

The Application of Improved ΔIgR Method in Studying the Total Organic Carbon Content of Source Rocks in Shanan Sag

Bo Wang¹, Haifeng Yang², Yuechuan Wang², Qingshun Liu², Xiang Tu²

¹Entertech-Drilling & Production Co., CNOOC, Tianjin

²Tianjin Branch, CNOOC (China) Ltd., Tianjin

Email: wangbo6@cnooc.com.cn

Received: Oct. 17th, 2018; accepted: Dec. 13th, 2018; published: Feb. 15th, 2019

Abstract

In allusion to the problem being difficult to reflect the vertical continuous change of total organic carbon (w (TOC)) in the study of Bohai Bay basin, the improved ΔIgR method was deployed for a systematical study of it. Study shows that in Shanan Sag there develop 4 sets of effective source rocks, such as Es₃, Es₂ and Es₁ and Ed₃; their total thickness is over 500 m and it has good hydrocarbon generation capacity. However, the w (TOC) of source rocks varies greatly in different periods. Among them, the organic matter in the source rock, which is formed during the mid and early stage of sediment, is especially rich, and w (TOC) is more than 2%, up to 10%.

Keywords

Source Rock, Total Organic Carbon, Improved ΔIgR Method, Shanan Sag, Quantitative Evaluation

改进的 $\Delta I_g R$ 法在沙南凹陷烃源岩总有机碳质量分数研究中的应用

王波¹, 杨海风², 王粤川², 刘庆顺², 涂翔²

¹中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津

²中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津

作者简介: 王波(1980-), 女, 硕士, 工程师, 现主要从事有机地球化学实验分析评价工作。

Email: wangbo6@cnooc.com.cn

收稿日期: 2018年10月17日; 录用日期: 2018年12月13日; 发布日期: 2019年2月15日

摘要

针对渤海海域在烃源岩总有机碳质量分数($w(\text{TOC})$)研究中难以反映其垂向连续变化的问题, 利用改进的 $\Delta I_g R$ 法对其进行系统研究。研究认为, 沙南凹陷发育沙河街组三段、二段、一段和东营组三段4套有效烃源岩, 总厚度可超过500 m, 具有良好的生烃能力。但不同时期烃源岩的 $w(\text{TOC})$ 变化较大。其中, 沙三段中、早期和沙一段沉积时期形成的烃源岩中有机质尤为富集, $w(\text{TOC})$ 均大于2%, 最高可达10%。

关键词

烃源岩, 总有机碳质量分数, 改进的 $\Delta I_g R$ 法, 沙南凹陷, 定量评价

Copyright © 2019 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究区概况

沙南凹陷位于渤海西部海域, 呈东北-南西向展布, 面积约2000 km²。东与渤中凹陷相接, 东南隔埕北凹陷与黄河口凹陷相望, 西邻歧口凹陷, 南为埕子口凸起和埕北低凸起, 北靠沙垒田凸起[1][2](图1)。截至目前, 该区已累计钻探井20余口, 已基本揭示可能发育始新统沙河街组三段(E_{s3})、渐新统沙河街组一段(E_{s1})、二段(E_{s2})和东营组三段(E_{d3})等多套烃源岩, 但尚未获商业油气发现, 是渤海海域油气发现程度最低的一个凹陷, 其生排烃能力长期备受质疑[3]。

2. 试验井选择及方法原理

2.1. 试验井选择

优选CFD23井进行对比研究, 主要原因在于该井实测数据较为丰富, 共有110个实测总有机碳数据, 便于测井计算资料的拟合与验证。并且, 从该井烃源岩的成熟度热演化特征来看, 从 E_{d3} 到 E_{s3} 烃源岩整体处于较低成熟阶段(镜质体反射率为0.41%~0.58%), 有效避免了有机质成熟度对测井曲线的影响[5]。

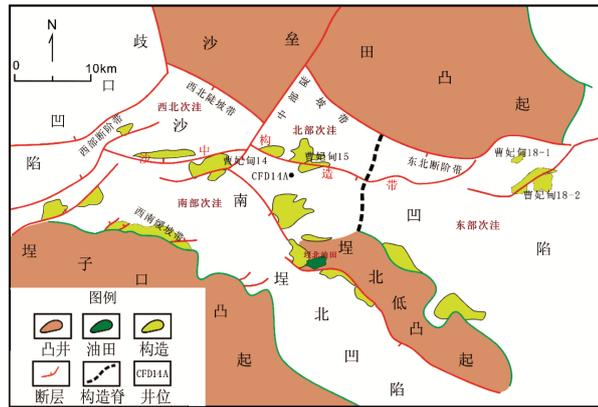


Figure 1. The structural position of Shan'an Sag (from Reference [4])

