

文章编号:1001-6112(2011)S1-0016-04

地层压力预测技术研究与应用

朱定¹, 刘霞²

(1. 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国石化西北分公司油田特种管理中心, 乌鲁木齐 830011)

摘要:分析了地层高压形成的原因,阐述了利用声波时差资料和地震速度进行地层压力预测的理论基础。通过研究和应用,比较了各种方法的优缺点。地层压力预测技术方法在塔河油田的应用,证明了预测方法的合理性与有效性。综合运用对比、等效深度法和 Bowers 提出的方法对地层速度具有较高的敏感性和负相关性,二者预测结果比较一致;而地震速度谱法进行地层压力预测只能预测大套地层压力的变化趋势。在初探区,利用速度谱法进行钻前压力预测,对于钻井效率和使用最佳泥浆比重安全钻井提供技术支持,具有较大的应用价值。

关键词:欠压实;速度谱;压力系数;压力预测;异常地层压力

中图分类号:TE271

文献标识码:A

Research and application of formation pressure prediction technology

Zhu Ding¹, Liu Xia²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Oilfield Special Administration Center, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The reason for formation overpressure was analyzed. Interval transit time and seismic velocity were used in formation pressure prediction and the theoretical basis was introduced. Through research and application, the advantages and disadvantages of different methods were compared. Formation pressure prediction technology was practiced in the Tahe Oil Field, and proved correct and effective. The equivalent depth method and the method proposed by Bowers were sensitive and inverse correlative to formation velocity, both serving well for prediction. The prediction method using seismic velocity could simply predict the changing trend of pressure of big formation. In wild-cat area, the seismic velocity method was used to predict pressure before drilling, improving drilling productivity and supporting safe drilling.

Key words: undercompaction; velocity spectrum; pressure coefficient; pressure prediction; abnormal formation pressure

由异常高的流体压力造成的地层超压是油田勘探开发各阶段所要关注的问题,它与一定的沉积环境有关,一般表现为高孔隙率、低密度、低速度、低电阻率等特点。目前,地层压力预测方法有 2 类:一类是利用测井数据,一类是利用地震速度资料。前者取得的结果精度较高、效果较好,但是其结果不是真正意义上的预测;后者由于很难获得准确的速度参数,预测结果的精度及应用范围受到限制,但由于其前瞻性和全局性,成为钻前压力预测的主要手段之一。国内有多名学者专家对这 2 种方法进行地层压力预测进行了深入研究,并取得了不错的应用效果^[1-3]。

1 地层压力异常机理

在海洋沉积环境作用中,沉积物初始是疏松的,有很高的孔隙度和渗透性。因此孔隙空间中的水承受的压力与海平面相关,固体相的重量由骨架支撑,对流体的压力不会产生影响。孔隙中的流体压力由延伸到地表的水柱流体的静压力给出。沉积物中的孔隙压力近似等于流体静压力的情况称作正常压实。随着沉积物埋藏深度的增大,上覆岩层重量增加,作用在岩石颗粒上的压力使得岩石的孔隙度和渗透性降低。如果沉积的速度超过流体从孔隙空间中的排出速度,或者在埋藏过程中由于

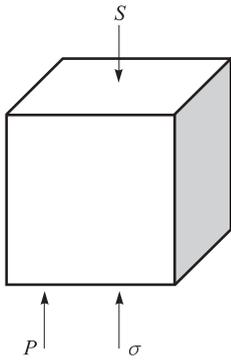


图 1 饱和多孔介质应力状态

Fig. 1 State of stress of saturated porous medium

封堵作用排水停止,孔隙流体变成超压状态,支持了部分的上覆盖层加载。这种方式产生的超压是由于不平衡压实或者欠压实引起的。这是深水沉积物产生超压最常见的机制^[2]。此外还有构造作用、地层抬升、剥蚀等因素引起的地层高压。

2 地层压力预测原理

Terzaghi 论述了地下饱和多孔介质的应力平衡状态(图 1),认为垂直上覆地层压力是地层孔隙流体压力和作用在岩石骨架上的垂直压力之和^[4]。垂直有效应力是地层压实成岩的主要因素。应力平衡方程:

$$S = P + \sigma \quad (1)$$

上覆地层的压力可以通过对地层密度的积分得到:

$$S = g \times \int_0^z \rho(z) dz = \bar{\rho}gh \quad (2)$$

式中: g 为重力加速度, $\rho(z)$ 为密度随深度 z 变化的函数,平均密度 $\bar{\rho}$ 可以由 Garden 公式求取, h 为地层距离代表的垂直深度。因此只要得到了垂直有效应力就能够确定地层孔隙压力。目前,预测地层压力比较常用的方法有 Eaton 在 1972 年提出的等深度法^[6],Fillippone 于 1979 年和 1982 年先后提出了用地震资料预测地层压力的方法^[6],Bowers 在 1995 年提出了测定有效应力的方法。

