

文章编号: 0253-9985(2002)01-0045-04

成像、核磁共振测井在埕北裂缝性 储层评价中的应用

吴海燕, 朱留方

(胜利石油管理局测井公司, 山东东营 257015)

摘要: 裂缝性储层因其特有的岩石物理特性, 利用现有的地震资料及常规测井资料很难搞清其内幕构造、储集空间分布、孔隙类型、储层发育带与构造位置的关系等。但利用成像、核磁共振测井资料却可取得较好效果。首先在综合钻井、录井、测井、试油、岩芯资料的基础上, 用岩芯标定、刻度测井资料, 利用测井资料建立岩石的测井响应, 识别岩性; 其次, 在标定和识别岩性的基础上, 利用声电成像资料识别各种裂缝、孔洞, 并综合其他成像资料判别其裂缝有效性; 最后, 结合核磁共振测井资料建立测井解释模型, 对储层参数进行定量计算, 在定量评价的基础上, 综合各种信息对流体进行识别。埕北 30 潜山碳酸盐岩储层采用此方法进行评价, 发现其主要储层为古生界的八陡组、冶里—亮甲山组、上马家沟组、府君山组和太古界顶面风化壳。

关键词: 核磁共振; 成像测井; 裂缝性储层; 碳酸盐岩; 埕北潜山

第一作者简介: 吴海燕, 女, 33 岁, 高级工程师, 测井资料解释与评价

中图分类号: P65

文献标识码: A

成像测井最大优势是具有高分辨率、直观性和连续性, 这使它既能在垂向上分析宏观构造, 又能在微观上分析内部细微结构特征。胜利油区自 20 世纪 80 年代在桩西潜山碳酸盐岩及郑家花岗片麻岩裂缝性油藏成功钻探并获高产工业油流以来, 又先后在临盘、罗家、埕北海上等多个油田发现了火成岩、变质岩和碳酸盐岩等裂缝性油藏。笔者针对裂缝性储层评价的难点, 加强了对该类油藏的研究, 在利用成像、核磁共振测井资料识别裂缝系统及储层评价方面进行了一些尝试。

1 方法

要想对裂缝性碳酸盐岩及火成岩储层进行全面评价, 首先须在综合钻井、录井、测井、试油、岩芯资料的基础上, 用岩芯标定刻度测井资料, 利用测井资料建立岩石的测井响应, 根据测井响应来识别岩性。在标定和识别岩性的基础上, 利用声电成像资料识别各种裂缝、孔洞, 并综合其他成像资料判别其裂缝有效性, 同时利用各种定量评价裂缝技术对裂缝进行评价。结合核磁共振测井资料进一步建立测井解释模型, 从而对孔、渗、饱储层参数进行定量计算。在定量评价的基础上, 综合各种信息对

流体进行识别。

2 应用

埕北 30 潜山油藏是胜利油田近期勘探开发的重点, 该井区目前已钻探的 5 口探井(埕北 30、埕北 301、埕北 302、埕北 303、埕北 38)均钻遇下古生界及太古界。通过对岩芯及成像测井资料观察, 埕北 30 潜山碳酸盐岩地层主要储集空间可分为三大类: 即裂缝、溶蚀孔洞、晶孔。按成因可划分为原生储集空间和次生储集空间。原生储集空间主要是晶间孔和晶族孔, 它是由于白云岩晶体或方解石之间的间隙组成的孔隙, 是由于重结晶作用、白云化作用等形成的。这种储集空间类型主要发育在奥陶系冶里—亮甲山组的结晶白云岩中, 孔隙度一般为 3%~5%。对埕北 30 潜山油气富集起决定作用的是次生孔隙, 主要包括晶间溶孔、溶蚀洞、缝合线、裂缝。

