

基于不同岩性的总有机碳分段预测方法

——以东营凹陷始新统沙河街组三段下亚段为例

赵琳洁, 陆建林, 王保华, 李浩, 宋振响, 张彦霞

(中国石化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: 陆相泥页岩具有非均质性强的特征, 矿物组分、总有机碳含量(TOC)等参数的分布预测是陆相页岩油气资源评价与选区研究的基础。为获取陆相页岩地层上述关键参数纵向分布特征, 克服测试实验周期长、成本高、取样难等现实问题, 开展了相应关键参数测井预测方法研究。以渤海湾盆地东营凹陷始新统沙河街组三段下亚段为例, 结合 XRD 实测数据以及测录井等资料, 具体针对不同岩性选取不同 TOC 预测模型, 建立了不同岩性的 TOC 识别模板。运用所构建的模型对 Fy1 井沙三下亚段的岩性、TOC 进行典型预测, 分段预测 TOC 方法得到的预测值与实测值之间的相关系数较高, 约为 0.84, 表明该方法可行性较强, 可为开展陆相页岩油气资源评价及目标评价提供有效的技术支撑。

关键词: 有机碳含量; 泥页岩; 沙三下亚段; 沙河街组; 始新统; 东营凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.115

文献标识码: A

Segmented prediction of TOC based on lithology: a case study of the lower sub-member of the third member of the Eocene Shahejie Formation, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

ZHAO Linjie, LU Jianlin, WANG Baohua, LI Hao, SONG Zhenxiang, ZHANG Yanxia

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

Abstract: The continental mud shale has a strong heterogeneity, and the prediction of its mineral composition, TOC (total organic carbon content) and other parameters is critical for the evaluation and optimization of continental shale oil and gas abundance. To obtain the vertical distribution characteristics of these key parameters of the continental shale formation, and to avoid the practical problems such as time-consuming experiments, high cost, and sampling difficulty etc., a research of the logging prediction method for key parameters was carried out. The lower sub-member of the third member of the Eocene Shahejie Formation (E_{s3}) in the Dongying Sag of the Bohai Bay Basin was employed as an example, XRD measurements and logging were carried out based on which, various TOC prediction models were selected for different lithologies, and some TOC identification templates of different lithologies were established. The constructed model was then used to perform typical predictions on the lithology and TOC of the lower sub-member of the Shahejie Formation in well Fy1. The correlation coefficient between the predicted values obtained by the segmented prediction method for TOC and the measured values appeared to be relatively high (about 0.84), indicating that the method developed here is highly feasible and can provide effective technical support for the evaluation and target optimization of continental shale oil resources.

Key words: organic carbon content; shale; the lower submember of the third member of Shahejie Formation; Eocene; Dongying Sag; Bohai Bay Basin

随着陆相页岩油气勘探实践的逐步深入, 页岩油气选层选段需要依据更加精细的地质评价参数。总有机碳含量(TOC)是页岩油评价的重要指标之一, 合理预测 TOC 含量是评价页岩有机质丰度和

生烃能力的关键^[1-3]。传统的 TOC 获取方法主要依据实测数据进行分析, 该方法易受样品数量以及取心井的限制, 难以获取连续的 TOC 测定值。目前对泥页岩 TOC 预测多基于测井数据(声波、密度、

电阻率等)、运用 $\Delta\log R$ 、神经网络或者多元回归方法进行预测^[4-7],可以较好地弥补当实验分析数据不足时难以表征烃源岩有机质分布特征的情况。

学者们对 $\Delta\log R$ 法和密度测井预测 TOC 等方法进行了改进,例如将声波时差和电阻率参数进行归一化处理,消除因测井仪器不同等因素造成的误差^[8]。但在实际处理过程中发现存在以下问题:(1)基线的确定存在一定的人为因素,正确利用基线来区分非烃源岩和具有排烃能力的烃源岩较为困难;(2)泥页岩矿物特征近似,测井响应特征差异性较小,测井曲线不能较真实地反映有机碳含量信息^[9];(3)单一 TOC 预测方法导致预测结果与实际值之间存在较大的差异。本文基于前人认识,结合测井、实验测试等方法,在合理分析预测泥页岩岩性的基础上,建立了不同岩性的 TOC 分段预测方法,以期页岩油资源评价及区带目标优选提供依据。

1 地质概况

渤海湾盆地东营凹陷属于典型的断陷盆地,是我国东部富油凹陷之一,整体上表现出“北断南超、北深南浅”的箕状结构^[10]。东营凹陷始新统沙河街组三段下亚段沉积时期盆地迅速裂陷,形成欠补偿的封闭湖盆^[11-12],受到气候因素的影响,湖水波动频繁,水体随之收缩和扩张,沉积了一套垂向

