

轻烃分析录井技术在海拉尔盆地的应用

吴长金, 马昌伟, 张可操

(大庆油田有限责任公司海拉尔石油勘探开发指挥部, 内蒙古呼伦贝尔 021008)

[摘要] 为适应海拉尔盆地快速勘探开发工作的需要,有效解决在快速钻井(钻井提速)条件下,岩屑录井、地化录井等依托岩屑样品发现油气显示以及评价储层所面临的技术难题,按照优选先进适用录井技术的要求,在海拉尔盆地进行了轻烃分析录井技术应用。笔者阐述了轻烃分析录井技术的原理和特点,并对该项技术的实际应用效果进行了分析,为轻烃分析录井技术的推广应用奠定了坚实基础。

[关键词] 海拉尔盆地;轻烃分析;录井技术;油气发现;储层评价

[中图分类号] TE33+1 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)04-0049-09

1 前言

海拉尔石油勘探开发指挥部成立后,勘探开发工作量剧增,为完成勘探开发工作量,以PDC钻头全面使用为标志的钻井提速工作随之展开。钻井提速给现场录井工作带来的最直接的影响是,岩屑极其细小并破碎严重,岩屑所携带的储层油气信息损失严重,油气显示发现困难;同时,地化录井等依托对岩屑样品分析而获得地下储层含流体信息的录井技术应用受到严重制约,影响储层评价效果。通过调研发现,轻烃分析录井技术是新发展起来的一项录井新技术,它能够通过通过对细小岩屑的分析而获得大量的储层信息,适应钻井提速对录井技术发展的要求,具有重要的应用价值和广泛的应用前景。

2 轻烃分析录井技术简述

2.1 轻烃分析录井技术的基本原理

轻烃是石油和天然气的重要组成部分,轻烃主要以游离态、溶解态或吸附态存在于地下岩层中的石油、吸附水或岩层孔隙中。“轻烃”泛指原油中的汽油馏分,亦即 $C_1 \sim C_6$ 。烃类,在正常原油中约占50%~60%。轻烃的组成包含有正构烷

烃、异构烷烃、环烷烃和芳香烃。轻烃分析可检测的烃组分达103个,其分析组份谱图如图1所示。

测定岩石中轻烃化合物的一般方法是将岩石中的烃类物质采用有机溶剂抽提注入色谱仪,采用“PTV切割反吹”(或“全油”)分析^[1],或采用岩样直接装瓶密封,将样品瓶中岩样顶部空间的气体注入色谱仪进行分析。

轻烃“顶空”分析技术是石油勘探开发工作中快速、经济、有效的地球化学评价方法,是将气相色谱分离分析方法与样品的预处理相结合的一种简便、快速的分析技术^[2]。将钻井过程中返到地面的岩心、岩屑或井壁取心样品装瓶密封,样品中的吸附烃经过压力和温度的变化使其脱附和挥发,瓶内的易挥发组分逐渐与样品瓶顶部空间气体之间达成气-液平衡状态,气态相与液态相中挥发烃类的关系可用拉乌尔(Raoult)定律来描述^[1],即

$$P_i = PO_i \times X_i$$

式中 P_i 为同温度下被测组分 i 在气相中的蒸气分压; X_i 为 i 组份在溶液中的摩尔分数; PO_i 为 i 组份的饱和蒸气压。

[收稿日期] 2012-02-14

[作者简介] 吴长金(1975—),男,黑龙江大庆市人,工程师,主要从事录井技术与质量管理工作;E-mail:wuchangjin@petrochina.com.cn

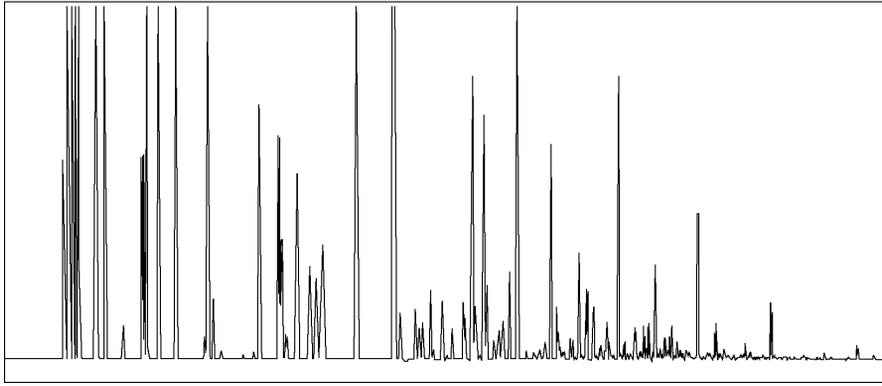


图1 轻烃分析组分图谱

Fig.1 Light hydrocarbon analysis component map

在平衡状态下,通过气相色谱法测定密封样品瓶中上方的气体成分的组成和含量,来反映油气藏的性质和特征。

2.2 轻烃分析录井技术现场取样原则与方法

1)岩心、井壁取心出筒后立即取样,将样品装到取样瓶1/2~2/3的位置,立即压盖密封;岩心录井井段,含油储层每米取5~10块,产状变化应逐层选取,非含油储层每米取2~5块;井壁取心样品逐个选取。

