

doi: 10.11720/wtyht.2017.5.10

国春香,郭淑文,翟桐立,等.地震压力系数预测在深层天然气勘探中的应用[J].物探与化探,2017,41(5):852-855.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.5.10

Guo C X, Guo S W, Zhai T L, et al. The application of prediction of seismic pressure coefficient to deep gas exploration[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(5): 852-855. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.5.10

地震压力系数预测在深层天然气勘探中的应用

国春香,郭淑文,翟桐立,邢兴,陈璞

(中国石油大港油田勘探开发研究院,天津 300280)

摘 要: 地层孔隙压力是油气层能量的反映,是油气在储层流动的动力,准确预测地层压力对油气勘探开发尤其是深层天然气有着十分重要的意义。针对歧口凹陷异常超压发育普遍,但空间分布规律并无法预测的问题,利用地震资料结合测井、地质信息进行压力系数预测,主要分为 3 个步骤:① 从多井泥岩段测井曲线出发,利用多项式拟合出正常压实层速度;② 结合本地区地质认识建立地质框架并进行井约束地震反演,获取准确层速度体;③ 利用衍生 Fillippone 法计算地层的压力系数。歧北斜坡的滚动勘探证实,压力系数预测结果具有误差小、准确度高的特点,为深层天然气勘探提供有力依据。

关键词: 压力系数;层速度;地震反演;衍生 Fillippone 法

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2017)05-0852-04

0 引言

油气勘探实践证明,地层异常压力和油气的生成、运移、存储关系密切。在天然气的勘探过程中,精确地预测地层压力尤为重要。20 世纪中期人们已经开始展开压力预测的研究,利用电阻率和声波时差两种测井曲线建立正常压实趋势,提出等效深度的方法^[1-2]。20 世纪 80 年代, Eaton 通过详细分析和总结前人工作,给出地震波传播速度与垂直有效应力的关系,提出著名的伊顿法^[3]。Fillippone 通过研究墨西哥地区的钻井、测井、地震等资料,提出直接利用层速度计算压力的 Fillippone 公式^[4-5],得到广泛应用。1990 年,刘震通过对辽东湾辽西凹陷压力测试数据的分析,认为在一定的条件下,地层压力与速度成对数关系,提出了修正 Fillippone 公式^[6],具有良好的推广价值。单纯的利用测井资料进行地层压力预测,其结果虽然精度较高、效果较好,但此技术只能在钻井结束后应用,并不是真正意义上的预测,利用地震资料进行地层压力的预测,层速度的准确度直接影响压力系数预测的精度,随着

地震反演技术的发展,利用反演技术求取层速度预测地层压力取得较好应用效果^[7-13]。

随着勘探程度的加深,遇到的地层压力体系复杂程度日益增加,对地层压力预测精度的要求越来越高。大港油田歧口凹陷异常超压发育普遍,现有资料表明在 2 800 m 以下均有明显的超压存在,且具有随深度增加超压幅度逐渐增大的趋势,歧口主凹的深层一般都大于 1.3,且分布范围广,超压的发育使歧口凹陷中深层储集性能得到良好的改善,也是深层双重孔隙介质发育的主要原因。同时,与石油相比,天然气藏对储层物性的要求明显降低,也使得歧口凹陷深层天然气的有效勘探深度范围更大。因此需要根据地震资料进行深层压力异常分布预测,来寻找有利油气藏区。

从目前各类地层压力预测方法实际应用的效果来看,利用钻井资料进行压力预测精度高、准确性强,但无法对井间的压力进行预测,不具备预测性,地震法进行压力预测优势在于可以实现地层压力平面分布的预测,对油气藏的勘探具有指导作用,但由于预测精度受层速度的影响,多解性强。因此,笔者采用井约束反演求取速度体,提高层速度的精度,利

收稿日期: 2016-12-05;修回日期: 2017-06-21

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2013CB228606)

