

碳酸盐岩地层横波速度预测

陈启艳, 高建虎, 董雪华, 蒋春玲

(中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:纵横波速度是各种岩石物理性质与地震勘探的桥梁,通过纵横波速度研究可以对储层岩性、物性和流体进行有效识别。然而在实际研究中往往缺乏横波资料,这就需要对横波速度进行估算。目前碎屑岩地区横波速度预测研究已经很成熟,而碳酸盐岩储层由于复杂的岩性和孔隙结构,严重影响横波速度预测精度,造成横波预测研究发展缓慢。Xu-Payne 模型通过考虑不同孔隙类型(粒间孔、孔洞及裂缝)对弹性波速度的影响,理论上能够有效预测碳酸盐岩储层的横波速度。阐述了基于 Xu-Payne 模型的横波速度预测方法,分析了碳酸盐岩不同孔隙形状(包括洞穴、粒间孔、裂缝)对速度的影响,对其在碳酸盐岩地层中的适用性予以解释。最后利用不同模型对碳酸盐岩实际资料进行了横波速度预测,通过比较,Xu-Payne 模型法预测结果精度比 Xu-white 模型高 2.9%,同实测横波速度吻合更好。

关键词:横波速度;碳酸盐岩;孔隙形状;孔隙纵横比;岩石物理模型

中图分类号:TE132.1⁺4

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2014)06-0921-07

引用格式:Chen Qiyang, Gao Jianhu, Dong Xuehua, *et al.* Shear velocity estimation in carbonate reservoir[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(6): 921-927. [陈启艳, 高建虎, 董雪华, 等. 碳酸盐岩地层横波速度预测[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(6): 921-927.]

0 引言

横波速度是地震波正演模拟、AVO 分析及叠前地震反演中必不可少的资料,然而在实际生产中,由于横波测井成本昂贵,研究区往往缺乏横波速度资料,因此,如何对横波速度进行有效预测是亟需解决的问题^[1-2]。

目前针对碎屑岩的横波速度预测已经开展了大量研究,形成了多种预测方法和技术。大致可以分为 3 类:一是经验公式法,如 Castagna 等^[3]和 Han 等^[4-10]给出的纵横波速度经验公式;二是理论公式法,Xu 等^[11-12]结合 Kuster 公式^[13]、微分有效介质理论(DEM)和 Gassmann 方程,提出了利用孔隙度和泥质含量等估算纵横波速度的方法,是目前比较常用的碎屑岩地层横波速度预测方法^[14-18];三是神经网络法,基于多种测井资料,利用神经网络的方法,

进行横波速度估算。

相对碎屑岩储层,碳酸盐岩储层的孔隙结构更加复杂,储层在纵向和横向上非均质性更强,因此,利用上述方法进行碳酸盐岩横波速度预测的效果不佳。2009 年 Xu 等^[19]和 Payne^[20]在 Xu-White 模型的基础上,结合 K-T 理论与微分有效介质理论,通过考虑不同孔隙类型(粒间孔、孔洞及裂缝)对弹性波速度的影响,建立了 Xu-Payne 模型。该模型不仅可以预测出碳酸盐岩的横波速度,还可以预测出碳酸盐岩的孔隙类型。

本文基于岩石物理理论,阐述了基于 Xu-Payne 模型进行横波速度预测的方法,并对该方法进行了编程实现。着重分析了碳酸盐岩不同孔隙类型(洞穴、粒间孔、裂缝)对纵横波速度的影响,利用模型数据和实际数据对该方法的有效性进行了验证,并与其他方法预测的横波速度进行了对比分析,证明了

收稿日期:2013-09-03;修回日期:2013-11-19.

基金项目:国家科技重大专项“复杂储层预测与含气检测新方法与新技术研究及应用”(编号:2011ZX05007-06)资助。

作者简介:陈启艳(1981-),女,吉林通化人,工程师,硕士,主要从事地震岩石物理、储层预测研究。E-mail:chenqiyang@petrochina.com.cn.

