

应用地化录井技术判别渤海油区原油性质

刘 坤¹, 马金鑫¹, 李鸿儒¹, 苑仁国¹, 邓贵柏², 李 进²

(1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300450; 2. 武汉时代地智科技股份有限公司, 湖北 武汉 430040)

摘要:井场地化录井技术有助于现场快速定量评价原油性质,进而明确储集层的油气性质,该技术作为常规手段在渤海海域油气田勘探开发得到了广泛应用。以大量渤海油区岩石热解资料和气相色谱资料为基础,结合油井测试化验及试油成果进行系统分析,探讨了在不同原油性质的条件下录井参数及其衍生参数的响应特征,提出了以主峰碳数、 $(S_0 + S_1)/S_2$ 、 OPI/PS 、 $\sum C_{21}^-/\sum C_{22}^+$ 等参数为主的原油性质判断方法并建立模版,在实际应用中取得了良好的效果。

关键词:地化录井 岩石热解 气相色谱 原油性质 渤海油区

中图分类号:P632 **文献标志码:**A

Identification of oil properties in Bohai oil area by geochemistry logging

LIU Kun¹, MA Jinxin¹, LI Hongru¹, YUAN Renguo¹, DENG Guibo², LI Jin²

(1. Engineering Technology Company of CNOOC Energy Development Co. Ltd., Tianjin 300450, China;

2. Wuhan Times Geosmart Science & Technology Co. Ltd., Wuhan 430040, China)

Abstract: Well site geochemical logging technology can help to evaluate the crude oil properties rapidly and quantitatively, and then further clarify the oil and gas properties of reservoirs. As a conventional method, the technology has been widely applied in the exploration and development of oil and gas fields in the Bohai Sea area. Based on a large amount of rock pyrolyses and gas chromatography data of Bohai Oilfield, the systematic analysis was carried out in combination with oil well testing and testing results. So it was discussed the different response characteristics of oil logging parameters and their derived parameters in terms of different oil properties. By parameters such as main peak carbon number and $(S_0 + S_1)/S_2$ and $\sum C_{21}^-/\sum C_{22}^+$, etc., the distinguish method of oil properties was proposed to establish charts. Good results have been achieved in practical application.

Key words: geochemical logging; rock pyrolysis; gas chromatography; oil property; Bohai oil area

在油气藏形成过程中,烃类的运移、散失及微生物改造等作用会使原油性质发生变化而形成不同油质的油气藏^[1]。有效判别原油性质是储层解释评价中不可或缺的关键环节^[2],原油性质的好坏也是确定油藏类型以及制定油藏开发方案的直接依据。

渤海海域为典型的断陷盆地,在主断裂的控制下,形成了多种类型的构造圈闭,具有油藏类型多,油气分布范围广,原油性质多样的特点。由于沉积的多旋回性与构造成因的多样性的叠置,该区以复式油气藏类型为主体,钻探显示同一单井钻遇不同油质的概率较高,油质具有深部轻、浅层重的特点,其中渤海油区稠油探明地质储量占 50% 以上^[3]。为了在钻探过程中快速识别原油性质,对渤海油田岩石热解和热蒸发烃气相色谱等相关资料进行系统

分析,寻找对油质轻重变化敏感的参数,并建立原油性质判别图版,在实际应用中油质类型识别符合度得到较大提升。

1 地化录井基本原理

地化录井技术由岩石热解分析、气相色谱分析(细分为饱和烃气相色谱和轻烃气相色谱)等技术组成。

收稿日期:2018-04-11;改回日期:2018-05-15。

第一作者简介:刘坤(1985-),工程师,从事石油地质工作。E-mail:liukun@cnooc.com.cn。

攻关项目:中海石油(中国)有限公司自主科研项目“细分构造带的录井油气水解释模型及评价方法研究”(编号:ZZKY-2016-TJ-01)。

岩石热解分析原理是通过加热,样品中的烃类蒸发成气体,而干酪根、沥青质、胶质等高聚合有机质则会发生裂解,生成具有挥发性的烃类。随后气态烃类通过载气携带,经过氢火焰检测器检测,输出的电流信号会随着检测浓度的不同而发生相应的变化,放大后经电脑运行处理,可以获得各组分峰的含量和最高热解温度^[4]。

