

The Application of Fluid Logging Technology in Huizhou Oilfield

Jinshan Sun¹, Ting Xiong², Shaoxiao Wei², Qiantao Jiang¹, Fan Feng²

¹Shenzhen Branch of CNOOC (China), Shenzhen Guangdong

²Sino-France Geological Service Co. Ltd., Tianjin

Email: sunjsh@cnooc.com.cn

Received: Aug. 9th, 2017; accepted: Sep. 11th, 2017; published: Oct. 15th, 2017

Abstract

Compared with conventional gas logging technology, the fluid logging technology was characterized by quantitative constant temperature, multi-compositions, high precision and wide ranges, it could avoid the problems of long risers in offshore deep logging operations, low flow back temperature in wellhead and low efficiency of degassing, which could ensure the true data obtaining from gas logging and accurately reflect hydrocarbon content in formation. By taking Huizhou Oilfield for example, on the basis of statistics of fluid detection data of 24 wells in Huizhou Oilfield, the chart board of hydrocarbon ratio method and the chart board for calculating the total hydrocarbon-fluid type and the criterion for evaluating the abnormal multiples of synthetic parameters such as C_1 , iC_4 , nC_4 , iC_5 , nC_5 , C_6 , C_7 and C_7H_{14} are established. Combined with field case analysis, the coincidence ratio of integrated interpretation is 87%.

Keywords

Fluid Logging, Hydrocarbon Ratio, Total Hydrocarbon-fluid Type, Abnormal Multiple, Interpretation and Evaluation

流体录井技术在惠州油田的应用

孙金山¹, 熊 亭², 韦少校², 蒋钱涛¹, 丰 帆²

¹中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广州 深圳

²中法地质服务有限公司, 天津

作者简介: 孙金山(1962-), 男, 高级工程师, 主要从事石油天然气地质勘探作业及综合录井工作。

Email: sunjsh@cnooc.com.cn

收稿日期: 2017年8月9日; 录用日期: 2017年9月11日; 发布日期: 2017年10月15日

摘 要

流体录井技术与常规气测录井相比具备定量恒温、组分多、精度高、范围广等特点, 能够克服海上深水录井作业面临的隔水导管长、井口返出温度低、脱气效率低等问题, 保障了气测录井数据能够真实、准确地反映地层含烃丰度。以惠州油田为例, 在统计惠州油田24口流体测量数据的基础上, 建立了烃比值法图版、计算全烃-流体类型图版以及 C_1 、 iC_4 、 nC_4 、 iC_5 、 nC_5 、 C_6 、 C_7 、 C_7H_{14} 等综合参数异常倍数评价标准。结合现场实例分析, 综合解释符合率达到87%。

关键词

流体录井, 烃比值, 全烃-流体类型, 综合参数, 异常倍数, 解释评价

Copyright © 2017 by authors, 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. 引言

流体录井资料是目前录井资料解释最主要的技术手段, 但海上录井作业面临的环境恶劣, 录井资料数据质量控制难度更大, 特别是深水录井作业过程中常规气测录井面临隔水导管长, 返出口钻井液温度低, 常规气测录井脱气器效率低且不稳定, 数据质量无法保证[1]等问题; 另外还面临着作业区域大, 地质特点、油藏类型、油水关系复杂多变, 综合解释方法单一, 解释符合率偏低等问题。为了适应当前勘探形式, 解决目前所面临的问题, 南海东部海域于2007年开始引进法国地质服务公司最新一代的实时流体录井技术(fluid logging & analysis in real time, 又称为FLAIR录井), 充分利用其具备定量恒温、组分多、精度高、出入口双气路检测、质量控制严格等特点, 很好地解决了海上录井, 特别是深水作业所面临数据质量无保障的问题。另外, 在流体录井资料应用方面加大研究力度, 通过对近年来各个油田流体录井资料的归纳总结, 细化各区块解释图版, 优化综合解释评价方法, 建立起具有针对性的解释图版, 能够很好地克服区域地质特征不一、油藏类型多变、油水关系复杂导致的综合解释符合率偏低的问题。