上岩性频繁变化、平面上呈环带状分布的泥页岩^[13-14]。湖盆边缘多沉积块状泥岩或含灰质泥岩,湖盆中心多沉积层状—纹层状灰质泥岩(图 1)^[15]。烃源岩多集中在沙四上亚段和沙三下亚段^[16-18],主要岩性为灰质泥岩和泥质灰岩,矿物组成上以黏土矿物、碳酸盐和陆源碎屑(长石和石英)为主(图 2)。泥页岩的非均质性也表现在垂向及平面分布上,其影响着岩性及 TOC 预测的准确度。

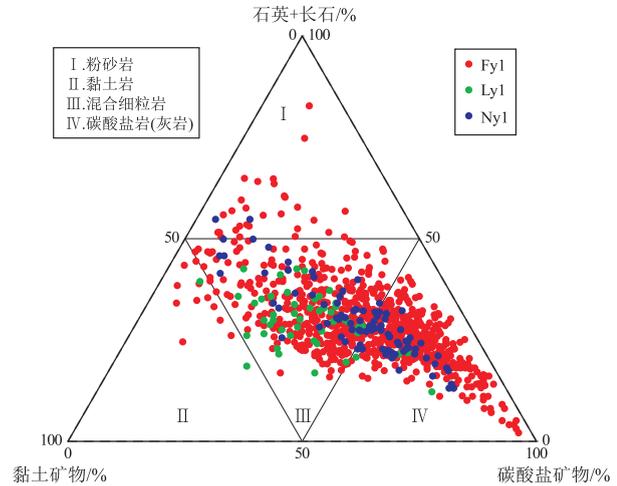


图 2 渤海湾盆地东营凹陷始新统沙河街组三段下亚段岩性三角图

Fig.2 Lithology triangular chart of the lower sub-member of Es₃, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

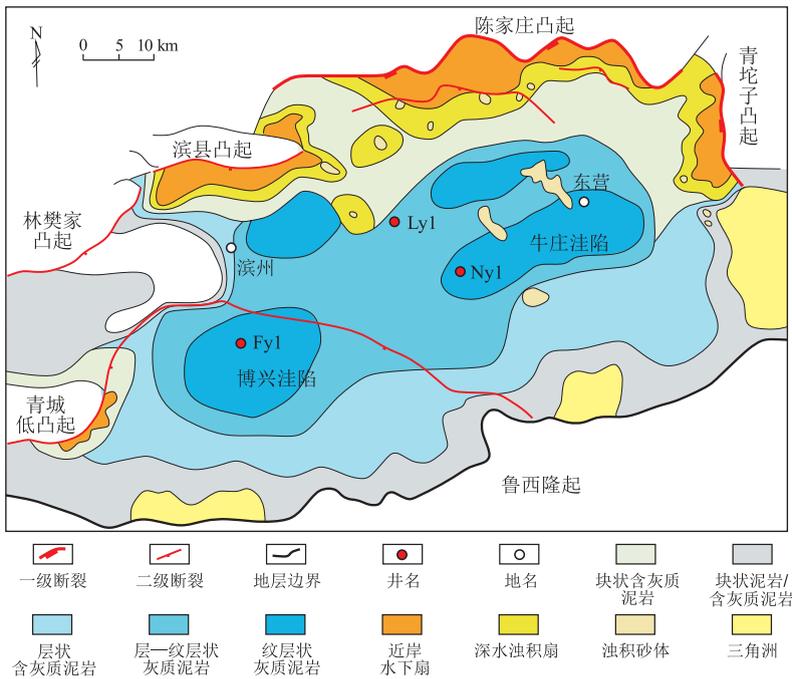


图 1 渤海湾盆地东营凹陷始新统沙河街组三段下亚段细粒沉积岩岩相分布
据参考文献[15]。

Fig.1 Lithofacies of lamellar fine-grained sedimentary rocks in the lower sub-member of Es₃, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

2 泥页岩层系不同岩性测井响应特征

东营凹陷泥页岩岩性主要成分为黏土、碳酸盐以及粉砂(包括石英和长石),以泥页岩的三种主要成分作为三端元,按三端元划分原则^[19-20],将其划分为粉砂岩、碳酸盐岩(灰岩)、黏土岩以及混合细粒岩(图 2)。

通过对不同岩性的测井响应特征分析,不同岩性在测井上的响应特征存在差异,这为岩性预测提供了依据。其中,粉砂岩具有相对低 GR(自然伽马)、低 AC(声波时差)、低 NPHI(中子孔隙度)的测井响应特征;黏土岩具有相对高 GR、高 AC、高 NPHI 的测井响应特征;碳酸盐岩(灰岩)具有相对低 GR、中 AC、低 NPHI 的测井响应特征;混合细粒岩具有相对中 GR、中 AC、中 NPHI 的测井响应特征(表 1)。

