

文章编号: 0253-9985(2011)01-0083-08

火成岩裂缝性储层测井评价 ——以准噶尔盆地石炭系火成岩油藏为例

陈冬¹, 陈力群², 魏修成¹, 汪中浩³

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083 2. 中国地质大学, 北京 100083

3. 长江大学, 湖北 荆州 434023)

摘要:以准噶尔盆地石炭系火成岩油藏为研究对象,从油藏地质特点和测井特征出发,利用取心资料和常规测井数据,研究该区火成岩裂缝的成因及特点。采用 $M-N$ 交会图对火成岩岩性进行识别;在考虑裂缝对孔渗影响的基础上,提出了裂缝各种弹性参数的计算方法;结合电成像测井资料、试油资料以及岩心描述,构建了该区火成岩裂缝储层测井综合评价方法。研究发现,裂缝在弹性参数上表现为低杨氏模量和高泊松比特征。该方法能够较好地满足利用测井资料对该地区火成岩裂缝性油藏进行研究的需要。

关键词:弹性参数;裂缝;成像测井;测井评价;火成岩;石炭系;准噶尔盆地

中图分类号: TE122.2 **文献标识码:** A

Log evaluation of fractured igneous reservoirs: a case study of the Carboniferous igneous reservoirs in the Junggar Basin

Chen Dong¹, Chen Liqun², Wei Xucheng¹ and Wang Zhonghao³

(1. SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China)

Abstract Taking the Carboniferous igneous reservoirs of Junggar Basin as an example, the authors examine the origin and characteristics of fractures in the igneous rocks by using reservoir geology, core data and conventional log data. Lithology of the igneous rocks are identified by $M-N$ cross plot. Taking the impact of fractures on porosity and permeability into consideration, we put forward methods for calculating elastic parameters of fractures. In combination with imaging log data, formation testing data and core description, we establish a composite evaluation method for fractured igneous reservoirs in this area. The study shows that the fractures feature in low Yang modulus and high Poisson ratio. The method can meet the needs of studying fractured igneous reservoirs in this area.

Key words elastic parameter; fracture; imaging logging; log evaluation; igneous rock; Carboniferous; Junggar Basin

火成岩油藏作为裂缝-溶蚀孔洞双孔隙介质非均质储层,由于其固有的矿物成分复杂、岩石各向异性强烈、储层孔隙类型多样的特点,它具有比碎屑砂岩和碳酸盐岩更为复杂的岩电关系^[1-2]。

在火成岩储层中,裂缝大多数分布在基岩电阻率较高的硬地层中,它既是油气储集空间,又是油气渗流的通道,裂缝的发育程度和有效性在一定程度上决定了油气的产出量,而常规测井数据和先

收稿日期: 2010-12-05

第一作者简介: 陈冬(1980-),男,博士,储层预测。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40839901)。

进的成像测井技术为裂缝的研究提供了丰富的岩石物理参数信息,因此综合各种测井资料对裂缝进行识别和评价对于火成岩的研究具有重要的指导意义。

近年来,国内外在火成岩测井评价方面都取得了一些长足的进步,如三维空间识别火成岩岩性、流体性质,核磁和元素测井确定裂缝孔隙度和饱和度等,但这些进展都依赖于单项技术的突破,在生产测试前缺乏多手段的相互验证,可信度略显单薄。本文在对准噶尔盆地潜山火成岩测井响应特征进行详细分析的基础上,根据“低杨氏模量高泊松比”的弹性力学参数特征,结合常规测井与 FM I 成像测井资料,提出了针对该区火成岩裂缝性储层测井评价的有效方法。

1 区域构造及岩性识别

准噶尔盆地西北缘车排子地区构造上属于准噶尔盆地西部的一个二级隆起单元,东面紧邻红车断裂带,南面为南缘冲断带的四棵树凹陷,北西伸入扎伊尔山山前^[3]。由于受多期构造运动作用,该地区形成多条南北向大型逆冲断裂和自东向西抬起的断裂带,是一个构造十分复杂的断块区域,西北缘地区石炭系油藏是在新疆准噶尔盆地腹部发现的一个深层、低孔隙、低渗透、裂缝性的古潜山火山岩油藏。

国内外学者多采用直方图和交会图来分析不同火成岩在测井曲线上的响应特征,并辅以数学统计方法来进行火成岩储层测井岩性识别,取得了诸多成果^[4-10]。根据贾春明^[3]对 36 口井的取心资料分析,该地区火成岩岩性主要是中基性火山熔岩、火山碎屑岩,含少量酸性岩,火山碎屑沉积岩也占有一定比例,发育少量沉积岩,个别井出现中性侵入岩。在本次研究中,笔者利用 M - N 交会图对该地区火成岩岩性进行了划分。