气相色谱分析是将样品放入热解炉,通过加热使岩样中的烃类挥发,并由载气携带进入色谱柱,穿过一定的柱长后因不同的吸附或溶解性会相互分离,有序地离开色谱柱后再依次进入FID检测器,产生的离子流信号经放大后,由计算机记录各组分色谱峰及其相对含量^[5]。

2 原油性质评价方法

一般来说,原油性质与其组分含量有关,组分所含胶质和沥青质等重组分越高,则原油比重越大,油品质量也越差;反之,则比重越轻,原油质量越好。原油性质不同对应热解参数的相对含量也存在差异,通过峰面积与烃含量关系得出的 S_0 代表气态烃组分含量, S_1 代表轻质油组分含量, S_2 为重质油的含量,以此热解参数为基础衍生出评价原油性质的参数,其中原油轻重组分指数 PS 、油产率指数 OPI 以及 $(S_0 + S_1)/S_2$ 对油质较为敏感。不同性质的原油在气相色谱上也表现出不同的参数特征,轻质油主峰碳 $nC_{13} \sim nC_{15}$,正构烷烃碳数在 $nC_1 \sim nC_{28}$ 之间, $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 比值较高,谱图呈前端高峰、坡度较陡的特征;中质油以饱和烃类为主,主峰碳 $nC_{18} \sim nC_{20}$,正构烷烃碳数介于 $nC_{10} \sim nC_{32}$ 之间, $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 比值小于轻质原油,谱图呈现中部高峰的特征;重质油以异构烃、环烷烃、胶质和沥青质为主,主峰碳 $nC_{23} \sim nC_{25}$,正构烷烃碳数为 $nC_{11} \sim nC_{33}$, $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 比值要小于中质原油,谱图呈现基线隆起、后端高峰的特征。

因此,充分利用热解参数和饱和烃气相色谱资料,研究 $(S_0 + S_1)/S_2$ 、 PS 、 OPI 、主峰碳数以及 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 等参数随原油性质变化的不同响应特征,从而总结规律,建立图版,为该区域储层评价、油源对比及后期制定油藏开发方案提供参考。

2.1 主峰碳数与 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 油质判断图版

在大量测试及试油化验资料统计的基础上,选取主峰碳数为纵坐标、衍生参数 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 为横坐标,在单对数坐标上进行散点投点,划分出油质分界线(图1)。图中显示原油性质界限明显,分布规

律清晰;其中重质油主峰碳数在25以上、 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 分布在0.05~0.7之间;中质油主峰碳数在15~25之间、 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 主要介于0.5~0.8范围内;轻质油主峰碳数一般小于15, $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 在0.7以上。

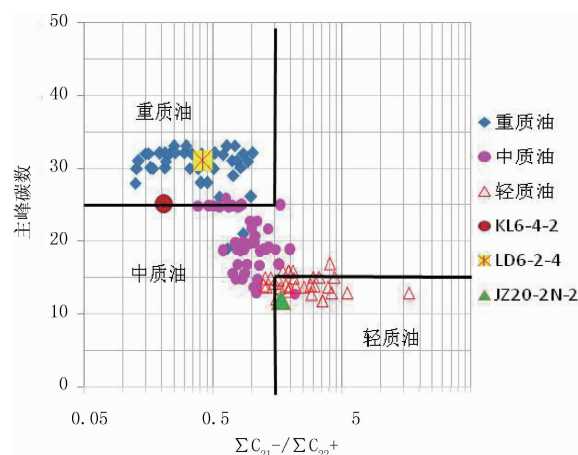


图1 主峰碳数与 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 模版

2.2 $(S_0 + S_1)/S_2$ 与 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 油质判断模版

