

Application of Mud Logging Evaluation in Reservoirs with “Three Low” Characters in Hongtai Area of Tuha Basin

Hongliang Sun¹, Xuchen Zhao¹, Jun Luo²

¹Exploration Company of Tuha Oilfield Company, PetroChina, Shanshan Xinjiang

²Tuha Logging Company of Western Drilling Engineering Co. Ltd., PetroChina, Shanshan Xinjiang

Email: shlkt@petrochina.com.cn

Received: Apr. 15th, 2017; accepted: Jul. 6th, 2017; published: Aug. 15th, 2017

Abstract

The reservoirs with three low characters (low porosity, low permeability, and low oil saturation) were characterized by poor physical properties, low pressure charge and multi-stage accumulation. In these reservoirs, the difference between oil, gas and water was not clear in a single layer; there existed several sets of oil and water systems longitudinally; sand connectivity was poor laterally; and oil, gas and water contact was not uniform, which induced technical difficulties to the mud logging interpretation. In view of these issues, the difficulties in the reservoir evaluation were pointed out, and a comprehensive logging evaluation method for the reservoirs with “three-low characters” in the Hongtai Area was studied. Reservoirs in the block were interpreted and evaluated from the aspect of physical properties, brittleness and oil-bearing property. Mud logging interpretation chart board, interpretation and evaluation criteria and corresponding interpretation methods for oil, gas and water layer of the reservoirs with “three-low characters” were established. In consideration of the three-low features of reservoirs, the “conventional geology + comprehensive (quick chromatogram) + quantitative fluorescence + pyrolysis gas chromatography + NMR + X-ray diffraction analysis” mud logging package is established, which provides experience for logging interpretation of this kind of reservoir.

Keywords

Hongtai Area, Reservoirs with Three Low Characters, Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Logging, X-Ray Diffraction, Logging Interpretation and Evaluation

录井评价技术在吐哈红台地区“三低”储集层的应用研究

孙宏亮¹, 赵绪辰¹, 罗 璐²

¹中石油吐哈油田分公司勘探公司, 新疆 鄯善

²中石油西部钻探吐哈录井公司, 新疆 鄯善

作者简介: 孙宏亮(1985-), 男, 硕士, 工程师, 现主要从事石油勘探部署与管理工

Email: shlkt@petrochina.com.cn

收稿日期: 2017年4月15日; 录用日期: 2017年7月6日; 发布日期: 2017年8月15日

摘 要

“三低”储集层具有物性差、低压充注、多期次成藏特征, 单层内部油气水分异不明显, 纵向上存在多套油气水系统, 横向上砂体连通性差, 油气水界面不统一等特征, 给录井解释评价带来诸多的技术难题。通过对红台“三低”储集层录井存在问题分析, 指出三低储集层特征及评价难点, 在红台地区开展了“三低”储集层录井综合评价方法研究。从储集层物性、脆性、含油性等方面对区块储集层进行解释评价, 建立了红台西山窑组“三低”储集层录井解释图版、解释评价标准和相应的油、气、水层解释评价方法。针对“三低”储集层特点, 确立了“常规地质 + 综合(快速色谱) + 定量荧光 + 热解气相色谱 + 核磁共振分析 + X衍射分析”等录井技术配套。为该地区开发“三低”油藏录井解释评价积累一定的实践经验。

关键词

红台地区, 三低储集层, 核磁共振录井, X衍射, 录井解释评价

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

吐哈油田“三低”(低孔、低渗、低含油饱和度)储集层“点多面广”, 不同区块、不同层系(西山窑组、三工河组)都有发现, 如红台构造带西山窑组、鄯善弧形带水西沟群、胜北洼陷及其周缘等[1] [2]。近年吐哈油田借鉴三塘湖致密油体积压裂改造思路, 对一批老井进行复试, 获得了工业油流, 从而揭开了吐哈盆地水西沟群“三低”储集层勘探开发的序幕。

