

# 一种定量描述油气分布及富集程度的方法

程付启<sup>1</sup>, 宋国奇<sup>2</sup>, 王永诗<sup>2</sup>, 林会喜<sup>2</sup>, 金 强<sup>1</sup>, 崔健健<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 中国石化胜利油田分公司, 山东东营 257001;  
3. 山东宝莫生物化工股份有限公司, 山东东营 257015)

**摘要:**针对含油气盆地内油气分布与富集程度的定量描述问题,提出综合利用录井显示、测井解释、试油结论等资料的含油信息定量描述油气分布的方法;利用该方法计算沾化凹陷探井的油气集聚值,并分析油气的纵、横向分布特征。结果表明:按照3种资料可信度高低的优先顺序(依次为试油结论、测井解释、录井显示)进行计算可获得较真实的油气聚集值;油气聚集值可定量描述研究区油气的分布与富集情况,从而为勘探选区和钻探目标优选提供依据;沾化凹陷纵向上沙四段油气聚集值最高,应是油气勘探的重要方向;横向上北部深洼区(义283—义178一带)油气聚集值较高且连片分布,是沙四段最为现实的油气增储区块;该方法适用于钻井较多的中—高程度探区油气分布描述与增储区块预测。

**关键词:**油气分布;富集程度;定量描述;沾化凹陷

**中图分类号:**P 539.2      **文献标志码:**A

**引用格式:**程付启,宋国奇,王永诗,等.一种定量描述油气分布及富集程度的方法[J].中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(1):35-41.

CHENG Fuqi, SONG Guoqi, WANG Yongshi, et al. A method for quantitatively describing oil-gas distribution and enrichment[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2016, 40(1): 35-41.

## A method for quantitatively describing oil-gas distribution and enrichment

CHENG Fuqi<sup>1</sup>, SONG Guoqi<sup>2</sup>, WANG Yongshi<sup>2</sup>, LIN Huixi<sup>2</sup>, JIN Qiang<sup>1</sup>, CUI Jianjian<sup>3</sup>

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;  
2. Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257001, China;  
3. Shandong Polymer Bio-chemicals Limited Company, Dongying 257015, China)

**Abstract:** In order to quantitatively describe oil-gas distribution and enrichment, a method for calculating enrichment value (EV) based on oil-bearing grade given by well logs, logging interpretations and well test data was established. The EVs of exploratory wells in Zhanhua sag were calculated and the distribution of oil and gas in paleogene was analyzed. According to the result, the robust EVs could be gained when higher credibility data is chosen preferentially. The EVs can be used to describe oil-gas distribution and enrichment and can guide to choose exploration district and drilling targets. According to the longitudinal distribution of the EVs, the fourth section of Shahejie Formation ( $Es_4$ ) in Zhanhua sag is the richest section in oil and gas. Horizontally, the richer area of oil and gas locates at deep area in north Bonan sub-sag (well Yi283-Yi178 area). It is suggested that the  $Es_4$  may be the most important exploration section, while the deep area in the north Bonan sub-sag may be the surest oil and gas reserve area.

**Keywords:** oil-gas distribution; enrichment degree; quantitative description; Zhanhua sag

明确一个盆地或区带的油气分布和富集情况是      评价其资源潜力、明确勘探前景和指导勘探部署的

基础<sup>[14]</sup>。目前对油气分布和富集情况的描述多采用储量丰度(单位面积内的油气储量)、单储系数(单位体积油气层所含的油气储量)等参数<sup>[5-7]</sup>。这些参数仅适用于已上报储量的区块,不能描述储量区块外的油气富集情况,对以寻找新储量区块为目的勘探工作没有太大的指导意义。在探井数量较多的预探区,往往积累有丰富的岩心/岩屑录井、测井解释、试油等资料,包含着储层的含油信息,可以用以分析油气的分布情况<sup>[8-10]</sup>。以胜利油田东部探区为例,仅沾化凹陷就有探井1700多口(50%以上分布在储量区外),不仅具有完整的录井和测井解释数据,还有1500多口井5600多层的试油数据。合理利用这些含油资料,对查明油气纵、横向分布及富集情况,进而指导勘探部署具有重要的意义。笔者提出综合利用录井、测井、试油3种资料定量描述油气分布的方法,并以沾化凹陷为例论述其建立过程和应用方法。

