

水平井感应测井影响因素及校正方法研究

Study on the Influence Factors and Correction Methods of the Induction Logging of Horizontal Well

黄潮

中石化华北石油工程有限公司测井分公司, 中国·河南 新乡 453700

Chao Huang

Logging Branch of North China Petroleum Engineering Co. Ltd. of Sinopec Group, Xinxiang, Henan, 453700, China

【摘要】水平井测井环境与垂直井有很大的差别,要充分考虑到井眼附近地层的几何形状、测量方位、重力引起的仪器偏心、井眼底部聚集的岩屑、异常侵入剖面以及地层各向异性等对测井响应的影响,论文主要讨论了感应测井影响因素并对测井曲线做校正方法的研究。

【Abstract】The logging environment of the horizontal well is very different from vertical well, it needs to give full consideration to the factors that affect the log response, such as the geometry of the formation near the wellbore, the azimuth of the measurement, the eccentricity of the instrument caused by gravity, the cuttings gathered at the bottom of the well, the invasion of the abnormal section and the formation anisotropy, and so on. This paper mainly discusses the influence factors of induction logging and the method of correcting logging curves.

【关键词】水平井; 井眼轨迹; 测井响应

【Keywords】horizontal well; wellbore track; log response

【DOI】<http://dx.doi.org/10.26549/gcjsygl.v1i2.555>

1 引言

目前水平井测井技术相对滞后,对水平井测井资料解释评价方面的研究基础也较薄弱,尤其是中国杭锦旗区块水平井解释的气层大量出水,因此取、全取准资料,并对储层进行精准解释成为迫在眉睫的问题。论文从低渗砂岩油藏水平井测井解释理论基础、实验研究入手,分析了直井与水平井测井响应特征之间的差异,总结了水平井感应测井资料的影响因素并结合区域性地质资料对校正方法进行了探索,最终形成了针对感应电阻率测井的校正方法。

2 影响因素及校正方法分析

由于水平井测井中仪器不能居中,感应测井探测深度较深,受泥浆电阻率、储层厚度、侵入深度、仪器偏心、储层非均质性等各种因素影响较大^[1]。下面对其进行分析。

2.1 侵入影响因素分析

通过数值模拟的方法研究了侵入对感应测井响应值的分析,在模拟中选择了没有侵入和侵入深度为 0.3m 两种状况,由图 1 可知泥浆侵入是 R_{ild} 和 R_{ilm} 的次要影响因素^[2]。

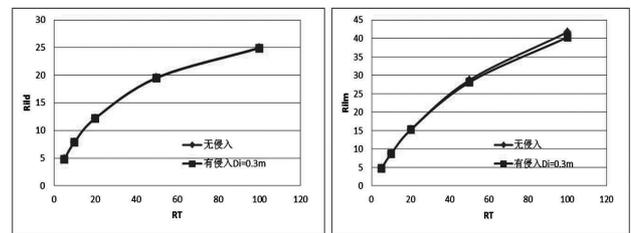


图 1 两种侵入条件下深、中感应电阻率变化

2.2 泥浆电阻率影响因素分析

在油基泥浆条件下,分别在围岩电阻率 $R_s=4\Omega.m$,地层电阻率 RT 分别用 5、10、20、50、100 $\Omega.m$ 条件下,泥浆电阻率 R_m 分别为 100、500、1000 $\Omega.m$ 进行模拟(图 3、图 4),发现三者之间差异很小,由图 2 可知泥浆电阻率 R_m 双感应测井响应特征值的影响非常小,因此认为泥浆电阻率对双感应的影是次要影响因素^[3]。