分别选择 $(S_0 + S_1)/S_2$ 和 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 为纵、横坐标,采用双对数刻度,通过大量散点投点绘制图版(图2)。图中可以划分出3个区域,分别代表轻质油、中质油和重质油,其中重质油的色谱衍生参数 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 在0.05~0.7之间,热解参数 $(S_0 + S_1)/S_2$ 位于0.07~1.0的范围内,处于分界线 $y = 0.2486x^{-3.918}$ 左下方区域;轻质油的 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 参数大多在0.7以上, $(S_0 + S_1)/S_2$ 参数多位于0.6以上,位于分界线 $y = 12.04x^{-3.728}$ 右上方区域;中质油的参数 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 主要在0.5~0.8, $(S_0 + S_1)/S_2$ 介于0.5~5的区域内,介于两条分界线之间。

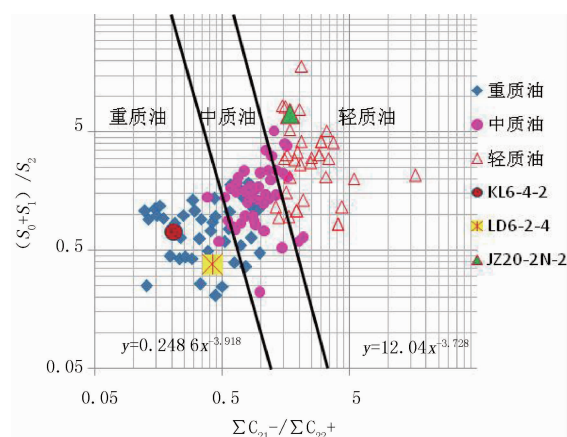


图2 $(S_0 + S_1)/S_2$ 与 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 模版

2.3 主峰碳数与 $(S_0 + S_1)/S_2$ 油质判断模版

分别以主峰碳数和 $(S_0 + S_1)/S_2$ 为纵、横坐标并建立单对数图版(图 3),散点图中显示不同油质的分界趋势线明显。其中重质油位于分界线①之上的区域, $(S_0 + S_1)/S_2$ 主要位于 0.07 ~ 1.0、主峰碳数在 25 以上;轻质油位于分界线②以下的区域, $(S_0 + S_1)/S_2$ 大于 0.6、主峰碳数小于 15;两条分界线之间为中质油分布区,其 $(S_0 + S_1)/S_2$ 参数主要分布在 0.5 ~ 5.0 的区域、主峰碳数一般为 15 ~ 25 之间。

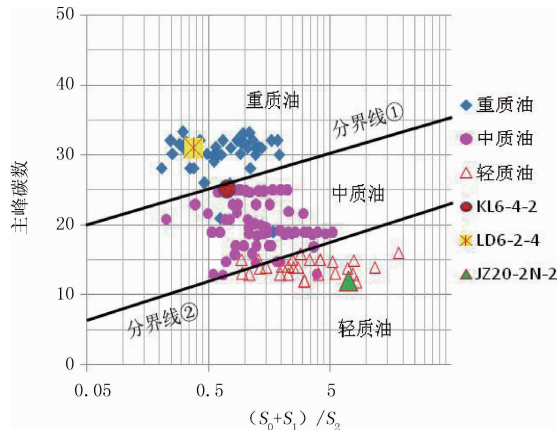


图 3 主峰碳数与 $(S_0 + S_1)/S_2$ 模版

2.4 油产率指数 OPI 与 $PS \cdot P_g$ 油质判断模版

OPI 和 PS 随着原油密度的增加逐渐递减,但不同性质的原油随 OPI 的减小其密度增加的幅度不同,其中轻质油和中质油增加幅度较大,重质油增加幅度较小。参数的计算公式如下:

$$OPI = \frac{S_1}{S_0 + S_1 + S_2} \tag{1}$$

$$PS = S_1/S_2 \tag{2}$$

$$P_g = S_0 + S_1 + S_2 \tag{3}$$

其中: OPI 为油产率指数,无量纲; PS 为原油轻重组分指数,无量纲; P_g 为产烃潜量,mg/g。

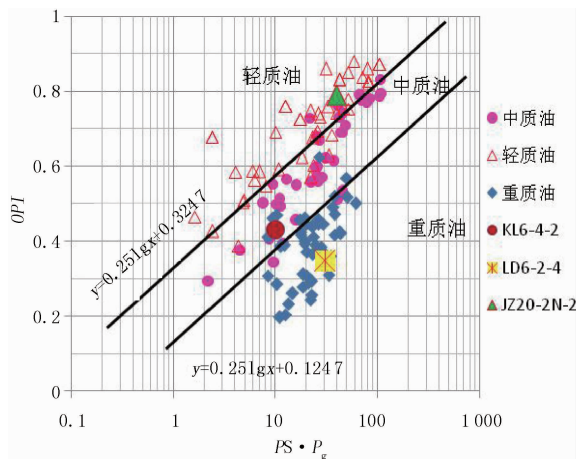


图 4 OPI 与 $PS \cdot P_g$ 模版

分别以 OPI 和 $PS \cdot P_g$ 为纵、横坐标并建立单对数图版(图 4),交会图上不同油质分界线较为明显,可以进行有效划分。图版显示在方程 $OPI = 0.25lg(PS \cdot P_g) + 0.3247$ 左上方为轻质油,在方程 $OPI = 0.25lg(PS \cdot P_g) + 0.1247$ 右下侧为重质油,两条直线之间为中质油。

2.5 PS 指数与主峰碳数油质判断标准

为满足现场快速判断原油油质类型,通过大量数据的统计分析建立了 PS 、主峰碳数判别原油油质类型的标准(表 1)。

表 1 PS 指数和主峰碳数判断油质类型标准

原油性质	轻重组分指数 PS	主峰碳数
轻质油	≥ 3.0	$< nC_{15}$
中质油	$1.0 \sim 3.0$	$nC_{15} \sim nC_{25}$
重质油	≤ 1.0	$> nC_{25}$

3 应用实例

在实际应用中,以主峰碳数和轻重组分指数 PS 进行初步分析,结合以上四种原油性质判别模板相互补充与验证,图版显示结论更为准确和明了。基于衍生参数的解释图版中原油性质规律,结合前人研究,将研究区原油分为轻质油(原油密度 $\rho < 0.87 \text{ g/cm}^3$)、中质油($0.87 \text{ g/cm}^3 \leq \rho < 0.92 \text{ g/cm}^3$)和重质油($\rho \geq 0.92 \text{ g/cm}^3$)。

实例 1: JZ20-2N-2 井位于 LX 凹陷,在井段 2055 ~ 2070 m 录井见油气显示,计算地化录井参数得出 $(S_0 + S_1)/S_2 = 7.19$, $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+ = 1.69$,主峰碳数为 12, OPI 为 0.789, $PS \cdot P_g$ 值为 40.263。分别在以上四个模版上进行投点,图版显示位于轻质油区域(图 1 ~ 图 4)。后期在该层试油时对原油进行取样化验,原油密度为 0.7577 g/cm^3 ,按照原油分类标准划归为轻质油的范畴,图版解释与实际化验结论相吻合。

实例 2: KL6-4-2 井位于 LZW 凹陷,录井在 2569 ~ 2586 m 见油气显示,计算热解衍生参数 $(S_0 + S_1)/S_2$ 为 0.72, OPI 为 0.428, $PS \cdot P_g$ 值为 10.25,色谱衍生参数 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 为 0.21,主峰碳数为 25。在模版上进行投点,其中 $(S_0 + S_1)/S_2$ 与 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 模板显示在重质区域,而另外 3 个图版解释为中质油(图 1 ~ 图 4),综合解释为中质油。该层取样进行油分析,原油密度为 0.8889 g/cm^3 ,属于中质油,录井解释结论与油样分析结论相符。

实例 3: LD6-2-4 井位于 HHK 凹陷,井段

1 564 ~ 1 574 m 录井见油气显示,计算衍生参数(S_0 ($S_0 + S_1$)/ S_2 为0.38, OPI 为0.346, $PS \cdot P_g$ 值为31, $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 为0.42,主峰碳数为31;将计算参数分别投点在模版上,图中显示均落在重质油区域(图1~图4)。对该层取样进行油分析,原油密度为0.951 0 g/cm³,属于重质油类型,模版解释与油分析结论完全吻合。

