

Application Analysis of Resistivity Logging in Water Saturation Measurement

Kai Li Yunfei Zhao

Jilin Branch, China National Petroleum Logging Co., Ltd., Songyuan, Jilin, 138000, China

Abstract

In order to measure the distribution of water saturation in the demonstrated pores under laboratory conditions, it is necessary to adopt corresponding testing methods to test it. Because the measurement method and accuracy under laboratory conditions have been restricted, CT/ NMR images and other methods are expensive and should not be operated repeatedly, after comparing the point resistance logging principle, combined with the experimental results, we find that in a certain range of concentration, the resistance of solution is linear with ion concentration. In order to improve the accuracy of measurement under reservoir conditions, it is necessary to check and correct the relationship between solution concentration and resistance, and the relationship between CT image saturation value and resistance value before experiment. After the displacement experiment of copper drum plate model, it is proved that this method can clearly reflect the change of plane water content in different stages, compared with other methods, this method has the advantages of convenient operation, safety and so on, which is the most suitable way to operate under laboratory conditions.

Keywords

resistivity logging; rock resistivity; resistance; water saturation

电阻率测井在含水饱和度测量中的应用分析

李楷 赵云飞

中国石油集团测井有限公司吉林分公司, 中国·吉林 松原 138000

摘要

为了完成实验室条件下测量演示孔隙内的含水饱和度分布, 需要采取相应的测试手法来对其进行测试。因为实验室条件下的测量方法和测量精度受到了一定的制约, CT/核磁图像等方式费用高且不宜多次反复操作, 在比较了点阻力测井原理后, 结合实验测试的结果我们发现, 在一定的浓度范围内, 溶液电阻和离子浓度是呈现线性关系的。在油藏条件下为提高测量的精准度, 实验前需要对溶液浓度和电阻关系、CT图像饱和度值与电阻关系值的关系进行核对和校正。在铜鼓平板模型驱替实验后证明了该方法能清晰的反应平面含水量在不同阶段的变化情况, 以其他的方式相比较, 此方式有方便易操作、安全等优点, 是最适合在实验室条件下操作的方式。

关键词

电阻率测井; 岩石电阻率; 电阻值; 含水饱和度

1 引言

平板模型实验是为了获得模拟油仓储条件下的渗透规律, 饱和度分布规律对于研究剩余油分布和计算模拟可开发设计有着重要作用。测量饱和度的方法通常有电阻率、微波、声波、CT图像和核磁成像等, 其中CT图像和核磁成像能直观地获得饱和度分布信息。但这两种方式对实验模型的尺寸有着严格的要求。声波和微波方式同样对实验非常严格的规定和要求, 并且测量的精准度也较低。相比之下, 电阻率是测量方法中最为简单的, 也是相对更为成熟的测井技术, 它能分辨出测试层含水、油变化。但测试的精准度还有待提高,

对于小于20m的成为无法进行识别^[1], 这也是电阻率测试方法没有得到重视的因素之一。经过深入研究发现, 在准备工作就绪后, 电阻率法能显示出很强的测量分辨率, 并且能有效地识别小范围内的含水饱和度。

2 电阻率测井的原理

感应测井、电极系测井、微球形聚焦测井以及侧向测井方式是最为常见的电阻率测井方式。它们有着相近的测井原理: 通过A、B两级电攻击强度为I的电流, 在井壁附近建立电厂, 测量M、N两点间(位于A、B两电极之间)的电压差 ΔU_{MN} 。 ΔU_{MN} 的变化也是反映岩井孔剖面岩层的视电

阻率的变化。最后可用公式求岩层的视电阻率：

$$Ra = K \frac{\Delta U_{MN}}{I}$$

公式中，Ra 为视电阻率，K 为电极系数，电极系数与电极系的类型和尺寸相关。

由物理知识中可得电阻值公式 $R = \rho L/S$ 和 $R = \Delta U/I$ ，在公式中，R 为电阻值，PL 是导体长度，S 是导体横截面积，P 是电阻率， $\Omega \cdot m$ 。

我们可以通过电阻值和电阻率之间的线性关系看出，在相同测量条件下，变换系数是恒久稳定不变的。根据原理可得，电阻率测井方式也是在测量得到电阻值通过系数转换以后形成电阻率数据的。实验模型的测量条件对测量点分布的平面和边界形状都有所不同，多次测量后，我们能得到边界形状对测量结果的影响微小，且可以忽略不计。同时，我们也能得出电阻值和电阻率的测量方式袁莉以及制定电阻率法在测井资料里的分析过程的优势^[2]。

3 岩石电阻率数值和影响因素

因为受到岩环境的影响，岩石在典型上有相当大的差异。不同类型岩石的电阻率值的范围，电阻率也是与标准正态分布相近的。

我们能了解到岩石电阻率的变化范围很大。岩石电阻率是由岩石的孔隙结构和密度及岩石孔隙内的流体类型影响的，同一类型的岩石会因孔隙结构和压实程度的不同而受到不同程度的影响，会有电阻率的差异。孔隙内水的矿化程度越高，电阻率则相对越低，含油岩石的电阻率比含水岩石的电阻率高出很多^[3]。