2. 流体录井技术特点

作为一种全新的录井技术, 与常规气测录井相比, 流体录井系统技术特点非常突出, 主要表现在 3

个方面:

1) 定量、恒温脱气: 与常规气测设备相比, 流体录井技术在脱气环节作了很大改进, 除了定量抽取泥浆进行脱气外, 还在脱气前将泥浆加热到恒定温度(一般视泥浆类型而定, 水基泥浆为 70℃, 油基泥浆为 90℃), 然后进行脱气, 既提高了脱气效率, 同时也保证了脱气条件的一致性, 大大提高了录井资料纵向和横向的可比性[2] [3]。

2) 负压传送: 常温常压下, C_5 以后组分均为液态, 要想在气管线中正常传送 $C_6 \sim C_8$ 等组分, 有 2 个解决方案: 一是保持气管线内温度大于 $C_6 \sim C_8$ 的沸点; 二是降低气管线内的压力到一个特定值以下(即负压状态), 进而保证 $C_6 \sim C_8$ 在气管线内处于气态状态。显然, 维持气管线内为恒定负压的可操作性更强, 因而, 流体录井在气体传送过程中采用了负压传送。

3) 色谱质谱检测: 与常规气测录井通常采用氢离子火焰检测技术不同的是, 流体录井技术采用的是色谱质谱检测技术, 检测精度更高, 范围更广。除能检测 $C_1 \sim C_8$ 烃类组分外, 还能检测 H_2S 和 CO_2 等非烃类组分。

3. 解释技术介绍

为了及时、准确、高效地对储集层流体性质做出判断, 为现场电测、试油等工作方案拟定、提供科学可靠的决策依据, 以惠州油田为例, 通过统计油田内 24 口探井 286 层油气显示层的流体测量数据, 结合测井、MDT 取样、测试数据, 摸索和总结出一套针对惠州油田录井综合解释的评价方法。

3.1. 烃比值图版法

总所周知, 皮克斯勒图版法是指将烃组分比值绘制在半对数坐标纸上, 图版划分为油区、气区和两个非产区共 4 个区域, 该方法使用 $\varphi(C_1)/\varphi(C_2)$ 、 $\varphi(C_1)/\varphi(C_3)$ 、 $\varphi(C_1)/\varphi(C_4)$ 、 $\varphi(C_1)/\varphi(C_5)$ 这 4 组烃组分比值建立解释图版, 根据上述 4 项比值特征, 反推地层孔隙流体类型和性质[4]。而对于流体录井技术而言, 检测气体数据包含 C_6^+ 组分, 因而将原有的图版扩展至 C_6 以上的重组分, 引入 $\varphi(C_1)/\varphi(C_6^+)$ (其中 $\varphi(C_6^+) = \varphi(nC_6) + \varphi(nC_7) + \varphi(nC_8)$), 以此形成了针对惠州油田改进的皮克斯勒图版法, 即烃比值法。同时, 在对惠州油田水层、干层烃组分数据统计分析过程中发现, 对标准皮克斯勒图版内的非产区按该研究标准可将其解释结果定义为水、干层区。

通过对惠州油田 24 口流体录井(FLAIR 录井)作业显示段气体数据统计分析, 建立了惠州油田烃比值图版(如图 1), 其解释原则如下:

- 1) 显示层的烃比值落在哪个区内, 该层即属于该区流体性质的储集层。 $\varphi(C_1)/\varphi(C_2)$ 越低, 说明流体含气量越少(或者油密度越高), 若 $\varphi(C_1)/\varphi(C_2)$ 小于 2, 为水、干层。
- 2) 显示层段气体组分只有 C_1 是干气层的特征; 荧光显示较好且有较高的单一组分 C_1 , 则是遭受改造的油层特征。
- 3) $\varphi(C_1)/\varphi(C_2)$ 落在油区内, 而 $\varphi(C_1)/\varphi(C_5)$ 或者 $\varphi(C_1)/\varphi(C_6^+)$ 落在气区内, 该层可能为油气层。
- 4) 烃比值图版法不适用于低渗透层, 但是若各烃类比值点连线较陡, 表明该层为致密层。