2. 红台地区西山窑组“三低”储集层油藏特征与评价难点

1) 储层含油饱和度低, 油气水三相共存, 共存水含量高, 油藏表现为“油轻气重含水”的特点

红台地区西山窑组油藏是一套受构造背景控制的岩性层状低饱和度油藏, 其特点为含油饱和度低, 物性差, 压力低。通过 ht304 井、ht219 井密闭取心含油饱和度统计, 红台地区含油饱和度平均在 46.9%

左右,含水率在 53.1%左右。直井返排在 58%~110%之间才见油,试采期间含水率在 11.8%~35%之间。

2) “三低”储集层录井解释符合率偏低

常规油气层录井解释的方法主要是根据层内纵向分异作用进行解释的(如曲线形态法、解释图版等),由于“三低”储集层具有物性差、低压充注、多期次成藏特征,单层内部油气水分异不明显,纵向上存在多套油气水系统,但砂体横向连通性差,油气水界面不统一,从而造成解释评价比较困难,解释符合率明显低于其他常类型油藏[3][4]。解释符合率不符合的原因主要有两个方面:一是油水同层和含水层(含水层)识别不准。“三低”储集层录井显示较差,油层均为荧光级显示,气测全烃值一般小于 5%,油水层、含水层录井显示无明显差异(气测绝对值相当,相当油含量差别不大,甚至含水层相当油含量大于油水同层),易造成解释失误(如 ht23 井,表 1)。二是油质识别不准,气和油未能有效区分。同一区块不同气测组分油质相同,不同区块相同气测组分含量,油质差别大。如 ht23 井气测显示呈“中甲烷”特征,ht21 井气测显示呈“高甲烷”特征,但两口井试油均为油水同层;而 w10 井气测显示呈“高甲烷”特征,试油为油气同层。

Table 1. The logging oil & gas anomalies display table of oil test section in Well ht23

表 1. ht23 井试油段录井显示情况表

层号	试油井段/m	试油情况				录井显示			
		日产油 /m ³	日产气 /m ³	日产水 /m ³	试油结论	含油 级别	全烃体积分 数/%	组分 情况	相当油含量/(mg·g ⁻¹)
1	3238.0~3246	0.22		7.3	含水层	荧光	4.6927	齐全	30.52~246.6 (平均80.71)
2	2830.0~2837	3.44	少量	26	油水同层	荧光	4.2619	齐全	21.02~140.5 (平均68.27)

3) 录井因岩屑呈“颗粒状”不能进行核磁分析而无物性资料,储集层脆性未能有效评价

核磁共振分析是录井物性评价比较准确的方法,但核磁共振分析制样时需要对样品用饱和盐水浸泡后进行抽真空处理,使饱和盐水完全进入孔隙空间[5],而储集层岩屑被 PDC 钻头切削后基本呈颗粒状,无法进行核磁共振分析,需要寻求新的录井方法来评价储集层物性。红台区块目前采用的 X 元素和 X 衍射录井主要用于岩性识别,在储集层脆性评价方面还未开展研究,因此为了填补压裂段选择的技术空白,需要建立储集层脆性识别方法[6]。

3. “三低”储集层录井配套技术

现代录井在油气勘探中承担了油气显示发现和工程监测两大任务,并拥有十余项单项技术系列来完成该项工作。而对于油气发现与储层性质评价,需要根据勘探对象的油气性质与储层特点进行合理的录井技术配套,才能保证油气不被漏失并准确判断流体性质[7][8]。

3.1. 常规地质 + 综合 + 定量荧光录井技术

以岩心、岩屑为对象的常规地质录井技术,可通过肉眼观察油花、气泡,荧光下的湿、干、滴、喷洒,闻油气味等手段来发现油气显示。红台构造和鄯善弧形带钻至目的层西山窑组裸眼段长,岩屑混杂,真岩屑量少,接砂时应尽可能多地接取真岩屑,提高真岩屑含量。强化岩屑的湿照、喷洒、浸泡观察,同时加强喷洒和浸泡,通过浸泡萃取获得较强的荧光显示。

