熊 亭,毛 敏,关利军.惠州凹陷古近系文昌组、恩平组录井解释方法研究[J].海洋地质前沿,2019,35(1):67-73.

惠州凹陷古近系文昌组、恩平组 录井解释方法研究

熊 亭¹,毛 敏¹,关利军²

(1中法渤海地质服务有限公司,天津 300452;2 中海石油(中国)有限公司深圳分公司,深圳 518000)

摘 要:惠州凹陷古近系文昌组、恩平组暗色泥岩既为生油岩也为盖层,其气测组分齐全 且含量高,异常幅度常明显高于相邻储层段,对油气水识别造成很大的困扰,常规解释方 法适用性较差,无法准确区分储层流体性质。计算全烃-流体类型图版是在总结不同流体 类型实时流体录井(Fluid Logging & Analysis In Real time,简称 FLAIR)组分特征的基 础上,结合取样、测试结论进行数理统计分析,建立起的区域性解释图版。考虑到该图版 对油层与含油水层的区分具有一定的局限性,通过统计凹陷内7口探井93个样品的地化 岩石热解气相色谱图,归纳总结出油层、含油水层及水干层岩石热解气相色谱图特征差 异。两种不同载体录井资料解释方法相结合,能够准确的对储层流体性质做出评价,现场 实际应用效果较好,录井综合解释符合率达到88.5%。

关键词:惠州凹陷;古近系;FLAIR 流体录井;地化热解;解释评价 中图分类号:P618.13 文献标识码:A DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.01008

0 引言

随着勘探程度的提高,惠州凹陷相继在古近 系文昌、恩平组获得高产工业油气流,揭示了这 一地区巨大的勘探潜力。但由于泥岩表现出与 砂岩储层类似的气测组分齐全特征,甚至比储 层段气体含量更高的"异常情况",对储层流体 认识造成很大的困扰。运用常规的气测曲线形 态法、三角图版法、皮克斯勒图版法,常导致含 油水层、水、干层都解释为油层的错误认识。这 一地区古近系目的层埋藏较深,在物性上表现

作者简介:熊 亭(1989一),男,硕士,工程师,主要从事录井 资料综合解释工作. E-mail:xiongting@cfbgc.com

为以低孔隙度、低渗透率储层为主。在低孔、低 渗储层中,由于测井资料受储层岩性、物性、地 层水和储层物性的影响较大,造成含油气储层 测井曲线异常特征不明显,应用测井资料识别 油、气、水层也较为困难。同时,这类储层的勘 探还面临着井下工程状况复杂多变、作业周期 长、勘探风险大、钻井成本高等问题,在当前严 峻的国际油价形势下为了减少不必要的电测、 取样、测试项目,降低作业风险和成本,摸索出 一套能够准确识别和评价这类储层流体的方 法,成为了当前古近系流体评价亟待攻克的一 项技术难题。

1 区域概况

惠州凹陷位于珠一坳陷中部,古近系文昌组、 恩平组发育冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲以及 滨、浅湖一中深湖相沉积,垂向岩屑特征表现为厚

收稿日期:2018-06-19

基金项目:中国海洋石油总公司项目"南海东部海域低孔低 渗油气藏勘探开发关键技术研究与实践"(CNOOC-KJ 125 ZDXM 07 LTD)

层泥岩(烃源岩)与中厚层、薄层砂岩储层呈不等 厚互层,空间上具备良好的生储盖组合关系,后期 构造运动活跃,断层发育,成藏条件优越^[1]。据已 钻井 FLAIR 录井资料显示文昌、恩平组气测显 示活跃,组分齐全,泥岩段气体组分较砂岩油气显 示段含量更高,异常更加明显,表现为油层特征 (图 1,HZ27-2-X 井),与新近系珠江组、韩江组气 测特征差异明显,常规三角图版、皮克斯勒图版解 释方法适用性较差。深入剖析 FLAIR 气体组分 特征,并结合地化录井资料,快速、准确评价储层 流体性质,为后续电测、取样、测试等作业决策提 供有利的支撑。





Fig. 1 Logging responding characteristics of Paleogene mudstone in Huizhou Depression

2 FLAIR 响应特征与解释评价

FLAIR 实时流体录井技术是法国地质服务 公司推出的最新一代流体录井技术,其具备定量 恒温、组分多(C₁-C₈)、精度高、出入口双气路检 测、质量控制严格等特点^[2,3];与常规 Reserval 气 测录井相比,更能真实反映地层的含烃情况。本 次气测录井资料研究即采用 FLAIR 录井数据。

