

Application of Mud Gas Logging Data in LWD Interpretation in Western Area of South China Sea

Zhujun Xia, Heju Zhang, Hongyi Gao, Baoqing Cheng, Jian Yang

Zhanjiang Branch of Engineering Company of CNOOC Energy Technology & Services Limited,
Zhanjiang Guangdong
Email: xiazhj2@cnooc.com.cn

Received: Apr. 14th, 2017; accepted: Jul. 20th, 2017; published: Aug. 15th, 2017

Abstract

With the continuous deepening of exploration in the west area of South China Sea, conventional LWD interpretation encountered many challenges in reservoir evaluation. Mud gas log collected the direct data reflecting oil and gas bearing property of the reservoir while drilling. Practical methods identifying oil and gas layer in this area included Plixer interpretation method, light hydrocarbon ratio method, triangle plot method and light/heavy hydrocarbon ratio method. Composite gas logging and log interpretation plots are worked out by comparing the characteristics of gas logging and well log data. These plots include $\varphi(\text{TG}) - B_H$, $\varphi(\text{TG}) - \varphi(\text{C}_1)/\varphi(\text{C}_{2+})$, $\varphi(\text{TG}) - W_H$, $W_H - \rho_t$, $\varphi(\text{TG}) - \varphi_{nc}$, $\Delta t/(\rho \times \varphi_{nc}) - (\varphi(\text{C}_1) + \varphi(\text{C}_2))$. These methods have been widely used in well log reservoir prediction in exploration well, appraisal well and production well in the western area of South China Sea.

Keywords

Gas Log, LWD, Log Interpretation, Triangle Plot, Comprehensive Interpretation, Reservoir Evaluation

气测录井资料在南海西部油田随钻测井解释中的应用

夏竹君, 张贺举, 高弘毅, 程宝庆, 杨 坚

中海油能源发展股份有限公司工程技术湛江分公司, 广东 湛江

作者简介: 夏竹君(1974-), 女, 高级工程师, 现主要从事测井解释研究工作。

Email: xiazhj2@cnooc.com.cn

收稿日期: 2017年4月14日; 录用日期: 2017年7月20日; 发布日期: 2017年8月15日

摘 要

南海西部海域随着勘探实践的不断深入, 常规随钻测井解释方法在储层评价方面遇到了诸多困难。气测录井是在随钻中实时录取的反映地下储层含油气性的直接资料, 南海西部油田识别油气层较实用的方法主要有皮克斯勒解释法、轻烃比值法、三角形图版法、轻/重烃值法等。对比分析气测资料和测井资料的特点, 研究出气测、测井综合解释图版法, 主要包括总烃体积分数 - 烃平衡($\varphi(\text{TG}) - B_{\text{H}}$)、总烃体积分数 - C_1/C_{2+} 的体积分数比($\varphi(\text{TG}) - \varphi(C_1)/\varphi(C_{2+})$)、总烃体积分数 - 烃湿度($\varphi(\text{TG}) - W_{\text{H}}$)、烃湿度 - 电阻率($W_{\text{H}} - \rho_t$)、总烃体积分数 - 补偿中子孔隙度($\varphi(\text{TG}) - \varphi_{\text{nc}}$)、声波时差/(密度 \times 补偿中子孔隙度) - ($C_1 + C_2$)的体积分数之和($\Delta t/(\rho \times \varphi_{\text{nc}}) - (\varphi(C_1) + \varphi(C_2))$)等交会图版, 以及气测总烃与测井电阻率优化后连续交会法等, 在南海西部探井、评价井以及开发井的测井储层评价中得到了广泛应用。

关键词

气测录井, 随钻测井, 测井解释, 三角形图版, 综合解释, 储层评价

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

随着南海西部海域勘探实践的不断深入, 寻找优质储层的油气藏难度加大, 为了解决进一步解决储量和产量问题, 勘探领域逐渐往深层、复杂储层拓展, 勘探开发的目标区已经逐渐转移至由岩性因素起主导作用的低渗透砂岩油气藏。由于低渗透砂岩油气藏形成的地质条件和分布规律具有复杂性和隐蔽性两个显著特点, 单方面从测井或录井识别储层油气层类型得不到根本解决。

南海西部油田的勘探一直将气测录井作为探井必测项目, 在近 30 年的勘探中发挥了巨大作用。但由于海上勘探钻井成本较高, 如何在勘探信息较少的情况下更好地利用气测录井挖掘更多信息是关键。国内不少油田提出了将测井、录井资料相结合进行综合解释的方法, 取得了较好效果[1] [2] [3] [4] [5]。南海西部油田一直在研究测井、录井资料的综合解释方法, 也取得了一些成果, 在测井解释、随钻跟踪分析中发挥了很大作用。