## 1 方法建立

根据油气勘探工作的相关标准<sup>[11-13]</sup>,在录井、测井解释和试油报告中应给出岩心/岩屑、储层的含油信息。利用录井、测井和试油资料定量描述油气分布与富集情况,关键是对资料包含的含油信息进行量化,并确定各资料的可信度。对含油气信息的量化,可根据各资料含油级别的划分标准,通过分级赋值来实现;3种资料的可信度,可通过与“真实”情况的比较来确定。

### 1.1 3种资料含油信息的分级赋值

岩心/岩屑录井、测井解释与试油资料中储层的含油级别均是根据一定行业标准来划分的。这些划分标准,可以作为量化含油信息的依据。

#### 1.1.1 录井显示级别

以碎屑岩孔隙性储层为例,主要依据岩心/岩屑的含油面积占岩石总面积的百分比,将岩石含油级别划分为饱含油、富含油、油浸、油斑、油迹、荧光等6级,前5级的含油面积百分比分别为:大于95%、70%~95%、40%~70%、5%~40%、小于5%,荧光级别为肉眼看不见油迹而荧光对比级别大于6<sup>[11]</sup>。这里将最高显示级别“饱含油”赋值为1.00,根据富含油、油浸、油斑、油迹、荧光等级别的含油面积百分比,其分值分别为0.85、0.55、0.25、0.05、0.01。

#### 1.1.2 测井解释成果

利用测井响应解释储层含油气性,主要是基于

电阻率等测井对储层油、气、水饱和度计算<sup>[14-16]</sup>,其中较为常用的含油级别划分依据是可动水饱和度( $S_{wm}$ )与含油饱和度( $S_o$ )<sup>[14]</sup>。受储层岩性、物性及油气性质影响,不同地区或层段的划分标准存在差异,胜利油田东部探区的碎屑岩储层,一般根据测井计算的含油饱和度,将测井解释级别划分为油层、含水油层、油水同层、含油水层、干层/水层5级,对应 $S_o$ 分别为:大于60%、50%~60%、40%~50%、30%~40%、小于30%(滞留油气)。将含油饱和度60%(油层下限标准)赋值为1.00,则与其他含油级别的含油饱和度中值进行等比例计算,得到含水油层、油水同层、含油水层和干层/水层的分值分别为0.92、0.75、0.58、0.25。

#### 1.1.3 储层试油结论

试油是利用专业的设备和方法对可能的含油气层段进行的直接测试工作。试油工作结束后,将油气产量与工业油流和干层的标准进行对比,并参考综合含水率( $f_w$ )值来划分储层含油级别。通常划分出油层、含水油层、油水同层、含油水层和水层/干层等5个级别<sup>[13]</sup>,对应的油气产量及综合含水情况分别为:工业油流且 $f_w < 5\%$ 、工业油流且 $f_w = 5\% \sim 20\%$ 、工业油流而 $f_w > 20\%$ 、低于工业油流且 $f_w$ 高于干层、油气产量低于干层。由于工业油流标准与经济效益有关,受深度与钻探环境影响较大<sup>[17]</sup>,难以作为量化赋值的依据。对试油结论的量化主要依据综合含水率、油气产量,并参考测井解释级别的赋值情况来完成。将油层分值赋为1.00,则含水油层、油水同层、含油水层和水层/干层的分值为0.90、0.70、0.50和0.20。

### 1.2 3种资料可信度确定

受工作方式、施工条件及地质多解性的影响,通过录井、测井与试油所得的含油信息与储层实际含油情况会有一定出入。这里定义油气富集程度计算时,某一资料可以依赖的程度为该资料的可信度( $C$ )。为了消除资料类型带来的计算误差,在含油性评价时需考虑所用资料的可信度。各资料的可信度可以通过计算其所给含油信息与储层实际含油情况的符合率来确定。

#### 1.2.1 试油结论的可信度

根据油气勘探程序,试油是在制定开发方案之前确定目的层段含油情况的最后一项工作。它是在利用地震、钻井录井、测井等手段初步确定储层含油的基础上,对储层含油性进行的直接测试工作<sup>[18]</sup>。因此试油资料所提供的含油信息最为可靠,可以直



## 2 应用实例分析

利用上述方法和步骤,通过计算程序编制与运行,完成了沾化凹陷1500余口探井古近系油气聚集值的计算。为了揭示油气在纵、横向上的富集情况,对每口井的油气聚集值进行了分段计算( $Ed$ 、 $Es_1$ 、 $Es_2$ 、 $Es_3s$ 、 $Es_3z$ 、 $Es_3x$ 及 $Es_4$ ),并绘制了各层段油气聚集等值线图,为研究区下一步油气勘探方向的选择提供了依据。