4 结论与认识

(1)在不同凹陷、不同油源的情况下,利用对原油性质较为敏感的热解和色谱衍生参数图版来判断原油性质,具有较高的符合率,为钻探作业中及时准确判断所钻遇的油质类型提供了便捷的手段。

(2)在参数不全的情况下,模版可单独使用直接判断原油性质,一般情况下应相互验证,互为补充。在同时运用模版进行原油性质判断时,解释结果均相同为最佳;若有差异则以多数相同结论为准;若两两相同,需参考其它资料来认定,大量实验数据证实以主峰碳数与 $\Sigma C_{21}^-/\Sigma C_{22}^+$ 油质判断模版为准。

(3)基于衍生参数的解释图版中原油性质规律,将研究区原油分为轻质油(原油密度 $\rho < 0.87$ g/cm³)、中质油(0.87 g/cm³ $\leq \rho < 0.92$ g/cm³)和重质油($\rho \geq 0.92$ g/cm³)。

(4)该方法在渤海油田的5个不同生油凹陷,36个不同层位的单层中进行应用,油质类型符合率达到94.4%,比常用的主峰碳法提高11.1%。

参考文献:

- [1] 陈章明,王振平,付广,等. 油气藏内烃类再运移及原油性质的改造[J]. 石油大学学报(自然科学版),2000,24(4):43-47.
- [2] 孔郁琪. 地化录井在松辽盆地黑帝庙油层原油性质判别中的应用[J]. 录井工程,2012(4):40-43.
- [3] 王应斌,王强,黄雷,等. 渤海海域油气藏分类方案及分布规律[J]. 海洋地质动态,2010,26(11):7-12.
- [4] 刘强国,刘应忠,刘岩. 录井方法与技术[M]. 北京:石油工业出版社,2017:139-164.
- [5] 梁汉昌. 气相色谱法在气体分析中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2008:61-68.

(编辑 杨芝文)

(上接第16页)

3 认识与建议

在WLZ近地表存在多类型火成岩的地区,数字检波器的应用有以下认识:

(1)当近地表分布气孔状火成岩、火成岩裂隙层时,由于其速度较低,孔隙较大、裂缝较多,对地震信号产生较强的吸收衰减作用,使得浅中目的层分辨率明显降低;

(2)当近地表存在多组致密高速火成岩($v > 3$ 800 m/s)时,由于与下伏地层存在较大的速度差(倍数大于2.6),形成较强的负向波阻抗界面,产生“屏蔽”作用,影响地震波能量的下传,对高频信号的下传影响尤为严重,造成该区域地震资料分辨率和信噪比下降;

(3)当表层发育中速火成岩与下伏地层速度差较小时(速度差小于2.6),产生的“屏蔽”作用有限,对地震信号下传影响较弱,该区域地震资料分辨率相对应其他区域较高。

由于单点数字检波器采集对干扰波通放的特性,限制了其在表层结构复杂的低信噪比地区使用

效果;其优势依赖于激发时能否产生主频及频宽较高的单炮信号,以及传播过程中的吸收衰减作用。因此数字检波器的应用效果不仅与检波器固有特性有关,还与工区近地表的地震地质条件密切相关。只有在近地表结构简单、较高信噪比地区才能发挥其提高主频、拓展频宽的优势,进而达到提高资料分辨率的目的。

因此在进行地震采集部署时,应充分考虑近地表结构对地震信号激发与传播的影响,进而采用适当的方法设计与采集技术对策。

参考文献:

- [1] 王梅生. 数字检波器的应用及效果[J]. 物探装备,2007,17(4):235-240.
- [2] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 山东东营:石油大学出版社,1993:14-20.
- [3] 周发祥,宁鹏鹏,刘斌,等. 吸收衰减对地震分辨率的影响[J]. 石油地球物理勘探,2008,43(增刊2):84-87.
- [4] 管文化,刘立民,庞全康. 苏北盆地火成岩对地震资料品质的影响及对策[J]. 复杂油气藏,2013,(4):24-28.
- [5] 杨会朋,崔鸣,张松平,等. 东濮凹陷火成岩屏蔽作用研究及采集方案[J]. 断块油气藏,2009,16(4):54-56.

(编辑 杨芝文)