2.1 裂缝的识别

利用成像资料识别裂缝时, 会受到地质现象如断层、层理以及泥质条带的影响, 可根据其在成像图上的不同特征进行区分。

(1) 裂缝与断层: 在成像图上断层两侧的地层表现为地层的错动, 而裂缝没有这种现象。

(2) 裂缝与层理: 在成像图上层理表现为一组平行或近似平行的电阻率异常, 非常有规律, 一般为低

角度或水平,而裂缝常表现为不平行,规律性差。

(3) 裂缝与泥质条带: 泥质条带的低阻异常一般平行,层面比较规则,当构造运动比较强烈时泥质条带发生变形和弯曲。排除地质现象和泥质条带后,根据裂缝的形成机理和形态,可分为高角度裂缝、垂直裂缝、低角度裂缝、网状缝、充填缝与溶蚀孔洞,它们在成像图上各有特点(图1)。高角度裂缝在成像图上表现为低阻的暗色条纹,形成高幅度的正弦或余弦波形,切割整个井眼;垂直缝在成像图上表现为低阻对称出现的暗色条纹,不能形成正弦或余弦波形,不能切割整个井眼;低角度裂缝

在成像图上表现为低阻的暗色条纹,形成一个低幅度的正弦或余弦波形,切割层理或井眼;网状缝在成像图上表现为暗色网状形态。

(4) 溶蚀孔洞: 在成像图上表现为暗色斑点的低阻团块。

2.2 裂缝有效性

2.2.1 FMI 与 ARI 的比较

一般来讲,FMI 径向探测深度比 ARI 小得多,因此 FMI 图上能显示的各种裂缝既包括有效裂缝也包括无效裂缝,而 ARI 图上能显示出来的裂缝主要是有效裂缝。