利用该方法进行横波速度估算的有效性。

1 横波速度预测方法原理

1.1 模型构建

碳酸盐岩的孔隙类型包括粒间孔、微裂缝、孔洞等多种,各种孔隙类型由于几何形状的不同,对岩石的弹性影响也不同^[21-23]。假设孔隙的形状为理想椭球体,则可以由孔隙纵横比 α 对不同孔隙类型进行描述,孔隙纵横比 α 定义为椭球体短轴与长轴之比。不同类型的孔隙,其对应的孔隙纵横比不同。当岩石的孔隙是孔洞、溶洞时,孔隙形状是圆形的,纵横比范围在 0.5~1 之间;粒间孔隙纵横比在 0.1~0.5 之间;当岩石的孔隙是微裂缝时,孔隙形状扁平,微裂缝纵横比较小,其值域在 0.01~0.1 之间。

图 1 是基于 Xu-Payne 模型,计算的白云岩地层不同孔隙纵横比对应弹性参数(纵横波速度和密度),计算时所用的矿物组分参数见表 1,白云岩含量为 80%,泥岩含量为 20%,孔隙度为 6%,含水饱和度为 20%。

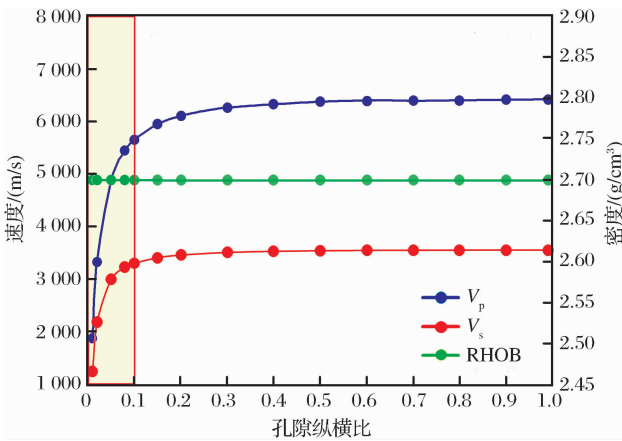


图 1 孔隙纵横比对弹性参数的影响

Fig. 1 The effect of pore aspect ratio on elastic parameter

表 1 矿物组分参数

Table 1 Mineral composition parameter

矿物或流体	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	密度/(g/cm ³)
白云岩	94.9	45	2.87
黏土	27	17	2.68
水	2.56	—	1.0
气	0.038	—	0.15

从图 1 可以看到,孔隙纵横比对岩石密度的影响很小,但对纵横波速度的影响很大。尤其当孔隙纵横比小于 0.1 时,即孔隙为裂缝类型时,速度随纵横比的增大而急剧增大,当孔隙纵横比大于 0.1 后,

速度增加缓慢。一般砂岩储层为粒间孔,孔隙类型对其弹性参数影响并不显著,而碳酸盐岩不仅有粒间孔、孔洞,还有对速度影响最敏感的裂缝,所以碳酸盐岩岩石物理模型必须考虑孔隙类型。

图 2 是碳酸盐岩矿物体积模型示意图,其中岩石骨架部分包括方解石和白云石,总孔隙 φ_T 分成 4 个部分:①和泥岩有关的孔隙 φ_{clay} ;②粒间孔 φ_{ip} ;③刚性孔隙(孔洞、洞穴等) φ_{stiff} ;④微裂隙(裂缝) φ_{crack} 。

$$\varphi_T = \varphi_{\text{clay}} + \varphi_{\text{crack}} + \varphi_{\text{stiff}} + \varphi_{\text{ip}}$$

1.2 计算方法

Xu-Payne 模型预测法遵循 Xu-White 所描述的过程,首先进行基于加权平均法的密度重建,反演出矿物和流体的密度,构建出总孔隙度。该模型中包括前面所述的 4 种孔隙类型,如果需要,该模型可以方便地扩展为更多的孔隙模型,但在实际应用中,4 种孔隙类型足够。在此基础上,利用 K-T 模型求取干岩石弹性模量,然后基于 Gassmann 方程计算饱和孔隙流体岩石的等效体积模量和剪切模量,并进一步计算纵波速度和横波速度。和碎屑岩横波预测方法的最大差异在于干岩石弹性模量的求取,在碳酸盐岩模型中,通过将不同孔隙逐次加入到岩石中,从而实现了不同孔隙形状对弹性参数影响的考虑。通过构建初始岩石物理模型,利用已知的密度曲线、纵波曲线,经钻井测试和岩心资料约束,比较计算值与实测值的误差,从而计算出与实际地质情况相近的横波速度。

该方法中具体包括 4 个步骤:

(1)利用混合理论计算岩石多种基质矿物的等效体积模量(例如 V-R-H 模型)。由于碳酸盐岩通常情况下含有一定泥质,并非纯净,在该部分加入黏土矿物,从而增强模型适用性。