3.2. 全烃 - 流体类型法

流体录井(FLAIR 录井)的检测范围包括烷烃、环烷烃及芳香烃多种烃类组分, 根据该特点定义了计算全烃体积分数和流体类型 2 个衍生参数, 其计算公式如下:

$$\begin{aligned} \varphi(TG) = & \varphi(C_1) + 2\varphi(C_2) + 3\varphi(C_3) + 4(\varphi(iC_4) + \varphi(nC_4)) + \\ & 5(\varphi(iC_5) + \varphi(nC_5)) + 6\varphi(nC_6) + 7\varphi(nC_7) + 8\varphi(nC_8) \end{aligned} \quad (1)$$

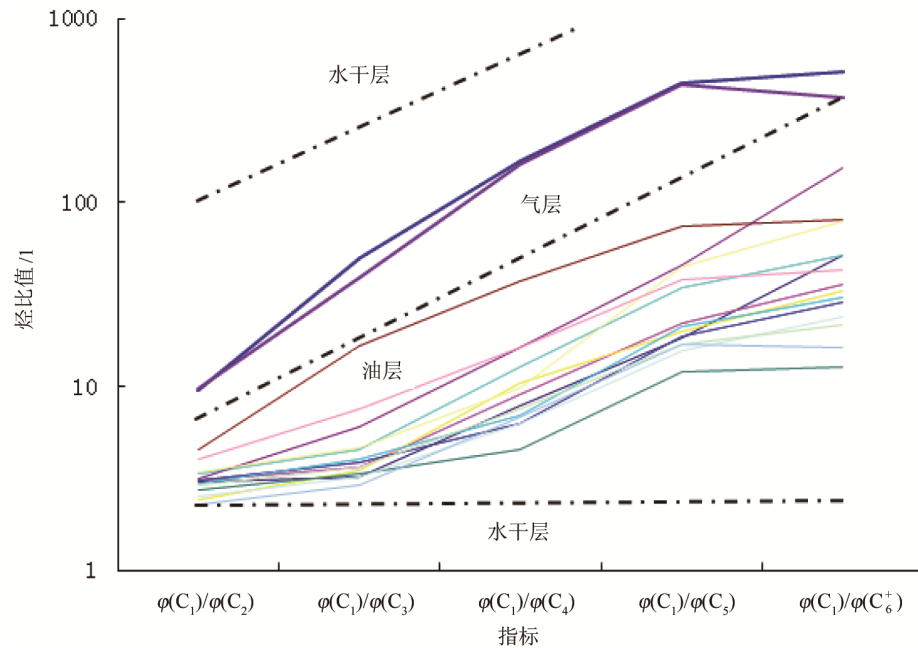


Figure 1. The chart board of hydrocarbon ratio method in Huizhou oilfield
图 1. 惠州油田烃比值法图版

$$I_f = \frac{10(\varphi(nC_6) + \varphi(nC_7) + \varphi(nC_8))}{\varphi(nC_4) + \varphi(nC_5)} \quad (2)$$

式中： $\varphi(TG)$ 为计算全烃体积分数，%； $\varphi(C_1)$ 为甲烷体积分数，%； $\varphi(C_2)$ 为乙烷体积分数，%； $\varphi(C_3)$ 为丙烷体积分数，%； $\varphi(iC_4)$ 为异丁烷体积分数，%； $\varphi(nC_4)$ 为正丁烷体积分数，%； $\varphi(iC_5)$ 为异戊烷体积分数，%； $\varphi(nC_5)$ 为正戊烷体积分数，%； $\varphi(nC_6)$ 为正己烷体积分数，%； $\varphi(nC_7)$ 为正庚烷体积分数，%； $\varphi(nC_8)$ 为正辛烷体积分数，%； I_f 为流体类型指数，1。

