

张彦振, 侯凯文, 孙 鹏, 等. 基于三维定量荧光技术的西湖凹陷储层复杂流体性质快速识别方法[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(10): 76-83.

基于三维定量荧光技术的西湖凹陷储层 复杂流体性质快速识别方法

张彦振, 侯凯文, 孙 鹏, 黎 建, 张 妍

(中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335)

摘 要:西湖凹陷是中国近海最大的含油气凹陷, 储层流体性质复杂, 快速识别困难。基于大量三维定量荧光图谱特征及关键参数分析研究, 发现激发波长、发射波长、荧光对比级、油性指数等关键参数的交会特征与储层流体性质具有明显的相关性。利用 15 口探井实测数据, 结合测井、测试结果, 建立了西湖凹陷不同区块储层流体性质解释图和综合解释表, 即三维定量荧光关键参数交会解释法。该方法资料录取简便快捷, 可以快速识别如高阻水层、低阻气层等疑难储层流体性质, 且不受储层物性的影响, 评价结果与测井、测试结果一致, 在勘探评价过程中应用效果良好, 具有推广价值。

关键词:西湖凹陷; 三维定量荧光; 流体性质; 荧光对比级; 油性指数

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.058

0 引言

西湖凹陷位于东海陆架盆地浙东坳陷东部, 是我国近海海域油气资源较丰富的沉积凹陷之一, 凹陷面积大, 沉积地层厚度大, 具备优越的石油地质条件。自 20 世纪 70 年代至今一直是盆地油气勘探的主战场, 已钻探井 100 余口, 获得多个油气商业发现, 勘探潜力大, 但主要以低渗-致密油气藏为主^[1-6]。低孔低渗储层束缚水饱和度高、电阻率对比度低, 同时受孔隙结构和特殊矿物影响, 发育高阻水层、低阻气层, 通过电性判别流体性质难度较大^[7-8], 通常要借助于后续电缆地层测试加以证实, 增加了作业成本。三维定量荧光录井具有检测精度高、分析周期短的特点, 可以快速识别油气水层, 故自 2013 年以来, 已成为西湖凹陷

探井的必备录井项目。通过重点探井的钻井岩心、井壁取心、岩屑样品三维定量荧光数据, 结合测井测试数据, 归纳出西湖凹陷原油典型三维图谱特征, 建立不同区块储层流体性质解释图及综合解释表, 即三维定量荧光关键参数交会识别法, 可在钻探过程中快速识别储层的流体性质, 并在西湖凹陷复杂储层中进行应用, 验证了其可行性和有效性。

1 区域地质概况

西湖凹陷是中国近海最大的含油气凹陷, 呈 NE 向, 面积约 $5.18 \times 10^4 \text{ km}^2$, 沉积厚度最大 15 km。西湖凹陷自西向东可划分为西部斜坡带、中央洼陷反转带及东部断阶带 3 个构造单元(图 1)。西湖凹陷新生代主要经历了基隆运动、甌江运动、玉泉运动、龙井运动和冲绳海槽运动等多期构造运动, 自下而上发育前始新统, 始新统平湖组, 渐新统花港组, 中新统龙井组、玉泉组和柳浪组, 上新统三潭组及更新统东海群地层。目前, 西湖凹陷西部斜坡带主要勘探层系为始新统平湖组, 以

收稿日期: 2020-05-26

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“东海深层低渗-致密天然气勘探开发技术”(2016ZX05027001)

作者简介: 张彦振(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事油气成藏地质方面的研究工作。E-mail: zhangyzh11@cnooc.com.cn

复杂断块圈闭为主, 断层封堵性不佳, 储层空间变化快, 储量规模小, 勘探投入成本高。中央洼陷反转带主要勘探层系渐新统花港组, 以背斜油气藏为主, 油气柱高度大, 含油气面积广, 储量丰度高, 储量规模大, 但探明储量以低渗致密为主^[9-10]。

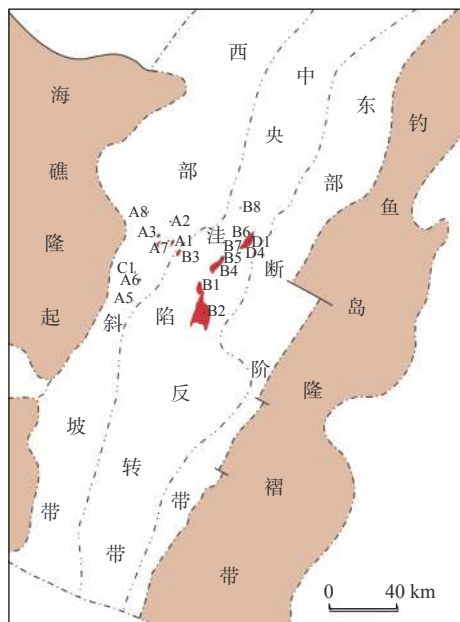


图 1 西湖凹陷区域构造单元划分 (据文献 [1] 修改)