(2)利用微分有效介质理论计算干岩石的弹性模量 M_d ,具体包括 2 个过程:①利用微分等效介质理论(DEM),将具有束缚水的微孔隙加入到骨架中;孔隙间的机械作用用 Kuster-Toksoz 理论表达;最终计算的有效弹性参数将作为流体替换的固体成分。②返回到步骤①,利用等效介质理论,将含有剩余水的孔隙和空的可动水孔隙也加入到系统中,计算干岩石的有效弹性参数。计算过程中主要涉及到 2 个参数,即孔隙纵横波比 α 和孔隙度 φ 。若测井解释孔隙度曲线是可靠的,则可利用 Kumer 等提出的方法估算碳酸盐岩各类孔隙(粒间孔隙、溶洞和裂缝)的体积百分含量和纵横比^[24]。该过程首先假设碳酸盐岩中以粒间孔为主,从而建立孔隙度—速度

趋势线,在趋势线之上的纵横波速度样点,可假设是粒间孔和硬孔洞组合,在趋势线之下的纵横波速度点,可假设是粒间孔和微孔隙组合,因此可以由纵波速度和孔隙度反演孔隙类型。

(3)利用流体混合定律(例如 Wood 方程)计算孔隙流体(包括油、气和剩余水)的弹性模量 K_f 。

(4)向孔隙系统中加入流体混合物,利用 Gas-smann 方程计算饱和流体岩石的体积模量和剪切模量,并进一步计算纵横波速度和密度。

该方法假设孔洞系统连通较好,适应于有效渗透率高情况,在地震波半周期内,孔隙间的孔隙压力不同。另外含水孔洞将作为独立体考虑,因为它们尺寸小,容易导致高频地震响应。

1.3 模型参数及实验结果

赵克超等^[25]根据 Toksoz 和 Cheng 针对大量常见岩石的 SEM 电子扫描成像结果,发现概率最大的孔隙纵横比特征值为 1.0、0.1、0.01 和 0.001,对应于实际地层,1.0 代表球状孔洞,0.1 代表常见的粒间孔隙,而 0.01 和 0.001 代表裂缝孔隙。在不同

孔隙度情况下,利用碳酸盐岩模型及 Xu-White 模型,针对上述 4 种主要孔隙,分别计算了纵横波速度,计算时所用的矿物组分参数与表 1 相同。计算结果如图 3 所示。从图 3 可以看到,孔隙度一定时,纵横波速度随孔隙纵横比减小而减小;对于特定孔隙形状的岩石,纵横波速度随孔隙度增大而减小。对于孔洞和粒间孔隙,2 种模型计算的纵横波速度值比较接近,但对裂缝型孔隙,2 种方法预测的纵横波速度差异较大,并且随着孔隙度的增大,两者的差异愈大。分析其原因,主要是由于 Xu-White 模型是基于碎屑岩的孔隙结构建立的,孔洞和粒间孔在碎屑岩和碳酸盐岩中都存在,因而针对这 2 类形状的孔隙,利用 2 种模型算法计算的横波速度差别不大。纵横比较小的裂隙型孔隙则是碳酸盐岩地层典型的孔隙形状,在利用 Xu-White 模型进行纵横波速度计算时,误将这 2 种孔隙结构均视为纵横比较大的粒间孔或孔洞,从而使预测结果偏高。因而针对含有裂缝型储层的碳酸盐岩地层,利用碳酸盐岩模型计算的纵横波速度精度更高。

