

文章编号:0253-9985(2013)01-0129-08

基于频谱分解的测井曲线标准化方法

肖佃师¹, 卢双舫¹, 陈海峰¹, 陆延平², 李占东¹, 周娟³

(1. 东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油 大庆油田分公司 第七采油厂, 黑龙江 大庆 163318; 3. 中国石油 西部钻探工程公司 测井公司, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要:测井曲线标准化可有效消除测井资料的系统误差,是提高储层参数计算和预测精度的关键性基础工作。由于缺乏稳定标准层,基于标准层的曲线标准化方法难以适用于岩性变化频繁的陆相沉积地层。文章从频谱分解的地质含义入手,分析不同周期旋回对沉积地层的贡献,将反映沉积地层“背景值”的低频旋回叠加地层视为一套横向稳定分布的“宏观标准层”。优选曲线低频分量的极值作为特征值,结合空间趋势面分析技术确定标准值,对曲线低频分量、高频分量分别进行平移校正和比例校正,进而实现曲线的标准化。应用该方法对松辽盆地大庆长垣南部葡萄花油层测井曲线进行实际处理,岩心孔隙度与标准化后曲线的相关系数明显高于标准化前曲线,从而证明基于频谱分解的曲线标准化方法能够有效地应用于标准层缺乏的陆相沉积地层。

关键词:测井曲线;标准化;低频旋回;频谱分解;油藏评价;大庆长垣;松辽盆地

中图分类号:TE112.1

文献标识码:A

Logging data normalization based on frequency spectral decomposition

Xiao Dianshi¹, Lu Shuangfang¹, Chen Haifeng¹, Lu Yanping², Li Zhandong¹ and Zhou Juan³

(1. Earth Sciences Institute, Northeast Petroleum University, Daqing, Helongjiang 163318, China;

2. No. 7 Production Plant, PetroChina Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing, Helongjiang 163318, China;

3. Logging Company, PetroChina Xibu Drilling and Engineering Company Ltd., Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: Well log normalization can effectively reduce systematic errors during logging data interpretation, therefore has been used to improve the accuracy of formation parameter calculation and reservoir prediction. However, lack of a stable marker bed makes the marker-based normalization method too rigid to be adapted to continental sedimentary sequences with rapid variation of lithology. This paper analyzes the geological meaning of spectral decomposition, determines the contributions of different cycles to sedimentary formations, and then regards the superimposed formation of low-frequency cycles which represents the background values of formation as a macro marker bed with stable lateral distribution. The extreme value of low-frequency component was selected as characteristic value and the marker bed values were determined through trend surface analysis. Then translation correction and scale correction were carried out on the low-frequency and high-frequency components of the curves. Finally, log normalization can be achieved. This method had been applied to the normalization of logs of the Putaohua Formation in Daqing central uplift in Songliao Basin, and the correlation coefficient of core porosity and normalized curves was significantly higher than that of core porosity and original curves. This demonstrates that the log normalization method based on spectrum decomposition can be effectively applied to the continental sequences without stable marker beds.

Key words: well log, normalization, low-frequency cycle, spectral decomposition, reservoir evaluation, Daqing, central uplift, Songliao Basin

收稿日期:2012-08-06;修订日期:2012-12-31。

第一作者简介:肖佃师(1981—),男,博士研究生、讲师,测井地质学。

基金项目:国家自然科学基金项目(40972101)。

测井曲线标准化是多井油藏评价和井震结合储层预测中必不可少的基础性工作^[1-6]。由此测量仪器型号、刻度标准及操作员操作方式的差异,在测井曲线中会引入与地层因素无关的系统误差,由此降低了各井间曲线的可比性,甚至会影响到测井解释的精度。为了消除这些误差,需要对测井曲线进行标准化。

目前常用的标准层均值校正法、直方图平移法、重叠法和趋势面分析校正法等标准化方法^[7-14],主要基于“同期同相地层具有相似测井响应”的原理,选取一套或两套岩性均匀的标准层,通过曲线标准化校正,使各井标准层对应的测井曲线具有相同均值、或相似的频率分布、或按照某个空间趋势变化,因此曲线标准化的关键在于能否选取到具有一定厚度、分布稳定的标准层。对于岩性频繁变化、断裂相对发育的陆相沉积地层来说,选取到一套稳定标准层并不是一件容易的事,标准层的缺乏使得上述方法的应用受到很大制约^[15-16]。为此,本文提出一种基于频谱分解的测井曲线标准化方法,以期解决标准层缺乏的陆相地层条件下测井曲线标准化问题。

1 “宏观标准层”的提出

沉积地层具有成层性和周期性的特点。自然界中复杂的周期运动可看成是由多个不同周期的简单运动叠加而成,沉积旋回则是沉积事件的周期性重复^[17]。具有成因联系的测井序列以敏感、连续性的方式记录了所测地层的各种物理响应,它能够定性反映各种沉积事件叠加后地层的旋