Fig.1 Tectonic map of the Xihu Sag
(modified from reference [1])

2 基本方法及关键参数

2.1 基本方法

荧光录井的基本原理就是利用不同组分石油荧光特性的不同, 即利用荧光亮度测定石油含量, 利用荧光颜色测定石油组分。常规荧光录井易漏掉轻质油层, 易受特殊泥浆材料的干扰, 且用肉眼观察和描述, 人为影响因素太大, 因此, 只能用于定性解释, 具有很大的局限性。定量荧光录井技术是 20 世纪 90 年代美国德士古石油公司率先开发的录井技术。目前国内外研制开发的定量荧光录井仪器大致可分为数字滤波荧光检测仪、二维荧光检测仪和三维荧光检测仪 3 大类。

三维定量荧光录井仪器 (以 OFA-3DII 为例), 由光源发射的光束照射激发分光器, 分光器每转动一个角度允许一种波长的光通过, 连续转动过程中

不同波长的光照射到样品池, 其中的荧光物质吸收激发光后发射荧光, 荧光光谱通过光纤传至阵列光谱数据处理模块, 最后样品的荧光以数字显示或图谱打印的方式输出^[11]。

三维定量荧光录井技术具有多点激发、多点发射的特点, 可更有效地满足烃类成分对光的选择性吸收, 准确反映烃类成分分布规律, 检测精度高, 分析周期短, 直观定量, 且能识别钻井液添加剂污染和判断真假油气, 在储层流体性质解释评价中具有特别的技术优势, 弥补了二维定量荧光录井技术的不足, 实现了石油荧光检测技术的飞跃^[12-15]。

三维定量荧光测量遵循朗伯比尔定律, 即对某种稀溶液 (一般 $< 0.01 \text{ mol/L}$), 在一定的频率及强度的激发光照射下, 稀溶液的荧光强度与该荧光物质的浓度成正比。当浓度过高时, 荧光强度和溶液的质量浓度不呈线性关系, 在高时出现“淬灭”现象。因此, 在该技术应用过程中进行样品检测时, 被检测样品应保证是无色透明液体, 浓度过高时需稀释后分析^[16]。

2.2 关键参数

激发波长 (E_x): 仪器光源所发射出的紫外—可见光的波长, 单位为 nm 。

发射波长 (E_m): 烃类物质吸收紫外—可见光后所发射出的光的波长, 单位为 nm 。

原油荧光强度 (F): 原油中荧光物质所发射荧光的强弱, 原油荧光强度极大值用 INT 表示; 其所反映的是被检测样品中烃类物质的多少, 即为同一原油样品中不同组成成分含量的多少。

含油浓度 (C)^[17]: 单位样品中被萃取的烃类物质的含量, 反映被测样品中的含油丰度, 单位为 mg/L 。现场实际操作中, 通常用相当油含量 (C') 替代, 该参数根据标定拟合曲线公式和稀释倍数相乘计算得出, 单位为 mg/L 。

油性指数 (O_c): 指原油样品中中质油峰与轻质油峰最高荧光强度之比, 代表原油密度。油性指数越大表示原油密度越大, 反之表示原油密度越小。

荧光对比级 (N): 指单位样品中含有的荧光物质所对应的荧光系列对比级别, 是含油浓度的一个派生量。

3 西湖凹陷流体性质识别

研究发现西湖凹陷不同区块、不同油气演化程度的储层流体三维定量荧光录井特征不同,无法建立一个通用流体识别图版。通过西湖凹陷15口探井50余层油气水层2000多个三维定量荧光数据,结合相应的测井和测试数据,研究西湖凹陷西部斜坡带和中央洼陷反转带中北部关键参数交会快速识别流体性质方法。

3.1 典型样品三维图谱特征

西湖凹陷典型原油和凝析油三维定量荧光图谱显示主要为轻质油主峰,最佳激发波长范围为280~340 nm,最佳发射波长范围为310~390 nm;中质油主峰比较少见,最佳激发波长为380 nm,最佳发射波长为425 nm(图2)。根据以上三维定量荧光波长变化特征,结合测井、测压及钻杆测试数据分析的研究结果表明(表1):西部斜坡带气层主峰最佳激发波长为280~290 nm,最佳发射波长为

310~330 nm;轻质油层最佳激发波长为290~340 nm,最佳发射波长为330~390 nm;油气层最佳激发波长为280 nm,最佳发射波长为320 nm。中央洼陷反转带气层主峰最佳激发波长为270~290 nm,最佳发射波长为324~330 nm。