2)岩屑返出井口后,在泥浆槽内或振动筛下取一定量岩屑样品,快速清洗表面粘附的泥浆,减少来自泥浆的干扰,装至取样瓶1/2~2/3的位置立即压盖密封。岩屑录井井段含油储层样品按岩屑录井间距逐点选取;不含油储层在未知探区表层可稀疏取样,约5~10m取1个样;预测的可能含油气井段应当加密取样,取样间隔约2~3m;预测的重要井段要每1m取1个样;钻探过程中发现油气显示井段,必须及时取样,保证1m取1个样。

3)任何样品都必须保证取样的及时性,样品到地面几分钟内就要取样完毕。及时取样目的是尽可能保持样品的代表性和真实性。

4)取样前要检查瓶子是否干净,如不干净要用清水清洗内部油污和杂质。

5)装瓶后压盖应保证质量,要求铝盖均匀包住瓶口,无漏水、漏气现象。

2.3 轻烃分析录井技术分析流程

轻烃分析采用混合样品分析,其分析流程为样

品采集→样品分析→资料处理→解释评价。

样品采集:将施工过程中返到地面的岩屑、岩心、井壁取心样品,快速取样并清洗干净,迅速装入样品瓶并立即压盖密封。

样品分析:将样品先放到进样加热转盘上预备加热一个周期,然后放入转盘内加热一个周期后再进行分析。要保证样品加热时间一致,即转盘上取下的样品放入转盘内后,马上再放到转盘上一个样品。

样品分析的条件为,柱箱:初温35~38℃,保持10min,升温速率10℃/min,一阶温度150℃,保持5~10min;进样器、管路:80℃;检测器:150℃;柱前压:150kPa。

资料处理:选择4个参考峰,采用组分模拟保留指数法定性,准确性后进行定量分析。

解释评价:通过对资料的分析,总结归纳油气水层的不同响应特征,建立各项解释图版,进而对油、气、水层进行准确识别。

3 轻烃分析录井技术在海拉尔盆地应用

3.1 完成的工作量

2007年7月—2011年8月,累计完成轻烃分析工作量36口,主要集中在乌尔逊凹陷、贝尔凹陷、呼和湖凹陷、东明凹陷、巴彦呼凹陷,如图2所示。

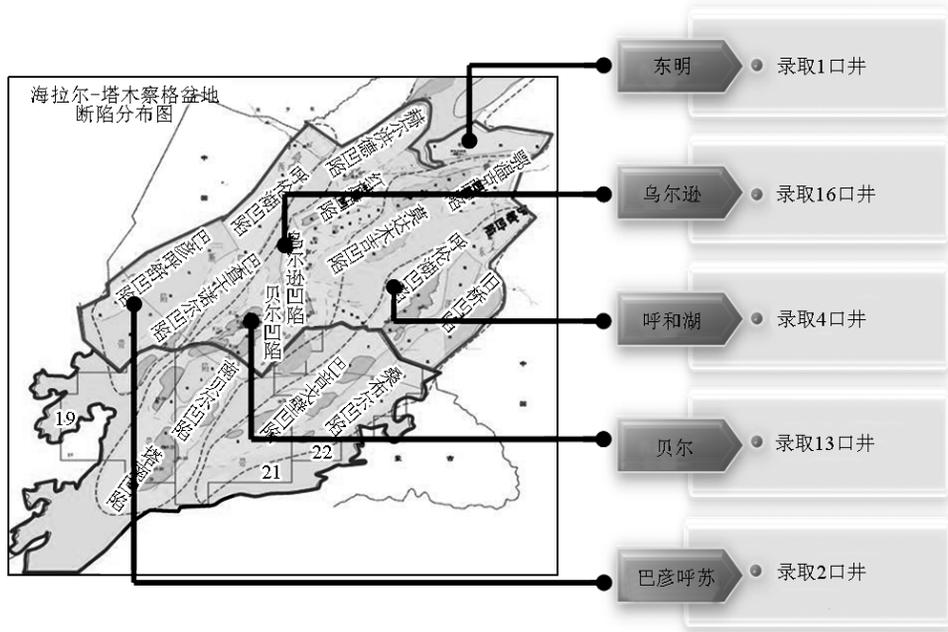


图2 轻烃分析工作量分布图

Fig. 2 Light hydrocarbon analysis workload distribution

3.2 轻烃分析录井技术在海拉尔盆地的应用效果

轻烃分析录井技术在海拉尔应用以来,通过现场实践总结,轻烃分析样品采集更加科学规范;实现分析流程标准化,减小了人为因素的影响;通过与试油资料、测井资料的结合,建立了复杂油气水层评价图版;与录井资料、测井资料结合,提高了油气水层解释评价符合率。