$\varphi(TG)$ 反映地质意义是储层孔隙内烃类物质的丰富程度，值越高，说明储层中烃类物质越富集； I_f 则表示储层孔隙内油质的丰富程度，值越高储层中含油比例越高，反之则说明孔隙内烃类气体所占比重越高[5]。利用横坐标 I_f 的高低划分出油层和气层的界限；利用纵坐标上 $\varphi(TG)$ 的大小划分出油气层与水层的界限。

通过统计大量惠州油田各类显示层流体测量(FLAIR 录井)烃类组分数据，计算不同显示层全烃和流体类型参数。利用计算 $\varphi(TG)$ 和 I_f 共 2 个衍生参数进行数理统计投点，再结合测井、MDT 取样、试油结论(如气层、油层、含油水层、水干层)围绕落点集中区划分出各解释结论区域(如图 2)，同时考虑到图版界限是基于数理统计结果划定的，其分辨精度存在偏差，代表性也不够全面。因此，在随钻解释过程中还应参考随钻电测、地球化学、三维荧光、岩屑、荧光等其他录井资料进行综合解释。

3.3. 异常倍数法

流体异常倍数也叫峰基比，是以储集层与上部非储集层的流体中烃类组分变化来解释评价油气水层的一种方法，反映的是储集层和上部盖层的流体丰度变化，根据异常倍数变化情况来识别储层流体性质。各参数异常倍数=储量层段各参数最大值/各参数背景基值。对于背景基值要选取储集层之上泥岩盖层对应的较为平缓的一段平均值，一般要求大于 5 m；对于储集层内的流体数据一般选择有代表性的一组测量值，而非单个组分的最大值。

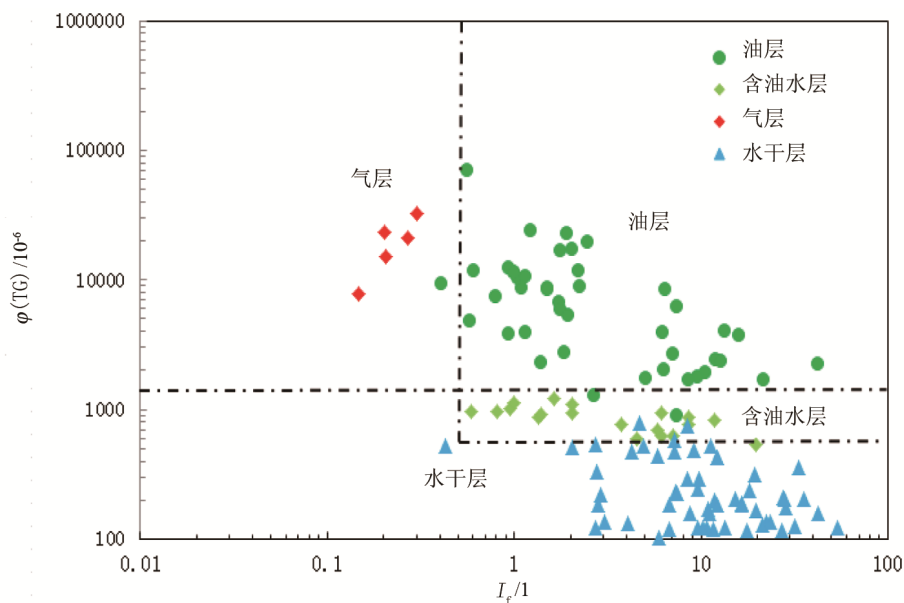


Figure 2. The chart board of $\phi(TG)-I_f$ in Huizhou Oilfield
图 2. 惠州油田 $\phi(TG)-I_f$ 图版

