

文章编号: 1009-3850(2002)04-0092-05

东河储层敏感性参数与测井的响应关系

魏钦廉¹, 伊海生¹, 黄成刚¹, 肖玲²

(1. 成都理工大学 沉积地质研究所 四川 成都 610059; 2. 江汉石油学院 地球科学系 湖北 荆州 434102)

摘要: 在岩心分析的基础上, 分析和提取塔中“东河砂岩”储层的 11 个主要敏感性参数, 同时利用常规测井方法可获得的岩石骨架、泥质含量、粘土矿物和物性参数等敏感性参数, 然后在油田储层敏感性流动实验资料的基础上, 运用逐步回归方法建立储层敏感性与测井资料的解释模型, 对实际井进行处理分析。结果表明, 由测井解释得到的储层敏感性结论与研究区的敏感性流动实验基本一致。

关键词: 储层敏感性, 测井方法, 东河储层, 回归分析

中图分类号: TE121.3 文献标识码: A

1 引言

储层对于各种类型地层损害的敏感性程度即为储层敏感性, 而对储层受到损害的程度和规律的认识, 就是对储层敏感性的分析和评价。对于敏感性预测采用的一般做法是建立在岩心分析的基础上, 直接由各种岩心分析资料(如薄片、铸体薄片、粒度、压汞、X-衍射、扫描电镜、物性、敏感性流动实验)得出结论^[1~3], 这样取得的结果一般从时间上来不及用于取样分析井, 因为完成这些实验过程需要较长的实验周期。本文以测井资料为主体, 在敏感性流动实验的基础上, 建立了敏感性参数与测井的响应关系, 实现对未取心井的敏感性预测分析。

2 地质概况

研究区位于塔里木盆地腹部一级构造单元中央隆起带中段, 西以吐木休克断裂与巴楚断隆相隔, 东与塔东低凸起鞍部相接, 北、南分别为另两个一级构造单元中的满加尔凹陷及唐古孜巴斯凹陷所限。区域走向 NW-SE, 东西长 230km, 面积约 $2.8 \times 10^4 \text{ km}^2$

(图 1)。

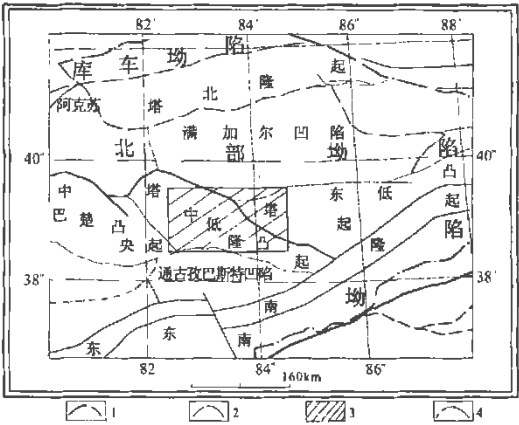


图 1 塔中地区区域构造略图

1. 盆地边界; 2. 一级边界; 3. 二级边界; 4. 研究区

Fig. 1 Regional tectonics of central Tarim Basin, Xinjiang
1= basin boundary; 2= first-order boundary; 3= second-order boundary; 4= studied region

根据古生物化石、岩性、测井曲线及地震波组特征, 可将塔中地区的石炭纪划分为 8 个岩性段, 其中

属于下石炭统的第8个岩性段即为塔中至塔北广泛分布的东河砂岩。该套砂岩为塔中地区的主要油气层之一。

3 储层敏感参数的确定

几乎所有井的油层都会受到不同程度的损害, 油层损害必然导致产能损失及产量下降^[1]。储层对于各种地层损害的程度, 即为储层敏感性。东河储层的敏感性主要有以下几种类型。