3.2.1 分析样品受快速钻井影响小,适合钻井提速条件下的油气发现和识别评价

轻烃分析录井技术对分析样品的大小和形状均无限制,适合 PDC 快速钻井条件下岩屑极其细小时的选样要求;实现连续自动分析,分析参数多,反映储层信息丰富,有效消除岩屑失真的影响;实现由实验室分析到现场实时分析的跨越,消除时间推移影响,有效提取含油气水信息,实现准确评价,适合钻井提速对快速解释评价的要求。

现场应用实践表明,轻烃分析取样后马上密封分析,不受油层发光物质含量的影响,可以解决凝析、轻质油气造成的岩屑显示荧光微弱、不易观测发现、岩屑录井多、无显示的问题,对以不发光的饱和烃为主体的轻质油层、凝油油气层有较好的响应效果和发现率。由于现场分析取样及时准确,受人员技术素质、地质条件等方面因素影响小,可以准确校正岩屑细小油气逸散造成显示级别偏低的问题,实现油气显示的及时发现和准确定级。

在乌尔逊凹陷 Wu 84 - 106 井的 92 号层录井过程中,岩屑录井由于受 PDC 钻井条件影响,岩屑仅见微弱荧光(不够定级),对应的气测录井值很低,录井气测解释、综合解释均为干层。

从轻烃分析色谱图看来(见图 3),Wu 84 - 106 井的 92 号层的轻烃丰度见较高的异常,表明该层系具有较好的含油显示,并且在解释图版中(见图 4),该解释层数据主要分布在油层区域。

分析 Wu 84 - 106 井的 92 号层的分析资料可知,轻烃丰度高,芳烃含量较大,芳烃与环烷烃比值较小,判定 92 号层为含油显示层;结合图版解释结果,轻烃综合解释为差油层。该层经过测试,产油 $3.018 \text{ m}^3/\text{d}$,无水,原油密度为 $0.8631 \text{ g}/\text{cm}^3$,为轻质油,工业油层,试油结果验证了轻烃分析结论的正确性。

3.2.2 优选评价参数,建立相应的解释图版和评价标准

在海拉尔盆地的轻烃分析录井技术现场应用实践中,通过对 36 口井的岩屑、岩心、井壁取心资料的分析,得到了大量的原始资料,真实反映了地层含油气信息。通过对这些资料的统计分析和深入研究,结合测井、录井、试油资料,总结归纳了油气水层的不同响应特征,建立了各项解释图版,完善了解释评价标准,解释评价方法上又有了新发展,解释评价符合率进一步提高。

