

含泥质灰岩储层的测井流体识别 ——以中东 YL-DS 油田为例

刘忠明, 吴见萌, 葛祥, 冷义

(中国石化西南石油工程有限公司测井分公司)

摘要 中东 YL-DS 油田高含泥质灰岩储层(泥质含量 3%~8%)电阻率低,常规解释的含水饱和度较高,按纯灰岩储层段流体评价标准常被判定为水层。本研究避开对难以量化表征的纯灰岩骨架中束缚水的直接求取,通过计算储层中的泥质束缚水孔隙度来直接校正常规含水饱和度,简单易行,在实践中取得了良好的效果。具体方法为:根据纯泥岩的简化模型计算纯泥岩孔隙度,然后采用能谱测井资料计算干黏土的密度值,计算泥质灰岩储层中的泥质束缚水孔隙度,对常规阿尔奇公式计算的水饱和度进行泥质束缚水饱和度校正而获得视纯灰岩含水饱和度,最后采用校正后的含水饱和度和纯灰岩段标准解释图版综合判断储层流体性质。

关键词 石灰岩储层; 储层流体; 流体识别; 测井解释

中图分类号: TE122.2; P631.8

文献标识码: A

1 引言

准确地判断储层的产液性质是选层和优化试油方案的重要依据,目前面临着高束缚水饱和度储层的挑战。储层中的束缚水是流体与岩石之间综合特性的反映,它主要取决于岩石孔隙中毛细管力的大小和岩石对液体的润湿性^[1-4]。一般情况下,束缚水主要由毛细管滞水和薄膜滞水两部分组成,分布和残存在岩石颗粒接触处和微细孔隙中,或吸附在岩石骨架颗粒表面,在一定的生产压差下不能流动,这时的饱和度称为束缚水饱和度^[5]。束缚水的聚集可以较好地改善储层的导电性从而降低储层的电阻率,这是科学认识低阻油层的基础。那么,如何规避低阻油层因采用常规方法解释时含水饱和度较大^[2-6]而被放弃的风险呢?合理地计算束缚水饱和度是很重要的一个步骤。

目前,关于束缚水饱和度的计算方法主要源于碎屑岩储层,大致包括两类:一类是开展岩石微观导电机理研究,进而推演出更加接近储层实际的模型,其代表是 W-S 方程和双水模型^[7-11];另一类是进行数据回归,通过其他可测量或者易于计算的参数来

表征束缚水饱和度^[2-6,12]。因为碳酸盐岩的非均质性远强于砂岩,孔隙结构复杂,不利于建立精确的解释模型,同时也难以找到合适的参数来求取骨架孔隙中束缚水的含量,目前专门针对碳酸盐岩束缚水饱和度的研究工作也较少。碳酸盐岩含水饱和度的计算方法,还是以阿尔奇公式为主,还有一些对阿尔奇公式的经验性扩展和构建多重孔隙导电模型等^[13],这些方法主要通过岩心的岩电实验数据来获取关键参数,但它们很少涉及泥质含量较高的储层类型。

在中东 YL-DS 油田,已有的测试层段(22个)均在泥质含量极少(<3%)或者纯灰岩储层段,所确定的油层下限标准为孔隙度 6.5%、电阻率 $2\Omega\cdot m$,依据含水饱和度(S_w)判别油气水层的标准为:<50%(油层)、50%~70%(油水同层)、70%~90%(含油水层)、 $\geq 90%$ (水层)。随着勘探的进展,近年来钻遇了新的碳酸盐岩储层,以含泥质白垩质灰岩、泥质灰岩为主,泥质含量较高(3%~8%),孔隙度与纯灰岩段相比无明显减少,一般大于 6.5%,电阻率 $\leq 2\Omega\cdot m$,接近或低于原有的油层下限标准。由于泥质含量较高,造成感应电阻率较低,如果按常规的测井解释,则含水饱和度和较高,这类储层常被定为水层,因此,需要探索

收稿日期: 2014-11-24; 改回日期: 2015-04-09

刘忠明: 1983 年生,工程师,现从事测井资料解释与综合研究工作。通讯地址: 610100 四川省成都市龙泉驿区鲸龙路 66 号;
E-mail: 286906327@qq.com

或改进泥质灰岩含水饱和度的计算方法,以准确识别产液性质,从而节约测试成本和提高勘探效率。

本文以中东 YL-DS 油田含泥质灰岩为例,提出了计算泥质束缚水孔隙度,以此对常规阿尔奇公式计算的含水饱和度进行校正,再应用校正后的饱和度结合原有的纯灰岩储层段油气水评价图版进行流体性质判别,这一方法获得了较好的效果。

