Xuhui^{1,2}, Zou Yuanrong¹, Min Bin, Li Na¹

(1. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: Based on the analysis of the resources and exploration potential of oil-rich faulted basins in the eastern work area of SINOPEC, it is found that these oil-rich basins are still in the peak of oil reserve growth. Through the study of reserve component, subtle reservoirs, such as stratigraphic, lithologic reservoirs, et al, and complex small fault block reservoirs are main exploration targets. The key zones still have large spaces for reserve growth. The main countermeasures of oil exploration at present are to strengthen the study of difference and quantitative evaluation of different reservoirs to deepen the understanding of hydrocarbon accumulation law and to carry out the secondary 3D seismic acquisition (including high resolution).

Key words: countermeasure of exploration; subtle reservoir; reserves growth zone; oil-rich faulted basin; eastern China

1 研究概况

渤海湾盆地、松辽盆地南部以及南襄、江汉、苏北等盆地, 是中国石化东部主要的探区及原油生产基地^[1]。东部富油断陷盆地整体上勘探程度较高, 探井密度达到 0.19 口/km², 大多数富油凹陷资源转化程度超过 50%; 自 20 世纪 60 年代中期投入勘探开发以来, 到 2010 年已累计探明石油地质储量 60×10⁸ t, 生产原油 12.5×10⁸ t。

根据中国石化油气资源发展战略, “十二五”期间, 东部探区原油产量基本上要保持稳定, 生产原油 1.7×10⁸ t, 2015 年的原油产量稳定在 3 400×10⁴ t 以上。根据开发需求, 勘探年度新增动用石油地质储量要在 8 000×10⁴ t 以上。东部第三系断陷盆地构造活动强烈, 沉积作用及其演变复杂, 隐蔽油

气藏十分发育, 是中国石化东部探区重要的勘探对象^[2]; 其特点是: 主力勘探层系埋深在 2 800 m 左右, 储层薄(厚度小于 10 m), 圈闭目标面积小(小于 0.1 km²)。

东部探区资源基础与勘探条件能否有效保障增储稳产? 现阶段的勘探对策是什么? 是目前油气勘探工作者急需解决的问题。

2 增储潜力

2.1 剩余资源

据全国第三次油气资源评价, 中国石化东部探区石油远景资源量 134.78×10⁸ t。截至 2010 年底, 东部探区累计探明石油地质储量 64.39×10⁸ t, 资源探明程度 47.8%, 剩余资源量 70.39×10⁸ t。剩余石油资源主要分布在渤海湾盆地济阳坳陷、东

濮凹陷,南襄盆地南阳、泌阳凹陷,苏北盆地高邮、金湖、溱潼、海安凹陷,江汉盆地潜江、江陵凹陷,松辽盆地南部梨树断陷、长岭凹陷等富油凹陷(或地区)。由于资源富集程度和勘探程度不同,各凹陷(或地区)剩余资源潜力和剩余资源丰度也不同,但总体而言待探明资源量和待探明资源丰度仍然很高(图1)。

东部探区经历了3次系统的资源评价,随着勘探的不断深入,每次资源评价的数据都有一定程度的增加。以第二次和第三次资源评价为例,东部探区第三次资源评价石油资源量 128.76×10^8 t,较第二次资源评价石油资源量增加了 21.16×10^8 t;新一轮资源评价石油远景资源量 134.78×10^8 t,比第三次资源评价增加了 6.02×10^8 t^[3]。

东部富油凹陷烃源岩质量好、规模大、热演化适度。随着认识的深入,认为成烃潜力比以前评价的还要大。按照油气成烃、成藏新思维^[4-6],通过对东营、泌阳、东濮等3个凹陷的生排烃模拟实验,生烃量、排烃量均有不同程度的增加。3个凹陷生烃量 653.49×10^8 t,比第三次资源评价增加了27.4%;排烃量 160.65×10^8 t,比第三次资源评价增加了17.75%(表1)。