假设在中子-密度和声波-密度交会图中各岩石的骨架-流体线都是直线,则可以分别计算密度与中子交会图及密度与声波交会图中的每一个骨架-流体斜率。显然,这些斜率是与岩石孔隙度无关(假设不包括裂缝孔隙度)而主要反映岩石的参数。对于每一种矿物或纯岩石,其 M 和 N 值都是定值,如纯石英砂岩,在 M - N 交会图上只是一个点。而对多数矿物来说,如火成岩的安山岩由

于其矿物成分可以有一定的范围,对于井段上的任一点计算的 M 和 N 值,只要落在确定的范围内就可以划分为该岩类。

$$M = \frac{\Delta t_f - \Delta t}{\rho_b - \rho_f} \times 0.01 \quad (1)$$

$$N = \frac{\phi_{Nf} - \phi_N}{\rho_b - \rho_f} \quad (2)$$

式中, Δt 和 Δt_f 分别为实测岩石和流体的声波时差, $\mu s/m$; ρ_b 和 ρ_f 分别为实测岩石和流体的密度, g/cm^3 ; ϕ_N 和 ϕ_{Nf} 分别为实测岩石和流体的中子孔隙度测井值。对于淡水泥浆, $\Delta t_f = 189 \mu s/m$, $\phi_{Nf} = 1$, $\rho_f = 1.0 g/cm^3$ 。

中子孔隙度的单位是石灰岩孔隙度, M 值乘以系数 0.01 是使它大小适度,易于在图版上刻度, M - N 交会图中 M 和 N 可视为无量纲数据。骨架值的确定除流纹岩是借鉴的外,其他岩性的骨架值用薄片资料确定。从车排子火成岩的 M - N 交会图中可知(图 1),从基性到酸性火山岩(玄武岩—安山岩—沉凝灰岩), M 和 N 值有递增的趋势。玄武岩(图 1a) M 和 N 值最小;安山岩(图 1b),沉凝灰岩(图 1c)和流纹岩 M 和 N 值大,而且沉凝灰岩 M 和 N 值比流纹岩小;玄武角砾岩(图 1d) M 和 N 值大于玄武岩,与安山岩相比,玄武角砾岩 M 值较小, N 值较大。

2 火成岩裂缝测井响应

裂缝是岩石受力形成的一种没有明显位移的脆性构造,其形成的根本原因是岩石所受的应力超过其强度造成的^[11-27]。火成岩储层中缝宽度一般较大,具有裂缝成因和产状多样、多期性,相互切割成裂缝网络、裂缝充填高度高,充填物分层次、裂缝密度变化大的特点。

通过对该区 31 口取心井资料的研究,统计出裂缝在各种岩性地层中的发育情况(图 2)。裂缝在 6 种岩性的地层中都有发育,其中安山岩中的裂缝发育最为普遍,凝灰岩、沉积岩中发育情况次之,角砾岩和玄武岩中也有大量裂缝发育,流纹岩中出现裂缝的情况较少。

结合岩心实验资料和 FM I 成像资料,统计准噶尔盆地西北缘车排子地区 42 口井的常规测井资料、FM I 成像测井和岩心资料,将所有裂缝划分为垂直裂缝、高角度裂缝、斜交裂缝、水平裂缝和