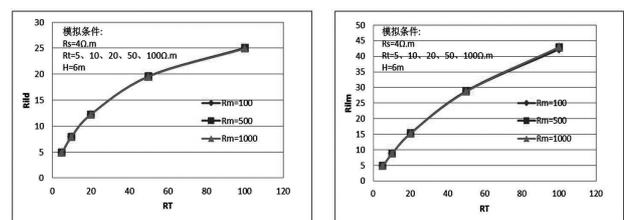


图 2 不同泥浆电阻率条件下深、中感应测井影响分析图

2.3 仪器偏心影响分析

水平井中测井仪器不再是居中测量,而是紧贴井筒下部,具有一定的偏离,图3为不同偏心距条件下感应测井校正图版。由图3可以看出,深感应仪器偏心视电阻率与仪器居中视电阻率的比值和地层厚度 h 的关系可以近似为斜率一定的直线关系^[4]。在地层厚度不大时,仪器偏心视电阻率与仪器居中视电阻率的比值和地层厚度 h 的关系可以近似为斜率一定的直线关系;在地层厚度 h 较大时,仪器偏心视电阻率与仪器居中视电阻率的比值和地层厚度的关系可以近似为斜率一定的直线关系,即平行于 X 轴的直线。

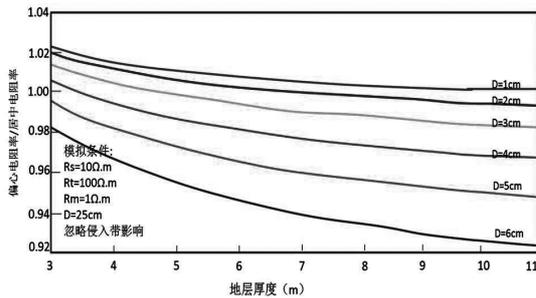


图3 不同偏心距条件下感应测井校正图

综上所述,仪器偏心效应对双感应视电阻率数值的影响不大(仪器偏心视电阻率与仪器居中视电阻率的比值范围在0.92~1.05之间)在对仪器偏心下的层厚进行校正时可以进行近似处理,与真实地层电阻率相差很小^[6]。另外,研究区域目的层厚度较大,因此分析偏心对其测量值影响很小,为次要影响因素,可以不做校正。

2.4 围岩电阻率影响分析

在假设目的层厚一定、忽略侵入影响,在不同的偏心条件下逐渐改变围岩电阻率,开展围岩电阻率对感应测井的影响分析(如图4),由图4可以得出,随着围岩电阻率逐渐靠近地层真电阻率,感应仪器偏心视电阻率与仪器居中视电阻率的比值和围岩电阻率的关系可以分段进行近似,在地层真电阻率与围岩电阻率对比度较大时,不同偏心距下感应仪器偏心视电阻率与仪器居中视电阻率的比值和围岩电阻率的关系为斜率一定的直线,在围岩电阻率接近地层真电阻率时,上述关系近似为平行 X 轴的直线^[6]。

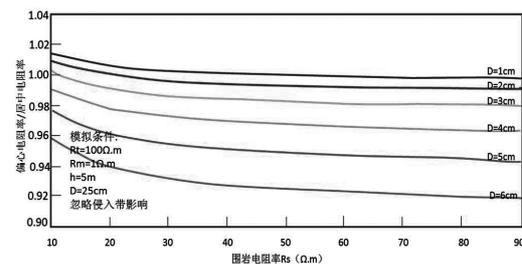


图4 不同围岩电阻率条件下感应测井校正图

在不同围岩电阻率条件下,仪器偏心电阻率与地层的真实电阻率比值变化很小,在0.92~1.02之间,同时研究区域偏心距不大于3cm的情况下,其变化更小,在0.98~1.02之间,几乎可以忽略不计,因此,在实践应用中可以当作次要因素,而不做校正^[7]。

2.5 电阻率各向异性影响分析

根据电阻率测井响应原理,对于均匀各向异性地层,感应测井的测量结果可表达为如下形式:

$$R_a = R_H / \beta = \frac{R_H}{\sqrt{\cos^2\theta + \sin^2\theta/\lambda^2}} \quad (1)$$