综合录井主要功能是发现油气显示和工程参数异常预报,其中的气测录井是目前唯一的一个于井口连续实时采集的油气信息参数,受人为因素影响较小,对流体性质评价应用效果好。在红台区块的录井实践表明,钻遇油气显示层段,气测值均有不同程度的升高。

定量荧光录井技术主要是通过油气中芳烃荧光特性的检测来反映岩石的含油丰度和油气性质。虽然受散砂状岩屑油气散失严重影响,定量荧光分析值明显降低,但仍然高于储集层顶部泥岩,因此仍可通过定量荧光分析技术来实现储集层含油性的定量检测与评价,并具有快速、定量的特点。

3.2. 热解气相色谱录井技术

利用热解气相色谱分析技术可检测到储层中可流动部分的烃类,得到 $nC_8 \sim nC_{38}$ 左右的正构烷烃、姥鲛烷、植烷的相对百分含量、峰面积等参数。该方法是目前录井中判断油质最准确的方法,也是最能反映氧化降解及水溶作用对油质改造程度的评价方法之一。在红台区块,油水同层气相色谱图碳数分布较宽,一般为 $nC_{10} \sim nC_{33}$,主峰碳为 $nC_{18} \sim nC_{19}$ 。含油水层碳数分布有 3 种:一种较窄,一般为 $nC_{10} \sim nC_{29}$,主峰碳为 nC_{16} ,碳数靠前;一种碳数分布较宽,一般为 $nC_{10} \sim nC_{31}$,主峰碳为 $nC_{18} \sim nC_{19}$,与油水同层相似;一种碳数分布也较宽,一般为 $nC_{10} \sim nC_{36}$,主峰碳为 $nC_{21} \sim nC_{23}$,峰型靠后。水层碳数分布有 2 种:碳数分布均较宽,为 $nC_{13} \sim nC_{34}$,但一种主峰碳为 $nC_{18} \sim nC_{19}$,与油水同层相似;一种主峰碳为 nC_{21} ,峰型靠后。因此可以用谱图形态的差异来解释评价“三低”储集层。

3.3. 核磁共振录井技术

核磁共振录井技术是利用岩样中氢核在静磁场中的核磁共振现象来测量获取 τ_2 弛豫谱、孔隙度、渗透率、可动流体饱和度、含油饱和度等储集层物性参数的一种新的储层评价技术。核磁共振录井技术是目前录井获得储集层物性参数最为直接的方法,应用研究发现核磁共振分析的孔隙度与研究院实验室分析数据相差较小,与常规岩心分析相关性高,可随钻快速评价储层物性,可较真实地反映储层物性特征,为在现场快速提供准确岩心物性分析资料起到了重要的作用。

3.4. X 衍射分析技术

目前红台地区采用 X 衍射分析录井技术主要用于复杂岩性的识别,随着对 X 衍射分析技术研究的不断深入,其在致密砂岩储集层物性、脆性评价方面也取得了较好的效果。“三低”储集层也属于一种致密储集层,压裂效果好坏直接决定了是否能够获得工业产能,因此,将 X 衍射录井技术引入到“三低”储集层物性和脆性评价中,可以弥补录井脆性评价技术的空白。

4. “三低”储集层录井解释评价方法

4.1. 储集层物性评价

4.1.1. X 衍射分析评价储集层物性

1) 通过对红台区块西山窑组采用体积压裂技术试油段的储集层实验室分析物性统计发现,油水同层储集层孔隙度 $\geq 7.3\%$,含油水层、干层的孔隙度 $< 7.3\%$,而渗透率无明显差别,因此利用孔隙度数据将红台区块西山窑组“三低”储集层分为两类:孔隙度 $\geq 7.3\%$ 为 I 类,孔隙度 $< 7.3\%$ 为 II 类。