3.2 关键参数交会识别法

通过大量的油气水层综合分析发现,应用反映储集层含油气丰度的荧光对比级与反映烃类成分性质的油性指数绘制交会图,并通过设定一定的门槛值能有效地区分储层流体性质。西部斜坡带储层流体性质解释图揭示:气层区荧光对比级 >4.5 ,油性指数集中于1.0~1.5,荧光对比级与油性指数成反比;轻质油层或油水同层区荧光对比级 >4.5 ,油性指数介于0.75~1.0;油气层区荧光对比级 >4.5 ,油性指数 <0.75 ;水层或干层区荧光对比级 <4.5 ,含油浓度普遍较低(图3a)。中央洼陷反转带中北部储层流体性质解释图揭示:气层区荧光对比级介于4.0~11.0,油性指数集中于0.5~1.5;水层或干层区荧光对比级 <4.0 ,含油浓度普遍较低(图3b)。

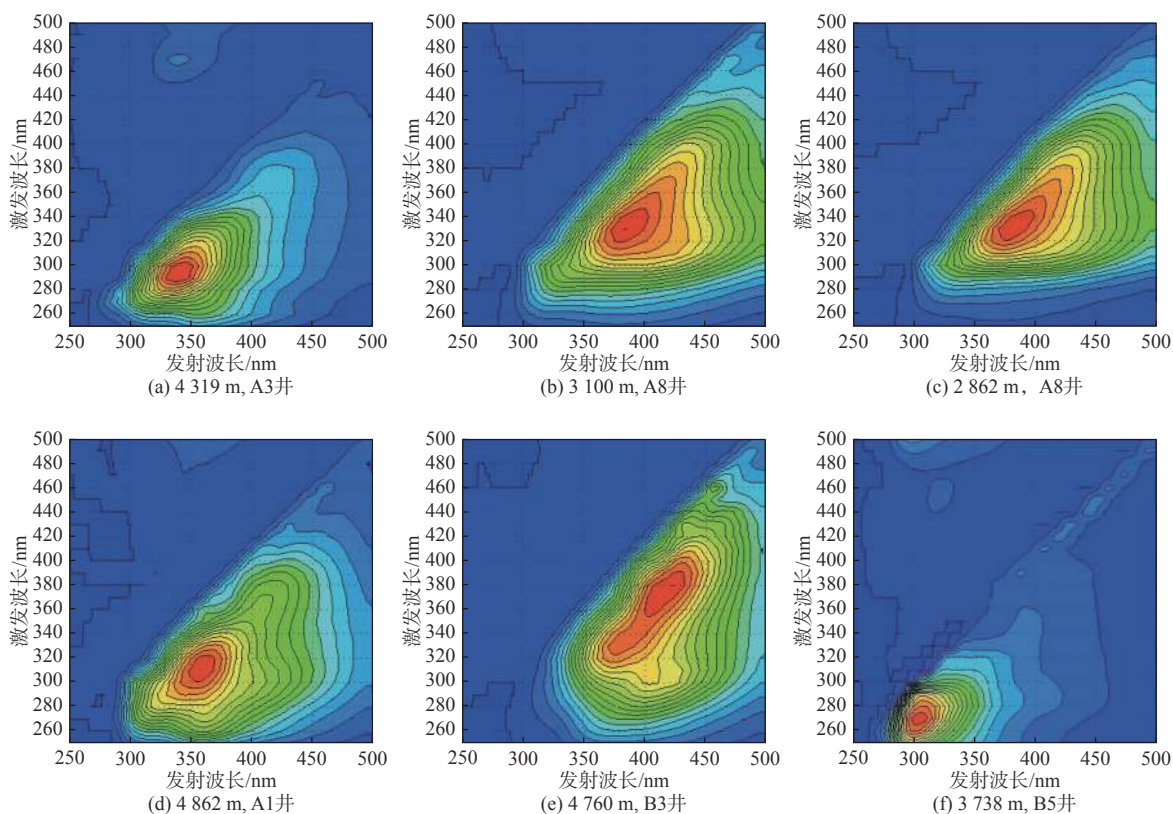


图2 西湖凹陷典型原油和凝析油三维定量荧光图谱

Fig.2 3D quantitative fluorescence atlas of typical crude oil and condensate in the Xihu Sag

