

文章编号: 1001-1986(2009)03-0064-04

合成记录制作中井眼影响因素分析及对策

肖 毅¹, 李艳华², 刘振兴³, 牛胜利⁴

(1. 中国石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100083; 2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 3. 中国地质大学能源学院, 北京 100083; 4. 中海油石油公司, 广东 深圳 510240)

摘要: 通过制作合成地震记录来标定准确的时深关系是层序地层对比和储层反演的基础。分析合成记录制作中的声波和密度测井曲线受到诸如井眼状况、油气、泥浆侵入及浸泡程度等因素的影响, 提出利用井径曲线和深中浅电阻率来综合指示判断这些影响的大小, 讨论了声波曲线重构时电阻率和声波曲线的探测深度匹配问题。在合成记录制作完成后, 利用多井时深关系对比可以检查所制作的合成记录是否受到了各种测井不利因素的影响, 从而判断时深关系的可靠程度, 为储层反演和精细目标预测打下良好基础。

关键词: 合成记录; 曲线重构; 时深关系; 声波测井

中图分类号: P631.4 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2009.03.016

Analysis of borehole factors in synthetic seismogram building and countermeasures

XIAO Yi¹, LI Yanhua², LIU Zhenxing³, NIU Shengli⁴

(1. SINOPEC International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100083, China;
2. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China;
3. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
4. China National Offshore Oil Corporation, Shenzhen 510240, China)

Abstract: Precise Time-Depth relationship derived from synthetic seismogram making is the base of sequence stratigraphic correlation and reservoir inversion. Sonic and density logs used for seismogram making are subjected to the influence of factors such as borehole conditions, presence of hydrocarbon, mud invasion, degree of such invasion etc. Caliper log and deep-middle-shallow resistivity logs are proposed to monitor the impact of such factors and necessary corrections should be made before sonic and density logs are used in building synthetics. When a pseudo-acoustic log is reconstructed from a resistivity curve, investigation depths of acoustic and resistivity logs must match each other. Finally when synthetic seismograms are successfully built, the time-depth relationships obtained can help us to check whether the adverse influences of the various factors have been completely eliminated, so as to ensure precise reservoir inversion and target prediction.

Key words: synthetic seismogram; curve reconstruction; time-depth relationship; sonic log

合成地震记录在地震勘探中有着十分广泛的应用。合成地震记录不仅是把钻井资料和地震资料联系起来的桥梁, 从而赋予抽象的地震剖面以具体实在的地质意义, 而且也是精确地震解释和精细储层预测的基础。合成记录制作中需要声波和密度测井曲线, 但是由于测井施工过程中技术条件、井眼状况、地层特性以及当时操作者和后来的解释人员主观因素的限制, 导致声波曲线并不反映真实地层情况, 这就会给后期制作合成地震记录造成很大的不确定性。因此有必要在制作合成记录前对声波和密度测井曲线的各种不利影响因素进行探讨、识别, 在制作过程中及时发现问题, 在制作合成记录后对获得的时深关系进行对

比检查, 从而保证精确的层位标定。

1 合成记录制作中不利井眼因素及识别

声波和密度测井曲线的质量直接影响到制作的合成地震记录精确度。声波曲线和密度曲线都易受到井眼状况、油气存在、泥浆性能及浸泡程度的影响。

声波测井探测沿井壁径向 2.5~25 cm 很小深度内(主要是井壁和侵入带(对渗透层而言))传播的 P 波信号。由于这种信号受地层软硬的影响较大, 故声波测井在高速地层探测深度稍大一些, 而在低速地层探测深度则很浅。但总起来讲, 声波测井易受到井眼环境的影响。在钻测井施工过程中, 井眼周

收稿日期: 2008-09-08

作者简介: 肖 毅(1971—), 男, 湖北枣阳人, 工程师, 主要从事测井技术与层序地层学研究。

围地层容易受到机械性损伤(裂缝)或钻井液的浸泡作用,相对于原状地层形成一个低速带。所以,声波曲线在裂缝带会发生周波跳跃,在泥岩段由于受到泥浆浸泡的影响测值会有所增大。