受构造运动和古气候的影响,东部陆相盆地在

65~42 Ma 之间有一次由盐湖—咸水—半咸水的演化过程,50~42 Ma 时期发育的烃源岩均处于(半)咸水环境。对近年来东营凹陷探明储量来源的统计发现,74%的探明储量来源于 E_s^4 咸化环境的烃源岩,南襄、江汉、苏北等盆地也具有相似的情况。 E_s^4 咸化环境的烃源岩成为东部探区重要的烃源岩层系,隐蔽油气藏的分布与这套优质烃源岩分布密切相关^[7]。通过不同水体环境烃源岩生排烃量模式对比,淡水环境源岩在埋藏深度3 000 m 左右才开始排烃;咸化环境源岩在埋藏深度2 500 m 即可进入排烃门限,具有早生、早排、生烃周期长的特点,在主排烃期排烃效率可达到80%~90%(淡水环境源岩主排烃期的排烃效率为60%)。根据新的生排烃模式,对东部陆相盆地的东营、沾化、车镇、东濮、泌阳、潜江、高邮等凹陷资源量重新进行了计算,地质资源量为 140.28×10^8 t,比第三次资源评价增加了31%。

2.2 储量增长潜力

东部探区目前保有控制石油地质储量 7.96×10^8 t,保有预测石油地质储量 10.94×10^8 t。根据近年来控制、预测储量升级转化对探明储量所做的贡献分析,按照10年来控制、预测储量5年阶段升级率计算,在“十二五”期间,东部探区现保有的控制、预测储量可升级为探明储量 3.52×10^8 t。

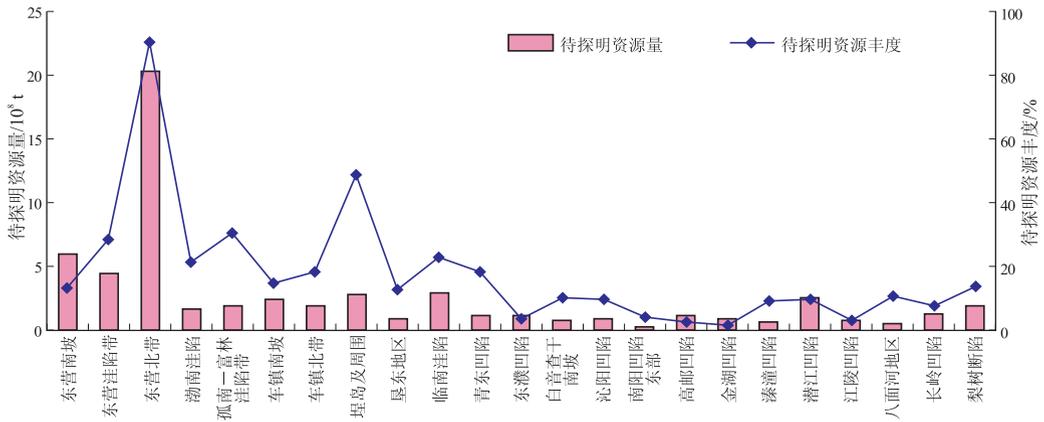


图1 中国石化东部凹陷待探明资源及丰度

Fig. 1 Unproved resources and abundance in eastern sags of SINOPEC

表1 中国石化东部探区部分富油凹陷有限空间生排烃模拟结果与三次资源评价对比

Table 2 Comparison of hydrocarbon expulsion between limited space simulation and third resources evaluation in eastern sags of SINOPEC 10^8 t

总生、排油	东营凹陷		泌阳凹陷		东濮凹陷	
	生油量	排油量	生油量	排油量	生油量	排油量
三次资评	358.5	80.1	21.67	7.53	132.8	48.8
有限空间	375.24	91.18	69.65	9.52	208.6	59.95
增减量	16.74	11.08	47.98	1.99	75.8	11.15
增减率/%	4.67	13.83	221.41	26.43	57.08	22.85

探明储量增长具有从兴起到衰亡的变化特征,总体上符合数理统计规律。研究中,选择翁氏模型预测法对探明储量增长趋势进行了预测,从预测结果看,东部各富油凹陷增储潜力还很大。例如,利用翁氏模型预测法预测泌阳凹陷最终采出量为 $1.015 \times 10^8 \text{ t}^{[8-11]}$,按照最终平均采收率 25% 计算,泌阳凹陷最终探明石油地质储量为 $4.06 \times 10^8 \text{ t}$,已经超出了目前计算的地质资源量 $3.61 \times 10^8 \text{ t}$ 。