表 1 西湖凹陷探井三维定量荧光参数及测井测试数据

Table 1 3D quantitative fluorescence well logging and test data in the Xihu Sag

区带	井名	井深/m	层位	岩性	荧光波长		对比级别	油性指数	资料类别	测井解释	测试结果
					Ex/nm	Em/nm					
西部斜坡带	A6	4 176~4 184	P	细砂岩	290	327	4.6~5.5	1.0	岩屑	气层	/
		4 364~4 374	P	细砂岩	290	327	5.4~6.1	0.9~1.0	壁心	气层	气层
		4 516~4 528	P	细砂岩	290	327	3.3~4.5	0.4~0.8	岩屑	干层	/
	A5	4 386~4 397	P	细砂岩	280	320	5.9~6.3	0.5~0.7	井壁取心	油气层	油气层
		4 404~4 409	P	细砂岩	280	320	6.3~6.4	0.4	井壁取心	油气层	油气层
		4 450~4 459	P	中砂岩	280	320	6.1~6.2	0.7	井壁取心	油气层	油气层
	A8	2 794~2 796	H	荧光细砂岩	290	332	5.0~7.2	0.8~1.0	井壁取心	油水同层	/
		2 861~2 862	H	荧光细砂岩	290	332	4.7~4.9	0.9~1.0	井壁取心	差油层	/
		3 099~3 102	P	荧光细砂岩	290	332	4.5~4.9	0.9~1.1	井壁取心	油层	油层
		3 273~3 297	P	细砂岩	290	332	3.8~3.9	1.0~1.1	井壁取心	水层	/
		3 436~3 443	Bs	中粗砂岩	290	332	2.9~4.4	0.8~1.4	井壁取心	水层	水层
	A3	4 288~4 290	P	荧光细砂岩	290	327	6.5~6.9	0.8	井壁取心	油水同层	/
		4 319~4 330	P	荧光细砂岩	290	327	6.0~7.3	0.7~0.9	井壁取心	差油层	差油层
		4 388~4 406	P	荧光细砂岩	290	327	6.3~6.5	0.8~1.1	井壁取心	差油层	/
	A2	4 462~4 474	P	细砂岩	280	320	6.6~7.9	1.1~1.5	岩屑	气层	/
	A1	4 210~4 276	H	细砂岩	280	322	4.0~5.2	1.1~1.5	岩屑	气层	气层
		4 473~4 498	P	细砂岩	280	322	1.8~4.0	0.9~1.7	岩屑	干层	干层
	A7	3 912~3 926	H	细砂岩	280	323	5.0~6.6	1.2~1.6	岩屑	气层	/
		3 978~3 996	H	细砂岩	280	323	4.5~5.1	1.3~1.8	岩屑	气层	/
		4 016~4 066	P	细砂岩	280	323	3.7~4.7	1.3~2.1	岩屑	水层	/
		4 187~4 197	H	细砂岩	280	323	2.9~3.6	2.8~3.1	井壁取心	干层	/
		4 380~4 440	P	细砂岩	280	323	0.6~3.6	2.1~3.1	井壁取心	干层	/
中央洼陷反转带中北部	B8	4 000~4 026	L	细砂岩	290	330	1.7~2.5	1.5~1.9	井壁取心	干层	/
		4 447~4 465	L	细砂岩	290	330	1.6~3.3	1.1~2.2	井壁取心	干层	/
	B6	3 442~3 507	H	细砂岩	290	330	4.0~5.2	0.8~1.0	岩屑	气层	气层
		3 636~3 660	H	细砂岩	290	330	3.8~5.4	0.8~1.1	岩屑	气层	气层
		4 354~4 388	H	细砂岩	290	330	2.2~4.0	0.8~0.9	岩屑	干层	/
	B7	3 601~3 628	H	细砂岩	290	324	0.5~4.3	1.0~1.1	钻井取心	水层	/
		3 890~3 899	H	细砂岩	290	324	4.4~6.5	1.0~1.3	钻井取心	气层	气层
		4 317~4 325	H	细砂岩	290	324	2.9~4.0	0.6~0.7	钻井取心	干层	/
	B4	3 179~3 205	H	细砂岩	290	326	5.2~5.5	0.8~1.0	井壁取心	气层	气层
		3 684~3 802	H	细砂岩	290	326	4.1~6.9	0.9~1.1	井壁取心	气层	气层
	B5	3 625~3 654	H	细砂岩	270	300	4.9~5.9	0.8~1.3	井壁取心	气层	/
		3 694~3 804	H	细砂岩	270	300	4.3~9.6	0.8~1.4	钻井取心	气层	/
		4 024~4 055	H	细砂岩	270	300	4.6~6.6	0.9~1.2	井壁取心	差气层	/
		4 240~4 344	H	细砂岩	270	300	4.2~6.1	1.0~1.5	岩屑	气层	气层
	B1	2 019~2 031	H	荧光细砂岩	290	325	5.9~6.8	0.6~0.8	井壁取心	气层	气层
		2 932~2 948	H	荧光细砂岩	290	325	4.3~7.3	0.5~0.7	岩屑	气层	气层
		3 118~3 224	H	荧光细砂岩	290	325	8.0~10.6	0.7	岩屑	气层	/
		3 127~3 149	H	细砂岩	290	325	0.8~3.9	0.7~0.9	钻井取心	水层	/
		4 118~4 137	H	细砂岩	290	325	3.9~4.2	1.1~1.2	井壁取心	差气层	差气层
	B2	2 900~2 914	H	细砂岩	280	315	4.0~4.5	0.9~1.0	岩屑	气层	/
		4 068~4 112	H	细砂岩	280	315	0.1~3.1	0.9~1.8	岩屑	干层	/
	B3	4 532~4 554	H	细砂岩	280	315	0.2~3.3	1.2~2.5	岩屑	干层	/
		4 679~4 683	H	细砂岩	280	315	4.8	1.0	岩屑	差气层	差气层

