

西湖凹陷钻前压力预测技术及应用

邹 玮,孙 鹏,张书平,马文睿,刘 云

(中海石油(中国)有限公司上海分公司研究院,上海 200335)

摘 要:西湖凹陷普遍发育超压,钻井工程中发现,发育超压地层的钻井成本明显大于发育常压地层的井,亟需建立相关钻前压力预测技术,提高钻前压力预测精度,保障钻井安全和降低钻井成本。笔者首先对前期钻前压力预测误差大的原因进行了分析,发现压力计算参数精度低、压力计算模型不适应是导致压力预测精度低的原因,因此,在明确区域“生烃增压”成因背景下,建立了一套以高精度速度处理为基础,优选 Bowers 计算模型并通过经验系数校正的钻前压力预测技术。该技术在西湖凹陷取得了良好的应用效果。

关键词:钻前压力预测;高精度速度处理;计算方法优选;误差校正

中图分类号:TE319

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.08006

西湖凹陷目前已钻探的多口井均发育超压地层^[1,2],在钻井工程中由于钻前压力预测精度低,经常发生卡钻、井漏、垮塌等工程事故,严重制约了钻井安全和钻井效率。为此,对前期钻前压力预测精度较低的原因进行了分析,发现精度较低的原因主要有二:①计算模型不适用,当时用于钻前压力预测的计算模型是湛江分公司自研软件里自带的模型,计算模型与超压成因密切相关,莺歌海盆地超压主要欠压实成因^[3,4],而近期研究表明西湖凹陷超压成因主要为“生烃增压”^[5],因此,亟需寻找适合于西湖凹陷“生烃增压”成因的压力计算模型;②计算参数精度低,目前钻前压力预测最有效、最流行的资料仍是地震层速度,因此,地震层速度的精度直接决定了钻前压力预测的精度。前期直接应用常规地震资料获得地震层速度精度较低,需要寻求新技术获得高精度地震层速度^[6]。

因此,要提高压力预测精度应主要从提高计算参数精度和获得适合的压力计算模型两方面入手。本文通过叠前速度反演技术获得高精度地震层速度,通过对不同压力计算方法进行对比优选了压力计算模型,并确定误差校正系数,最终建立了一套适用于西湖凹陷的“生烃增压”成因的压力预测技术。

1 西湖凹陷钻前压力预测技术

1.1 求取准确的地震层速度

在常规地震处理的基础上,首先主要通过多次波压制提高地震资料信噪比,突出有效波速度能量团,再利用多种速度分析方法合理拾取速度谱,并通过叠前深度偏移方法多次迭代优化速度模型,最后利用叠前速度反演方法识别目的层岩性与得到高精度速度信息。由常规地震资料处理速度谱和精细处理后速度谱的对比分析(图 1)可见,精细处理后速度谱能量团集中明显,大大提高了人工拾取速度谱的精度,保障用于地层孔隙压力计算的参数的准确度。

收稿日期:2016-04-25

基金项目:中海石油(中国)有限公司综合科研项目(YXKY-2011-SH-01)