(1) 外来流体的盐度降低引起油气储层中粘土矿物的水化、膨胀, 导致粘土微粒及由粘土胶结的碎屑微粒的释放, 缩小了储层的孔隙喉道, 即储层的水敏性。

(2) 由于外来流体(如注入水)流速过高(超过该储层的临界流速), 使那些非胶结或胶结不好的微粒运移、沉积, 堵塞油气储层的孔喉通道, 即储层的速敏性。

(3) 由于外来流体的矿化度低于该储层的临界矿化度, 引起的储层孔隙度、渗透率下降现象, 即为盐敏。

(4) 由于与储层流体不配伍的流体侵入储层、溶液温度的变化、溶液压力变化等原因, 使储层原有的沉淀溶解平衡被破坏, 因生成沥青、石蜡或无机沉淀, 这就是储层结垢问题。结垢严重时, 可造成储层孔隙或裂缝、射孔孔眼、井筒或采油设备堵塞, 损害油气产量。

(5) 外来流体进入储层, 并与储层矿物发生化学反应, 如碱水区中的碱溶或酸化作业中的酸溶, 由于反应产物的沉淀以及胶结物被溶解产生的碎屑微粒堵塞孔喉, 而导致储层渗透能力的下降, 即为酸敏或碱敏。

储层受到损害的原因可以归结为两个方面, 一是由于储集层岩石本身的特性存在的地层损害; 二是外来条件的改变对储集层造成的损害。前者是储集层固有的, 是客观存在的条件, 即内因; 后者是外因。内因是变化的根据, 外因是变化的条件。因此研究储层损害的内因即储层中敏感性矿物的类型、含量及其分布状况是解决这一问题的关键。

敏感性矿物是指储层中与流体易发生物理、化学反应并导致储层渗透率大幅下降的一类矿物。通过东河储层的岩石薄片分析、X衍射分析、扫描电镜分析、毛管压力曲线和粒度分析可知, 研究区岩性主要为褐色中细砂岩, 孔隙类型以原生孔为主, 属中孔中渗储层。该储层含有多种类型敏感性矿物。主要

是成岩作用过程中形成的自生矿物, 它们按各自的习性, 以不同的大小、形态和含量或相互混生或单一产出, 主要分布于岩石颗粒表面和充填岩石孔隙中。粘土矿物中以伊利石、伊蒙混层和绿泥石为主, 含极少量的高岭石(图2)。碳酸盐矿物包括方解石、铁方解石和铁白云石, 它们含量高(最高达近35%)。

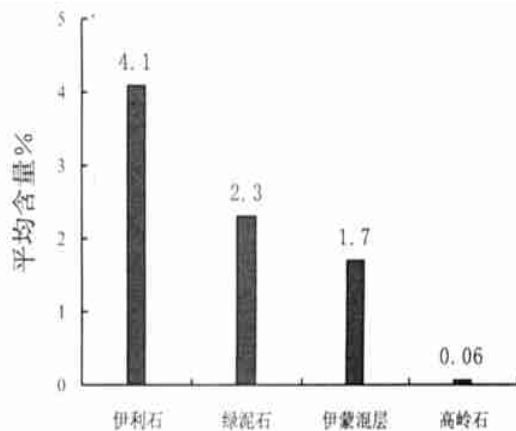


图2 粘土矿物含量分布图

Fig. 2 Bar chart showing the average contents of the clay minerals from the study area

结合目前油田的实际情况, 提取11个反映东河储层的敏感性参数。它们是石英、长石、岩屑、绿泥石、伊利石、伊蒙混层、铁白云石、铁方解石、方解石、孔隙度、渗透率。

4 敏感性参数与测井响应关系

这些敏感性参数都能通过测井信息来求取, 如自然能谱测井能确定粘土矿物类型和含量, 密度测井、中子和声波测井能确定碳酸盐矿物类型和含量及孔隙度和渗透率等^[4]。这些参数经过岩心标定(即测井建模)后, 都可以用测井信息进行处理, 并可实现未取心井的预测分析。下面结合东河储层建立敏感性参数与测井响应关系, 采用的数学方法为回归分析。