### 2.1 油气纵向分布与勘探方向

利用每口探井上述7个层段的计算数据,可以求和得到各层段总的油气聚集值。从沾化凹陷7个层段油气聚集值的分布情况来看(如图2(a)),沙

四段油气最为富集,占整个古近系油气聚集量的25.25%;其次为沙一和沙三下亚段,分别占18.67%和17.27%;再次为沙二段与沙三中,分别占12.24%和11.35%;东营组与沙三上亚段油气富集程度较差,分别占8.42%和6.79%。这一结果与该区目前已探明油气的分布情况存在较大差异,从沾化凹陷已探明储量的层段分布来看(图2(b)),目前探明储量最多的层段为沙三中亚段,占整个古近系探明储量的30.26%;其次为沙二段与沙三下亚段,分别占18.89%和15.09%,再次为沙一段、东营组和沙三上亚段,分别占11.48%、10.41%和9.45%;而沙四段探明储量最少,仅占总探明储量的4.42%。

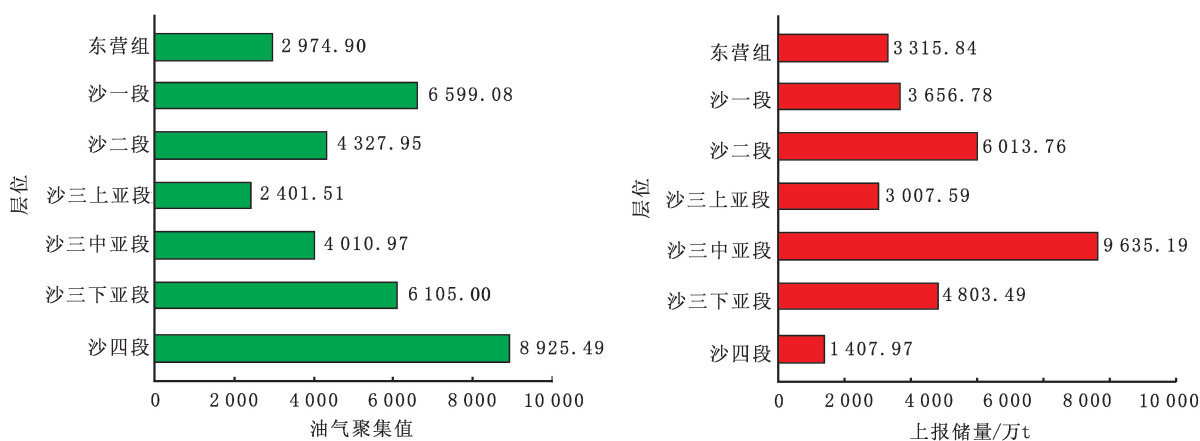


图2 沾化凹陷古近系油气聚集值与储量分布

Fig.2 Oil enrichment value and reserve distributions in Palaeogene of Zhanhua sag

分析认为,油气聚集量与探明储量分布的差异,主要与前期的认识水平、勘探技术及勘探工作重点有关。研究区以往的研究主要集中在沙三及其上部层段,对上部生(沙三下)储(沙三中、沙三上和沙二段)盖(沙一段)的认识比较清楚<sup>[19-21]</sup>。上部储层,特别是沙三中与沙二段一直是前期勘探的重点层系,所以探明的储量较多。沙三下亚段是沾化凹陷主力烃源岩段,油气聚集以滞留型非常规页岩油为主,受认识程度及定向钻井、压裂等技术的限制,一直未成为勘探的目的层段。已发现的4000多万t储量,主要是受东营凹陷滩坝油藏启发,钻探发现的滩坝砂油藏(沙三下亚段上部)。沙四段由于埋藏较深,钻探成本高,加上研究程度低、认识薄弱,一直未开展大规模勘探,探明储量也最少。

从本次计算的油气聚集情况来看,沙三下页岩油气、沙四段深层油气应是沾化凹陷下步勘探的重要方向,且其巨大的勘探潜力已经在近几年的勘探中初见端倪。例如,胜利油田从2011年开始关注沙

