

doi:10.3799/dqkx.2013.059

密闭取心井油水饱和度校正方法

谭锋奇¹, 杨长春², 李洪奇¹, 杨新平³, 王仕莉³

1. 中国石油大学地球物理与信息工程学院, 北京 102249

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

3. 新疆油田公司勘探开发研究院, 新疆克拉玛依 834000

摘要: 密闭取心井的油水饱和度分析资料是评价储层含油性的重要数据, 而室内岩心分析测量的油水饱和度常常偏离原始地层条件下的真实情况, 需要校正后才能使用。以克拉玛依油田一中区克下组油藏为例, 首先基于油水饱和度的理论模型, 依据油水剩余率的概念分析了原始地层条件下油水饱和度与实验室测量的油水饱和度之间的联系, 进而确定了岩心分析的油水饱和度与油水剩余率的线性关系, 基于该线性关系的斜率和截距, 利用数理统计和数学处理的方法建立了油水饱和度损失总量中油、水各自的损失百分比, 最终依据损失百分比可以有效地对饱和度资料进行校正。此方法在克下组油藏的实际应用中取得了很好的效果, 校正后的饱和度资料使岩心含油性与储层电性之间的相关性得到了很大的提高, 校正数据可以更好地反映原始地层的含油情况, 为饱和度公式的确定以及剩余油的评价提供准确的基础数据。

关键词: 密闭取心井; 饱和度校正; 剩余率; 线性关系; 数学处理; 地球物理。

中图分类号: TE311

文章编号: 1000-2383(2013)03-0592-07

收稿日期: 2012-08-19

Study on Oil-Water Saturation Correction from Sealed Core Wells

TAN Feng-qi¹, YANG Chang-chun², LI Hong-qi¹, YANG Xin-ping³, WANG Shi-li³

1. College of Geophysics and Information Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay 834000, China

Abstract: The analysis of oil-water saturation from sealed core wells is important data for evaluation of oil-bearing property of reservoirs. However, the oil-water saturation values from core measuring in laboratory usually deviate from true situation of original formation condition, so these data must be corrected before using. In this paper, the Kexia Group reservoir of First-Middle block in Karamay oilfield is selected as the study object. Firstly, based on the theoretical mode of oil-water saturation the relationship between oil-water saturation under original formation condition and oil-water saturation of sealed core analysis are studied according to the concept of oil-water remaining rate, and then the linear relationship of oil-water saturation values of sealed core analysis and oil-water remaining rate are determined. Based on the slope and intercept of above linear relationship the oil and water loss percentage in total loss of oil-water saturation are respectively established by use of mathematical statistics and mathematical processing methods. Finally, the saturation data can be effectively corrected by oil and water loss percentage. The above-mentioned method is applied to oil-water saturation correction in Kexia Group reservoir and achieves good application results. The using of corrected saturation data greatly improves correlation between core oil-bearing and reservoir electricity and corrected data can better reflect the oil-bearing situation of original formation, then provides accurate basic data for the saturation formula determination and remaining oil evaluation.

Key words: sealed core well; saturation correction; remaining rate; linear relationship; mathematical processing; geophysics.

随着油田勘探开发的不断深入以及老油田综合含水的不不断上升, 水淹层的准确评价已经成为当前

各个油田控水稳油的关键问题, 而储层油水饱和度资料是判断油层水淹情况、分析剩余油分布规律以

基金项目: 国家“973”非均质油气藏地球物理探测基础研究项目(No. 2007CB209600)。

作者简介: 谭锋奇(1984-), 男, 在读博士后, 从事地球物理与储层评价方面的研究。E-mail: fengqitan@163.com。

及合理制定调整开发方案的重要依据(田中元等, 2002; 邢艳娟等, 2008; 谭锋奇等, 2010; Tan *et al.*, 2010; 李顺明等, 2011). 为了取得真实的油水饱和度资料, 通常采用密闭取心的方法, 使之尽量保持地层原始状态, 然后在实验室测出油水饱和度数据. 但是, 由于在钻井、取心、取样、样品保管以及分析化验过程中, 泥浆滤液侵入、脱气以及轻质组分挥发等因素的影响, 最终测量的油水饱和度资料与地层真实的饱和度有明显的偏差(约 5%~35%)(陆大卫和王春利, 2003; 韩怀, 2010). 为了消除实测油、水饱和度受降压脱气油水溢出的影响, 需要对岩心分析测量的油水饱和度进行校正, 使其恢复到地层的真实情况. 目前常用的校正方法主要有物理模拟实验和数理统计两种方法(王艺景等, 2000; 刘丽, 2009; 张亮, 2009). 前者实验操作复杂, 对测量岩石的质量要求比较高, 并且一般只考虑单因素的影响; 后者是对脱气、挥发等饱和度损失量的总校正, 方法具备快速、准确和易操作的特点. 本次研究基于密闭取心井岩心饱和度分析数据的损失机理, 从数理统计的角度探讨实测油水饱和度与真实值的偏差, 形成一套针对克拉玛依油田砾岩油藏的饱和度校正方法.