2 计算模型

2.1 含水饱和度

研究区的石灰岩储层以溶蚀孔洞为主,裂缝欠发育,可直接采用阿尔奇公式^[14]计算储层含水饱和度。

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{a b R_w}{\phi^m R_t}} \quad (1)$$

式中: S_w ——含水饱和度, %;

R_w ——地层水电阻率, $\Omega \cdot m$;

R_t ——原状地层电阻率, $\Omega \cdot m$;

ϕ ——地层总孔隙度(由孔隙度系列测井曲线求取), %;

a, b ——岩性相关常数,由取心岩电实验获得;

m, n ——胶结指数、饱和度指数,由取心岩电实验获得

在泥质含量低于 3% 的储层中,计算的 S_w 值最为可靠,因为目前获取 a, b, m, n 等参数的岩心皆来自此类储层。

2.2 纯泥岩孔隙度

地层中的泥岩可以简化为由地层水与干黏土共同组成的混合物,其体积模型为:

$$D_{dry} \cdot (1 - POR_{sh}) + POR_{sh} \cdot D_f = D_{wet} \quad (2)$$

$$\text{可得: } POR_{sh} = \frac{D_{dry} - D_{wet}}{D_{dry} - D_f} \quad (3)$$

式中: POR_{sh} ——纯泥岩孔隙度, %;

D_{dry} ——干黏土密度, g/cm^3 ;

D_{wet} ——湿黏土密度, g/cm^3 (可采用相邻井泥岩层密度值参与计算。本次研究中通过 10 口井的密度频率图分析,得到湿黏土的密度峰值为 $2.33 g/cm^3$);

D_f ——地层水密度,取近似值 $1.0 g/cm^3$

那么,只要计算出 D_{dry} 即可计算出纯泥岩的孔隙度。

有多种方法可以获得干黏土密度值:(1)采用黏土矿物组分分析资料,按不同矿物类型的标准密度与含量进行加权平均;(2)采用自然伽马能谱测井资料,依据 Th/K 标准模板进行黏土类型的识别^[15-16],再根据矿物类型选择适当的干黏土密度理论值^[14],比如,高岭石、绿泥石、伊利石和蒙脱石的骨架密度理论值分别为 2.96 、 3.39 、 2.90 、 $2.88 g/cm^3$;(3)采用自然伽马曲线以及孔隙度系列曲线等建立与黏土类型的回归关系^[17]。

研究区测井项目主要包括常规综合、自然伽马能谱、声电成像、偶极声波等,多数井进行了自然伽马能谱测井,所以采用能谱资料识别黏土矿物类型是最为经济可行的。

由 Th/K 图版(图 1)可以看出,目的层段 Th/K 较低,且 K 值多低于 2.5,反映黏土类型主要为伊利石蒙脱石混层,含少量海绿石、高岭石,根据黏土矿物密度理论值^[14],干黏土密度值确定为 $2.90 g/cm^3$ 。

把干黏土密度、湿黏土密度、地层水密度等参数代入(3)式,可得理论纯泥岩孔隙度为 30%。对类似储层,近似计算时可以采用该值,当地层发生变化时,应注意重新求取干黏土密度和湿黏土密度等参数。

2.3 泥质束缚水孔隙度

可采用如下公式计算储层中的泥质束缚水孔隙度。

$$\phi_{sh} = V_{sh} \cdot POR_{sh} \quad (4)$$

式中: ϕ_{sh} ——储层中泥质束缚水孔隙度, %;

V_{sh} ——储层中的泥质含量, %;