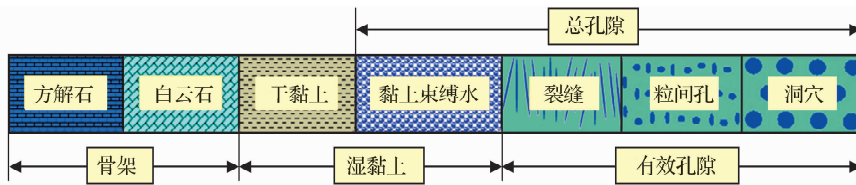


图 2 碳酸盐岩矿物体积模型示意
Fig. 2 Carbonate mineral volume model

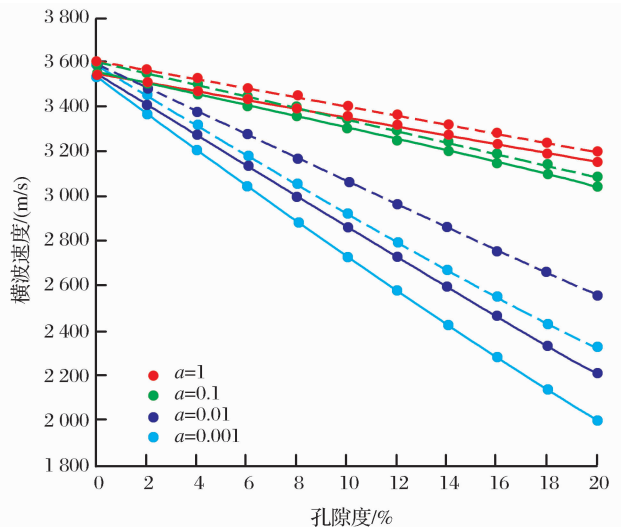
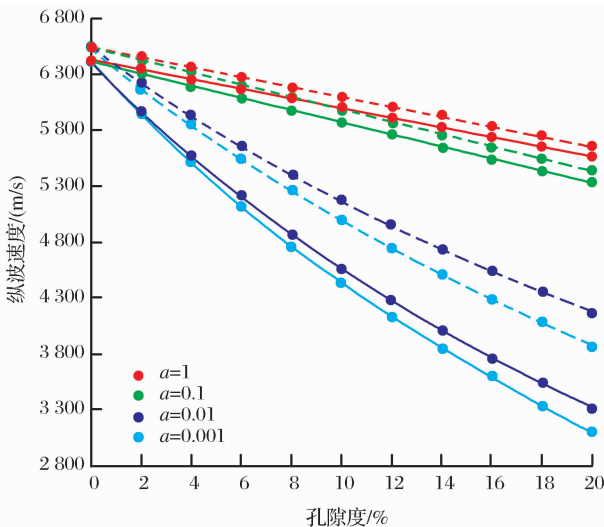


图 3 孔隙类型对纵横波速度的影响

(实线是基于 Xu-Payne 模型的预测结果,虚线是基于 Xu-White 模型的预测结果)

Fig. 3 The influence of pore types to P-wave and S-wave velocity

(Solid line results are based on Xu-Payne model,dotted line results are based on Xu-White model)

2 实际资料的横波速度预测

2.1 区域地质概况

对川中某研究区 A 井进行了横波速度估算。该井目的层段主要矿物成分是白云石,并含有少量泥质,储层内的孔隙流体主要是水和天然气,储层类型为裂缝—孔洞型储层、裂缝孔隙型。该井应用 Xu-Payne 模型和 Xu-White 模型分别进行了横波预测,计算中所用的矿物组分参数如表 2 所示。

2.2 应用效果分析

首先利用测井解释估算出白云石及黏土含量、孔隙度及含气饱和度,综合已知的纵波速度、密度,运用 Xu-Payne 模型对 A 井的纵横波速度进行了预测。如图 4 所示,图中自左向右分别是矿物含量、孔

隙度、饱和度、纵波速度、密度和横波速度曲线。对于第 4 道、第 5 道、第 6 道,其中黑色曲线是实测曲线,红色曲线是 Xu-Payne 模型法预测的曲线,通过比较可以看到,预测纵横波速度曲线、密度曲线与实测数据基本一致,预测精度很高,充分证实了 Xu-Payne 模型横波速度预测方法在碳酸盐岩地层中的有效性。

图 5 是通过 Xu-White 模型和 Xu-Payne 模型 2 种算法得到的预测横波与实测横波的对比图,前 3 道曲线分别是矿物含量、孔隙度、含气饱和度,第 4 道曲线中,红色曲线是裂缝体积分量,黑色曲线是孔洞体积分量,第 5 道、第 6 道中红色曲线分别是 Xu-Payne 模型、Xu-White 模型预测曲线,黑色曲线是实测曲线。从图 5 上可以看到, Xu-Payne 模型法预测结果与实测曲线吻合度更高,相关系数达到 98.8%,

表 2 矿物组分参数

Table 2 Mineral composition parameter

矿物或流体	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	纵波速度/(m/s)	横波速度/(m/s)	密度/(g/cm ³)
白云岩	92.43	38.33	7 160	3 700	2.80
黏土	31.6	19.54	4 709	2 741	2.60
水	2.56	0	1 600	0	1.0
气	0.038	0	500	0	0.15