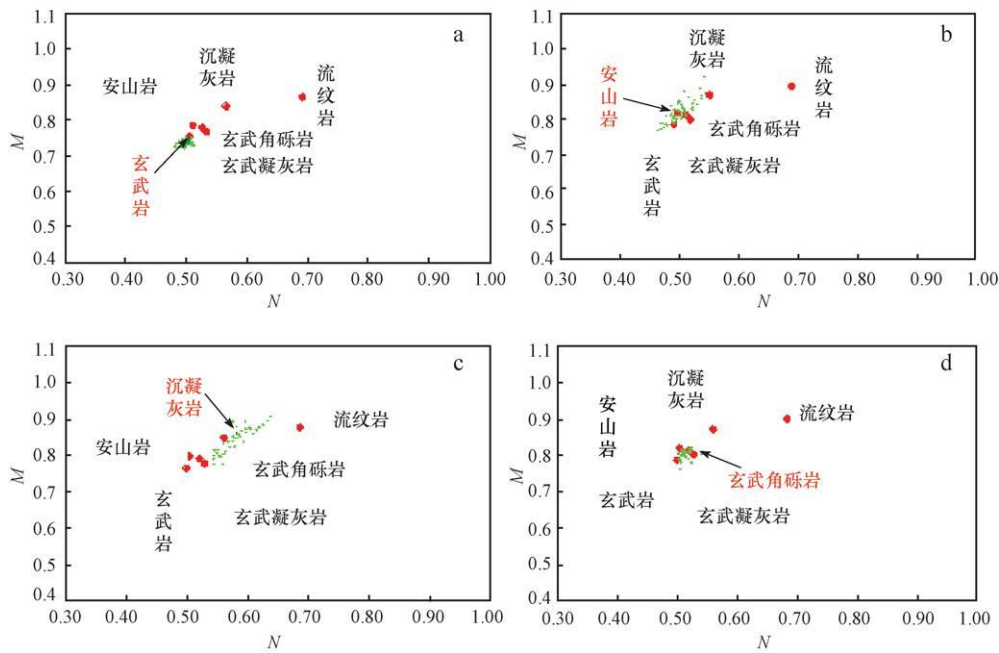


图 1 $M-N$ 交会图识别火成岩岩性实例

Fig. 1 Identification of igneous rock lithologies on $M-N$ cross plots

a. 车 A 井, 2 006~2 015 m, 玄武岩, 薄片验证; b. 车 B 井, 1 492~1 500 m, 安山岩, 薄片验证; c. 车 C 井, 1 482~1 488 m, 沉凝灰岩, 薄片验证; d. 车 D 井, 1 749~1 753 m, 玄武质角砾岩, 薄片验证

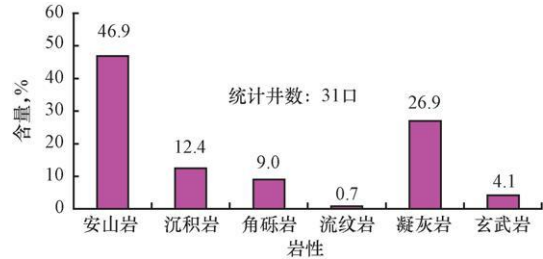


图 2 准噶尔盆地西北缘车排子地区不同岩性裂缝发育统计

Fig. 2 Statistics of fractures in different lithologies at Chepaizi area the northwestern margin of the Junggar Basin

网状裂缝 5种。对资料相对齐全的车峰 X 井 1 600~1 900 m 井段 (石炭系) 的测井解释综合成果图进行裂缝分析 (图 3), 图中左侧为常规测井曲线, 右侧为 FM I 成像测井图像, 依据 FM I 成像测井资料和岩心描述得到车峰 X 井的裂缝成果数据表 (表 1)。

研究发现, 在裂缝发育段, 冲洗带电阻率 (R_{xo}) 曲线出现毛刺状跳跃现象, 声波时差 (AC) 在裂缝无充填时变大, 有时会伴随有周波跳跃的现象, 但是如果深度太深的时候这种现象变得不明显 (表 1; 图 3); 视电阻率 (R_t)、冲洗带电阻率 (R_{xo}), 在裂缝发育且无充填的时候变小, 密度

(DEN) 有变小的趋势, 自然伽马 (GR)、声波时差 (AC) 和中子孔隙度 (CNL) 相对没有裂缝发育的地方会变大 (表 1; 图 3)。当裂缝有充填时上述常规测井曲线变化特征不明显, 裂缝变得不容易识别。在微电阻率扫描成像 (FM I) 资料上, 由于围岩的电阻率比泥浆电阻率高, 所以各种类型的开启裂缝在成像图上都表现为深色正弦线, 而闭合缝由于被高电阻率的方解石等充填表现为亮的正弦线, 由 FM I 图可定出裂缝的倾角和走向。

3 弹性力学参数计算

部分裂缝利用常规测井曲线难以识别, 这是因为网状或不规则裂缝多被填充或半填充后成为无效缝, 或者垂直裂缝在测井过程中, 测井仪器的探头刚好错过了裂缝, 裂缝就无法在测井曲线上反映出来。因此, 为了提高裂缝识别准确率, 引入杨氏模量等弹性力学参数来综合识别裂缝。

根据波动理论, 利用纵波声波时差和密度等测井资料, 可以计算得到岩石的泊松比、杨氏模量等表征岩石机械强度的弹性参数。在这些弹性参数的计算中, 需要有地层的横波速度, 但在常规测井中并没有直接的横波测量结果, 因此只能通过