2. 气测录井技术

2.1. 气测录井原理

气测录井技术是指运用色谱分析仪对地层破碎后经钻井液携带至地面的气体的组成成分和含量进行测量分析,从而发现油、气、水显示并初步判断地层流体的性质。气测录井资料是随钻实时进行的,具有及时性,是地下地层含油气性最直接、最客观的反映,是发现油气水层的重要手段。

在南海西部油田,气测录井的参数主要有钻时、全烃体积分数($\varphi(\text{TG})$)、各烃组分体积分数($\varphi(\text{C}_1)$ 、 $\varphi(\text{C}_2)$ 、 $\varphi(\text{C}_3)$ 、 $\varphi(\text{iC}_4)$ 、 $\varphi(\text{nC}_4)$ 、 $\varphi(\text{iC}_5)$ 、 $\varphi(\text{nC}_5)$)、 CO_2 体积分数及其他非烃,记录的采样间隔为1 m。

2.2. 油气水层特征

在南海西部油田,气测录井资料在油气水层的主要特征为:

- 1) 油层全烃曲线升高幅度大,锥形峰,峰形饱满,变化速度快,组分出峰齐全,重烃含量高。
- 2) 气层烃组分种类不齐全或部分组分含量极低,各组分曲线变化趋势较为一致,呈现饱满型;全烃曲线升高幅度大,峰形饱满,变化速度快,组分出峰不全,重烃含量低。烃类气组分含量中以甲烷气为主,总烃含量和甲烷含量始终较为接近,变化趋势较为一致。
- 3) 油水同层相对油层而言,全烃峰值相对低,峰形较饱满,全烃峰带拖尾。
- 4) 水层全烃曲线升高幅度小甚至没有,峰形宽,有的呈不规则的锯齿状,变化速度缓慢,具有明显的拖尾现象。烃比值小,无重烃组分,钻时小。

2.3. 油气层识别常用方法

在南海西部油田应用气测资料识别油气层的常用方法有:

- 1) 皮克斯勒解释法。不同类型流体具有不同的 $\varphi(\text{C}_1)/\varphi(\text{C}_2)$ 、 $\varphi(\text{C}_1)/\varphi(\text{C}_3)$ 、 $\varphi(\text{C}_1)/\varphi(\text{C}_4)$ 、 $\varphi(\text{C}_1)/\varphi(\text{C}_5)$,根据上述4项比值的特征,可反推地层孔隙流体类型及性质。
- 2) 轻烃比值法。轻烃比值法是在皮克斯勒解释法的基础上,通过测定大量的皮克斯勒解释法所用的烃比值和其他变量后确定出来的,该方法引用了烃湿度 W_H , 烃平衡 B_H 和烃特征 C_H 共3个参数。
- 3) 烃组分三角形图版法。烃组分三角形图版法是法国 Geoservices 公司提出的[6],该方法是减去背景值后的 $\varphi(\text{C}_1)$ 、 $\varphi(\text{C}_2)$ 、 $\varphi(\text{C}_3)$ 、 $\varphi(\text{C}_4)$ 和 $\varphi(\text{C}_T)$ ($\varphi(\text{C}_T) = \varphi(\text{C}_1) + \varphi(\text{C}_2) + \varphi(\text{C}_3) + \varphi(\text{C}_4)$) 计算出 $\varphi(\text{C}_2)/\varphi(\text{C}_T)$ 、 $\varphi(\text{C}_3)/\varphi(\text{C}_T)$ 、 $\varphi(\text{C}_4)/\varphi(\text{C}_T)$ 等3个比值,再以这3个值为极点做三角图(图1)。

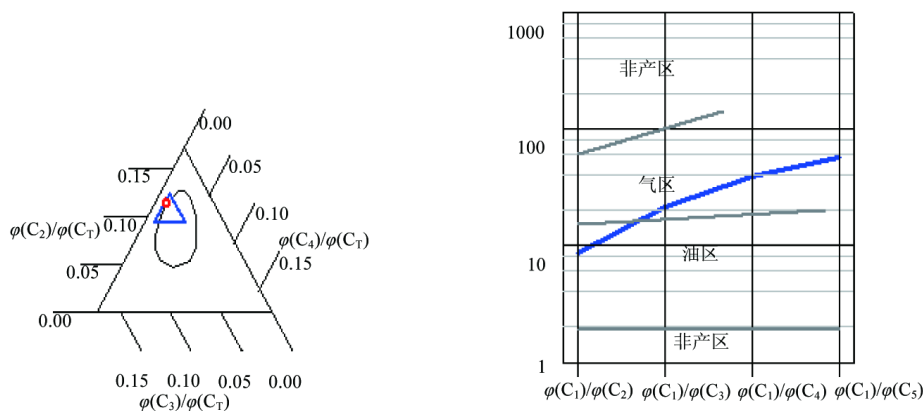


Figure 1. The triangle plot gas logging composition of Well A in the study area

图1. 研究区A井气测组分三角形图版

解释的原则是根据三角形顶点的指向、三角形的大小和 M 点在图中的位置来判断储层中流体的性质及有无产能, M 点落在图版中的价值区内认为油层有生产能力, 否则认为无产能。