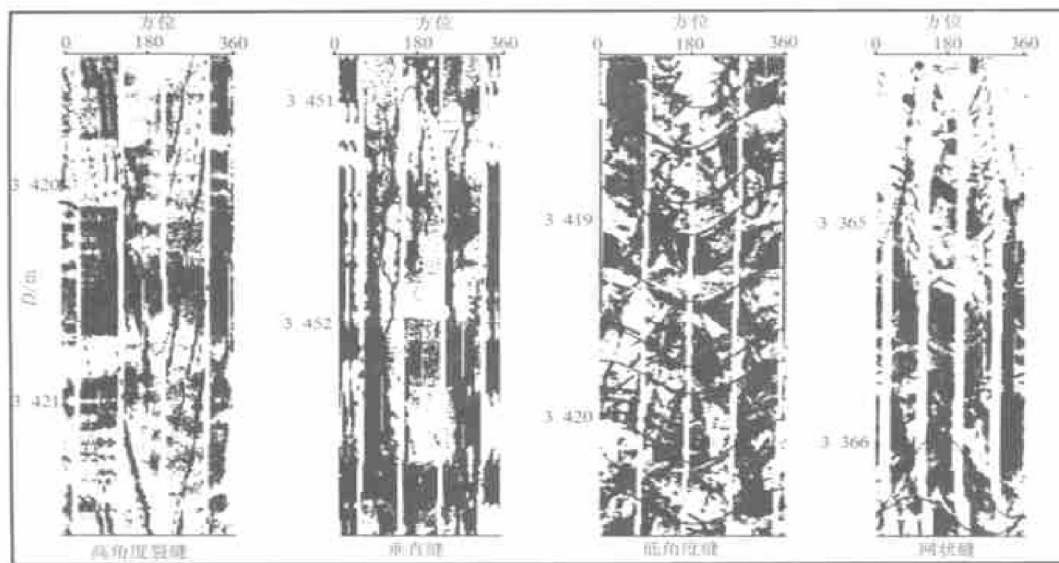


图1 不同角度的裂缝成像示意图

Fig. 1 Sketch map Showing fracture imaging of different angles

2.2.2 FMI 与核磁测井的 T2 分布

当裂缝被高阻矿物充填时,FMI 和 ARI 资料很容易识别出来,当裂缝被低阻矿物或泥质充填时,FMI 和 ARI 很难确定此类裂缝是否有效。由于核磁测井能够反映储层当中的可动流体与束缚流体以及孔隙大小的分布。如果裂缝、孔洞被泥质充填,那么核磁的 T2 分布上将表现出束缚流体,没有可动流体,由此可以判断裂缝是被低阻矿物或泥质所充填;如果裂缝、孔洞不被泥质充填,那么核磁的 T2 分布上将表现出可动流体和大孔隙分布,即 T2 弛豫时间特别长,从而确定出有效裂缝和孔洞。

2.2.3 井旁声波测井(BARS)

井旁声波反射成像仪(BARS)是新一代成像仪,通过这种超长源距的新型声波测井仪可以对井眼以外的声学不连续界面(包括裂缝、断层等)进行精细成像,最远成像可达到离井眼 10 m 以外,大大提高了判断井眼以外有效裂缝的能力,弥补了测井资料

本身横向识别裂缝的不足。埕北 38 井 BARS 测量井段内没有明显的反射纵波信号,表明在井旁 12 m 范围内,没有明显的高角度反射界面。转换波反射主要为较低倾角的反射界面,这些声阻抗界面的倾角约在 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 之间,成像资料反映的裂缝也主要是中低角度裂缝,两种资料反映的结果基本一致。BARS 成像图上表明在井旁 3 m 以内有较强的声阻抗界面,结合 FMI 图像发现在 4 114~4 126 m 和 4 198~4 206 m,地层界面和层理不太发育,但有较强的转换波反射,主要是由裂缝引起的,这些裂缝应是有效裂缝。

2.2.4 偶极声波测井

DSI 的波形变密度显示(VDL)可以识别裂缝和划分裂缝的发育层段,但显示特征受裂缝的倾角影响,低角度和网状裂缝在 VDL 图上显示基本与层面相似,并且纵、横波和斯通利波能量衰减较大,斯通利波出现“人”字型,人字型中交叉的位置就是裂

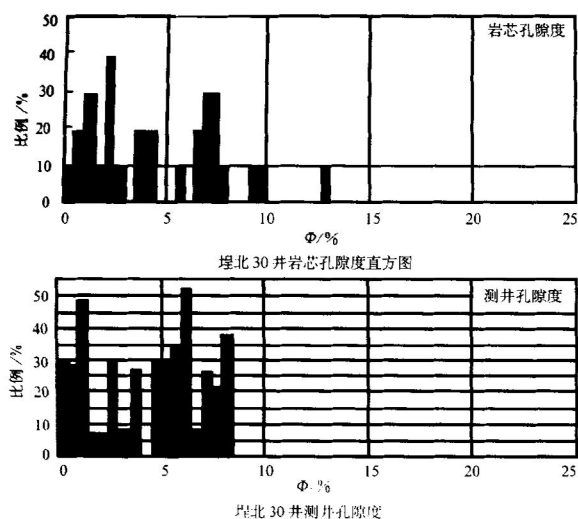


图2 埕北30井测井与岩芯分析孔隙度对比图

Fig. 2 Porosity comparison between log and core of Chengbei 30 Well

缝所在位置。诱导裂缝由于经向延伸较浅,各种波至的能量衰减影响不大,在VDL图上基本没有显示,结合成像资料(FMI)可以排除诱导裂缝。

2.3 裂缝性储层发育规律

裂缝性储层发育程度及其分布规律与地质构造、成岩作用、岩性特征、应力场的分布有着密切的关系。

2.3.1 构造裂缝

构造裂缝可进一步划分为区域裂缝、与褶皱有关的裂缝、与断层有关的裂缝。

区域裂缝在一定区域内广泛发育,方位变化不大,往往呈两组正交的形式,裂缝面常垂直层面,几何形态简单、稳定,裂缝间距较大,与褶皱、断层局部构造有关的裂缝叠加时,可形成极好的裂缝性储层。