作者简介:邹 玮(1980—),男,硕士,工程师,主要从事海洋油气勘探及地球物理方法研究。E-mail:zouwei2@cnoc.com.cn

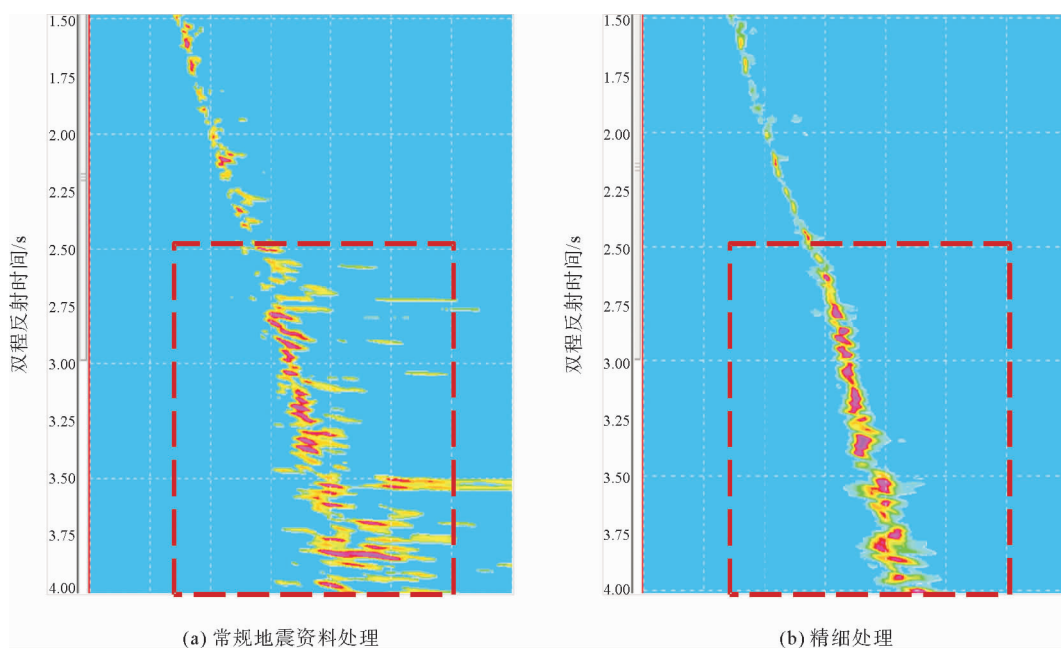


图 1 速度谱对比

Fig. 1 Comparative analysis of velocity spectra

1.2 优选地层压力预测方法

目前西湖凹陷钻前压力预测方法主要分为 2 类:第 1 类是传统趋势线法;第 2 类是速度模型法。传统趋势线法必须要借助正常压实趋势线作为参照来确定地层压力,速度模型法不需要建立正常压实趋势线,但仅限于使用速度数据确定地层压力,因此,前者由于存在建立趋势线的误差导致其精度不如速度模型法,但后者只能使用速度数据并且需要对高压成因机制有预测。

传统趋势线法中常用的 2 种方法为等效深度法和 Eaton 法^[7-9](图 2、3)。这 2 种方法的共性是都必须要借助正常压实趋势线。等效深度法强调的是“相等”,必须要在正常压实趋势线上找到与之参数相等的点才能确定地层压力;而 Eaton 也强调“相等”,但却是深度上的相等,利用同一深度上的趋势线参数与现实参数的指数关系确定地层压力,在这种意义上讲,二者区别不大。但 Eaton 法的公式中涉及到 Eaton 指数 n ,这加大了 Eaton 法的适用性,因为西湖凹陷地质背景复杂,在不同的构造上利用同一种参数的指数关系确定地层压力显然不合适。通过对各个构造的典型高压井的 n 指数分析,确定出各构造的 Eaton 指数。

从某种意义上来说,Eaton 指数 n 是对 Eaton 方法的适用性的校正。主要适用于钻后压力分析^[10]。

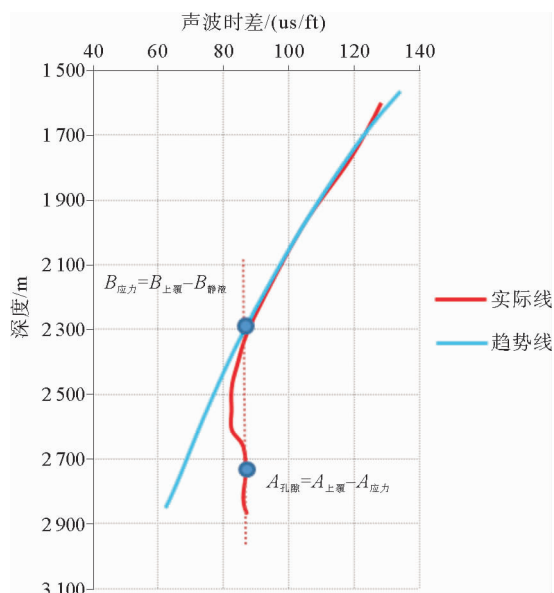


图 2 等效深度法示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the equivalent depth method