1 区域概况

克拉玛依油田一中区位于克拉玛依市以东约 12 km 处, 西部与一西区为界, 东部与一东区相邻. 其主力含油层系克下组是在古生界下石炭统的古风化壳上接受的一套正旋回山麓洪积扇沉积, 沉积厚度 25~85 m, 平均厚度 55 m, 油层有效孔隙度 16.1%, 有效渗透率 $49 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于典型的 II 类砾岩油藏. 一中区克下组油藏自 1960 年注水开发以来, 经过 50 a 的开采, 目前已进入高含水开发阶段. 因此, 建立适合油藏特征的饱和度资料校正方法非常有必要.

2 饱和度校正方法

2.1 数理统计方法的校正原理

当地层不存在游离气时, 岩石孔隙内油水饱和度之和应等于 100%, 但实际测定的油水饱和度之和通常小于 100%, 大约存在 5%~35% 的偏差. 分析表明(杨胜来等, 2004), 其影响因素包括以下 5 个方面: (1) 钻井滤液侵入造成油水饱和度值出现异

常; (2) 压力和温度的变化引起油水饱和度变化; (3) 孔隙压实引起的油水饱和度变化; (4) 岩心储存制备过程中油水饱和度的变化; (5) 饱和度测试方法的系统误差. 其中压力和温度的变化引起孔隙中轻质组分的挥发是导致岩心饱和度存在偏差的最主要原因. 为了消除以上因素的影响, 基于油水饱和度的理论模型, 利用油水剩余率的概念进行饱和度的校正.

当地层孔隙中不存在游离气而只有油水两相流体时, 油水饱和度之间的关系满足下式:

$$S_o + S_w = 1, \quad (1)$$

式中: S_o 是原始状态下地层的含油饱和度, 小数; S_w 是原始状态下地层的含水饱和度, 小数.

由公式(1)可知, 在原始地层条件下地层孔隙中的含油饱和度和含水饱和度呈线性关系, 其斜率为 -1, 截距为 1. 这一点可以用油气成藏理论来解释(于宝利等, 2008; 张雷等, 2010; 郭倩和蒲仁海等, 2011; 姜雪等, 2011; 柳波等, 2011), 最初圈闭中的储集空间中只有地层水的存在, 含水饱和度为 100%, 当油气由烃源岩生成后经过运移进入储层, 在外界压力的作用下油气开始驱替孔隙中的水, 随着驱替作用的不断进行, 孔隙中的含水饱和度不断减小, 而含油饱和度则不断增大, 但是两者的总体积不会发生变化, 一直保持 100%. 因此, 原始地层状态下, 油水饱和度之和等于 1.

当储层中的岩心被钻开取出之后, 由于温度和压力的变化, 轻烃组分和孔隙中的水就会挥发, 假设挥发以后油的剩余率为 η_1 , 水的剩余率为 η_2 , 则有:

$$S'_o = S_o \cdot \eta_1, \quad (2)$$

$$S'_w = S_w \cdot \eta_2, \quad (3)$$

式中: S'_o 为岩心测量的含油饱和度, 小数; S'_w 为岩心测量的含水饱和度, 小数; S_o 为原始状态下地层的含油饱和度, 小数; S_w 为原始状态下地层的含水饱和度, 小数.

综合公式(1)、(2)和(3), 岩心测量的油水饱和度满足以下关系:

$$S'_o/\eta_1 + S'_w/\eta_2 = 1. \quad (4)$$

对上式进行变形就可以得到一个线性关系式:

$$S'_o = \eta_1 - \frac{\eta_1}{\eta_2} \cdot S'_w. \quad (5)$$

由公式(5)可知, 经过挥发以后岩心测量的油水饱和度也呈线性关系, 其斜率和截距与油水的剩余率有关, 即油水的挥发率决定着岩心测量油水饱和度的线性关系. 对于同一口井的取心井段, 其压力和温度等地层条件基本相近, 取心工艺和饱和度测量

工艺也完全相同. 因此, 该取心井段中岩性和物性相同的岩心其油水饱和度损失量也基本相同. 基于此, 如果该取心段岩心样品的油水损失率基本一致, 那么就可以通过多元线性回归的方法来计算各自的剩余率 η_1 和 η_2 . 然后, 利用公式(2)和(3)得到校正后的油水饱和度值.

