

对提高地层压力预测精度的探讨

——声波测井层速度与地震层速度的关系

张蓉, 徐群洲, 帕尔哈提, 王洪义, 魏金兰

新疆油田公司勘探开发研究院地球物理研究所, 新疆乌鲁木齐, 830013

地层压力预测工作对合理设计钻井参数、井身结构提供重要的技术支持, 规避钻井风险有重要意义。在石油钻井过程中, 若钻井液密度太小, 可能会引起井喷, 导致出现重大机械及人身事故; 若钻井液密度太大, 易造成油层污染, 降低勘探开发效益。^[1] 正确地确定钻井液密度能避免这两方面的失误。提高压力预测的精度对恰当地确定钻井液密度有重大意义。因此如何提高压力预测的精度应是值得关注的焦点问题。

1 压力预测基本理论与问题提出

在压力预测实际工作中, 使用中国石油大学樊洪海教授研制的地层压力分析软件 3.00, 主要使用其中的 Fan 简易方法和单点算法^[2]。其理论依据都是 Terzaghi 提出的适用于饱和多孔介质的有效应力定理。由该定理知, 地层孔隙压力等于上覆岩层压力与垂直有效应力之差。Fan 简易方法和单点算法均为“地层孔隙压力简单计算方法”, 主要适用于泥岩地层欠压实机制产生的异常高压的检测。两者不同之处是 Fan 简易方法应用泥质沉积物的声波速度建立与垂直有效应力的函数关系:

$$V = a + kP_e - be^{-dP_e} \quad (1)$$

式中, V 为声波速度; P_e 为垂直有效应力; a, k, b, d 与地层有关的经验系数。

单点算法则建立地震层速度与垂直有效应力的函数关系:

$$V_{\text{int}} = a + kP_e - be^{-dP_e} \quad (2)$$

式中, V_{int} 为地震层速度, m/s。

利用测井声波时差及岩屑录井分层数据可以求得泥岩地层的声波速度, 利用上覆岩层压力和静液压力可以求得相应地层的垂直有效应力, 从而得到该地区的泥岩地层 V 和 P_e 相关关系曲线, 利用

式(1)对 V 和 P_e 散点数据进行非线性回归求得经验模型。对于泥岩地层, 求得 a, k, b, d 后, Fan 简易方法是已知测井声波速度, 由式(1)反求垂直有效应力 P_e , 然后由下式计算地层孔隙压力。

$$P_p = P_o - P_e \quad (3)$$

式中, P_p 为地层孔隙压力; P_o 为上覆岩层压力; P_e 为垂直有效应力。

单点算法理论上是已知预测井附近点的层速度, 由式(2)反求垂直有效应力 P_e , 然后由(3)式计算压力。

在实际中, 单点算法因为叠加速度点值过少, 无法推导出精确的模型系数, 故是借用声波速度推导出来的模型系数, 代入离预测地最近的层速度, 反求垂直有效应力 P_e 。^[2] 那么就存在一个疑问, 用声波速度推导出来的模型系数是否适用于由叠加速度求出的层速度呢?

2 问题求证

2.1 从声波速度与层速度的数值关系方面求证

如果说层速度适用代入式(1), 那么声波速度应该与层速度有一个对等的关系。实际是如何的呢? 我们知道声波时差的倒数物理意义就是地层的层速度, 但声波时差测得是超声波传播的速度, 层速度算的是地震波的传播速度, 两者在数值上是否有差距? 我们利用现有的地震速度数据库里的准噶尔盆地井资料进行声波测井层速度与地震层速度的对比分析。地层压力分析软件 3.00 利用叠加速度算出了层间传播时间, 其单位是微秒/英尺(us/ft), 其倒数就是地震层速度, 按习惯应把单位换算成米/秒(m/s), $1 \text{ ft/us} = 304800 \text{ m/s}$ 。声波时差的物理意义是声波传播 1m 距离所用的时间, 有的单位是 us/ft,

有的单位是 us/m, 为方便与地震层速度相比较应都转换为 us/m, $1 \text{ us/m} = 0.3048 \text{ us/ft}$, $1 \text{ us/ft} = 3.2808 \text{ us/m}$, 而且还应找到层间的平均速度, 即声波测井层速度, 具体做法是找到某个地震层速度对应的顶层与底层之间所有的声波时差值如 $x_1, x_2, \dots, x_n$ (us/m), 它分别是传播 1m 所用的时间, 在顶层与底层之间传播了 $1 \cdot n(\text{m})$, 共用时 $x_1 + x_2 + \dots + x_n$ (us), 平均传播速度就是 $n/(x_1 + x_2 + \dots + x_n)$ (m/us), 换算成 m/s 就是 $10^6 n/(x_1 + x_2 + \dots + x_n)$ (m/s), 正好与该顶层与底层对应的地震层速度物理意义一致, 两者可相互比较数值。选取数据库里所有既有叠加速度又有声波时差数据的井 35 口, 选定离井位最近的叠加速度 CMP 点的时间速度对, 按前述方法进行计算比较, 其对比表部分如表 1 所示。

