

曲线重构技术在鄂尔多斯盆地 岩性圈闭储层预测中的应用

李金泉, 范久霄, 党 丹

(中石化华北分公司勘探开发研究院, 郑州 450006)

摘 要:在井约束的随机反演过程中,通常利用单一测井曲线来指示储层,这种方法使用的曲线类型单一,不能完整地反映储层特征。因此,提出利用多种测井曲线来重构一种更接近储层真实特性的曲线,相比较伽马、中子等曲线而言,重构后的曲线与波阻抗具有更好的相关性,反演出来的岩性剖面更加真实。针对 D 区实际资料,利用曲线重构反演技术进行目标区储层预测,取得了相对常规单一曲线岩性反演更好的效果,证明了该方法的有效性。

关键词:曲线重构;储层预测;测井约束;反演

中图分类号:P618.21

文献标识码:A

测井约束的地震反演是目前地震储层预测中一种常用的方法,该方法能有效地将测井资料的纵向分辨率高和地震资料横向连续性好的特征紧密集合起来,拓宽地震数据的固有频带,即补偿地震数据的低频部分,进而得到较高分辨率的波阻抗数据体,并在波阻抗数据体的基础上得到储层的岩性数据体,提高了地震资料的分辨率,可以进一步准确预测储层^[1]。因此,对于储层预测来说,测井资料的合理分析和应用显得尤为重要。

随着油气田的深入开发,对储层预测精度的要求越来越高,因此对反演所用的测井资料的要求也在不断地提高。常规的利用单一测井曲线进行随机反演的精度已经无法满足储层预测的需求,特别是在薄互层的情况下,单一测井曲线难以完整地反映岩性变化,导致岩性反演效果不好,进而无法准确地预测有效储层的分布情况。如常用

的中子和伽马曲线。

D 区处在鄂尔多斯盆地大的沉积背景下,目的层段处于三角洲平原亚相或河流相下的沉积环境。总体上属于低孔、低渗储层,目的层段岩性复杂,包括砂岩、泥岩、炭质泥岩、煤和灰岩。总的来说,砂岩为较低自然伽马,受成岩作用的影响,砂岩与泥岩的电阻率差别不大,灰岩为特低自然伽马、特高电阻率、特低中子、特低声波时差与特高密度特征;煤的特征为特低密度、特高中子、高声波时差、高电阻率与中低自然伽马值;泥岩具有高自然伽马、低电阻率、较高中子、高声波时差特征,与砂岩、灰岩及煤层容易区分。

由于没有一种单独的曲线能够很好地反映岩性,且利用单一测井曲线进行储层反演所含信息比较单一,且包含的信息量不够丰富,无法将目的层段的储层特征完全反应出来,所以,近年来,测井曲线重构技术在地震反演中得到了广泛的应用。本文根据测井曲线的特点,针对 D 区的实际资料和储层预测精度的要求,采用曲线重构技术进行测井曲线的合理重构,并应用于测井约束的岩性反演中,突出了储层特性,取得了较好的效果。

收稿日期:2012-12-03

基金项目:中石化华北分公司项目“2013 年度旬邑—宜君区块建庄工区三维地震资料解释及井位部署建议”

作者简介:李金泉(1968—),男,助理工程师,主要从事地震资料解释及储层预测等方面的工作。E-mail:ddttcc@126.com

1 曲线重构意义

就目前的波阻抗反演而言,声波时差是基于测井约束的地震反演所必备的基础资料,当声波时差曲线对储层的分辨率不高时,约束反演纵向分辨率精度就会降低。这主要是因为用于反演的声波曲线不能很好地反映地层岩性特征信息和变化规律,且与地震信息匹配不好等原因所致。低孔低渗砂岩储层具有储集性能控制因素多、储集层非均质性强等特点,这些特点使储层的地球物理响应特征变弱,声波测井曲线相应受到这些因素的影响,难以反映储层特征变化,因此,利用声波曲线约束的常规阻抗反演技术对薄储层预测的精度不高。随着勘探开发程度的不断提高,传统储层预测技术面临严重挑战^[2]。