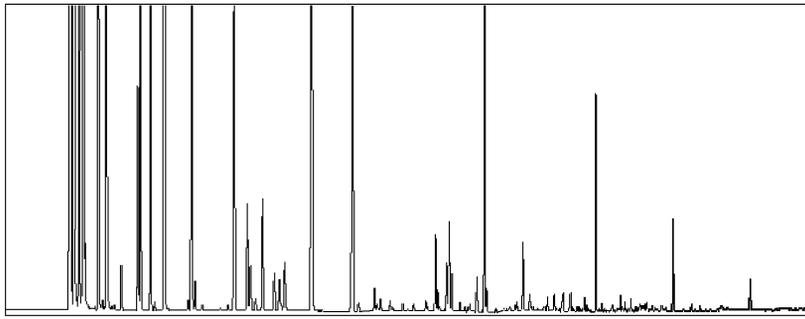


图3 Wu 84-106 井 92 号层轻烃分析谱图

Fig. 3 Spectra of light hydrocarbons for layer No. 92 of Wu 84-106 Well

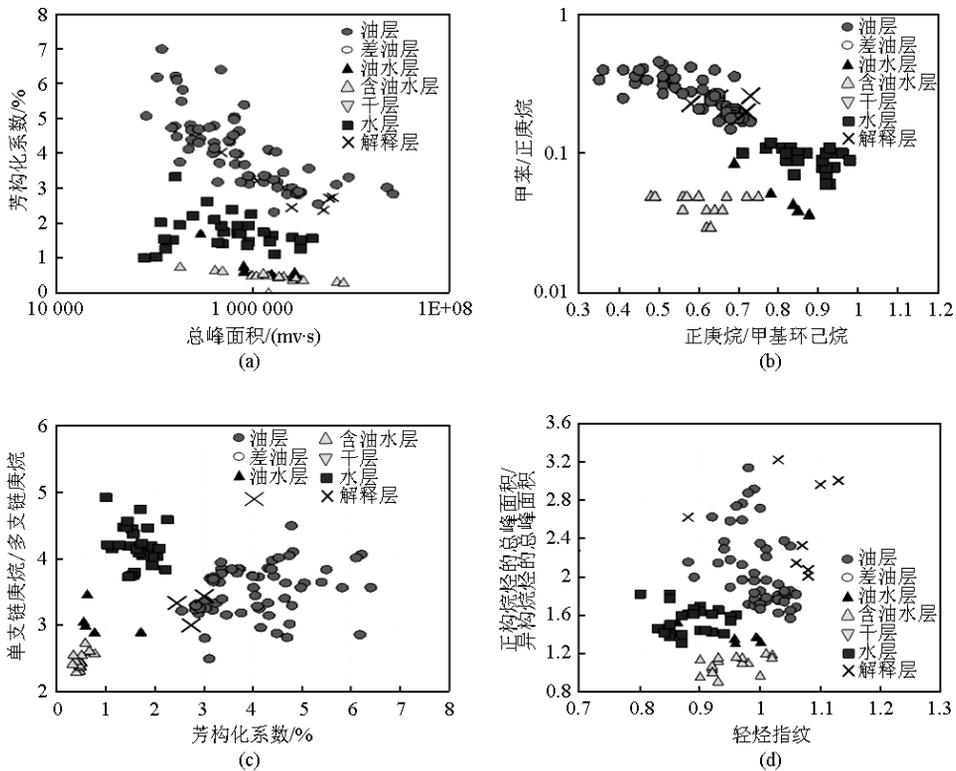


图4 Wu 84-106 井解释层在解释图版中的分布

Fig. 4 Distribution of interpretation layer in Wu 84-106 Well

1) 轻烃谱图形态直观判别方法。通过轻烃分析录井资料的谱图形态特征,可以直观判断油气水层,从分析谱图可以看出(图5~图7),油层出峰组分相对较全,且丰度值高^[2];油水同层组分个数较油层少,尤其对其中较重组分改造程度较强,相对较

重组分被水体改造,显示出较重组分分布峰值相对较低。水层或干层 C₆ 以后组分很低,检测组分数量很少,残余束缚油藏一般轻组分端元的缺失^[2]。

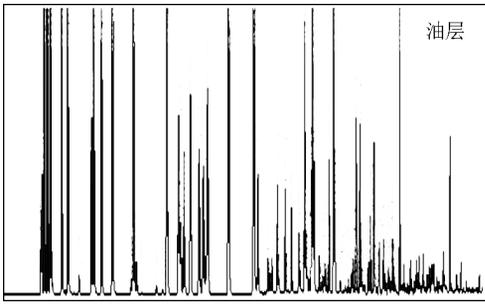


图5 油层谱图形态特征
Fig. 5 Reservoir spectrum of morphological features

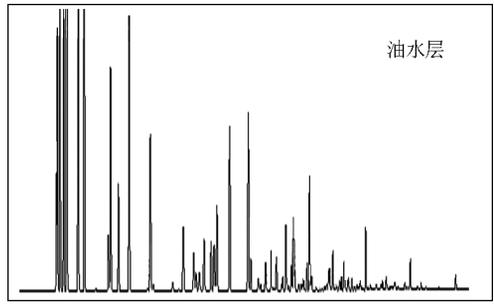


图6 油水层谱图形态特征
Fig. 6 Oil and water layers spectrum of morphological features



图7 水层或干层谱图形态特征
Fig. 7 Water or dried layer spectrum of morphological features

2) $\sum(C_1 - C_9)$ 、 $\sum(C_6 - C_9)$ 数值判别法。轻烃分析中, $\sum(C_1 - C_9)$ 、 $\sum(C_6 - C_9)$ 这两个数值的大小是判别储层是否具有油气显示的重要指标。值越大, 反映地下储层油气含量越高。通过样品的总峰面积和重组分的含量建立关系图版, 可以直观确定有价值储层, 如图 8、9 所示, 其判别标准见表 1。

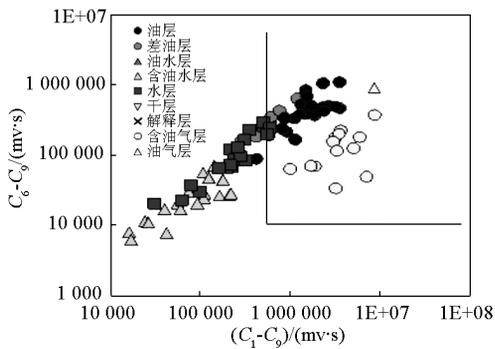


图8 $\sum(C_1 - C_9)$ 、 $\sum(C_6 - C_9)$ 判别图版
Fig. 8 $\sum(C_1 - C_9)$ 、 $\sum(C_6 - C_9)$ identification plate