等效深度法原理:对于正常压实的地层,其声波时差曲线上存在一条明显的压实趋势线。任意深度的声波时差若和压实趋势线的声波时差相等,则认为这两点孔隙结构特征相同,压实程度相同,这两点处的垂直有效应力相等,而正常压实曲线上面的点的垂直有效应力等于由该点的上覆岩层压力减去该点静水压力。

地震波在介质中的传播速度是有效应力和孔隙度的函数。在正常压实地层中,随着井深的增

加,地层逐渐被压实,地层岩石的孔隙度逐渐减小,地震波在岩石中的传播速度逐渐加快。而在异常高压地层中,表现为与正常压实趋势相反的变化,孔隙度比正常压实的孔隙度大,岩石密度比正常压实密度值低,地震波波速比正常压实小。由此可知,利用地震波波速信息,有可能预测异常高压地层的存在,并可估算其压力的大小。

Fillippone 在 1978 年和 1982 年通过对墨西哥湾等地区的测井、钻井和地震等多方面资料的综合研究后,在假设地层孔隙压力和上覆岩层压力关系是与储层岩石的声波速度成比例的前提下,提出了不依赖正常压实趋势线的简单实用的计算公式:

$$P = \frac{v_{\max} - v_{\text{int}}}{v_{\max} - v_{\min}} S \quad (3)$$

式中: S 代表垂直上覆地层压力; P 是地层孔隙流体压力; v_{\max} 为岩石孔隙率接近于零时的地层速度; v_{\min} 为地层孔隙流体速度; v_{int} 为预测层段的层速度。

Bowers 在 1995 年提出的通过定义排液曲线解释欠压实和流体膨胀的原因测定有效应力的方法。这项技术以实际情况为基础,即压实期间出现的速度增大现象。排液过程中,由于流体膨胀骨架的应力降低,流体膨胀带以速度趋势中的反转带为特征。Bowers 认为在正常压实沉积物中,骨架的应力和速度之间的关系为:

$$V = V_0 + A\sigma^B \quad (4)$$

式中: V_0 为未固结的饱和流体沉积物的速度, A, B 表示随着骨架应力增大速度的变化情况。

3 地层压力预测的实际应用

我们选取塔河油田 13 口井进行了 MDT 压力测试,对 3 种方法进行的压力预测结果进行比较。塔河油田 W903 井 3 000~6 000 m 井深的声波时差如图 2a,声波时差随着深度增加而降低,红线为压实曲线,在 3 000~6 000 m 深度范围内基本为一条直线,利用最小二乘法拟合出该压实曲线,根据压实曲线方程,利用等效速度法预测得到的地层压力如图 2b 中黑线所示,压力系数如图 2c 中黑线所示。由于压实曲线的选取受人为因素影响较大,预测的压力结果与 MDT 测试的压力值差异较大,最大差异可以达到 20%。等效速度法预测得到压力系数范围在 0.8~1.4 之间,变化剧烈,范围大,结果不够稳定。速度谱法预测的地层压力系数如图 2c 中蓝线所示,其范围在 1~1.15 之间,结果稳定,预测的地

