

基于声学特性的碳酸盐岩储层天然气评价方法

苗清, 黄宏, 余广艺, 贺洪举, 邹良志, 刘丹丹

中国石油集团测井有限公司西南分公司 重庆 400021

项目支持: 国家自然科学基金青年项目“基于成像测井的页岩气储层可压裂性评价方法研究”(41402118)

引用: 苗清, 黄宏, 余广艺, 等. 基于声学特性的碳酸盐岩储层天然气评价方法[J]. 油气井测试, 2026, 35(2): 72-78.

Cite: MIAO Qing, HUANG Hong, YU Guangyi, et al. Natural gas evaluation method for carbonate reservoirs based on acoustic properties[J]. Well Testing, 2026, 35(2): 72-78.

摘要 针对四川盆地蓬莱气区二叠系长兴组、茅口组缝洞型碳酸盐岩储层含气性识别难题, 利用测井、测试及岩石物理资料, 构建了一套多参数融合的流体性质精准识别方法。首先通过对比 25 口井补偿声波与阵列声波时差, 结合电成像及试油资料, 建立纵波时差差异法, 实现储层有效性与含气性定性识别; 其次针对纵横波速度比流体判别符合率低的问题, 基于不同流体体积压缩系数差异性, 构建了可动油气弹性性能(压缩系数)的体积压缩系数流体判别模型; 最后以纵波时差差异、体积压缩系数等为输入参数, 采用费歇尔判别准则建立流体性质判别函数与识别图版。应用该方法对 2025 年试油的 18 口井 34 层进行气水判别, 气层识别符合率达 91.2%, 提升了复杂非均质储层流体识别精度, 为川中地区深层、超深层缝洞型碳酸盐岩储层勘探开发提供了重要技术支撑。

关键词 碳酸盐岩; 缝洞型; 阵列声波; 含气性; 纵横波速度比; 体积压缩系数; 费歇尔判别; 流体识别

中图分类号: TE344

文献标识码: B

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2026.02.011

Natural gas evaluation method for carbonate reservoirs based on acoustic properties

MIAO Qing, HUANG Hong, YU Guangyi, HE Hongju, ZOU Liangzhi, LIU Dandan

Southwest Branch, China National Logging Corporation, Chongqing 400021, China

Abstract: To address the challenge of identifying gas-bearing properties in the fractured-vuggy carbonate reservoirs of the Permian Changxing and Maokou formations within the Penglai gas area of the Sichuan Basin, an accurate fluid property identification method integrating multiple parameters was developed utilizing well logging, well testing, and petrophysical data. First, by comparing the transit times of compensated sonic and array sonic logs from 25 wells, combined with electrical imaging and well testing data, a P-wave transit time difference method was established to achieve the qualitative identification of reservoir effectiveness and gas-bearing properties. Second, to overcome the low accuracy of fluid discrimination when relying solely on the P-to-S wave velocity ratio, a fluid discrimination model based on the volumetric compressibility coefficient was constructed. This model leverages the differences in volumetric compressibility among various fluids to characterize the elastic properties (compressibility) of movable hydrocarbons. Finally, utilizing parameters such as the P-wave transit time difference and volumetric compressibility coefficient as inputs, fluid property discriminant functions and identification charts were established by using Fisher discriminant criterion. The application of this method for gas-water discrimination across 34 intervals in 18 wells tested in 2025 achieved a gas-layer identification accuracy of 91.2%. This significantly enhances the precision of fluid identification in complex heterogeneous reservoirs, providing vital technical support for the exploration and development of deep and ultra-deep fractured-vuggy carbonate reservoirs in the central Sichuan basin.

Keywords: carbonate reservoir; fractured-vuggy; array sonic log; gas-bearing property; P-to-S wave velocity ratio; volumetric compressibility coefficient; Fischer discriminant; fluid identification

四川油气田多年的勘探已形成了以碳酸盐岩为主, 碎屑岩为辅的勘探格局。蓬莱气区长兴组和茅口组碳酸盐岩储层一直都是西南油气田最重要的增储上产的主力层系。但由于其深层强压实、多期次生改造导致其特征有别于其它储集层, 具体

表现在非均质性强, 以孔、洞为主要油气储集空间, 裂缝主要起渗滤通道的作用; 裂缝将溶蚀孔、洞连通成形状不规则的孔隙-溶洞-裂缝系统, 空隙结构为三重介质特征, 测井曲线响应复杂, 导致储层有效性和流体性质判别难度较大。