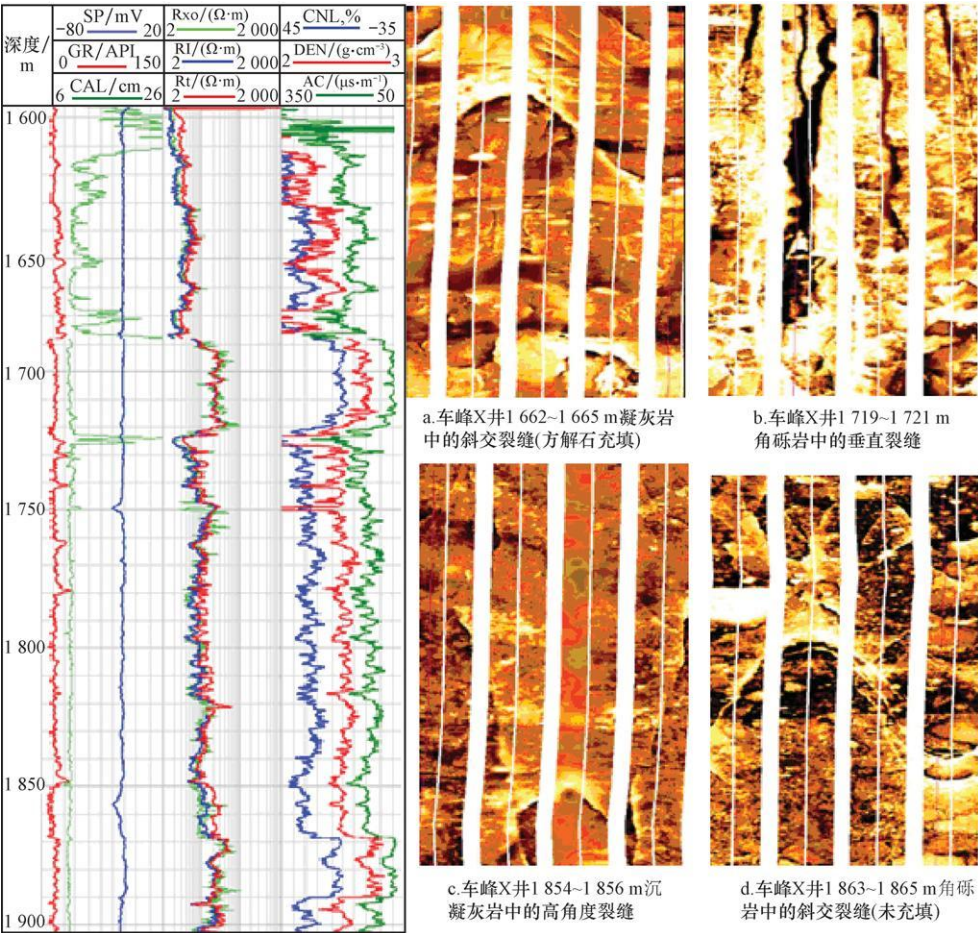


图 3 准噶尔盆地西北缘车排子地区车峰 X 井石炭系火成岩测井响应特征

Fig 3 Log responses of the Carboniferous igneous rocks in Chefeng X well at Chepaizi area the northwestem margin of the Junggar Basin

表 1 准噶尔盆地西北缘车排子地区车峰 X 井 FM I 裂缝识别成果

Table 1 Fractures identified by FM I in Chefeng X well at Chepaizi area the northwestern margin of the Junggar Basin			
深度 /m	裂缝类型	深度 /m	裂缝类型
1 600 ~ 1 639	溶洞型裂缝	1 740 ~ 1 760	垂直裂缝
1 639 ~ 1 649	垂直型充填裂缝	1 760 ~ 1 804	水平裂缝
1 649 ~ 1 657	水平裂缝	1 804 ~ 1 837	高角度斜交裂缝
1 687 ~ 1 718	网状充填裂缝	1 837 ~ 1 869	斜交裂缝
1 718 ~ 1 721	垂直裂缝	1 869 ~ 1 890	网状充填裂缝
1 730 ~ 1 740	水平 /低角度裂缝	1 890 ~ 1 900	斜交裂缝

声波纵波测井资料和地层岩性资料转换而得到,在岩性相对均一的地层中,采用下式来确定横波速度:

$$V_s = \left[1 - 1.15 \left(\frac{\rho^2 + 1}{e^{1/\rho^3}} \right) \right]^{1.15} V_p \quad (3)$$

式中: V_s 为利用纵波速度计算的横波速度, m / s; ρ 为地层体积密度, g / cm³; V_p 为纵波速度, m / s 纵波速度即为测井纵波声波时差的倒数。

本次研究中通过与全波列测井实际测量得到

的横波速度(由横波时差求倒数计算得到)来验证依据式(3)求取的横波速度 V_s 。在研究区域内是否准确适用。选取研究区域内进行了全波列测井的车 A 井,图 4 中横坐标为该井全波列测井实际测量得到的横波速度,纵坐标为由式(3)根据纵波速度计算得到的横波速度,红色的斜线为 45°线。当横纵坐标相同刻度时,计算得到的横波速度与实测横波速度平均分布在 45°线上下,说明二者数值

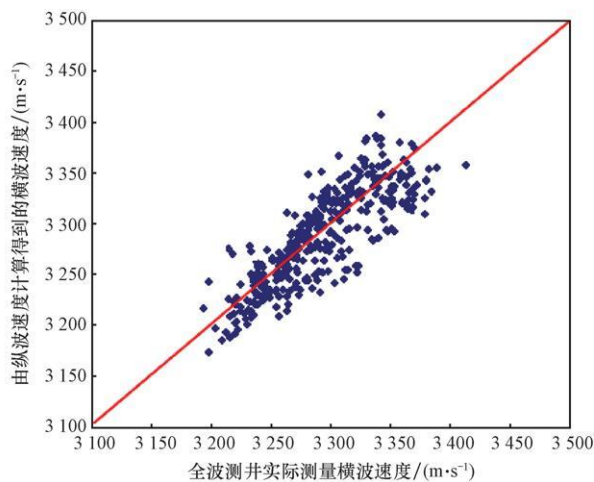


图 4 准噶尔盆地西北缘车排子地区计算得到的横波速度与实测横波速度对比

Fig. 4 Comparison between the calculated and measured shear velocity at Chepaizi area the northwestern margin of the Junggar Basin

