

裂缝宽度的定量计算及储层流体类型识别

魏斌^{1,2}, 卢毓周², 乔德新², 王晓锋², 孙宝喜²

(1. 清华大学 工程力学系, 北京 100084; 2. 辽河石油勘探局 测井公司, 辽宁 盘锦 124011)

摘要: 在辽河测井公司完成的声电成像模拟井的基础上, 利用声波成像测井资料建立了定量计算裂缝宽度的方法, 并应用该方法评价储层裂缝参数, 进而通过综合研究识别储层流体类型, 在辽河油田复杂岩性储层取得了良好的应用效果。

关键词: 声波成像测井; 裂缝计算; 复杂岩性储层; 储层流体类型识别

中图分类号: P631.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2003)03-0217-03

随世界经济的快速发展, 世界各国对石油天然气的需求也越来越大。然而, 大型整装高孔砂岩油气藏已越来越难以找到。因此, 许多大石油公司已不得不把注意力转到低孔缝—洞型碳酸盐岩及火成岩油气藏的勘探和开发上来^[1,2]。近年来, 国内许多油田已在低孔缝—洞型碳酸盐岩及火成岩油气藏的勘探方面取得了重大突破。辽河盆地在火山岩、变质岩和碳酸盐岩储集层中都找到了可观的石油地质储量。

非常规油气藏的储层流体类型识别一直是国际测井界亟待解决的难题。具有储集性的裂缝性地层岩性、物性、含油性及其相互关系各不相同。即使是同一岩性, 在不同的沉积环境下, 其四性关系也有较大的差异。裂缝性储层具有岩性复杂、储集类型多样、物性变化大及非均质性强等特点, 因而其测井解释和流体类型识别要复杂和困难得多。

在非常规油气藏的勘探开发中, 定量评价储层参数是进行流体类型识别的十分重要的步骤。笔者在辽河测井公司完成的声电成像测井模拟井的基础上, 利用成像测井资料建立了定量计算裂缝宽度的方法, 并应用该方法评价储层裂缝参数, 进而通过综合研究识别储层流体类型, 取得了良好的效果。

1 裂缝宽度计算方法

由声电成像测井模拟井的声成像测井 (CBIL) 资料可知, 裂缝的回波幅度值高低与岩性有关, 而裂缝的形状特征与岩性无关。在 CBIL 图像上的裂缝

宽度与裂缝的形状和位置无关, 只与裂缝的真实宽度有关。

1.1 方法建立

裂缝宽度的测量方法是在裂缝经过的每一点的垂直切面上, 在给定的长度范围内估计裂缝的背景值, 确定裂缝的宽度。为了消除噪声的影响, 一般采用在裂缝切面裂缝的轮廓线上, 划一条背景线, 使背景线位于裂缝轮廓线上部的 10% 的位置。背景线与裂缝轮廓线的两交点的长度确定为裂缝的宽度 (即图 1a、b 中 l_1 与 l_2 间距离、图 1c 中 l_1 与 l_4 间距离)。

通过测井试验分析所得到的裂缝宽度计算公式为

$$W = \frac{1}{B - A_{i=l_1, l_2}} \sum \frac{A}{D_i} (B - D_i) \Delta w \quad (1)$$

式中, A 为裂缝的回波幅度值, B 为裂缝的背景值, D 为裂缝轮廓线上每点的回波幅度值, Δw 为裂缝宽度的微分。裂缝轮廓线与裂缝宽度之间可以有 3 种表现形式 (图 1)。

第一种表现形式 (图 1a), 裂缝宽度较小, 回波幅度衰减也较小。峰值 P_1 小于理想情况下的峰值 A , 裂缝宽度的积分公式为 (1) 式, 其中的 A/D_i 是惩罚系数, D_i 当远离 A 时, 此系数非常小, $\frac{1}{B - AD_i} (B - D_i) \Delta w$ 的值更小, 可以忽略不计。在这种情况下裂缝宽度与测量宽度是非线性关系。用于计算回归公式所不能计算的情况。