油气的存在也会对声波测井产生影响。在油层段尤其是气层段深侵入情况下,声波信号只来自具有相对高速的冲洗带,而完全没有气或油的信号。在这种情况下,计算地层孔隙度不成问题。但用在对比或地震工作以前,需要用黑尔斯蒂曼公式进行校正^[1]。而在气层或油层段无侵入或轻微生产情况下,由于钻井液中发生气泡,声波测井由于强烈的衰减而发生周波跳跃。另外,由于仪器刻度不精确还可能导致测井曲线较大的系统误差^[2]。如果直接利用这样的声波曲线制作合成记录,那么与地震记录的对比会很困难。

密度测井由于具有非常浅的探测深度,信号主要来自侵入带,受井眼扩大的影响很大。例如 Schlumberger 公司的 FDC 仪器,即使是对于具有 35% 孔隙度的砂岩,其探测深度也只有大约 13 cm^[3]。如果钻井泥浆中含有重晶石,那么密度测值也会受到一定的影响^[4]。

可以利用井径和深中浅 3 条电阻率曲线来检测声波和密度曲线是否受到上述诸因素的影响以及影响的大小。井径曲线不但能反映井眼尺寸的变化(主要是由岩性变化引起的,也有是由于地应力释放或钻测井机械作用造成的),而且也可以和 3 条电阻率曲线一起指示钻井泥浆对井壁周围地层浸泡的时间长短和强弱程度(如大段泥岩的垮塌通常表明泥浆的长时间浸泡作用)。泥浆对地层的浸泡时间长,对地层的电特性和声特性改变就大。3 条电阻率曲线可以指示井眼周围地层流体被泥浆驱替的程度。由于泥浆与地层原始流体的性质差异,驱替过程中必然改变地层的孔隙结构,如冲刷掉孔隙衬里粘土矿物,或使其凝固堵塞孔隙。通过 3 条电阻率曲线指示侵入对井眼地层电学性质的改变大小来推断其声学性质的改变。在轻微井眼垮塌或不规则段,建议先进行井眼影响校正,然后制作合成记录;对于井眼严重扩井径、垮塌或硬地层噪声尖峰影响严重的声波和密度曲线,则不能用来制作合成记录,可以考虑应用其它曲线重构一条声波曲线,然后制作合成地震记录。

2 重构声波曲线需注意的问题

在声波测井资料受环境严重影响或没有连续声波测井资料的地区,可以考虑用电阻率曲线通过 Faust 公式重构一条近似的时差曲线^[5],然后计算波阻抗和反射系数,进行合成记录的制作。Faust 公式

是表征在深度约束条件下地层电阻率曲线与声波曲线之间统计关系的经验公式:

$$AC = 1000\ 000 / (KHC^{R_t}), \quad (1)$$

式中 K 、 C 为不同地区地层参数; H 为深度, m; AC 为声波时差, $\mu\text{s}/\text{m}$; R_t 为电阻率。

Faust 公式适用于电阻率曲线与声波曲线之间具有良好统计关系的地层^[6]。在进行曲线拟合时,还要考虑到以下 2 个方面。

a. 电阻率测井和声波测井探测深度的匹配问题。井眼中连续的声波测井频率是 10~30 kHz,对于常规的声波测井仪,有一对距离发射器 3ft 和 5ft 的接收器,典型的探测深度是 15 cm,这是大多数井眼情况下的侵入带深度。而对电阻率测量而言^[4],深感应和深侧向探测深度最大,主要是原状地层的电阻率;浅侧向和球形聚焦测井主要测量侵入带电阻率;中感应的探测深度介于深侧向和浅侧向之间;而微球形聚焦则探测冲洗带电阻率(图 1)。因此,拟合 Faust 公式时,首选球形聚焦曲线,其次是浅侧向和微球形聚焦曲线,最后才是中感应和深侧向。而深感应由于探测深度远大于声波测井,故已不适用。在油田,标准测井一般都用 2.5 m 底部梯度电极系和 0.5 m 电位电极系,这两者比较而言,0.5 m 电位电极系主要反映侵入带电阻率,其探测深度与声波测井的相当,故选用 0.5 m 电位电极系而不是 2.5 m 底部梯度电极系来重构声波曲线。