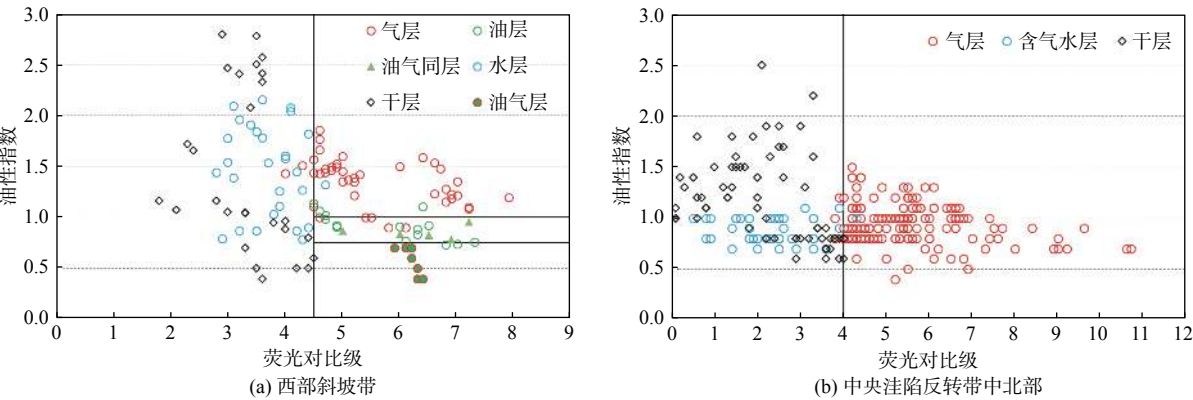


图 3 西湖凹陷储层流体性质解释图

Fig.3 Interpretation chart of reservoir fluid properties in the Xihu Sag

为提高三维定量荧光技术解释精度,综合运用激发波长、发射波长、荧光对比级、油性指数等 4 项参数对西湖凹陷不同区带储层流体性质综合解释(表 2)。

3.3 方法讨论

西部斜坡带储层流体性质解释图上的油层油性指数普遍大于气层的油性指数,与其他油田正好

相反,是由其自身特殊的油气性质——主要是原油和凝析油密度引起的。根据多口井实测数据分析,西湖凹陷原油和凝析油密度普遍<0.87 g/cm³,属于轻质油(表 3)。轻质组分为主导致轻质油峰最高荧光强度较高,中质及以上组分含量较少导致中质油峰最高荧光强度较低,所以油性指数一般<2。同一口井不同层位中的凝析油密度普遍大于原油密度,凝析油中质组分含量大于轻质组分,所以气层的油性指数普遍大于油层。

表 2 西湖凹陷储层流体性质综合解释

Table 2 Interpretation standard of reservoir fluid properties in the Xihu Sag

解释结论	西部斜坡带				中央洼陷反转带中北部			
	激发波长/nm	发射波长/nm	对比级别	油性指数	激发波长/nm	发射波长/nm	对比级别	油性指数
气层	280~290	310~330	>4.5	>1.0	270~290	324~330	>4.0	0.4~1.5
油层	290~340	330~390	>4.5	0.75~1.0	/	/	/	/
油气层	280	320	>4.5	<0.75	/	/	/	/
干层/水层	/	/	<4.5	/	/	/	<4.0	/

表 3 西湖凹陷典型原油和凝析油密度

Table 3 Density of typical crude oil and condensate in the Xihu Sag

井号	原油性质						凝析油性质					
	取样深度/m	层位	原油密度/(g/cm ³)	深电阻率/Ω·m	气测(TG)%	测井解释	取样深度/m	层位	凝析油密度/(g/cm ³)	深电阻率/Ω·m	气测(TG)%	测井解释
P11	2 762~2 787	H5	0.779	6.2	/	油层	2 922~2 929	H6d	0.754	17.2	/	气层
P4	2 300~2 305	H2	0.784	10.1	/	油层	2 903~2 927	P1	0.788	57.3	/	气层
N2	2 842~2 847	H4	0.753	9.3	9.3	油层	3 248~3 254	P8	0.793	120	43.3	气层
N1	3 198	H3	0.731	8.8	7.6	油层	3 526~3 555	H5	0.817	56.5	2.3	气层
N3	3 636	H4	0.774	13.5	27.9	油层	3 767~3 784	H5	0.806	23.3	47.4	气层
B4	/	/	/	/	/	/	3 709~3 739	H3	0.841	43.8	9.5	气层
B4	/	/	/	/	/	/	3 769~3 799	H3	0.840	27.8	5.4	气层
B1	/	/	/	/	/	/	2 933~2 938.5, 2 941.5~2 949	H2	0.835	27.1	9.1	气层