收稿日期: 2002-11-21

基金项目: 本课题受辽河油田博士后项目资助

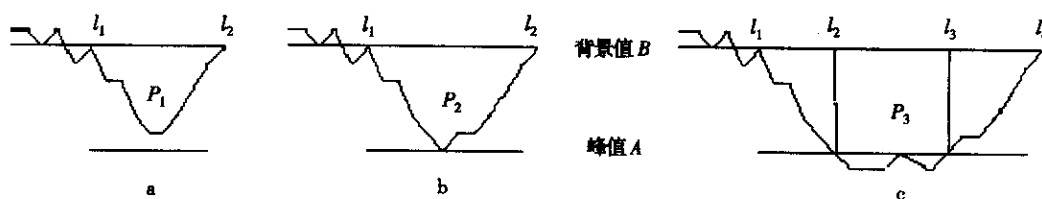


图1 裂缝轮廓的3种表现形式

图1b为第二种表现形式,裂缝宽度等于仪器分辨的宽度,回波幅度衰减到理想情况下的峰值, $P_2 = A$, 裂缝宽度定义为 W_b 。相当于阿特拉斯公司的计算公式。

第三种表现形式如图1c所示,裂缝宽度大于仪器分辨的宽度,回波幅度衰减到理想情况下的峰值,达到饱和值, $P_3 = A$ 。裂缝宽度可以认为是由 W_b 和一个矩形组成。公式表示为

$$W = \frac{1}{B - A_{i=l_1, l_2}} \sum \frac{A}{D_i} (B - D_i) \Delta w + \frac{1}{B - A_{i=l_2, l_3}} \sum \frac{A}{D_i} (B - D_i) \Delta w + \frac{1}{B - A_{i=l_3, l_4}} \sum \frac{A}{D_i} (B - D_i) \Delta w \quad (2)$$

将右边第一部分与第三部分合并后等于 W_b , 而在第二部分中 $D_i = A$, 则(2)式可简化为

$$W = W_b + (l_2 - l_3) \Delta w \quad (3)$$

此时, W_b 是固定值, 裂缝宽度 W 与峰值宽度 ($l_3 - l_2$) 间为线性关系。

由上可知, 裂缝轮廓线所表现的3种情况, 都可以由(3)式表述。该式既表述了宽缝的线性关系, 又表述了窄缝的非线性关系, 因此这种方法可以全面准确地计算裂缝的宽度。

1.2 误差分析

在不同的模拟井中, 选取了30条裂缝计算其宽度。分析结果表明, 平均相对误差仅为7%(表1)。

1.3 参数统计

在准确计算裂缝宽度的基础上, 可统计出与裂缝有关的相应参数, 包括面孔率(FDEN)、裂缝开度(FOPE)、裂缝条数(FDVC)、裂缝视宽度(FWID)。其中, 面孔率为目标所占面积占总面积的百分比, 裂缝开度为裂缝张开的平均宽度, 裂缝条数指单位深度内裂缝的条数, 裂缝视宽度是在图像的某一深度上裂缝所显示的宽度。

2 储层流体类型识别

裂缝参数的定量计算, 为正确认识和评价裂缝

表1 模拟井裂缝真实宽度与计算宽度误差分析

模拟井	真实宽度/mm	计算宽度/mm	绝对误差/mm	相对误差/%
M152	11.1	10.5	-0.6	-5
	9.9	9.4	-0.5	-5
	8.0	7.8	-0.2	-3
	10.0	11.6	1.6	16
	13.0	12.9	-0.1	-1
	14.8	15.5	0.7	5
	10.5	10.1	-0.4	-4
	4.0	3.6	-0.4	-10
	11.2	11.8	0.6	5
	15.8	11.2	-4.6	-29
M241	12.8	14.5	1.7	13
	9.0	8.4	-0.6	-7
	8.8	8.8	0.0	0
	9.5	10.0	0.5	5
	12.0	12.5	0.5	4
M251	15.2	15.6	0.4	3
	13.0	14.2	1.2	9
	3.0	3.2	0.2	7
	11.5	13.5	2.0	17
	16.2	16.0	-0.2	-1
M251-152	13.0	12.2	-0.8	-6
	12.0	11.7	-0.3	-3
	9.0	11.1	2.1	23
	12.5	13.9	1.4	11
	15.0	14.3	-0.7	-5
	18.5	18.5	0.0	0
	16.3	16.4	0.1	1
	4.5	4.0	-0.5	-11
	14.5	14.0	-0.5	-3
	19.4	18.5	-0.9	-5