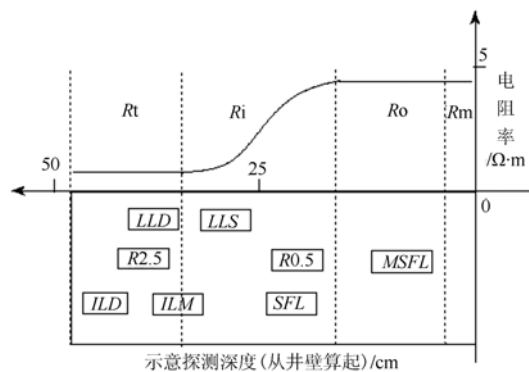


图 1 几种电阻率仪器的探测深度示意图(据 M. Rider, 2002, 修改)

Fig. 1 Sketch of the investigation depths of some resistivity logging tools (revised after M. Rider, 2002^[4])
LLD—深侧向; LLS—浅侧向; ILD—深感应; ILM—中感应; R0.5—0.5 m 电位电极; R2.5—2.5 m 梯度电极; SFL—球形聚焦; MSFL—微球形聚焦; Rm—泥饼电阻率; Rt—原状地层电阻率; Ri—侵入带电阻率; Ro—冲洗带电阻率

b. 选择同一沉积环境中,邻井测井质量受井眼环境影响小的井段的声波时差以及与探测深度相匹配的电阻率测井值进行拟合,得出 Faust 公式中的 K 、 C 参数,然后用于生成目标井的声波曲线。

以辽河西部凹陷 h45 井为例,比较了由实测声波时差曲线制作的合成记录和由邻井浅侧向曲线拟

合成的伪声波时差曲线制作的合成记录,二者吻合得较好(图 2)。这里 K 和 C 的最佳拟合值分别为 1.5148 和 1.0133。

最后还要注意,由于 Faust 公式受到深度的约束,对正常压实趋势井段应用不存在问题。但是对于偏离正常压实趋势(如存在地层超压或不整合)的井段, Faust 公式的应用效果较差。

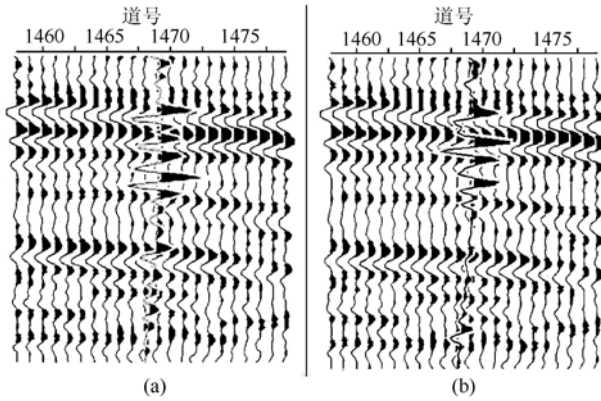


图 2 h45 井声波(a)与伪声波(b)合成记录对比

Fig. 2 Comparison between synthetic seismograms made from sonic log (a) and from pseudo-acoustic log (b) in well h45

3 利用多井时深关系检验合成记录的可靠性

一般情况下,由于沉积旋回的韵律性导致所沉积的地层也具有一定的韵律性,在地震剖面上的反射特征也具有相似性。因此,既使有明确的标志层或其它特殊岩性层在地震剖面上的明显显示作为对比标志,合成地震记录标定也不会百分之百把握^[7]。

但是从理论上讲,在同一地区,临近各井通过合成记录标定出的时深关系一般应该相差不大。因此,可以通过标定的多口井的时深关系图来检查合成记录的可靠性(图 3)。在多井时深关系图上,异常的时深关系指示出错误的合成记录制作,这常常是由于选择的初始层速度过大或过小造成的,或者是由于声波曲线受井眼环境影响的结果。图中, qing4 井时深关系整体偏离该地区其它井的时深关系,经检查发现是由于所给的初始层速度较大造成的。而 s33 井的时深关系大约从 2250 m 深度起向上与其它井的时深关系偏离,则是由于 2150 m 深度以下泥岩段受泥浆浸泡而扩径,导致声波速度降低造成的(图 4)。