X 衍射录井分析技术主要是利用 X 衍射分析仪分析组成岩石的矿物体积分数,通过对红台区块西山窑组 6 口井(ht8 井、ht304 井、ht219 井、ht25 井、ht27 井、ge7 井) 182 块实验室岩心分析孔隙度与 X 衍射分析矿物体积分数的研究发现:孔隙度随黏土体积分数增加而减小,随石英体积分数增加而增大,长石与孔隙度的相关性不明显,方解石体积分数的增多使储层物性变差。碎屑岩岩石骨架主要由石英和长石矿物所组成,填隙物主要由黏土矿物及极细小的长石组成,岩石骨架体积分数越多孔隙度越高,填隙物体积分数越多孔隙度越差。因此石英与黏土矿物可以代表填隙物体积分数,通过石英与黏土矿物的体积分数可以定性评价储集层物性。

利用 182 块岩心的 X 衍射分析数据和实验室分析的孔隙度数据, 建立石英体积分数和黏土体积分数交会图版(图 1), X 衍射物将“三低”储集层分为 2 类: I 类储集层石英体积分数 $\geq 45\%$, 黏土体积分数 $\leq 13\%$, 流体性质为油水同层; II 类储集层石英体积分数 $< 45\%$, 黏土体积分数 $> 13\%$, 流体性质为含油层、干层。

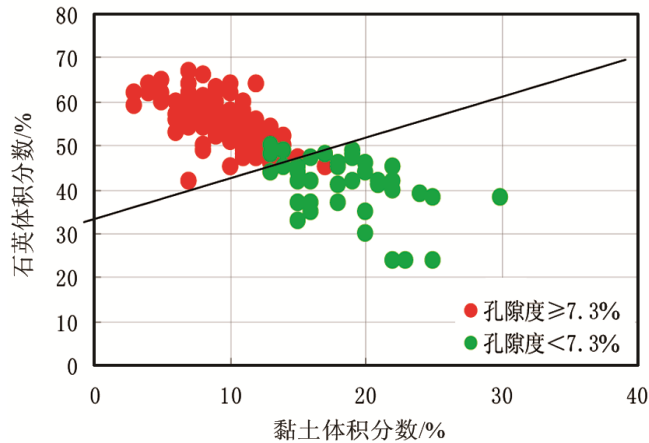


Figure 1. The crossplot chart of Quartz and clay volume fraction
图 1. 石英和黏土体积分数交会图版

2) 储集层脆性评价。由于“三低”储集层物性差, 常规试油仅获低产油流或水层, 通过采用体积压裂技术才实现了储量的动用, 单井产量的高低往往取决于压裂效果的好坏。一般情况下, 脆性矿物体积分数高的储集层易于压裂改造, 脆性矿物体积分数低的储集层不易压开。对于碎屑岩而言, 石英、方解石为脆性矿物, 引入脆性指数(BI)后, 通过与试油成果关系研究发现, “三低”储集层不同流体性质与脆性指数存在一定的关系, 油水同层脆性指数大, 而含油层、水层脆性指数低。根据 X 衍射分析矿物体积分数并结合试油成果, 建立了红台区块西山窑组储集层脆性评价标准。I 类储集层脆性指数 0.50~0.61, 流体性质为油水同层; II 类储集层脆性指数 0.26~0.50, 流体性质为含油层、水层。

4.1.2. 核磁共振分析评价储集层物性

通过对红台区块西山窑组 19 口井 621 块岩心核磁分析与实验室分析物性对比研究发现: 核磁分析孔隙度与实验室分析孔隙度相关性较强, 而渗透率相关性较差(图 2), 因此可利用实验室分析的孔隙度对核磁共振分析孔隙度进行校正, 然后利用校正后的孔隙度将储集层进行分类。

利用公式“岩石孔隙度 = $0.845 \times$ 核磁共振分析孔隙度 + 1.122”对核磁共振分析孔隙度进行重新校正, 建立储集层核磁共振分析物性评价标准。I 类储集层核磁共振分析孔隙度 $\geq 7.2\%$, 流体性质为油水同层; II 类储集层核磁共振分析孔隙度 $< 7.2\%$, 流体性质为含油层、水层。