碳酸盐岩气层导电机理较为复杂,缝洞发育及含气性往往不是其电阻率差异的主控因素,仅根据电阻率高低识别储层品质及流体性质容易引起误判;而且碳酸盐岩储层受构造、沉积及成岩作用的综合影响,具有较强的非均质性,基于导电理论的阿尔奇公式及其衍生模型的各种经验参数存在较大的不确定性。相反,储层岩石的声学特性可以有效解决该问题,目前声学特性的研究主要包括实验与模拟驱动型研究、测井参数应用型研究和理论模型拓展型研究三类:第一类是范宜仁等^[1]针对地层流体类型及饱和度影响岩石声学参数机制不明确问题,通过声学实验或数值模拟手段,分析地层中流体类型及饱和度对岩石纵、横波速度和弹性模量等参数的影响,得出了含气性与声学响应之间的定性关系;第二类是张银海等^[2]针对气层快速识别需求问题,采用阵列声波测井数据提取与构建敏感参数方法,研究了纵横波速度比、弹性模量差比等指标应用效果,得出了可实现气层快速定性判别但未建立定量模型的结果。第三类是房春慧等^[3]以 Gassmann 方程为核心理论框架,利用声波测井反演得到的弹性参数,构建气体饱和度计算模型,得出了可实现含气性连续定量评价的结果。然而,上述研究因依赖大量难以实测的岩石骨架与流体声学参数,其实际推广在一定程度上

仍受限制。

本文在前人研究的基础上,首先对不同声学仪器差异进行仔细分析,建立含气性定性识别模式,同时基于费歇尔判别准则,利用纵横波时差、两种纵波时差包围面积、体积压缩系数等声学特征参数,结合测试结果,构建气层、气水层、水层3类母体判别函数和流体性质判识图版,实现流体性质快速精准判识。

1 理论与方法建立

川中地区深层、超深层碳酸盐岩储层非均质性强,岩性复杂,次生孔隙发育,流体判识难,本文基于不同系列声波仪器结构特征,结合电成像和测试资料对实测时差和提取时差之间差异进行分析,同时结合不同流体性质声学特性,提取敏感参数,构建了基于费歇尔判别准则法的流体性质综合判识图版。

1.1 补偿声波与阵列声波时差差异指示法

蓬莱气区25口井均采用补偿声波和阵列声波两种系列仪器并行测井,发现补偿声波实测的纵波时差与阵列声波提取的纵波时差往往存在差异,其中,图1表示在茅口组等缝洞型地层或含气性较好的地层二者差异较大,图2表示在长兴组等孔隙型地层则差异较小。

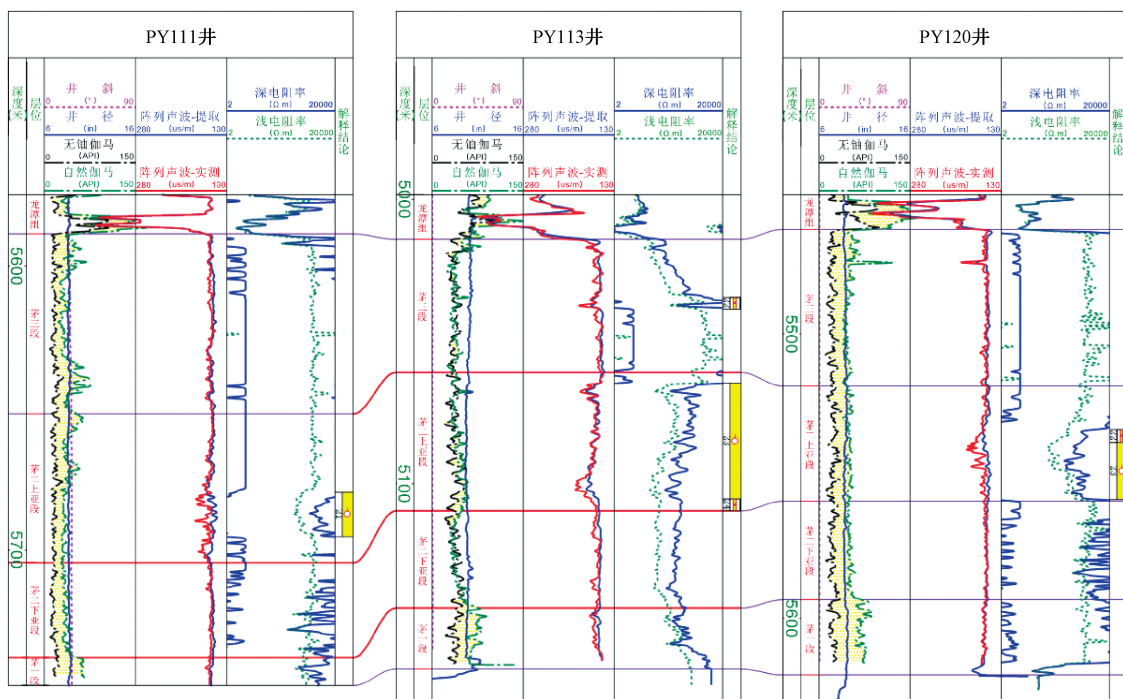


图1 蓬莱气区茅口组补偿声波与阵列声波对比图

Fig. 1 Comparison diagram of compensated acoustic waves and array acoustic waves in the Maokou group of Penglai gas area