回性、周期性。测井曲线频谱分析则通过数学变换,将反映地层旋回特征的测井曲线分解为各自独立的周期旋回,得到的频谱曲线可以直观反映不同旋回周期对沉积地层的贡献,旋回周期的能量值反映其对地层贡献量的大小。

Cross T. A.^[17]认为低频地层旋回由长周期基准面旋回决定,受控于全球气候变化及区域构造沉降,高频地层旋回由短周期基准面旋回决定,受控于湖平面高频振荡性波动,这使得低频旋回具有较强的横向连续性,且能量值高,其叠加构成了沉积地层的“背景”^[18-20];而高频旋回可对比性较差,且能量值低,其叠加决定了沉积地层的“细节”。以松辽盆地大庆长垣南部两口井声波曲线的频谱分布为例(图1),频谱曲线中能量主要集中在低频部分,且低频部分的主要频率点分布、主要旋回周期的比值均有很好的对比性。E901井频谱曲线中低频部分包括4个主要频率点A、B、C、D,分别对应频率值为0.011 719,0.019 531,0.037 019,0.048 828,相应的低频旋回周期之比为1:0.60:0.31:0.24;P351井低频部分也包括4个主要频率点E、F、G、H,分别对应频率值为0.009 766,0.015 625,0.029 297,0.044 922,相应的低频旋回周期之比为1:0.625:0.330:0.217。两井平面上相距13 km,但主要低频旋回个数及周期比值有很好的对应关系,这说明了低频地层旋回具有较强井间对比性,区域横向稳定性强。

基于低频旋回的上述特点,在沉积环境稳定、岩性组合相似条件下,低频旋回叠加地层可反映沉积地层的厚层信息,具有较强的横向连续性,因此可将其视为一套岩性均匀、横向稳定分布的

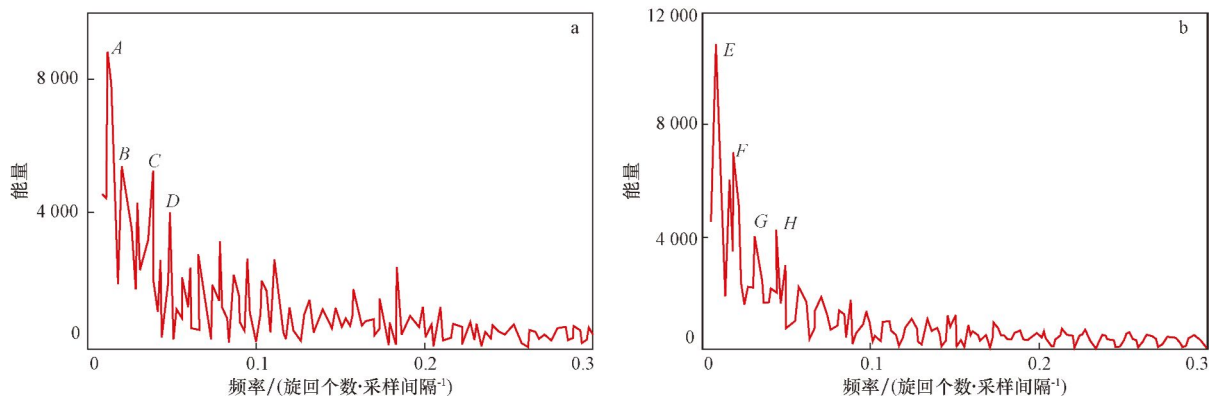


图1 松辽盆地大庆长垣 E901 井 a) 与 P351 井 b) 声波曲线频谱分析

Fig. 1 Frequency spectral analysis of acoustic curves of E 901 (a) and P 351 (b) wells in Daqing central uplift, the Songliao Basin