但是, 在密闭取心过程中, 由于油、水饱和度是分 2 次独立测量的(王永卓等, 1998), 校正后得到的油、水饱和度之和不一定为 100%, 通常会有小的浮动. 因此, 还需要对校正后的数据作适当的数学处理, 保证最终的校正结果为 100%. 本次研究采用的方法是将饱和度数据的校正系数转换成总损失量的百分含量, 则校正后油水饱和度数据之和为 100%. 设饱和度数据总损失量中油的损失百分比为 Y , 水的损失百分比为 $1-Y$, 则有:

$$Y = (1 - \eta_1) / [(1 - \eta_1) + (1 - \eta_2)]. \quad (6)$$

因此, 校正后的油水饱和度计算公式为:

$$S_o = (1 - S'_o - S'_w) \cdot Y + S'_o, \quad (7)$$

$$S'_w = (1 - S'_o - S'_w) \cdot (1 - Y) + S'_w. \quad (8)$$

2.2 方法分析

前面建立的饱和度校正方法的理论基础是, 岩心经过挥发后实验室测量的油水饱和度呈线性相关, 然后依据两者之间的关系求取油水的剩余率, 进而计算总损失量中油水各自的损失百分比, 最终进行油水饱和度的校正. 因此, 实验室得到的油水饱和度之间是否存在线性关系是方法应用的前提, 依据大量的实验室统计数据发现, 对于同一口密闭取心井, 在受外界各种因素影响后, 其油水饱和度之间仍存在较好的线性关系(图 1). 但是这种线性关系的截距和斜率不再是 1 和 -1, 说明由密闭取心井测量的油水饱和度资料存在误差, 这种误差不是杂乱无章的, 而是总体上呈线性关系. 因此, 可以利用建立的饱和度校正方法对密闭取心井资料进行校正.

为了更好地理解密闭取心井油水挥发造成的系统误差与理论值之间的关系, 制作实验室测量油水饱和度与理论值的对比示意图(图 2). 从图中可以看出, 如果密闭取心资料不受任何外界因素的影响, 油水饱和度的分析数据会落在 MN 线上, 其线性关系的截距和斜率分别为 1 和 -1. 如果油水饱和度的实验室分析数据存在系统误差, 则分析数据会落在 MN 线的两侧, 当油水饱和度之和大于 1 时, 落在 MN 线的右上方; 当油水饱和度之和小于 1 时, 落在 MN 线的左下方. 一般情况下, 由于油水挥发的影响, 分析数据会落在 MN 线的左下方, 如果其线性

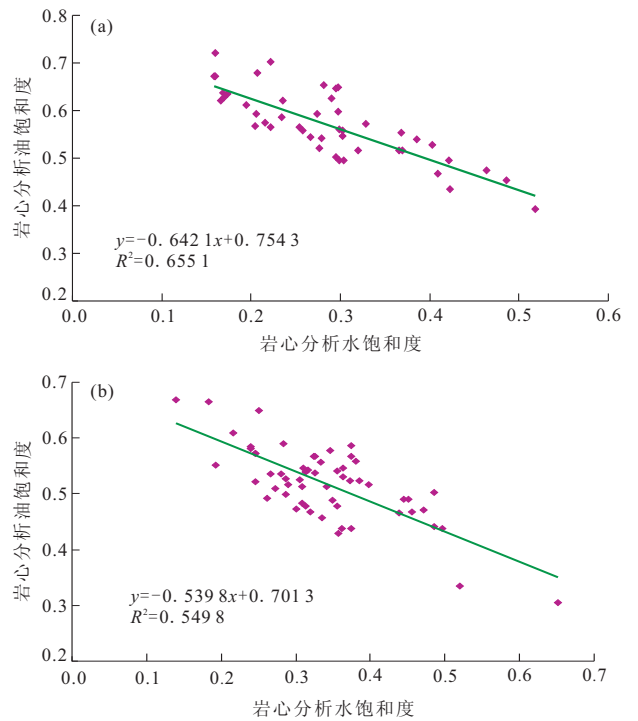


图 1 一中区 A 井(a)和 B 井(b)油水饱和度交会
Fig. 1 Crossplot of oil-water saturation from well A (a) and well B (b) in the First-Middle block