3 基于不同岩性的 TOC 分段预测

3.1 原理与技术流程

TOC 预测目前主要有两种方法:一种是基于已有的岩心实测样品数据,建立 TOC 纵向分布剖

面,对目的层段进行 TOC 估算;另一种是基于测井数据(声波、密度、电阻率)预测方法进行预测^[21-22],如 $\Delta \log R$ 法和密度测井法。

由于频繁震荡的水体环境导致泥页岩岩性、矿物成分差异大,因此现有预测方法对湖相非均质性较强的泥页岩层预测效果较差。对于不同岩性、不同级别 TOC 仅采用统一的预测模型及参数预测存在较大误差。为合理预测 TOC,在预测岩性的基础上,对不同岩性段选用不同的 TOC 预测公式进行 TOC 预测。

3.1.1 岩性预测

首先,结合 X 衍射测试分析数据,依据不同岩性的测井响应特征,优选 GR、AC、NPHI、DEN 等测井曲线进行测井相识别,划分出粉砂岩(I)、黏土岩(II)、碳酸盐岩(灰岩)(III)及混合细粒岩(IV)等四种基本岩性。预测结果表明,东营凹陷沙三下亚段主要发育碳酸盐岩和混合细粒岩两种岩性,粉砂岩和黏土岩较少(图 3)。

3.1.2 TOC 分段预测

针对研究区不同泥页岩岩性,结合矿物成分、测井以及 TOC 测试分析数据,选用不同的 TOC 测

表 1 渤海湾盆地东营凹陷不同岩性的测井响应特征

Table 1 Logging responses of different lithologies, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

岩性	测井响应特征	GR/API 范围(峰值)	AC/($\mu\text{s} \cdot \text{ft}^{-1}$) 范围(峰值)	NPHI/% 范围(峰值)
粉砂岩	低 GR、低 AC、低 NPHI	46.49~68.08(59.13)	77.54~95.03(83.55)	0.16~0.26(0.19)
黏土岩	高 GR、高 AC、高 NPHI	58.08~73.65(64.34)	79.46~97.98(92.92)	0.17~0.25(0.22)
碳酸盐岩(灰岩)	低 GR、中 AC、低 NPHI	37.81~79.67(59.02)	66.62~113.57(86.15)	0.12~0.33(0.19)
混合细粒岩	中 GR、中 AC、中 NPHI	36.99~87.06(60.17)	66.04~111.01(88.91)	0.12~0.33(0.20)

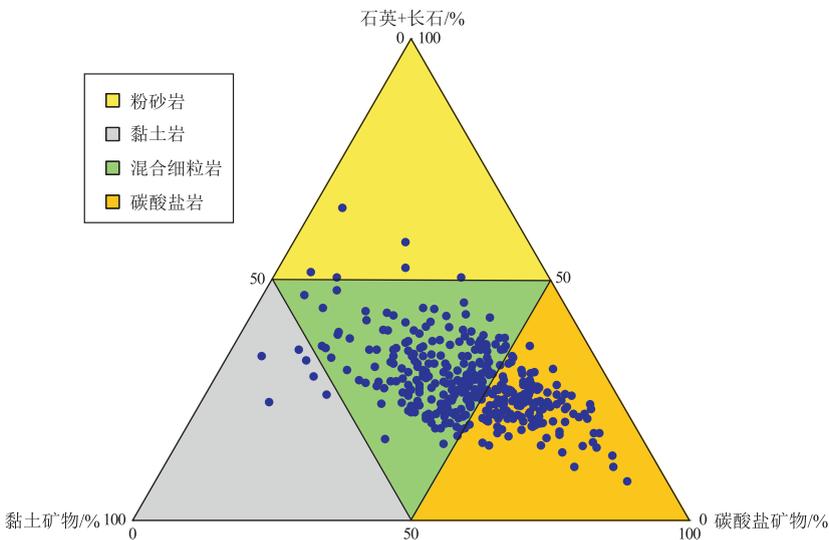


图 3 渤海湾盆地东营凹陷始新统沙河街组三段下亚段预测岩性三角图

Fig.3 Prediction of lithology of the lower sub-member of Es₃, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

并预测模型及相关参数进行对比分析。

混合细粒岩及灰岩的测井响应特征相似,对比发现采用密度曲线法预测的结果(图 4a,c)要好于 $\Delta\log R$ 法(图 4b,d),因此优选密度曲线法进行 TOC 预测。黏土岩具有相对明显的测井响应特征,GR 曲线相对较高,黏土岩实测 TOC 含量与密度曲线和声波时差曲线存在较为明显的线性关系