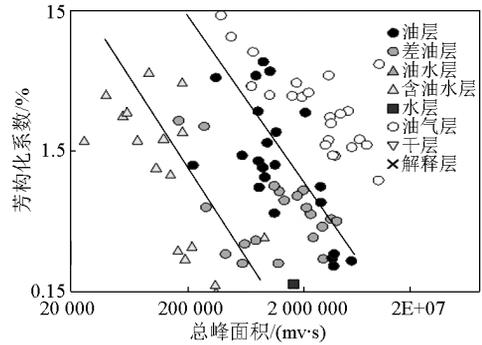


图9 芳构化系数判别图版
Fig. 9 Aromatization coefficient identification plate

表1 $\sum(C_1 - C_9)$ 、 $\sum(C_6 - C_9)$ 判别标准
Table 1 $\sum(C_1 - C_9)$ 、 $\sum(C_6 - C_9)$ identification criteria

参数	油层/(mv·s)	含油水层/(mv·s)	水层或干层/(mv·s)
$\sum(C_1 - C_9)$	$> 6.0 \times 10^5$	$2.0 \times 10^5 \sim 6.0 \times 10^5$	$< 2.0 \times 10^5$
$\sum(C_6 - C_9)$	$> 1.5 \times 10^5$	$1.0 \times 10^5 \sim 3.0 \times 10^5$	$< 1.0 \times 10^5$

3) 芳香烃系数判别法。轻烃分析中的芳香烃在水中的溶解度较大, 因此采用这个参数能很明显地指示原油遭水洗的程度, 将芳构化系数与总峰面

积参数建立图版,可排除区块差异,较好地反映储层油气水信息,见表2。

表2 芳构化系数判别标准

Table 2 Aromatization coefficient identification criteria

参数	油层/ (mv·s)	含油水层/ (mv·s)	油气层/ (mv·s)	水层或干层/ (mv·s)
$\Sigma(C_1 - C_9)$	$>3.5 \times 10^5$	$2.5 \times 10^4 \sim 9.0 \times 10^5$	$>3.8 \times 10^5$	$<2.5 \times 10^4$
芳构化系数/%	>0.25	<5.0	>1.0	<0.25

4) 正丁烷与异丁烷比值判别法。正常情况下,层原油中 nC_4 与 iC_4 的含量相当,相同条件下 nC_4 的溶解度较 iC_4 大些,生物降解作用优先降解正构烷烃,这样可以细微反映储层是否存在水洗及生物降解作用;通过 nC_4 与 iC_4 的比值与总峰面积建立图版,可以反映储层流体性质,如图10、11所示,其判别标准见表3。

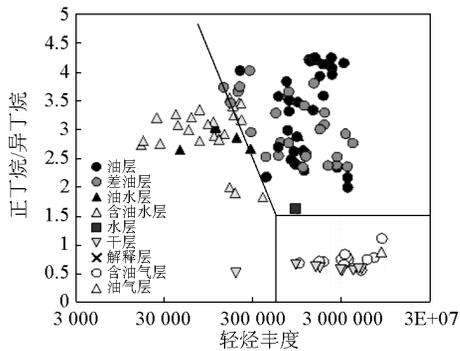


图10 nC_4 与 iC_4 的比值法判别图版

Fig.10 Ratio of nC_4 and iC_4 identification plate

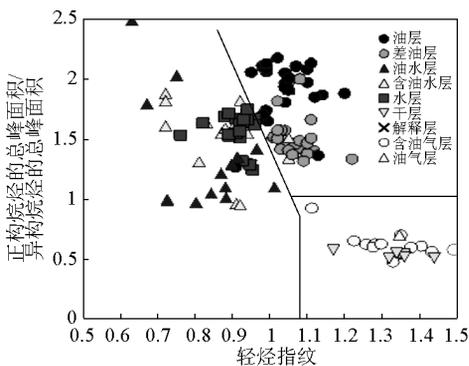


图11 轻烃指纹法判别图版

Fig.11 Light hydrocarbons fingerprinting identification plate

表3 nC_4 与 iC_4 的比值法判别标准

Table 3 Ratio of nC_4 and iC_4 identification criteria

参数	油层/ (mv·s)	含油水层/ (mv·s)	油气层/ (mv·s)	水层或干层/ (mv·s)
总峰面积	$>5.0 \times 10^5$	$1.7 \times 10^5 \sim 8.0 \times 10^5$	$>2.5 \times 10^5$	$<2.5 \times 10^5$
nC_4/iC_4	>2.0	$1.0 \sim 2.0$	≈ 1.0	<1.0

5) 轻烃指纹判别法。轻烃指纹 $[(2MC_6 + 2,3DMC_5)/(3MC_6 + 2,4DMC_5)]$ 在同一个油族中该比值是恒定的,约等于1。利用该比值参数不仅可以用于原油的分类和气-油-源的对比,还可以用于油气形成后经水洗作用和生物降解作用等造成的细微化学差异的判别^[3]。一般遭受水洗和生物降解作用的原油,其正构烷烃受到破坏,而异构烷烃相对富集, $\Sigma(nC_4 - nC_8)/\Sigma(iC_4 - iC_8)$ 比值参数会随水洗生物降解程度的增加逐渐减小。将轻烃指纹与 $\Sigma(nC_4 - nC_8)/\Sigma(iC_4 - iC_8)$ 比值建立图版,可以对储层含油气水情况进行准确判定,见表4。