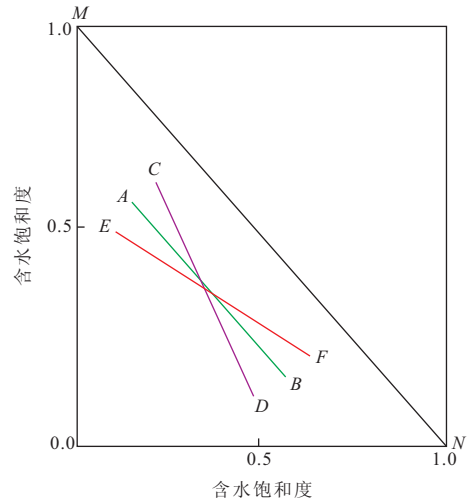


图 2 实测油水饱和度与理论值对比
Fig. 2 Comparison of actual measuring oil-water saturation and theoretical values

关系的斜率等于 -1, 即 $AB \parallel MN$, 则反映了油水饱和度的损失基本一致, 两者的系统误差相等. 如果斜率小于 -1, 即线性关系如 CD, 反映了含水饱和度的损失大于含油饱和度; 如果斜率大于 -1, 即线性关系如 EF, 反映了含油饱和度的损失大于含水饱和度. 因此, 依据实验室油水饱和度的关系, 不仅可

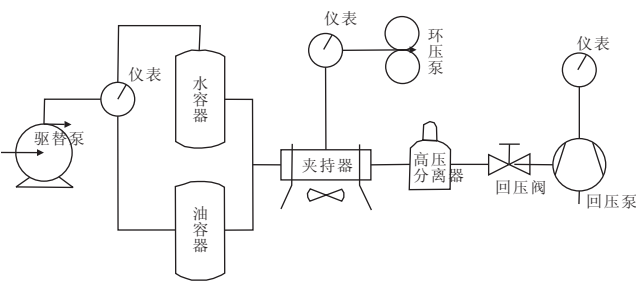


图3 物理模拟实验的饱和度校正流程

Fig. 3 Schematic of experimental equipment of saturation correction

以进行饱和度的校正,还可以分析油水损失的系统误差。

2.3 物理模拟实验的校正原理

物理模拟实验校正油水饱和度的技术核心是利用实验装置模拟岩心降压脱气过程中含水饱和度的变化,然后确定脱气前后含水饱和度的相关关系,基于建立的对数模型计算脱气前的含水饱和度值,进而进行油水饱和度的校正。具体的实验流程见图3。

物理模拟实验的校正方法分为以下几个步骤:(1)地层参数的准备。实验过程中需要用到一些地层和流体性质的参数,包括溶解气油比、饱和压力、地层水矿化度、地层温度和压力等;(2)将典型岩样抽空,然后饱和模拟地层水,用模拟地层条件下的含气原油驱替岩样中的模拟地层水,当达到束缚水状态时计算岩样的束缚水饱和度;(3)用模拟地层水驱替岩样中的含气原油,当含水饱和度达到一定数值时,逐步将岩样压力和温度从饱和压力和地层温度降至大气压力和室温,计算降压脱气排出的水量;(4)制作脱气前后含水饱和度的交会图,确定两者的相关关系,实验表明两者一般呈现对数关系;(5)将降压脱气后的岩样从夹持器中取出,置于研钵中研磨并加入酒精萃取其中的水分,利用库仑法确定岩样的含水饱和度,并与脱气后已知的含水饱和度进行比较,确定测试方法造成的系统误差;(6)引入孔隙压实校正因子对孔隙压实造成的含水饱和度误差进行修正。

2.4 两种校正方法的优缺点分析

从两种饱和度校正方法的原理中可以看出,数理统计的方法侧重于利用数据本身的变化特征来反映油水饱和度的损失量,校正方法有着严格的理论推理和数理基础;而物理模拟实验的方法侧重于利用实验设备来模拟真实地层条件下岩心降压脱气过程以及含水饱和度的变化,进而揭示饱和度校正的实验机理。