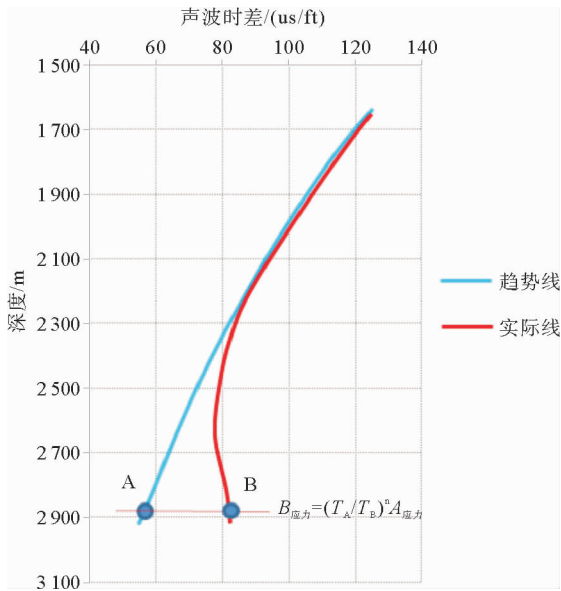


图 3 Eaton 法原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of Eaton method

速度模型法分为 Fans 简易方法和 Bowers 法^[10],均基于声波速度与有效应力的模型关系,通过常压段数据找到这种模型关系,然后将实测速度反代入模型中得到有效应力,最后结合上覆岩层压力来计算地层孔隙压力,这是真正意义上的钻前压力预测方法。

这 2 种方法的共性主要是依赖正常压实速度模型的建立,需要人为的选定正常压实段,计算出常规模型,再利用实测声波速度,反算有效应力进而计算地层压力。2 种方法的流程基本一致,只是 Bowers 法的模型分为适用于欠压实和流体膨

胀机制 2 种,且其方程建立在加载和卸载曲线上(图 4),但其需要事先判断出异常高压的成因机制,进而选择加载或卸载模型去计算地层压力。其准确性要高于传统趋势线法,适合进行钻前压力预测。

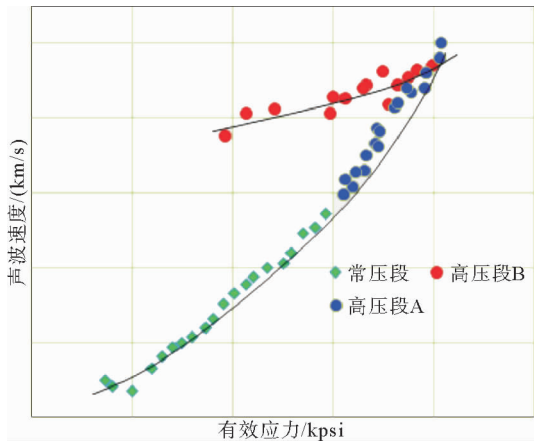


图 4 Fans 简易法和 Bowers 法对比

Fig. 4 Comparison of Fans simple method and Bowers method

通过前面的对比分析,Fans 简易法和 Bowers 法作为速度模型法其精度略高于传统趋势线法,通常简易法适合欠压实成因机制,Bowers 法适合欠压实+生烃成因机制,根据本次项目研究,西湖凹陷超压成因主要为“生烃增压”,因此钻前压力预测优选 Bowers 法,精度更高。笔者通过多年对西湖凹陷钻前压力预测的研究,总结了不同方法的优缺点及适用范围(表 1)。

表 1 不同种地层压力预测方法比较及适用范围

Table 1 Comparison of pressure prediction methods and their application

方法归类	方法比较	方法名称	具体方法比较	是否适用	使用范围
传统趋势线法	需要建立正常压实趋势,利用参数较多	等效深度法	模型简单,不可改变	否	/
		Eaton 法	Eaton 指数	是	适用于钻后压力检测
速度模型法	精度较高比传统趋势线高,主要是利用速度数据	Fans 简易法	模型符合加载曲线原理	否	适合欠压实成因机制的地层
		Bowers 法	模型同时满足加载和卸载原理,考虑到流体膨胀机制	是	适合“生烃增压”成因机制的钻前压力预测

1.3 误差精度校正

地震地层压力预测技术在油气勘探和开发中的实用价值关键在于地震预测结果的精度^[7]。由于影响速度的因素是多方面的,因此,要想利用层速度来作出准确的压力预测,理论上应当消除压力之外的其他任何因素对速度的影响,只保留压力的影响,然而,在实际工作中是很难实现的。为此,在岩石物理实验以及实际资料分析的基础上,假定当地层压力与纵波速度之间近似为线性关系或对数关系时,我们便可分别建立压力预测方程。当存在其他因素对速度的影响时,这种关系就会遭到破坏,此时为了保持这种关系的不变性,可分别引入一个随速度变化的校正系数。一般来说,只要事先可以获得数十个深度点的层速度值和相应的压力值,确定校正系数是比较容易的,具体做法如下:首先设测井测试得到的压力系数与预测压力系数的比值为 $P(c)$,利用这些根据各个区域的压力预测值与实测值及速度关系的拟合,得到西湖凹陷各区带的校正公式(图 5、6),并利用公式对得到的钻前压力预测结果进行校正。