4.2. 含油性评价

含油饱和度是评价储层性质的关键参数, 单位质量岩石中残留油气量也可以反映出地层含油丰度的变化。在各录井参数中, 表征含油丰度的参数主要有气测全烃、定量荧光相当油含量、热解气相色谱的总峰面积等, 但不同区块、不同岩样的含油丰度范围不同。以热解气相色谱-总峰面积解释评价为例, 热解气相色谱-总峰面积是指 nC_8 ~ nC_{38} 之间正构烷烃的电压信号积分值, 其值的大小反映了原油中正构烷烃的相对高低, 也进一步指示了岩石含油丰度。通过对红台区块试油层段岩屑和岩心资料统计发现(图 3): 油水同层的总峰面积整体上高于含油层、水层和干层。

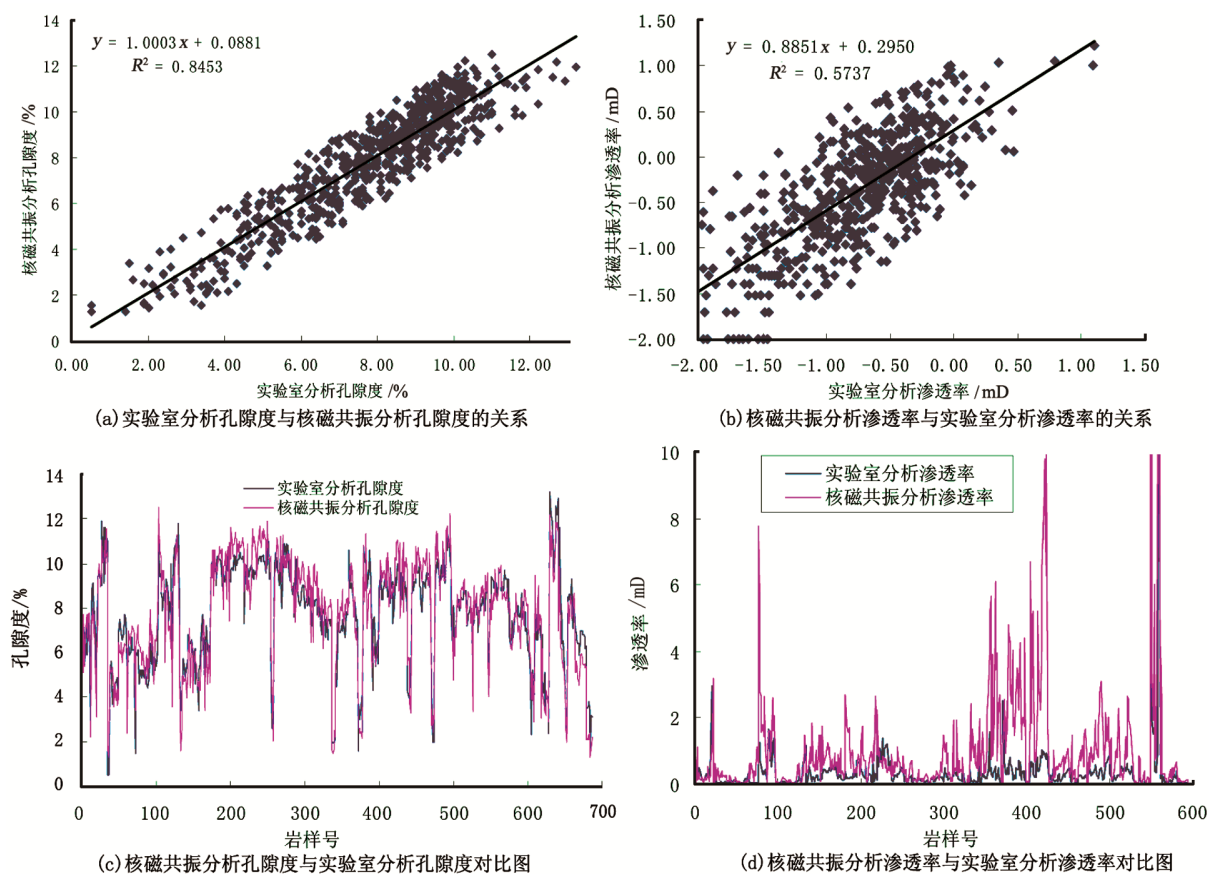


Figure 2. The comparison chart between NMR analysis and laboratory analysis for reservoir physical properties
图 2. 核磁共振分析储集层物性与实验室分析对比图