表4 轻烃指纹判别标准

Table 4 Light hydrocarbons fingerprinting identification criteria

参数	油层	含油水层	油气层	水层或干层
Σ 轻烃指纹	0.9 ~ 1.2	0.8 ~ 1.0	>1.2	0.6 ~ 1.2
$\Sigma(nC_4 - nC_8)/\Sigma(iC_4 - iC_8)$	1.2 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0	0.6 ~ 1.0	<1.0

轻烃分析录井技术在海拉尔盆地乌尔逊凹陷、贝尔凹陷、呼和湖凹陷的13口探井、评价井的48层已试油层的解释符合率统计中,轻烃录井解释符合40层,不符合8层,解释符合率达到了83.3%,较好地完成油气发现和解释评价工作任务。

3.2.3 在低阻油层、高阻水层等特殊储层评价中发挥技术优势

石油和天然气中的轻烃组分 $C_1 \sim C_9$ 含量最高,不但含有极其重要和丰富的地球化学信息,而且它们对水洗也最为敏感,特别是轻质芳烃可以作为油层含流动水及油层水洗的标志物^[4]。由于轻烃分析获得的参数类型丰富和组分众多,通过对特征参数的提取,在特殊油气层的评价上极具优势。

海拉尔盆地属典型的低渗透率油田,储层非均质性强。由于储层岩性变化、颗粒变化、含有物或胶结物不同,导致低电阻率油层、高电阻率水层的存在,依靠测录井方法难以对储层准确评价,轻烃分析录井技术的应用弥补了测录井技术在特殊储层评价

方面的不足。

1) 低阻油层的准确识别评价。Wu 34 井 76 II 号层、77 号层测井电阻率较低, 电阻率在 $10 \sim 13 \Omega \cdot m$ 左右, 和水层电阻率接近, 测井解释为油水同层。

从轻烃分析色谱图看来(见图 12), 轻烃丰度较

高, 芳烃丰度较高, 说明该段储层被水体改造或者生物降解作用较弱, 表明储层应不含水; 从解释图版分布规律看来(见图 13), 解释层数据均落在油层区域, 含油特征明显, 轻烃综合解释为油层。