应用薄片、扫描电镜、X衍射分析资料, 统计石英、长石、岩屑、铁方解石、方解石和铁白云石与三孔隙度测井、中子测井和声波测井的关系, 得到统计模型。

$$X_Q = -659.57 - 7.3 \times M + 10.56 \times N + 13.78 \times T \quad (1)$$

$$X_F = 15.8 + 0.12 \times M - 0.10 \times N - 0.21 \times T \quad (2)$$

$$X_R = 85.7 + 0.454 \times M - 1.23 \times N - 0.24 \times T \quad (3)$$

$$X_{TF}=42+0.35\times M+0.85\times N+0.54\times T \quad (4)$$

$$X_{TB}=65+1.5\times M+0.12\times N-3.2\times T \quad (5)$$

$$X_F=12+8.9\times M+0.05\times N+5.4\times T \quad (6)$$

式中, $M=(\Delta t_f-\Delta t)/[(P_b-P_f)\times 0.3]$;

$$N=(100-\Phi_n)/[(P_b-P_f)];$$

$$T=(\Delta t_f-\Delta t)/[(100-\Phi_n)\times 10];$$

而 P_b 为密度测井值 (g/cm^3); P_f 为流体密度测井 (g/cm^3); Φ_n 为中子测井值 ($\%$); Δt_f 为流体声波测井时差 ($\mu s/m$); Δt 为声波时差 ($\mu s/m$)。

X_Q 、 X_F 、 X_R 、 X_{TF} 、 X_{TB} 、 X_F 分别为石英、长石、岩屑、铁方解石、铁白云石、方解石的含量。

应用自然伽玛能谱和自然伽玛测井信息对粘土矿物进行建模。深度归位采用粘土总量或某种主要类型矿物含量与自然伽玛测井相对值曲线进行深度移动对比办法来实现。下面是利用该油田资料得到各类粘土矿物模型。

$$X_{YL}=30.8-0.02\times X_U+6.4\times X_T-10.8\times X_K-9.7\times X_{TK} \quad (7)$$

$$X_M=8.50+0.12\times X_U+1.43\times X_T-4.1\times X_K-3.5\times X_{TK} \quad (8)$$

$$X_{IN}=12.5+1.24\times X_U+1.46\times X_T-5.4\times X_K-4.1\times X_{TK} \quad (9)$$

$$X_{YM}=8.9+0.32\times X_U+5.1\times X_T-4.5\times X_K+1.23X_{TK} \quad (10)$$

式中, X_U 、 X_T 、 X_K 、 X_{TK} 分别代表能谱测井的铀、钍、钾和钍钾比 ($\%$); X_{YL} 、 X_M 、 X_{IN} 、 X_{YM} 分别为伊利石、蒙脱石、绿泥石和伊蒙混层含量 ($\%$)。

应用物性、薄片、压汞等岩心分析资料和测井资料统计回归, 得到下列参数模型。

$$\varphi=1.80-0.67\times \rho_b \quad (11)$$

$$\lg K=-3.3+5.4\times \lg(\rho_b\times 100)-4.5\times \lg M_d \quad (12)$$

$$M_d=(2\times M_w-0.04)/(1+\Delta SP)-M_w+0.04 \quad (13)$$

式中, φ 为孔隙度(小数); ρ_b 为密度测井 (g/cm^3); K 为渗透率 ($10^{-3}\mu m^2$); M_d 为粒度中值 (mm); M_w 为本井粒度中值最大者 (mm); ΔSP 为自然电位相对值。

5 储层敏感性预测分析

通过对塔中“东河砂岩”储层进行不同敏感性和不同钻(完)井液伤害油层评价实验, 依照中国石油天然气总公司所推荐的方法和流程, 结合油田的实际资料, 总结出东河砂岩储层敏感性的评价标准(表 1)。

表中敏感性评价标准的值代表评价参数的大小。在实际处理时, 以目前测井资料提取的上述 11 个敏感性参数为基础, 结合储层敏感性流动实验结果, 运用逐步回归进行定量的分析和预测^[5,6], 样品数见表 2。

通过回归分析建立敏感性的评价参数值 Y 与储层敏感性之间的关系:

$$Y=F(X_Q, X_F, X_R, X_{Ln}, X_Y, X_{Ym}, X_{Tb}, X_{Tf}, X_F, X_\phi, X_K) \quad (14)$$