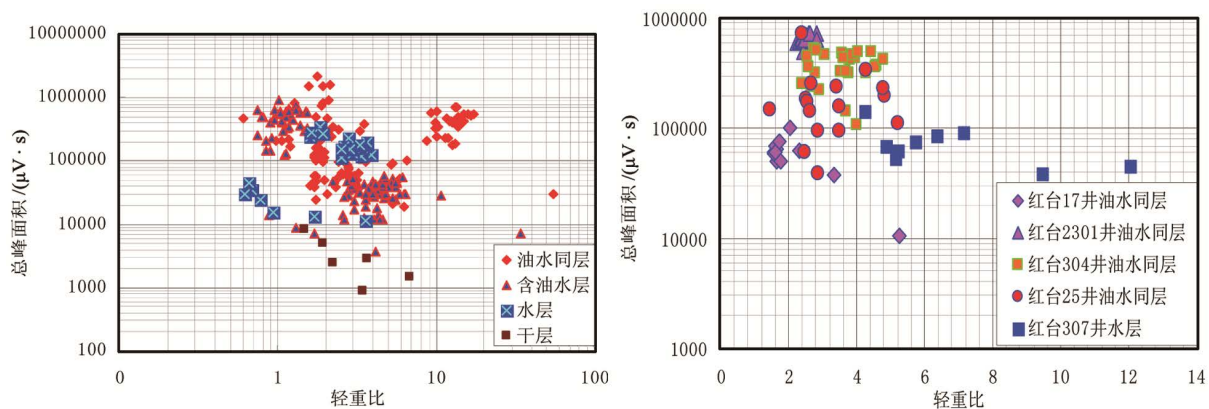


Figure 3. The chart of cuttings and core pyrolysis gas chromatography analysis in J2x oil test intervals of Hongtai Area
图 3. 红台区块西山窑组试油段岩屑、岩心热解气相色谱分析图版

4.3. 录井解释图版

录井参数多体现在岩石含油丰度与油气性质两大方面，因而在录井评价图版上多以这 2 类参数为基础建立各种解释图版。

1) 气测解释图版。气测录井烃组分解释的地质理论基础是“组分相对百分含量反映了烃气的轻重，

而烃气的轻重是气层、油层、残余油层的直接特征体现”。烃组分图版解释可以有效地进行油气性质划分,但是对于“三低”储集层,由于层内无明显纵向分异现象,该图版基本不适用。通过对红台区块试油段气测资料的研究发现,利用单位全烃异常幅度面积可以很好地表征含油丰度, BH 为烃轻重比,反映油质的轻重,由此建立了单位全烃异常幅度面积和 BH 交会解释图版,应用效果较好,探井解释符合率达 88%。

2) 定量荧光分析图版。利用单层平均相当油含量表征含油丰度, Oc 为油性指数,按照岩屑和岩心样分别建立了平均相当油含量和 Oc 交会解释图版,岩屑样图版解释符合率达到 84.2%,岩心样图版解释符合率达到了 100%。

3) 热解气相色谱分析图版。利用总峰面积表征含油丰度,正构烷烃间的轻重关系表征油质,对于岩屑样,利用 $\Sigma nC_{16}^-/\Sigma nC_{17}^+$ 表示轻重关系,岩心样选择轻重比 $\Sigma nC_{21}^-/\Sigma nC_{22}^+$ 表示轻重关系,按照岩屑和岩心样分别建立了总峰面积与 $\Sigma nC_{16}^-/\Sigma nC_{17}^+$ 、 $\Sigma nC_{21}^-/\Sigma nC_{22}^+$ 交会解释图版,取得了较好效果。