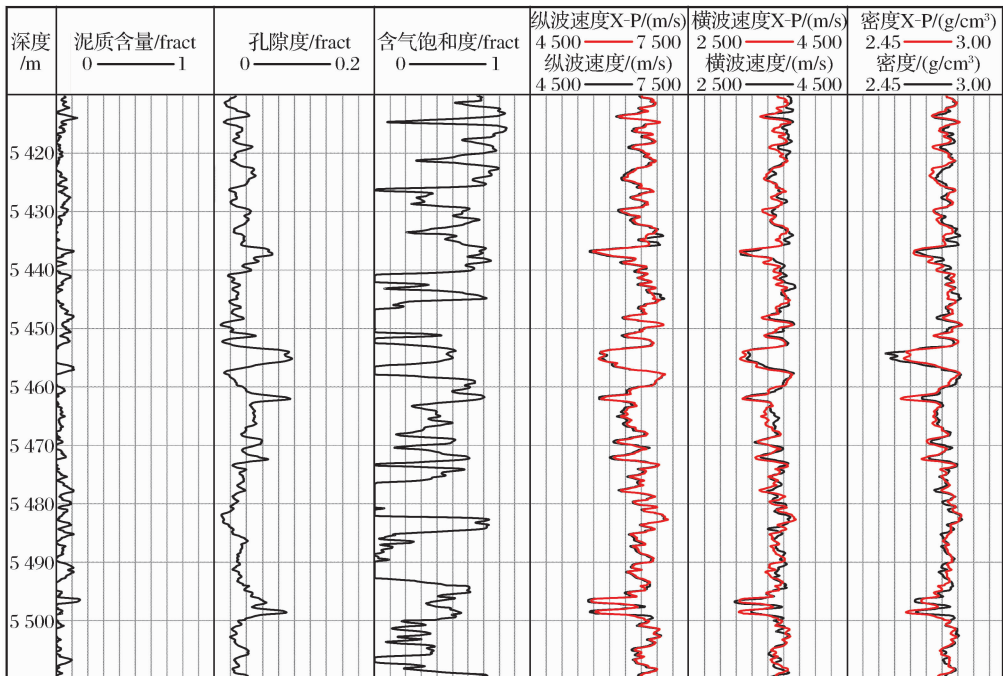


图 4 A 井横波预测效果

Fig. 4 S-wave predicted result in well A

而 Xu-White 模型的预测相关系数为 95.9%,尤其在裂缝体积分量比较大时(蓝框区域), Xu-Payne 模型预测结果基本与实测曲线基本一致,预测曲线比

实测曲线略小,而 Xu-White 模型预测结果偏高。为了更直观地进行对比分析,图 6 是实测数据分别与 2 种算法的预测数据交会图,容易看到,基于 Xu-

Payne 模型算法预测的横波数据基本沿斜率为 1 的直线分布;而基于 Xu-White 模型的预测横波数据在速度偏小时,即裂缝体积分数相对较高时,大多位于斜率为 1 的直线上方,总体呈偏高趋势。同时,对

2 种预测结果的值域范围与实测数据进行重叠比较,同样可以看到,基于 Xu-White 模型预测的横波数据范围较窄,实测值明显偏高,基于 Xu-Payne 模型法预测的横波数据范围和实测值基本一致(图 7)。