4 应用实例

在辽河盆地西部凹陷南部,清水洼陷东营组有利区带预测研究中,利用上述方法对不利井眼因素

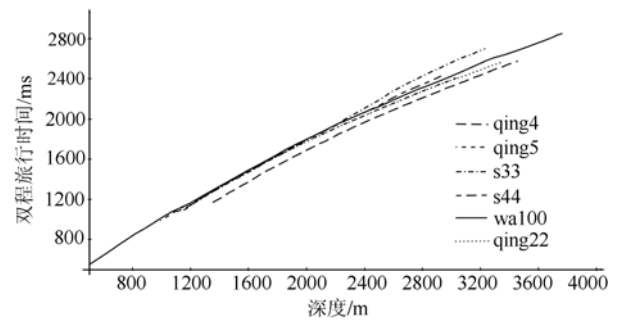


图 3 多井时深关系对比图

Fig. 3 Comparison between the time-depth relations of multi-wells

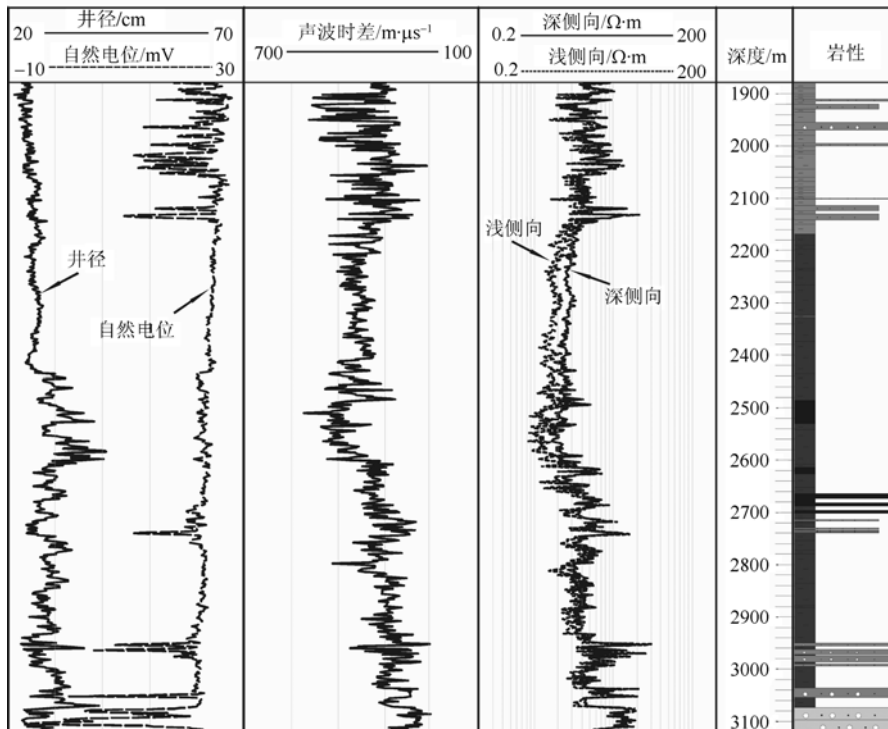


图 4 s33 井测井图

Fig. 4 Logs in well s33

进行了识别和校正,并且标准化,制作了多口井的合成地震记录,进行了地震、测井联合反演,得到高精度三维波阻抗数据体。图5为预测的 qing22 井区有利区的波阻抗剖面。该区位于西部凹陷最大的生油洼陷——清水洼陷中,紧邻东侧台安-大洼边界断层,油源条件得天独厚,构造背景极其有利,以发育扇三角洲、水下扇砂体和三角洲前缘砂体为主。图中深色调到浅色调代表波阻抗值从小到大的变化趋势,可以看到,砂岩波阻抗相对较高,呈浅色,多套砂岩大面积发育,砂体形态和接触关系清晰明了,砂泥比适中,配合有利构造背景易于形成岩性和构造岩性圈闭。位于该区的 qing18 井解释气层 3.1 m/1 层,油层 21.8 m/6 层,显示该区良好的勘探前景。