2.1 FLAIR 工作原理

FLAIR 流体录井技术包括系统硬件和系统 软件两部分,集成了气体采集检测、数据记录、质 量控制和分析解释等功能^[4]。系统硬件主要是针 对气体数据采集、记录,通过 2 个 FLEX 萃取器 连续对定量泥浆加热到特定的温度然后进行脱 气,用专用气管线脱气器脱出的气体,在负压条件 下传送到色谱、质谱仪进行分析,检测不同组分含量;色谱仪的作用是将气体中 C₁—C₈ 及其他非 烃类各组分分离并记录下各个组分值的大小,而 质谱仪则有选择性地对其中某些组分进行检测, 在气体采集和检测过程中,最大程度地保证了气 体数据客观真实反映井下地质情况,为气体数据 分析打下了良好的基础。系统软件主要由数据质 量控制软件和资料分析、解释软件两部分组成,质 量控制软件通过对 FLEX 参数的分析,来实现评 判系统检测到的每个数据点的质量;避免仪器设 备不稳定、消除再循环气等各方面因素的影响,得 到储集层真实的气体含量,从而更准确地反应储 层的含烃特征,为后续资料解释研究提供保障。

2.2 FLAIR 流体录井响应特征

对惠州凹陷古近系文昌组、恩平组已钻井泥 岩层、砂岩油气显示层的 FLAIR 流体录井响应 特征统计分析,该区泥岩层与砂岩显示层录井特 征极为相似(表1)。两者皆有明显的气测异常特 征,气测组分齐全且曲线形态多呈箱形、指状,较 饱满,C₁相对百分含量(C₁%)较低,多在40%~ 85%之间,表现为油层特征。运用常规录井解释 方法,如三角图版、皮克斯勒图版解释砂、泥岩层 均为油层;采用多参数异常倍数法^[5]C₁、C₂、iC₄、 nC₄、iC₅、nC₅异常倍数多在1~3之间,表现为含 油水层、水层特征。上述情况与实际相悖,此类方 法无法准确对储层进行评价。

表 1 惠州凹陷古近系已钻井泥岩与显示层 FLAIR 参数对比表

Table 1 Comparison of FLAIR parameters between mudstone and hydrocarbon display layer in Huizhou Depression

井名	井段/m	岩性 ·													三角	皮克斯	完井解	
			C ₁	C_2	C_3	iC_4	nC_4	iC_5	nC_5	nC_6	nC_7	nC_8	C_6H_6	C_7H_8	C_7H_{14}	图版	勒图版	释结论
A1	3 902~3 906	泥岩	4 509	1 381	1 664	208	695	254	315	104	64	40	9	30	101	油层	油层	-
A1	$3 908 \sim 3 912$	细砂岩	6 075	1 818	2 120	221	913	340	379	134	87	53	10	41	151	油层	油层	油层
A2	$3 990 \sim 3 998$	泥岩	4 878	1 523	2 157	221	849	287	291	118	71	30	6	15	97	油层	油层	-
A2	3 998~4 003	细砂岩	6 918	2 462	2 079	147	780	250	323	136	71	32	8	27	115	油层	油层	油层
A3	3 935 \sim 3 940	泥岩	2 397	491	690	95	315	139	249	64	43	35	8	6	59	油层	油层	-
A3	3 940~3 943	细砂岩	3 066	728	927	159	450	173	207	60	38	49	7	11	57	油层	油层	含油水层
A4	4 200~4 123	泥岩	4 599	1 107	1 400	117	557	201	235	109	61	18	4	10	75	油层	油层	-
A4	4 213~4 218	细砂岩	3 744	1 335	1 677	139	638	209	260	125	69	37	12	21	112	油层	油层	水层

2.3 FLAIR 解释评价方法建立

从惠州凹陷已钻井的常规 Reserval 气测录 井分析可知,气测全量能够较为真实地反映地层 的含烃情况,而 FLAIR 流体录井中常温常压下 检测的一定数值的 C₆₊组分,则指示储层流体内 含油,为了更好地划分储层流体性质,在分析古近 系文昌组、恩平组 FLAIR 流体录井组分响应特 征的基础上,根据不同流体性质组分特征不同,定 义了计算全烃和流体类型 2 个衍生参数,用以区 分不同流体性质,其计算公式如下:

计算全烃: TG = $C_1 + 2C_2 + 3C_3 + 4(iC_4 + nC_4) + 5(iC_5 + nC_5) + 6nC_6 + 7nC_7 + 8nC_8$ (1)

流体类型:10 * $(nC_6 + nC_7 + nC_8)/(C_4 + C_5)$ (2)

式 中: C_1 一甲 烷, C_2 一乙 烷, C_3 一丙 烷, iC_4 (nC_4)一异(正)丁烷, iC_5 (nC_5)一异(正)戊烷, nC_6 一正已烷, nC_7 一正庚烷, nC_8 一正辛烷, 均为 FLAIR 测量的各个烃组分的含量, 计算参数计算 全烃、流体类型为无量纲。

计算全烃参数反映的是储层孔隙内烃类物质 的丰富程度,全烃值越高,说明储层中烃类物质越 富集;流体类型则表示储层孔隙内油质的丰富程 度,流体类型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^[6]。利用横坐 标流体类型数值的高低划分出油层和气层的界 限;利用纵坐标上全烃数值的大小划分出油气层 与水层的界限。

笔者在统计凹陷内 11 口井古近系文昌组、恩 平组显示层 FLAIR 流体组分数据的基础上,计 算各显示层全烃参数和流体类型参数。利用计算 全烃和流体类型 2 个衍生参数进行数理统计投 点,再结合测井解释、MDT 取样、试油结论(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(图 2),考虑到图版界限是基 于数理统计结果划定的,其分辨精度可能存在一 定偏差,具有一定的局限性。因此,为了更加准确 的评价凹陷内这类储层,在随钻录井综合解释过 程中还参考其他录井资料进行综合解释。

3 地化岩石热解气相色谱识别与评价

3.1 地化热解气相色谱分析原理

地化岩石热解气相色谱是指在高温下对岩屑 中的烃类物质进行挥发和裂解,将原油分离成其





组成的单个组分,并检测出各个组分相对百分含量,以此来分析各类产液性质储层的烃类分布特征,可得出识别储集层产液性质的岩石热解气相 色谱图^[7]。根据岩石热解气相色谱分析原理和应 用实践,岩石热解气相色谱图对储层含水具有较 好的识别性,其判断依据是:当储层为油水共存状 态时,各类微生物的生物降解作用会发生,导致原 油中的部分烃类物质发生菌解和氧化作用,使得 正构烷烃组分减少,异构烷烃类与不可分辨的杂 类原子化合物增加,导致含水油层色谱正构烷烃 组分不齐全,碳数范围变窄、基线抬升、色谱峰值

3.2 地化热解色谱图版建立

偏低,轻组分相对减少,主峰碳明显^[8,9]。

在统计7口文昌组、恩平组地化岩石热解气 相色谱数据的基础上,结合已测试井资料知古近 系恩平、文昌组油层主要为轻质油,岩石热解色谱 分析表现为"前峰型"呈正态分布,正构烷烃组分 齐全、峰值高,碳数范围一般为 nC₅—nC₂₅之间, 主峰碳多分布在 C₁₅之前,色谱基线平直,无隆 起,异构烷烃和未分辨化合物较低(图 3a)。对于 储层含水岩石热解色谱分析为正构烷烃组分不齐 全,峰值较低,碳数范围变窄,一般在 nC₉—nC₂₀ 之间,主峰碳后移,色谱基线一般尾部隆起,异构 烷烃和未分辨化合物增多(图 3b)。水层岩石热 解和热解色谱特征表现为 S₁、S₂ 无峰值,曲线平 直;热解色谱分析表现为无或仅部分正构烷烃组 分,且峰值很低(图 3c)。干层一般为储层物性非 常差,微孔隙发育,岩石热解气相色谱分析表现为 油层特征相似(图 3d),正构烷烃组分齐全,异构 组分较多,且存在基线偏移,峰型靠后的情况,但 气测录井组分一般无明显异常,曲线形态平直或 欠饱满。

4 案例应用分析

以上2种解释方法分别是对以泥浆为载体的 地层气体和以岩屑为载体的岩石孔隙烃类物质进 行分析。2种分析方法各有优势又相互补充,结 合在一起运用,针对古近系文昌组、恩平组录井资 料解释具有很好的效果。在惠州凹陷新钻4口井 的综合解释中,综合解释符合率达到87%以上, 满足了现场快速决策的需求。

