

过套管电阻率测井在中低渗透储层评价中的应用

张凤歧

(大庆油田测试技术服务分公司, 大庆 163453)

摘要 过套管电阻率测井是电法测井中一个新的领域, 通过测量金属套管壁外岩石的单位电阻率(ρ)可以评价储集层的含水饱和度, 进而寻找未动用油气。跟踪油藏流体饱和度的变化以及油藏流体界面的运移情况, 对解决老井和部分套管井的重新评价, 以及开发过程中的油藏监测具有非常重要的意义和广阔的应用前景。在阐述过套管电阻率测井仪器结构及工作原理的基础上, 通过对实际测井资料进行综合分析, 总结了过套管电阻率测井资料的优势所在, 并针对中低渗透储层评价的技术需求进行了积极地探索。

关键词 过套管电阻率测井 含水饱和度 中低渗透储层

中图法分类号 P631.81; **文献标志码** A

剩余油饱和度评价和储层剩余油分布研究是油田开发中后期套管井测井的核心任务, 其目的旨在提高油田的产能, 延长油田寿命以及增加可采储量, 监测流体饱和度的变化^[1,2]。在20世纪20年代到50年代间, 世界上许多剩余油气储量都是在老油田中发现的。一般通过裸眼井电测方法检测到油气层的存在, 由于当时受仪器性能限制, 一些低产或低饱和度的油层常常会漏掉^[3,4]。近十年来, 过套管电阻率测井技术发展日益成熟, 在现场投入商业化应用, 尤其在评价油藏流体饱和度、识别油水层以及水淹层评价等方面成为应用最有效的测井方法。

过套管电阻率测井仪是大庆油田测试技术服务分公司从俄罗斯最新引进的, 它是在金属套管井中测量地层的电阻率, 从而实现对油层剩余油饱和度进行评价, 指导油田进一步调整和开发。该技术可以发现过去由于测井技术条件的限制而没有发现的油层, 也可以评价油层水淹状况, 监测储层流体饱和度的变化, 为油田开发调整方案的编制、充

分挖潜剩余油以及提高油田最终采收率提供依据^[5,6]。

1 仪器的结构和工作原理

1.1 仪器的结构

过套管电阻率测井仪主要由下井仪器和地面部分组成。

下井仪器主要由遥测系统(018)、液压传动装置、上下供电电极(A1、A2)、电位电极(U)、以及三电极软测量电极系(M1-N-M2)、电子测量单元(037)组成(见图1)。

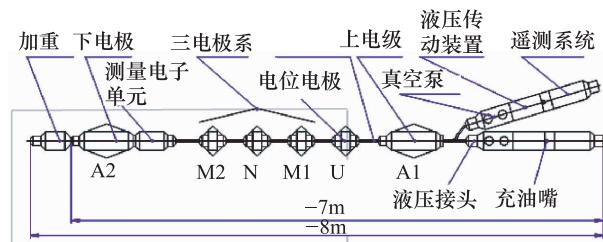


图1 过套管电阻率仪器结构图

地面部分主要由供电和控制器、电流变换器、电源和计算机四部分组成。

2011年6月7日收到, 6月15日修改

第一作者简介: 张凤歧, 北京地质大学石油与天然气工程硕士。大庆测试技术服务分公司测井工程师。

1.2 测量原理

目前大庆测试分公司应用的是从俄罗斯引进的过套管电阻率测井技术,仪器共有两个发射电极,四个测量电极。其测量原理与裸眼井的侧向测井比较类似,显著区别是套管本身即为一个巨大的导电电极,其电阻率为 $2 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$,它把电流传导到地层中。在套管井中,大部分高频交流电流在套管中流动,只有一小部分低频交流电流泄漏到地层中,测量套管外地层的关键是如何测量这部分的微小电流。具有高传导性的金属套管是能进行高效散射测井的必须要求,井内电流密度向量基本是轴向的也就是与井轴线平行的方向,而在井外基本接近径向^[7]。这种情况下向套管井传输电流的分布可以看作是线性电极,在钢套管内壁通以极低频率的电流,将钢套管视为传输线,绝大部分电流沿套管流到地面回路电极。由于钢套管周围地层介质可视为导电介质,所以将有部分电流渗漏到地层,再流回地面回路电极。套管井电阻率测井是测量穿过套管的漏电流大小 ΔI ,根据已知的电压 V 和电极长度便可求得地层电阻率。 $\rho = k \Delta z V / \Delta I$ 。 K 为由测井仪器的几何形状决定的系数。