POR_{sh} ——纯泥岩孔隙度, %

需要说明的是,泥质束缚水孔隙度并不能等同于束缚水孔隙度,泥质束缚水是束缚水的一种存在形式,因而储层中泥质束缚水孔隙度一定小于束缚水孔隙度。

2.4 含水饱和度校正

采用泥质束缚水孔隙度对常规阿尔奇公式解释的含水饱和度进行校正。

$$S_w^* = S_w - \frac{\phi_{sh}}{\phi} \quad (5)$$

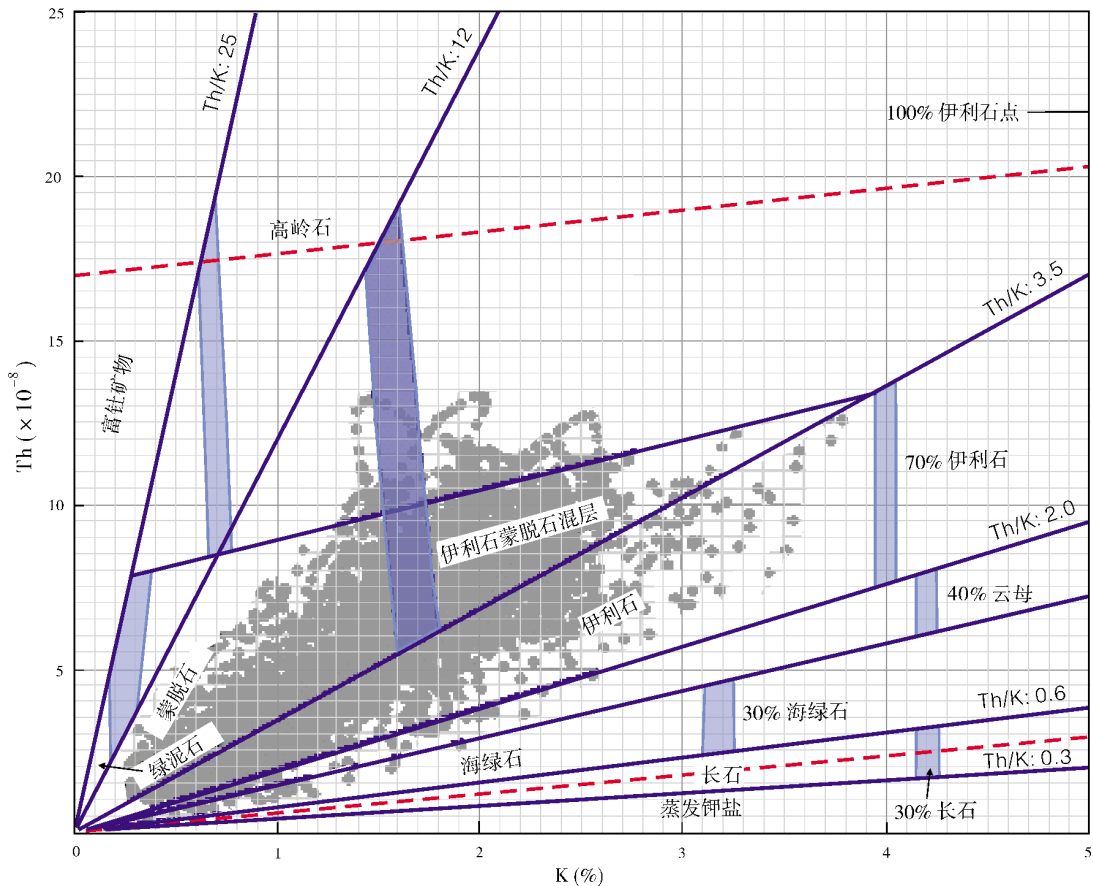


图 1 中东 YL-DS 油田黏土类型识别图

式中： S_w^* ——校正后的含水饱和度(也可称为视纯灰岩含水饱和度)，%；
 S_w ——由阿尔奇公式计算得到的含水饱和度，%；
 ϕ_{sh} ——储层中泥质束缚水孔隙度(由公式(4)求得)，%；
 ϕ ——由孔隙度系列测井曲线计算得到的总孔隙度，%

对含水饱和度的校正就是减去泥质部分所含的地层水,这样,校正后的含水饱和度就可以近似看作纯灰岩储层的含水饱和度,它适用于油田区已有的储层流体识别标准。

3 应用效果

以中东YL-DS油田某井为例,采用上述方法对含水饱和度进行校正,进而重新判别油气水层(图2),解释结果获得了测试结果的证实。

图2中第2号、5号层储层段泥质含量差别较

大。第2号层泥质含量较低,含水饱和度 S_w 与视纯灰岩含水饱和度 S_w^* 相差不大,为 10%~25%,判定为油层。第5号层地层总孔隙度 $\phi > 11\%$ 、 S_w 为 55%~70%，据油田已建立的评价标准会解释为油水同层,而校正所得的 S_w^* 为 38%~45%，则该层可重新解释为油层,经测试获得日产油 350 桶、天然气 22 800 m³,且不产水。这说明对于泥质含量较高的孔洞型石灰岩储层(泥质含量 3%~8%),通过计算泥质束缚水孔隙度并以此校正含水饱和度的方法是可行的。正确识别此类储层,不仅提高了测井解释符合率,而且对于油田储量的提高也有极大意义。

需要说明的是,这种方法在泥质含量极高(大于 8%)的石灰岩储层中并不适用。由于泥质含量增加会堵塞孔隙吼道,使油气水不容易产出,此时对储层产液性质的讨论将变得更复杂。另外,对孔隙度很低(低于工业产层下限, $\phi < 6.5\%$)的储层段,应用本文方法时,参数选择值与真实值之间不可