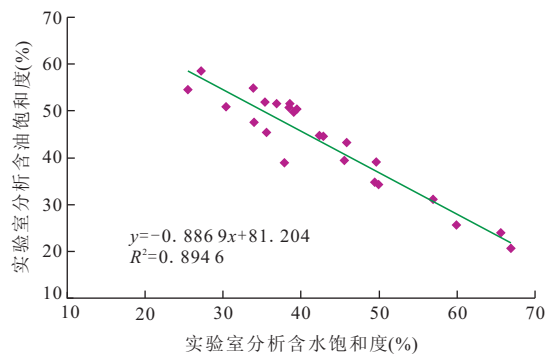


图4 T10193井岩心分析油水饱和度交会图

Fig. 4 Crossplot of oil and water saturation from core analysis in well T101093

通过对比分析可以看出,数理统计方法的优点在于有严格的理论推理作为依据,方法便于操作,适用性比较强,在岩心分析数据比较多时准确性更高,不仅可以进行饱和度校正,还可以分析油水损失的系统误差;缺点在于其假设条件是油水的挥发率相同,即岩心经过挥发后实验室测量的油水饱和度呈线性相关(图4),如果不符合线性关系,就不能利用该方法进行校正。另外,如果测量岩样的岩性、物性以及含油性等相差比较大的情况下,该方法不适合应用。物理模拟实验方法的优点在于利用实验流程可以有效地揭示岩样降压脱气的机理,进而准确计算含水饱和度的损失量;缺点在于实验的过程比较复杂,首先,需要准备大量的地层和储层流体参数,如果没有这些数据,实验就无法进行;其次,该方法只是针对某几个岩样进行实验,然后利用建立的含水饱和度关系进行校正,如果其他样品的岩性和物性差别比较大,方法的应用就会出现校正错误;最后,物理模拟实验方法只是针对含水饱和度进行校正实验,对含油饱和度的变化没有充分考虑,只是应用油水饱和度之和等于100%进行简单的计算,实际上在储层水淹比较强的时候,原油的挥发比地层水的挥发更多。

3 应用效果分析

利用数理统计的饱和度校正方法对一中区克下组油藏的实际资料进行处理,分析其应用效果。首先选取一中区密闭取心井T10193作为研究对象,该井取心井段为克拉玛依组,主要岩性为砂砾岩,取心进尺约40m,符合饱和度校正方法的基本条件。在对实验室分析的岩心饱和度资料进行预处理(异常