储层敏感性评价模型如下:

$$Y_{\text{酸敏}}=0.0491X_Y-0.1186X_{YM}-0.0043X_\phi+1.0096 \quad (15)$$

复相关系数: $R=0.8502$; $F=22.5$

$$Y_{\text{速敏}}=0.0172X_{YM}-0.0051X_{Tf}+0.0056X_F-0.0097X_\phi+0.1972 \quad (16)$$

复相关系数: $R=0.8829$; $F=15.4$

表 1 储层敏感性程度的评价标准

Table 1 The standards for the evaluation of reservoir sensitivity

敏感性	评价参数	评 价 标 准			
		< 0.2	0.2~0.5	0.5~0.8	> 0.8
速 敏	$(K_o-K_{min})/K_o$ 或 $(K_w-K_{min})/K_w$	弱	中等偏弱	中等偏强	强
水 敏	K^*/K_w	强	中等偏强	中等偏弱	弱
盐 敏	C/C_w	弱	中等偏弱	中等偏强	强
碱敏、酸敏	K_{ext}/K_w	强	中等偏强	中等偏弱	弱

注: K_o —初始煤油渗透率; K_{min} —速敏曲线上的最小渗透率; C_w —模拟地层水总矿化度; C —临界矿化度; K_{ext} —最终渗透率; K_w —初始模拟地层水渗透率; K^* —蒸馏水渗透率

表2 塔中S井敏感性评价参数与敏感性实验结果对比表

Table 2 Correlation of the parameters for the evaluation of reservoir sensitivity and experimentary data for the S well in central Tarim Basin

敏感性流动实验结果			测井方法预测结果												
敏感性	井深/m	实验结果	绿泥石	铁方解石	长石	伊利石	伊蒙混层	铁白云石	方解石	岩屑	孔隙度	渗透率	样品数(个)	敏感性评价值 Y	评价
酸敏	3606	弱	5	6	4	8	4	6	3	2	9.6	13	25	0.88	弱
	3616	弱	5	0	2	5	2	0	0	1	19.5	89	25	0.93	弱
	3660	无	1	0	2	3	1	0	0	10	16.8	0	25	0.97	弱
速敏	3629	弱	3	0.5	2.5	4	3	0.5	0	2	21.7	226	24	0.04	弱
	3660	弱	1	0	2	16.8	224	3	1	0	0	10	24	0.05	弱
水敏	3604	弱	2	0	5	3	2	1	8	1	22.4	153	27	0.81	弱
	3631	中偏强	4	0	2	5	2	0	0.5	7	19.4	95	27	0.27	中偏强
	3704	中偏强	3	0	3	5	2	0	3	5	14.8	25	27	0.24	中偏强
碱敏	3611	弱	3	24	2	5	2	3	11	1	16.8	450	28	0.93	弱
	3667	弱	2	02	4	2	3	0	2	10	17	122	28	0.95	弱
盐敏	3704	弱	3	30	3	5	2	0	0	5	14.8	25	28	0.16	弱
	3604	弱	2	3	5	3	2	1	8	1	22.4	153	28	0.17	弱

$$Y_{\text{盐敏}} = -0.002X_{\text{IN}} + 0.0034X_{\text{Y}} + 0.0068X_{\text{IF}} + 1.5591 \quad (17)$$

复相关系数: $R=0.9307$; $F=17.5$

$$Y_{\text{水敏}} = -0.0114X_{\text{R}} + 0.041X_{\text{Tb}} + 0.0087X_{\text{K}} + 0.2798 \quad (18)$$

复相关系数: $R=0.8589$; $F=21.4$

$$Y_{\text{碱敏}} = -0.0022X_{\text{F}} + 0.008X_{\text{Tb}} - 0.0068X_{\text{Tb}} + 0.9602 \quad (19)$$