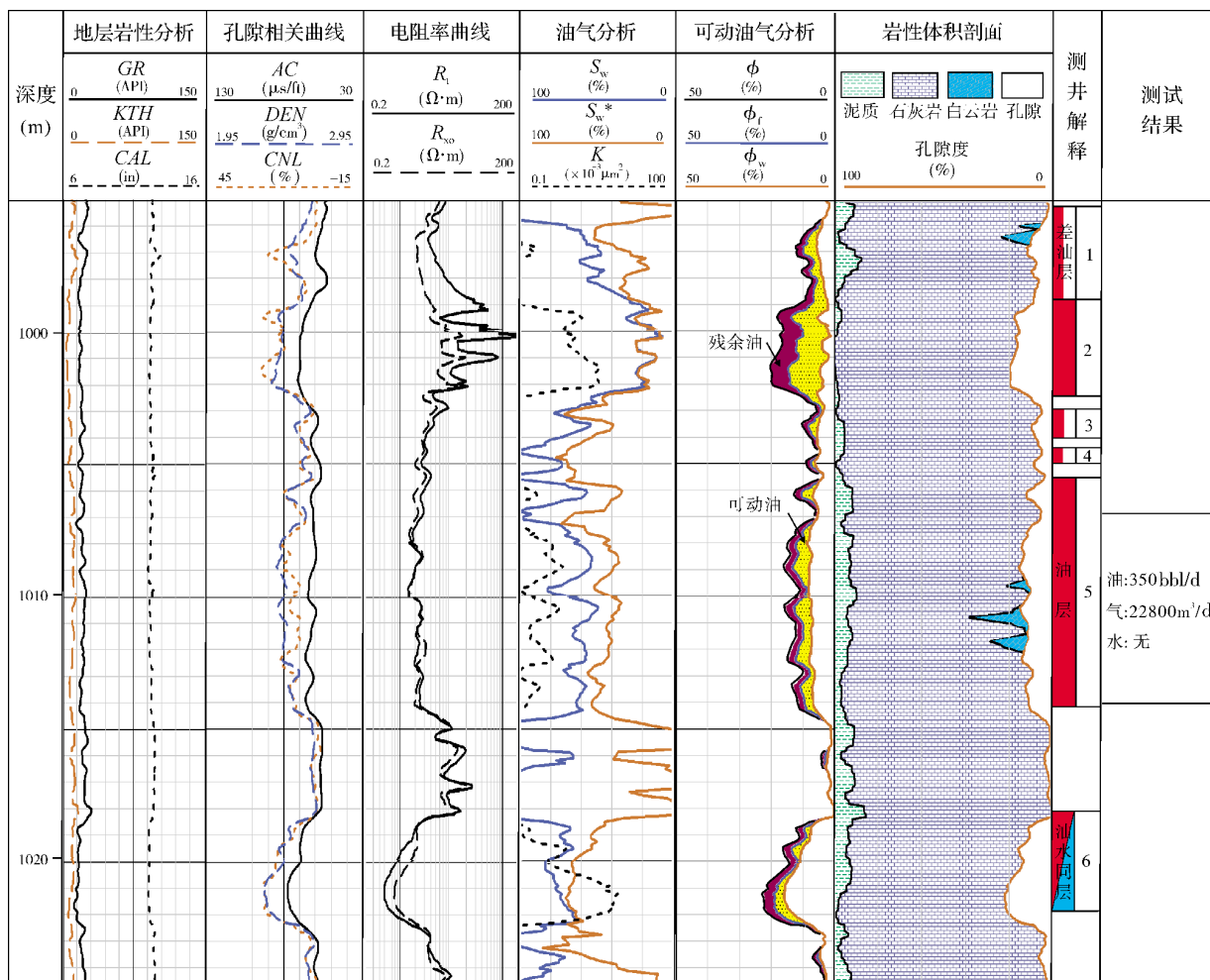


图2 中东 YL-DS 油田 X 井 995~1025m 井段测井解释成果图

可动油气分析栏中: ϕ 地层总孔隙; ϕ_f 地层冲洗带含水孔隙度; ϕ_w 原状地层含水孔隙度;
 $(\phi_w - \phi_f)$ 表示孔隙中的可动油; $(\phi - \phi_f)$ 表示残余油

避免的差异会造成计算结果的较大误差,因此也有一定局限。

4 结 语

针对中东 YL-DS 油田含泥质灰岩储层,通过计算泥质束缚水孔隙度,并以此对常规阿尔奇公式计算的含水饱和度进行校正,进而获得视纯灰岩储层含水饱和度,再参照油田纯灰岩储层段的油气水层标准进行流体识别,这一方法有效解决了高泥质含量灰岩(泥质含量 3%~8%)的储层流体识别问题,应用效果较好。计算泥质束缚水孔隙度的关键是获得较准确的干黏土和湿黏土的参数值,这可以借助岩石地化分析、能谱测井等资料来求取。