解释时, 根据三角形顶尖的指向和 M 点在解释图版中的位置来判断层内流体的性质: 如果三角形顶点朝上, 是正三角形, 该层为气层; 若顶点朝下, 是倒三角形, 则该层为油层。

输入研究点气测组分值, 可绘制出三角形图, 判断方法是: 正三角形为气层, 三角形越大, 甲烷含量越高, 即越干, 三角形越小, 气越湿, 偏轻质油; 倒三角形为油层, 倒三角形越大, 油越稠, 倒三角形越小, 油越轻, 偏轻质油。

4) 轻/重烃值法。轻/重烃值法是用轻烃与重烃的比值来确定储层内流体的性质, 即用 $\varphi(C_1)/\varphi(C_{2+})$ 来判断流体性质, 其中 $\varphi(C_{2+}) = \varphi(C_2) + \varphi(C_3) + \varphi(iC_4) + \varphi(nC_4) + \varphi(iC_5) + \varphi(nC_5)$ 。在南海西部油田, 根据轻/重烃值法判断油气的标准不统一, 与油源、构造等都有关系, 不同区域其标准不一样。

3. 气测、测井综合解释新方法

3.1. 气测、测井综合解释图版法

在南海西部油田, 收集不同盆地不同油藏的现有探井、评价井、开发井的井史资料, 在了解各类储层孔隙结构特征、物性特征、流体分布特征的基础上, 对不同流体性质储层气测录井、测井响应特征进行分析, 根据化验分析数据及测试层位相关数据, 对各类储层、各类流体识别方法进行研究, 总结出了中子、声波、密度、电阻率测井及气测资料在油层、气层、水层上的特点, 建立了测井、录井综合解释图版, 主要包括总烃体积分数 - 电阻率($\varphi(TG) - \rho_t$)、烃湿度 - 电阻率($W_H - \rho_t$)、总烃体积分数 - 烃湿度($\varphi(TG) - W_H$)、总烃体积分数 - 补偿中子孔隙度($\varphi(TG) - \phi_{nc}$)、总烃体积分数 - 声波时差/(密度 \times 补偿中子孔隙度)($\varphi(TG) - \Delta t/(\rho \times \phi_{nc})$)、声波时差/(密度 \times 补偿中子孔隙度) - ($\varphi(C_1) + \varphi(C_2)$) ($\Delta t/(\rho \times \phi_{nc}) - (\varphi(C_1) + \varphi(C_2))$)等 6 个交会图版(图 2), 并研发出了油气层快速识别系统分析软件, 建立了南海西部海域油气层的快速识别, 该方法在随钻测井解释中得到了广泛应用, 大大提高了解释符合率和时效。