从惠州油田目前已钻井的流体录井(FLAIR 录井)测量数据统计分析可知, FLAIR 录井系统检测到的 C_1 烃组分对储集层含气较为敏感, $C_6\sim C_8$ 等烃组分对储层含油的指示性很强; 因此, 在优选评价参数的时候重点分析对储层流体性质敏感、指示性较强的烃组分参数作为评价参数。在对油田内显示层段流体录井烃组分数据进行对比后, 优选了 C_1 、 iC_4 、 nC_4 、 iC_5 、 nC_5 、 C_6 、 C_7 、 C_7H_{14} 等轻、重组分作为评价参数, 结合工区内已有的试油、测井、MDT 取样结论建立惠州油田流体录井异常倍数解释阈值标准(表 1)。

Table 1. The criterion for abnormal multiple interpretation of Huizhou Oilfield
表 1. 惠州油田异常倍数法解释标准

地层类型	各烃组分异常倍数/1								荧光显示	备注
	C_1	iC_4	nC_4	iC_5	nC_5	C_6	C_7	C_7H_{14}		
油层	>3	>5	>5	>5	>5	>4	>3	>3	有	C_6 、 C_7H_{14} 大于 5 mL/L
含油水层	>2	>3	>3	>2	>2	>2	>1.5	>1.5	有	
水层	>2	-	-	-	-	-	-	-	微量或无	

4. 实例分析

4.1. HZ-A 井

HZ-A 位于惠州凹陷南侧、东沙隆起北坡边界, 在 3141.00~3162.00 m 井段岩屑录井见荧光显示。珠海组岩性为浅灰色荧光细砂岩, 岩屑荧光面积 5%~10%, 滴照淡乳白色, 慢速扩散。FLAIR 流体录井烃组分齐全, 重组分绝对值较于上覆地层较高(图 3(a))。考虑该井段为一套连续显示段, 为了更好地识别储层流体以及分析显示段上、下烃组分变化情况, 采用烃比值图版法对该井段解释。根据 FLAIR 流体组分绝对值计算 $\phi(C_1)/\phi(C_2)$ 、 $\phi(C_1)/\phi(C_3)$ 、 $\phi(C_1)/\phi(C_4)$ 、 $\phi(C_1)/\phi(C_5)$ 、 $\phi(C_1)/\phi(C_6^+)$, 在烃比值法图版中投点, 各数据点连成的曲线落在油区范围内(如图 3(b)), 且从各数据点连线成的曲线来看, 上、下组分基本无变化, 表现为同一套油层特征, 录井解释结论为油层。该井有地球化学录井项目, 显示段岩石