在岩层褶皱过程中形成的裂缝多数与层面垂直或平行,也有在层面上形成环形张裂缝和放射状张裂缝。与断层有关的裂缝与断层作用的强度和断层性质有关。与同生断层相伴的裂缝发育带的宽度比较窄,与逆冲断层相关的裂缝发育带宽度一般较大,断层的强度越大引起的裂缝发育带也较宽,另外断层的末端是应力的集中区,也是裂缝的相对发育区。断层的性质、上下盘及断层的组合类型对裂缝发育也有影响,两条向背逆冲断层组成的断垒部位形成有效的张裂缝系统,而堑块部位主要是压应力场,难以形成有效的裂缝系统。

2.3.2 成岩裂缝

碳酸盐岩储层在成岩过程中发生一系列物理

的、化学的、生物的作用,这些作用会引起储层的结构、构造成分等发生一系列的变化。其中白云化作用、溶解作用、表生作用、风化作用、重结晶作用等会沿着裂隙或在裂隙的基础上产生大量的次生孔隙。埕北30潜山的成岩裂缝主要发育在奥陶系冶里—亮甲山组结晶白云岩中,孔隙度一般为3%~5%,对油气的形成和演化有着十分重要的意义。

2.3.3 地应力裂缝

目前确定地应力方向的方法很多,利用测井资料就是其中之一。其次可利用成像资料通过诱导裂缝确定地应力方向;也可以利用DSI资料中的快横波方位确定现今最大主应力方向。在确定埕北30潜山地应力方向时,综合利用了这3种方法,这3种方法确定的地应力方向基本一致,现今主应力方向主要在40°~85°之间,与主断层的走向近一致,与裂缝的走向也基本一致,这说明这些裂缝的形成与断层的形成有关。

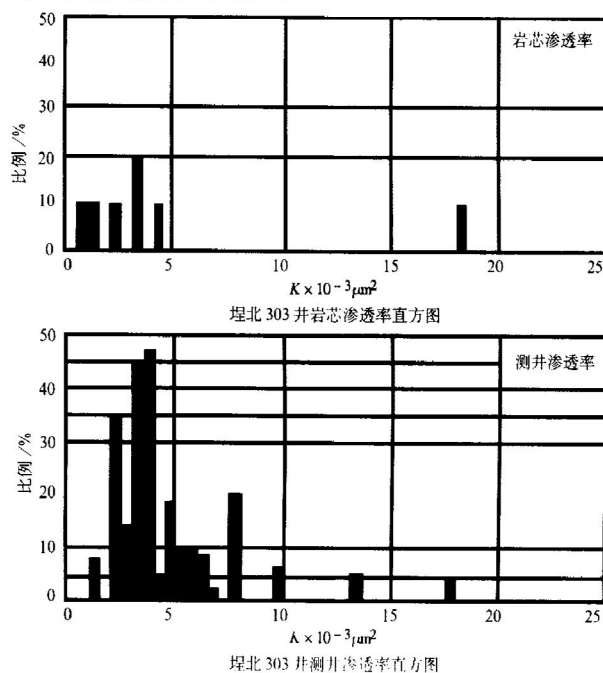


图3 埕北303井测井与岩芯分析渗透率对比图

Fig. 3 Permeability comparison between log and core of Chengbei 30 Well

2.4 储层参数计算

由于裂缝性储层类型的多样化、非均匀性及各向异性,给储层参数计算带来了很多困难,为此在储层参数计算研究中,使用核磁共振孔隙度来标定交会孔隙度;在计算饱和度方面,使用两种不同方法,即核磁测井计算法和常规测井计算法;在计算渗透率方面,分别计算裂缝渗透率和孔隙渗透率,从而达到计算裂缝性储层渗透率的目的。