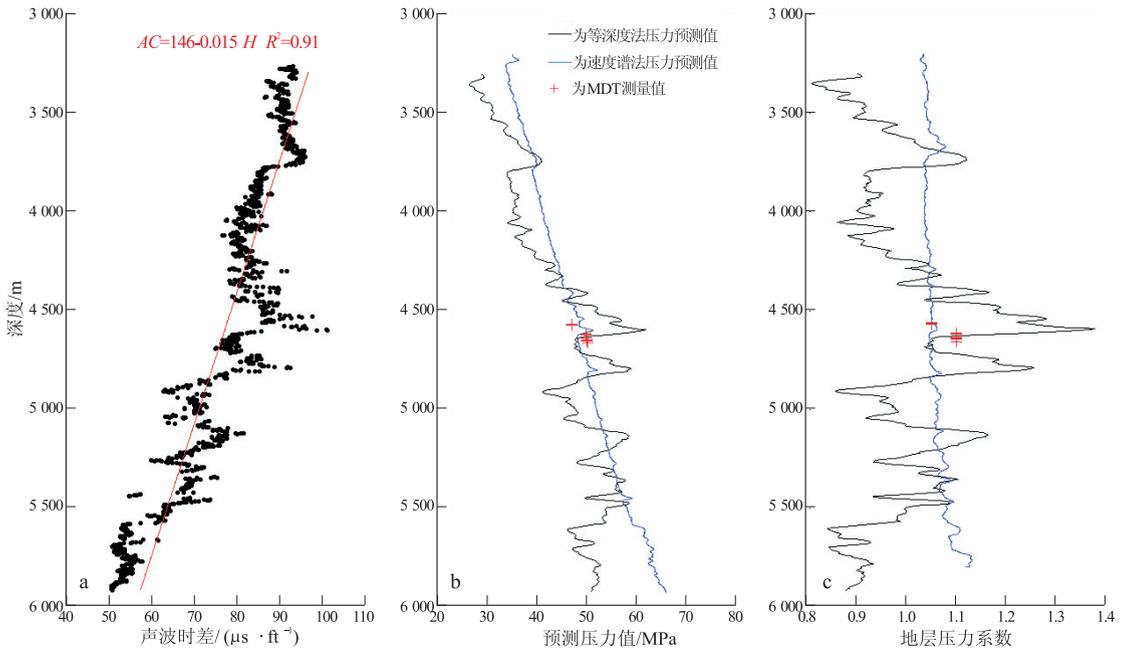


图 2 W903 井 2 种方法预测的地层压力及压力系数结果

Fig. 2 Prediction of pore pressure and pressure coefficient using two methods in Well W903

表 1 W903 井地层压力预测与 MDT 测试压力值对比

Table 1 Comparison between predicted pore pressure and MDT measured pressure in Well W903

深度/m	MDT		等深度法			速度谱法		
	压力/MPa	压力系数	压力/MPa	压力系数	预测压力误差/%	压力/MPa	压力系数	预测压力误差/%
4 560.51	47.04	1.05	54.613	1.222	16.1	48.65	1.089	3.42
4 562.99	47.06	1.05	54.613	1.222	16.05	48.58	1.086	3.23
4 564.98	47.09	1.05	55.198	1.234	17.22	48.51	1.084	3.02
4 568.5	47.12	1.05	56.023	1.252	18.89	48.45	1.082	2.82
4 611.01	49.84	1.1	56.235	1.244	12.83	48.89	1.082	-1.91
4 611.49	49.85	1.1	56.235	1.244	12.81	48.89	1.082	-1.93
4 614	49.85	1.1	54.506	1.205	9.34	48.55	1.074	-2.61
4 616	49.86	1.1	52.166	1.152	4.62	48.41	1.070	-2.91
4 617.01	49.87	1.1	52.166	1.152	4.6	48.36	1.069	-3.03
4 634.02	50.03	1.1	48.196	1.061	-3.67	48.22	1.062	-3.62
4 639.49	50.09	1.1	47.815	1.052	-4.54	48.28	1.062	-3.61
4 644.5	50.14	1.1	47.758	1.05	-4.75	48.34	1.062	-3.59
4 654.5	50.25	1.1	47.946	1.051	-4.59	48.39	1.061	-3.70

层压力与实测的 MDT 结果的误差在 4% 以内。

表 1 是塔河油田 13 口井利用声波测井资料使用不同方法预测的地层压力与 MDT 值的对比。等深度法预测的地层压力值范围比较分散,与实测压力值相关性低,约为 0.78;速度谱法预测的地层压力与 MDT 值比较接近,相关值高,约为 0.97。通过对比,认为利用声波速度进行地层压力预测的方法具有较好的精度和稳定性。由此也证明了速度谱预测地层压力的方法具有较好的精度和可信性。该方法适用于塔河工区地层压力预测,值得我

们应用与推广。

Bowers 法获得地层压力系数,首先通过临井的速度资料推导出来参数 A, B 的值,该区 A=6, B=0.668,根据公式(4)即可获得地层的压力。图 3 为 S99 井 Bowers 法与等深度法压力预测的比较,图中红线代表等深度法预测值;黑线代表 Bowers 法预测值,二者趋势一致。Bowers 法预测的压力较等深度法预测的值小约 2%~5%,这和参数 A, B 的估算有关,二者趋势一致的本质原因是相同的声波时差,其垂直有效应力相等。