中央洼陷反转带中北部油气性质主要是气层, 考虑到气层中的凝析油挥发性比油层中的原油更强, 结合实测的荧光对比级值, 将该参数门槛值定为 4.0; 部分含气饱和度较低的差气层, 荧光对比级可低至 3.0。在气层区中, 当油性指数为 0.8~1.5, 气油比 $>10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{m}^3$, 生产过程中几乎不产凝析油时, 属于典型的干气藏; 当油性指数 <0.8 , 气油比为 $(1 \sim 10) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{m}^3$, 具有一定量凝析油产出时, 属于湿气藏。因中央洼陷反转带中北部不发育高含油凝析气藏和油藏, 为方便应用, 仅区分气水层。

4 应用实例

4.1 西部斜坡带流体性质解释 (以宁波 C 构造为例)

C1 井位于平湖斜坡带, 该井在平湖组 3 734~3 746 m 井段为常规储层, 岩性为荧光细砂岩, 荧光直照颜色为亮黄色, 定量荧光对比级为 7.4~7.6, 油性指数为 0.86~0.92, 主峰激发波长为 290 nm, 主峰发射波长为 335 nm(图 4a), 据三维定量荧光关键参数交会解释为轻质油层。图 5 为该井段测井解释综合图, 对该井段进行钻杆测试, 14.29 mm 油嘴获得日产原油 760 m^3 , 日产天然气 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$, 气油比 $197 \text{ m}^3/\text{m}^3$, 测井、测试结果与交会解释吻合。

C1 井在平湖组 4 040~4 060 m 井段为低渗储层, 岩性为荧光细砂岩, 荧光直照颜色为亮黄色, 定量荧光对比级为 5.4~6.0, 油性指数为 1.15~1.38, 主峰激发波长 290 nm, 主峰发射波长 327 nm(图 4a),

根据三维定量荧光关键参数交会解释为气层。对该井段进行钻杆测试, 14.29 mm 油嘴获得日产原油 128 m^3 , 日产天然气 $26 \times 10^4 \text{ m}^3$, 气油比 $2 031 \text{ m}^3/\text{m}^3$, 测试结果与交会解释吻合。

4.2 中央洼陷反转带中北部流体性质解释 (以宁波 D 构造为例)

(1) 低阻气层

D1 井位于宁波 D 构造中部, 该井在花港组 3 592~3 608 m 井段的储层岩性为细砂岩, 孔隙度为 9.4%~14.3%, 渗透率为 $(1.7 \sim 10.0) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于低孔低渗储层, 电阻率为 $7 \sim 9 \Omega \cdot \text{m}$, 与邻层水层电阻率无差异, 一次测井解释为水层; 该井段定量荧光对比级为 4.4~4.5, 油性指数为 0.9~1.1, 主峰激发波长 290 nm, 主峰发射波长 330 nm(图 4b), 根据三维定量荧光关键参数交会解释为气层, 二者矛盾。最终在井深 3 606.5 m 进行测压取样, 泵抽 60 min, 泵抽流体 14 L, 取气样一支, 气体组分以 C_1 为主, 微量 C_{6+} , 证实是纯气层, 取样结果与交会解释一致。

(2) 高阻水层

D4 井位于宁波 D 构造中南部, 该井在花港组 3 551~3 585 m 井段的储层岩性为细砂岩, 孔隙度为 10.2%~15.3%, 渗透率为 $(10 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于低孔中渗储层, 电阻率 $20 \sim 30 \Omega \cdot \text{m}$, 一次测井解释为气层; 该井段定量荧光对比级为 0.2~2.9, 油性指数为 0.9~1.0(图 4b), 根据三维定量荧光关键参数交会解释为水层, 二者矛盾。最终对该井段进行钻杆测试, 4.76 mm 油嘴, 日产天然气微量, 日产水 260 m^3 , 测试结果与交会解释一致。

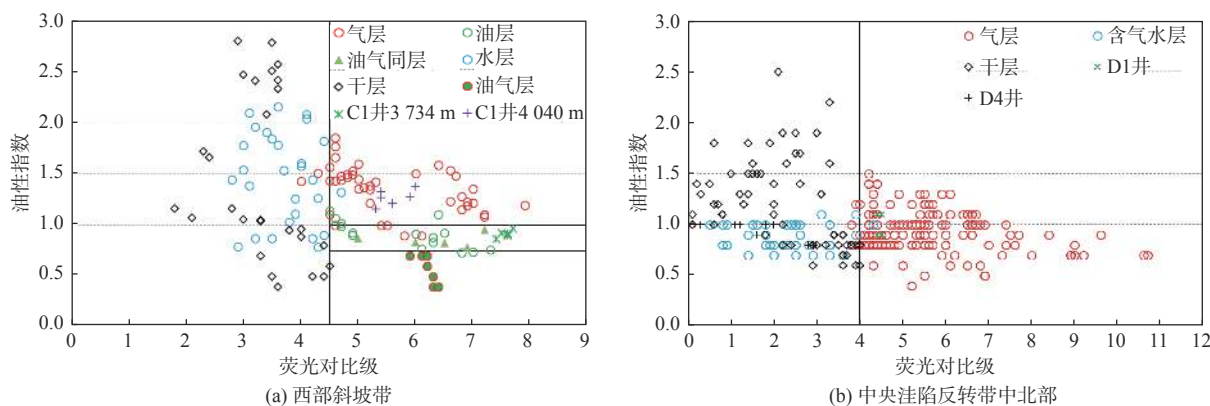


图 4 西湖凹陷储层流体性质解释应用图

Fig.4 Application chart of reservoir fluid property interpretation in the Xihu Sag