4.1 HZ-A-1 井

HZ-A-1 井距 HZ-B 油田 12.7 km,为 HZ-A 区块中部断块高部位的一口评价井,周边邻井资 料丰富,可参考性强。该井在恩平组3141~ 3 162 m 井段为一套连续薄层砂岩显示段,岩屑 录井岩性为细砂岩,荧光面积 5%~20%,A/C 反 应中速。FLAIR 流体组分齐全(表 2),曲线形态 为饱满状箱形且异常明显,特别是 C₆₊以上重组 分异常倍数较高,甲基环己烷(C7H14)从无到有, 最高达11.03×10⁻⁶,异常倍数10,储层表现为含 油特征;根据公式(1)(2)计算全烃和流体类型进 行投点(图 3),①、②、③层点落在油层区域, FLAIR 资料初步解释为油层;结合地化岩石热解 气相色谱图分析显示(图 4),正构烷烃组分齐全, 碳数范围在 nC_9 — nC_{26} 之间,各组分峰值较高,整 体呈"前峰型"梳状展布,主峰碳在 $nC_9 - nC_{12}$ 之 间,基线微隆起,异构烷烃组分少,无含水特征,总 体表现为轻质油层特征。结合以上两类资料分 析,录井综合解释为轻质油层。

本井段测井电阻率异常明显,由 3.6 Ω•m 上升到 9.8 Ω•m,电测解释为油层。在 3 155 m 处用 480 mL 取样瓶进行 MDT 取样分析,取得油 样 320 mL 油样,160 mL 气样,MDT 取样证实本 井段为油层。录井解释与 MDT 取样结论符合。



图 3 惠州凹陷古近系地化岩石热解气相色谱图谱特征

Fig. 3 The gas chromatogram characteristics of rock pyrolysis in Huizhou Depression

表 2 各井段 FLAIR 流体组分特征

Table 2 The characteristics of FLAIR fluid components in each well intervel

层号		FLAIR 流体组分/10 ⁻⁶														解释
	C ₁	C_2	C_3	iC_4	nC_4	iC_5	nC_5	nC_6	nC_7	nC_8	C_6H_6	C_7H_8	C_7H_{14}	全烃	类型	结论
1	1 307	482.9	368.7	108.3	135.2	46.9	49.8	28.59	13.78	5.88	7.54	7.26	5.38	5 246	1.42	油层
2	1 426	511.4	406.1	113.3	150.9	51	55.2	33.24	16.96	7.45	8.48	7.86	11.03	5 765	1.56	油层
3	1 323	478.5	369.1	95.7	137	44.5	48.3	28.18	16.43	9.35	8.48	7.27	10.8	5 265	1.66	油层
4	256	41.9	63.1	16.2	29.7	9	9.5	3.96	1.99	2.45	0.15	7.1	10.07	959.5	1.3	含油水层
5	449.2	62.8	105.9	15	38.5	10.7	12.2	10.82	4	2.05	0.45	7.63	10.86	$1 \ 436$	2.21	含油水层
6	82.12	0	0	1	1	1	1	3.003	0.17	1.354	0.01	5.92	1.351	171	11.31	水层

4.2 HZ-B-1 井

HZ-B-1 井为 HZ-B 区块北部断背构造高部 位的一口预探井,该井在文昌组 3 219~3 234 m 井段为一套连续的显示段,岩屑录井岩性为细砂 岩,荧光面积 5%,A/C 反应中速。④、⑤号层 FLAIR 流体组分齐全(表 2),上覆泥岩段组分 异常明显,且曲线形态饱满,下部显示段轻重组 分较上覆泥岩段下降明显,显示储层含烃饱和 度下降,⑥号层存在部分流体组分缺失,指示储 层含水;根据公式(1)(2)计算全烃和流体类型 进行投点(图 3),④、⑤号层落在含油水层区间、 ⑥号层落在水干层区域,FLAIR 资料初步解释 ④、⑤号层为含油水层和⑥号层为水层;结合地 化岩石热解气相色谱图分析显示(图 5),④、⑤ 号层正构烷烃组分不齐全,轻组分缺失较多,碳 数范围 nC₈—nC₂₆之间,各组分峰值偏低,整体 呈"后峰型"梳状展布,主峰碳在 C₁₅—nC₂₀之间, 基线尾部微隆起,表现为含水特征,⑥号层基线 平直且无正构烷烃组分,表现为水层特征。结 合以上两种分析,随钻录井综合解释④、⑤号层 为含油水层和⑥号层水层。