作者简介: 国春香(1984-),女,硕士学位,主要从事地震储层预测研究工作。Email: gcx0407@126.com

用衍生 Fillippone 法直接计算压力系数,有效避免由于地层构造变化剧烈难以准确求取上覆地层压力的难题,应用效果良好。

1 方法技术原理

1.1 衍生 Fillippone 法压力预测^[14-17]

利用地震资料进行地层压力预测,主要是利用地层超压低速的特点,当地层为正常压实时,地层速度随着深度的增加而增加,当地层出现超压现象时,层速度呈现明显降低的现象。

根据歧口凹陷深层地质条件,笔者采用衍生 Fillippone 法进行地层压力系数的计算。当地层为正常压力时,地层压力为:

$$p_{fz} = p_H = p_{ov}(v_{\max} - v_z)/(v_{\max} - v_{\min}), \quad (1)$$

其中: p_H 为静水压力; p_{ov} 为上覆地层压力, $v_{\max}$ 是有效空隙接近于零时的地层速度,近似于基质速度; $v_{\min}$ 为地层刚性接近于零时的速度,近似于空隙流体速度; v_z 为正常压实趋势层速度。实际地层速度为:

$$p_f = p_{ov}(v_{\max} - v_i)/(v_{\max} - v_{\min}), \quad (2)$$

其中, v_i 为地层实际层速度。根据压力系数的定义可知:

$$P_c = (v_{\max} - v_i)/(v_{\max} - v_z), \quad (3)$$

其中, P_c 即为所求压力系数。当 $P_c = 1$ 时,属于正常地层压力;当 $P_c < 1$ 时,称为地层低压异常;当 $P_c > 1$ 时,称为地层超压异常。

1.2 层速度求取

由于歧北斜坡中低斜坡构造起伏较大,叠加速度谱质量可靠程度不高,选用基于地震资料反演得到的速度求取实际层速度。首先对井曲线进行环境校正,将各口井井曲线环境、标准进行统一;然后进行精准的标定和精细的构造解释,再此基础上建立地质框架;最后多井联合提取井旁道子波进行井约束稀疏脉冲反演,该方法充分结合了测井纵向高分辨率和地震平面数据密集的特点,既克服了测井方法在空间上的局限性,又降低了纯地震方法多解性强的弊端,在提高精度的同时对无井探区地层压力进行有效的预测。速度体反演是获得高精度地层压力剖面的关键,其核心内容为波阻抗反演。获得波阻抗数据后可利用全区的 ρ - v 关系或 Garden 公式分离提取层速度体。

1.3 压实趋势速度求取

正常压实趋势层速度 v_z , 主要是从多井厚层泥岩的声波时差出发,根据歧口凹陷的情况,采用多项

式趋势分析,以回归方程 $f(x, y)$ 进行拟合逼近。多项式的次数越高,求取过程越复杂,结果精度越高,根据本地区实际数据回归结果,文中采用三次多项式进行压实趋势面拟合,即:

$$f(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9y^3, \quad (4)$$

其中 $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9$ 均为待定系数, x, y 为样点坐标,要求所获得的趋势值 $f_i(x, y)$ 与 v_i 之差的平方和达到最小,即:

$$Q = \sum [v_i - f_i(x, y)]^2. \quad (5)$$

2 实例应用

2.1 区域概况

歧口凹陷新生界沉积层系多、埋藏深度大,主凹区古近系底界埋深一般 6 500~11 000 m,从其温度和压力的分布来看,实测的静温点资料反映出歧口凹陷古近系主要为正常的地温环境,静温随深度的变化呈非常规则的线性增加的直线关系。歧口凹陷的压力分布则具有明显的超压特征,静压随深度的变化在 2 800 m 以下明显偏离静水压力梯度线呈显著增高的趋势。因此歧口凹陷总体表现为“正常地温、异常高压”的环境。这种温压条件对天然气藏有以下几个方面的控制作用:一是决定了歧口凹陷主力烃源岩具有大量生成凝析油气的条件;二是超压的分布使烃源岩热演化滞后效应明显,主力气源岩大量生排气时期明显后移,主力生气期作用时间短,据实际资料分析,主力气源岩主生气期一般小于 20 Ma,因此发育适宜晚期成藏的高效气源灶,对气藏的最终成藏十分有利;三是超压造成的热演化滞后效应,使烃源岩大量生气深度明显偏深,再加上超压对深部储层的改善作用,造成歧口凹陷天然气有效勘探深度向深部偏移,天然气的勘探范围广。