实际的仪器采用图2来实现。图中A为供电电极,F为供测量刻度套管电阻率的回路电极,J为电压测量电极,C、D、E为测量渗漏电流的测量电极。

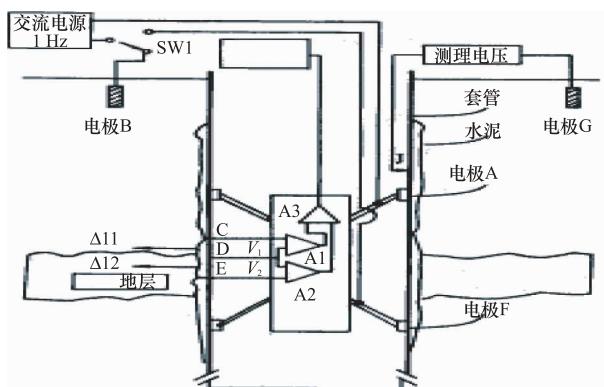


图2 套管井电阻率测井原理图

1.3 测量方法

过套管电阻率测量采用点测方法,原因有两个方面:一方面,测量需要两个过程完成——测量和

刻度,应避免仪器的移动;另一方面,移动电极所造成的噪声比有用信号大100多倍。几安培的套管供电电流相对测量电极上、下对称轮流供电,经过供电电极A1和A2加到金属套管柱上。返回电流电极B位于地面,通常利用邻井套管柱的井口。测量值有U点相对位于井口的远点N的电位,电位的第一差分 $\Delta U = \Delta U_{M1N} + \Delta U_{NM2}$ (M1、M2的距离为1m)和M1和M2两点之间电位的第二差分 $\Delta_2 U = \Delta U_{M1N} - \Delta U_{NM2}$ (电极N位于M1和M2两个极的中间)。下井仪停止在给定的深度条件下进行测量,并且在每个点测量两次:经过电流电极A1和电流电极A2给套管供电流时各测一次。在记录两种电流产生信号整个时间内,保证测量电极同套管接触可靠(不大于0.1Ω)。

2 过套管电阻率测井资料的优点

与普通电阻率测井相比,过套管电阻率测井资料的主要优点有:

2.1 对裸眼井测井资料的补充

在意外情况下,或裸眼井井况较差、井下仪器不稳定及在完井时未被作为主要储层,而缺失部分井段裸眼井电阻率资料,可通过CHFR测井进行适当的补充。

2.2 寻找“死”油气层

在许多已开发的油田中,“死”油气占了潜在可采储量的很大一部分,属于此类“死”油气层的不仅包括因疏忽而漏掉的油(气)层或错判的油(气)层,还包括有意留出的油(气)层和多年开采以后重新饱和的油(气)层,因此,套管井电阻率测井对剩余油评价有很大帮助。

2.3 油藏监测

CHFR测井属于时间推移测井。通过在不同时期进行CHFR测井,可以根据地层电阻率的变化情况,来跟踪储集层油、水饱和度的变化、监测正常生产和注水过程中储层油(气)水界面的改变以及油气是否窜槽等。