纵观我国主要含油气盆地的勘探历程,国内各含油气盆地都还有较大的储量增长空间,即使是在资源转化程度较高,勘探程度较高的富油气盆地也远未到穷途末路、终止勘探的时候。只要坚持不断地深化研究,加强油气预探和油气藏评价,开展精雕细刻的勘探,仍会有较大的发展空间。统计发现,在现有的资源评价基础上,东部富油凹陷 2001—2010 年资源探明速度保持在 1.11% ~ 1.2% 之间且相对稳定,按照现有的探明速度,东部富油凹陷仍然具备年度新增探明储量 $1.5 \times 10^8 \text{ t}$ 的能力。

3 主要增储方向与领域

3.1 主要勘探目标

我国的陆相含油气盆地,尤其是东部以渤海湾盆地为代表的断陷盆地,地质构造和储集层的变化要比海相盆地复杂得多,普遍具有断裂活动强烈、多物源、近源沉积、岩相和岩性变化大的特点^[12]。与此伴生的多是与岩性变化和地层超覆有关的非构造圈闭以及特殊类型的地层圈闭,如潜山圈闭,蕴藏着丰富的油气资源。由于与构造圈闭相比较这些圈闭在地质体中的赋存状态有更大的隐蔽性,分布规律也不像构造圈闭那样强,识别难度大,在盆地早期勘探中常常受技术条件制约而没有得到

重视。近年来,随着隐蔽油气藏勘探理论与层序地层学技术方法的发展完善^[1,13-18],隐蔽油气藏已经成为主要的勘探对象,在年度探明储量中的比例不断增加,使新增探明石油储量能够持续稳定增长,为东部探区实现储采平衡和原油产量的稳定提供了资源保证。2001—2010 年新增探明石油储量的油气藏类型构成中,以岩性和地层油气藏为主的各种隐蔽油气藏的储量比重保持在 50% 以上,如果将复杂小断块油气藏统计在内,其所占比重达到 70% 以上(图 2)。

因此,在东部富油断陷盆地,以地层、岩性以及复杂小断块油气藏为代表的各种隐蔽油气藏具有巨大的资源潜力,集中精力加强这类隐蔽油气藏领域的勘探,仍然是今后一个时期东部富油断陷盆地储量增长的有效途径。

3.2 重点增储区带

随着油气勘探的不断发现,东部富油断陷盆地中很多油气藏分布在生烃凹陷的低部位,甚至是向斜的中心部位,在二级构造带以外的斜坡区以及深凹陷部位也都有油气藏分布,油气藏类型以岩性—地层型为主,呈现满凹含油的趋势^[19]。以往单纯以二级构造带为准则的区带划分评价方法已不适应当前隐蔽油气藏勘探的需求^[20]。近年来以胜利油田为代表的东部油田企业开展了一系列以区带为目标的增储潜力与目标评价工作,取得了良好效果,保持了石油储量稳定增长,资源序列更趋合理,依然保持着旺盛的勘探活力。

根据重点增储区带资源序列以及近年来勘探进展推测,“十二五”期间,东部富油断陷盆地具有亿吨级储量增长潜力的凹陷或区带有 2 个(济阳拗陷东营凹陷和滩海地区), $(0.5 \sim 1) \times 10^8 \text{ t}$ 储量增长规模

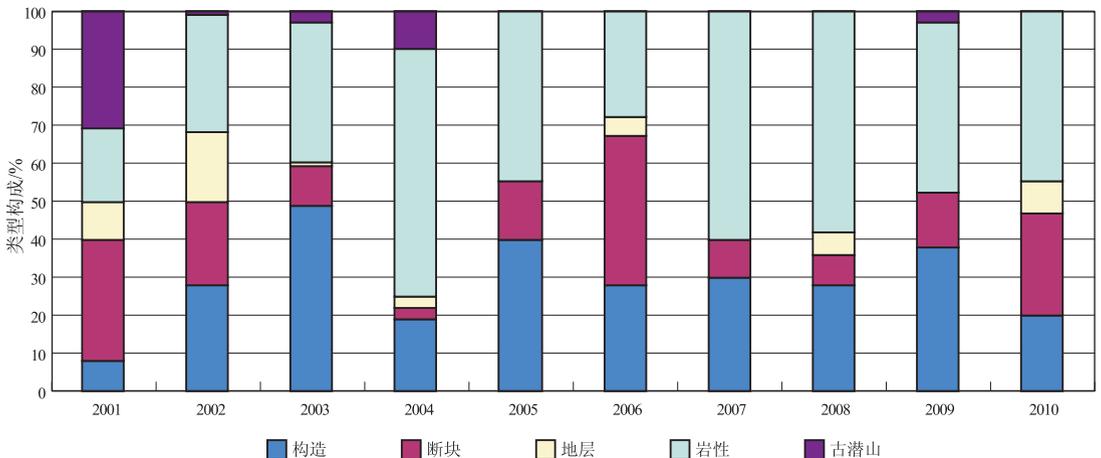


图2 中国石化东部探区 2001—2010 年新增探明石油地质储量油藏类型构成

Fig. 2 Reservoir types of newly added proved oil geological reserves from 2001 to 2010 in eastern region of SINOPEC