2.2 异常高压预测与效果分析

歧口凹陷多年的勘探成果显示,沙二、沙三段气藏发育,存在异常高压。G1 井为歧北低斜坡天然气高产井,图 1 为 G1 井不同深度实测压力系数散点。从图上可以看出:2 800 m 以上为正常压实,2 800~3 900 m 深度段异常高压发育。精确预测异常高压的空间分布范围对本地区天然气勘探意义重大。

综合运用上述方法,对沙三段进行压力系数预测。首先通过井约束稀疏脉冲反演生成三维波阻抗数据体,通过多口井声波时差和密度曲线拟合出 ρ - v 关系式,即:

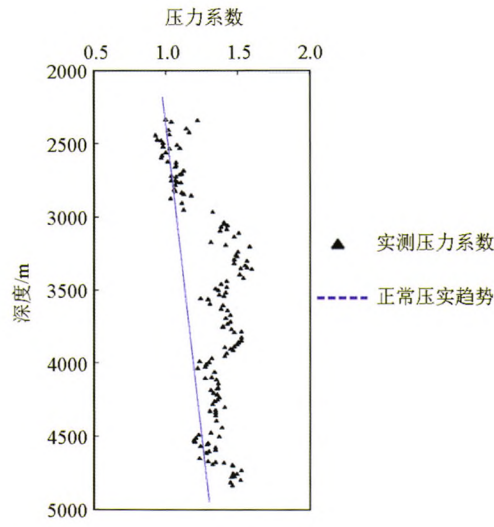


图 1 G1 井实测压力系数

$$\rho = 0.48v^{0.21}。 \tag{6}$$

根据 ρ - v 关系式分离出层速度 v_i 。图 2 是过井 G1、G2 的速度反演剖面,从图上可以看出层速度在在滨 IV 段明显降低。

然后利用多项式回归拟合出正常压实趋势层速

度 $v_{正}$,在回归过程中最大速度即为 v_{max} 。最后代入到衍生 Fillippone 法计算地层压力系数。

由于不同层位压力系数变化规律各不相同,结合部分试油实测的压力资料,主要对歧北次凹滨 IV、沙三¹ 两个层位进行压力系数预测,结果如图 3、4 所示。

前期勘探结果表明,在相同地层中,含气区压力系数值表现为大值或者较大值,与压力系数预测结果一致。在滨 IV 地层存在 3 个明显的异常压力系数变化区,G1 井、G2 井均处于中部超压带上,压力系数在 1.4~1.6 之间,该结果与两口井的钻井结果相吻合;沙三¹ 地层在 Gx1 井和 Gx2 井之间存在一个比较明显的异常压力系数变化区。

根据压力系数预测分析结果和储层综合研究部署 G3 井,G3 在沙二段、沙三段均钻遇高产工业气流。G3 预测压力系数与实测系数对照表如表 1 所示,通过对比可以看出,预测结果误差较小,与实测压力系数基本吻合,说明利用波阻抗反演体进行压力系数预测有较好的应用效果,预测结果既为压力系统和成藏体系的研究工作提供了很好的基础资料,又可通过异常压力预测深层天然气富集区。