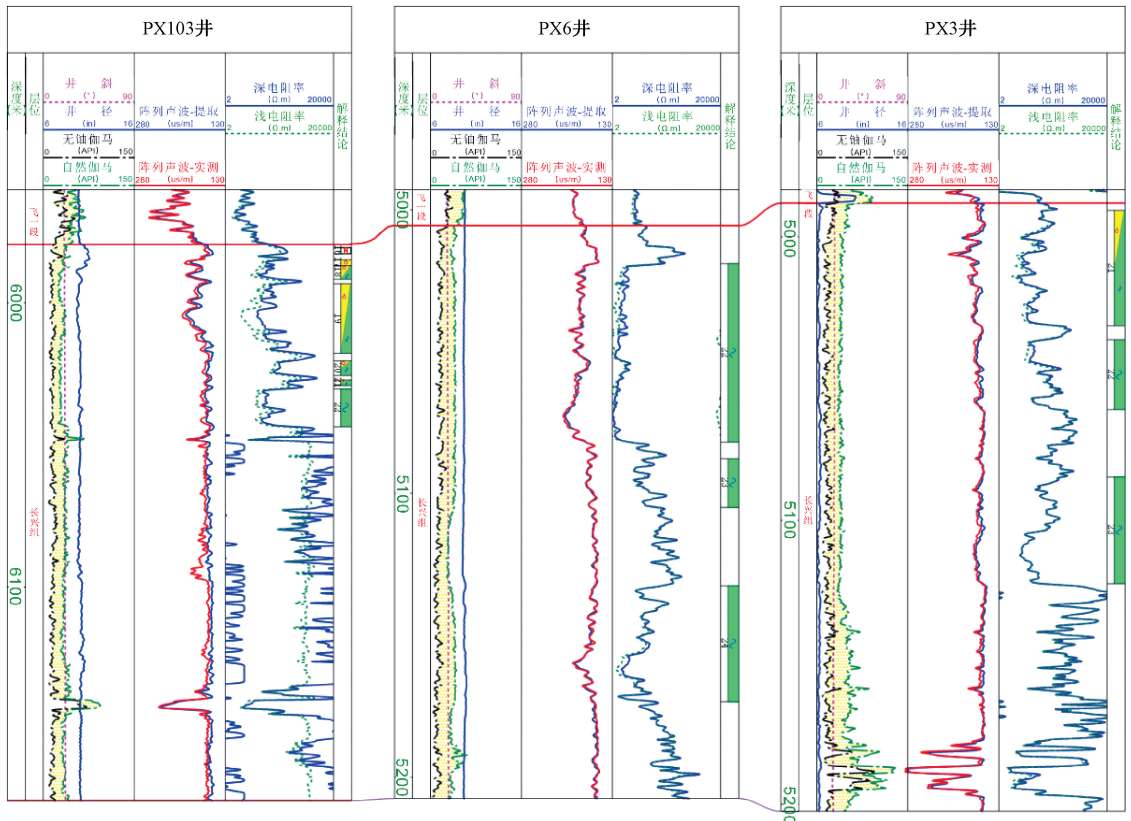


图2 蓬莱气区长兴组补偿声波与阵列声波对比图
Fig. 2 Comparison diagram of compensation acoustic waves and array acoustic waves in Changxing formation of Penglai gas area

基于上述现象,对两种系列时差差异性进行分析,首先,两种系列声波测井仪器结构和提取算法不同会造成时差的差异,补偿声波仪器为单发双收,优点是采样间隔短使得曲线分辨率高,测量精度高^[4-6];缺点是源距 12.7 cm,探测范围浅,受井眼环境及泥浆侵入影响较大。而阵列声波仪器为双发八收,优点是源距 20.32~30.48 cm,探测范围深,受井眼环境影响小,通过记录多条曲线进行相关和叠加处理,可以有效地压制干扰,准确提取纵波,同时可提供横波和斯通利波等信息;缺点是采样间隔较长,曲线分辨率低。从提取算法来看,补偿声波采用首波到时法(首波峰值/阈值法)提取的是“群速度”,反映首波到达时间差,适用于简单地层;阵列声波提取时差采取慢度时间相关法(STC)提取的是“相速度”,基于全波列相位相似性分析,提取的是“相速度”,能更准确识别波群传播特征。两种算法在频散明显的含流体或非均质地层中,声波呈现相速度不等于群速度的现象,因此两种方法测量的时差存在系统性差异,需结合地层条件与波型特征进行校正与解释。