接近, 利用式 (3) 在该地区由纵波速度计算横波速度是可靠的。

求取横波速度 V_s 之后, 其他弹性参数的求取就变得容易多了^[12]。依次得到各弹性参数计算如下:

$$\text{泊松比: } \sigma = \frac{0.5(V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad (4)$$

该参数表征在岩石的比例极限内, 材料的伸长 (缩短) 量与截面尺寸的相对缩小 (增大) 量, 亦即岩石横向应变与纵向应变的比值, 也叫横向变性系数, 它是反映材料横向变形的弹性常数, 无量纲。由于横波传播不受储集空间流体的影响, 地层含气以后, V_p 下降而 V_s 基本不变, 故当泊松比明显降低时可认为是储气层。

$$\text{杨氏模量: } E = \frac{(3V_p^2/V_s^2 - 4)\rho}{V_p^2 - V_s^2} \quad (5)$$

该参数表征岩石对受力作用的阻力, 即纵向应力与纵向应变的比值, 单位为 N/m^2 。固体介质对拉伸力的阻力越大, 弹性越好, 杨氏模量 E 值越大。

等效弹性模量 (EC) 表征剪切应力和剪切应力上发生的应变的比值。

$$EC = \rho V_p^2 \quad (6)$$

岩石的稳定参数 (RG) 表征岩石在受到外力情况下稳定性的指数, 可由等效弹性模量 EC 推导出来。

$$RG = 8.836 \left[V_p^2 V_s^2 - \frac{4}{3} V_s^4 \right] \quad (7)$$

4 应用实例

利用上面的横波速度和 4 个弹性力学参数, 对车排子石炭系所有取心井的裂缝段进行统计研究, 发现一个“三低两高”的现象: 低杨氏模量 (E)、低等效弹性模量 (EC)、低岩石的稳定参数 (RG) 和高横波速度 (V_s)、高泊松比 (σ)。对取心井车 X 井裂缝发育段的弹性参数结合岩心描述进行分析 (图 5), 该井在 2 055~2 058.5 m 取心, 裂缝段主要成分为火山碎屑具凝灰结构, 岩石致密, 不规则裂缝发育, 裂缝密度每 10 cm 为 10~15 条, 缝长 0.5~10 cm, 缝宽 0.2~2 mm, 大部分被硅质和方解石半充填或充填, 见斜层理及波状层理, 并具错动构造。

由 5 个参数的物理意义和变化特征, 为了简化裂缝识别的方法, 用杨氏模量 (E) 和泊松比 (σ) 就可以体现这 5 个参数所反应的裂缝特征, 再结合其他常规测井曲线特征, 以提高裂缝识别的准确率。

按照上述对取心井裂缝段弹性参数特征的分析方法, 本次研究针对车排子地区共识别了 42 口井, 累计 410 个裂缝段。以车 B 井为例 (图 6), 该井无取心资料, 也没有进行成像测井, 在 1 050~1 053 m 及 1 060~1 064 m 井段, 泊松比变大, 杨氏模量减小, 表现为裂缝特征。结合常规电测曲线电阻率变小, 声波时差变大, 井径发生扩径等特征, 综合判断上述二井段处为裂缝发育段。利用该井岩屑录井的资料对上述裂缝识别结论进行验证, 录井描述该井段岩性为安山岩, 含油显示为荧光级别, 地层裂缝较发育, 由此证明了利用弹性参数特征综合识别裂缝的可靠性。

5 结论及建议

通过对车排子地区石炭系火成岩裂缝性储层的研究, 认为利用 $M-N$ 交会图能够对该区域发育的六种火成岩进行准确的岩性识别。在分析了火成岩不同类型裂缝的测井响应特征基础上, 提出利用泊松比和杨氏模量来识别裂缝, 在该地区的裂缝预测中取得了较好的应用效果。针对火成岩裂缝性储层评价的客观复杂性, 充分考虑岩石