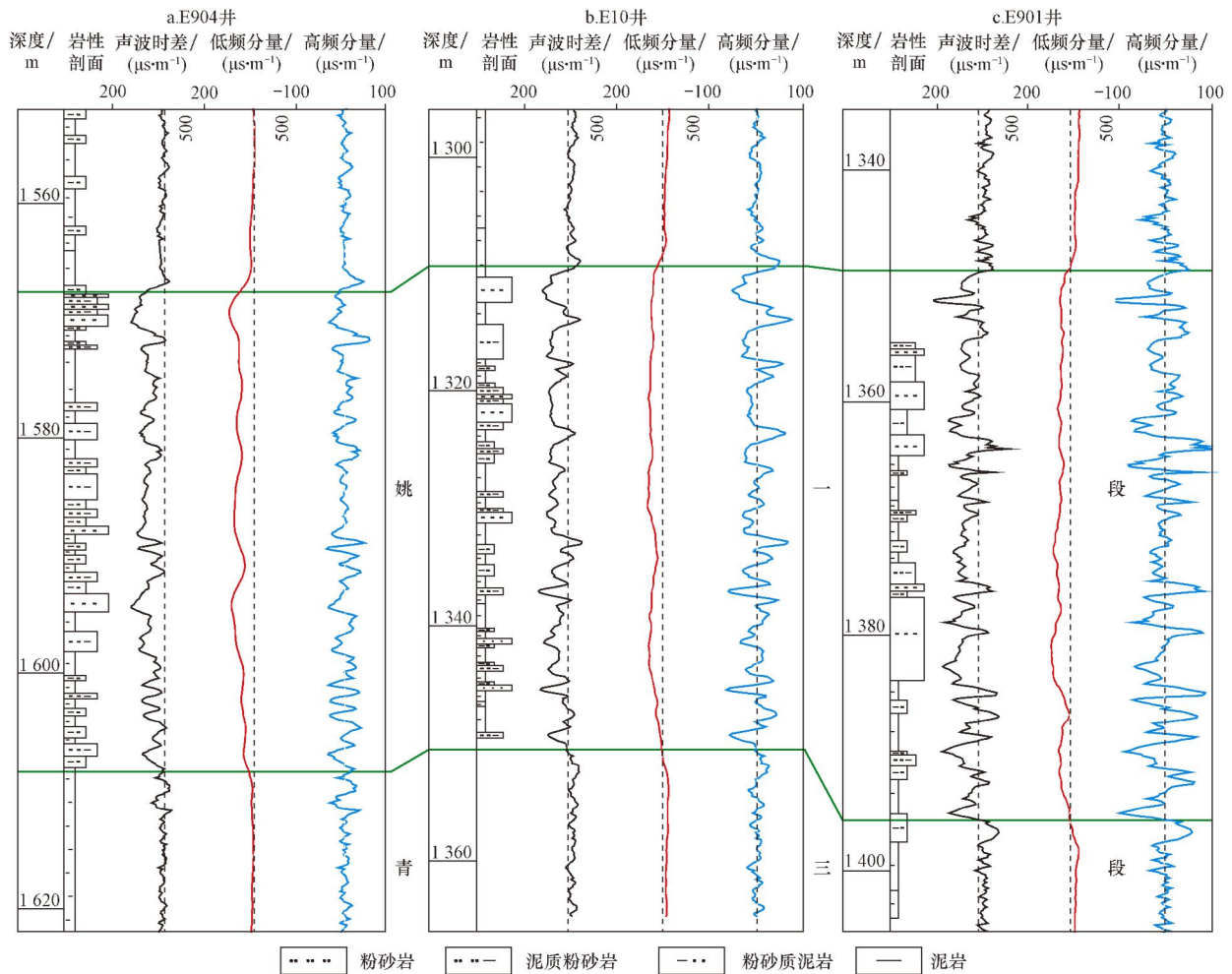


图2 声波曲线、高频分量及低频分量连井剖面

Fig. 2 Well-tie section showing acoustic curves, low-frequency component and high-frequency component

区域“宏观标准层”;将频谱曲线中低频和高频部分分别进行反傅里叶变换即得到测井曲线的低频分量和高频分量,前者可反映该“宏观标准层”的测井响应。图2为3口井声波曲线、低频分量和高频分量对比,低频分量反映了长周期旋回叠加后地层的声波响应,其曲线形态和幅值按照一定规律变化,具有平滑、井间对比性强特点,而高频分量变化剧烈,井间可对比性差。本文提出的标准化方法则依据低频旋回叠加地层及其测井响应的特点,优选曲线低频分量的极值确定特征值及标准值,对曲线低频分量和高频分量分别进行校正,进而实现测井曲线的标准化。

2 基于频谱分解的曲线标准化方法

基于频谱分解的测井曲线标准化方法可分为

测井曲线高低频分解、曲线特征值及标准值确定、测井曲线校正3个步骤。

1) 测井曲线高、低频分解

测井曲线高、低频分解即将测井曲线分解为高频分量和低频分量。首先对测井曲线进行快速傅里叶变换(FFT)得到曲线频谱,然后利用低通滤波器对其滤波得到低频部分,低频部分再进行反快速傅里叶变换得到测井曲线的低频分量,测井曲线与低频分量的差值即为高频分量。在运算过程中用到一次快速傅里叶变换和反快速傅里叶变换,运算步骤较为复杂,可根据信号时频变换特点对其进行简化。

