

碳酸盐岩测井解释方法 在塔里木北部地区储量计算中的应用

魏历灵 樊政军 王 谦 金意志

(地矿部西北石油地质局测井站, 乌鲁木齐 830011)

笔者依据塔里木盆地北部碳酸盐岩油气藏的实际测井资料,应用碳酸盐岩裂缝性储层解释方法,采用综合裂缝概率法判断裂缝带,并结合油气藏储量规范,对储量计算中储层参数求取方法及内容进行研究的探索,取得了较好的效果。

关键词 储层参数 测井解释 储量计算 塔里木北部

第一作者简介 魏历灵 女 27岁 助理工程师 石油测井

测井资料解释在油气藏储量计算中占有重要位置。它从钻井、地质录井、取心、测试等实际资料出发,有效地利用井下地球物理测井方法,定量地计算孔隙度、饱和度、渗透率、划分有效厚度、正确区分油气水界面等,最终达到解决地质问题的目的。在油气藏储量计算中,测井解释的孔隙度、饱和度、有效厚度等参数均是影响储量级别的关键,因而,有必要对以上参数进行深入研究。位于塔里木盆地北部地区A构造的碳酸盐岩油气藏,由于储集空间的非均质性,测井响应复杂,给油井资料解释带来了很大困难。本文通过应用国家“七五”、“八五”科技攻关成果——塔北碳酸盐岩裂缝性储层测井解释方法^①,对A构造测井资料进行了研究,采用正交设计法优选解释参数,利用综合裂缝概率法对裂缝进行了判别,同时增加了双侧向电阻率计算裂缝孔隙度等,使测井解释精度有了明显提高,取得了较好的地质效果。

1 测井资料深度校正

在没有标准井的情况下,原始测井资料的深度与地质录井及岩心的深度均存在一定的误差。为此,我们采用以钻时曲线为准,将测井曲线深度校正为钻时曲线深度。而有取心率较低的碳酸盐岩井段,则综合考虑取心段的岩性及测井曲线响应来确定测井深度。同时还参考套管鞋深度,并将岩心分析的孔隙度、视比重与测井取得的中子孔隙度、密度值进行相关对比,使其测井、钻井、录井的深度统一。

2 确定油气藏储层参数

2.1 泥质含量(V_{sh})

① 长春地质学院及西北石油地质局测井站,新疆塔里木盆地东北地区测井解释方法及应用的研究,1990

碳酸盐岩层利用自然伽玛测井值计算泥质含量。先计算泥质指数 I_{sh}

$$I_{sh} = \frac{GR - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad (1)$$

式中： GR_{min} 为解释层段自然伽玛最小值； GR_{max} 为解释层段自然伽玛最大值； GR 为自然伽玛测井值。

再经非线性校正

$$V_{sh} = \frac{2^C \cdot I_{sh} - 1}{2^C - 1} \quad (2)$$

式中： C 为非线性校正常数，古生界为2。

2.2 孔隙度(Φ)

2.2.1 总孔隙度

理论上声波时差计算的孔隙度为基质孔隙，但由于受裂缝发育等因素的影响，常发生“周波跳跃”，因而计算出的孔隙度误差较大，故采用中子与密度计算出的孔隙度平方加权后作为地层的总孔隙度。

塔北地区碳酸盐岩储层地层水矿化度很高(一般大于 $10 \times 10^4 \text{mg/L}$)，需要对中子孔隙度曲线进行矿化度校正。

$$\Phi_N^1 = 1.04 \times (0.00412 \Phi_{LOG}^2 + 0.765 \Phi_{LOG} - 1.08) \quad (3)$$

$$\Phi_N = \Phi_N^1 - V_{sh} \Phi_{Nsh} \quad (4)$$

$$\Phi = \sqrt{(\Phi_N^2 + \Phi_D^2) / 2} \quad (5)$$

式中： Φ_N^1 为经矿化度校正的中子孔隙度； Φ_D 为经校正后的密度孔隙度值； Φ_{Nsh} 为泥岩的中子孔隙度值； Φ_{LOG} 为中子孔隙度测井值。

2.2.2 裂缝孔隙度

裂缝孔隙度采用深、浅侧向电阻率计算：

$R_D > R_S$ 时：

$$\Phi_f = \left[\left(\frac{1}{R_D} \right) - \left(\frac{1}{R_S} \right) / \left(\frac{1}{R_{mf}} - \frac{1}{R_w} \right) \right]^{1/mf} \quad (6)$$

$R_D < R_S$ 时：

$$\Phi_f = \left[\left(\frac{1}{R_D} \right) - \left(\frac{1}{R_S} \right) \cdot R_{mf} \right]^{1/mf} \quad (7)$$