其次,基于两种时差在非均质地层中的频散特性^[7-8],结合电成像发现,两种声学仪器测量的纵

波时差在缝洞发育、孔径较大或含气性较好地层中,补偿声波由于探测范围浅,频率高,首波传播路径受缝洞影响较大,易发生时差增大或周波跳跃现象,而阵列声波探测范围深,而且时差包含整个波列相位信息,受缝洞及含气性影响较小,因此在井况良好条件下,实测补偿声波时差与阵列声波时差之间的幅度差可在一定程度上定性反应储层缝洞发育程度或含气性的变化,可为储层有效性评价及含气性指示等方面提供一定程度参考。结合电成像资料表明,对于缝洞型储层来说,孔洞相对欠发育且孔径较小,两种系列的声波时差差异往往较小;孔洞发育程度较高且孔径较大,两种系列的声波时差差异则较大。

测井资料表明:随着缝洞越发育,受仪器结构及传播路径影响,补偿声波实测时差越容易增大,阵列声波提取的时差变化则相对较小。最后基于该现象构建了两种时差包络面积计算模型来定量判别储层有效性(见公式 1)。图 3 为不同产能声波时差包络面积效果图,发现对于缝洞型储层来说两种系列声波时差包络面积越大,缝洞发育程度相对更高,储层有效性越好。

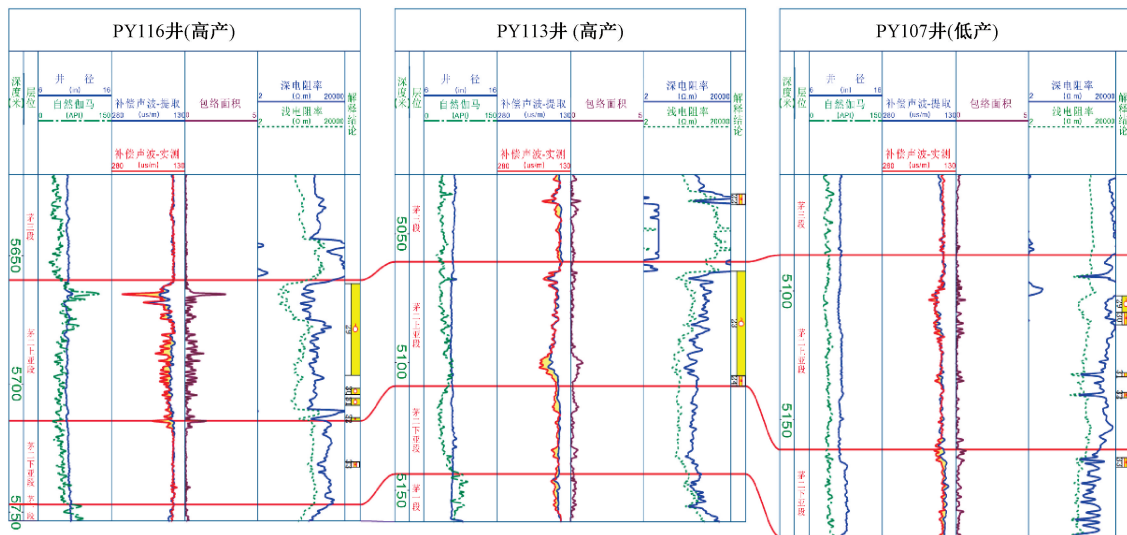


图3 声波时差包络面积效果图

Fig. 3 Rendering of the acoustic time difference envelope area

$$S = \int_b^a |AC_1 - AC_2| dx \quad (1)$$

式中: S 为包络面积; a 、 b 为两条曲线的端点; AC_1 为补偿声波实测时差, $\mu\text{s}/\text{m}$; AC_2 为阵列声波提取时差, $\mu\text{s}/\text{m}$ 。

1.2 体积压缩系数流体性质判别法

岩层的体积可压缩性等于孔隙的可压缩性与硬相可压缩性及流体可压缩性之和。储层岩石中常见骨架矿物的压缩系数一般都很小且稳定^[9-12], 孔隙中流体的压缩系数明显大于岩石常见骨架矿物的压缩系数,而油气的压缩系数比水的压缩系数高一个数量级^[13-14],因此从油气层组分的弹性性能角度来看,异常的弹性性能的组分是可动油气的压缩性,因此可以根据储层组分中可动油气弹性性能(压缩系数)的异常来判断储层流体性质。

$$C = (1 - \Phi)C_{ma} + \Phi[S_g C_g + (1 - S_g)C_w] \quad (2)$$

$$K = \rho_b \frac{3\Delta t_s^2 - 4\Delta t_c^2}{3\Delta t_s^2 \Delta t_c^2} \quad (3)$$

$$C = \frac{1}{K} \quad (4)$$

式中: C 为地层压缩系数; C_g 、 C_w 、 C_{ma} 分别气、水、骨架矿物的压缩系数; Φ 为孔隙度,%; K 为体积模量,MPa; Δt_s 为横波时差, $\mu\text{s}/\text{m}$; Δt_c 为纵波时差, $\mu\text{s}/\text{m}$; ρ_b 为岩性密度, g/cm^3 ; S_g 为含气饱和度,%。