(图 5),利用多元回归方法进行 TOC 含量预测。粉砂岩具有低 GR、低 AC、低 NPHI 的测井响应特征,易确定基线的位置,可运用 $\Delta\log R$ 法进行 TOC 预测。

通过对比研究,建立了不同岩性段选用不同的 TOC 预测方法的基本公式,形成了不同岩性的分段 TOC 预测方法(表 2)。其中,混合细粒岩和灰岩

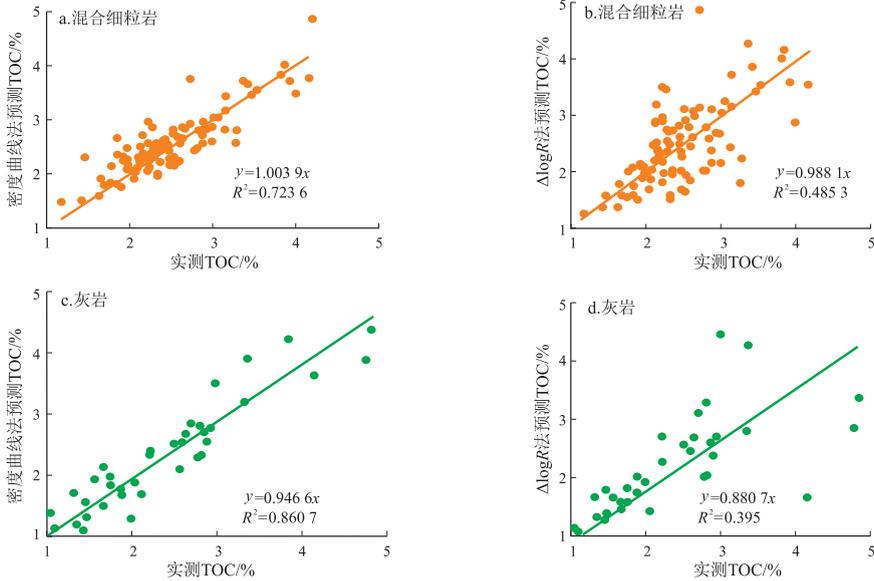


图 4 渤海湾盆地东营凹陷始新统沙河街组三段下亚段主要岩性不同方法 TOC 的预测值与实测值交会图
Fig.4 Predicted and measured values of TOC with different methods, lower sub-member of Es₃, Dongying Sag, Bohai Bay

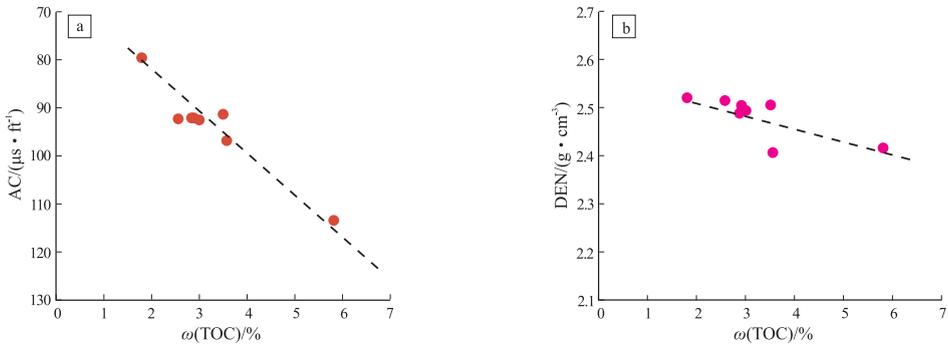


图 5 渤海湾盆地东营凹陷始新统沙河街组三段下亚段黏土岩中 AC、DEN 曲线与 TOC 实测值交会图
Fig.5 AC, DEN and measured TOC values in clay rocks, lower sub-member of Es₃, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

表 2 渤海湾盆地东营凹陷始新统沙河街组三段下亚段不同岩性 TOC 预测模型
Table 2 Prediction models of TOC of different lithologies, lower sub-member of Es₃, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

岩性	TOC 预测方法	预测模型及参数
混合细粒岩	密度曲线法	$\omega(TOC) = a_1 DEN + b_1$
灰岩	密度曲线法	$\omega(TOC) = a_2 DEN + b_2$
粉砂岩	$\Delta\log R$ 法	$\Delta\log R = \lg\left(\frac{R}{2.213}\right) + 0.02(\Delta t - 75.013)$ $\omega(TOC) = 10^{(2.297 - 0.168 \Delta\log R)} \Delta\log R + c_3$
泥岩	多元回归法	$\omega(TOC) = a_4 DEN + b_4 AC + c_4 GR + d_4$

注: DEN 为密度曲线; R 为电阻率曲线; Δt 为声波时差曲线; LOM 为成熟度指数; a_1, a_2, a_4, b_4, c_4 为斜率; b_1, b_2, c_3, d_4 为截距。

