

致密砂岩气层裂缝识别与评价技术

孙新铭¹, 王 杰², 潘云峰^{2*}

(1. 克拉玛依职业技术学院, 新疆 克拉玛依 834000; 2. 新疆油田分公司陆梁油田作业区)

摘 要: 致密砂岩气层有储集岩石结构复杂、物性条件差、孔隙度及渗透率低、非均质性极强、流体分异规律不明显等特点, 气水难以识别。其基质孔隙度和渗透率很低, 裂缝是其高产的主控因素, 所以评价致密砂岩气层时, 应重点进行裂缝及其有效性的识别和评价。

关键词: 致密; 砂岩; 裂缝; 测井; 评价

致密砂岩基质孔隙度和渗透率都很低, 但由于裂缝的存在可使其具有工业价值, 致密砂岩气藏亦是较重要的一种气藏, 寻找密砂岩气藏的关键是对裂缝进行识别和评价。本文分析并讨论了致密砂岩气层的含气性的识别和测井评价技术。

1 含气性的识别

1.1 利用纵横波速度比进行含气识别

普通声波测井仪由于受井眼和地层物理特性的限制, 在软地层和井眼较差的地层很难测量地层横波, 而偶极横波可以在软地层中测量可靠的地层横波。在其它地层条件相同的情况下, 地层中天然气的存在将引起纵波速度降低, 而横波速度几乎不受影响, 这是利用纵横波速度比识别气层的基础。该方法识别气层受岩性和物性的影响, 故利用纵横波速度比值的相对变化来定性识别含气储层, 可以作为储层含气识别的一个辅助手段。

1.2 神经网络解释技术

神经网络解释技术是将测井响应与储层类型用非线性的方程或算法表达出来, 具有较强的抗干扰能力和非线性表达能力。包括 2 种网络模型, 一种是反向传播 (BP) 网络, 由神经元及神经元之间的连接权组成; 另一种是自组织神经网络。在反向传播 (BP) 网络中, 关键是合理地选取学习样本, 样本要具有真实性、代表性、泛化性; 输入信息需去伪存真。

1.3 气层多参数综合判别技术

将每一种测井响应当成一个随机变量, 从随机变量的分布特点出发研究含气性。通过对测井资料作正态化处理, 统一刻度, 消除量纲差异, 根据不同曲线的含气响应特征构筑多参数综合判别函数。

1.4 三孔隙度曲线重叠法

三孔隙度曲线重叠法即: 中子孔隙度——密度孔隙度法、中子孔隙度——声波孔隙度法, 是气层直接识别方法中最为常用的方法。中子孔隙度——密度孔隙度法 (即: 核测井孔隙度差异法) 最早是谭廷栋教

授提出的一种适合于深层致密砂岩天然气勘探的有效方法。深层天然气由于埋藏深, 储层孔隙度小, 核测井 (中子和密度测井) 读数的分辨率较低。采用传统的核测井读数差异难以发现深层天然气。核测井孔隙度差异法是将核测井读数转换成核测井孔隙度。在气层由于天然气的存在使得中子孔隙度减小, 密度测井孔隙度增大, 两者重叠出现负异常。地层含气饱和度越大, 重叠区域的差异面积也会越大。

李云省等 (2003) 采用中子孔隙度——声波孔隙度法识别气层效果较好。当地层孔隙中含有天然气时, 由于天然气含氢量低于水和油, 所以气层中子的孔隙度会降低。而由于声波在气层中的传播速度比在油和水中的低, 所以气层的声波时差会增大, 甚至会出现“周波跳跃”。所以在测井曲线图上含气层的中子和声波时差曲线就会出现重叠区域。地层含气饱和度越大, 重叠区域的差异面积也会越大。

2 与电成像结合识别地层各向异性

导致快慢横波产生的因素有很多, 有些是真正的地层各向异性引起, 有些可能与井眼的不规则有关。裂缝, 包括钻井诱导缝和天然裂缝都可引起快慢横波分离, 产生各向异性现象。偶极横波测井通过测量岩石 2 个正交方向上的声学信息来确定地层各向异性, 分析依据有能量、时差和时间。

3 裂缝的识别与评价技术

3.1 常规测井资料对裂缝进行识别

3.1.1 双侧向测井响应特征

在致密地层中, 双侧向测井电阻率值的大小及差异除了受岩石本身的电阻率特征和地层流体性质影响外, 在很大程度上还受裂缝因素的控制。这些因素包括: 裂缝张开度、裂缝密度、裂缝产状及裂缝的径向延伸深度等。裂缝的产状与深、浅双侧向的差异有着直接的关系, 高角度裂缝 (一般 75°以上), 双侧向呈“正差异”; 低角度裂缝 (一般 60°以下), 双侧向呈“负差异”; 水平裂缝, 双侧向差异较小和无差异,

45 裂缝时, 双侧向负差异, 且差异幅度最大。裂缝越发育, 即裂缝的张开度越大, 裂缝密度, 裂缝孔隙度、裂缝径向延伸深度越大, 双侧向测井电阻率比基岩电阻率下降幅度也越大。