低频滤波器的频谱函数 $H(f)$ 及对应深度域信号 $h(z)$ 的波形(图3),公式如下:

$$H(f) = \begin{cases} 1 & |f| < f_L \\ 0 & |f| \geq f_L \end{cases} \quad (1)$$

$$h(z) = 2\sin(2\pi z f_L) / 2\pi z \quad (2)$$

式中: f_L 为低通滤波器的截止频率, Hz; f 为频率, Hz; z 为测量点深度, m。

利用上述低通滤波器对测井曲线进行低频滤波, 在频率域内可表示为:

$$C_L(f) = C(f) \times H(f) \quad (3)$$

式中: $C_L(f)$ 和 $C(f)$ 分别为测井曲线频谱的低频部分和测井曲线频谱函数。

根据时频变换中“频域乘积等效于时域褶积”性质^[21], 在深度域内式(3)可表示为:

$$c_L(z) = c(z) \times h(z) = \int_{-\infty}^{\infty} c(l) \times h(l-z) dl \quad (4)$$

式中: $c_L(z)$ 和 $c(z)$ 分别为测井曲线低频分量和测井曲线值。

低通滤波器深度域信号 $h(z)$ 为傅里叶核函数, 能量主要集中在 $[-0.5/f_L, 0.5/f_L]$ 区间内(图3)。为了便于计算, $h(z)$ 可近似用三角波信号 $q(z)$ 来代替, 则式(4)可写成:

$$c_L(z) = \int_{-\infty}^{\infty} c(l) \times q(l-z) dl \quad (5)$$

其中, 三角波信号:

$$q(z) = \begin{cases} -4f_L^2 \cdot (|z| - \frac{1}{2f_L}) & |z| < \frac{1}{2f_L} \\ 0 & |z| \geq \frac{1}{2f_L} \end{cases} \quad (6)$$

公式(5)的意义在于将求解曲线低频分量的问题, 转化为利用三角波信号对测井曲线进行平滑滤波的过程, 省去了傅里叶变换和反傅里叶变换的运算过程。

低通滤波器截止频率 f_L 的选取非常重要, f_L

取值过大, 曲线低频分量中会混入部分不稳定的高频成分; 若 f_L 取值过小, 则曲线低频分量过于平缓, 这样均不利于特征值的选取。不同油田、不同目的层段的低频截止频率取值不同, 这就需要对研究区内测井曲线的频谱特征进行全面分析, 确定最佳的低频范围, 进而选取合适的截止频率 f_L 。

2) 特征值选取和标准值计算

由于曲线低频分量具平滑、可对比性强的特点, 可选取目的层段曲线低频分量的最小值和最大值作为特征值。测井曲线标准值的确定分以下两种情况: ①当工区面积小、目的层构造平缓时, 区块内各井测井曲线的标准值可取一定值, 如果能选定一口标准井(文献[13]中介绍了标准井选取原则), 则可用标准井测井曲线的特征值代替, 如果不能, 则可用区块内测井曲线特征值的均值代替。②当工区面积大、目的层构造起伏较大时, 各井测井曲线的标准值应按某一趋势变化, 此时利用趋势面分析技术确定标准值是一种行之有效的方法^[22-24]。

3) 测井曲线校正

曲线低频分量校正公式如下:

$$c_L'(z) = \frac{C'_{\max} - C'_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} [c_L(z) - C_{\min}] + C'_{\min} \quad (7)$$

式中: $C'_{\min}$ 和 $C'_{\max}$ 分别为该井测井曲线低频分量最小值和最大值对应标准值; $C_{\min}$ 和 $C_{\max}$ 分别为该井测井曲线低频分量最小值和最大值; $c_L(z)$ 和 $c_L'(z)$ 分别为该井测井曲线低频分量和校正后曲线低频分量;

公式(7)说明曲线低频分量校正包括平移校正和比例校正两部分, 为使曲线高频分量与低频分量

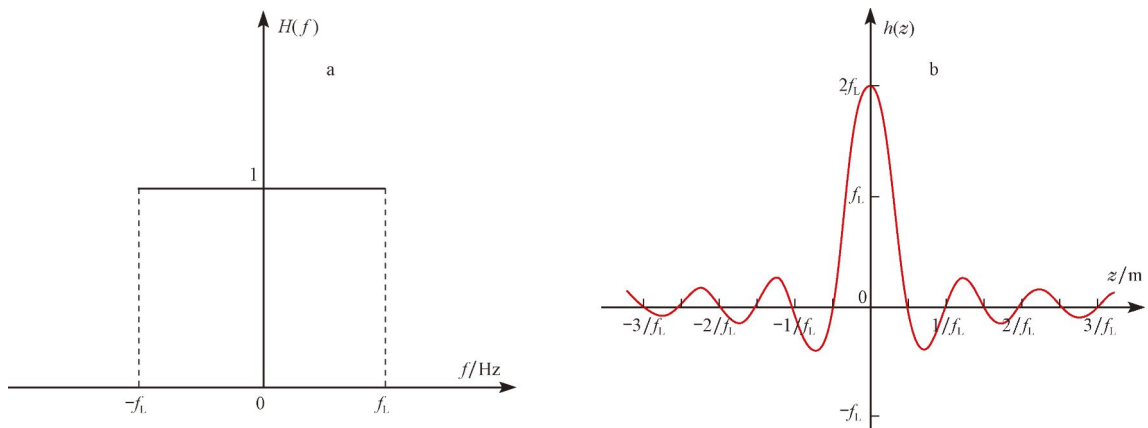


图3 低频滤波器频谱曲线 a) 与深度域波形 b)