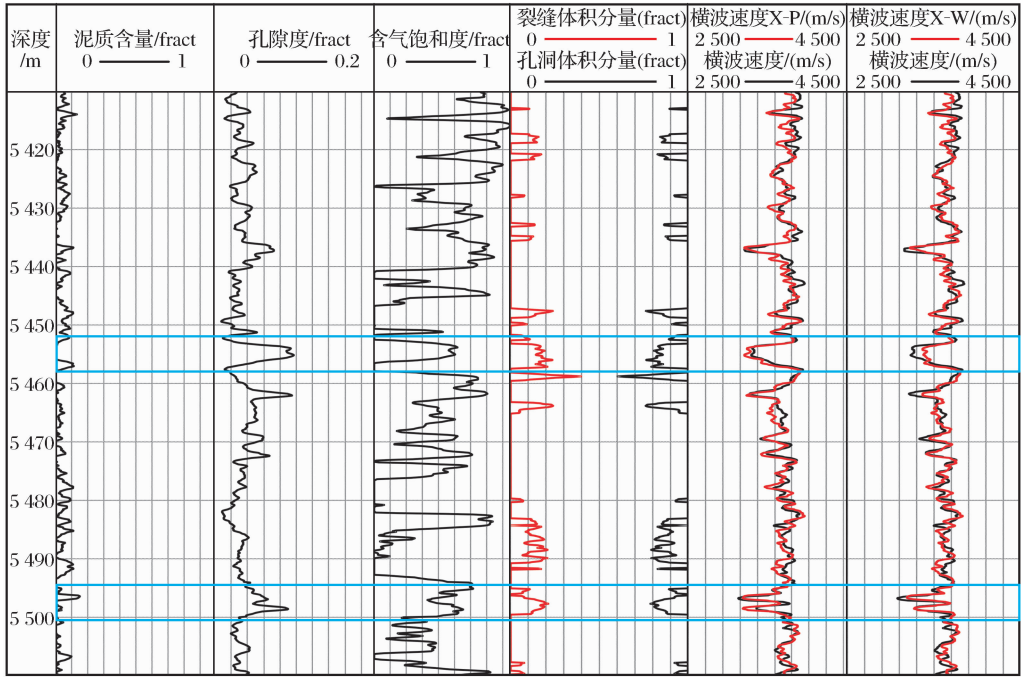


图 5 A 井 Xu-Payne 模型法与 Xu-White 模型法横波预测比较

Fig. 5 Predicted result comparison between Xu-Payne model and Xu-White model in well A

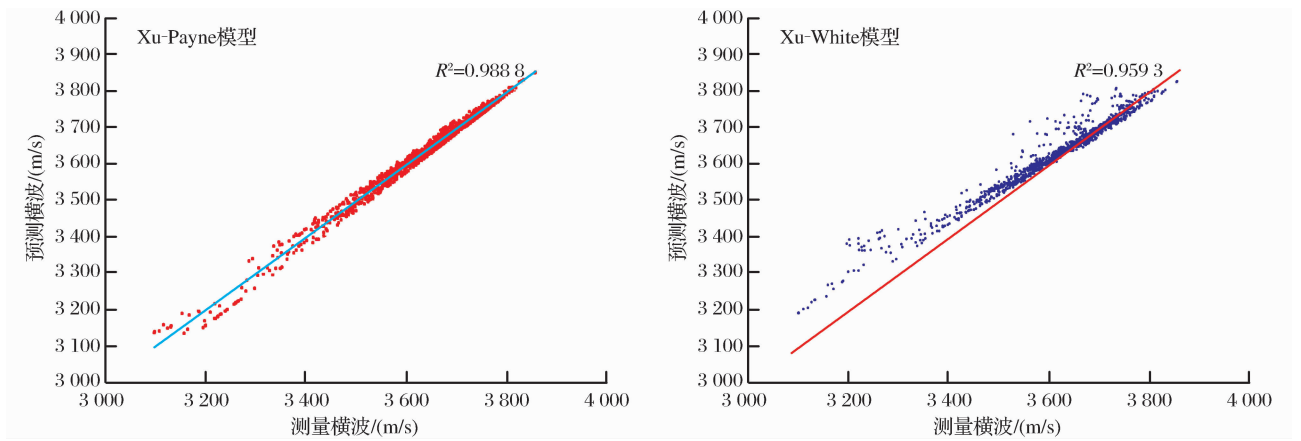


图 6 Xu-Payne 模型法与 Xu-White 模型法预测横波与测量横波交会

Fig. 6 Cross plot of measured S-wave velocity and predicted S-wave velocity calculated by Xu-Payne model and Xu-White model

3 结论

Xu-Payne 模型方法充分考虑了碳酸盐岩的岩石矿物组成(方解石、白云石)和孔隙构成(孔洞、粒间孔、裂缝),能更好地描述岩石的弹性特征,从而适用于复杂孔隙类型的碳酸盐岩地层描述。

Xu-Payne 模型的理论基础是基于碳酸盐岩地层,川中震旦系地质条件满足这一先决条件,因此在该地区具有较好的地质应用基础。实际应用效果表明,基于 Xu-Payne 模型法预测精度高达 98.8%,与实测曲线误差很小,吻合度极高,尤其在裂缝体积含量相对偏高储层中,Xu-Payne 模型法优势更加明

显。精度较高的横波预测为后续的叠前反演和AVO分析提供可靠的基础数据。

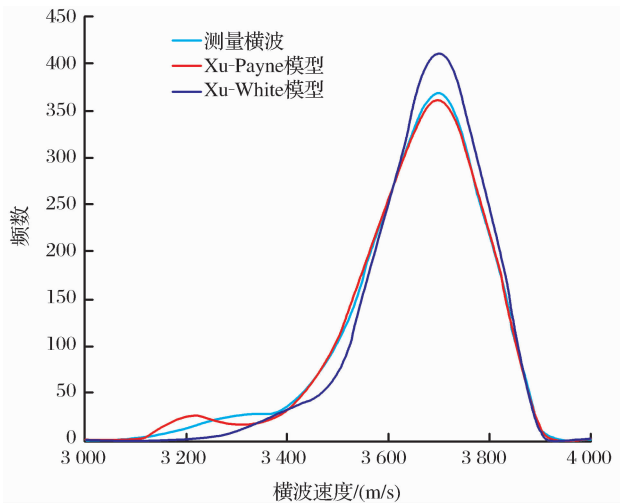


图7 预测横波与实测横波值域范围比较

Fig. 7 Value range comparison of predicted and measured S-wave velocity

参考文献 (References):