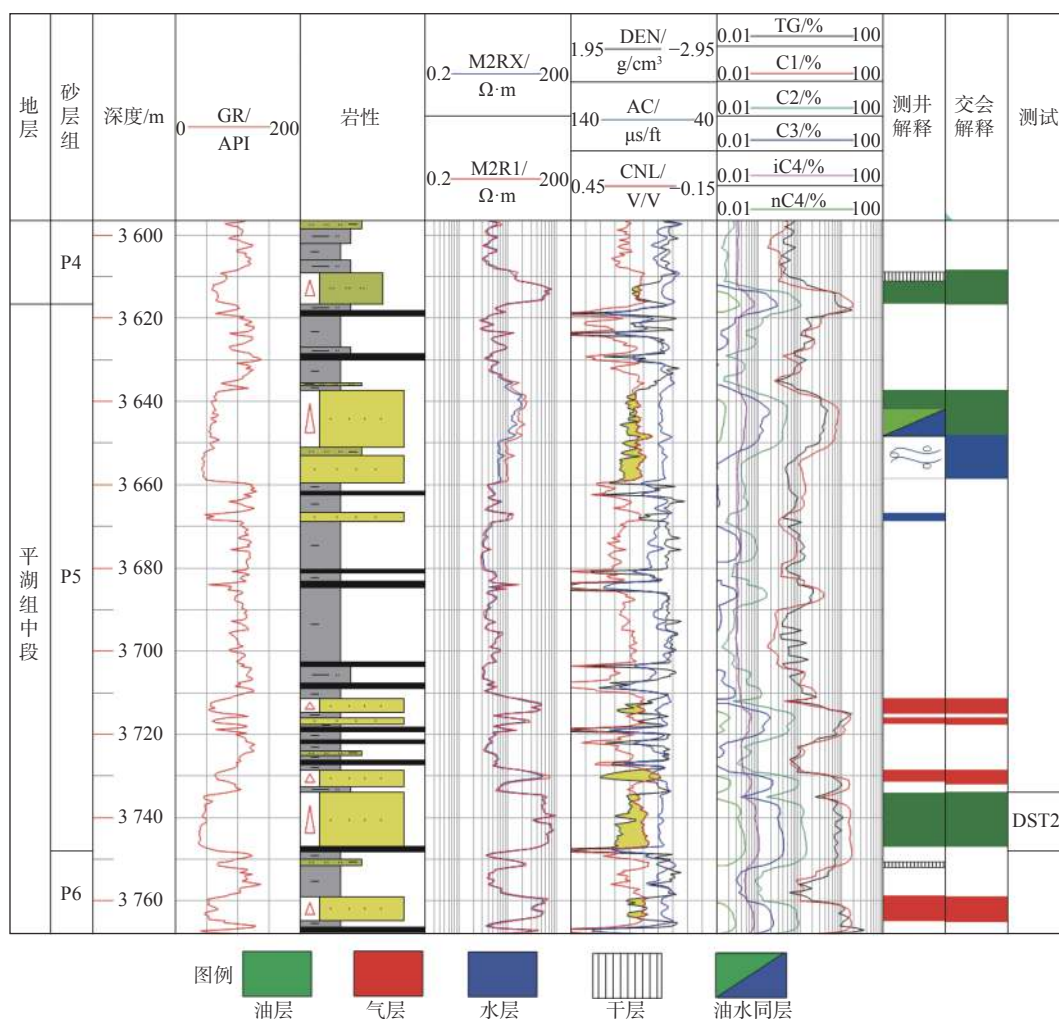


图5 西湖凹陷C1井储层流体性质综合解释图

Fig.5 Interpretation chart of reservoir fluid properties of well C1 in the Xihu Sag

5 结论与展望

(1)从储层复杂流体性质识别困难出发,通过钻井岩心、井壁取心、岩屑样品三维定量荧光数据分析,归纳出西湖凹陷原油和凝析油典型三维图谱特征;结合测井测试数据,利用激发波长、发射波长、油性指数、荧光对比级等关键参数交会可快速识别西湖凹陷储层流体性质。

(2)三维定量荧光关键参数交会解释方法,资料录取简便快捷,在西部斜坡带常规低渗储层流体性质识别中发挥重要作用,同样在中央洼陷反转带的高阻水层、低阻气层等疑难储层流体性质的快速识别中取得了良好的应用效果。

