

基于岩石力学参数评价火山岩裂缝发育程度

刘之的¹ 汤小燕¹ 于红果² 张伯新²

1.西安科技大学地质与环境学院 2.中国石油天然气集团公司西部钻探工程有限测井公司

刘之的等.基于岩石力学参数评价火山岩裂缝发育程度.天然气工业,2009,29(11):20-21.

摘要 裂缝性油气藏研究中,裂缝识别一直是测井解释的一个难点,常规测井方法识别裂缝的精度不能满足油气勘探开发的需求。而岩石力学参数揭示了地质历史时期裂缝成因类型、空间分布和形成的力学机理,从一定程度上反映了裂缝的发育程度。在对准噶尔盆地40块岩样进行岩石力学参数室内试验的基础上,利用弹性模量、体积模量、剪切模量等岩石力学参数来构建能够较好反映裂缝发育程度的岩石完整性系数、裂缝发育程度指标、岩石稳定系数3个计算模型,并将模型程序化,利用此3个评价指标来对火山岩的裂缝发育程度进行逐点自动处理识别。识别结果与岩心描述、成像测井对比表明,该方法能够较准确地对火山岩的裂缝进行识别且精度较高、实用性强,能满足火山岩地层裂缝测井识别精度的要求。

关键词 岩石力学 参数 火山岩 裂缝 发育程度 测井解释 评价指标

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.11.006

随着裂缝性油气藏逐渐成为勘探的热点,各种识别裂缝的测井方法也应运而生^[1-3]。准噶尔盆地火成岩经历了多期构造运动构造应力场的改造,形成多组多类型的裂缝。构造应力可以有张应力、压应力、剪应力和复合应力,形成的构造也有张性、压性、剪性和复合裂缝。笔者利用准噶尔盆地西北缘火山岩岩心,采用三轴压缩岩石力学实验研究其抗压性和抗拉性等,对裂缝发育程度进行半定量评价。

1 岩石力学室内试验

对新疆准噶尔盆地X1井等9口井40块岩样(其中:安山—玄武岩15块、火山角砾岩8块、凝灰岩7块、砂砾岩10块)进行岩石力学参数测量实验。在上述岩石中,用于常温常压的样品为20块、用于高温高压地层条件下的样品为20块,测量参数为抗压强度、抗张强度、抗剪强度、弹性模量、体积模量、剪切模量、泊松比。部分试验结果如表1所示。

表1所示的是岩石的静力学参数,利用纵横波、密度测井计算得到的岩石的动力学参数。评价裂缝发育程度的指标所用的是静力学参数,而为了逐点评价裂缝发育程度,必须将测井计算的动力学参数转换为静力学参数。实验研究表明,对于一块完整

的岩石来说,其动、静力学参数十分接近,基本可以相互转换^[4]。

2 评价裂缝发育程度的指标

2.1 完整性系数(K_V)

$$K_V = \left(\frac{v_M}{v_R} \right)^2 \quad (1)$$

式中: v_M 为岩体的纵波声速,即测井得到的纵波声速。 v_R 为岩石纵波声速,即岩石骨架的理论纵波声速。

比值 K_V 反映了岩体的完整性,即岩体越完整, v_M 越大,也越接近 v_R ,则 K_V 就越大。

2.2 裂缝发育程度(R_F)

直接利用计算的岩石破裂系数作为裂缝发育程度指标,即

$$R_F = \frac{E_{ma} - E}{E_{ma}} \quad (2)$$

式中: E 为岩体的动弹性模量,由测井资料直接求得; E_{ma} 为岩石骨架的动弹性模量,由理论值求得。

由于 E 与岩体的破裂程度相关,岩体越破裂, E 越小,而 E_{ma} 对同一种岩石来说是一个常数,故 R_F 越大。因此,用 R_F 消除了岩石本身性质对 E 的影响,而突出了岩体的破碎程度。

作者简介:刘之的,1978年生,副研究员,博士;2006年毕业于西南石油大学并获博士学位,主要从事储层测井评价研究工作。地址:(710054)陕西省西安市雁塔北路中段58号西安科技大学地质与环境学院。电话:15891306700。E-mail:lzdtxy@sina.com

表1 石炭系岩石三轴实验结果表

井号	岩样号	岩性	泊松比	体积模量 (MPa)	剪切模量 (MPa)	杨氏模量 (MPa)	抗压强度 (MPa)	抗剪强度 (MPa)	抗张强度 (MPa)
X1	1	凝灰岩	0.147	15 625	17 580	40 252	201.88	115.69	16.82
	2		0.102	9 646	10 451	23 034	374.40	120.12	31.20
	3		0.115	12 622	13 075	29 157	233.00	97.82	19.42
X2	1	火山角砾岩	0.155	10 508	10 459	20 954	140.07	48.10	11.67
	2		0.148	8 747	8 922	17 769	151.13	53.17	12.60
X3	1	安山岩	0.139	10 964	10 334	23 576	189.60	64.73	15.80
	2		0.150	11 364	10 376	23 864	168.90	63.84	14.08
	3		0.141	10 785	10 098	23 074	185.53	62.58	15.46
	4		0.123	12 712	12 802	28 754	265.40	112.21	22.12