运用密度曲线方法预测 TOC 含量;粉砂岩运用 $\Delta\log R$ 法预测 TOC 含量;黏土岩运用多元回归法预测 TOC 含量。

3.2 预测结果对比验证

为验证分段 TOC 预测方法的适用性及合理性,对三种不同 TOC 预测方法进行对比分析,即不同岩性的 TOC 分段预测方法、密度测井法和 $\Delta\log R$ 预测法。结果表明,运用分段预测 TOC 方法得到的预测值与实测值之间的相关系数约为0.84,高于密度曲线法和 $\Delta\log R$ 法(图 6),说明该方法在本研

究区具有较好的适用性。

TOC 含量自下而上呈现从高到低的变化规律,其中高丰度段主要集中在沙三下亚段中下部(3 160~3 232 m),厚度约 72 m。该段预测 TOC 含量为 0.88%~7.04%,中位值为 2.51%,而实测 TOC 含量为 1.09%~8.83%,中位值为 2.64%,二者数据较为吻合。对比发现,预测得到的 TOC 高丰度段与目前东营凹陷的勘探主力层系较为一致。

利用该预测方法实现了对 Fy1 井沙三下亚段泥页岩的岩性及 TOC 含量预测(图 7)。对比岩性

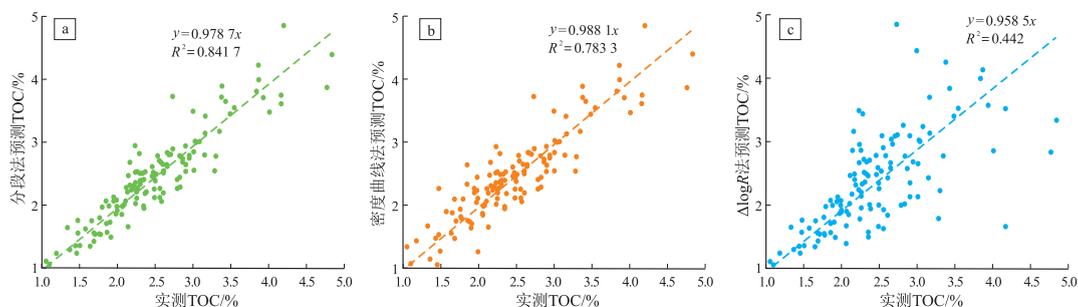


图 6 渤海湾盆地东营凹陷始新统沙河街组三段下亚段不同预测方法预测 TOC 与实际值交会图

Fig.6 Measured and predicted TOC values with different methods, lower sub-member of Es₃, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