复相关系数: $R=0.8829$; $F=10.4$

式中, X_{Q} 、 X_{F} 、 X_{R} 、 X_{Ln} 、 X_{Y} 、 X_{YM} 、 X_{Tb} 、 X_{IF} 、 X_{F} 分别为石英、长石、岩屑、绿泥石、伊利石、伊蒙混层、铁白云石、铁方解石及方解石的含量; X_{Φ} 、 X_{K} 分别为孔隙度、渗透率; Y 是敏感性评价值; $Y_{\text{酸敏}}$ 、 $Y_{\text{速敏}}$ 、 $Y_{\text{碱敏}}$ 、 $Y_{\text{盐敏}}$ 、 $Y_{\text{水敏}}$ 分别代表 $K_{\text{end}}/K_{\text{w}}$ 、 $(K_{\text{o}} - K_{\text{min}})/K_{\text{o}}$ 、 $K_{\text{end}}/K_{\text{w}}$ 、 C/C_{w} 和 K^*/K_{w} 的值, 敏感性评价参数值 Y 所涉及的参数说明见表1。

以上为运用逐步回归分析建立的模型。本文采用 F 统计量对回归方程进行显著性检验。在给定的 $\alpha=0.1$ (通常检验水平 α 取0.1, 以便回归方程中能包含较多的变量)。所计算的 F 值均大于它们的临界 F_{α} 值。并且它们的复相关系数都较高。由此, 可以得出结论, 回归方程显著。说明它们中包含的信息具有代表性, 计算出的敏感性程度真实可靠。

6 处理分析

根据东河储层的敏感性流动实验分析结果, 可

知研究区东河储层为中等偏强水敏、弱酸敏、弱速敏、弱碱敏和弱盐敏。

应用上述方法对塔中S井进行实际处理(表2)。

处理结果表明: 速敏评价参数值为0.04~0.05, 综合结论为弱; 碱敏评价参数值为0.93~0.95, 综合结论为弱; 盐敏评价参数值为0.16~0.17, 综合结论为弱; 水敏评价参数值除井深为3604m的层位水敏0.81外, 其余的两个均为0.2左右, 综合结论除井深3604m水敏为弱, 其余的为中偏强; 酸敏评价参数值为0.88~0.97, 综合结论为弱。除井深3660m处酸敏实验结果为无, 而预测的结果为弱, 两者之间有点误差外, 其余均相符。

7 结 语

笔者在收集薄片、粒度、压汞、X衍射、扫描电镜、物性、敏感性流动实验等基础上, 利用测井资料实现对未取心井、探井敏感性的预测。从测井信息中成功提取石英、长石、岩屑、绿泥石、伊利石、伊蒙混层、铁方解石、方解石、孔隙度、渗透率、综合物性参数等。以这些参数为基础进行逐步回归分析, 建立模型预测储层的敏感性, 通过对塔中S井的实际处理, 结果表明应用测井资料预测储层的敏感性是切实可行的。

参考文献:

- [1] 张绍愧. 保护储集层技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [2] 裘亦楠. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [3] 陈丽华, 等. 扫描电镜在地质上的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [4] 黄隆基. 放射性测井的原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1985.
- [5] 陆明德. 数学地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.
- [6] 盛骤, 等. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.

Responses of reservoir sensitivity and well logs of the Donghe sandstones in central Tarim Basin, Xinjiang

WEI Qin-lian¹, YI Hai-sheng¹, HUANG Cheng-gang¹, XIAO Ling²

(1. *Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*; 2. *Department of Earth Sciences, Jiangnan College of Petroleum, Jingzhou 434102, Hubei, China*)

Abstract: The Donghe sandstones are believed to be the major hydrocarbon reservoirs in central Tarim Basin, Xinjiang. Eleven parameters are selected to evaluate the reservoir sensitivity, including quartz, feldspar, lithic fragments, chlorite, illite, mixed illite-montmorillonite beds, ferroan dolomite, ferroan calcite, calcite, porosity and permeability. The model has been constructed for the interpretation of the reservoir sensitivity and well logs of the Donghe sandstones by using the successive regression analysis. The results in this study show that the method is workable for the prediction of the reservoir sensitivity of other exploratory wells in the light of well logs.

Key words: reservoir sensitivity; well logging; Donghe sandstone; regression analysis