的凹陷或区带有3个(松辽盆地梨树断陷、济阳坳陷沾化凹陷、苏北盆地金湖—高邮凹陷), $(0.3 \sim 0.5) \times 10^8$ t级储量增长规模的凹陷或区带有6个(长岭、车镇、惠民、东濮、泌阳、溱潼), 小于 0.3×10^8 t级储量增长规模的凹陷或区带有4个(彰武、南阳、江陵、海安)。此外, 经过近年来的风险勘探, 东部富油断陷盆地在深层、外围、新类型等方面都有重要的突破与进展, “三新”领域展示了良好的勘探前景, 未来油气储量增长的空间还很大, 增储稳产的资源基础依然牢固。

4 勘探对策

随着地层、岩性等隐蔽油气藏以及复杂小断块油气藏勘探的逐步深入, 东部油田企业的广大勘探工作者持续开展了深化隐蔽油气藏成藏规律认识的科技攻关, 形成了地层、岩性等隐蔽油气藏成藏理论。在地质规律的引领下, 形成了以三维地震为主的隐蔽圈闭、复杂小断块圈闭、特殊圈闭的预测描述、精确刻画的技术方法, 极大地推动了地层、岩性等隐蔽油气藏、复杂小断块油气藏以及特殊油气藏的勘探, 满足了东部原油产量硬稳定的需求。但东部富油断陷盆地整体上勘探程度较高, 砂体规模小、普遍埋藏较深, 不同期次砂体发育程度不同, 地震分辨率低、很难对岩性进行准确预测和描述。因此, 在隐蔽油气藏、复杂小断块、特殊油气藏勘探中, 仍然需要加强几个方面的攻关, 确保勘探持续有效推进。

4.1 加强油气成藏规律研究

一个盆地的不同地质单元, 包括不同凹陷、不同区(带)和不同层系之间, 其地质特征、成藏条件、油气富集程度和主导油气藏类型都不相同, 甚至有很大差异。通过对济阳坳陷不同增储区带的典型油气藏解剖, 提出了隐蔽油气藏“空间有序分布、区带差异富集”的新认识^[21], 分别在东营凹陷北带的砂砾岩体、南坡的滩坝砂岩、洼陷带的浊积岩, 沾化凹陷渤南洼陷浊积岩、滩海新近系河流相砂岩, 以及复杂断块等领域探明了7个 $3\,000 \times 10^4$ t的规模储量区。

在下一步勘探中, 要进一步通过油气藏解剖, 重点深化不同岩相带油气藏主控因素差异性研究, 通过缓坡带滨浅湖薄互层、陡坡带砂砾岩体、洼陷带浊积岩、浅层河流相砂岩等主要地层、岩性隐蔽油气藏的成藏主要控制因素、油气富集程度与状态的差异, 建立不同的油气藏差异富集的模式, 以期指导勘探工作。

4.2 深化成藏定量评价研究

成熟盆地精细勘探的关键是成藏定量评价研究。通过对济阳坳陷油藏数据分析拟合, 首次建立了“砂层优势输导、断层启闭性评价、动力—阻力耦合控藏”等3个成藏定量模型。用成藏定量评价模型有效地预测了有利成藏区带, 东营、沾化、惠民凹陷北部陡坡带、洼陷带、南部缓坡带成为胜利油田主要的储量增长区, 对济阳坳陷地层、岩性等隐蔽油气藏勘探起到了极大的推进作用。在下一步的勘探中, 要进一步深化完善和推广应用隐蔽油气藏以及复杂小断块油气藏油气成藏定量评价技术, 以新的认识指导勘探工作。