- [1] Guo Xiaolong, Ouyang Yongling, Chen Haidong, *et al.* Application of pre-stack seismic inversion in Sulige area[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(6): 840-843. [郭晓龙, 欧阳永林, 陈海东, 等. 叠前地震反演技术在苏里格地区的应用[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(6): 840-843.]
- [2] Li Xia, Shi Yujiang, Wang Ling, *et al.* Logging identification and evaluation technique of tight sandstone gas reservoirs: Taking Sulige Gas Field as an example[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(1): 62-68. [李霞, 石玉江, 王玲, 等. 致密砂岩气层测井识别与评价技术[J]. *天然气地球科学*, 2013, 24(1): 62-68.]
- [3] Castagna J P, Batzle M I, Eastwood R I. Relationships between compressional wave and shear wave velocities in clastic silicate rocks[J]. *Geophysics*, 1985, 50(5): 571-581.
- [4] Han D H, Nur A, Morgan D. Effects of porosity and clay content on wave velocities in sandstones[J]. *Geophysics*, 1986, 51(11): 2093-2107.
- [5] Smith G C, Oidlow P M. Weighted stacking for rock property estimation and detection of gas[J]. *Geophysical Prospecting*, 1987, 35(9): 993-1014.
- [6] Ma Zhonggao, Xie Jigao. Relationship among compressional wave, shear wave velocities and density of rocks[J]. *Progress in Geophysics*, 1992, 27(1): 1-12. [马中高, 谢吉高. 岩石的纵、横波速度与密度的规律研究[J]. *地球物理学进展*, 2005, 20(4): 905-910.]
- [7] Li Qingzhong. Velocity regularities of P and S-waves in formations[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 1992, 27(1): 1-12. [李庆忠. 岩石的纵、横波速度规律[J]. *石油地球物理勘探*, 1992, 27(1): 1-12.]
- [8] Kreif M, Garat J, Stellingwerff J, *et al.* A petrophysical interpretation using the velocities of P and S waves (full wave form sonic)[J]. *The Log Analyst*, 1990, 31(3): 355-369.
- [9] Greenberg M L, Castagna J P. Shear wave velocity estimation in porous rocks: Theoretical formulation, preliminary verification, and applications[J]. *Geophysical Prospecting*, 1992, 40(2): 195-209.
- [10] Goldberg I, Gurevich B. A semi-empirical velocity porosity-clay model for petrophysical interpretation of P and S velocities[J]. *Geophysical Prospecting*, 1998, 46(3): 271-285.
- [11] Xu S, White R. A new velocity model for clay-sand mixtures[J]. *Geophysical Prospecting*, 1995, 43(1): 91-118.
- [12] Xu S, White R E. A physical model for shear-wave velocity prediction[J]. *Geophysical Prospecting*, 1996, 44(5): 687-717.
- [13] Kuster G T, Toksöz M N. Velocity and attenuation of seismic waves in two phase media, part I: Theoretical formulation[J]. *Geophysics*, 1974, 39(5): 587-606.
- [14] Zhang Guangzhi, Li Chengcheng, Yin Xingyao, *et al.* A shear velocity estimation method for carbonate rocks based on the improved Xu-White model[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2012, 47(5): 717-722. [张广智, 李呈呈, 印兴耀, 等. 基于修正 Xu-White 模型的碳酸盐岩横波速度估算方法[J]. *石油地球物理勘探*, 2012, 47(5): 717-722.]
- [15] Bai Junyu, Song Zhixiang, Su Ling. Error analysis of shear-velocity prediction by the Xu-White model[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2012, 55(2): 589-595. [白俊雨, 宋志翔, 苏凌, 等. 基于 Xu-White 模型横波速度预测的误差分析[J]. *地球物理学报*, 2012, 55(2): 589-595.]
- [16] Sun Fuli, Yang Changchun, Ma Sanhuai, *et al.* An s-wave velocity predicted method[J]. *Progress in Geophysics*, 2008, 23(2): 470-474. [孙福利, 杨长春, 麻三怀, 等. 横波速度预测方法[J]. *地球物理学进展*, 2008, 23(2): 470-474.]
- [17] Guo Dong, Yin Xingyao, Wu Guochen. Computational approach of S-wave velocity and application[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2006, 42(5): 535-538. [郭栋, 印兴耀, 吴国忱. 横波速度计算方法与应用[J]. *石油地球物理勘探*, 2007, 42(5): 535-538.]
- [18] Zhang Jinqiang, Qu Shouli, Sun Jianguo, *et al.* A fluid substitution realization method in carbonate reservoir[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2010, 45(3): 406-409. [张金强, 曲寿利, 孙建国, 等. 一种碳酸盐岩储层中流体替换的实现方法[J]. *石油地球物理勘探*, 2010, 45(3): 406-409.]
- [19] Xu Shiyu, Payne M A. Modeling elastic properties in carbonate rocks[J]. *The Leading Edge*, 2009, 28(1): 66-74.
- [20] Payne S S. An integrated solution to rock physics modelling in fractured carbonate reservoirs[C]//80th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 2010: 358-362.
- [21] Kumar M, Han Dehua. Pore shape effect on elastic properties of carbonate rocks[C]//SEG 2005 Annual Meeting, 2005: 1477-1480.
- [22] Lucia F J. Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization[J]. *AAPG Bulletin*