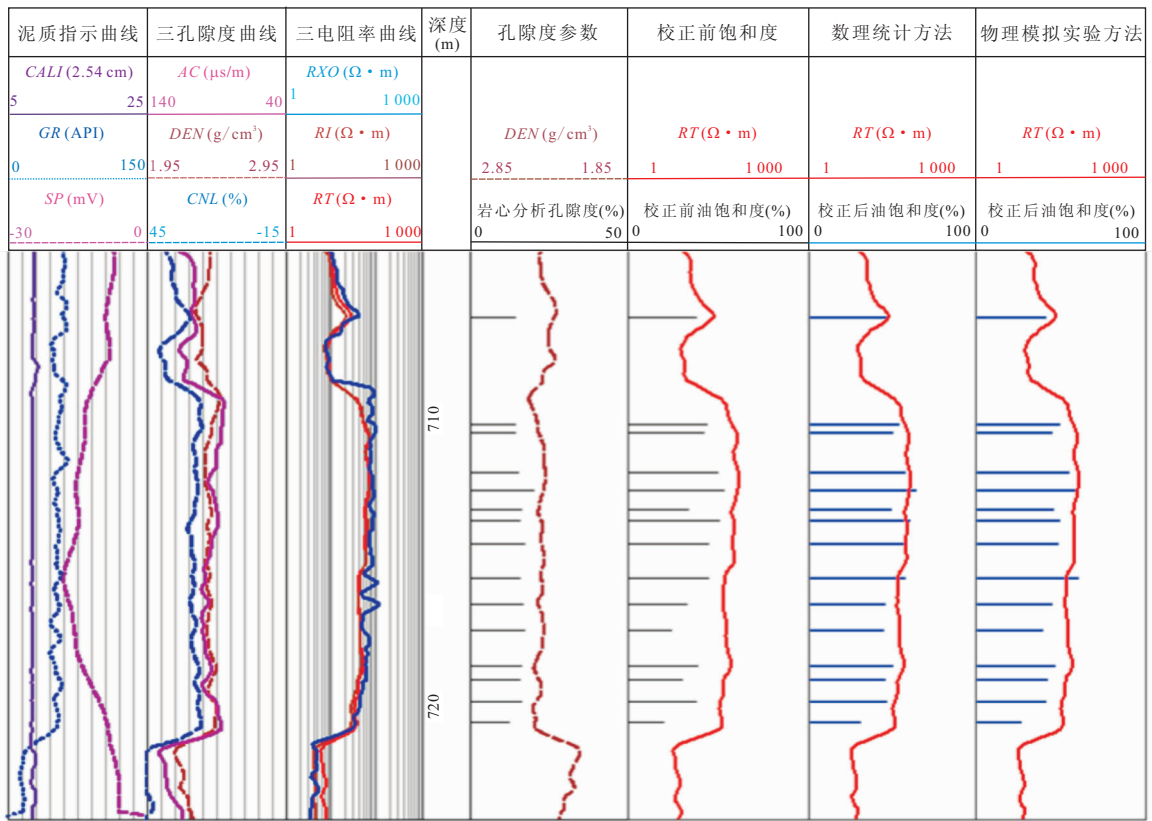


图 5 T10193 井饱和度校正结果与测井曲线对比

Fig. 5 Comparison of saturation correction results and well logs in well T10193

点或实验失败数据的删除)的基础上,制作油水饱和度的交会图(图 4)。

从图 4 中可以看出,T10193 井实验室分析的油水饱和度数据具有很好的线性关系,相关系数的平方达到 0.894 6,并且其斜率为-0.886 9,说明该井取心段的含油饱和度损失大于含水饱和度,即油的挥发大于水的挥发。首先依据图 4 中的关系式计算出油、水的剩余率,然后按照公式(6)得出总损失量中油的损失百分比 Y 与水的损失百分比 1-Y,最终利用公式(7)和(8)计算校正后的油、水饱和度值(表 1)。

利用物理模拟实验的方法对 T10193 井的岩样进行油水饱和度的校正,其中溶解气油比 65 m³/t,饱和压力 10.12 MPa,地层水矿化度 7 106 mg/L,地层温度 24.5 °C,地层压力 10.29 MPa。基于以上地层参数,依据物理模拟实验的方法确定了降压脱气前后含水饱和度的相关关系:

$$S_{w前} = 49.658 \cdot \ln S_{w后} - 136.89, \\ R^2 = 0.8129 \quad (9)$$

由于测试系统误差造成的含水饱和度损失量为 2.5%,孔隙压实造成的含水饱和度损失量为 3.5%。

综合考虑这 3 个影响因素对实测油水饱和度进行校正,校正结果见表 1。

利用数理统计和物理模拟实验两种方法对 T10193 井的岩心样品进行饱和度校正,从表 1 中可以看出,由于岩心降压脱气过程中轻质组分挥发等因素的影响,校正前油水饱和度之和不等于 100%,油水损失量在 13%左右。数理统计的方法对含水饱和度的平均校正量为 2.78%,物理模拟实验方法的平均校正量为 6.86%,为了对比分析两种方法对油水饱和度校正结果的准确性,把校正后的含油饱和度数据与测井曲线中的原状地层电阻率进行对比,用电性和含油性的相关关系验证哪种方法的准确性更高。

图 5 是 T10193 井饱和度校正结果与测井曲线的对比图,根据 Archie 公式可以得出,当地层孔隙度基本相同时,储层的含油饱和度与原状地层电阻率呈现很好的对应关系,即电性可以有效地反映含油性。从两种方法饱和度校正结果与原状地层电阻率的对比中可以看出,数理统计方法的校正结果与测井曲线的吻合程度更高,相关性更好,相关系数为 0.926 5;物理模拟实验方法的校正结果与测井曲线