由于天然气和水的体积压缩系数在实际情况求取困难^[15]。根据实际的纵横波速度计算的体积压缩系数和根据理论岩性骨架值计算的混合岩石骨架值^[16-17],计算孔隙部分的体积压缩系数和流体

体积压缩系数,孔隙部分体积压缩系数再与孔隙度交会法确定流体气水界限,最终建立该区块的流体性质识别图版(见图4)。

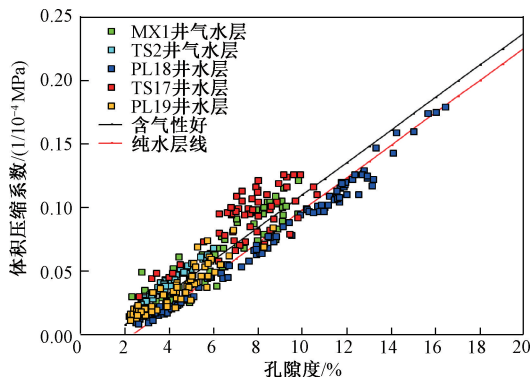


图4 蓬莱气区长兴组体积压缩系数流体性质识别图版
Fig. 4 Fluid property identification plate of the volume compression coefficient of the Changxing formation in Penglai gas area

1.3 天然气综合判别方法

基于地层声学特征统计分析规律,首先将多维测井数据纵波时差(DTC)、横波时差(DTS)、时差包络面积(S)、深浅双侧向电阻率(RT/RXO)、孔隙度(POR)以及体积压缩系数(C)等测井信息为指标,利用费歇尔判别准则,求取判别函数模型:

$$F1 = -0.259AC + 0.263DTS + 0.487S - 1.364RT - 0.098RXO + 0.792POR + 0.961C$$

$$F2 = 0.465AC + 0.593DTS + 0.787S - 0.764RT + 0.028RXO - 0.374POR + 0.942C \quad (5)$$

其次,根据川中地区茅口组白云岩储层测试获气井、产水井和气水同产井的数据,分别确定了气层、气水层、水层三类判别总体,建立分类判别函数

模型和流体性质识别图版(见图5)。

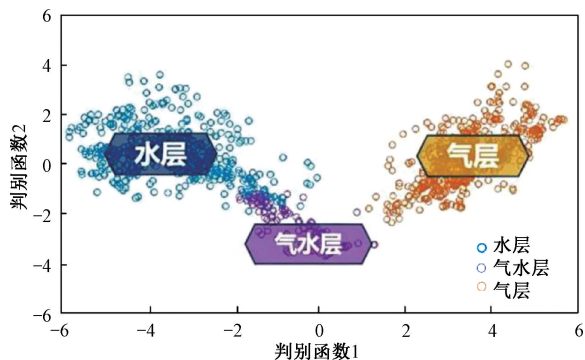


图5 蓬莱气区茅口组费歇尔判别图版

Fig.5 Fiscin discrimination plate of the Maokou formation in Penglai gas area

水层: $Q1 = 27.295AC + 8.157DTS + 44.34S - 0.016RT - 0.001RXO - 4.411POR + 347.609C - 1227.46$

气水同层: $Q2 = 026.472AC + 7.963DTS + 40.031S - 0.016RT - 0.007RXO - 2.876POR + 347.578ZC - 1157.82$

气层: $Q3 = 26.597AC + 8.509DTS + 40.534S - 0.018RT - 0.004RXO - 2.31POR + 396.387C - 1268.22$

最后,在判别过程中,将测试样本的各变量值代入判别函数模型中进行计算,根据计算结果确定该个体属于哪一类(属于判别得分高的那一类)。

根据表1的分类结果统计表中可以看出,通过费歇尔判别分析正确分类了92.6%的原始已分组个案。其中,气层、气水层和水层的判别正确率较高,均达到了90%以上。

表1 费歇尔判别分类结果统计表

Table 1 Fischer discriminant classification results

统计方式	分类	水层	气水层	气层	总计
计数	水层	508	34	0	542
	气水层	3	120	1	124
	气层	0	6	537	543
正确率/%	水层	93.7%	6.3%	0%	100
	气水层	2.4%	96.8%	0.8%	100
	气层	0%	1.1%	98.9%	100