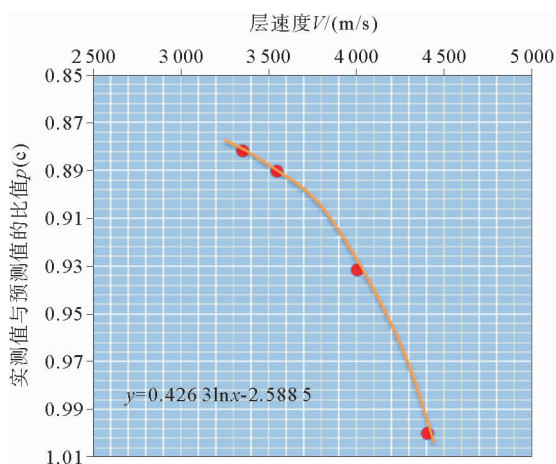


图 5 C 带压力系数误差校正曲线

Fig. 5 Error correction curve for pressure coefficient of C zone

2 应用情况

A 井是位于西湖凹陷 B 构造的一口评价井,应用本文建立的钻前压力预测技术对该井进行了钻前压力预测。

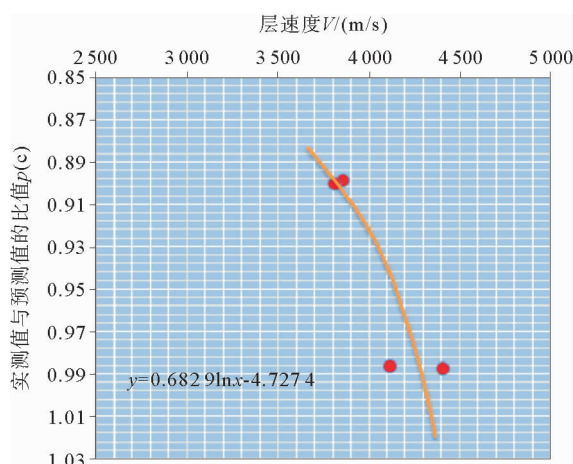


图 6 D 带压力系数误差校正曲线

Fig. 6 Error correction curve for pressure coefficient of D zone

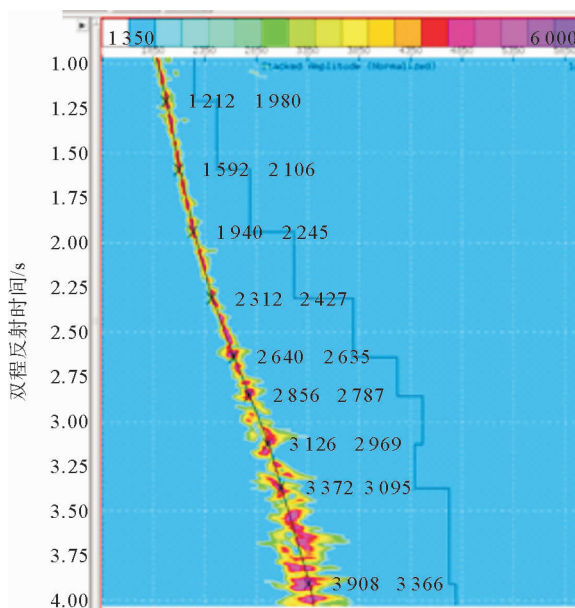


图 7 E 井精细处理后速度谱

Fig. 7 Fine processing speed spectrum of well E

2.1 钻前压力预测

首先利用剩余噪音的合理滤波、多次波压制等进行处理,提高速度谱成像效果,然后利用地震速度反演技术获得井点处能量团比较集中的地震层速度谱(图 7)。基于“生烃增压”超压成因认识,优选 Bowers 地层压力计算模型,对某构造 E 井进行钻前压力预测,并根据周边已钻井钻后压力分析情况,钻前预测结果进行误差校正,最终预