Fig. 3 Spectrum curve (a) and waveform in depth domain (b) of low-frequency filter

有一致的比例刻度,需要对高频分量进行比例校正:

$$c_h'(z) = \frac{C'_{\max} - C'_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} c_h(z) \quad (8)$$

式中: $c_h(z)$ 和 $c_h'(z)$ 分别为该井测井曲线高频分量和校正后曲线高频分量。

将校正后高频分量和低频分量进行合并即得到标准化后测井曲线:

$$c'(z) = \frac{C'_{\max} - C'_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} [c(z) - C_{\min}] + C'_{\min} \quad (9)$$

式中: $c(z)$ 和 $c'(z)$ 分别为该井测井曲线值和标准化后测井曲线值。

3 实际应用

敖9区块位于松辽盆地大庆长垣南部敖包塔油田的西翼,整体呈现“东高西低”的陡坡形态,主要产油层位为葡萄花油层。区块内已有探井评价井27口,其中11口试油获工业产能,该区是大庆油田采油七厂辖区内重要的增储上产区块。在该区长期油气勘探中,受测量时间、测井仪器等因素影响,各井测井曲线的刻度及标准不统一,严重影响了该区油藏评价工作的开展。如图4所示,平面上相邻的E10和E294-48井目的层埋深基本相同,但两口井声波曲线峰值却明显错开,E10井曲线值集中分布于 $[a, b]$ 范围内,幅度差为86 $\mu\text{s}/\text{m}$,而E294-48井曲线集中分布于 $[c, d]$ 范围内,幅度差为106 $\mu\text{s}/\text{m}$,这表明两井声波曲线不但峰值分布分散,而且曲线比例还不一致,因此对该区曲线需要进行平移校正和比例校正,以实现各井测井曲线刻度的统一。

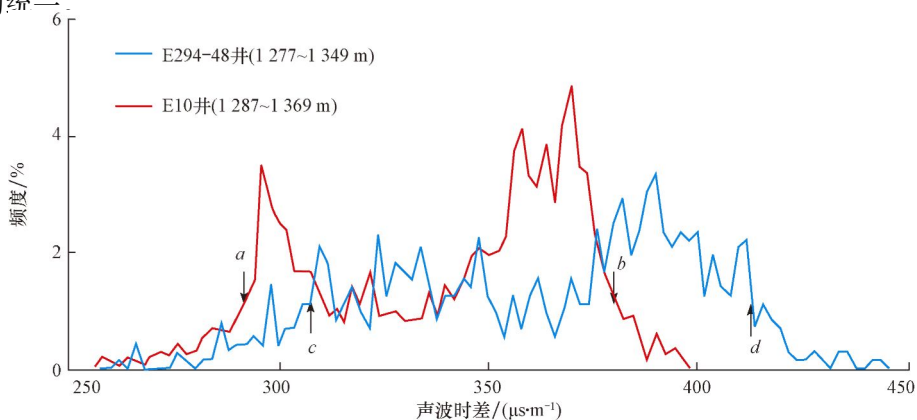


图4 原始声波曲线频度分布直方图

Fig. 4 Frequency histogram of original acoustic curves

从图2中可看出,该区葡萄花油层为一套三角洲前缘亚相沉积,岩性以砂泥岩薄互层分布为主,砂体垂向上、横向上连续性较差,在葡萄花油层内部难以找到一套岩性均匀的标准层;虽然葡萄花油层之上发育一套半深湖相稳定泥岩层,可作一套标准层,但仅靠一套标准层并不能解决测井曲线比例不一致的问题。在这种陆相岩性频繁变化、标准层缺乏的地质条件下,利用基于高低频分解的测井曲线标准化方法可实现曲线标准化。

本文以声波时差曲线的标准化为例进行说明。对该区声波曲线进行0.2 m重新采样,通过频谱分析确定最佳低频截止值为0.044,对应地层旋回周期长度为4.5 m,应用式(5)将曲线分解为低频分量和高频分量。对曲线低频分量特征值作区域趋势面分析。声波曲线低频分量最小值、最大值特征值趋势分布基本一致(图6),北部自东向西趋势值逐渐增大,南部自东南向西北趋势值逐渐减少。从图5中读出各井的低频分量最小值、最大值的标准值,利用公式(9),即可计算得到标准化后测井曲线。

将标准化后曲线应用于该区油藏评价工作中,对曲线标准化效果进行验证。葡萄花油层埋深浅、压实程度低,储层孔隙以原生粒间孔为主,但储层砂体厚度小、泥质含量较重,孔隙度整体分布在8%~25%,渗透率多小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于中-低孔、低-特低渗类储层。通过岩心物性资料与测井曲线相关分析,物性分析资料与声波时差、自然伽马测井曲线关系相对密切。利用多元线性回归方法,分别构建标准化前后测