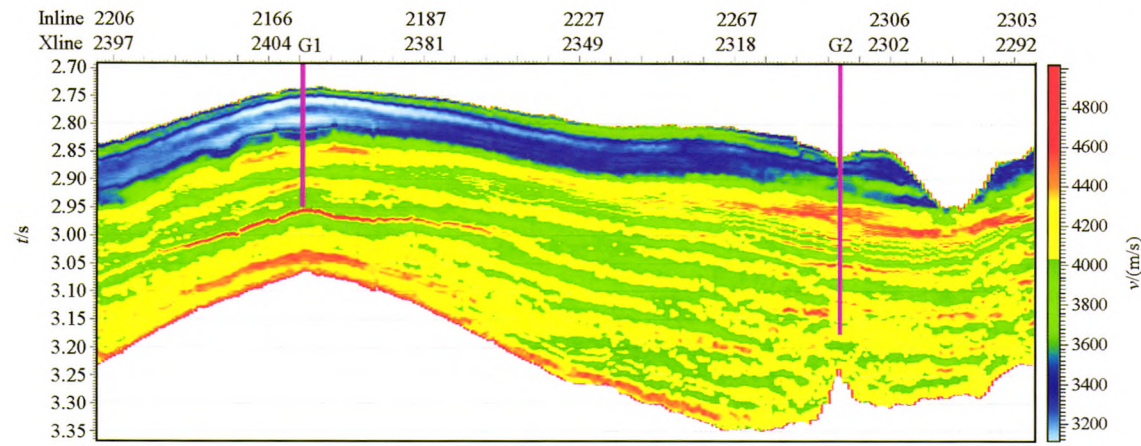


图 2 过井 G1、G2 速度反演剖面

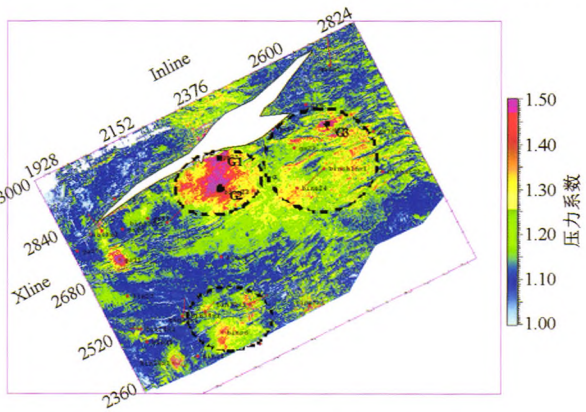


图 3 歧北低斜坡滨 IV 压力系数平面分布

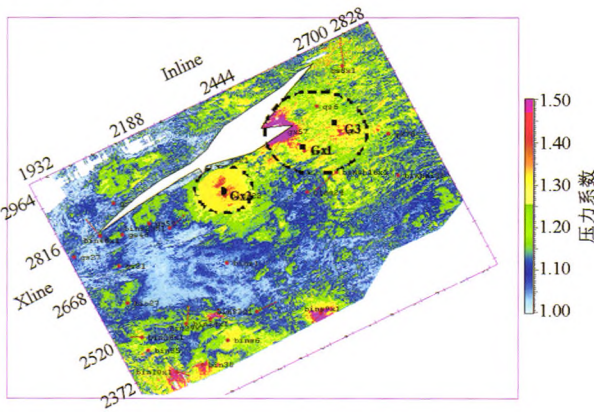


图 4 歧北低斜坡沙三¹ 压力系数平面分布

表 1 G3 井预测压力系数与实测压力系数对比

深度/m	预测压力系数	实测压力系数	相对误差/%
2900	1.1901	1.23	3.2
3100	1.3601	1.35	0.7
3300	1.5012	1.52	1.2
3500	1.3909	1.37	2.9
3700	1.4487	1.46	0.8
3900	1.2721	1.31	1.4

3 结论

1)地震资料具有其他资料不可比拟的横向连续性,测井曲线在纵向分辨率上占据优势,通过井约束地震反演,有效的把测井信息与地震信息结合起来,为压力预测提供精确的层速度体。

2)利用衍生 Fillippone 法计算压力系数,有效地提高压力系数预测的精度,为歧口凹陷深层天然气的勘探提供有力依据。

3)地震地层压力预测方法可以对异常超压的展布形态进行描述,主要利用超压地层低速的特点,但形成超压层的原因有很多方面,此方法不适用于对非压实成因的超压层。

参考文献:

[1] 云美厚.地震地层压力预测[J].石油地球物理勘探,1996,31(4):575-586.