其中, $\lambda^2 = R_V/R_H = \sigma_H/\sigma_V$, θ 是相对地层倾角, λ 是地层电阻率各向异性系数,对于层状地层,垂向电阻率总是大于水平电阻率: $R_V \geq R_H$,因此,各向异性系数 λ 通常总是大于1。

下面给出两种特殊情况的结果:

①对于 $\theta=0$ 的特殊情况,即水平地层条件的垂直井情况,可以得到: $R_a = R_H$;

②对于 $\theta=\pi/2$ (90度)的特殊情况,即水平井情况,可以得到: $R_a = \sqrt{R_H R_V}$ 。

可以看出,在有倾角各向异性地层中,感应测井反映的是地层垂向电阻率和水平电阻率的加权平均:由0度时的 R_H 变化到90度时的 $\sqrt{R_H R_V}$ ^[8]。

从物理机制看,感应测井在垂直井中的涡流是水平方向的,因此仅测量得到水平电阻率,此时,感应测井只是反映地层水平电阻率,这是常规电测井在垂直井中反映各向异性方面的局限性;而在斜井中由于涡流存在于两个方向,所以其读数为垂向和水平向电阻率的综合反映,其读数与垂直井中的测量结果有明显的差别^[9]。

统计研究区域18口具有导眼井的水平井,并对导眼井测井曲线与A靶点测井曲线进行对比,发现其测井响应特征值变化很大(如表1)。

表1 研究区域内导眼井与A靶点目的层段测井响应特征值

井号	测井特征值									
	GR-A靶点	GR-导眼	AC-A靶点	AC-导眼	ILD-A靶点	ILD-导眼	ILM-A靶点	ILM-导眼	LLS-A靶点	LLS-导眼
HH12P8A	80	80	205	215	36	34	22	30	63	34
HH31P2_A	75	80	235	235	8	9	8	8	9	9
HH31P8_A	65	55	210	215	15	16.5	10.5	10.5	19	27
HH31P14_A	65	85	210	215	35	20	15	20	25	30
HH36P20_A	75	70	215	220	25	20	15	10		
HH36P37_A	70	85	205	205	45	50	35	40	50	65
HH37P40-A	85	85	220	210	18	30	12	27	15	30
HH42P11-A	70	75	250	250	6	6	6	5	9	9
HH42P25-A	70	70	260	250	5	6	4	5	9	7
HH55P8-A	75	75	240	250	6	6	4	4	8	8
HH73P18-A	85	85	250	240	12	10	10	9	10	10
HH73P23-A	90	120	240	210	9	14	6	18	6	24
HH73P37-A	85	90	230	230	4	4	4	2	6	5
HH74P5-A	70	110	200	210	30	30	10	15	35	30
HH74P16_A	75	80	230	240	10	4	8	4	8	6
HH74P48A	90	80	260	260	4	5	3	5	4	5
JH4P1-A	75	90	230	230	24	21	21	18	27	24
JH13P1-A	75	80	220	220	70	55	35	25	60	45

在实际应用中,感应电阻率的校正,主要依据井眼轨迹与地层的变化关系进行分析(如图5),当井眼与泥岩的距离大于仪器的探测深度,可以当作均值层处理,而不做校正,当井眼处