三下页岩油气,并于当年在渤南洼陷部署钻探了渤页平1井,该井在沙三下亚段水平钻井超过1 km,试油日产最高达7.46 t,累计产油116 t<sup>[22]</sup>。此外,还以沙四下深层为目的层,部署钻探了义184、义178、罗683等多口探井,均钻遇油层,其中义178井2013年初试油日产5.57 m<sup>3</sup>、气209 m<sup>3</sup>,累产原油289 m<sup>3</sup>。上述勘探成果显示了沙三段泥页岩油与深层沙四段的勘探前景。随着页岩油、深层油气成藏规律认识的提高,以及水平钻探、分段压裂等技术的进步,沙三下泥页岩与沙四段深层应是沾化凹陷增储上产的重要层系。

### 2.2 油气横向分布与勘探部署

利用各探井的油气富集值,绘制了上述7个层段的油气富集等值线图,明确了各层段的油气分布情况。将油气聚集等值线图与已上报储量区进行对比,可以确定各层段油气增储区块,为勘探部署提供依据。本文中以渤南洼陷沙四段为例进行分析。

渤南洼陷位于沾化凹陷中西部,是沾化凹陷沙

四段主要沉积区<sup>[23-24]</sup>,也是探井密度较大的地区。从该段油气富集等值线图(图3)可以看出,该层段普遍具有油气显示,其中油气富集高值区主要分布在北部深洼带(义283—义178井区),呈现连片分布的特征,与目前的认识一致<sup>[25]</sup>。目前,最大的探明区块位于北部深洼带南侧(义176—渤深4块,探明储量3044.06万t),其余探明区块均较小、零星分布。从图3可以看出,已上报探明储量区均落在油气聚集高值区内,说明油气聚集值能够指示油气富集情况,未上报储量的油气聚集高值区应是沙四段下一步增储的区块。

在本次研究的基础上,结合成藏条件分析,胜利

油田在北部深洼油气富集区部署了义 282、罗 682 等多口探井,均钻遇油层,目前已在深洼带北部义 282 块上报控制储量 3 306 万 t。随着评价井的部署钻探,能很快实现储量升级,形成洼陷带油气探明区的连片。此外,罗家鼻状构造带的东西两翼及邵家地区,均存在油气聚集高值区,如西翼的罗 14-垦 7 块、罗 53 块,东翼的罗 37 块。其中罗 37 块附近已有小块探明,加强评价有望找到大规模油气聚集。与北部深洼带相比,南部缓坡带的油气富集区深度较浅,钻探成本低、周期短,易于投产开发,也是沙四段理想的增储区块。

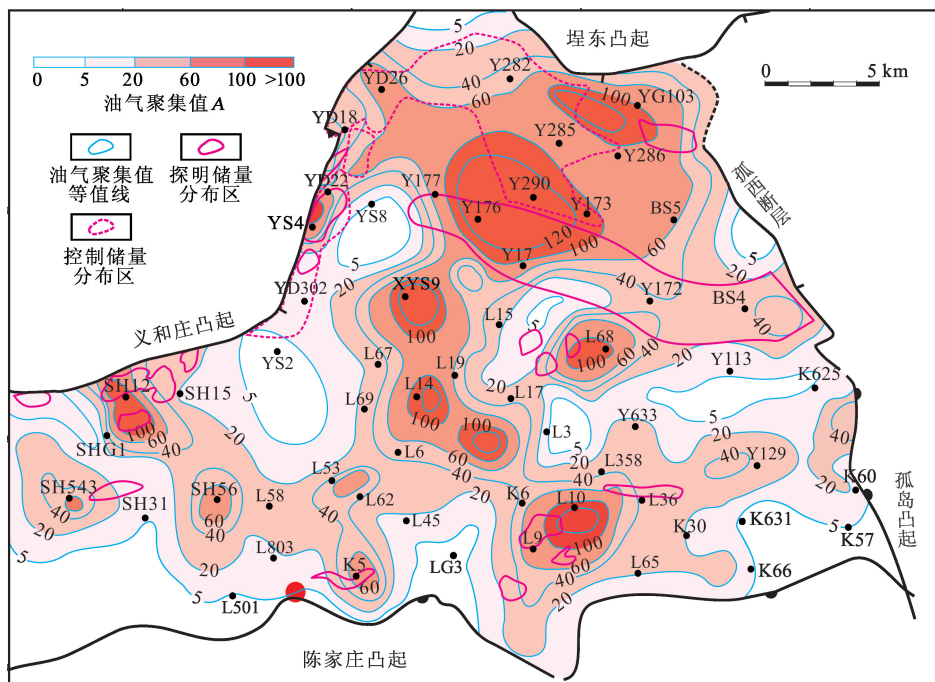


图3 渤南洼陷沙四段油气聚集等值线与探明储量叠合图

**Fig. 3** Distribution of oil enrichment value and proved reserve of Es<sub>4</sub> in Bonan sub-sag

### 3 结束语

油气分布情况是勘探区带及钻探目标选择的依据,录井显示、测井解释与试油等生产资料包含了丰富的含油信息,通过对各资料可信度分析及含油信息的合理赋值,可以实现对预探区油气分布与富集的定量描述,将该方法确定的油气聚集情况与已发现储量分布对比,可以指导油气勘探选区与增储区块优选。