测,该井自 4 470 m(海拔)开始发育超压,到设计井底 4 700 m(海拔)的压力系数为 1.25(图 8)。

3 结论

(1)本文从分析前期钻前压力预测精度较低的原因入手,提出了一套利用叠前反演技术获高精度的地震层速度,同时优选 Bowers 计算模型,并对计算结果进行误差校正的适合于西湖凹陷“生烃增压”超压成因的钻前压力预测技术。

(2)该技术在西湖凹陷多口井中取得了良好的应用效果,钻前压力预测超压界面深度和实测点压力系数精度都得到了大大提高。

参考文献:

- [1] 张国华. 西湖凹陷高压形成机制及其对油气成藏的影响[J]. 中国海上油气, 2013, 25(2): 1-8.
- [2] 刘金水. 西湖凹陷平湖构造带地层压力特征及与油气分布的关系[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2015, 42(1): 60-68.
- [3] 刘天佑, 黎益仕, 师学明. 地层压力预测方法及其在莺歌海盆地的应用[J]. 中国海上油气, 1995, 9(5): 333-339.
- [4] 刘爱群, 周家雄, 范彩伟, 等. 莺琼盆地高温超压地层钻前压力预测面临的问题与对策[J]. 天然气工业, 2015, 35(2): 21-26.
- [5] 杨彩虹, 孙 鹏, 田 超, 等. 东海盆地西湖凹陷平湖组超压分布及形成机制探讨[J]. 海洋石油, 2013, 33(3): 8-12.
- [6] 马启富, 陈斯忠. 超压盆地与油气分布[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 21-36.
- [7] Eaton B A. The equation for geo-pressure prediction from well logs[R]. San Antonio, Texas: Society of Petroleum Engineers, 1975, 5544: 1-11.
- [8] 李清松, 张 荣. 地层压力预测在 G 油田中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2014, 11(5): 650-654.
- [9] 宋连腾, 刘忠华, 李潮流, 等. 孔隙压力成因测井反演方法研究——以 Y 井为例[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(2): 371-376.
- [10] Bowers G L. Pore Pressure estimation from velocity data accounting for overpressure mechanisms besides under-compaction [C]// International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts. 1995, 10: 89-95.

(下转第 70 页)

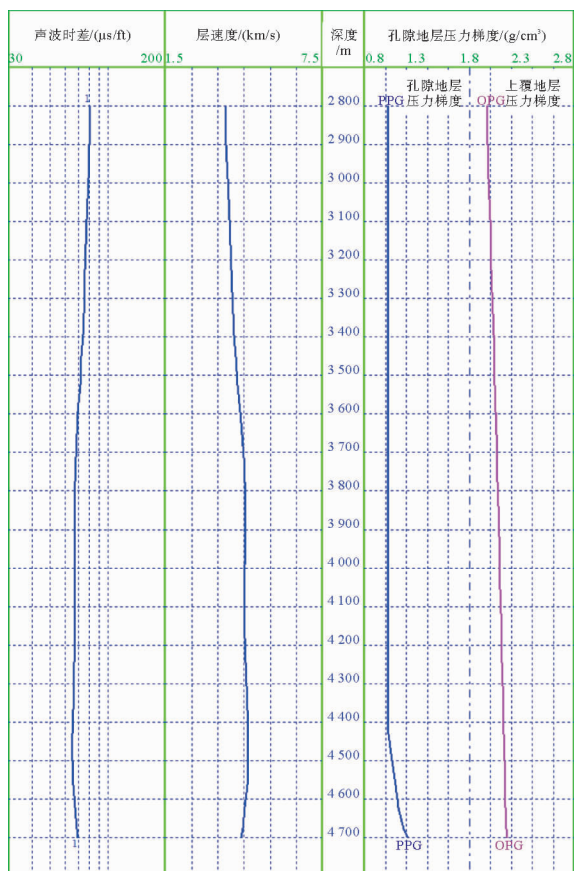


图 8 E 井钻前预测结果

Fig. 8 Pre drilling pressure prediction results of well E

2.2 钻后压力及误差分析

Pre-drilling pressure and Error analysis

钻后利用泥浆比重、声波时差、电阻率、MDT、TG 等资料综合分析获得,该井自 4 550 m 开始发育超压,到井底 4 760 m 时压力系数为 1.26。与钻前预测的井底压力系数误差在一 0.01,超压顶界面误差在一 0.8%,说明钻前压力预测精度较高,为该井安全高效的钻井提供了有力的保障。

Key words: pre-drilling pressure prediction; high precision speed processing; optimization of calculation methods; error correction