4) 核磁共振分析图版。利用束缚水饱和度与自由流体饱和度建立了交会图版,对流体性质也有一定的指示作用。

5) 录井解释评价标准。根据各项录井资料解释图版的价值区和非价值区,建立了红台区块西山窑组“三低”储集层录井解释评价标准(表 2)。

Table 2. The mud logging interpretation and evaluation criteria for J2x reservoirs with “3 low characters” in Hongtai Area
表 2. 红台区块西山窑组“三低”储集层录井解释评价标准

流体性质	常规荧光	物性评价			脆性评价	含油丰度		油质评价		含水性
		石英体积分数/%	黏土体积分数/%	核磁孔隙度/%	脆性指数	单位全烃异常幅度面积/倍	相当油含量/(mg·g ⁻¹)	BH	Oc	束缚水饱和度/%
气水同层	有	≥45	≤13	≥7.2	0.50~0.66	>3.35	岩屑: 28~76	>8	<0.8	<58
油水同层	有						岩心: >90	<8	>0.8	
含油水层							岩屑: <28 或>76			
水层	有或无	<45	>13	<7.2	0.38~0.50	<3.35	岩心: <90	/	/	>58
干层										

5. 结论

1) 针对吐哈盆地红台地区低饱和度油气藏,气测显示活跃、荧光显示弱特征,本着解决油气发现、油质鉴别及流体识别、含油丰度评价及物性评价等需要,确立了“常规地质 + 综合(快速色谱) + 定量荧光 + 热解气相色谱 + 核磁共振分析 + X 衍射分析”录井技术配套。建立了 X 衍射和核磁共振分析技术相结合的性质和脆性评价方法,对储层进行了分类并给出了相应下限。

2) 创新了“三低”储集层录井解释图版,根据各项录井资料解释图版的价值区和非价值区,建立了红台区块西山窑组“三低”储集层录井解释评价标准,解决岩石含油丰度与油气性质两方面问题。

3) 针对红台“三低”油气藏,核磁共振储层物性评价均取得较好的效果,要加强核磁共振储层物性评价技术的推广、跟进轻烃油气水评价技术的应用,完善录井技术配套,紧密跟踪试油成果,不断修正完善录井解释标准与图版,进一步提高解释符合率。

基金项目

国家油气科技重大专项“岩性地层油气藏区带、圈闭有效性评价预测技术”(2016ZX05001003-006)。

参考文献 (References)

- [1] 王兴刚, 郭金盾, 黄蝶芳, 等. 红台地区低饱和度油藏特征及主控因素[J]. 中国石油石化, 2016, 23(2): 15-16.
- [2] 孙宏亮, 何维国, 赖必智, 等. 录井评价技术在吐哈山前带致密砂岩气藏的应用[J]. 新疆地质, 2013, 31(Suppl): 152-157.
- [3] 刘俊田, 李斌, 郑玉萍, 等. 红台地区低饱和度油气藏成藏主控因素分析[J]. 特种油气藏, 2016, 28(4): 37-41.
- [4] 王炜, 陈文武, 王国红, 等. 低渗透砂岩储集层特征及影响因素-以巴喀油田西山窑组为例[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(3): 322-324.
- [5] 向斌. 红台构造带轻质油储集层核磁共振录井解释评价方法[J]. 录井工程, 2017, 28(1): 55-60.
- [6] 方锡贤. X 射线衍射全岩矿物分析录井技术应用拓展[J]. 录井工程, 2016, 27(2): 14-18.
- [7] 邵东波, 王志峰, 张丛秀, 等. “三低”高含水气藏录井解释评价方法[J]. 录井工程, 2010, 21(2): 17-21.
- [8] 向斌, 李益寿. 热解气相色谱技术在吐哈油田录井生产中的应用[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(5): 38-41.

[编辑] 黄鹂

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