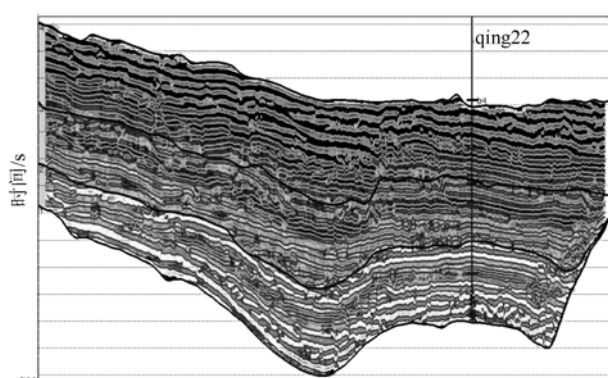


图5 qing22 井区波阻抗反演剖面

Fig. 5 Profile of wave impedance inversion in qing22 well area

5 结论

a. 合成记录制作中的关键资料——声波和密度测井曲线,因其获取原理和仪器构成的限制,较

多地受到井眼环境、油气、泥浆侵入深度及浸泡时间等的影响。井径曲线可以用来判别井眼状况是否良好,而深中浅探测深度的电阻率曲线组合可以给出有关泥浆侵入深度和浸泡程度等信息,从而有助于帮助判断合成记录制作中测井曲线的可靠性。

b. 在利用曲线重构技术由邻井电阻率曲线拟合出一条伪声波曲线来制作合成记录时,应该考虑到所用电阻率曲线探测深度与声波时差曲线的相互匹配问题。另外,存在超压层或不整合的井段,这种方法的应用受到限制。

c. 作图比较所标定的多口井的时深关系是合成记录制作过程中必要而且关键的一步,不但可以指示合成记录制作中的问题,而且能够帮助判断测井曲线所受到的不利影响是否已完全消除。

参考文献

- [1] 塞拉. 测井解释基础与数据采集[M]. 北京:石油工业出版社, 1992.
- [2] 鲁红, 李建民, 杨青山. 进行声波测井资料校正的一种方法[J]. 大庆石油地质与开发, 1996, 15(1): 71-72.
- [3] SHERMAN H, LOCKE S. Depth of investigation of neutron and density sondes for 35 per cent porosity sand[J]. Spwla 16th Ann. Symp. Trans., 1975, paper Q: 1-14.
- [4] RIDER M. The geological interpretation of well logs[M]. Scotland: Rider-French Consulting Ltd., 2002.
- [5] 姜传金, 马学辉, 周恩红. 拟声波曲线构建的意义及应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(1): 12-14.
- [6] 陈钢花, 王永刚. Faust 公式在声波曲线重构中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2005, 28(2): 125-128.
- [7] 靳玲, 苏桂芝, 刘桂兰, 等. 合成地震记录制作的影响因素及对策[J]. 石油物探, 2004, 43(3): 257-271.

(上接第 63 页)

可见,常规方法解释明显偏浅,差分解释结果比常规方法更精确。

6 结语

差分技术对突出目标体的异常显示有实用价值,可以将实测数据中所含地质信息,特别是地下老窑采空巷道的微弱异常凸显出来。理论分析和仿真模拟结果表明,一般电阻率勘探方法资料解释中的差分技术,在自动地电阻率法资料解释中仍然适用,对提高自动地电阻率法勘探的分辨率有实用价值。

参考文献

- [1] 杜荣光. 电阻率测深曲线解释的数值差分法[J]. 物探与化探,

2000, 24(6): 448-450.

- [2] 闫述, 陈明生. 高分辨自动地电阻率探测地下洞穴[M]. 北京:地质出版社, 1996: 90-95.
- [3] OWEN T E. Detection and mapping of tunnels and caves: in a. a. fitch (ed.)[J]. Developments in Geophysical Exploration Methods, 1983 (5): 161-258.
- [4] KAROUS M, PERNU T K. Combined sounding-profiling resistivity measurement with the three-electrode arrays [J]. Geophysical Prospecting, 1985, 33: 447-459.
- [5] MILITZER R, ROSLER R, LOSCH W. Theoretical and experimental investigation for cavity research with geoelectrical method[J]. Geophysical Prospecting, 1979, 27: 640-652.
- [6] 敬荣中, 林剑, 肖志强. K 剖面法在岩溶勘查中的应用[J]. 地质与勘探, 2002, 38(2): 78-81.
- [7] 煤炭科学研究总院西安分院. 高分辨自动地电阻率系统[R]. 西安:煤炭科学研究总院西安分院, 1994.