性储层的储渗空间提供了有效的手段和方法, 为储层流体类型识别奠定了良好的基础。在辽河油田火成岩、变质岩及碳酸盐岩储层流体类型识别中, 取得了良好的效果。

2.1 火成岩储层流体类型识别

小23井是辽河东部凹陷火成岩地层的一口重点探井, 储层岩性主要为粗面岩。在3107~3134 m与3134~3145 m处, 三孔隙度测井资料表明, 孔隙度变化较小, 且难以判断孔隙度的变化是受裂缝(或基质孔隙)的影响还是受矿物组份变化的影响; 而电阻率数值与径向关系变化也不大, 因此很难了解地层有效孔隙度和裂缝的发育程度。从声波成像成果图(封三彩图1)上可以看出, 在3107~3108 m存在走向近南北的角度为35°的高导裂缝, 在3108~3120.5 m发育走向近南北, 开度变化较大的近垂直裂缝; 3120~3121 m也发育有数条低角度高导裂缝。计算结果显示裂缝视宽度约12 cm, 裂缝开度约2 mm。图像特征表明, 只有部分裂缝被充

填,说明本段地层具有较好的储集性和渗透性。对本层进行试油获得日产 128 m^3 的高产工业油流。

2.2 碳酸盐岩储层流体类型识别

(1)曙 103-4 井地层以白云质灰岩、灰质白云岩为主,地层孔、缝、洞都比较发育。3 343 ~ 3 388 m 地层为灰质白云岩,其中 3 343 ~ 3 351 m 处高角度裂缝发育,3 356 ~ 3 364 m 及 3 365.5 ~ 3 369 m 处中、低角度裂缝发育。但后者整段图像幅度偏暗,传播时间无明显增大的趋势,分析发育有微孔隙、微裂缝。在密度、中子和声波时差三孔隙度测井曲线上,可见本段地层孔隙度比其它裂缝发育地层明显增大。3 369 m 处存在暗色条带,表明由于上下地层岩石强度的差异,导致在钻井过程中井壁岩石崩落,从井径测井资料上能看出井眼明显增大。3 369 ~ 3 382 m 地层为白云质灰岩,局部层段发育少量裂缝,但均被岩脉充填,为无效裂缝。3 382 ~ 3 388 m 处回波幅度颜色浅,回波均匀,发育 5 条中角度裂缝,且在最小主应力方向上出现两道方位差 180° 的暗色条带,为水力压裂诱导缝。初期试油只产水,基本不产油,经压裂酸化改造后,日产油 10.27 t 、气 $4\ 188\text{ m}^3$ 。

(2)安 22-29 井储层岩性为碳酸盐岩。在常规测井曲线上,2 754 ~ 2 758 m 处三孔隙度增大,电阻率、

自然伽马呈低值,表明该井段次生孔隙发育,但不能确定是裂缝还是溶蚀孔,在 CBIL 图(封三彩图 2)上,有 2 条低角度裂缝与其上、下的溶蚀孔相连。六臂倾角指示发育一组倾角为 50° 多度,方位为西偏北、西偏南的网状裂缝。这表明溶蚀孔隙的存在会引起倾角确定的裂缝产状不准。该井 2 735 ~ 2 778 m 井段试油,初期日产油 30.7 t 、气 $1\ 503\text{ m}^3$ 、水 26.8 m^3 。

3 结论

(1)在声电成像模拟井的基础上建立的裂缝宽度的计算方法,在实践中被证明是可靠而有效的,对于认识和评价裂缝性储层的储渗空间具有重要作用。

(2)通过计算裂缝参数,进而进行储层流体类型的识别。在多种岩性类型的裂缝性储层的流体类型识别中,取得了良好的效果。

参考文献:

- [1] 刘呈冰,史占国,李俊国,等.全面评价低孔裂缝/孔洞型碳酸盐岩及火成岩储层[J].测井技术,1999,23(6):457-465.
- [2] 王志章,熊琦华,徐樟友,等.裂缝性油藏描述及预测[M].北京:石油工业出版社,1999.

THE QUANTITATIVE CALCULATION OF FRACTURE WIDTH AND THE IDENTIFICATION OF THE RESERVOIR FLUID TYPE

WEI Bin^{1,2}, LU Yu-zhou², QIAO De-xin², WANG Xiao-feng², SUN Bao-xi²

(1. Department of Engineering Mechanics, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Logging Company, Liaohe Administration of Petroleum Exploration, Panjin 124011, China)

Abstract: On the basis of simulative well of Circumferential Borehole Imaging Log finished by Liaohe wireline services, the method calculating the width of fracture is established. The means is applied to evaluate parameters of fracture reservoir. The reservoir fluid types are identified by composite interpretation, and obvious geological effect has been obtained in complex rock reservoir of Liaohe Oil-field.

Key words: fracture; calculation; Circumferential Borehole Imaging Log (CBIL) fluid type; identification; complex rock reservoir

作者简介: 魏斌(1967-),男,博士后,现在清华大学从事博士后研究工作,主要研究方向为剩余油分布及储层流体类型识别研究,发表论文数篇。