在储层预测的过程中,针对这一问题,通过分析不同测井曲线的响应特征及其与储层岩性和地震反射信息的相关性,人们提出了一套储层特征曲线重构的方法,有效提高了储层预测的纵向分辨率。通过曲线重构技术,综合利用多种测井曲线,重构出一条能够更好的反应地下岩性情况的曲线,从而提高了反演剖面的精度。

储层特征曲线重构技术的基础是不同的属性在不同的物理场中有不同反映,同一地质体的同一属性在不同物理场中的显示都有相关性,同一地质体的不同属性在不同物理场中都有所侧重。不同测井响应从不同角度对同一地层的不同物理性质的反映,都有其内在的异同性。测井曲线与反演目标的相关性、差异性反映物理性质不同,但不同测井响应在一定的范围内是统一的,利用与岩性相关的测井响应重构具有同量纲的声波曲线,结合地层声波低频模型,进行储层特征曲线的重构。由于测井数据与地震数据所包含的地层信息在频率方面存在一定的差别,测井数据包含低、中、高频信息,地震只是中频信息较好,而重构的储层特征曲线要包含低、中、高频信息。地震是反演的主要资料,以地震的中频信息为主,以测井的低、高频信息作为补偿,重构出低、中、高频信息均较好的储层特征曲线,建立起最能反映储层特征的曲线,使其既能够反映地层速度和波阻抗特征,又能够反映岩性差异。储层特征曲线重构的最终

目的是改善反演结果对储层分布的刻画能力。

储层特征曲线重构的优点是能针对实际地质问题,以测井地质学、岩石物理学为基础,在对测井曲线特征综合分析的基础上,利用与岩性相关的测井曲线重构同量纲的拟声波曲线,重构后的曲线既能反映岩性差异,又能反映地层速度和波阻抗特征,建立储层特征与地震反射之间的联系^[3]。储层特征曲线重构原理的关键是参考曲线和目标曲线必须对同一物理现象具有相似(相关)的测井响应特征,区别只在于参考曲线比目标曲线具有更好的反映储层信息的能力,同时,参与重构的曲线之间必须具有很好的相关性,且相关性越大重构后的曲线越可靠^[4]。曲线重构的目的就是希望找出一种能够有效区分岩性并且能提高反演精度的曲线,这条曲线最好能充分利用每条曲线表征岩性特征的信息,并且与波阻抗相关性较好,如伽马曲线对储层非储层敏感,但是不能去除煤层的影响,中子能分开煤层,但是储层非储层不敏感,声波、电阻率虽然能较好地将煤层区分开来,但是不能很好地识别储层。由于没有任何单一的一种曲线能充分起到识别储层的作用,因此,通过利用多种对不同岩性敏感的曲线重构出一条能够反映多种岩性的曲线来进行反演,可以充分起到识别储层的目的^[5]。

2 储层测井曲线特征分析

图1是D区某井目的层段的实测曲线,从图中可以看出,煤层部分的声波时差和电阻率显示高值,自然伽马显示低值,泥岩段的自然伽马和中子是高值区,砂岩段的自然伽马和中子是低值区。

反演方案的选择必须坚持2个原则:①由于目的层为河流相沉积,岩性横向变化快,必须充分利用地震资料的横向分辨率;②由于砂泥岩的波阻抗差异小,波阻抗重叠区域较大,无法从波阻抗反演剖面上找出河道砂体的精细发育情况。需要寻找对岩性敏感参数,通过对岩性敏感参数的随机模拟,间接地实现岩性预测。该岩性敏感参数能灵敏地指示岩性的变化,且与波阻抗具有良好的相关性。根据岩石物理分析发现,对岩性最为敏感的参数为自然伽玛,它能够很好地区分砂岩和泥岩,反映沉积旋回的变化。但通过交会图分

析,可观察到伽玛与波阻抗的相关性很差(相关系数约在 50%以下),因此,不宜使用伽玛作为反演的目标参数。综合分析不同岩性的测井响应特征,鉴于本工区的测井曲线特点,可以利用电阻率、伽马、中子、声波时差参与重构一条曲线。经分析,该曲线不仅能有效地区分砂岩、泥岩和煤层,而且和波阻抗具有良好的相关性。