4.3 开展三维地震二次采集

针对东部老区勘探程度越来越高, 勘探难度越来越大, 而且勘探对象直接针对地下隐蔽、复杂的目标地质体(如复杂潜山构造、复杂断裂带构造、小断层、小断块构造、泥岩裂缝等)的情况, 最近几年在东部富油断陷盆地相继实施了三维地震(含高精度)的二次采集工作, 并取得显著成效。2002—2008年通过83块、 $9\,258.8\text{ km}^2$ 的三维地震二次采集及高精度三维地震的实施, 部分解决了复杂目标的精细刻画问题, 新增探明石油地质储量 $28\,410 \times 10^4$ t、可采储量 $5\,626 \times 10^4$ t, 动用地质储量 $19\,034 \times 10^4$ t, 新建产能 312.9×10^4 t。此外在油田开发区内新增可采储量 $3\,647 \times 10^4$ t。

随着三维地震技术手段的提高, 老区勘探领域进一步拓展。例如, 泌阳凹陷南部陡坡带地震资料品质改善, 重新落实了栗园断鼻, 发现一个富油区块, 叠合含油面积 1.6 km^2 , 探明石油地质储量 $1\,338 \times 10^4$ t; 苏北盆地由复杂小断块勘探逐渐向隐蔽油气藏转变, 下洼勘探发现整装岩性油藏, 环邵伯次凹基本实现多砂体叠合连片含油的勘探场面, 2010年新增三级石油地质储量 $1\,849 \times 10^4$ t。

可见, 在深化东部富油断陷盆地油气勘探过程中, 高精度三维地震勘探技术仍然是目前识别、描述与刻画地下复杂隐蔽、小目标地质体最可行的手段之一, 需要开展基于提高资料的信噪比及分辨率的地震勘探技术, 攻关的主要方向是以地表结构调查与激发为主的采集技术, 以及以叠前深度偏移为主的深层成像处理与解释技术。

5 结语

东部富油断陷盆地中国石化探区油气资源基础雄厚, 油气勘探处于储量稳定增长时期, 地层、岩性、特殊岩性体等隐蔽油气藏以及复杂小断块油气

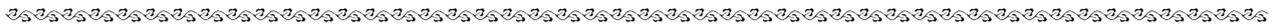
藏勘探方兴未艾,展示了巨大的勘探潜力。虽然东部富油断陷盆地勘探难度越来越大,但只要持续深化地质认识,强化理论创新与技术进步,加强油气预探与勘探一体化,就能保持储量稳定增长,为东部原油产量的硬稳定提供保障。

参考文献:

[1] 蔡希源. 中国石化油气勘探回顾与展望[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):715-721.
 [2] 张善文. 济阳拗陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):731-740.
 [3] 国土资源部油气资源战略研究中心. 新一轮全国油气资源评价[M]. 北京:中国大地出版社,2009:131-163.
 [4] 关德范,王国力,张金功. 成烃成藏理论新思维[J]. 石油实验地质,2005,27(5):425-432.
 [5] 关德范,徐旭辉,李志明. 成盆成烃成藏理论思维与有限空间生烃模式[J]. 石油与天然气地质,2008,29(6):709-715.
 [6] 关德范,徐旭辉,李志明. 烃源岩有限空间生排烃基础研究新进展[J]. 石油实验地质,2011,33(5):441-446.
 [7] 侯读杰,张善文,肖建新. 济阳拗陷优质烃源岩特征与隐蔽油气藏的关系分析[J]. 地质前缘,2008,15(2):137-142.
 [8] 高磊,郭元玲,宗国洪,等. 探明储量增长“帚状”预测模型:以济阳拗陷为例[J]. 石油勘探与开发,2002,29(6):45-47.
 [9] 张道勇,张风华. 油气田资源量预测 3 种方法的比较[J]. 西北大学学报:自然科学版,2006,36(3):453-455.