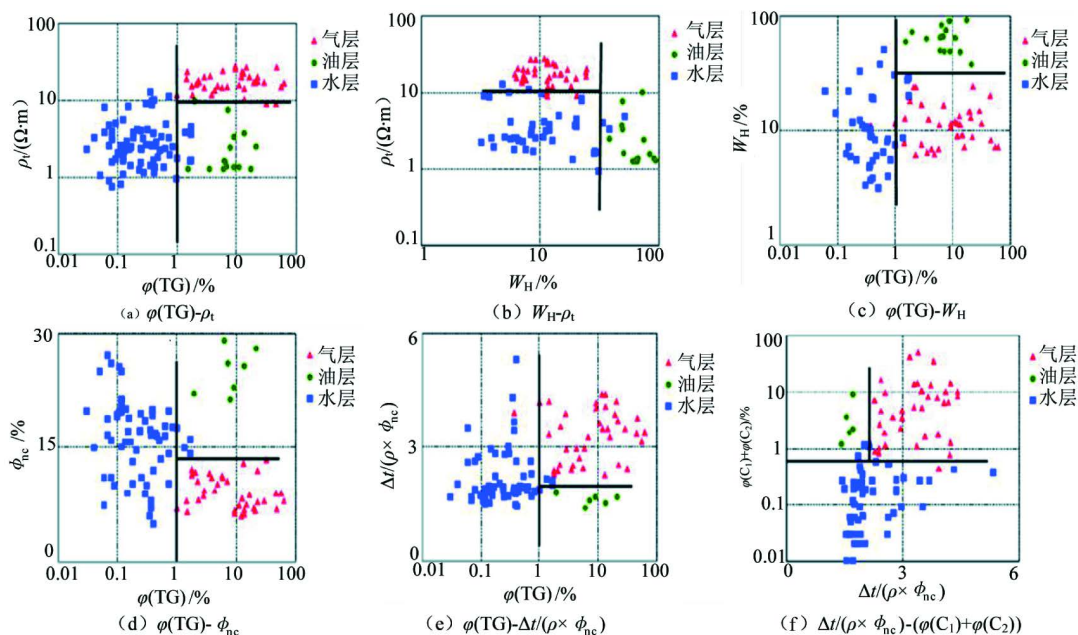
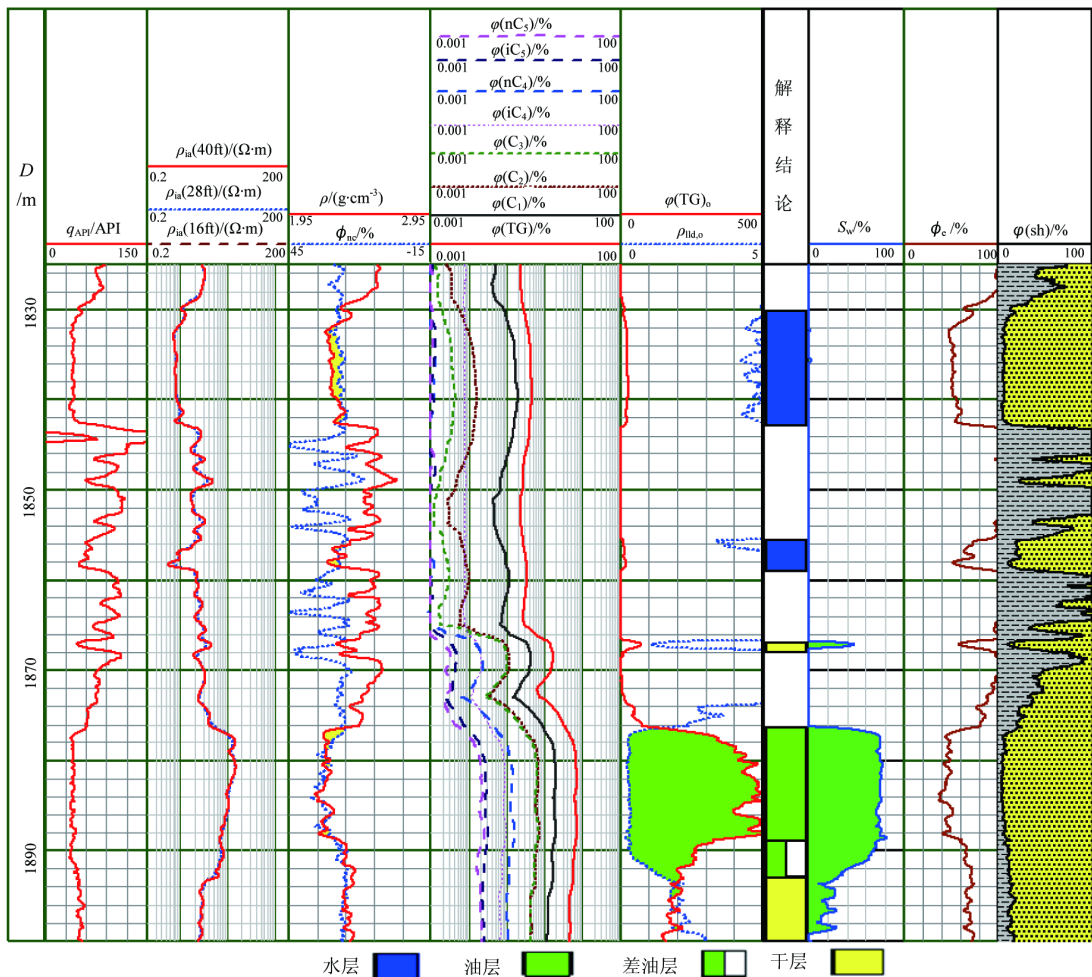


Figure 2. The comprehensive interpretation plot of gas logging and well logging in Reservoir B in the study area
图 2. 研究区 B 油藏的气测、测井综合解释图版

3.2. 气测总烃与测井电阻率优化后连续交会法

一般情况下，气测总烃曲线幅度上升是储层含油气的响应特征，同样测井电阻率曲线增大也是储层含油气的响应特征。将上述 2 条曲线进行优化处理后，再按一定的横向比例在同一道中进行交会，根据交会的包围面积大小可以评价储层含油气情况。如图 3 所示， $\varphi(TG)_o$ 为优化后的总烃体积分数(无量纲)， $\rho_{nd,o}$ 为优化后的深侧向电阻率(无量纲)，上述 2 条曲线交会时的特点是：在油层， $\varphi(TG)_o$ 与 $\rho_{nd,o}$ 交会的面积大且非常饱满；在差油层，交会面积相对于油层来说要小很多，且不饱满；在干层，交会面积很小甚至没有；在水层，交会面积很小甚至不交会。