表1 T10193井油水饱和度校正数据

Table 1 Data of oil-water saturation correction in well T10193

岩心序号	校正前的油饱和度 S_o (%)	校正前的水饱和度 S_w (%)	校正前油水饱和度和(%)	数理统计方法		物理模拟实验方法	
				校正后的油饱和度 S_o (%)	校正后的水饱和度 S_w (%)	校正后的油饱和度 S_o (%)	校正后的水饱和度 S_w (%)
1	54.8	33.9	88.7	63.58	36.42	59.27	40.73
2	51.5	38.6	90.1	59.19	40.81	54.54	45.46
3	47.5	34	81.5	61.87	38.13	59.17	40.83
4	30.2	65.6	95.8	33.46	66.54	27.38	72.62
5	51.6	36.9	88.5	60.54	39.46	56.25	43.75
6	49.8	39.1	88.9	58.42	41.58	54.04	45.96
7	44.5	42.9	87.4	54.29	45.71	50.22	49.78
8	58.5	27.2	85.7	69.61	30.39	66.01	33.99
9	44.7	42.4	87.1	54.72	45.28	50.72	49.28
10	43.2	45.8	89.0	51.75	48.25	47.30	52.70
11	50.7	38.5	89.2	59.09	40.91	54.64	45.36
12	54.6	25.5	80.1	70.06	29.94	67.72	32.28
13	34.7	49.4	84.1	47.05	52.95	43.68	56.32
14	51.9	35.4	87.3	61.77	38.23	57.76	42.24
15	50.4	39.5	89.9	58.25	41.75	53.64	46.36

的吻合程度没有数理统计方法好,相关系数为0.8865,相关性比数理统计的低。综上分析,数理统计方法的准确性高于物理模拟实验方法。

4 结论

(1)温度、压力的变化可以导致岩心孔隙中轻质组分的脱气和挥发,造成实验室测量的油水饱和度数值与原始地层条件下的真实值之间存在较大的偏差,一般在5%~35%,测量数据需要校正后才能用于饱和度公式的确定以及剩余油的评价。

(2)数理统计的方法侧重于利用数据本身的变化特征来反映油水饱和度的损失量,校正方法有着严格的理论推理和数理基础;而物理模拟实验的方法侧重于利用实验设备来模拟真实地层条件下岩心降压脱气过程以及含水饱和度的变化,进而揭示饱和度校正的实验机理。

(3)本次研究建立的饱和度校正方法是对密闭取心井岩心发生脱气、挥发等饱和度损失的一个总校正,方法具有快速、准确和易操作的特点,在实际资料的处理中,可以消除数据之间的系统误差,尽可能地还原地下真实的含油情况,为油藏后续的研究提供准确的基础数据。

References

Guo, Q., Pu, R. H., 2011. Neopaleozoic Tectonic Evolution and Hydrocarbon Analysis in Bamai-Tazhong Area, Ta-

rim Basin. *Oil Geophysical Prospecting*, 46(2): 317—325(in Chinese with English abstract).

Han, H., 2010. Study on Saturation Correction for Sealed Coring Well in the IV 5-11 Series of Strata in the Shuanghe Oilfield. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 17(5): 87—89(in Chinese with English abstract).

Jiang, X., Xu, C. G., Zou, H. Y., et al., 2011. Similarity and Difference of Hydrocarbon Accumulation History in Liaoxi Low Uplift and Liaozhong Sag. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 36(3): 555—564(in Chinese with English abstract).

Li, S. M., Song, X. M., Jiang, Y. W., et al., 2011. Architecture and Remaining Oil Distribution of the Sandy Braided River Reservoir in the Gaoshangpu Oilfield. *Petroleum Exploration and Development*, 38(4): 474—482(in Chinese with English abstract).

Liu, B., Huang, Z. L., Wang, M. M., et al., 2011. Restoration of Hydrocarbon Accumulation History in Shengbei Structure Belt, Tuha Basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(4): 1006—1012(in Chinese with English abstract).

Liu, L., 2009. Oil and Water Saturation Correction for Sealed Coring Wells Based on Physical Simulation Experiments. *Oil Drilling & Production Technology*, 31(2): 82—85(in Chinese with English abstract).

Lu, D. W., Wang, C. L., 2003. Logging New Technology of Remaining Oil Saturation Evaluation. Petroleum Industry Press, Beijing(in Chinese).

Tan, F. Q., Li, H. Q., Meng, Z. X., et al., 2010. Studies on Application of Data Mining Method in Oil Exploration