Wu 34 井 76 II、77 号层经试油证实, 日产油 $6.27 m^3$, 无水产出, 轻烃解释结果得到很好验证。

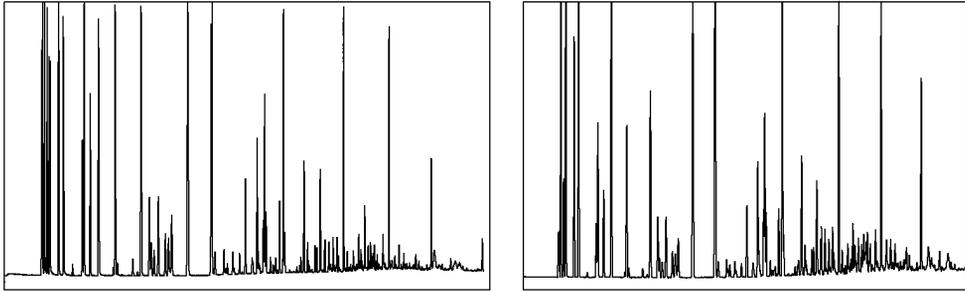


图 12 Wu 34 井 76 II、77 号层轻烃分析谱图

Fig. 12 Spectra of light hydrocarbons for layer No. 76 II and 77 of Wu 34 Well

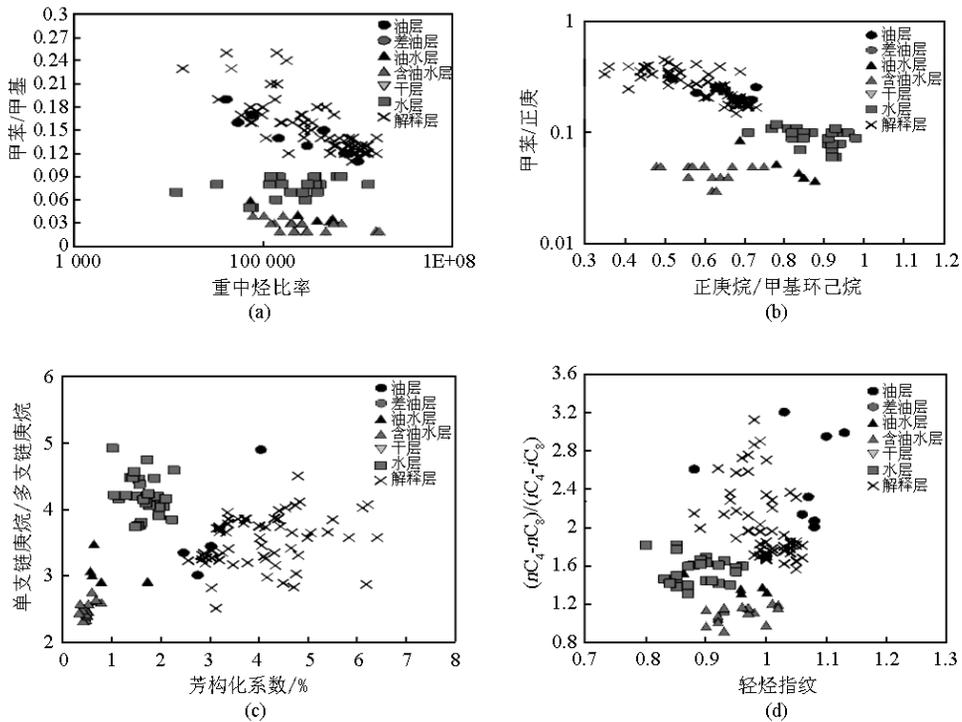


图 13 Wu 34 井 76 II、77 号层解释图版

Fig. 13 Interpretation map for layer No. 76 II and 77 of Wu 34 Well

2) 含水储层(高阻水层)的准确识别评价。Wu154-68 井 70、71、72、74 号层, 测井电阻率在 $21.5 \sim 34.1 \Omega \cdot m$ 左右, 测录井均解释为差油层。

从轻烃分析谱图看, 轻烃丰度值都很低, 重中烃

比率明显变小, 指示储层含油气性很差; 水中溶解度较大的芳烃含量较低或检测不到, 说明储层原油被水改造的作用较强烈(见图 14)。

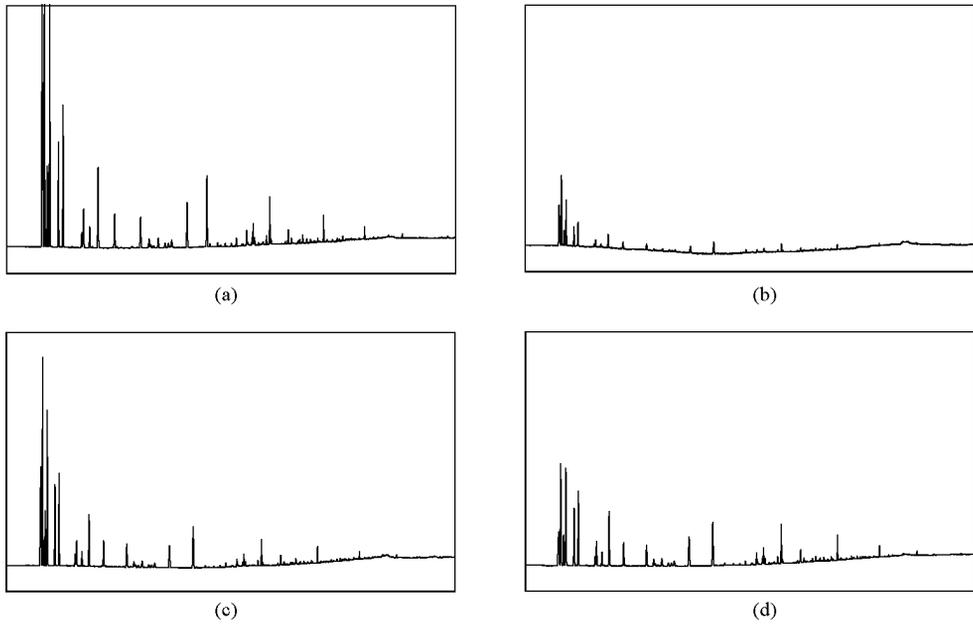


图 14 Wu 154-68 井 71~74 号层轻烃分析谱图

Fig. 14 Spectra of light hydrocarbons for layer No. 71~74 of Wu 154-68 Well

从解释图版(见图 15)分布规律分析,轻烃参数与图版交汇点均落在油层以外的含水区域,反映该储层遭受水洗或生物降解作用较强。经过对轻烃资料的分析,认为该层含油气性差,含水特征明显,轻