2.4 评价油层水淹程度

一方面,可以根据CHFR测井与裸眼井电阻率测

井幅值的变化,对水淹层进行定性或半定量评价。另一方面,可以利用衰竭指数评价油层水淹程度。

随着原油采出程度的提高,油藏含油饱和度将明显的降低,原始油层饱和度与剩余油饱和度的比值可以直观定性的反映油层水淹状况。定义衰竭指数 η :

$$\eta = \frac{S_{wi}}{S_{wCH}} \quad (1)$$

式(1)中, S_{wi} 为油层原始含水饱和度; S_{wCH} 为套管井测井时的储层含水饱和度。

对于靠天然能量开发的油藏来说,在测井条件基本一致的情况下,根据阿尔奇公式,可以将衰竭指数通过套管井电阻率与裸眼井电阻率比值的平方根表述出来,即:

$$\eta = \frac{S_w}{S_{wCH}} = \sqrt{\frac{R_{CHFR}}{R_{OH}}} \quad (2)$$

式(2)中, R_{OH} 为裸眼井地层电阻率; R_{CHFR} 为过套管测井地层电阻率。

可以看出,通过计算衰竭指数可以评价油层水淹程度。衰竭指数在 0—1 之间变化,其值越低,说明油层水淹程度越高,这一定性指标的优点是基本不受过套管电阻率测井仪 K 因子的影响,不需要知道地层水电阻率以及地层孔隙度等参数,但其应用前提是要求地层水矿化度保持不变,故应用于注水开发油层水淹层评价时需深入分析地层水电阻率的变化规律^[7,8]。

3 中低渗透储层评价应用分析

S 油田是大庆长垣外围最早开发的油田,主力油层为 P 油层组,属于中、低渗透油田。该油田于 1987 年投入注水开发,由于油层注、采关系不平衡造成层间、层内、平面上不同程度的水淹,综合含水高达 60% 以上,处于中含水期,还存在一定未投入开发的差油层。储层岩性以含泥细、粉砂岩为主,碎屑成分主要为石英、长石和岩屑,并且含有一定量的碳酸盐颗粒,平均有效孔隙度为 18.7%,平均空气渗透率为 40 mD,属典型中低渗透储层。

图 3 是 Sxx-37 井测井资料综合解释成果图。图 3 中, RLLD、RLLS 分别为深、浅侧向电阻率曲线, RTCH 为过套管电阻率曲线; SWI 为束缚水饱和度,

SW、SWCH 分别为由深侧向电阻率和过套管电阻率计算得到的含水饱和度。结合储层物性参数变化特征、裸眼井电阻率、过套管电阻率以及三饱和度计算值的分析,对本井的主要测量井段 PI 油层组进行了综合解释。表 1 是 Sxx-37 井的测井资料综合解释成果表。其中,孔隙度较低、泥质含量较高层解释为干层。

对于 PI6 层(1 473.0 m—1 474.0 m),过套管电阻率与深侧向电阻率测井值相近,含油饱和度较高(即含水饱和度较低),由于储层孔隙度较低,故综合解释为差油层。

对于 PI7 层(1 479.0 m—1 482.5 m),物性较好,过套管电阻率与深侧向电阻率测井值相近、形态类似,电阻率计算的含水饱和度与束缚水饱和度差异显示该层水淹层程度较高,结合油藏动态分析综合解释为中水淹。

表 1 Sxx-37 井测井资料综合解释成果表

小层号	孔隙度/%	泥质含量/%	束缚水饱和度/%	裸眼井电阻率	过套管电阻率	综合解释结论
PI1	14.52	25.76	50.48	72.39	72.39	干层
PI5	14.79	21.31	55.82	83.51	83.51	干层
PI6	16.66	8.91	37.74	37.74	37.74	差油层
PI7	20.25	8.92	32.43	64.76	75.41	中水淹
PI8	14.41	32.04	60.66	84.59	84.59	干层

4 结论与建议

(1) 通过对大庆油田长垣外围区块 S 系列井进行过套管电阻率测井测试后分析,该仪器可以准确测量金属套管壁外岩石的单位电阻率,并能确定储集层的含水饱和度,并能清楚解释该区块中低渗透储层的储层状况,为该区块后期开发、开采提供了可靠依据。

(2) 根据 Sxx-37 井测井资料的解释结论,过套管电阻率测井在储层剩余油饱和度评价方面具有独特的优势。不论是对于主力开发油层、水淹较严重的中低渗透储层,还是在老油井中寻找丢失的油层方面,过套管电阻率测井仪器作为一种很好的测试手段,能够为油田开发过程中油藏监测与挖潜调整提供重要的依据。