式中： R_D 、 R_S 为深、浅侧向电阻率； R_{mf} 、 R_w 为泥浆滤液、地层水电阻率； mf 为裂缝胶结指数； Φ_f 为裂缝孔隙度。

地层水电阻率 R_w 的求取，由地层水矿化度换算得出 $R_w = 0.019 \Omega \cdot \text{m}$ ，裂缝胶结指数为 $1 \sim 1.5$ ， R_{mf} 由泥浆电阻率换算得出， $R_{mf} = 0.06 \Omega \cdot \text{m}$ 。

2.2.3 岩石密度骨架值(ρ_{ma})的确定

密度骨架值根据岩心分析孔隙度与视比重作交会图得出。 $\rho_{ma} \approx 2.82 \text{g/cm}^3$ ，相关系数 $\gamma \approx 0.86$ (图1)。

2.3 含水饱和度 (\$S_w\$)

利用双孔隙度模型建立如下公式：

$$S_{wb} = \left\{ \left[\frac{1}{R_s} - 0.89 \left(\frac{V_{sh}}{R_{sh}} \right)^2 - \frac{\Phi_f^{n_f}}{R_{wf}} \right] \frac{R_w}{\Phi_b^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$S_{wf} = \left\{ R_w \left[\left(\frac{1}{R_D} - \frac{1}{R_i} \right) / \Phi_f^{n_f} + \frac{1}{R_{wf}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$S_w = \frac{S_{wb} \Phi_b + S_{wf} \Phi_f}{\Phi_t} \quad (10)$$

式中 \$S_{wb}\$ 为基块含水饱和度；\$S_{wf}\$ 为裂缝含水饱和度；\$n\$ 为岩性系数 (\$n=2\$)；\$R_{sh}\$ 为泥岩电阻率；\$\Phi_t\$ 为总孔隙度；\$\Phi_b\$ 为基块孔隙度，由 \$\Phi_b = \Phi_t - \Phi_f\$ 得。

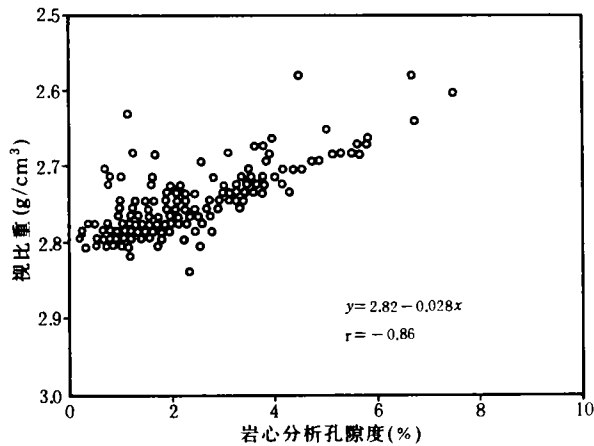


图 1 岩心分析孔隙度与视比重关系图

3 储层划分

3.1 裂缝带测井曲线特征

由于碳酸盐岩裂缝性储层的特殊孔隙结构及孔隙中流体变化的影响，使其与孔隙性储层在测井响应上有明显的不同。这些特征是：

- (1) 电阻率值明显降低，降低程度取决于裂缝及溶洞的发育程度、分布状态、几何形态等(图 2)。从图中分析，电阻率降低处表现为不同程度裂缝发育情况；
- (2) 中子孔隙度在裂缝发育段明显增大(图 2)；
- (3) 声波时差显示高值，有时出现“跳跃”现象(图 3)；
- (4) 井径曲线有时出现不规则的变化；
- (5) 密度曲线在裂缝处显示低值，但有时也因井径扩径、岩石破碎等因素影响，测井响应降低且变化范围较大。

3.2 综合裂缝概率模型的建立

塔北 A 构造碳酸盐岩储层裂缝带的评价，是利用双侧向电阻率、声波时差、中子孔隙度、密度并结合井径、井温等资料计算裂缝-孔洞储层的裂缝概率指标，进行归一化处理。确定并取得各种方法对裂缝响应的大小(即权系数)，然后求出裂缝综合概率，即：