通过对沾化凹陷 1500 余口探井古近系油气聚集值计算,并与已探明区块的分布情况进行对比,发现沙四段油气聚集值最高而探明程度低,应是该区下一步勘探的重要方向;横向上,渤南洼陷的北部深

洼区(义 283—义 178 一带)油气集聚值较高且连片分布,是最为现实的增储区块。

需要说明的是,油气分布与富集情况是各油气地质要素与成藏过程合理配置的结果,本文中只是提供了利用生产资料定量描述油气分布的方法,在依此进行勘探方向及增储区块选择时,还要与研究区成藏条件分析及成藏过程研究相结合。

### 参考文献:

- [1] XIE Zongkui. Sequence boundaries and regularities in the oil-gas distribution of the low swelling slope belt in the continental rift basin[J]. Mining Science and Technology, 2011, 21(3): 419-425.
- [2] 卢双舫, 黄文彪, 陈方文, 等. 页岩油气资源分级评价

- 标准探讨[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(2): 249-256.
- LU Shuangfang, HUANG Wenbiao, CHEN Fangwen. Classification and evaluation criteria of shale oil and gas resources: discussion and application[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 268-276.
- [3] 尹伟, 郑和荣, 胡宗全, 等. 鄂南镇泾地区延长组油气富集主控因素及勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 159-165.
- YIN Wei, ZHENG Herong, HU Zongquan, et al. Main factors controlling hydrocarbon accumulation and favorable exploration targets for the Yanchang Formation in Zhenjing area, south Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 159-165.
- [4] 赵宽志, 张丽娟, 郑多明, 等. 塔里木盆地缝洞型碳酸盐岩油气藏储量计算方法[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(2): 251-256.
- ZHAO Kuanzhi, ZHANG Lijuan, ZHENG Duoming, et al. A reserve calculation method for fracture-cavity carbonate reservoirs in Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(2): 251-256.
- [5] 付广, 郎微. 我国不同储量丰度大中型气田形成的主控因素及其评价[J]. 大庆石油学院学报, 2010, 34(5): 48-52.
- FU Guang, LANG Wei. Comprehensive and quantitative evaluation of main controlling factors of large and medium gas fields with different reserve abundance in China[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2010, 34(5): 48-52.
- [6] 张达景, 缪莉, 白森舒. 碳酸盐岩油气资源量计算方法——藏控单储系数法[J]. 石油实验地质, 2005, 27(6): 635-639.
- ZHANG Dajing, MIAO Li, BAI Senshu. Petroleum reserves calculation in carbonate formations method using reservoir controlled unit coefficients[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(6): 635-639.
- [7] 杨通佑, 范尚炯, 陈元千, 等. 石油与天然气储量计算方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [8] 杨思通, 孙建孟, 马建海, 等. 低孔低渗储层测录井资料油气识别方法[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 407-412.
- YANG Sitong, SUN Jianmeng, MA Jianhai, et al. Identification of hydrocarbons in low-porosity and low-permeability reservoirs by integration of surface log data with wire log information[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(3): 407-412.
- [9] 钱勤, 冯明刚, 彭劲, 等. 测井精细解释在普光气田储量计算中的应用[J]. 石油实验地质, 2012, 34(5): 543-548.
- QIAN Qin, FENG Minggang, PENG Jin, et al. Application of fine logging interpretation in reserve calculation, Puguang Gas Field[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(5): 543-548.
- [10] 张绍礼, 韩斌, 刘永红. 试油资料在油气勘探与储量计算中的应用[J]. 油气井测试, 2009, 18(1): 16-21.
- ZHANG Shaoli, HAN Bin, LIU Yonghong. Application of testing data in exploration and reserves calculation[J]. Well Testing, 2009, 18(1): 16-21.
- [11] 石油天然气地质勘探专业标准化委员会. 油气井地质录井规范: SY/T 5788.3-2008[S]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 1-2.
- [12] 石油测井专业标准化委员会. 探井测井数据处理与资料解释技术规范: SY/T 6451-2010[S]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 1-7.
- [13] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 勘探试油工作规范: SY/T 6293-2008[S]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 6-7.
- [14] 欧阳健. 石油测井解释与储层描述[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 54-61.
- [15] 高俊华, 郑淑芬, 于晏, 等. 川渝油气田碎屑岩储层测井解释及流体识别[J]. 天然气工业, 2011, 31(7): 32-36.
- GAO Junfa, ZHENG Shufen, YU Yan, et al. Logging interpretation of clastic reservoirs and fluid identification in Sichuan and Chongqing oil-and gas-fields[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(7): 32-36.
- [16] 司马立强, 吴丰, 马建海, 等. 利用测录资料定量计算复杂油气水系统的气油比: 以柴达木盆地英东油气田为例[J]. 天然气工业, 2014, 34(7): 34-40.
- SIMA Liqiang, WU Feng, MA Jianhai, et al. Quantitative calculation of GOR of complex oil-gas-water systems with logging data: a case study of the Yingdong Oil/Gas Field in the Qaidam Basin[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(7): 34-40.
- [17] 赵文智, 毕海滨, 付金华. 正确理解和使用工业油流标准[J]. 石油学报, 2005, 26(3): 48-51.
- ZHAO Wenzhi, BI Haibin, FU Jinhua. Correctly understanding the commercial oil flow standard[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(3): 48-51.
- [18] 陈恭洋, 王允诚. 油气田地下地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 99-129.
- [19] 朱光有, 金强, 张水昌, 等. 陆相断陷盆地复式成烃及成藏系统研究: 以济阳拗陷沾化凹陷为例[J]. 石油学报, 2004, 25(2): 12-18.
- ZHU Guangyou, JIN Qiang, ZHANG Shuichang, et al.