[10] 彭国力,尹安,张娟. 富油凹陷资源潜力与储量增长趋势探讨[J]. 石油地质与工程,2009,25(5):20-27.
 [11] 张善文. 成熟探区油气勘探思路及方法[J]. 油气地质与采收率,2007,14(3):1-5.
 [12] 潘元林. 从济阳拗陷石油储量 20 年持续高速增长看老区勘探[J]. 当代石油石化,2005,13(7):21-26.
 [13] 李丕龙,庞雄奇. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成:以济阳拗陷为例[M]. 北京:石油工业出版社,2004:1-4.
 [14] 李丕龙,张善文,宋国奇. 断陷盆地隐蔽油气藏形成、勘探与展望[C]//中国石油地质年会学术委员会. 中国石油地质年会论文集. 北京:石油工业出版社,2005:125-135.
 [15] 张善文. 济阳拗陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):731-740.
 [16] 蔡希源,李思田. 陆相盆地高精度层序地层学隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践[M]. 北京:地质出版社,2003.
 [17] 赵乐强,宋国奇,宁方兴. 济阳拗陷第三系油藏含油高度定量预测[J]. 石油勘探与开发,2010,37(1):26-31.
 [18] 邱荣华,田小敏,付代国. 泌阳富油凹陷油气深化勘探实践与认识[J]. 石油天然气学报,2007,29(2):42-44.
 [19] 赵文智,邹才能,汪泽成. 富油气凹陷“满凹含油”论:内涵与意义[J]. 石油勘探与开发,2004,31(2):5-12.
 [20] 王永诗,赵乐强. 隐蔽油气藏勘探阶段区带评价方法与实践:以济阳拗陷为例[J]. 油气地质与采收率,2010,17(3):1-6.
 [21] 蔡希源. 中国石化近期油气勘探进展与理论技术进步[C]//第四届中国石油地质年会学术委员会. 第四届中国石油地质年会论文集. 北京:石油工业出版社,2011.

(编辑 韩 或)



(上接第 201 页)

参考文献:

[1] 朱日房,张林晔,李钜源,等. 渤海湾盆地东营凹陷泥页岩有机储集空间研究[J]. 石油实验地质,2012,34(4):352-356.
 [2] 陈尚斌,朱炎铭,王红岩,等. 中国页岩气研究现状与发展趋势[J]. 石油学报,2010,31(4):689-694.
 [3] 邹才能,陶士振,袁选俊,等. “连续型”油气藏及其在全球的重要性:成藏、分布与评价[J]. 石油勘探与开发,2009,36(6):669-682.
 [4] 刘庆,张林晔,沈忠民,等. 东营凹陷湖相盆地类型演化与烃源岩发育[J]. 石油学报,2004,25(4):42-45.
 [5] 周德华,焦方正. 页岩气“甜点”评价与预测:以四川盆地建南地区侏罗系为例[J]. 石油实验地质,2012,34(2):109-114.
 [6] 张林晔,李政,朱日房. 页岩气的形成与开发[J]. 天然气工业,2009,29(1):124-128.
 [7] 李新景,胡素云,程克明,等. 北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J]. 石油勘探与开发,2007,34(4):392-400.
 [8] 王永诗,金强,朱光有,等. 济阳拗陷沙河街组有效烃源岩特征与评价[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):53-55.
 [9] 母国妍,钟宁宁,刘宝,等. 湖相泥质烃源岩的定量评价方法及其应用[J]. 石油学报,2010,31(2):218-224.

[10] 朱光有,金强,张林晔. 用测井信息获取烃源岩的地球化学参数研究[J]. 测井技术,2003,27(3):104-109.
 [11] 王建,马顺平,罗强,等. 渤海湾盆地饶阳凹陷烃源岩再认识与资源潜力分析[J]. 石油学报,2009,30(1):51-55.
 [12] 王秉海,钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践. [M]. 东营:石油大学出版社,1992:142-144.
 [13] 曾文冲. 油气藏储集层测井评价技术[M]. 北京:石油工业出版社,1991:280-287.
 [14] 姜秀芳. 济阳拗陷湖相碳酸盐岩沉积主控因素[J]. 油气地质与采收率,2011,18(6):23-27.
 [15] 郑伦举,马中良,王强,等. 烃源岩有限空间热解生油气潜力定量评价研究[J]. 石油实验地质,2011,33(5):452-459.
 [16] 邓美寅,梁超. 渤南洼陷沙三下亚段泥页岩储集空间研究:以罗 69 井为例[J]. 地质前缘,2012,19(1):173-181.
 [17] 鲁国明. 济阳拗陷碳酸盐岩油藏储层评价及有效厚度研究[J]. 石油实验地质,2011,33(2):155-159.
 [18] 赖生华,刘文碧,李德发,等. 泥质岩裂缝油藏特征及控制裂缝发育的因素[J]. 矿物岩石,1998,18(2):47-51.
 [19] 陈增智,郝石生,席胜利. 碳酸盐岩烃源岩有机质丰度测井评价方法[J]. 石油大学学报:自然科学版,1994,18(4):16-19.

(编辑 徐文明)