2 现场应用

以PYXX8、PYXX7井为例,两口井均是四川盆地川中南充地区斜坡带东南局部构造高点的一口评价井,钻探目的是进一步落实南充北地区茅口组储层发育情况及含气性,为2025年提交探明地质储量提供支撑。

图6是PYXX8井茅口组基于体积压缩系数和费歇尔判别方法的流体性质识别成果图,图中左边第四道为提取时差与实测时差交会图,发现两种时差幅值差异较大,与电成像计算的面孔率对应性较好,指示储层缝洞相对发育,同时通过体积压缩系

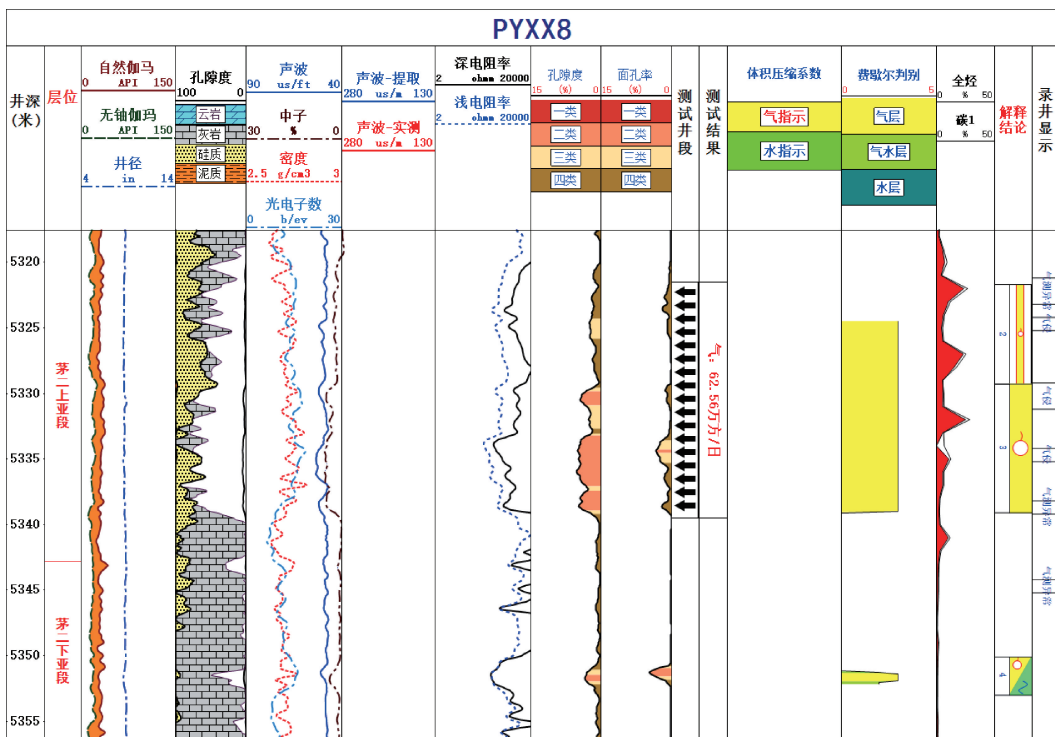


图6 PYXX8井茅口组流体性质识别图

Fig.6 Fluid property identification chart for the Maokou formation of well PYXX8

数法指示储层中下部含气性较好,上部含气性较差,费歇尔法指示储层含气特征明显,并且通过建立的费歇尔判别图版可以看出,储层样本点均落在气层区(见图7),综合分析将茅二上亚段储层上部解释为差气层,中下部解释为气层,储层不具含水特征。

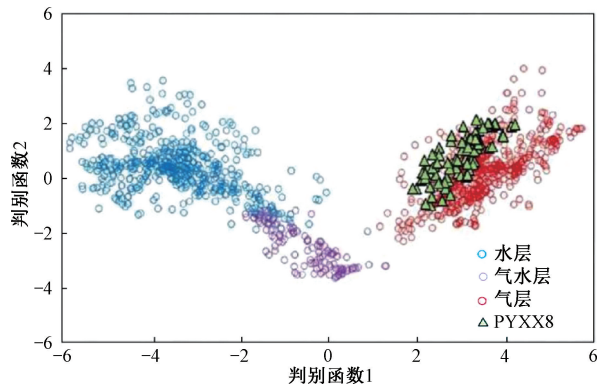


图7 PYXX8井茅口组费歇尔判别图版

Fig. 7 Plate of the Fischer discrimination of the Maokou formation in the PYXX8 well