注：D 为井深； q_{API} 为自然伽马； $\rho_{ia}(40ft)$ 、 $\rho_{ia}(28ft)$ 、 $\rho_{ia}(16ft)$ 分别为探测深度为 40、28、16 英尺的高分辨率阵列感应电阻率； ρ 为密度； S_w 为含水饱和度； ϕ_e 为有效孔隙度； $\phi(sh)$ 为泥质体积分数。下同。

Figure 3. The continuous cross plot of total hydrocarbon and optimized logging resistivity of gas logging in Well C of the study area

图 3. 研究区 C 井气测总烃与测井电阻率优化后连续交会图

4. 应用情况分析

4.1. 精确评价储层流体性质,确定油藏类型

D 井是南海西部油田 2017 年 3 月完钻的一口预探井，构造位置是乌石凹陷东区反转构造带大型鼻状

构造倾末端，钻探目的是落实乌石 22-8 构造 L2 段含油气性，寻找优质规模储量。如图 4 所示，该储层 L2 段 VI 砂组(3434~3456 m)岩性以细砂岩、泥岩为主，随钻测井资料上显示有 2 套好的储层， q_{API} 较低(63.5 API)， ϕ_{nc} 中等(17%~18%)，电阻率较高(12.5~35.5 $\Omega\cdot m$)，气测曲线上升幅度较大，组分较全，总体显示为较好的油气层。测井解释的难点是根据上述常规测井曲线很难准确评价储层的流体性质，即很难确定油藏类型。

为了解决该难题，按照上述方法，制作气测、测井综合解释图版，即优选随钻测井曲线绘制交会图，主要包括总烃体积分数 - 烃平衡($\phi(TG) - B_H$)、总烃体积分数 - C_1/C_{2+} 的体积分数比($\phi(TG) - \phi(C_1)/\phi(C_{2+})$)、总烃体积分数 - 烃湿度($\phi(TG) - W_H$)、烃湿度 - 电阻率($W_H - \rho_i$)、总烃体积分数 - 补偿中子孔隙度($\phi(TG) - \phi_{nc}$)、声波时差/(密度 \times 补偿中子孔隙度) - ($C_1 + C_2$) 的体积分数之和($\Delta t/(\rho \times \phi_{nc}) - (\phi(C_1) + \phi(C_2))$)等 6 个交会图版。从图 5(对应深度点为 3437.75 m)中可以看出，有 1 个交会图指示为油层，有 5 个交会图指示为气层。

通过在 3437.58 m 测压点分析 MDT (modular dynamics formation, 是斯伦贝谢公司的电缆地层测试器) 泵抽取样，得到流体样品为气 1.765 ft^3 ，油 40 cm^3 ，不含水；样品流体密度为 0.413 g/cm^3 ，(最轻的挥发油一般也在 0.5 g/cm^3 以上)，黏度为 0.17 $mPa\cdot s$ ，气油比为 3000 m^3/m^3 ；样品气体组分分析： $\phi(C_1)$ 为 75.532%， $\phi(C_2)$ 为 11.604%， $\phi(C_3)$ 为 5.027%， $\phi(CO_2)$ 为 4.36%。综合分析该层流体性质为凝析气藏。

