

水淹层测井发展现状与未来

慈建发¹ 何世明¹ 李振英² 王铭³ 崔继明⁴ 蒋永祥⁵

(1.西南石油学院 2.中国石化西南石油局油气测试中心 3.中国石化河南油田分公司勘探开发研究院

4.中国石化中原石油勘探局钻井二公司 5.中国石油玉门油田分公司)

慈建发等.水淹层测井发展现状与未来.天然气工业,2005;25(7):44~46

摘要 水淹层测井研究对于增加油田挖潜产量、采用合理的开采方案、提高采收率都是十分必要的。文章在广泛收集国内外水淹层测井系列的数据及对水淹层测井解释技术的基础上,从国内外水淹层测井研究现状、室内岩心水驱油实验、水淹层测井工具系列到水淹层测井解释方法和水淹层测井新技术,着重阐述了水淹层测井发展的历程,并对当前水淹层测井发展中的不足和水淹层测井未来的发展方向提出了一些的建议。通过本研究,可以更加清楚地了解水淹层解释发展的方向、水淹层解释方法及水淹层测井工具系列,更好地实现对水淹层剩余油分布的精确描述,从而提高了解释精度,提高了油气产量,对水淹层的开发具有指导作用。

主题词 地层 水淹 测井 测井解释 测井系列 发展趋势

一、引言

上世纪50年代,我国的测井工作人员针对水淹层的测井技术做出了一系列的研究探索。从岩石物理基础实验、水淹层测井方法研究到水淹层解释模型研究;从利用测井曲线定性判断水淹层,到定量求取剩余油饱和度、含水率,判断水淹级别;从单井水淹层解释到多井剩余油分布;从二维到三维,甚至是加上时间维的四维解释。上世纪60年代,在大庆油田中区钻检查井时,就开始对水淹层测井进行系统研究。1972年,大庆油田研究院地球物理研究所成立了中国第一个水淹层测井技术研究小组,北京石油勘探开发科学研究院和各大油田的研究院、石油大学、江汉石油学院、大庆石油学院等,都有从事水淹层测井技术研究和解释工作的专职人员。

二、国内外的水淹层测井研究

在国外,为了探明油层的剩余油饱和度,广泛采用给地层注入同位素活化液或盐水,随时间推移进行两次或多次测井的“测—注—测”技术,从而由多次测得的结果求出剩余油饱和度。同时可用此技术监视油层的枯竭状态及驱油效率。前苏联在水淹物理模拟实验中,同样得出了油层注入淡水后电阻率增大的结论。近几年,美国应用声波全波测井资料

来估算储层渗透率已有突破;储层的声波性质与孔隙充填物类型有关,通过它可划分水淹层和油水层界面。

20多年来,我国测井工作者围绕水驱岩石物理基础实验、水淹层测井方法以及水淹层测井解释等方面做了大量的研究工作。在水淹层测井解释方面,各油田先后经历了从定性解释,半定性解释到定量解释的发展过程,已形成了一套基于常规测井资料定性判别水淹层、定量求剩余油饱和度与含水率、综合判别水淹级别的解释方法。进入上世纪90年代,中国水驱油田测井解释主要集中体现在用三饱和度(原始含油饱和度、剩余油饱和、残余油饱和度)确定水淹层含水率及水驱采收率两方面。根据三饱和度测井资料,不仅能够确定产层含水率、划分水淹级别,而且还可以确定产层水驱采收率(又称采出程度),评估水驱油田开发效益,为油田增产挖潜提供科学依据。近几年,通过测井系列的改善和新解释方法的研究,初步解决了厚层内划分水淹部位和判断薄层(0.5 m)水淹的难题,建立了注水过程中淡化系数方程^[1],以及回注油井产出水或注入水电阻率与原始地层水相比变化不大的情况下的水淹层解释模型。北京石油勘探开发科学研究院与大庆油田还研制出了适用于高含水期测井解释的工作站软件平台START。该平台在建立cif(公共交换格式)标准