参 考 文 献

- [1] 谭海芳,黄书坤. 确定束缚水饱和度的方法研究[J]. 国外测井技术,2014,21(4):23-24.
- [2] 常俊,罗利,胡振平,等. 束缚水饱和度在苏里格气田气水识别中的应用[J]. 测井技术,2008,32(6):549-552.
- [3] 陈学义,魏斌,陈艳,等. 辽河油田滩海地区低阻油层成因及其精细解释[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2013,28(2):40-45.
- [4] 常俊,罗利,胡振平,等. 叙利亚 A 低阻灰岩油藏束缚水饱和度特征与电阻率的关系[J]. 测井技术,2008,32(6):549-552.
- [5] 司马立强,席燕卿,张凤生,等. 中东地区 XT 油田碳酸盐岩储层低阻成因机理研究[J]. 石油天然气学报,2013,35(8):69-73.
- [6] 回雪峰,吴锡令,谢庆宾,等. 大港油田原始低电阻率油层地质成因分析[J]. 勘探地球物理进展,2003,26(4):329-332.

- [7] 赵国欣. 改进的双水模型在曲堤油田低电阻油层中的应用[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(6): 49-51.
- [8] 张冲, 张占松, 宋秋强, 等. 基于岩心核磁共振实验数据确定阳离子交换容量[J]. 测井技术, 2013, 37(2): 23-24.
- [9] Devarajan S. 应用孔隙范围模型来分析 Waxman-Smits 泥质砂岩电导率[J]. 任春燕, 译. 测井与射孔, 2007, 10(3): 18-23.
- [10] 张先平, 陈海红, 张树林. 泥质砂岩油层含水饱和度解释模型探讨——以临南油田夏 52 块沙三中为例[J]. 断块油气田, 2005, 12(1): 34-37.
- [11] 李剑浩. 用混合物电导率公式改进双水模型的公式[J]. 测井技术, 2007, 31(1): 1-3.
- [12] 高楚桥, 章成广, 肖承文, 等. 用油水相对渗透率确定低电阻油层产液性质[J]. 油气地质与采收率, 2003, 3(5): 49-51.
- [13] 王敏. 碳酸盐岩储层含水饱和度模型发展及分析[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2013, 35(5): 31-40.
- [14] 雍世和, 张超谟. 测井数据处理与综合解释[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2007: 168, 202-203.
- [15] 刘菁华, 王祝文, 易清平, 等. 利用自然 γ 能谱测井资料确定黏土矿物的含量及其应用[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(1): 215-221.
- [16] 石强. 利用自然伽马能谱测井定量计算黏土矿物成分方法初探[J]. 测井技术, 1998, 22(5): 349-352.
- [17] 邢培俊, 孙建孟, 王克文, 等. 利用测井资料确定黏土矿物的方法对比[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(2): 53-57.

编辑: 董 庸

Logging Identification of Fluids in Argilliferous Limestone Reservoirs in YL-DS Oil Field, Middle East

Liu Zhongming, Wu Jianmeng, Ge Xiang, Leng Yi

Abstract: Argilliferous limestone reservoirs usually are of high argillaceous content (3%~8%) but low logging resistivity values in YL-DS Oil Field, Middle East. Interpreted as high water saturation by the conventional logging method, they are likely mistakenly judged as aquifers according to the evaluation standard for the pure carbonate reservoirs. A simple available method of correctly identifying what the fluids are in argilliferous limestone reservoirs according to spectral log data and other calculations is put forward and successfully applied in this oil field. The method is: (1) analyze clay types by spectral log data and estimate density of dry clay; (2) calculate porosity of pure mudstone by the simplified mudstone model, and then calculate the porosity related with argillaceous bound water in the argilliferous limestone reservoirs; (3) correct argillaceous bound water saturation with the water saturation calculated by normal Archie's formula to obtain water saturation in apparent pure limestone; and (4) comprehensively identify fluid types by the corrected pure limestone saturation and the standard cross-plot of pure limestone reservoirs.

Key words: Argilliferous limestone; Limestone reservoir; Reservoir fluid; Fluid identification; Logging interpretation

Liu Zhongming: Geology Engineer. Add: Logging Branch Co. of SINOPEC Southwest Petroleum Engineering Company Ltd., 66 Jinglong Rd., Chengdu, Sichuan, 610100, China