图 1. 沙南凹陷区域构造位置图(据文献[4])

2.2. 方法原理及应用流程

$\Delta \lg R$ 法计算烃源岩总有机碳质量分数($w(\text{TOC})$)的基本原理就是:采用相对刻度使每 2 个对数电阻率曲线叠合在声波时差值为 $100 \mu\text{s}/\text{ft}$ 或 $328 \mu\text{s}/\text{m}$ 的曲线上(1 个电阻率单位的比率为 $50 \mu\text{s}/\text{ft}$ 或 $164 \mu\text{s}/\text{m}$), 2 条曲线的幅度差越大表明有机质丰度越高[5] [6] [7] [8] [9]。

基于 Passey 公式提出了计算泥岩地层中烃源岩 $w(\text{TOC})$ 的公式:

$$w(\text{TOC}) = A \left[\lg(R/R_{\text{base}}) + a(\Delta t - \Delta t_{\text{base}}) \right] + B$$

式中: A 为拟合回归的相关系数; R 为地层电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; R_{base} 为基线处地层电阻率的平均值, $\Omega \cdot \text{m}$; a 为依赖于每一个电阻率刻度与 $-50 \mu\text{s}/\text{ft}$ 比值; Δt 为声波时差, $\mu\text{s}/\text{ft}$; Δt_{base} 为基线处声波时差的平均值, $\mu\text{s}/\text{ft}$; B 为 $w(\text{TOC})$ 背景值, 为该地区的经验值, %。

对 CFD23 井烃源岩具体评价可分为以下 4 个步骤。

1) 选取基线, 采用相对刻度使每 2 个对数电阻率曲线叠合在 $100 \mu\text{s}/\text{ft}$ 声波时差曲线上, 2 条曲线重叠的刻度确定为非烃源岩的基线, 声波时差为 $51.37 \mu\text{s}/\text{ft}$, 电阻率为 $2.013 \Omega \cdot \text{m}$ 。 $\Delta \lg R = \lg(R/1.14) + a(\Delta t - 51.37)$ 。

2) 根据实测 $w(\text{TOC})$ 与 $\Delta \lg R$ 的线性关系, 通过公式 $w(\text{TOC})_a = A \Delta \lg R + B$, 得出参数 A 为 3.922, B 为 -0.86 , 即计算烃源岩 $w(\text{TOC})$ 的经验公式可表征为: $w(\text{TOC})_c = 3.92 \Delta \lg R - 0.86$ 。

3) 对相同深度 87 个 $w(\text{TOC})_a$ 与 $w(\text{TOC})_c$ 数据进行相关性分析, $w(\text{TOC})_a = 0.979 w(\text{TOC})_c + 0.27$, 相关性达到 0.8391, 具有较高的置信度(图 2)。

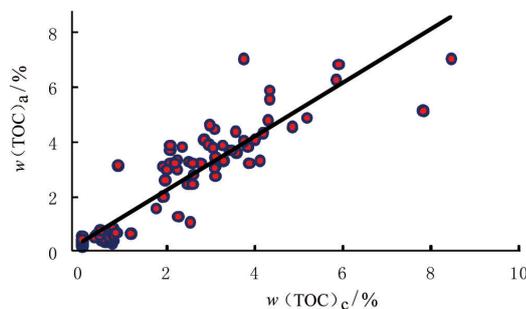


Figure 2. The correlation of $w(\text{TOC})_a$ and $w(\text{TOC})_c$ of Well CFD23 in Shan'an Sag

图 2. 沙南凹陷 CFD23 井 $w(\text{TOC})_a$ 与 $w(\text{TOC})_c$ 的相关性

4) 鉴于沉积环境的多变性,为精细客观评价不同丰度烃源岩的生排烃潜力,在计算过程中分别对 Ed₃、Es₁、Es₂ 和 Es₃ 进行分析评价,并按照 $0.5\% \leq w(\text{TOC}) < 1.0\%$ 、 $1.0\% \leq w(\text{TOC}) < 2.0\%$ 、 $2.0\% \leq w(\text{TOC}) < 3.0\%$ 、 $3.0\% \leq w(\text{TOC}) < 4.0\%$ 、 $w(\text{TOC}) \geq 4.0\%$ 共 5 个范围域段分别统计烃源岩厚度。