于地层交汇处时,根据互层各向异性模型进行校正(如图6)。

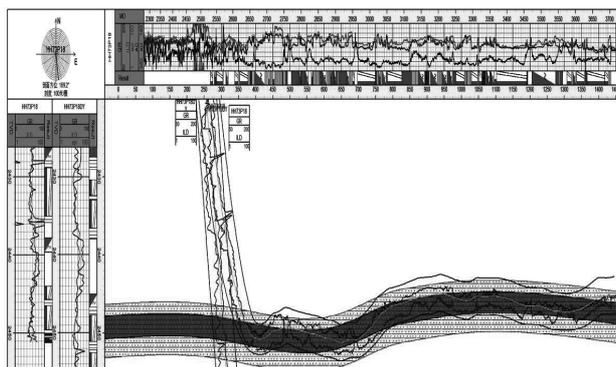


图5 HH73P18井井眼轨迹与油藏关系分析图

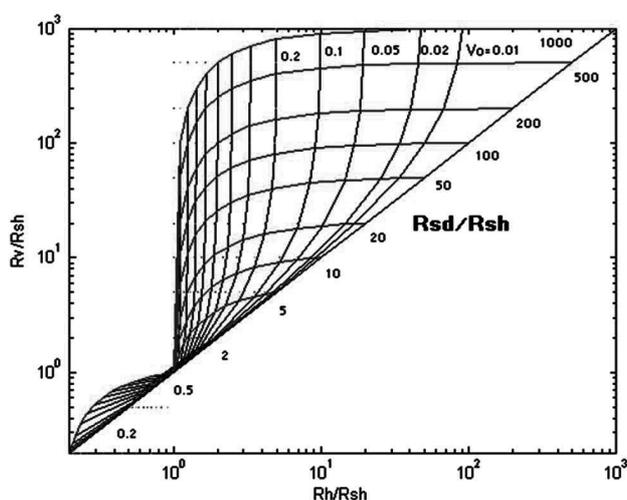


图6 互层各向异性感应电阻率校正图版

由图6可以得出如下结论:

- ①当 $V_0 < 1\%$ 时,地层可认为纯砂岩层,垂直电阻率 R_v 和水平电阻率 R_h 近似相等,地层为各向同性;
- ②当 $V_0 = 10\%$ 附近时,泥岩含量大大降低了水平电阻率 R_h ;
- ③当 $V_0 \leq 30\%$ 时, R_v 可以作为 R_{sd} 估计值;
- ④当 $V_0 \geq 50\%$ 时, R_v 受 R_{sd} 的影响很大,而 R_h 则不大受其

影响;

- ⑤当 $R_{sd}/R_{sh} > 10$ 时, R_h 对 R_{sd} 变得不敏感。

由于研究区域内砂泥岩电阻率差异较小,当 R_{sd}/R_{sh} 在 0.5~1.5 之间,由图版可知在泥质含量小于 10%,两者值近似相等,可以不做校正,而当泥质含量超过 10%时,其差异逐渐增大,需要做相应的校正。

3 结语

①分析了感应测井水平井内影响因素,主要包括:侵入影响因素、泥浆电阻率影响因素、仪器偏心影响因素、围岩电阻率影响以及各向异性影响因素。

②对感应测井在水平井环境中提出了校正的方法,进一步提高了感应测井的精度。

参考文献:

- [1]刘迪仁.水平井感应测井响应仪器偏心影响研究[J].石油仪器,2011,10(4):40-45.
- [2]陈冬,王彦春,汪中浩,等.水平井地层电阻率各向异性研究[J].物探与化探,2007,8(3):14-18.
- [3]肖加奇,张庚骥.水平井和大斜度井中的感应测井响应计算[J].地球物理学报,1995,8(2):11-13.
- [4]汪中浩,罗少成.水平井地层电阻率各向异性研究及应用[J].石油物探,2006,9(1):22-24.
- [5]刘呈冰,李厚裕.水平井测井解释原理与应用[M].山东:石油大学出版社,1993.
- [6]罗少成,汪中浩.水平井地层电阻率各向异性校正方法研究[J].测井技术,2009,7(3):12-15.
- [7]杨斌,鲁洪江.HD 油田水平井测井储层参数解释研究[J].物探花坛计算技术,2011,10(1):7-9.
- [8]王慧萍,张才元.大斜度井感应测井资料围岩校正方法研究[J].河南石油,2006,17(2):17-20.
- [9]王杰堂,孙耀庭.大斜度井测井资料解释处理方法[J].断块油气田,2003,19(3):22-28.