PYXX8井采用高温胶凝酸体系和多级交替注入工艺,累计注入井筒 657.2 m^3 ,其中:胶凝酸 440 m^3 ,自生酸 180 m^3 ,降阻水 30 m^3 ,清水 7.2 m^3 。放喷测试时油压 34.88 上升至 50.23 MPa ,泵压最高 105.5 MPa ,最低 94 MPa ,静压 70.6 MPa ,采用 $73.025+63.5\text{ mm}$ 孔板稳定测试 2 h ,日产气 $62.56\times 10^4\text{ m}^3$,返排率为 47.02% 。根据《天然气井试井技术规范》,超过 $3\ 500\text{ m}$ 井深日产量稳产达到 $3\times 10^4\text{ m}^3$ 即为工业气层,因此本井确定试油结果为工业气层,试油结论与解释结果符合。

PYXX7井茅口组电成像表明储层缝洞相对发育,计算的面孔率较发育,平均面孔率达 4.5% ,最高达 7.6% ,与提取时差和实测时差之间的幅值差异对应性较好;同时通过体积压缩系数法和费歇尔法判别储层整体呈现上气下水气水分布特征,另外通过建立的费歇尔判别图版发现储层部分样本点落在水层区,综合分析将本井茅二上亚段储层解释为气水同层。

PYXX7井采用清水中下射孔-测试联作管柱进行射孔、初排、(视返排情况再讨论下步改造措施)、酸化,挤入井筒 129.83 m^3 (胶凝酸 100.0 m^3 、降阻水 29.83 m^3),酸化测试时停泵压力 35.60 MPa ,压降速率 $0.369\text{ MPa}/\text{min}$,油压从 31.11 下降至 15.13 MPa ,排液 4 h ;累计排液 31.0 m^3 ,返排率 21.40% 时点火燃。累计排液 288.0 m^3 ,返排率 198.85% ,超排

143.17 m^3 ,采用 $63.5\times 2\text{ mm}$ 孔板测试日产水 984 m^3 ,根据《天然气井试井技术规范》确定试油结果为水层,由于酸化之初点火燃,证明有气产出,后续由于水量较大,对气抑制作用较大,导致气无法产出,综合分析试油结论与解释结果符合。

此外,采用上述气层识别方法对蓬莱气区茅口组和长兴组储层2025年试油的18口井34层进行气水判别,与试油结果符合31层,气层识别符合率达到了 91.2% ,较2024年解释符合率提高了 5.7% ,证明建立基于声学特性数据分析基础之上的声、电相结合气层识别方法有效、可行。

3 结论

(1)缝洞对声波传播路径影响较大,在井况良好条件下,实测补偿声波时差与阵列声波时差之间的幅度差可在一定程度上定性反应储层缝洞发育程度或含气性的变化,为缝洞型碳酸盐岩储层有效性评价及含气性指示等方面提供一定程度参考。

(2)为了在消除骨架和孔隙度对流体性质的影响,采用体积压缩系数来进行流体判别,提高了流体性质识别的精度和稳定性。

(3)利用费歇尔判别准则建立的声、电相结合的测井天然气识别方法,经过已完钻的探井、评价井试油验证,符合率可以达 90% 以上,为该气区测井解释提供了技术保障,助力了蓬莱气区二叠系勘探不断取得新进展。

致谢:感谢中国石油集团测井有限公司西南分公司对该项目的支持。感谢齐宝权等各位专家在生产科研中的指导。

参考文献

- [1] 范宜仁,邢东辉,邓少贵,等.低渗透岩石声学特征及在含气性预测中的应用[J].西南石油大学学报(自然科学版),2015,37(5):64-70.
FAN Yiren, XING Donghui, DENG Shaogui, et al. Acoustic properties of low permeability cores and its application to reservoir gas predication [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Natural Science Edition), 2015, 37(5):64-70.
- [2] 张银海,李长文.纵波特性与岩石含水饱和度关系的实验研究[J].测井技术,1995,19(1):6-10.
ZHANG Yin Hai, LI Changwen. Experimental study on the relationship between longitudinal wave characteristics and rock water saturation [J]. Logging Technology, 1995, 19(1):6-10.