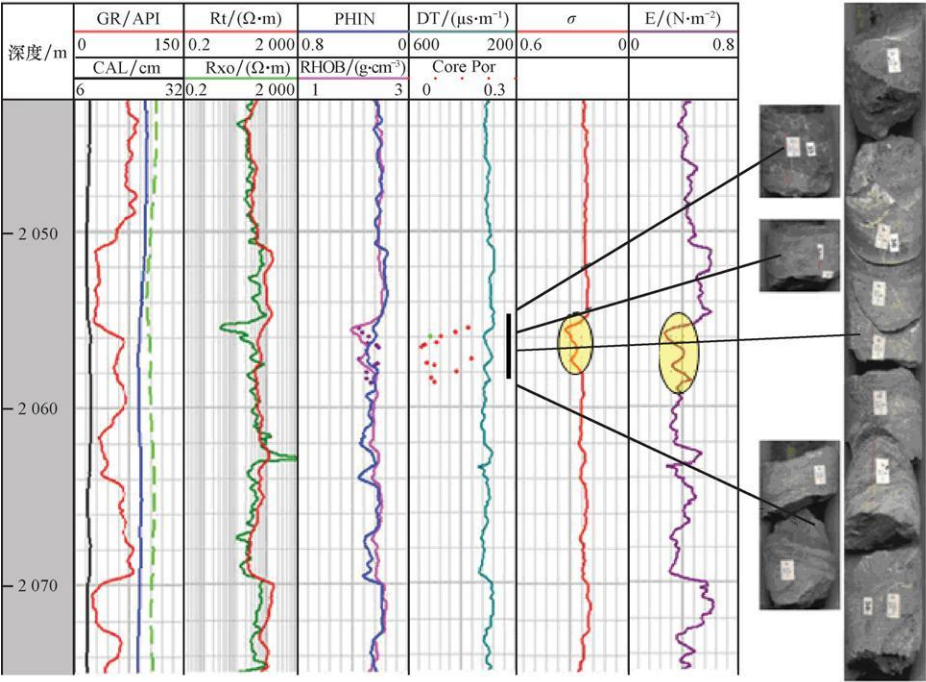


图 5 准噶尔盆地西北缘车排子地区车 X 井取心段裂缝弹性参数特征

Fig 5 Characteristics of elastic parameters of fractures in the cored interval of Chefeng X well at Chepaizi area the northwest margin of the Junggar Basin

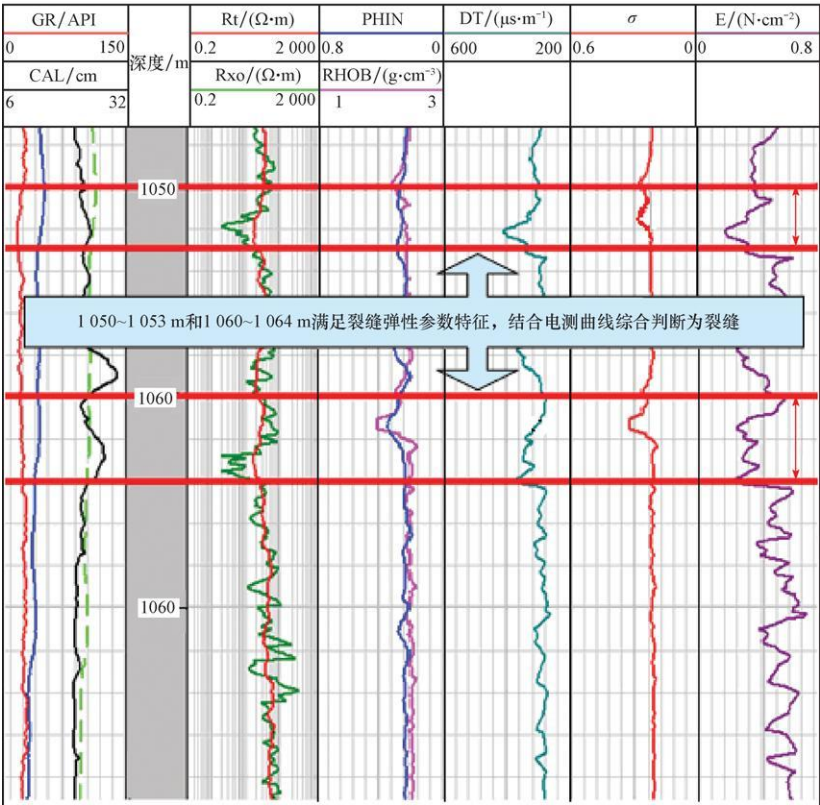


图 6 准噶尔盆地西北缘车排子地区车 B 井利用弹性参数特征综合识别裂缝实例

Fig 6 An example of fracture identification by elastic parameters in Che B well at Chepaizi area the northwest margin of the Junggar Basin

物理模型及孔隙流体对各种地球物理参数的不同影响,进而得到准确的储层参数实现储量的准确计算是火成岩储层需要进一步深入研究的方向。

参 考 文 献

[1] 潘保芝,薛林福,李舟波,等. 裂缝性火成岩储层测井评价方法与应用[M]. 北京:石油工业出版社,2003 1- 10.
Pan Baozhi Xue Linfu Li Zhouba, et al Well logging evaluation method and application of fractured igneous reservoirs [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2003 1- 10