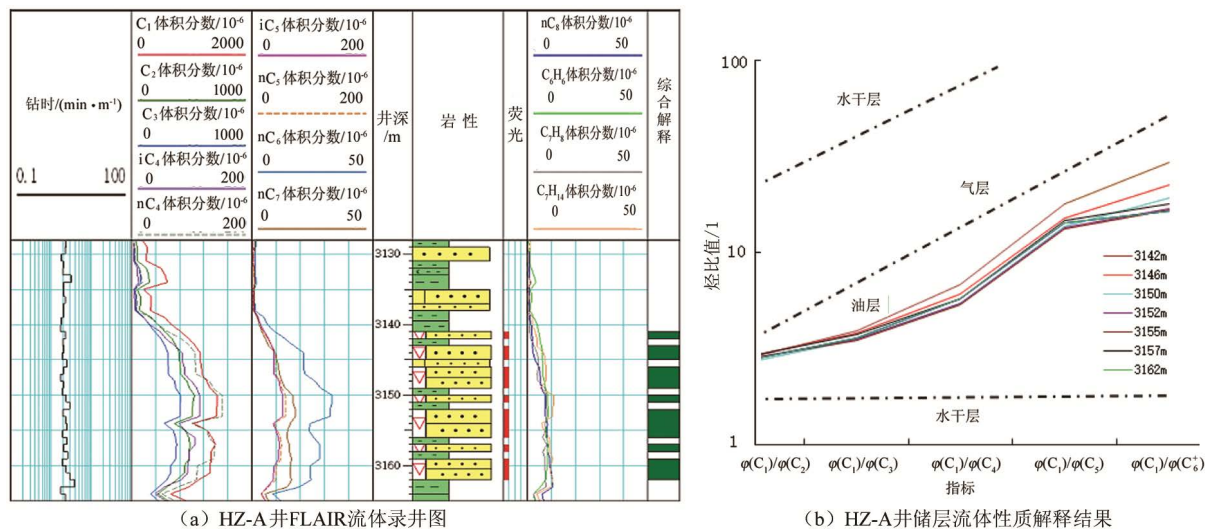


Figure 3. The results of fluid logging and fluid property interpretation in Well HZ-A
图 3. HZ-A 井流体录井及储层流体性质解释结果

热解气相色谱特征表现为正构烷烃组分齐全，峰值幅度较高，异构烷烃组分较少，图谱基线平直，呈梳状分布，指示储层含油且含油丰度高。对该井段进行 MDT 取样，取得 150ml 纯油样，综合解释为油层，与录井解释结论一致。

4.2. HZ-B 井

HZ-B 位于东沙隆起西北斜坡，靠近惠州凹陷南侧，在 2322.00~2326.00 m 井段，岩屑录井见荧光显示。珠江组岩性为浅灰色荧光泥质细砂岩，岩屑荧光面积 5%，滴照淡乳白色，慢速扩散。FLAIR 流体录井烃组分齐全，烃组分相较于上覆泥岩段，气测组分异常明显，曲线形态饱满，呈箱形，显示储集层含烃较丰度较高(图 4(a))。根据衍生参数计算公式(1)、(2)得到， $\varphi(TG)$ 为 1837.70×10^{-6} 和 I_f 为 9.3897 (表 2)。在惠州油田 $\varphi(TG)-I_f$ 图版上投点，落在油区(图 4(b))。对该井进行随钻电测，与下覆无显示砂岩相比本段电阻率由 $2.1 \Omega \cdot m$ 上升至 $5.8 \Omega \cdot m$ ，中子、密度均有较好的响应特征，随钻电测解释为油层。对该井段进行 DST 测试，日产油 65.2 m^3 ，录井解释结论与测试结论符合。

Table 2. FLAIR logging data and the derivative parameter list of Well HZ-B
表 2. HZ-B 井 FLAIR 测量数据及衍生参数表

深度/m	岩 性	各烃类体积分数/ 10^{-6}												
		C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	C _{6S}	C _{7S}	C _{8S}	C ₆ H ₆	C ₇ H ₈	C ₇ H ₁₄
2322~2326	泥质细砂岩	257	116	72.5	22.8	28.5	25.4	22.6	24.4	38.6	30.2	2.47	1.8	16.69
2345~2347	细砂岩	114	45.5	20	5.8	9	5.3	5.4	2.71	4.68	3.43	0.72	1.08	4.16
2322~2326 m 计算衍生参数: $\varphi(TG)$ 为 1837.70×10^{-6} , I_f 为 9.3897。														
2345~2347 m 计算衍生参数: $\varphi(TG)$ 为 478.78×10^{-6} , I_f 为 4.2431。														

在 2345.00~2347.00 m 井段，岩屑录井见荧光显示。珠江组岩性为浅灰色荧光细砂岩，岩屑荧光面积 5%，滴照淡乳白色，慢速扩散。FLAIR 流体录井烃组分齐全，但绝对值较低，流体组分基本无异常，曲线形态呈扁平状，显示储集层含烃饱和度较低。根据衍生参数计算公式(1)、(2)得计算， $\varphi(TG)$ 为 478.78×10^{-6} ， I_f 为 4.2431 (表 1)。在惠州油田 $\varphi(TG)-I_f$ 图版上投点，落在水区(图 4(b))。该井段进行随钻电阻率曲线与上覆无显示段砂岩无异常，电测解释为水层。录井解释与测井解释结论符合。