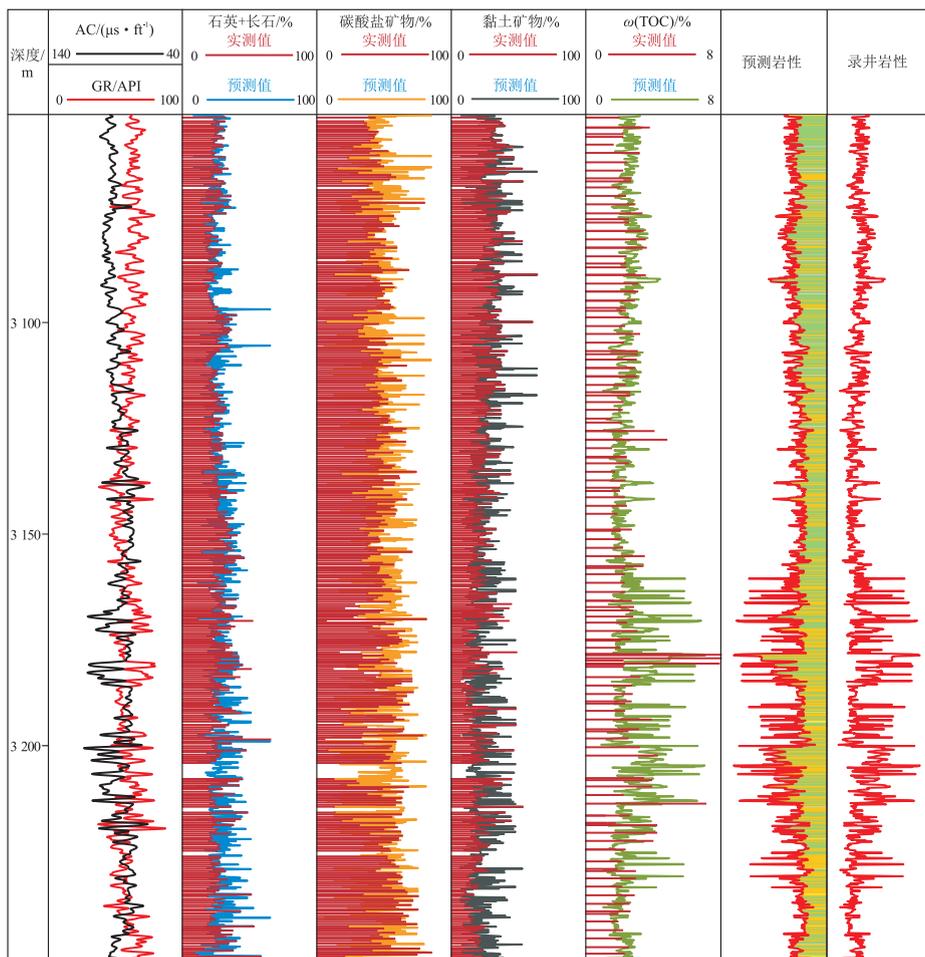


图 7 渤海湾盆地东营凹陷 Fy1 井始新统沙河街组三段下亚段柱状图

Fig.7 Histogram of lower sub-member of Es₃, well Fy1, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

预测结果与实际录井数据,可见该方法可对薄层进行预测,提高了岩性的预测精度。Fy1 井沙三下亚段主要发育混合细粒岩与灰岩,其中,下半部岩性以灰岩为主夹薄层混合细粒岩,上半部岩性以混合细粒岩为主夹薄层灰岩;灰岩自下而上单层厚度变薄,含量较低,指示水体加深,陆源物质输入增强,间接指示沙三下亚段为半深水—深水的沉积环境。

4 结论

(1) 东营凹陷沙三下亚段是页岩油勘探的重要层系,发育粉砂岩、黏土岩、灰岩及混合细粒岩,以灰岩和混合细粒岩为主;不同岩相具有不同的测井响应特征。

(2) 建立了针对东营凹陷沙三下亚段不同岩性的 TOC 预测方法,并开展了应用研究。黏土岩采用多元回归法预测 TOC 含量,粉砂岩采用 $\Delta\log R$ 法预测 TOC 含量。对于混合细粒岩及灰岩,TOC 含量预测采用密度曲线法预测效果较好。

(3) 该方法克服了测试实验周期长、成本高、取样难等难题,同时提高了岩性及 TOC 的预测精度,为页岩油资源评价、“甜点”预测及目标优选提供了重要依据。

参考文献:

- [1] 陈宗清.四川盆地寒武统九老洞组页岩气勘探[J].中国石油勘探,2012,17(5):71-78.
CHEN Zongqing.Shale gas exploration in Jiulaodong Formation of Lower Cambrian,Sichuan Basin[J].China Petroleum Exploration,2012,17(5):71-78.
- [2] 陈康,张金川,唐玄,等.大民屯凹陷沙四段页岩含油率影响因素分析[J].中国石油勘探,2015,20(6):22-28.
CHEN Kang,ZHANG Jinchuan,TANG Xuan,et al.Analysis of influence factors for shale oil contents in 4th member of Shahejie Formation in Damintun Sag[J].China Petroleum Exploration,2015,20(6):22-28.
- [3] 贺君玲,邓守伟,陈文龙,等.利用测井技术评价松辽盆地南部页岩岩[J].吉林大学学报(地球科学版),2006,36(6):909-914.
HE Junling,DENG Shouwei,CHEN Wenlong,et al.Evaluation of oil shale in the southern Songliao Basin using logging techniques[J].Journal of Jilin University (Earth Science Edition),2006,36(6):909-914.
- [4] 王清辉,冯进.烃源岩 TOC 测井评价方法及应用:以珠江口盆地文昌组为例[J].天然气地球科学,2018,29(2):251-258.
WANG Qinghui,FENG Jin.The TOC logging evaluation methods and application of source rock;a case study of Wenchang Formation in Pearl River Mouth Basin[J].Natural Gas Geoscience,2018,29(2):251-258;
- [5] 胡慧婷,卢双舫,刘超,等.测井资料计算源岩有机碳含量模型对比及分析[J].沉积学报,2011,29(6):1199-1205.
HU Huiting,LU Shuangfang,LIU Chao,et al.Models for calculating organic carbon content from logging information;comparison and

analysis[J].Acta Sedimentologica Sinica,2011,29(6):1199-1205.