作者简介:慈建发,1977年生,在读硕士研究生;现从事钻井与石油工程测井研究。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油学院研究生院硕2002级2班。电话:(028)83030573,13981739044。E-mail:qiongxin@163.com

结构的基础上。实现了自动校深、划分薄层有效厚度、计算水淹层参数和判别水淹全过程,从而使水淹层测井解释计算机系统化和规范化。

三、岩心水驱油实验

在岩心水驱油实验方面,为了能准确的建立 Archie 饱和度指数(n)与润湿性(岩石表面被油或水润湿的相对程度)之间的关系,Donaldson 等人提出了一种用毛细管压力滞后回路面积的变化来确定润湿性的方法^[4]。另外,Desbrandes 和 Gauldro 也提出用电缆地层压力测试器现场测定润湿性的方法。Lorenz 等人用饱和有盐水和油的露头岩心的实验,得出当温度升高时,润湿性向亲水方向变化的结论。对于 Archie 公式中的 a 、 m ,达哈诺夫则指出,不同的岩性要用不同的 a 和 m 值^[2]。王曰才老师也指出 a 和 m 都与渗透率有关,并且二者之间相互制约^[3]。H.C. 沃尔瑟系统地研究了 n 指数的变化,指出虽然该值变化范围不大,但也是一个变量^[4]。1982 年,河南油田的林纯增等在各大油田各自实验中得出了 R_t-S_w 关系图^[4](图 1),此关系曲线为水淹层的解释提供了实验数据。

通过大量的实验室模拟分析^[5],我们对水驱油过程中岩石物理特征变化有了一个比较深入的认识:注入水电阻率不同,岩石电阻率(R_t)随含水饱和度(S_w)的变化趋势不同;温度压力不同,Archie 公式的系数 a 、 m 值不同;饱和度历史不同,饱和度指数(n)不同;温度、压力不同,饱和度指数(n)不同;岩石润湿性不同,饱和度指数(n)不同。

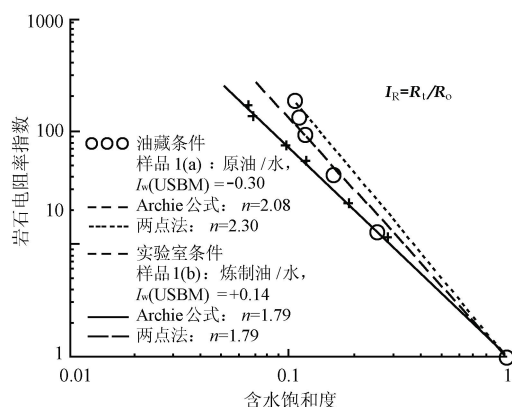


图 1 实验室与油藏条件 I_R-S_w 对比图

四、水淹层测井系列

在测井系列方面,国内主要以常规测井系列为主,中国水驱油田裸眼井测井作业每年多达 4000 余

井次,形成了颇具特色的水驱油田测井系列。在大庆油田,其主力油层的水淹层测井系列包括:0.25 m 梯度、0.45 m 梯度、2.5 m 梯度电极系、自然电位、高分辨率侧向、高分辨率声波、微球形聚焦、补偿密度、自然伽马、井径、井斜测井等。在新疆油田,水淹层测井系列主要包括:深浅侧向或双侧向、微侧向、声波、密度、中子、自然伽马、自然电位、流体电阻率、微电极、井径、井斜测井等。同时,还可以根据开发、调整方案要求,增加介电、电磁波、激发极化电位、中子伽马、C/O 能谱、中子寿命、井温测井和电缆式地层测试器,以及核磁测井等测井新方法作为选测项目。在水淹层测井系列里,电法测井占有相当重要的位置,而且求取含油饱和度几乎都是用电阻率曲线。尽管核磁共振测井、C/O 测井也可以用于水淹层评价,但是由于核磁共振测井探测深度浅、服务费用高等特点,仍然无法作为常规测井项目,广泛应用于实际生产;而 C/O 测井一般要求孔隙度大于 15%,它的应用同样受到了限制。由于中国绝大多数水驱油田地层水矿化度都很低,碳氧比测井适合在套管井中探测低矿化度水淹层剩余油饱和度。只要水淹层满足孔隙度大于 15% 的条件,同样可以用碳氧比测井探测水淹层剩余油饱和度变化并且获得令人满意的地质效果。