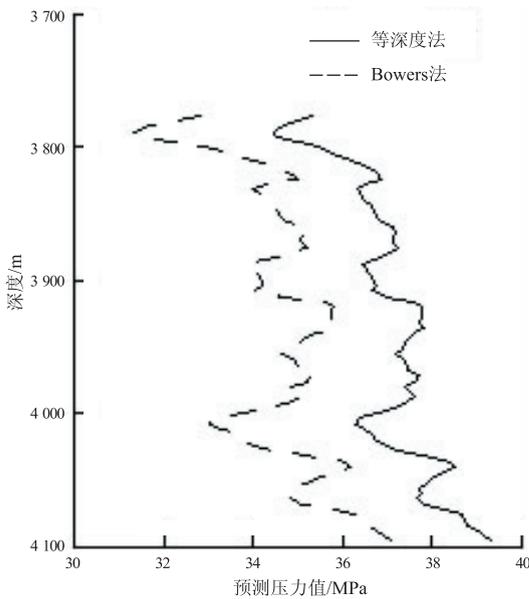


图 3 S99 井 Bowers 法与等深度法压力预测的比较

Fig. 3 Comparison of predicted formation pressure by the Bowers method and by the equivalent depth method in well S99

4 结论

1) 等效深度法利用声波时差进行压力预测具有较高的精度。Bowers 法地震速度预测地层压力结果和等效深度法相近,关键在于求取地层骨架应

力与地层速度准确关系。等效深度法和 Bowers 法对地层速度具有较高的敏感性和负相关性。

2) 地震速度资料进行地层压力预测是切实可行的。在初探区,利用速度谱法进行钻前压力预测,对于钻井效率和使用最佳泥浆比重安全钻井并提供技术支持,具有较大的应用价值。

3) 地震地层压力预测就有多解性和近似性,因此其预测结果只能作为参考。克服多解性的关键在于获得多套地层岩性的先验信息以及地震速度的精度。

参考文献:

- [1] 常文会,秦绪英. 地层压力预测技术[J]. 勘探地球物理进展,2005,28(5):314-319.
- [2] 张卫华,何生,郭全仕. 地震资料预测压力方法和展望[J]. 地球物理学进展,2005,20(3):814-817.
- [3] 孙武亮,孙开峰. 地震地层压力预测综述[J]. 勘探地球物理进展,2007,30(6):429-432.
- [4] Terzaghi K. Theoretical soil mechanics [M]. New York: John Wiley and Sons, Inc,1943:528.
- [5] Fillippone W R. Estimation of formation parameters and the prediction of overpressure from seismic data [C]// Expanded Abstracts of 52nd Annual International SEG Meeting. 1982: 502-503.
- [6] 魏茂安,陈潮,王延江. 地层孔隙压力预测新方法[J]. 石油与天然气地质,2007,28(3):395-400.

(编辑 叶德燎)

(上接第 15 页)

反射特征的井都有见水情况,但见水的几率有明显差异;“整体长串珠”类地震反射特征的井出水率相对较高;“顶部串珠状”类地震反射特征和“内幕串珠状”类地震反射特征的钻井出水比例相对较低。

3) 在井位部署过程中要综合考虑各种地震反射特征与断裂、局部构造之间的配置关系,“整体长串珠”类要考虑其与局部构造高部位配置关系,“顶部串珠”类、“内幕串珠”类和“非典型性”类地震反射特征要考虑其与断裂的配置关系。

4 总结

通过本次在南部盐下地区开展地震反射特征总结分析,以及 114 口井 4 类反射特征与生产测试情况的关系的统计,其结果显示,取得的效果比较明显,对井位部署有较大的指导意义。但由于碳酸盐岩具有强非均质性,单一的地震反射特征存在多

解性,要解决南部盐下地区油水关系还存在较大的困难,还需要结合其它多属性参数,综合考虑这一地区油气富集的规律,规避水体活跃区。

参考文献:

- [1] 刘群. 塔河地区盐下成像和储层预测技术研究:盐下储层预测与圈闭综合评价[R]. 乌鲁木齐:中石化西北分公司勘探开发研究院,2002.
- [2] 李宗杰,杨子川. 新疆塔里木盆地北部塔河油田 1 区碳酸盐岩储层预测[R]. 乌鲁木齐:中石化西北石油局,2000.
- [3] 陈广坡,潘建国,管文胜,等. 碳酸盐岩岩溶型储层的地球物理响应特征分析[J]. 天然气勘探与开发,2005,28(3):43-46.
- [4] 韩革华,漆立新,李宗杰,等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层预测技术[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6): 860-870,878.
- [5] 温志新,王红漫,漆立新,等. 塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩储层预测研究[J]. 地学前缘,2008,15(1):94-100.

(编辑 黄娟)