2.4.1 孔隙度

核磁测井与其他测井方法在孔隙度解释中的不同之处就是能解释束缚水流体和可动流体孔隙度,而且不受岩性的影响,具有其他测井方法无法比拟的优势。在埕北 302 井中,下古生界核磁孔隙度与中子的归位关系较好,从埕北 30 井处理后与岩芯分析数据对比分析,经过精细解释后,埕北 30 井古潜山计算出的孔隙度与岩芯实测结果对应较好(图 2)。

2.4.2 渗透率

常规渗透率方程主要考虑孔隙的渗流能力,但对于裂缝性或裂缝-孔隙性储层,必须考虑到裂缝对渗流能力的贡献,根据裂缝开口度和裂缝孔隙度可以计算裂缝的渗透率,裂缝-孔隙性储层的渗透率为孔隙渗透率与裂缝渗透率之和。实验研究表明,岩石绝对渗透率的大小主要受裂缝的控制,因为裂缝的渗透率比孔隙的渗透率要大很多倍。而裂缝的渗透率则主要受裂缝张开宽度的控制。

埕北 303 井岩芯分析的渗透率数据较多,故分析时用埕北 303 井的资料,用以上方法计算的渗透率与岩芯分析数据对比,误差较大。由于岩芯分析渗透率是基岩的微裂缝组成的孔隙渗透率,而在地层中由于存在裂缝与孔隙双重结构,故实际地层中

渗透率比岩芯分析数值大,所以用测井资料计算的渗透率比岩芯数值大(图 3)。

2.4.3 饱和度

计算含油饱和度可采用两种方法,一种是常规测井算法。储集类型有:裂缝型、孔隙型、裂缝-孔隙型,计算饱和度时,必须考虑孔隙和裂缝中流体性质和含水饱和度的差异,为此采用了孔隙-裂缝双孔介质饱和度模型,使用双孔介质模型时还必须考虑裂缝产状的影响,不同的裂缝产状使用不同的方程。另一种是核磁共振测井算法,为了利用核磁资料合理计算储层的含油饱和度,首先必须正确的确定岩石的 T2 截止值,通过埕北 302 井的 6 块岩芯,经过岩样的测定,岩石的 T2 截止值分别为:下古生界 6 块岩样在 24.2~61.4 ms 之间,平均值为 39.12 ms。根据埕北 30 储集层基质不含油,裂缝、溶孔、溶洞含油的具体特点,提出了利用核磁测井计算饱和度的方法。核磁测井孔隙度由可动流体孔隙度和束缚流体孔隙度两部分组成,可动流体孔隙度对应于裂缝、溶孔、溶洞,因此,可动流体孔隙度与核磁孔隙度之比,即为含油饱和度。通过使用埕北 302 井核磁测井资料计算含油饱和度与常规测井资料计算的含油饱和度对比来看,两种方法计算的结果相当,同时也说明常规测井资料计算含油饱和度的可行性。

APPLICATION OF IMAGING AND NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE TO ASSESSMENT OF FRACTURED RESERVOIRS IN CHENGBEI

Wu Haiyan Zhu Liufang

(Well logging Company of Shengli Petroleum Administration, Dongying, Shandong)

Abstract: It is difficult to understand the internal structure, the reservoir space distribution, pore types, the relation between reservoir development zones and the localities of structures of fractured reservoirs only using seismic and well log data. But imaging and nuclear magnetic resonance log can help us to get good results. Based on the data of drilling, log, well log, well test and core, core calibration and graduation log data were used to set up log response and make rock discrimination, then use acoustic image to identify fractures, pores and cavities as well as their efficiency, finally use nuclear magnetic resonance log data to set up well log interpretation model, quantify reservoir parameters and identify the fluids in reservoirs. This method was used in the assessment of carbonate reservoirs of Chengbei 30 buried hill, the results are satisfactory.

Key Words: nuclear magnetic resonance; imaging log; fractured reservoir; carbonate; Chengbei buried hill