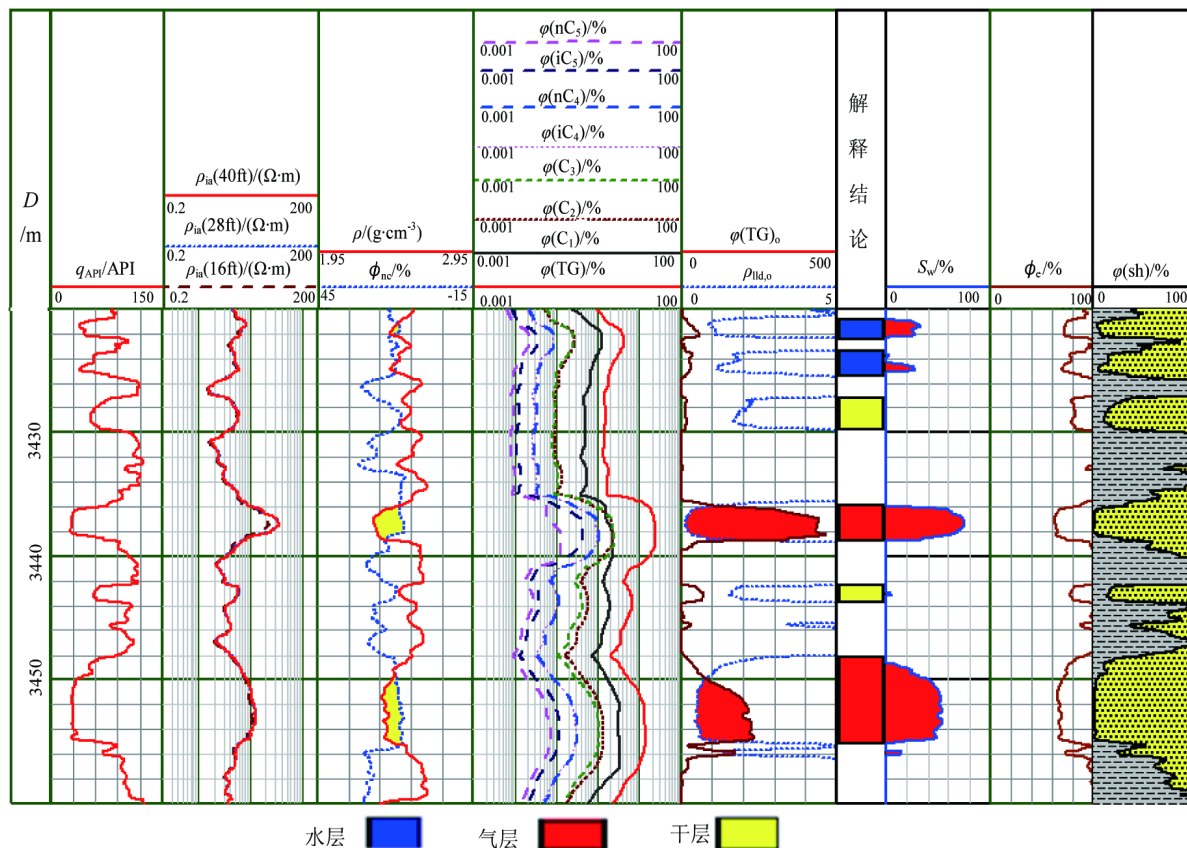


Figure 4. The continuous cross plot of total hydrocarbon and optimized logging resistivity of gas logging in Well D of the study area
 图 4. 研究区 D 井气测总烃与测井电阻率优化后连续交会图

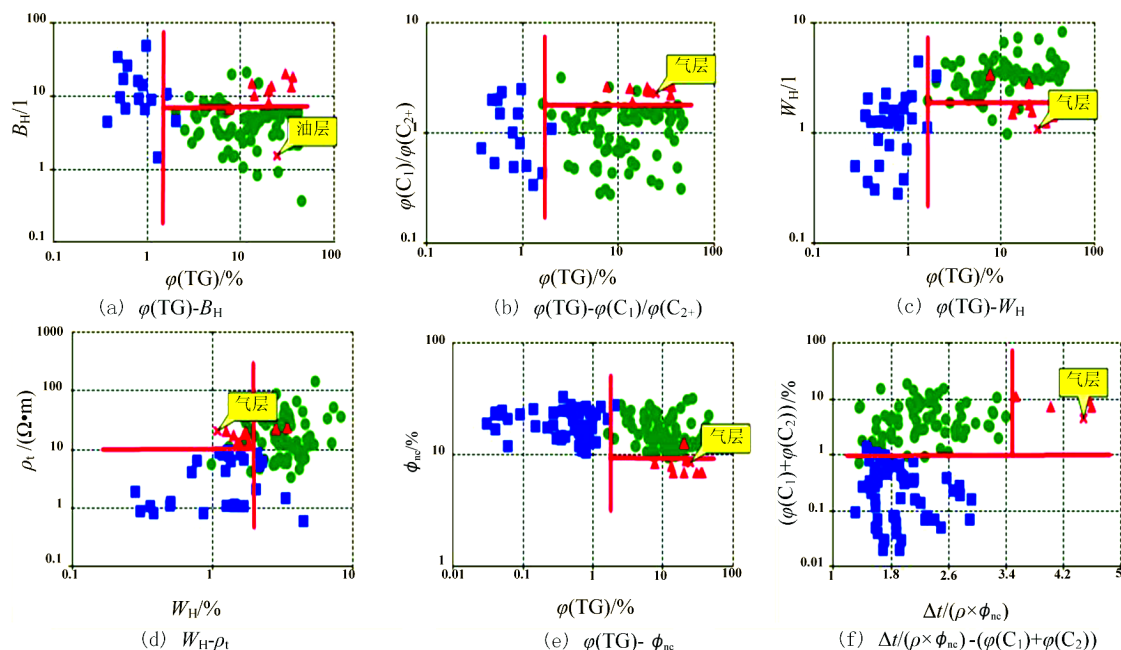


Figure 5. The fluid property identified by cross plot method at 3437.75 m in Well D

图 5. 研究区 D 井 3437.75 m 交会图法识别流体性质

4.2. 精确评价气水界面,落实油藏控制储量

E 井是南海西部油田 2016 年 12 月完钻的一口评价井,构造位于琼东南盆地乐东凹陷东北部,钻探目的落实 HL 段 III 砂组的控制储量。如图 6 所示,该储层 HL 段 III 砂组(3903~3934 m)岩性以粉砂岩、泥质粉砂岩为主, q_{API} 较高且变化大(67~90 API), ϕ_{nc} 较低(10%~18%),电阻率曲线上高下低,但中部电阻度幅度不高,气测曲线上升幅度较大,组分较全,拖尾较长,总体显示上部含气下部含水。测井解释的难点是根据上述常规测井曲线很难准确评价气水界面。