- [6] 宋占东,查明,张小莉,等.烃源岩有机碳测井定量评价及在高邮凹陷永安地区的应用[J].西安石油大学学报(自然科学版),2009,24(2):18-20.
SONG Zhandong,ZHA Ming,ZHANG Xiaoli,et al.A method for the quantitative evaluation of the organic carbon content of the hydrocarbon source rock from well logging information and its application in Yong'an Oilfield in Gaoyou Sag[J].Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition),2009,24(2):18-20.
- [7] 毛永强,李宁,曹开芳,等.松南地区陆相泥页岩 TOC 定量预测技术[J].断块油气田,2020,27(3):313-334.
MAO Yongqiang,LI Ning,CAO Kaifang,et al.Quantitative prediction technology of TOC of continental mud shale in Songnan area[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2020,27(3):313-334.
- [8] 边雷博,柳广弟,孙明亮,等.优化的 $\Delta\log R$ 技术及其在中—深层烃源岩总有机碳含量预测中的应用[J].油气地质与采收率,2018,25(4):40-45.
BIAN Leibo,LIU Guangdi,SUN Mingliang,et al.Improved $\Delta\log R$ technique and its application to predicting total organic carbon of source rocks with middle and deep burial depth[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2018,25(4):40-45.
- [9] 王敏.页岩油评价的关键参数及求取方法研究[J].沉积学报,2014,32(1):174-181.
WANG Min.Key parameter and calculation in shale oil reservoir evaluation[J].Acta Sedimentologica Sinica,2014,32(1):174-181.
- [10] 吴靖,姜在兴,王欣.湖相细粒沉积岩三—四级层序地层划分方法与特征:以渤海湾盆地东营凹陷古近系沙四上亚段为例[J].天然气地球科学,2018,29(2):199-210.
WU Jing,JIANG Zaixing,WANG Xin.Sequence stratigraphy characteristics of lacustrine fine-grained sedimentary rocks;a case study of the upper fourth member of Paleogene Shahejie Formation,Dongying Sag,Bohai Bay Basin[J].Natural Gas Geoscience,2018,29(2):199-210.
- [11] 刘惠民,孙善勇,操应长,等.东营凹陷沙三段下亚段细粒沉积岩岩相特征及其分布模式[J].油气地质与采收率,2017,24(1):1-10.
LIU Huimin,SUN Shanyong,CAO Yingchang,et al.Lithofacies characteristics and distribution model of fine-grained sedimentary rock in the lower Es₃ member, Dongying Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2017,24(1):1-10.
- [12] 李继岩.局限湖盆滨浅湖滩坝砂体沉积特征:以东营凹陷青南洼陷沙四上亚段为例[J].断块油气田,2020,27(2):160-164.
LI Jiyang.Sedimentary characteristics of shore-shallow lake-beach bar in limited lacustrine basin;taking upper part of fourth Member of Shahejie Formation of Qingnan Sag in Dongying Depression as an example[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2020,27(2):160-164.
- [13] 王勇,宋国奇,刘惠民,等.济阳拗陷细粒沉积岩形成环境与沉积构造[J].东北石油大学学报,2015,39(3):7-14.
WANG Yong,SONG Guoqi,LIU Huimin,et al.Formation environment and sedimentary structures of fine-grained sedimentary rock in Jiyang Depression[J].Journal of Northeast Petroleum University,2015,39(3):7-14.
- [14] 逢淑伊,操应长,梁超.渤海湾盆地东营凹陷沙四上亚段—沙三下亚段岩相特征及沉积环境:以樊页 1 井为例[J].石

油与天然气地质,2019,40(4):799-809.

PANG Shuyi, CAO Yingchang, LIANG Chao. Lithofacies characteristics and sedimentary environment of Es^{4U} and Es^{3L}: a case study of Well FY1 in Dongying sag, Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(4): 799-809.

[15] 王苗, 陆建林, 左宗鑫, 等. 纹层状细粒沉积岩特征及主控因素分析: 以渤海湾盆地东营凹陷沙四上—沙三下亚段为例 [J]. 石油实验地质, 2018, 40(4): 470-478.

WANG Miao, LU Jianlin, ZUO Zongxin, et al. Characteristics and dominating factors of lamellar fine-grained sedimentary rocks: a case study of the upper Es₄ member-lower Es₃ member, Dongying Sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2018, 40(4): 470-478.

[16] 杜学斌, 刘辉, 刘惠民, 等. 细粒沉积物层序地层划分方法初探: 以东营凹陷樊页 1 井沙三下—沙四上亚段泥页岩为例 [J]. 地质科技情报, 2016, 35(4): 1-11.

DU Xuebin, LIU Hui, LIU Huimin, et al. Methods of sequence stratigraphy in the fine-grained sediments: a case from the upper fourth sub-member and the lower third sub-member of the Shahejie Formation in well Fanye 1 of Dongying Depression [J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(4): 1-11.

[17] 邹才能, 杨智, 崔景伟, 等. 页岩油形成机制、地质特征及发展对策 [J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(1): 14-26.

ZOU Caineng, YANG Zhi, CUI Jingwei, et al. Formation mechanism, geological characteristics and development strategy of non-marine shale oil in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(1): 14-26.