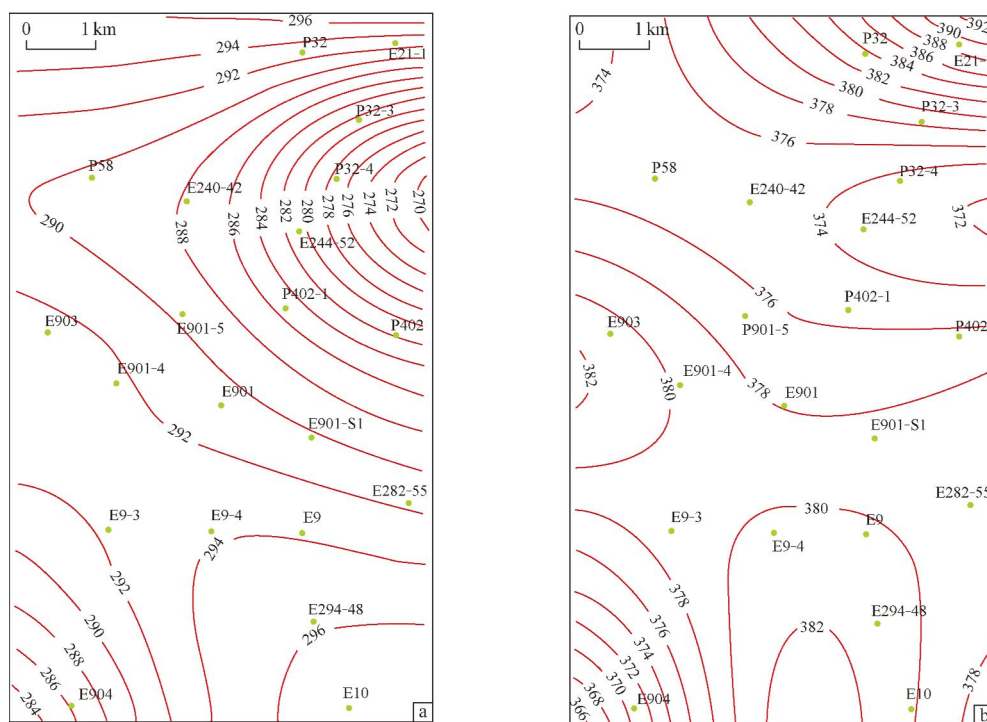


图5 声波低频分量最小值 a) 与最大值 b) 平面分布趋势特征

Fig. 5 Trend of plane distribution of the minimum(a) and maximum(b) low frequency component of acoustic waves

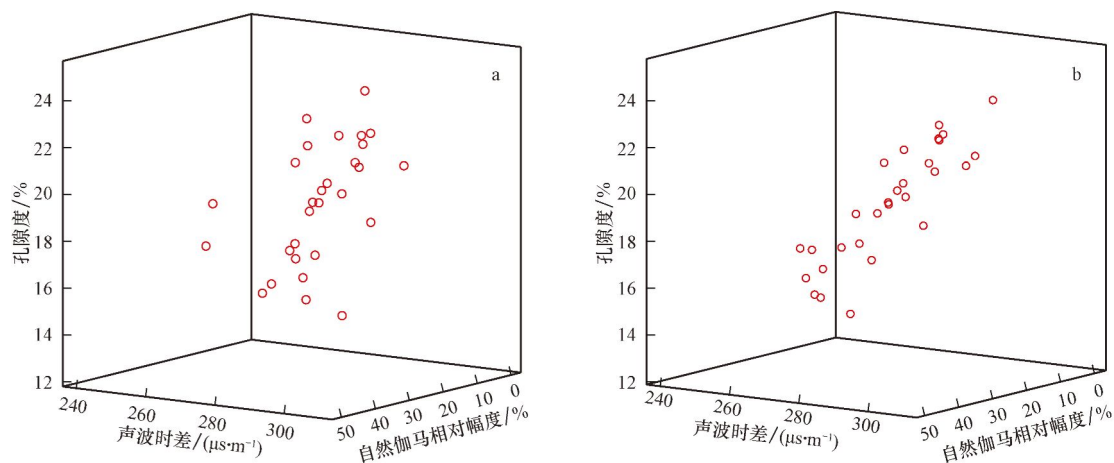


图6 曲线标准化前 a) 与标准化后 b) 测井曲线与岩心孔隙度关系对比

Fig. 6 Comparison on relations between core porosity and logs pre-normalization(a) and post-normalization(b)