- and Development. *Oil Geophysical Prospecting*, 45(1): 85—91(in Chinese with English abstract).
- Tan, F. Q., Li, H. Q., Xu, C. F., et al., 2010. Quantitative Evaluation Methods for Water-Flooded Layers of Conglomerate Reservoir Based on Well Logging Data. *Petroleum Science*, 7(4): 485—493. doi: 10.1007/s12182-010-0092-y
- Tian, Z. Y., Mu, L. X., Sun, D. M., et al., 2002. Logging Attributes and Mechanism Study of Grit Water-flooding Reservoir. *Acta Petrolei Sinica*, 23(6): 50—55(in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. J., Huang, H., Liu, Z. Y., et al., 2000. Mathematically Statistical Calibration for Saturation Analysis by Coring and Its Application. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 22(4): 42—44(in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. Z., Xu, Y., Wang, Y. Q., 1998. A Method for Correcting the Oil Saturation of Very Low Permeability Oil Reservoirs. *Petroleum Exploration and Development*, 25(2): 71—73(in Chinese with English abstract).
- Xing, Y. J., Wang, Y. J., Bai, Y. J., et al., 2008. Sedimentary Characteristics of Water Flooded Layers and Remaining Oil Distribution in Fuyu Oil Field. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 38 (Suppl.): 128—132(in Chinese with English abstract).
- Yang, S. L., Hu, X. J., Li, H., 2004. Influencing Factors and Correction Method for Error of Fluid Saturation Calculation during Sealed Coring. *Journal of the University of Petroleum, China*, 28(6): 64—67(in Chinese with English abstract).
- Yu, B. L., Liu, W. H., Liu, X. L., et al., 2008. Controlling Factor and Concentration Rule of Neogene Reservoir Genesis in Chepaizi Area of Jungar Basin. *Oil Geophysical Prospecting*, 43(Suppl.): 45—53(in Chinese with English abstract).
- Zhang, L., 2009. Physical Simulation Experiment on the Saturation Correction for Sealed Coring Wells. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 16(2): 94—95(in Chinese with English abstract).
- Zhang, L., Lu, S. F., Zhang, X. J., et al., 2010. Controlling Factors and Accumulation Model of Hydrocarbon Accumulation of the Fuyang Oil Units in Sanzhao Region of the Songliao Basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 40(3): 490—500(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 郭倩, 蒲仁海. 2011. 塔里木盆地巴麦—塔中地区晚古生代古构造演化及油气成藏分析. *石油地球物理勘探*, 46(2): 317—325.
- 韩怀. 2010. 双河油田Ⅳ5-11层系密闭取心井饱和度校正方法研究. *特种油气藏*, 17(5): 87—89.
- 姜雪, 徐长贵, 邹华耀, 等. 2011. 辽西低凸起与辽中凹陷油气成藏期次的异同. *地球科学——中国地质大学学报*, 36(3): 555—564.
- 李顺明, 宋新民, 蒋有伟, 等. 2011. 高尚堡油田砂质辫状河储集层构型与剩余油分布. *石油勘探与开发*, 38(4): 474—482.
- 柳波, 黄志龙, 王玫玫, 等. 2011. 吐哈盆地胜北构造带油气成藏过程. *吉林大学学报(地球科学版)*, 41(4): 1006—1012.
- 刘丽. 2009. 基于物理模拟实验的密闭取心井油水饱和度校正. *石油钻采工艺*, 31(2): 82—85.
- 陆大卫, 王春利. 2003. 剩余油饱和度测井评价新技术. 北京: 石油工业出版社.
- 谭锋奇, 李洪奇, 孟照旭, 等. 2010. 数据挖掘方法在石油勘探开发中的应用研究. *石油地球物理勘探*, 45(1): 85—91.
- 田中元, 穆龙新, 孙德明, 等. 2002. 砂砾岩水淹层测井特点及机理研究. *石油学报*, 23(6): 50—55.
- 王艺景, 黄华, 刘志远, 等. 2000. 取心分析饱和度数理统计校正方法及其应用. *江汉石油学院学报*, 22(4): 42—44.
- 王永卓, 徐媛, 王元庆. 1998. 特低渗透油层含油饱和度的一种校正方法. *石油勘探与开发*, 25(2): 71—73.
- 邢艳娟, 王燕津, 白永江, 等. 2008. 扶余油田水淹层沉积特征与剩余油分布. *吉林大学学报(地球科学版)*, 38(增刊): 128—132.
- 杨胜来, 胡学军, 李辉. 2004. 密闭取心流体饱和度误差的影响因素及修正方法. *石油大学学报(自然科学版)*, 28(6): 64—67.
- 于宝利, 刘万辉, 刘新利, 等. 2008. 准噶尔盆地车排子地区新近系油气成藏控制因素及富集规律. *石油地球物理勘探*, 43(增刊): 45—53.
- 张亮. 2009. 密闭取心井岩心饱和度校正物理模拟实验. *油气地质与采收率*, 16(2): 94—95.
- 张雷, 卢双舫, 张学娟, 等. 2010. 松辽盆地二肇地区扶杨油层油气成藏过程主控因素及成藏模式. *吉林大学学报(地球科学版)*, 40(3): 490—500.