[18] 朱日房, 张林晔, 李政, 等. 陆相断陷盆地页岩油资源潜力评价: 以东营凹陷沙三段下亚段为例 [J]. 油气地质与采收率, 2019, 26(1): 129-136.

2019, 26(1): 129-136.

ZHU Rifang, ZHANG Linye, LI Zheng, et al. Evaluation of shale oil resource potential in continental rift basin: a case study of Lower Es₃ Member in Dongying Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26(1): 129-136.

[19] 姜在兴, 梁超, 吴靖, 等. 含油气细粒沉积岩研究的几个问题 [J]. 石油学报, 2013, 34(6): 1031-1039.

JIANG Zaixing, LIANG Chao, WU Jing, et al. Several issues in sedimentological studies on hydrocarbon-bearing fine-grained sedimentary rocks [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(6): 1031-1039.

[20] 张顺, 陈世悦, 谭明友, 等. 东营凹陷西部沙河街组三段下亚段泥页岩沉积微相 [J]. 石油学报, 2014, 35(4): 633-645.

ZHANG Shun, CHEN Shiyue, TAN Mingyou, et al. Characterization of sedimentary microfacies of shale in the lower third sub-member of Shahejie Formation, western Dongying Sag [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(4): 633-645.

[21] 王濡岳, 丁文龙, 王哲, 等. 页岩气储层地球物理测井评价研究现状 [J]. 地球物理学进展, 2015, 30(1): 228-241.

WANG Ruyue, DING Wenlong, WANG Zhe, et al. Progress of geophysical well logging in shale gas reservoir evaluation [J]. Progress in Geophysics, 2015, 30(1): 228-241.

[22] 朱定伟, 王香增, 丁文龙, 等. 测井资料在优质页岩气储层识别中的应用: 以鄂尔多斯盆地东南部长 7 段黑色页岩为例 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2013, 28(2): 25-29.

ZHU Dingwei, WANG Xiangzeng, DING Wenlong, et al. Application of logging data in the identification of high quality shale gas reservoirs: an example from the Chang-7 black shale in southeastern Ordos Basin [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2013, 28(2): 25-29.

(编辑 徐文明)



(上接第 669 页)

[10] 王周秀, 徐成法, 姚秀斌. 化探热释烃方法机理及影响因素 [J]. 物探与化探, 2003, 27(1): 63-68.

WANG Zhouxiu, XU Chengfa, YAO Xiubin. The mechanism of the geochemical thermally-released hydrocarbon method and its affecting factors [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2003, 27(1): 63-68.

[11] 戴鸿鸣, 王顺玉, 陈义才. 油气勘探地球化学 [M]. 2 版. 北京: 石油工业出版社, 2011: 210-211.

DAI Hongming, WANG Shunyu, CHEN Yicai. Petroleum exploration geochemistry [M]. 2nd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 210-211.

[12] 杨振鸿, 鲍征宇, 李方林. 若尔盖地区酸解烃与热释烃影响因素研究 [J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(1): 48-53.

YANG Zhenhong, BAO Zhengyu, LI Fanglin. Study of influence factors between acidolysis hydrocarbon and pyrolysis-desorbed hydrocarbon in Ruergai area [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 29(1): 48-53.

[13] 刘晓艳. 粘土矿物对有机质演化的影响 [J]. 天然气地球科学, 1995(1): 23-26.

LIU Xiaoyan. The influence of clay minerals on the evolution of organic matter [J]. Natural Gas Geoscience, 1995(1): 23-26.

[14] 王行信, 蔡进功, 包于进. 粘土矿物对有机质生烃的催化作用 [J]. 海相油气地质, 2006, 11(3): 27-38.

WANG Xingxin, CAI Jingong, BAO Yujin. Catalysis of clay mineral to organic matter in hydrocarbon genesis [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 11(3): 27-38.

[15] 王宁, 吴春燕, 贾朋涛, 等. 烃源岩有机质生烃过程中的粘土矿物催化作用研究进展 [J]. 内蒙古石油化工, 2011, 37(5): 3-7.

WANG Ning, WU Chunyan, JIA Pengtao, et al. The advances of research on the catalysis of clay minerals to organic matter in hydrocarbon generation from hydrocarbon source rocks [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2011, 37(5): 3-7.

[16] 侯读杰, 冯子辉. 油气地球化学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2011: 48-53.

HOU Dujie, FENG Zihui. Petroleum geochemistry [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 48-53.

[17] 徐冠军, 高瑛, 董淑红, 等. 沉积岩中总有机碳的测定: GB/T 19145—2003 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 1-3.

XU Guanjun, GAO Ying, DONG Shuhong, et al. GB/T 19145-2003: Determination of total organic carbon in sedimentary rock [S]. Beijing: China Standards Press, 2003: 1-3.

(编辑 韩 彧)