3.1.2 声波测井响应特征

纵波速度(或时差)对高角度裂缝基本没有响应, 但对低角度裂缝有响应, 其响应特征是时差曲线出现局部增高, 甚至发生跳波; 横波声波能量在高角度裂缝发育段基本不衰减, 在低角度裂缝发育段有一定衰减; 斯通利波波速和能量对裂缝的响应与裂缝的状态有关, 高角度裂缝易引起斯通利波能量衰减, 网状裂缝易引起斯通利波时差增加, 斜交缝在斯通利波时差和能量上也具有响应。

3.1.3 地层倾角测井响应特征

地层倾角测井资料经过电导率异常检测处理, 结合其他测井资料, 可以识别裂缝。地层倾角测井资料对裂缝的响应也与裂缝的产状有关: 通常高角度裂缝在对称的(相差 180°)的极板上出现连续的电导率异常, 水平裂缝在四个极板上同时出现电导率异常, 斜交裂缝在四个极板上不规则的出现电导率异常。

3.2 测井相聚类分析

测井相聚类分析是多种测井响应特征值的集合表现形式, 该方法建立在非线性数学基础上, 不仅考虑了对象量值的大小, 而且充分兼顾了对象的关系, 这一特点能够弥补仅仅依靠储层参数进行分类的不足。集合的元素即为一个个的相类, 而每一个相类则是次一阶的子集合, 子集合的元素由不同测井项目的特征值构成。因此, 测井相聚类既能够反映类内的相似性又能够充分体现类间的差异性。对裂缝的识别效果较好。

3.3 将岩心分析和多种测井响应建立对应关系

将岩心分析和多种测井响应建立对应关系是评价裂缝的又一方法。具体思路是将岩心实验分析样品的孔隙度与渗透率进行相关分析, 剔除渗透率明显增大的点(主要是裂缝引起)后, 建立渗透率和多种测井响应的关系, 由此得到基质渗透率(K_{gm})。再将基质渗透率(K_{gm})和与其相对应的岩心分析渗透率(K_{rc})进行对比, 引入一评价参数 K_{er} (渗透率增大率 permeability enlarge rate)

$$K_{er} = K_{rc} / K_{gm}$$

显然, K_{er} 的大小反映了地层裂缝发育程度: 当 K_{er} 值约为 1 时, 说明岩石裂缝不发育, 主要为基质渗透率; 当 $K_{er} > 1$ 时, 则表明有裂缝在作贡献, 其值越大, 反映裂缝越发育。理论上其值的大小反映了因裂缝的存在而导致地层渗透率增大的倍数。建立 K_{er} 和多种测井响应的关系, 就可以由常规测井判

断地层 K_{er} 的变化规律, 由此对其进行裂缝评价。

3.4 成像测井识别裂缝

在致密裂缝性储层中, 对油气的储集和产出起积极作用的主要是张开的天然裂缝, 故地质家和测井分析家更关心的是裂缝的有效性。

电成像测井具有井周覆盖率高和纵向分辨率高的优点, 是识别井壁裂缝的最有效手段, 但仅依赖电成像测井不易分辨泥质充填的闭合裂缝与泥浆冲洗的张开裂缝。张开缝存在较大的声阻抗差, 可利用声波反射识别裂缝界面。

利用偶极横波来进行裂缝分析, 一般是利用斯通利波的反射来判断裂缝存在。斯通利波有 2 个来源, 一是从单极波列中获得, 二是从偶极波列中获得。Ex2cel2000 系列的偶极横波测得的单极波列中斯通利波的频率一般在 215 ~ 315kHz 的频率范围内, 偶极波列中获得的斯通利波的频率基本在 1 ~ 2kHz 的范围内。经验证明, 低频的斯通利波对裂缝较为敏感, 易于识别裂缝, 因此, 在单极和偶极波列同时存在的情况下, 优先选择来自偶极的斯通利波。当斯通利波在传播路径中遇到与井眼相交的开口裂缝时, 因张开裂缝界面存在较大的声阻抗反差, 将造成斯通利波的反射, 故利用斯通利波的反射可以识别张开裂缝。

4 结论

致密砂岩气层评价的关键是对裂缝的评价, 裂缝的识别最直观最准确的是成像测井, 但由于成像测井成本较高, 不是所有的井都进行成像测井, 在没有成像测井资料的时候, 可利用常规测井曲线、测井相聚类分析、将岩心分析与多种测井响应建立对应关系对裂缝进行识别和评价。

参考文献

- [1] 王允诚等. 裂缝性致密油气储集层. 地质出版社, 1992.
- [2] 张筠. 川西地区致密碎屑岩储层测井评价技术. 测井技术, 2004-10.
- [3] 吴春萍. 鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩储层测井地质评价. 特种油气藏, 2004-02.
- [4] 马斌, 罗明高, 李勤良. 利用常规测井资料识别低渗透砂岩储层裂缝. 内蒙古石油化工, 2006-07.
- [5] 林绍文, 李定军, 罗丽琼. 洛带气田遂宁组致密砂岩储层测井评价. 天然气工业, 2006-04.
- [6] 章雄等. 致密砂岩气层测井解释方法综述. 工程地球物理学报, 2005-12.
- [7] 李建良. 成像测井新技术在川西致密碎屑岩中的应用. 测井技术, 2005-08.