[2] 朱海华,赵丹荣,宋明先. 成像测井在火成岩中的应用[J]. 石油仪器,2007 21(3): 63- 66.
Zhu Haihua Zhao Danrong Song Mingxian. Applications of imaging logging in the research of igneous rock[J]. Petroleum Instruments, 2007, 21(3): 63- 66

[3] 贾春明,支东明,邢成智,等. 准噶尔盆地车排子凸起火山岩储集层特征及控制因素[J]. 地质学报,2009 29(1): 33- 36
Jia Chunming Zhi Dongming Xing Chengzhi et al Features and control factors of volcanic rock reservoir in the Chepaizi Uplift Junggar Basin[J]. Acta Geologica, 2009 29(1): 33- 36

[4] Ketherve J An introduction to volcanic reservoirs and to their evaluation from wireline electrical measurements[C] // Note for a seminar 1977 33- 38.

[5] Scott K W. Borehole geophysics in igneous and metamorphic rocks[C] // The Log Analyst 1979 14- 28.

[6] Sanyal S K, Juprasert S, Jubasche J An evaluation of rhyolite basalt/volcanic ash sequence from well logs[C] // The Log Analyst 1980 18- 22.

[7] Benoit W R, Sethi D H, Fertl W H. Geothermal well log analysis at Desert Peak[C] // Nevada 21st SPWLA annual logging symposium transactions 1980 6- 12

[8] 石强. 火成岩测井解释方法研究[J]. 中国海上油气地质, 1996 10(6): 402- 406.
Shi Qiang Discussion on igneous rock logging interpretation[J]. China Offshore Oil and Gas 1996 10(6): 402- 406

[9] 肖尚斌,姜在兴,操应长,等. 火成岩油气藏分类初探[J]. 石油实验地质,1999,21(4): 324- 327
Xiao Shangbin Jiang Zaixing Cao Yingchang et al A preliminary approach to the classification of oil and gas reservoirs in igneous rocks[J]. Experimental Petroleum Geology 1999 21(4): 324- 327

[10] 武恒志,孟闲龙,杨江峰. 准噶尔盆地腹部车-莫古隆起区隐蔽油气藏形成条件与勘探技术[J]. 石油与天然气地质,2006 27(6): 779- 785, 803
Wu Hengzhi Meng Xianlong Yang Jiangfeng Formation conditions and prospecting technologies for subtle reservoirs in the Che-Mo paleohigh of central Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 779- 785, 803.

[11] 汤小燕,刘之的,邹正银,等. 准噶尔盆地六九区火成岩岩性识别方法研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),

2009 31(1): 29- 32.
Tang Xiaoyan Liu Zhidi Zou Zhengyin et al The identification method of igneous rock lithology in 69 area of Junggar Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2009, 31(1): 29- 32

[12] 张天云,陈奎,陶文宏. BP网络在火成岩岩石分类中的应用[J]. 甘肃科技,2003,19(9): 44- 45
Zhang Tianyun, Chen Kui Tao Wenhong Applications of BP network in classification of igneous rocks[J]. Gansu Science and Technology, 2003 19(9): 44- 45.

[13] 王志章. 裂缝性油藏描述及预测[M]. 北京:石油工业出版社,1999 3- 21.
Wang Zhizhang Fracture reservoir description & prediction [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1999: 3- 21

[14] 徐伯勋,白旭滨,于常青. 地震勘探信息技术——提取、分析和预测[M]. 北京:地质出版社,2001: 15- 27
Xu Boxun, Bai Xubin, Yu Changqing Seismic exploration information technology extraction analysis and prediction[M]. Beijing The Geological Publishing House, 2001: 15- 27.

[15] 陈新,卢华复,浦世照,等. 准噶尔盆地西北缘断裂体系分形特征与油气藏分布[J]. 石油与天然气地质,2006 27(4): 517- 521
Chen Xin, Lu Hufu, Pu Shizhao et al Fractal characteristics and reservoir distribution of fault system in the northwest margin of Jungar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(4): 517- 521

[16] 鹿洪友,陈小宏,张如伟. 桩海古潜山裂缝预测的方法研究——以胜利油田桩海地区为例[J]. 石油与天然气地质,2008 29(6): 758- 763.
Lu Hongyou Chen Xiaohong Zhang Ruwei Method study of fracture prediction in the Zhuanghai paleoburied hill: an example from the Zhuanghai Area of Shengli Oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(6): 758- 763

[17] Wang X, Zhang Yq Yan Px et al Application of Greenberg Castagna model in igneous rock region [C] // SEG Houston 2009 International Exposition and Annual Meeting 2009 2233- 2237

[18] 王文明. 测井参数量化技术在榆树林油田葡萄花储层物性解释中的应用[J]. 石油与天然气地质,2009 30(2): 230- 235
Wang Wenming Application of log parameter quantification technology to interpretation of the physical properties of the Putaohua reservoir in the Yushulin oilfield[J]. Oil & Gas Geology 2009, 30(2): 230- 235

[19] 刘乐,杨明慧,李春霞,等. 辽西低凸起变质岩潜山裂缝储层及成藏条件[J]. 石油与天然气地质,2009 30(2): 188- 194
Liu Le, Yang Minghui, Li Chunxia et al Fractured reservoirs in metamorphic buried-hills in the Liaoxi low uplift and their hydrocarbon accumulation conditions[J]. Oil & Gas Geology, 2009 30(2): 188- 194.