$$P = \sum_{i=1}^n W_i P_i \quad (11)$$

式中：\$P\$ 为综合裂缝概率；\$W_i\$ 为第 \$i\$ 种测井方法的权系数；\$P_i\$ 为第 \$i\$ 种测井方法的裂缝概率值。

3.3 储层划分指标

依据岩心分析资料、试油资料、测井资料解释确定的泥质含量 (\$V_{sh}\$)、孔隙度 (\$\Phi\$)、含水饱

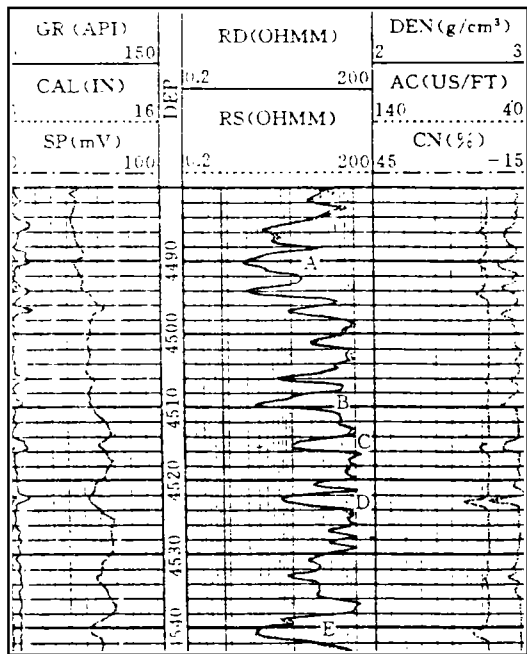


图 2 某些裂缝特征测井曲线图

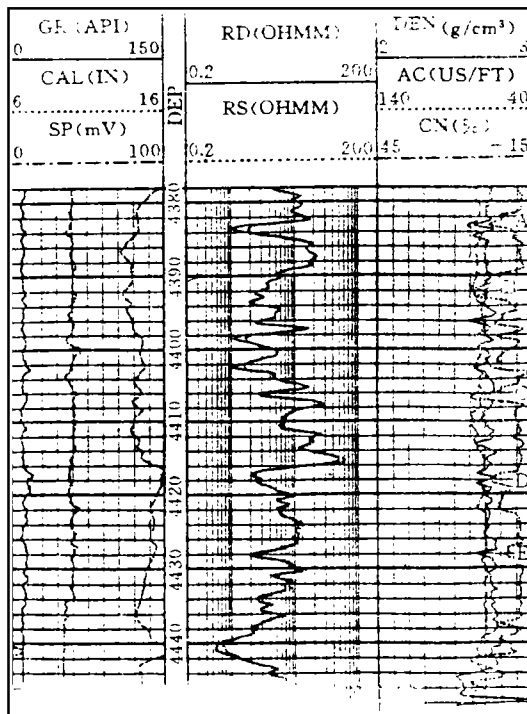


图 3 某井裂缝特征测井曲线图

和度(S_w)等截止值,确定 A 构造的有效厚度下限值为:

总孔隙度 $\geq 3\%$;裂缝综合概率 > 0.2 ;裂缝孔隙度 $\geq 0.1\%$;含水饱和度 $< 60\%$ 。

4 应用效果

采用以上解释方法对 A 构造上几口井的测井资料进行了处理(图 4)。

从解释成果图上分析,4370~4416m 总孔隙度均大于 3%,裂缝概率大于 0.2。4416m 以下总孔隙度小于 3%,含水饱和度达 90%以上。4370~4379m,中途测试产油 230m³/d,气 20×10⁴m³/d。在 4438~4444m 测试,产水 257m³/d。解释结果与测试成果、岩心分析等相符,验证了测井解释结果。

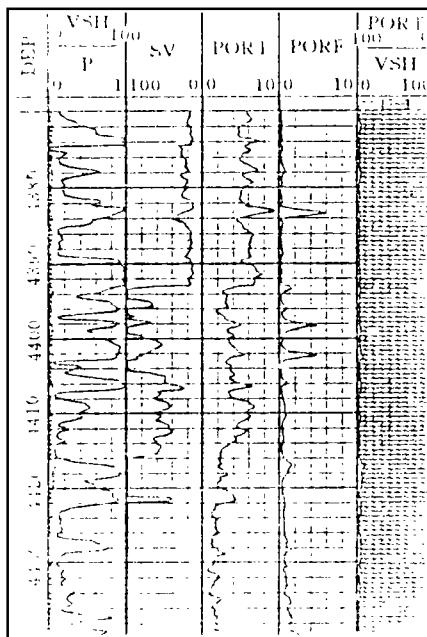


图 4 A 井测井解释成果图

5 结束语

本文依据塔北地区 A 构造碳酸盐岩实际测井资料,对测井在储量计算中储层参数的求取方法和内容进行了研究,特别是在深度归位、综合判断裂缝概率、孔隙度、饱和度等方面取得了较好的效果。

(收稿日期:1994 年 7 月 22 日)

参 考 文 献

- 1 樊政军. 塔北油气储量计算中的测井解释技术. 石油物探,1994,33(3)
- 2 雍世和,洪有密. 测井资料综合解释与数字处理. 北京:石油工业出版社,1982

AN APPLICATION OF WELL LOGGING INTERPRETATION OF CARBONATE ROCKS IN THE CALCULATION OF RESERVES OF THE NORTHERN TARIM

Wei Liling Fan Zhengjun Wang Qian Jin Yizhi

(Well-log Station, Northwest Bureau of Petroleum Geology, MGMR)

Abstract

On the basis of the actual well log data of carbonate oil and gas pools of the Northern Tarim and the rules for calculating reserves of oil and gas pools, integrating the interpretation of carbonate crack reservoirs with synthetic crack-probability method determining crack zones, the authors discuss the reservoir parameters and contents for calculation of reserves and acquires a satisfactory result.