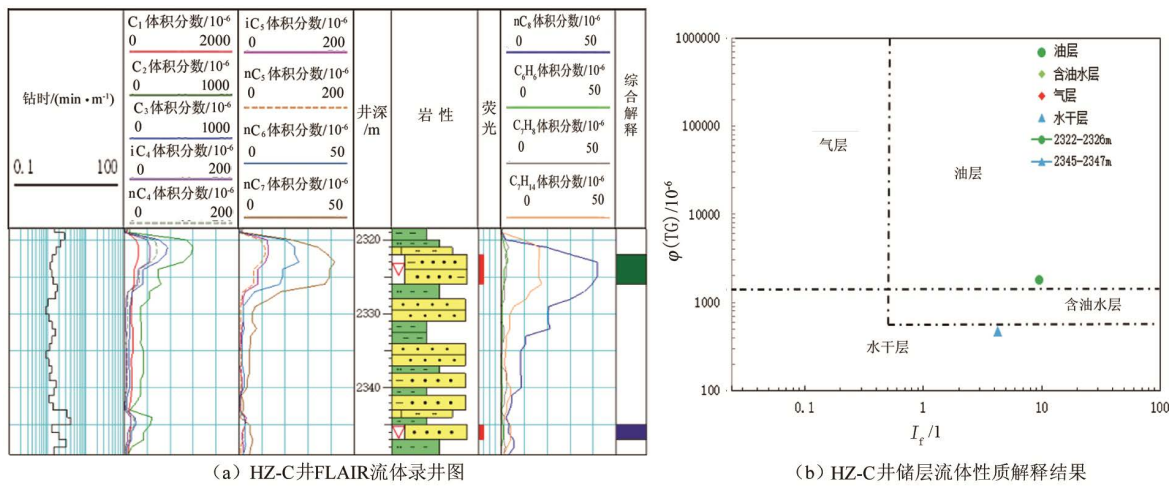


Figure 4. The results of fluid logging and reservoir fluid property in Well HZ-B
图 4. HZ-B 井流体录井及储层流体性质解释结果

4.3. HZ-C 井

HZ-C 井位于 HZ26 富生油洼陷以东, 惠西低凸起 HZ-C 构造上, 在 4378.00~4392.00 m 井段, 文昌组岩性为浅灰色荧光细砂岩, 岩屑荧光面积 5%, 滴照淡乳白色, 中速放射状扩散。FLAIR 流体录井烃组分齐全, 且绝对值较高, C_1 体积分数绝对值达 2.8×10^{-6} , C_1 百分占比 63.68%, 重组分占比较高, 不符合气层特征(图 5), 图中 PC 为接立柱气体。根据异常倍数法计算各主要参数异常倍数, C_1 异常倍数 8.6, C_6 异常倍数 23.9, C_7 异常倍数 24.0, C_7H_{14} 异常倍数 7.2, 且指示储集层含油特征的重组分绝对值均大于 10×10^{-6} 。根据惠州油田异常倍数法解释标准(表 2)该井段为油层。电测资料解释为油层, 但储层孔隙度仅为 10.2%, 渗透率 5.1 mD, 表现为低孔、低渗储层, 认为偏干; 但 FLAIR 流体录井显示地层含烃饱和度饱满。对该层进行 DST 测试, 日产油 46 m^3 , 录井综合解释结论与测试结论一致。