如果有密度测井,且质量较好时,最好用岩体破裂系数来描述裂缝发育程度,但如果没有密度资料或质量太差,则可用完整系数或纵横波速度比。在使用纵横波速度比时,需注意岩性差异引起的系统误差,如石灰岩为1.9,白云岩为1.8,砂岩为1.7,本次研究确定的火山岩为1.82。因此必须已知岩性时,才能用来描述裂缝发育程度。

用长源距声波测井、密度测井可计算 E :

$$E = 2G(1 + \mu) \quad (3)$$

剪切模量是施加的应力与切向应变之比:

$$G = \alpha \frac{\rho}{\Delta t_s} \quad (4)$$

式中: α 为单位换算因子,为 1.34×10^4 ; ρ 为地层密度, g/cm^3 ; Δt_s 为横波时差, $\mu s/ft$ 。

根据岩石弹性力学理论,利用纵横波测井资料由式(4)可以求得连续的动态泊松比值(μ):

$$\mu = \frac{0.5(\Delta t_s / \Delta t_c)^2 - 1}{(\Delta t_s / \Delta t_c)^2 - 1} \quad (5)$$

式中: Δt_c 、 Δt_s 分别为地层的纵、横波时差, $\mu s/ft$ 。

2.3 岩石稳定系数 (R_g)

$$R_g = K_b G \quad (6)$$

式中: 体积模量 $K_b = \frac{1}{C_b}$; 剪切模量 $G = \rho \frac{\alpha}{\Delta t_s}$ 。

岩石力学参数反映了岩石力学性质,由于岩石并非真正钢体,因而研究其弹性力学性质是分析裂缝发育的主要方法之一。在理论上分析存在裂缝的岩石力学参数变化特征是: 裂缝发育将使横波时差有所增加,而岩石密度将不同程度降低,因而引起杨氏模量降低,同时也使岩石剪切模量降低。裂缝与伴生的孔洞增加,将使岩石体积压缩系数增加,而造成体积模量减小。裂缝发育使岩石初始剪切模量减小,同时也使岩石稳定系数降低。由于裂缝发育造

成杨氏模量降低,而岩石类型确定,岩石基块的岩石模量是固定的,因而裂缝发育将造成储集岩的裂缝发育程度指标增加。

3 处理成果及分析

将上述评价裂缝发育程度指标的计算模型和参考文献[1]所述岩石力学动静态转换关系式编制成 Fortran 语言,挂接在 Forward 测井解释平台上,实现单井逐点可视化处理。对工区内 10 多口具有成像测井资料和岩心描述的井进行了裂缝发育程度指标处理,图 1 为白 005 井裂缝发育程度评价综合成果图。由图 1 不难发现,630~652 m 井段,完整性系数值较低、裂缝发育程度指标值较高、岩石稳定系数值偏低,从所对应的成像测井图上可以看出,该段斜交缝和网状缝较为发育,岩心描述为半充填的低角度和网状缝。从工区内其他井的处理情况来看,处理结果与成像测井和岩心描述对应性都较好。因此,笔者所述方法对研究工区火山岩裂缝发育程度评价较为有效。

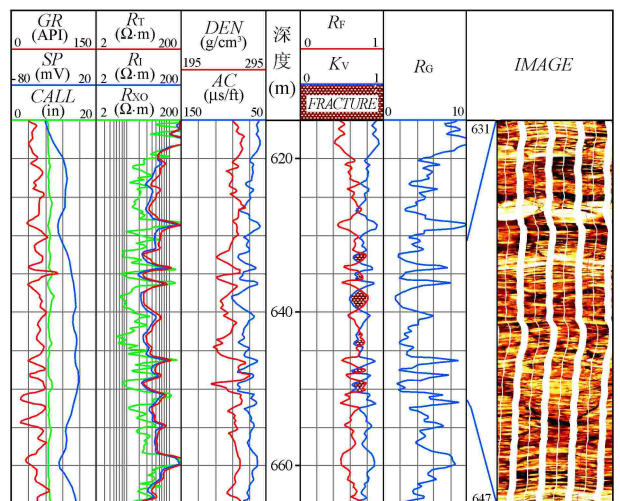


图1 白005井裂缝发育程度评价综合图

4 结 论

1) 基于岩石力学参数的评价方法综合各种测井信息对裂缝发育程度进行判别, 克服了利用少数测井信息识别裂缝准确率较低的缺点。

2) 实际应用表明, 该方法识别结果与岩心描述和成像测井有很好的一致性, 是一种行之有效的判别裂缝存在的定量识别方法。

3) 该方法为利用常规测井曲线进行裂缝识别开辟了一条新途径, 尤其为我国老油气田仅有常规测井资料时的裂缝识别提供了一种新方法。

参 考 文 献

- [1] 刘之的. 石炭系储层流体性质识别方法研究[R]. 克拉玛依: 中国石油新疆油田公司, 2008.
- [2] 刘之的. 九区南石炭系储层测井评价方法[R]. 克拉玛依: 中国石油新疆油田重油开发公司, 2006.
- [3] 赵良孝. 碳酸盐岩储层测井评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [4] 刘之的. 碳酸盐岩地层井壁稳定性测井评价方法研究[D]. 成都: 西南石油学院, 2004.

(修改回稿日期 2009-09-10 编辑 罗冬梅)