将电阻率曲线和总烃曲线进行优化后再按上述方法交会,在 3904~3919.5 m 井段交会面积大,为气层;在 3919.5~3923.0 m 井段交会面积小,为气水同层;在 3923.0~3934.0 m 井段不交会,为水层,气水界面在 3928.5 m。该方法清晰地指示了气水界面。

在 3911.1 m 进行 RCI (电缆地层测试器)取样分析,结果为流体样品含气 7.3 ft³,不含油,不含水,取样结果与综合解释结果符合。

4.3. 精确评价油水界面,识别低阻油层

F 井是南海西部油田 2014 年 6 月完钻的一口开发井,构造位于南海北部大陆架珠江口盆地西部珠三坳陷琼海低凸起东部,钻探目的是完善南块 ZJ1-4M 砂组注采井网及落实可采储量。如图 7 所示,该储层 ZJ1-4M 砂组(1525~1548 m)岩性以泥质粉砂岩为主,含少量钙质, q_{API} 较高(103~125 API), ϕ_{nc} 较低(18%~24%),油层电阻率低(1.1~1.5 $\Omega \cdot m$),受钙质影响局部偏高,水层电阻率一般为 0.9~1.0 $\Omega \cdot m$,电阻率在水层和油层上差异不明显;气测曲线上升幅度明显,组分较全,拖尾较长,总体显示上部含油下部含水。测井解释的难点是根据上述常规测井曲线很难准确评价油层和水层以及油水界面。

将电阻率曲线和总烃曲线进行优化后再按上述方法交会,在 1531~1541 m 井段交会面积大,为油层;中间局部不交会的是钙质夹层;在 1542~1556 m 井段不交会,为水层;油水界面在 1541.0 m。该方法清晰地指示了油水界面,识别了低阻油层。

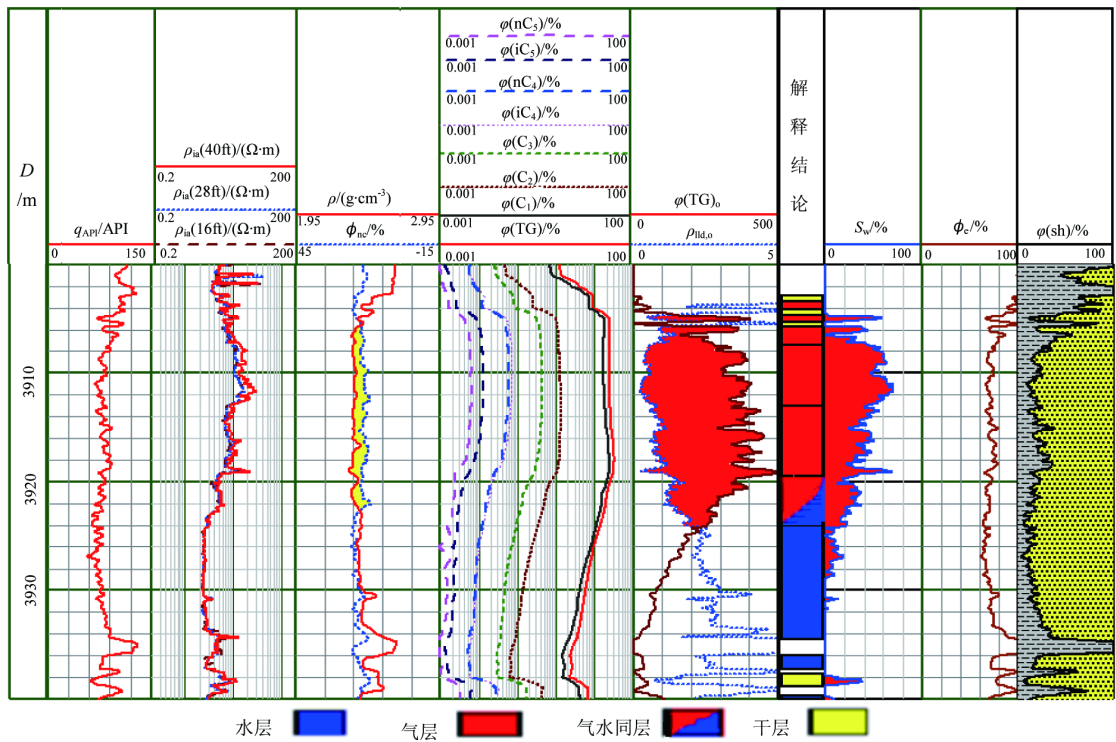


Figure 6. The identification of gas-water contact by using cross plot method in Well E
 图 6. 研究区 E 井交会图法识别气水界面