[2] 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.

[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):428-432.

[4] Fillippone W R.On the Prediction of abnormally pressured sedi-

mentary rocks from seismic data [C]//Proceedings of 1979 Off-shore Technology Conference. Houston, Texas: Offshore Technology Conference, 1979.

[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.Dallas:Society of Exploration Geophysicists,1982:502-503.

[6] 刘震,张万选,张厚福,等.辽西凹陷北洼下第三系异常地层压力分析[J].石油学报,1993,14(1):14-24.

[7] 管红.井约束地震反演预测地层压力的方法——以渤海湾盆地某凹陷为例[J].天然气地球科学,2008,19(2):276-279.

[8] 石万忠,何生,陈红汉.多地震属性联合反演在地层压力预测中的应用[J].石油物探,2006,45(6):580-585.

[9] 屈大鹏,陈超,王明飞,等.川东南地区基于海相泥页岩地层的压力系数预测——以丁山区块为例[J].物探与化探,2016,40(2):349-352,389.

[10] 乐友喜,袁青,韩宏伟,等.时深效应指数在超压储层孔隙度预测中的应用[J].物探与化探,2012,36(5):793-797.

[11] 乐友喜,曾有良.多项式的井间地震速度场反演方法[J].物探与化探,2006,30(2):169-171,174.

[12] 白雪,李振春,张凯,等.基于井数据约束的高精度层析速度反演[J].物探与化探,2015,39(4):805-811.

[13] 胡嘉良,高玉超,余继峰,等.基于 PCA-BP 神经网络的非常规储层岩性识别研究[J].山东科技大学学报:自然科学版,2016,35(5):9-16.

[14] 王兴岭,冯斌,李心宁.井约束地震压力预测在滚动勘探开发中的应用[J].石油地球物理勘探,2002,37(4):391-394.

[15] 聂凯轩,陆正元,冯斌,等.时变地震资料压力异常分析在综合地质研究中的应用[J].石油地球物理勘探,2006,41(6):672-675.

[16] Lines L.速度与深度分析中的多解性[J].顾先觉,译.国外油气勘探,1995,7(5):619-621.

[17] 邓富求.用地震资料预测沉积岩的异常压力带[J].石油物探译丛,1984(4):44-55.

The application of prediction of seismic pressure coefficient to deep gas exploration

GUO Chun-Xiang, GUO Shu-Wen, ZHAI Tong-Li, XING Xing, CHEN Pu

(Research Institute of Exploration and Development, Dagang Oilfield, PetroChina, Tianjin 300280, China)

Abstract: The formation pore pressure is the reflection of the energy of oil and gas, and is the driving force for oil and gas migration in the reservoir. It is very important to accurately predict formation pressures in oil and gas exploration and development, especially in deep gas exploration and development. Using seismic data, logging information and geological information to predict the pressure coefficient can be divided into three steps: First, based on well logging curve of multi-well mudstone, the normal compaction interval velocity is calculated by polynomial fitting; Second, for the purpose of obtaining the accurate interval velocity body, a geological framework and the well-constrained seismic inversion are established based on the geological understanding of the region; Third, the formation pressure coefficient is calculated by the derived Fillippone method. The progressive exploration of Qibei slope confirms that the prediction of pressure coefficient has the characteristics of minor errors and high accuracy, thus providing a powerful basis for deep gas exploration.

Key words: pressure coefficient; interval velocity; seismic inversion; derivative Fillippone method

(本文编辑:叶佩)