图 4 HZ-A-1 井 FLAIR 流体组分特征与岩石热解气相色谱特征

Fig. 4 The characteristics of FLAIR fluid components and pyrolysis gas chromatography in Well HZ-A-1



图 5 HZ-B-1 井 FLAIR 流体组分特征与岩石热解气相色谱特征



本井段测井电阻率异常不明显,电测解释为 ④、⑤号层为含油水层,⑥号层为水层。本井在⑤ 号层3220.5 m处进行 MDT 取样,取得280 mL 水样,见油花,证实本层为含油水层。录井解释结 论与测井、MDT 取样为结论相符。

5 结论

(1)在惠州凹陷古近系油气水层评价中,通过 对已钻井资料分析,FLAIR流体录井、地化岩石 热解气相色谱特征对储层流体变化有很好的响应 性,由此建立了全烃一流体指数类型图版和岩石 热解气相色谱标准图版,应用效果好。

(2)两种不同类型录井资料相结合,能更充分、准确地对储层流体性质做出评价,解决了当前 古近系面临的生油岩层气测组分全且高异常明显 导致常规解释方法难以准确识别储层流体性质的 困扰。

(3)尽管全烃一流体指数图版存在一定的局限性,但随着古近系钻井的增多,数据的丰富,图版的进一步完善,针对这类储层的解释符合率会越来越高,使其在珠江口盆地其他各个凹陷得到更充分的应用。

参考文献:

[1] 李丙喜,姜正龙,朱俊章,等.惠州凹陷文昌组一恩平组油气

成藏模式[J]. 油气地质与采收率,2009,16(6):36-38.

- [2] 白林坤. FLAIR 技术在勘探开发中的应用[J]. 中国石油和 化工标准与质量,2014(9):158,189.
- [3] 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.
- [4] 尚锁贵,黄小刚. FLAIR 系统在渤海湾盆地低电阻率油气 层的应用[J]. 录井工程,2007,18(4):40-45.
- [5] 熊 亭,毛 敏,黄小刚,等. 渤海湾盆地垦利 16-1 区块录
 井综合解释评价方法[J]. 石油天然气学报,2017,39(4):
 175-181.
- [6] 袁胜斌. FLAIR"重组分"解释评价原则及其应用[J]. 录井 工程,2008,19(1):16-19.
- [7] 石艳芳,低渗透率储层岩石热解气相色谱量化解释评价方法[J].录井工程,2009,20(4):27-30,39.
- [8] 王 伟,刘深艳. 渤海地区低电阻率油层的综合录井识别与 评价[J]. 录井工程,2015,26(2):46-49.
- [9] 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,2016,28 (3):37-43.

A DISCUSSION ON WELL LOGGING INTERPRETATION METHOD: A CASE FROM PALEOGENE WENGCHANG AND ENPING FORMATIONS IN THE HUIZHOU DEPRESSION

XIONG Ting¹, MAO Min¹, GUAN Lijun²

(1 China-Franch Bohai Geological Service Co., Ltd., Tianjin 300452, China;2 Shenzhen Branch of CNOOC Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: The Paleogene dark mudstone in the Wengchang and Enping Formations is not only a source rock, but also a cover layer for oil accumulation. It usually shows complete gas logging composition of higher content comparing to adjacent reservoirs, and always brings great trouble to the fluid evaluation. Conventional interpretation methods are not effective enough to distinguish the fluid properties. In this study, a regional interpretation chart for calculating total hydrocarbon-fluid types is built upon the characteristics of the FLAIR components for different fluid types, combined with sampling and testing data. There is certain limitation to distinguish oil from oil-bearing water. According to the gas chromatogram data for geochemical rock pyrolysis analysis for 93 samples from 7 wells in the depression, the characteristics are summarized in this paper for oil layers, oil-bearing water layers, water layers and dry layers respectively. To integrate the two logging interpretation methods based on different data carriers, reservoir fluid properties of the Paleogene can be accurately evaluated. The consistency of comprehensive logging interpretation method may reach 88.5%.

Key words: Huizhou Depression; Paleogene; FLAIR (Fluid Logging & Analysis In Real time); fluid logging; geochemical pyrolysis; fluid interpretation