井曲线与岩心孔隙度间函数关系式。为检验其间相关程度及函数关系式的精度,将复相关系数、平均绝对误差、平均相对误差等作为检验标准。

分析了该区葡402、敖9等8口取心井29个数据点,孔隙度与未标准化的测井资料的相关性较差,两者间复相关系数为0.656,平均绝对误差

为4.5%,平均相对误差为22.5%;而与标准化的测井资料相关性明显提高,两者间复相关系数为0.91,计算孔隙度与实测孔隙度间平均绝对误差为0.84%,平均相对误差为4.2%。由此可见,通过曲线标准化提高了储层物性参数解释精度,可为后续井震结合储层预测、多井储层综合评价等工作提供可靠的数据基础。

4 结论

1) 曲线标准化的关键在于能否选择到具有一定厚度、分布稳定连续的标准层,这也成为制约陆相沉积地层(岩性变化快)曲线标准化的“瓶颈”。基于地层成层性、周期性特点,借助频谱分解可将地层划分为不同周期沉积旋回,低频旋回叠加地层横向稳定、对比性强,可视为一套“宏观标准层”,这样就有效地解决了标准层缺乏的问题,在标准化过程中选取曲线低频分量的极值作为两个特征值,可以同时实现曲线的平移校正和比例校正。实际应用证实该方法适用于地层标准层缺乏的陆相河流三角洲沉积地层。

2) 基于频谱分解的曲线标准化方法的前提是确定低频截止频率,要求预标准化曲线对岩性响应敏感,曲线频谱能很好地反映沉积地层的主要沉积旋回周期。因此该方法较适用于自然伽马、电阻率、声波、密度等对岩性有敏感响应的测井序列。

致谢:在测井资料收集、标准化方法验证方面得到大庆油田第七采油厂地质大队陆延平、蒋成刚等大力支持,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 李占东,赵伟,李阳,等. 开发地震反演可行性研究及应用——以大庆长垣北部油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2011,32(5):797-806.
Li Zhandong, Zhao Wei, Li Yang, et al. Feasibility study and application of development seismic inversion—a case study from northern Changyuan oilfield of Daqing [J]. Oil & Gas Geology, 2011,32(5):797-806.
- [2] 孟恩,徐刚,沈财余,等. 约束地震反演中测井数据的标准化及储层的精细标定[J]. 石油地球物理勘探, 2005,40(2):226-232.
Meng En, Xu Gang, Shen Caiyu, et al. Standard of logging data in constrained seismic inversion and fine labeling of reservoir [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005,40(2):226-232.
- [3] 李东安,宁俊瑞,刘振峰. 用神经网络和地质统计学综合多元信息进行储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2010,31(4):493-498,503.
Li Dong'an, Ning Junrui, Liu Zhenfeng. Reservoir prediction with integrated information based on artificial neural network technology and geostatistics [J]. Oil & Gas Geology, 2010,31(4):493-498,503.
- [4] 吴小林,刘志霞,邓辞. 测井精细解释在 FMN 油田储量挖潜中的应用[J]. 石油实验地质, 2012,34(5):549-553.
Wu Xiaolin, Liu Zhixia, Deng Ci. Application of accuracy logging interpretation in FMN oil field reserve evaluation [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012,34(5):549-553.
- [5] 刘爱群,盖永浩. 测井约束反演过程中测井资料统计分析研究[J]. 地球物理学进展, 2007,22(5):1487-1492.
Liu Aiqun, Gai Yonghao. Analysis and research of log information in the process of oil well logging restraint inversion [J]. Progress in Geophys, 2007,22(5):1487-1492.
- [6] 郭洪岩,云美厚,艾印双. 地震资料解释中应用测井数据需注意的几个问题[J]. 石油物探, 2011,50(6):625-629.
Guo Hongyan, Yun Meihou, Ai Yinshuang. Several problems need to be noticed in the application of logging data to seismic data interpretation [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011,50(6):625-629.
- [7] 侯伯刚,刘文岭,罗娜. 地震反演中测井数据的预处理[J]. 物探与化探, 2009,33(3):331-336.
Hou Bogang, Liu Wenling, Luo Na. The preprocessing of well log data for seismic inversion [J]. Geophysical & geochemical exploration, 2009,33(3):331-336.
- [8] 雍世和,张超谟. 测井数据处理与综合解释[M]. 山东:石油大学出版社, 2002,105-108.
Yong Shihe, Zhang Chaomo. Logging data processing and integrated Interpretation [M]. Shandong: Petroleum university, 2002,105-108.
- [9] Shier D E. Well log normalization: methods and guidelines [J]. Petrophysics, 2004,45(3):268-280.
- [10] Doveton J H, Borneman E. Log Normalization by Trend Surface Analysis [J]. The Log Analyst, 1983,24(1):230-245.
- [11] 蔡忠,荃麟. 油气田测井数据标准化方法研究[J]. 地质论评, 1993,39(4):371-377.
Cai Zhong, Quan Lin. The study of log data normalization [J]. Geological Review, 1993,39(4):371-377.
- [12] 王志章,熊琦华. 油藏描述中的测井资料数据标准化方法和程序[J]. 测井技术, 1994,9(6):402-407.
Wang Zhizhang, Xiong Qihua. Normalization procedures for logging data in reservoir description [J]. Well Logging Technology, 1994,9(6):402-407.
- [13] 熊琦华,王志章,曾文冲. 牛庄洼陷万全油田测井资料数据标准化[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1991,15(3):28-35.
Xiong Qihua, Wang Zhizhang, Zeng Wenchong. Normalization of well-logging data in Wanquan Oilfield of Niuzhuang Depression [J]. Journal of the University of Petroleum (Science and Technology), 1991,15(3):28-35.
- [14] 邵才瑞,宋慧莹,张福明,等. 利用标准砂层组采用趋势面分析进行多井资料标准化[J]. 地球物理学进展, 2011,26(3):1031-1038.
Shao Cairui, Song Huiying, Zhang Fuming, et al. Using standard sand set to do multi-well logs normalization with histogram and trend surface analysis technology [J]. Progress in Geophys,