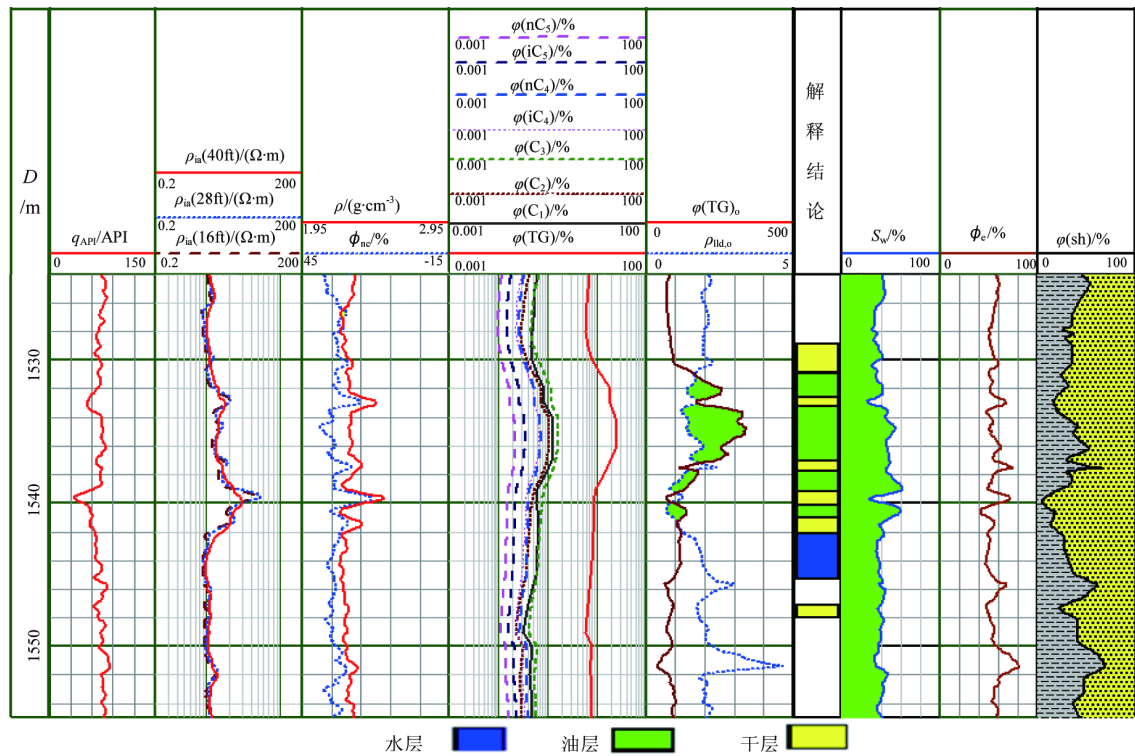


Figure 7. The low resistivity oil layer identified by cross plot method in Well F
 图 7. 研究区 F 井交会图法识别低阻油层

5. 结语

受南海西部油田高效勘探开发的影响,测井解释专家对气测录井等资料进行深入研究,在测井解释时结合气测录井资料综合分析,研究出了测、录井综合交会图版法及气测总烃与测井电阻率优化后连续性交会法,在研究区进行储集评价时取得了较好效果,特别是各项资料的响应特征出现一定的差异时,该方法可以弥补单项资料的不足,不再纠结“以何种资料为主、何种资料为辅”的问题,规避了储层评价的矛盾性,提高了储集层评价结果的可靠性,降低了勘探开发的成本。

目前,该种测井、录井资料综合解释方法还停留在定性解释阶段,在今后的工作中还需要不断总结和研究,相信随着勘探开发程度的不断深入,各种新的测井、录井技术的应用,该种跨专业之间的综合解释必将进入半定量解释、定量解释阶段,储集层的评价技术将会取得更大进步。

参考文献 (References)

- [1] 张晓晖,严卫兵,张世杨.录井资料在乌南—绿草滩油气层解释评价中的应用[J].青海石油,2010,28(1):121-126.
- [2] 胡延忠,吴文明,孟建华.气测录井烃类比值和烃气指数图板的建立与应用[J].录井工程,2009,20(4):17-21.
- [3] 刘彩霞,姜涛.测井、录井资料在碳酸盐岩储集层[J].录井工程,2006,17(2):21-25.
- [4] 何宏,童锡骏,安源.对气测录井烃组分三角形图解法的研究[J].天津理工学院学报,2004,20(2):30-33.
- [5] 尚锁贵,孙新阳,翁春军.一种新的气测录井气体比率解释方法[J].录井工程,2005,16(4):24-26,43.
- [6] 廖静,徐海春.气测综合曲线分析法在南海琼东南盆地的应用[J].录井工程,2013,24(3):6-10,15.

[编辑] 龚丹

Hans 汉斯

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: jogt@hanspub.org