表 1 声波测井层速度与地震层速度对比表

井名	底界深度 (m)	地震层速度 (m/s)	声波测井层 速度(m/s)	(声波测井层速度- 地震层速度)/地震层速度
1 号井	1997.576	3187.484314	3100.585938	-0.02726237
2 号井	2712.303	3730.813484	3632.632192	-0.026316323
2 号井	3119.977	4097.765588	4118.251094	0.004999189
3 号井	3223.631	4050.013952	3902.289138	-0.036475137
3 号井	3866.908	4387.568556	4044.585987	-0.078171444

(声波测井层速度-地震层速度)/地震层速度的散点图如图 1 所示。

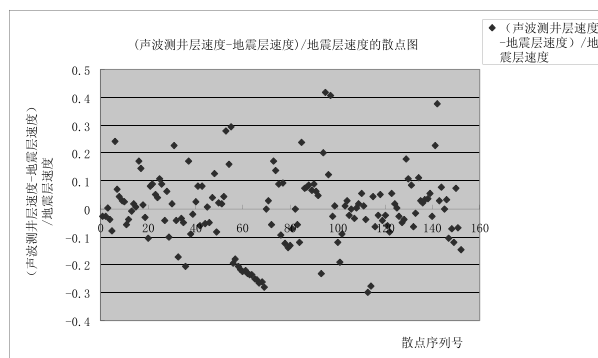


图 1 (声波测井层速度-地震层速度)/地震层速度的散点图

相对误差, 也就是(声波测井层速度-地震层速度)/地震层速度的平均值为-0.0046, 相对误差的绝对值, 也就是|声波测井层速度-地震层速度|/地震层速度的平均值为 0.0979。相对误差落入各区间的数值个数如表 2 所示。

由表 2 可看出, 在 152 个数据中有 100 个相对误差都落在区间[-0.1, 0.1) 上, 占总误差的 66%,

说明声波测井层速度与地震层速度数值基本一致。

表 2 相对误差的分布表

相对误差数值范围	数值个数
[-0.3, -0.2)	16
[-0.2, -0.1)	14
[-0.1, 0)	45
[0, 0.1)	55
[0.1, 0.2)	12
[0.2, 0.3)	7
[0.3, 0.4)	1
[0.4, 0.5)	2

2.2 用实例来求证

下面再以一实例检验这种差距对实际预测结果的影响。

以白家 1 井为例, 由附近的彩 47 井的测井数据推导出本地区的预测模型, 再分别用邻近白家 1 井的二维测线 W9214 剖面的 640CMP 点的叠加速度和白家 1 井的声波时差数据来推导白家 1 井的地层压力, 结果如图 2 所示。

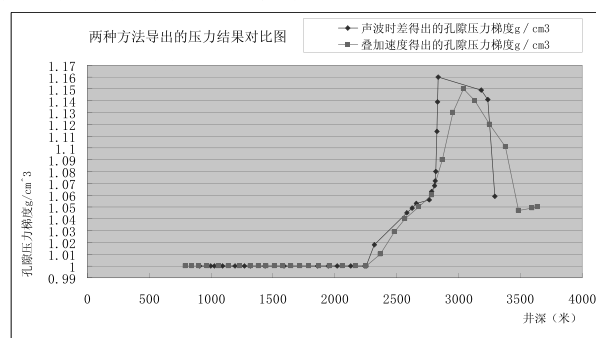


图 2 两种方法导出的压力结果对比图

比较两个结果, 可以看出结果相差不大。

3 结语

用测井的声波时差数据推导出较为精确的本地区的预测模型, 再用有勘探资料的地区的叠加速度预测地层压力, 可以提高预测没有测井资料的未知区域的压力精度。

参考文献 / References

- 郭永峰, 金晓剑. 2004. 地层压力精确预测准则及其应用. 石油钻探技术, 第 32(2): 15~16.
- 樊洪海. 2001. 地层孔隙压力预测检测新方法研究. 中国石油大学博士学位论文, 第三章~第四章. 存放地点: 中国石油大学石油工程系学校图书馆 北京.