3. 结果讨论

计算结果表明,CFD23 井 Es₃、Es₂、Es₁ 和 Ed₃ 均发育有效烃源岩,累计有效烃源岩厚度可达 528 m,且 Es₃ 和 Ed₃ 有效烃源岩厚度较大,分别达到 212 m 和 213 m (表 1)。并且从有效烃源岩厚度与地层厚度的相对关系来看,Ed₃ 更占优势,有效烃源岩发育厚度占到地层厚度的 83.5%,而传统认为的主力烃源岩 Es₃ 有效烃源岩发育厚度占到地层厚度的 74.9%。但二者相比,Es₃ 优质烃源岩的发育更占优势,Es₃ 烃源岩中 $w(\text{TOC}) \geq 3\%$ 的优质烃源岩厚度达到了 171 m,占其烃源岩发育厚度的 80.7%,而 Ed₃ 仅为 6 m,仅占其烃源岩发育厚度的 2.8%。Es₁ 有效烃源岩厚度仅为 62 m,但是从其有效烃源岩厚度与地层厚度的相对关系来看,与 Ed₃ 有效烃源岩的发育水平相当,占其地层厚度的 81.6%,并且发育的烃源岩中 $w(\text{TOC}) \geq 3\%$ 的优质烃源岩占 69%。Es₂ 有效烃源岩厚度最薄,仅为 41 m,占其地层厚度的 71.9%,其中 $w(\text{TOC}) \geq 3\%$ 的优质烃源岩厚度为 16 m,占有效烃源岩厚度的 39%。

Table 1. The thickness distribution of effective source rocks of Well CFD23 in Shan Sag
表 1. 沙南凹陷 CFD23 井有效烃源岩厚度分布表

地 层	不同 $w(\text{TOC})$ 范围的烃源岩厚度/m					合计	地层厚度/m
	$w(\text{TOC}) \geq 4\%$	$4\% > w(\text{TOC}) \geq 3\%$	$3\% > w(\text{TOC}) \geq 2\%$	$2\% > w(\text{TOC}) \geq 1\%$	$1\% > w(\text{TOC}) \geq 0.5\%$		
Ed ₃	0	6	95	53	59	213	255
Es ₁	31	12	19	0	0	62	76
Es ₂	6	10	20	5	0	41	57
Es ₃	70	101	40	1	0	212	283

而从有机碳的垂向分布特征来看,不同层段的内部和不同层段之间烃源岩的发育质量仍有较大的差异性(图 3)。Es₁ 相对有机质较为富集, $w(\text{TOC})$ 均大于 2%,最高可接近 10%,反映该时期应为有机质集中勃发期,且 Es₁ 沉积时期的咸化还原水体环境利于有机质后期保存[10] [11] 和优质烃源岩的密集发育。Es₃ 烃源岩整体有机质丰度较高,绝大部分烃源岩 $w(\text{TOC})$ 大于 2%,其中,Es₃ 沉积中、早期水体环境与 Es₃ 沉积晚期均有较明显的差异,表现为明显的高有机质丰度,烃源岩 $w(\text{TOC})$ 大多在 4% 以上,最高可达 10%。Es₂ 烃源岩 $w(\text{TOC})$ 基本大于 2%,但 Es₂ 沉积晚期发育的烃源岩有机质丰度明显低于沉积早期形成的烃源岩,这可能与沉积末期研究区接收广泛的辫状河三角洲沉积砂体密切相关[10] [11],相对丰富的陆相碎屑的输入影响了烃源岩的发育与保存。Ed₃ 烃源岩有机质丰度相对偏低, $w(\text{TOC})$ 多小于 3%,烃源岩内部有机质差异性较大,Ed₃ 下部烃源岩较好, $w(\text{TOC})$ 多在 2%~3% 之间,上部烃源岩较差有机质丰度低, $w(\text{TOC})$ 多小于 1%,可能与 Ed₃ 沉积时期水体环境逐渐由偏咸水环境逐渐过渡到淡水环境相关。

4. 结论

1) 在对 $\Delta \lg R$ 法进行改进的基础上,建立了沙南凹陷烃源岩 $w(\text{TOC})_c$ 预测方程,与实测 $w(\text{TOC})_a$ 的相关性达到 0.8391,具有较高的可信度。