烃综合解释为含油含水层或干层。该层经试油证实,日产水 17.52 m^3 ,仅见油花,显示了轻烃分析录井技术在水性判别上的突出技术特点。

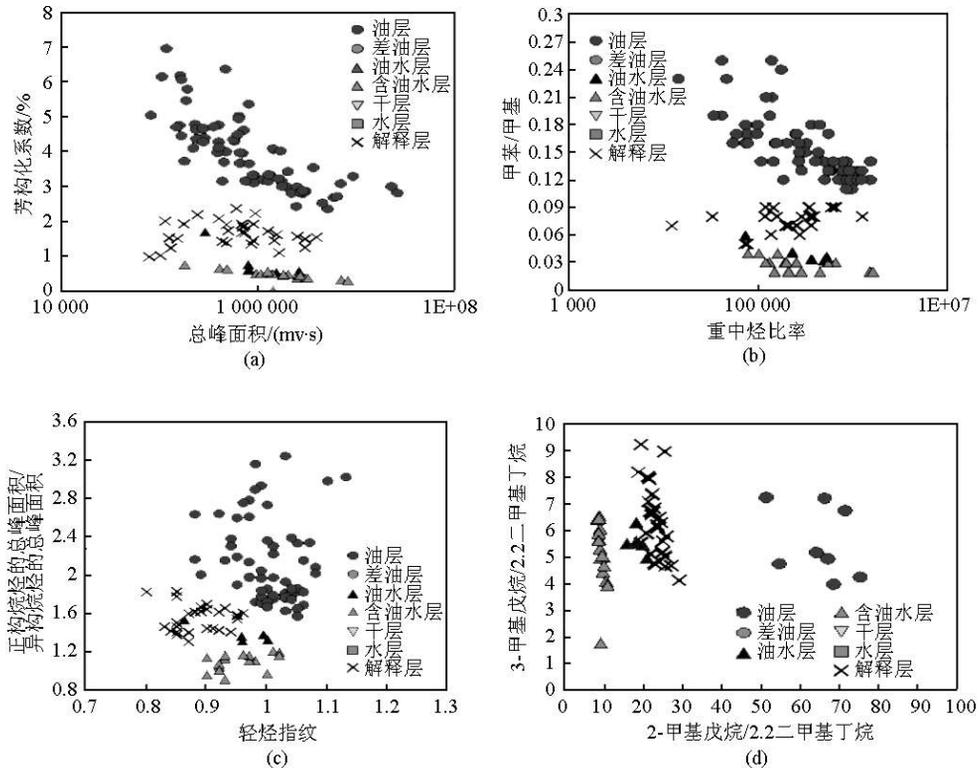


图 15 Wu 154-68 井 71~74 号层解释图版

Fig. 15 Interpretation map for layer No. 71~74 of Wu 154-68 Well

4 结语

海拉尔盆地轻烃分析录井技术的现场应用,实现了样品连续自动实时分析,采集参数多,反映储层信息丰富,建立了解释评价图版,满足了储层解释评价的需要。

1)轻烃分析录井技术对分析样品的大小形状均无限制,适合PDC快速钻井条件下岩屑极其细小时的选样要求,消除岩屑失真的影响。实现了由实验室分析向现场实时分析的跨越,消除时间推移的影响,有效提取含油气水信息。

2)轻烃录井分析操作简单,适合海拉尔超复杂储层油气显示发现需要,适合钻井提速条件下对录井技术发展的要求,可准确发现识别轻质油层、凝析油层、气层等特殊储层油气显示。

3)通过对大量分析数据的提炼分析,建立多种解释图版,满足储层评价的需要,特别是在低阻油气层及储层水性识别上独具技术优势。

现场实践表明,该项分析技术适合海拉尔盆地特地低孔渗、非均质性强、超复杂储层油气显示发现和储层评价的需要,与录井、测井资料有机结合,为制订科学合理的试油方案提供依据,可以减少勘探风险,提高勘探开发效益,具有良好的推广应用前景。

参考文献

- [1] 肖廷荣,蔡冰,孟建华,等.两种轻烃分析方法(“PTV切割反吹”和“顶空”)的对比研究[J].色谱,2001,19(4):304-307.
- [2] 李玉桓,夏亮.轻烃分析技术在勘探上的应用[J].录井工程,2005,16(1):8-11.
- [3] 林壬子,张敏.塔里木盆地原油轻烃组成特征和成因类型[J].地质论评,1996,42(增刊):26-30
- [4] 刘丽萍,周海燕,邱红,等.轻烃分析技术在水淹层评价中的应用方法[J].大庆石油地质与开发,2005,24(增刊):118-120.

Application of light hydrocarbon analysis logging in Hailar Basin

Wu Changjin, Ma Changwei, Zhang Kecao

(Hailar Petroleum Exploration and Development Management Office, Daqing Oilfield Co., Ltd., Hulunbeier, Inner Mongolia 021008, China)

[Abstract] To meet requirements of rapid exploration and development in Hailar Basin, effectively solve technical challenges of dependability of drilling formation sample such as formation debris logging, geochemical logging to identify oil and gas, and evaluate reservoir, light hydrocarbon analysis logging was applied in Hailar Basin, in the light of optimizing suitable advanced logging technologies. This paper entails the principles and features of light hydrocarbon logging, and analyzes the results of practical applications of this technology, which lays a solid foundation for promoting this technology.

[Key words] Hailar Basin; light hydrocarbon analysis; logging technology; oil and gas discovery; reservoir appraisal