五、水淹层测井新技术

近年来,中国的 C/O 能谱测井技术发展很快,年测井达 400~500 口。大庆、胜利、吉林等油田在 C/O 能谱测井资料解释中通过对孔隙度、套管、水泥环、地层水矿化度、泥质含量等影响因素的校正,提高了计算剩余油饱和度的精度。胜利、河南油田使用中子寿命测井进行了四口井“测—注—测”试验,可求得高精度的剩余油饱和度。江汉油田利用中子寿命“测—吐(产出油、气、水)—测”和“测—堵(化学堵水)—测”资料,可求得膏盐油层的剩余油饱和度。胜利油田应用引进的储层饱和度测井仪(一种新型碳氧比测井仪器)与深探测电阻率测井仪组合,提高了探测高含水期水淹层剩余油饱和度的精度。近年来,人们还研究用长源距声波测井探测水淹层剩余油饱和度,取得了一些新进展^[3],开辟了应用声波测井探测水淹层剩余油饱和度的新领域。赵培华^[2]等人开创了用生产测井确定水驱油田剩余油饱和度分布的研究,为油田注水方案调整及提高采收率方案制定提供了科学依据。各大油田还开展了利用油水井注、采剖面测井资料求油层剩余油饱和度的研究。

该方法可以利用多井点的生产测井资料,结合不同区块、不同油层的油、水相对渗透率曲线,考虑各种影响因素建立产水率与含水饱和度关系来计算剩余油饱和度平面分布^[6]。此外,中原、大庆、华北、辽河等油田用电缆式地层测试器资料,研究水驱情况下的油藏动态,也见到了好的效果。

六、存在的不足与改进方法

现今以常规测井资料为主的水淹层测井方法,仍然存在不足,主要表现在以下方面。

(1)水淹机理的基础理论实验研究还比较薄弱,有些解释模型和方法还不适应油田特点和水淹层评价的要求。

(2)解释过程中,过多地依赖经验公式,而忽略了注水开发过程中油层岩性、物性以及电性变化造成的对原有模型的影响。

(3)大部分油田不能进行薄层、超薄层和细分水淹级别的解释。

(4)在套管内大范围地用于剩余油饱和度测井的方法还比较少。

(5)在深度和广度上进一步深化和拓宽测井解释与分析的研究内容,主要包括加强测井在油气田地质、工程、开发等方面的应用。

(6)从单井向多井综合解释和油层描述发展,向工作站图像解释和集成化测井解释发展,以测井为

纽带,与地质、地震资料有机结合起来,将测井资料解释的综合应用推向一个新的水平。

总之,国内外水淹层测井解释研究目前仍处于探索阶段,因此很有必要在尊重实验结果的基础上,开展水淹层测井解释模型的进一步研究,从而拓宽常规测井在油层水淹监视中的应用。

参 考 文 献

- 1 郭于津,田学信等.高含水期中厚层内水淹细分层测井解释.见:水驱油田开发测井'96国际学术讨论会论文集.北京:石油工业出版社,1996:143~155
- 2 赵培华等.利用生产测井资料确定水驱油藏产层剩余油饱和度方法.见:水驱油田开发测井'96国际学术讨论会论文集.北京:石油工业出版社,1996
- 3 王乃星,肖毓祥,王雷.长源距声波测井在水驱油田开发中的应用.见:水驱油田开发测井'96国际学术讨论会论文集.北京:石油工业出版社,1996:227~234
- 4 毛志强,章成广,林纯增.油层润湿性对测井计算的含水饱和度的影响.测井技术,1997;(1)
- 5 许文平,杨丽香等.柴达木盆地南翼山 E_{3~2}凝析气藏水淹原因分析.天然气工业,2004;(3)
- 6 李厚裕,谢豪元.利用测井资料评价淡水水淹层.油气采收率技术,1994;(1)

(收稿日期 2005-05-09 编辑 韩晓渝)