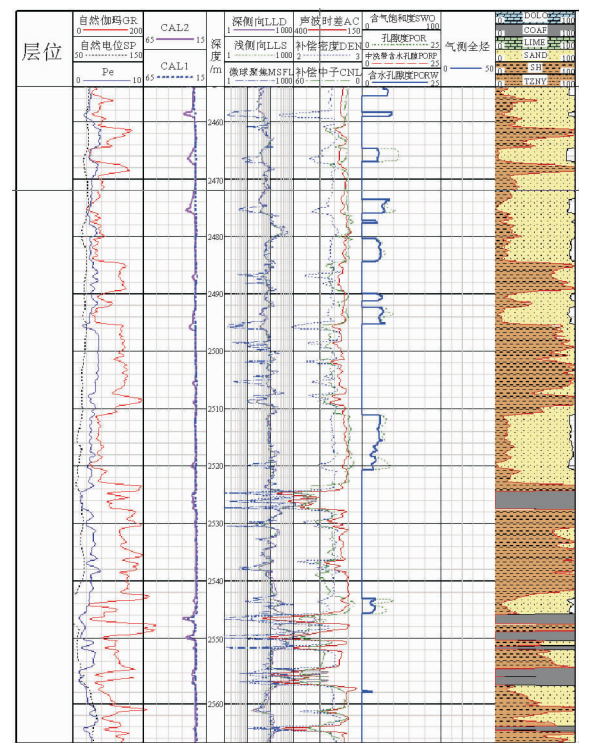


图 1 D 区某井目的层段测井曲线及岩性解释
Fig.1 Well logs and lithologic interpretation of target layer in D area

3 曲线重构

在对原始测井曲线进行重构前需要对测井数据进行标准化处理,其实质是尽可能地校正地层环境、非地层因素等对测井数据的影响^[6]。在同一研究区内,相同层段的测井数据往往表现出相似的规律,因此,可以根据这一原理对研究区测井数据进行相关分析,找出规律来校正部分刻度不精确的测井资料,从而达到全区测井数据标准化的目的^[7]。

针对 D 区为低孔低渗储层的情况,拟利用声波曲线、伽马曲线、中子曲线和电阻率曲线进行重

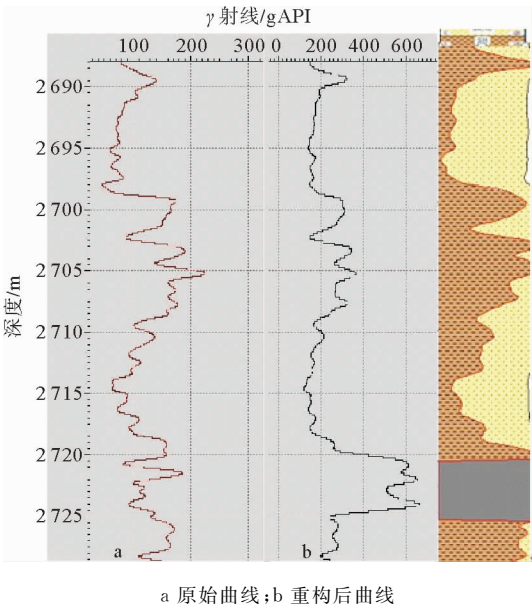
构^[8]。在曲线重构前要先对测井曲线进行环境校正,目的在于改善由于井径坍塌而造成的各种测井曲线失真的现象,消除非系统误差;然后再对测井曲线进行异常值处理,如在井壁不规则处仪器碰撞、遇卡等原因而致测井曲线值出现异常或跳动,导致曲线不反映地层实际情况。最后还需要保证在重构过程中,参与重构的曲线对波阻抗曲线的作用标准一致。也就是说:曲线在重构过程中必须用统一的尺度来控制。本次曲线重构使用如下的公式:

cur=(aAC+bGR+cCNL+dILD)×e

- 式中:cur 为重构后的曲线;
AC 为声波时差曲线;
GR 为自然伽马曲线;
CNL 为中子曲线;
LD 为电阻率曲线;
a、b、c、d、e 为该地区的经验公式,所使用的曲线全部为经过标准化和归一化后的标准曲线。