(3)油性指数为0.9~1.1是西部斜坡带气层与

轻质油层的交会重叠区,此时应用图版还需要结合其他测录井资料或相邻相似层油气性质综合识别。因此,随着西湖凹陷勘探研究工作不断深入和三维定量荧光资料的不断丰富,本文成果还需进一步细化,以提高目标油气层段解释精度,更好的支持勘探早期评价。

参考文献:

- [1] 周心怀. 西湖凹陷地质认识创新与油气勘探领域突破[J]. 中国海上油气, 2020, 32(1): 1-12.
- [2] 高伟中, 谭思哲, 田超, 等. 西湖凹陷中央反转构造带圈闭油气充満度差异性原因分析[J]. 中国海上油气, 2019, 31(3): 20-28.
- [3] 蔡华, 张建培. 东海西湖凹陷平湖斜坡带断层特征及其封闭性[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(4): 20-26.
- [4] 唐贤君, 蒋一鸣, 张建培, 等. 东海盆地西湖凹陷平北区断陷层

- 断裂特征及其对圈闭的控制[J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(8): 34-43.
- [5] 叶加仁, 顾惠荣, 贾健谊. 东海西湖凹陷油气地质条件及其勘探潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(4): 111-126.
- [6] 徐国盛, 徐芳良, 袁海锋, 等. 西湖凹陷中央反转构造带花港组致密砂岩储层成岩环境演变与孔隙演化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2016, 43(1): 385-395.
- [7] 郑小敏, 成志刚, 林伟川, 等. 致密砂岩气藏启动压差与可动水变化规律实验研究[J]. 测井技术, 2014, 38(1): 33-38.
- [8] 李霞, 赵文智, 周灿灿, 等. 低孔低渗碎屑岩储集层双孔隙饱和度和模型[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(1): 82-91.
- [9] 黄导武, 段冬平, 刘彬彬, 等. 西湖凹陷低渗-致密砂岩气藏储层特征及差异成因[J]. 中国海上油气, 2019, 31(3): 99-107.
- [10] 蒋一鸣, 周倩羽, 李帅, 等. 西湖凹陷西部斜坡带平湖组含煤岩系沉积环境再思考[J]. 中国煤炭地质, 2016, 28(8): 18-25.
- [11] 宦双燕. 波谱分析[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2008.
- [12] 许金钩, 王尊本. 荧光分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [13] 姜丽, 周启达. 三维定量荧光录井解释评价方法研究[J]. 录井工程, 2011, 22(4): 39-43.
- [14] 鲁法伟. 三维定量荧光录井在西湖凹陷油气性质判别中的应用[J]. 海洋石油, 2016, 36(2): 69-72.
- [15] 陈俊男, 何太洪, 任菊玲, 等. 定量荧光录井技术在吐哈油田的应用效果[J]. 吐哈油气, 2005, 10(3): 220-224.
- [16] 郭书生, 杨红君, 廖茂林, 等. 三维定量荧光录井技术在琼东南盆地陵水凹陷气层评价中的应用[J]. 录井工程, 2015, 26(3): 51-53.
- [17] 兰晶晶, 熊亭, 陈伟. 三维定量荧光录井技术在渤海湾盆地A油田的应用[J]. 录井工程, 2016, 27(2): 15-19.

A RAPID IDENTIFICATION METHOD OF COMPLICATED FLUID PROPERTIES BASED ON 3D QUANTITATIVE FLUORESCENCE LOGGING TECHNOLOGY IN THE XIHU SAG

ZHANG Yanzhen, HOU Kaiwen, SUN Peng, LI Jian, ZHANG Yan

(Shanghai Branch of CNOOC China Limited, Shanghai 200335, China)

Abstract: The Xihu Sag is the largest offshore oil-gas basin in China, with complicated reservoir fluid properties which are difficult to identify quickly. Based on a large number of three-dimensional quantitative fluorescence spectrum data, through carrying out the analysis of key parameters, it is found that the intersection characteristics of key parameters, such as the excitation wavelength, emission wavelength, fluorescence contrast level, oil index and so on, have obvious correlation with the reservoir fluid properties. Hence, based on the measured data of 15 exploration wells, combined with the logging and testing results, interpretation charts and standards of reservoir fluid properties in the different zones of the Xihu Sag are established, that is, the intersection interpretation method of three-dimensional quantitative fluorescence key parameters. This method is simple and rapid in data acquisition, and can quickly identify the fluid properties of difficult reservoirs such as high resistivity water layer and low resistivity gas layer, and it is not affected by the physical properties of the reservoir. The evaluation results are consistent with the well logging and testing results, and it has successful application in the field, the technology is worth promoting.

Key words: Xihu Sag; 3D quantitative fluorescence; reservoir fluid properties; fluorescence contrast level; oil index