4 电阻率测井在含水饱和度测量中的实际应用

电阻率测井研究表明，含水饱和度值和电阻值是函数关系，为了让电阻值更精确的转换为含水饱和度值，实验中中对岩石样品、测量探针等实验物品进行标定。对于同一区均质岩石，取样品标定后的结果可以作为试验的对比基础。在实验室条件下的测量精准度要高于实际的测井过程。研究时选用量程在 0.01~990.00K Ω 误差为 2% 的电桥测量。驱替模型选用 30cm×30cm×4cm 的露头砂岩，模型面积选用较大体积，可以有效地将室内渗流状态进行充分反映，这更有利于模拟油藏渗流的特征表现。但也有可能导致模型内线

路分布复杂，在现有技术的基础上只适合电阻率测量。

4.1 不同离子浓度水溶液的标定

确定容器内不同离子浓度水溶液和电阻值的关系，是在空隙中电阻值矫正方式的基础。同一离子浓度下，两个探针间距在 0.1~20cm 之间时候，电阻值差异小于 1 Ω 。不同离子浓度的电阻值表明，电阻值与离子浓度呈线性关系。

4.2 合理的探针间距

驱替实验需要在标定浓度范围内选择实验溶液，因受到岩石类型和孔隙结构的影响，深度相同、探针间距条件下的测量电阻值与容器内的标定值有着明显的差异性。我们将实验研究地层水离子浓度为 $C_{NaCl} = 10\ 000\text{mg/L}$ 条件下，探针间距与测量电阻值之间的关系影响。在岩芯完全饱和水和探针深度都一致的情况下，要进行不同距离间岩石电阻值的测量。测量结果中，现实了灯具龙潭镇测量的电阻值因受到外界条件的影响较弱，数值差异变化非常小。且我们可以在实验中根据电阻值与探针间距关系看出，电阻值和探针间距加大、岩石组成以及均指成都和便捷等影响因素有所增加，为了将测量灵敏度提高，实验时，探针间距必须要小于 2m。

4.3 岩石样本不同含水电阻值标定

岩石样本饱和油后水驱，要进行不同含水条件下电阻值的测量，并要和含水饱和度进行比较，为平板模型提供准确数据和数据转换做基础。饱和度的标准的非常难以界定的一个环节标准，需要利用阿尔奇饱和度和岩性关系的理论方法来进行标定，这是最为普遍的方式，确定阿尔奇公式中饱和指数 n 和延性系数 b，我们可以得到含水饱和度的计算公式，即 $I = R_1/R_0 = b/S_w^n$ 。在公式中， R_1 、 R_0 代表岩石含有、岩石完全含水的电阻率 $\Omega \cdot m$ ； S_w 是含水饱和度，%，b 是岩性系数 ln 是饱和指数。确定岩性系数和饱和指数的方式，可以用岩芯驱替试验方法和经验系数两种方法来进行确定，纯砂石可采用岩性为 1，饱和指数为 2 的砂石。还可以用 CT 图像来进行标定，它是新鲜劲的岩石流体分析方式，在与电阻率法结合后能有效的提高实验效率和测量的精准程度。

我们可以将标定岩石的过程确定如下：在已饱和油岩芯中进行水驱水淹，恒定 0.3Ml/min 为驱替速度。在水驱 0.5PV 内，每间隔 2min 扫描岩芯，并以 1.2mm 的切片进行扫描。扫描结果经过深度的软件计算含油饱和度，能形成岩芯油水的分布成像。也因为金属探针对 CT 扫描能产生一定的干扰，

图像中会出现拖尾的现象,所以要用此方式标定需要用邻近探针的切片作为标定的模板。在实验中实验图像可呈现岛状的油水分布图,这样的结果是因为孔隙形状而形成的。在扫描软件对岩芯剖面扫描后,利用统计的方法可以计算出整个平面内的水饱和度的平均值,同样探针也能测量出该平面的电阻值。

4.4 平板岩石模型内饱和度的变化

实验中可进行平板模型渗流特征实验,在水驱后化学驱为样例,介绍了含水饱和度长图的变化情况,在采用井网注采模拟实验,将饱和水和饱和油进行真空,让水驱达到含水80%,并继续用化学剂驱体至含水98%,直到实验结束。在此实验中可以得出数据,实验中成高含水条带,剩油集中分布在角落,平均含水饱和度有明显提高。在实验结果对比可以证明电阻值测量方法的有效可行性。

5 结语

受到岩石孔隙结构、密度以及岩石孔隙内流体类型等因素的影响,岩石电阻率的变化会随着这些因素的影响而发生一定的变化。在相同地层水浓度和固定探针间距的有效条件

下,相同地层水浓度和固定探针间距条件下的孔隙内含水饱和度和岩石电阻值之间也是成线性关系的。在确定了电阻值和含水饱和度的转换方式和步骤后,要给不同离子浓度水溶液的电阻值进行标定。不同探针间距的电阻值进行标定、不同含水饱和度的岩石样本电阻值也需要利用阿尔奇方法和CT图像法进行标定。在通过平板砂岩模型的驱替实验中,通过检验我们能清晰的得出电阻值方法在含水饱和度变化的实验中的反映。这个方法相对于其他的测量方法具有更简单可行和安全的特点,并且在一定条件下,测量的精准度更准确。因此,综上所述,电阻率测井法是非常适合实验室条件下的含水饱和度的测量的。

参考文献

- [1] 赵平,陈国华,夏力.2005-2006年国内外测井技术现状及发展趋势[J].石油石化节能,2007(09):29-35.
- [2] 周守信,李士伦,孙雷,等.特低渗储层参数的测井解释方法研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2003(02):1-3.
- [3] 李林祥,傅强,窦之林,等.孤东油田低阻油层的特征[J].成都理工大学学报(自然科学版),2001(04):143-144.