- Study on complex hydrocarbon accumulation and reservoir formation in the rift lacustrine basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004,25(2):12-18.
- [20] 王金友,张立强,张世奇,等. 济阳坳陷沾化凹陷沙二段湖相混积岩沉积特征及成因分析;以罗家-邵家地区为例[J]. *地质论评*,2013,59(6):1085-1096.
- WANG Jinyou, ZHANG Liqiang, ZHANG Shiqi, et al. Sedimentary characteristics and origin of lacustrine mixed rocks of the second member of the Eocene Shahejie formation in Zhanhua sag, Jiyang depression; taking Luojia-shaojia area for an example[J]. *Geological Review*, 2013,59(6):1085-1096.
- [21] 宋国奇,刘华,蒋有录,等. 沾化凹陷渤南洼陷沙河街组原油成因类型及分布特征[J]. *石油实验地质*, 2014,36(1):33-38.
- SONG Guoqi, LIU Hua, JIANG Youlu, et al. Genetic types and distribution characteristics of crude oils from Shahejie Formation in Bonan Subsag, Zhanhua Sag, Jiyang Depression[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014,36(1):33-38.
- [22] 卢继锋. 胜利油田泥页岩水平井渤页平1井试油技术优化及应用[J]. *油气井测试*,2014,23(1):64-66.
- LU Jifeng. Optimization and application of well test technology for horizontal in shale of Shengli oilfield[J]. *Oil and Gas Well Test*, 2014,23(1):64-66.
- [23] 刘雅利,刘鹏,伊伟. 渤南洼陷沙四上亚段沉积相及有利储集层分布[J]. *新疆石油地质*,2014, 35(1):39-44.
- LIU Yali, LIU Peng, YI Wei. Depositional facies and favorable reservoir distribution of Sha-4 Upper Member of Shahejie formation in Bonan sub-Sag[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2014,35(1):39-44.
- [24] 刘鹏,宋国奇,刘雅利,等. 渤南洼陷沙四上亚段多类型沉积体系形成机制[J]. *中南大学学报(自然科学版)*,2014,45(9):3234-3243.
- LIU Peng, SONG Guoqi, LIU Yali, et al. Mechanism of depositional system in upper fourth member of Shahejie Formation in Bonan sag[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2014,45(9):3234-3243.
- [25] 刘雅利,王永诗,郝雪峰,等. 渤南洼陷油气分布有序性探讨[J]. *油气地质采收率*,2014,21(4):10-15.
- LIU Yali, WANG Yongshi, HAO Xuefeng, et al. A discussion on the continuance of hydrocarbon distribution in Bonan sag[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(4):10-15.

(编辑 徐会永)