[20] Zhang J Sun Zd, Sun Y sh et al Identification and quantitative characterization of igneous rocks Method and application in the

north Hu in Sag[C]// SEG Houston 2009 International Exposition and Annual Meeting, 2009: 1020- 1024.

[21] Edna LM, William AM. A 3-D model of the Sudbury Igneous Complex[C]// SEG 1995. 1995: 777- 780

[22] 杨庚, 王晓波, 李本亮, 等. 准噶尔盆地西北缘斜向挤压构造与油气分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 26- 29
Yang Geng Wang Xiaobo Li Benliang, et al. Oblique compressional structures and hydrocarbon distribution patterns in the northwestern margin of the Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 26- 29

[23] 许风光, 邓少贵, 范宜仁, 等. 火成岩储层测井评价进展综述[J]. 勘探地球物理进展, 2006, 29(4): 239- 243
Xu Fengguang Deng Shaogui Fan Yiren, et al. Progress of log evaluation for igneous reservoir[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2006, 29(4): 239- 243

[24] 黄布宙, 潘保芝. 松辽盆地北部深层火成岩测井响应特征及岩性划分[J]. 石油物探, 2001, 40(3): 43- 44.
Huang Buzhou Pan Baozhi. The log characteristics of deep igneous rocks and lithology determination in the northern Songliao Basin[J]. Geophysical Prospecting For Petroleum, 2001, 40(3): 43- 44.

[25] 陈立英, 吴海波, 邢丽波. 火成岩复杂岩性测井识别及测井资料数字处理[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(6): 877- 879
Chen Liying Wu Haibo Xing Libo. Complex igneous rock lithologic logging recognition and numerical process of logging data[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2005, 27(6): 877- 879

[26] 冉启全, 胡永乐, 任宝生. 火成岩岩性识别方法及其应用研究——以大港枣园油田 35 块火成岩油藏为例[J]. 中国海上油气, 2005, 17(1): 26- 30.
Ran Qiquan, Hu Yongle, Ren Baosheng. A lithologic identification method of igneous rocks and its application: a case of the igneous reservoir in Block Zaoyuan 35[J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(1): 26- 30.

[27] 冯翠菊, 王敬岩, 冯庆付. 利用测井资料识别火成岩岩性的方法[J]. 大庆石油学院学报, 2004, 28(4): 9- 11.
Feng Cuiju, Wang Jingyan, Feng Qingfu. Distinguishing igneous rock lithology by logging data[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2004, 28(4): 9- 11.

(编辑 张亚雄)

(上接第 82 页)

[25] 杨克明, 张虹. 地震三维三分量技术在致密砂岩裂缝预测中的应用——以西新场气田为例[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 683- 689
Yang Keming Zhang Hong. Application of 3D-3C seismic technique to the prediction of fractures in tight sandstone[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5): 683- 689

[26] 刘金库, 彭军, 刘建军, 等. 绿泥石环边胶结物对致密砂岩孔隙的保存机制——以川中- 川南过渡带边界地区须家河组储层为例[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 53- 58.
Liu Jinku Peng Jun, Liu Jianjun, et al. Pore-preserving mechanism of chlorite rims in tight sandstone: an example from the T₃x Formation of Baojie area in the transitional zone from the central to Southern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 53- 58.

[27] 王金琪. 中国大型致密砂岩含气区展望[J]. 天然气工业, 2000, 20(1): 10- 16
Wang Jinqi. Prospects for the large sized tight sandstone gas bearing regions in China[J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(1): 10- 16.

(编辑 张亚雄)

《油气藏评价与开发》创刊暨征稿启事

《油气藏评价与开发》期刊将于 2011 年 4 月正式出版, 主办单位为中国石油化工集团公司华东石油局。该刊为双月刊, 对国内外公开发行人, 重点栏目有: 油气地质、油气藏评价、石油工程、非常规油气、综合信息等。

值此创刊之际, 热忱欢迎广大作者踊跃来稿。

通讯地址: 江苏省南京市江东中路 315 号中泰国际广场 6 号楼 1528 室

邮政编码: 210019

电子邮箱: 66scj@vip.sina.com

联系电话: 0523-86667121, 0523-86667184, 025-58777235

《油气藏评价与开发》编辑部