2) 沙南凹陷发育 Es₃、Es₂、Es₁ 和 Ed₃ 共 4 套有效烃源岩,且厚度大,有效烃源岩累计厚度可超过 500 m。

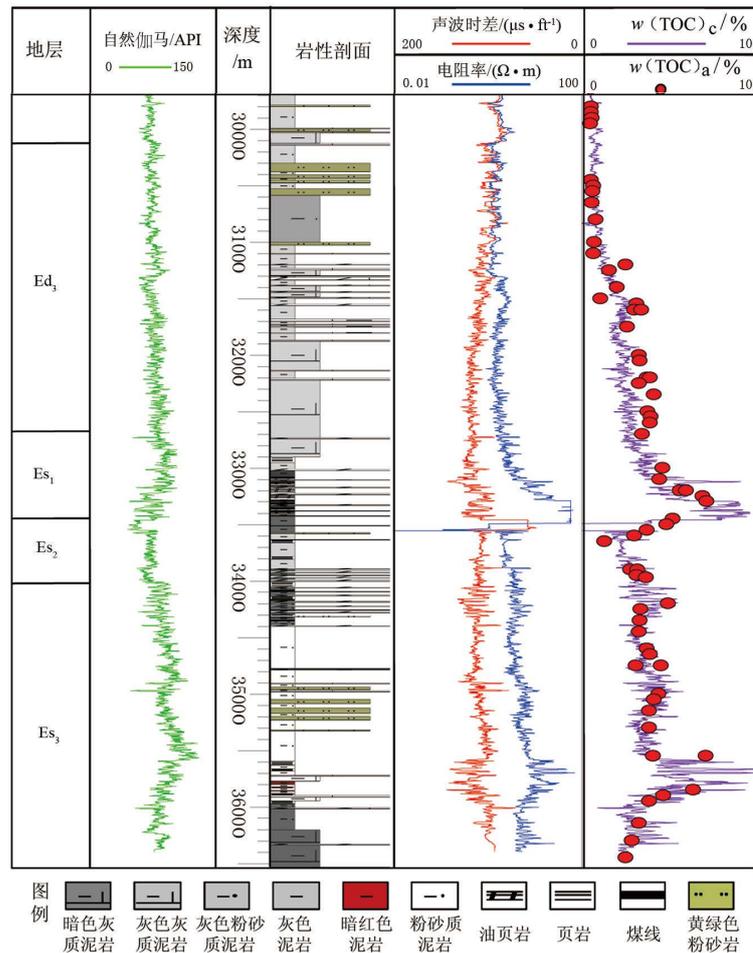


Figure 3. The complex histogram of successive $w(\text{TOC})$ of Well CFD23 in Shan Sag
 图 3. 沙南凹陷 CFD23 井连续地层 $w(\text{TOC})$ 综合图

3) Es_3 中、早期和 Es_1 沉积时期为优质烃源岩的集中发育期, 烃源岩 $w(\text{TOC})$ 均在 2% 以上, 最高可达 10%, 将对研究区烃类的生成起到重要作用。

参考文献

- [1] 石文龙, 李慧勇, 茆利, 等. 沙南凹陷西洼成藏主控因素及有利勘探区带[J]. 断块油气田, 2015, 22(2): 137-141.
- [2] 魏刚, 杨海风, 冯冲, 等. 渤海海域沙南凹陷沙二段储层成岩作用及其对储集层的影响[J]. 地质科技情报, 2017, 36(4): 160-165.
- [3] 曾庆辉, 卓勤功. 济阳坳陷临南地区沙四段油源对比及石油地质意义[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2006, 25(2): 10-12.
- [4] 马洪, 王循, 李欣, 等. 渤海湾盆地深层致密砂岩气勘探潜力浅析[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2012, 31(5): 63-70.
- [5] 王贵文, 朱振宇, 朱广宇. 烃源岩测井识别与评价方法研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 50-52.
- [6] 朱光有, 金强, 张水昌, 等. 烃源岩非均质性的控制因素研究[J]. 矿物岩石, 2003, 23(4): 95-100.
- [7] 陆巧焕, 张晋言, 李绍霞. 测井资料在生油岩评价中的应用[J]. 测井技术, 2006, 30(1): 80-83.
- [8] 张建新, 王婧媪, 李运振. $\Delta \lg R$ 法在生油岩评价中的应用[J]. 断块油气田, 2001, 8(2): 6-8.
- [9] 张志伟, 张龙海. 测井评价烃源岩的方法及其应用效果[J]. 石油勘探与开发, 2002, 27(3): 84-87.

- [10] 刘占红, 李思田, 辛仁臣, 等. 地层记录中的古气候信息及其与烃源岩发育的相关性——以渤海黄河口凹陷古近系为例[J]. 地质通报, 2007, 26(7): 830-840.
- [11] 米立军, 毕力刚, 龚胜利, 等. 渤海新近纪古湖发育的直接证据[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(2): 37-42.

[编辑] 孙巍

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org