- 2011,26(3):1031-1038.
- [15] 王志章,熊琦华,宋杰英. 视标准层的构成与测井资料数据标准化[J]. 石油大学学报(自然科学版),1995,19(1):13-17.
- Wang Zhizhang,Xiong Qihua,Song Jieying. Development of apparent index bed and normalization of well logging data [J]. Journal of the University of Petroleum(Science and Technology),1995,19(1):13-17.
- [16] 陈福焯,赵军. 用两个“虚拟”标准层对测井曲线进行标准化[J]. 测井技术,1996,20(5):345-350.
- Chen Fuxuan,Zhao Jun. Log normalization by two “virtual” marker bed [J]. Well Logging Technology, 1996, 20(5):345-350.
- [17] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派:高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质,1995,16(2):89-97.
- Deng Hongwe. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in US: High-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas geology,1995,16(2):89-97.
- [18] 李凤杰,王多云,郑希民. 测井曲线频谱分析在含煤地层沉积旋回研究中的应用[J]. 煤田地质与勘探,2003,31(6):14-17.
- Li Fengjie, Wang Duoyun, Zheng XiminM. The application of frequency spectral analysis of logging curves on sedimentary cycle studies in coal-bearing strata [J]. Coal Geology & Exploration,2003,31(6):14-17.
- [19] 毛凯楠,解习农,徐伟,等. 基于米兰科维奇理论的高频旋回识别与划分—以琼东南盆地梅山组和三亚组地层为例[J]. 石油实验地质,2012,34(6):641-647.
- Mao Kainan,Xie Xinong,Xu Wei,et al. Identification and division of high frequency cycles based on Milakovitch theory: A case study on Miocene Sanya and Meishan Formations in Qiongdongnan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment,2012,34(6):641-647.
- [20] 赵伟,姜在兴,邱隆伟,等. 小波分析划分层序单元的地质学理论基础、方法与应用[J]. 石油与天然气地质,2010,31(4):436-441.
- Zhao Wer, Jiang Zaixing, Qiu Longwei, et al. Geological concept, method and application of sequence unit identification through wavelet analysis[J]. Oil & Gas Geology,2010,31(4):436-441.
- [21] 王云专,王润秋. 信号分析与处理[M]. 北京:石油工业出版社,2006.
- Wang Yunzhuang, Wang Runqiu. Signal analysis and process [M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2006.
- [22] Doveton J H, Bornemann E. Log normalization by trend surface analysis[J]. The Log Analyst,1981,22(4):3-9.
- [23] 赖泽武,张一伟,熊琦华,等. 具有趋势的克里格方法在测井资料数据标准化中的应用[J]. 石油勘探与开发,1999,26(1):91-94.
- Lai Zhewu, Zhang Yiwei, Xiong Qihua, et al. Application of Kriging method with trend to normalization of well logging data [J]. Petroleum exploration and development, 1999, 26(1):91-94.
- [24] 谢春临,陈树民,姜传金,等. 趋势面分析与相干体技术在火山岩预测中的应用[J]. 地球物理学报,2011,54(2):368-373.
- Xie Chunlin, Chen Shumin, Jiang Chuanjin, et al. Application of method combining trend surface analysis and coherence cube technology to volcanic prediction [J]. Chinese J. Geophys (in Chinese), 2011, 54(2):368-373.

(编辑 董立)

《石油与天然气地质》2013 年报道计划

2013 年计划出版《石油与天然气地质》期刊6期,主要有3个专题:(1)非常规油气资源潜力、成藏理论、勘探开发关键技术;(2)中国海相油气理论与勘探开发实践;(3)中国陆相盆地油气资源精细勘探与开发技术。

欢迎广大作者不吝赐稿。

《石油与天然气地质》编辑部