- [3] 房春慧,潘保芝,刘思慧,等. 含气饱和度对致密砂岩纵波速度影响的实验研究及应用[J]. 地球物理学进展, 2015,30(4):1673-1676.
FANG Chunhui, PAN Baozhi, LIU Sihui, et al. Experimental study and application on effect of gas saturation on P-wave velocity[J]. Progress in Geophysics, 2015,30(4):1673-1676.
- [4] 姜黎明,孙建孟,刘学锋,等. 天然气饱和度对岩石弹性参数影响的数值研究[J]. 测井技术, 2012,36(3):239-243.
JIANG Liming, SUN Jianmeng, LIU Xuefeng, et al. Numerical study of the effect of natural gas saturation on the reservoir rocks' elastic parameters[J]. Logging Technology, 2012,36(3):239-243.
- [5] 成志刚,张蕾,赵建武,等. 利用岩石声学特性评价致密砂岩储层含气性[J]. 测井技术, 2013,37(3):253-257.
CHENG Zhigang, ZHANG Lei, ZHAO Jianwu, et al. Gas evaluation in tight sand reservoir using acoustic characteristics of rock[J]. Logging Technology, 2013,37(3):253-257.
- [6] 张海涛,石玉江,张鹏,等. 基于偶极横波测井的低渗透砂岩气层识别方法[J]. 测井技术, 2015,39(5):591-595.
ZHANG Haitao, SHI Yujiang, ZHANG Peng, et al. Identification of low permeability sandstone gas reservoir based on the DSI[J]. Logging Technology, 2015,39(5):591-595.
- [7] 范宜仁,宋岩,张海涛,等. 低渗透致密砂岩气层产能预测方法研究[J]. 测井技术, 2016,40(5):602-608.
FAN Yiren, SONG Yan, ZHANG Haitao, et al. Capacity prediction methods of tight gas sandstone reservoir with low permeability[J]. Logging Technology, 2016,40(5):602-608.
- [8] 李山生,赵辉,司马立强,等. 利用弹性参数识别气、水层[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2012,34(3):83-88.
LI Shansheng, ZHAO Hui, SIMA Liqiang, et al. Identification of water and gas reservoirs with elastic parameters[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Natural Science Edition), 2012,34(3):83-88.
- [9] 赵良孝,补勇. 碳酸盐岩储层测井评价技术[M]. 石油工业出版社, 1994:75-80.
- [10] 邵维志,陆福. 碳酸盐岩储层流体性质识别新技术[J]. 测井技术, 2002,26(1):60-63.
SHAO Weizhi, LU Fu. A new method to identify fluid property in carbonate reservoir[J]. Logging Technology, 2002,26(1):60-63.
- [11] 谢冰,白利,赵艾琳,等. Sonic Scanner 声波扫描测井在碳酸盐岩储层裂缝有效性评价中的应用——以四川盆地震旦系为例[J]. 岩性油藏, 2017,29(4):117-123.
XIE Bing, BAI Li, ZHAO Ailin, et al. Application of sonic scanner logging to fracture effectiveness evaluation of carbonate reservoir: a case from Sinian in Sichuan basin[J]. Lithological Reservoirs, 2017,29(4):117-123.
- [12] 马婷钰,史立川,程党性,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区前侏罗纪古地貌恢复及油气富集规律[Z]. 中外能源, 2023,28(1):33-41.
MA Tingyu, SHI Lichuan, CHENG Dangxing, et al. Pre-Jurassic paleolandform restoration and oil and gas enrichment law in Longdong area of Ordos basin[Z]. Sino-Foreign Energy, 2023,28(1):33-41.
- [13] 景建恩,魏文博,梅忠武,等. 裂缝型碳酸盐岩储层测井评价方法(以塔河油田为例)[J]. 地球物理学进展, 2005,20(3):78-82.
JING Jianen, WEI Wenbo, MEI Zhongwu, et al. Method of well-logging interpretation for fracture reservoirs of carbonate rock—a case study in Tahe oil-field[J]. Progress in Geophysics, 2005,20(3):78-82.
- [14] 石油测井专业标准化委员会. 岩石声波特性的实验室测定:第6部分测定标准:SY/T6351—1998[S]. 北京:石油工业出版社, 1998:20.
- [15] 贾宏芳. 碳酸盐岩储层测井解释方法研究[D]. 长春:吉林大学, 2013:25-30.
JIA Hongfang. Research on logging interpretation method of carbonate reservoirs[D]. Changchun: Jilin University, 2013:25-30.
- [16] 姜黎明. 基于数字岩心的天然气储层岩石声电特性数值模拟研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东), 2012:50-60.
JIANG Liming. Numerical simulation of acoustic and electrical properties of natural gas reservoir rocks based on digital cores[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China) 2012:50-60.
- [17] 周彦球,王贵文,江程舟,等. 基于声学特性的致密砂岩储层含气性评价[J]. 天然气地球科学, 2022,33(5):831-841.
ZHOU Yanqiu, WANG Guiwen, JIANG Chengzhou, et al. Gas-bearing evaluation of tight sandstone reservoir based on acoustic characteristics[J]. Natural Gas Geoscience, 2022,33(5):831-841.

编辑 方志慧

第一作者简介:苗清,男,1983年出生,二级解释工程师,2007年毕业于成都理工大学地理科学(沉积地质学方向)专业,现从事深层碳酸盐岩测井解释评价研究工作。电话:17782324607,Email:miaodqj@cnpc.com.cn。通信地址:中国重庆市渝北区红石路152号,邮政编码:400021。