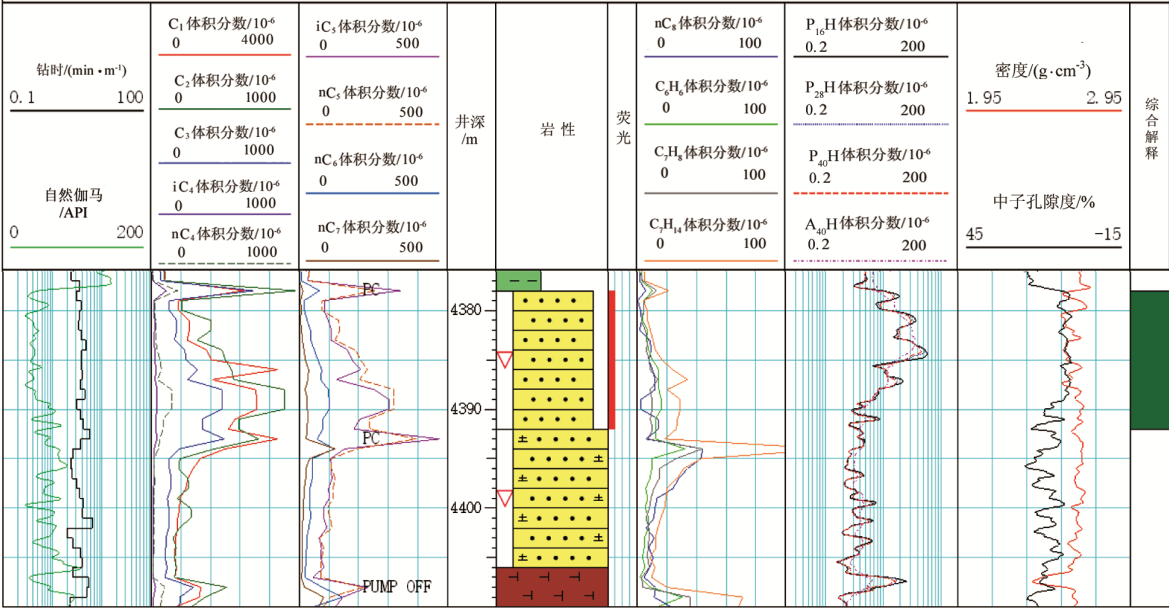


Figure 5. The result of synthetic logging interpretation in Well HZ-C
图 5. HZ-C 井录井综合解释结果图

5. 结语

根据 FLAIR 流体录井技术多年来在惠州油田的应用, 结合惠州油田的地质、油藏、流体特征, 通过不断的摸索、总结和不断完善, 建立起了烃比值图版法、 $\phi(TG)-I_f$ 图版法以及多参数异常倍数法共 3 类解释评价方法。采用 3 类评价方法在对油田近两年来 10 口探井的综合解释工作中, 符合率达到 87%。考虑到图版界限是基于数理统计结果划定的, 因此在后续的解释评价工作中随着数据的丰富, 需要及时对图版进行更新, 调整各项解释结论阈值, 更好地服务油田的勘探评价工作。同时, 在流体录井资料解释方法方面, 需要加大研究力度, 在不断改进和完善现有解释方法的基础上, 积极尝试和探索新的解释方法和手段, 进一步拓展流体录井资料应用范围。

参考文献 (References)

- [1] 陈荣书. 天然气地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989.
- [2] 黄小刚, 廖国良, 魏忠. FLAIR 井场实时流体检测系统[J]. 录井工程, 2005, 16(4): 66-67 + 72.
- [3] 袁胜斌, 倪朋勃, 邴磊, 等. 白云凹陷 FLAIR 流体录井气水层解释评价方法[J]. 录井工程, 2015, 26(4): 37-40.
- [4] 黄小刚. 气测录井甲烷校正法与气体解释方法选择原则[J]. 录井工程, 2007, 18(4): 1-5.
- [5] 谭忠健, 吴立伟, 郭明宇, 等. 基于烃组分分析的渤海油田录井储层流体性质解释新方法[J]. 中国海上油气, 2016(3): 37-43.

[编辑] 邓磊

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