tin, 1995, 79(9): 1275-1300.

[23] Toksoz M N, Cheng C H, Timur A. Velocities of seismic waves in porous rocks[J]. Society of Exploration Geophysicists, 1976, 43(4): 621-645.

[24] Cheng Chuen-Hon Cheng, Nafi Toksoz M. Inversion of seismic velocities for the pore aspect ratio spectrum of a rock[J]. Journal of Geophysical Research, 1979, 84(B13): 7533-7543.

[25] Zhao Kechao, Chen Wenxue, Tao Guo. Simplifying the aspect ratio distribution of reservoir pore and predicting the type of it by Kuster-Toksoz equation[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2009, 24(1): 37-40. [赵克超, 陈文学, 陶果. 利用 Kuster-Toksoz 方程简化孔隙纵横比谱及判断储层孔隙类型[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2009, 24(1): 37-40.]

Shear Velocity Estimation in Carbonate Reservoir

CHEN Qi-yan, GAO Jian-hu, DONG Xue-hua, JIANG Chun-ling

(Research Institute of Petroleum Exploration & Development-Northwest Branch(NWGI), PetroChina, Lanzhou 730020, China)

Abstract: P-wave velocity and S-wave velocity are the bridge of petrophysical property and seismic exploration. Through the study of P-wave velocity and S-wave velocity, we can get the effective identification of lithology, physical property and fluid. However, there is often lack of S-wave data in actual study, so S-wave velocity prediction is necessary. Now s-wave velocity prediction in clastic reservoir has developed very well, but in the carbonate reservoir, because the lithology and pore systems are very complex, the prediction accuracy is low and the development of prediction is slow. Xu-Payne model considered the effect of different pore type to elastic wave which can be used in carbonate reservoir theoretically. In this article, we introduce the method of S-wave velocity prediction which is based on rock physics, and analyze the effect of pore type on P-wave and S-wave velocity, such as stiff pores, inter-particle pores and crack. Also we compare it with other models, the prediction accuracy of Xu-Payne model is 2.9% higher than that by Xu-White model, so it is more consistent to the measured S-wave log.

Key words: S-wave velocity; Carbonate reservoir; Pore shape; Aspect ratio; Rock physics model

(上接第 873 页)

the area developing Cenozoic deltas located on the passive-margin, its total shortening in compression province goes beyond 1.8% compared with the stretching in extension province and this can not be explained by the ideal delta system. Based on the regional tectonic setting analysis and stress features in the study area, it regards the far-field compression and the function driven by gravity during delta growing process as the mechanism for this phenomenon. For the effect of tectonic division, the upper, middle and lower oil-gas reservoir-forming assemblages distributed in different tectonic zone; different stress background generated unique structural trap in various tectonic belt and the fault with long-term activity provided major pathways for hydrocarbon migration. Thus, the conclusion will be helpful for the research of hydrocarbon formation and further hydrocarbon exploration in Baram Delta area.

Key words: Baram Delta Province; Tectonic characteristic and forming mechanism; Oil-gas reservoir-forming assemblage; Control factors for hydrocarbon accumulation