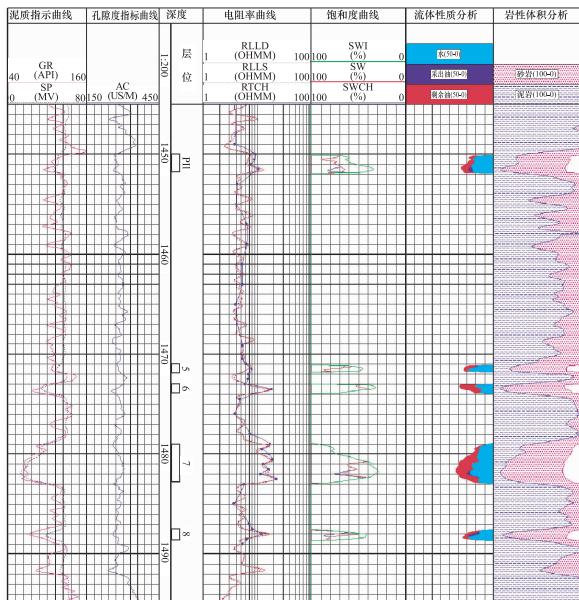


图 3 Sxx-37 井测井资料综合解释成果图

(3) 应用过套管电阻率测井开展剩余油饱和度评价需要与裸眼井测井资料紧密配合使用。其中解释模型的参数需根据开采状况和储层特点进行合理选择,尤其是地层水电阻率参数,在注水开发模式下,地层水电阻率应根据注入水性质进行适当调整,这是发挥过套管电阻率资料优势的关键。

(4) 建议在密闭取心井中开展剩余油饱和度评价方法对比研究,诸如将裸眼井电阻率测井、过套管电阻率测井、碳氧比测井解释等成果与取心分析结果结合,以促进套管井测井评价水平的不断提高。

参 考 文 献

- 1 孟凡顺,王再山,王渝明.过套管测地层电阻率的原理及应用.测井技术,2001;25(2):110—113
- 2 尹军强,冯启宁,朱龙德,等.通过金属套管测量地层电阻率的可行性研究.测井技术,1998;22(5):376—379
- 3 Vail W B, Dewan J T. Through casing resistivity measurements and their Interpretation for hydrocarbon saturations. SPE 30582
- 4 Klein J D, Martin P R, Miller A E. Cement resistivity and implications for measurement of formation resistivity through casing. SPE 26453
- 5 吴世旗,余钦范,郑希科,等.过套管地层电阻率测井在砂岩油田应用的试验研究.测井技术,2004;28(1):58—61
- 6 刘胜建.过套管电阻率测井在垦东六断块油藏动态监测中的应用.测井技术,2003;27(2):162—165
- 7 Vail W B, 等.过金属套管测量地层电阻率.吕艾英,译.测井科技,1994;(3):47—56
- 8 聂锐利,谢进庄,李洪娟,等.过套管电阻率技术在大庆油田剩余油饱和度评价中的应用.大庆石油学院学报,2004;28(5):16—18

Cased Hole Formation Resistivity (CHFR) Logging' Application in the Middle-low Permeability Reservoir Assessment

ZHANG Feng-qi

(Daqing Oilfield Logging & Testing Technology Service Company, Daqing 163453, P. R. China)

[Abstract] Cased Hole Formation Resistivity (CHFR) Logging is a new field of the electrical logging. The water saturation of reservoir can be evaluated by measuring unit resistivity of the rock in the outer metal casing and this method can be used to search for the unused hydrocarbon and track the changes of the fluid saturation and migration situation in the reservoir fluid interface and solve re-evaluation of old wells and some casing wells. It has very important significance and broad application prospects in the reservoir monitoring of oilfield development process. Based on the expatiation of CHFR instrument structure and working principle, advantages of CHFR are summarized and also positively explored technique demands in the middle-low permeability reservoir assessment technology are summarized, by comprehensive analysis to actual logging data.

[Key words] cased hole formation resistivity logging water saturation middle-low permeability reservoir