4 基于曲线重构反演效果分析

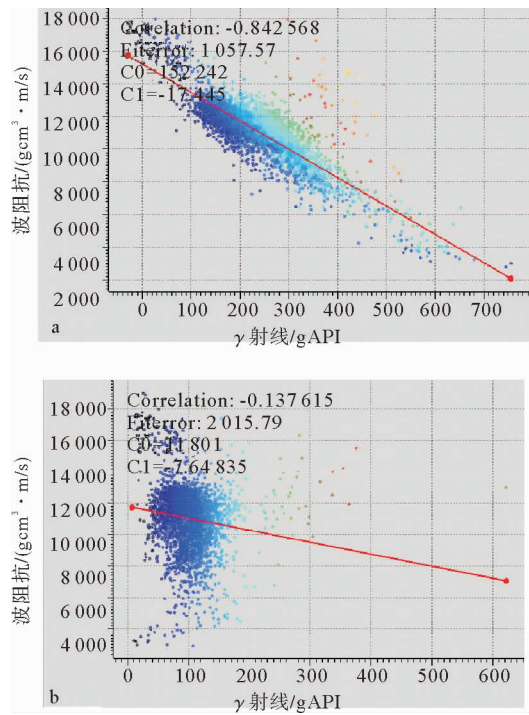
图 2 是 D 区某井重构后的曲线和原始曲线的对比,a 为原始曲线,b 为重构后的曲线,相对原始曲线而言,重构后的曲线对岩性的划分更为准



a 原始曲线;b 重构后曲线
图 2 D 区某井目的层段重构后的测井曲线
Fig.2 The reconstructed well log of the target layer in D area

确,曲线在反映不同岩性时表现的特征更为明显,尤其在煤层段。

图 3 中的 2 张图分别为 D 区某井重构后的曲线和原始曲线与波阻抗交会图,从图中可以很明显的看出,相对于原始曲线,重构后的曲线与波阻抗的相关性得到了很大的提高,这有助于提高随机反演的精度。



a 重构后的曲线与波阻抗交会图; b 原始曲线与波阻抗交会图

图 3 曲线与波阻抗交会图

Fig. 3 Correlation between well logs and impedance

图 4 是 D 区分别使用重构后的曲线和原始曲线反演的岩性剖面,上面是由重构后的曲线得到的岩性剖面,下面是由原始曲线得到的岩性剖面,测井曲线为 GR 曲线。通过反演剖面可以看出,砂体在纵向、横向上都变化较大,岩性比较复杂。但是,重构后的曲线反演剖面较原始反演剖面对于地下岩性的划分更为清晰,能够有效地划分出砂岩和泥岩且砂岩的连通性更好。在曲线重构反演剖面 1 360 ms 和 1 380 ms 附近的 2 套砂体,被刻画得较为清晰。而且反演的砂体与相关井位解释的砂岩层匹配度高,能够分辨出砂体间的泥岩夹层,可以较清楚地识别出砂岩、泥岩的岩性界线,有利于砂体追踪和岩性解释,减少了反演的多解性。

这种算法以波阻抗数据体为背景趋势,利用重构后的曲线进行随机模拟,充分利用了地震资

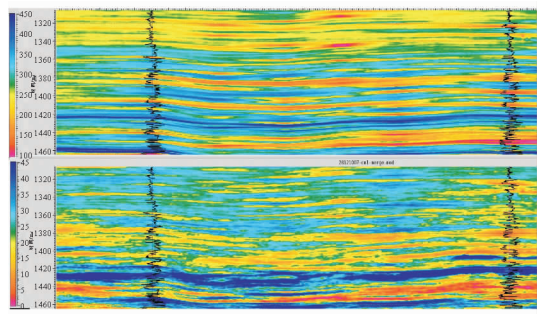
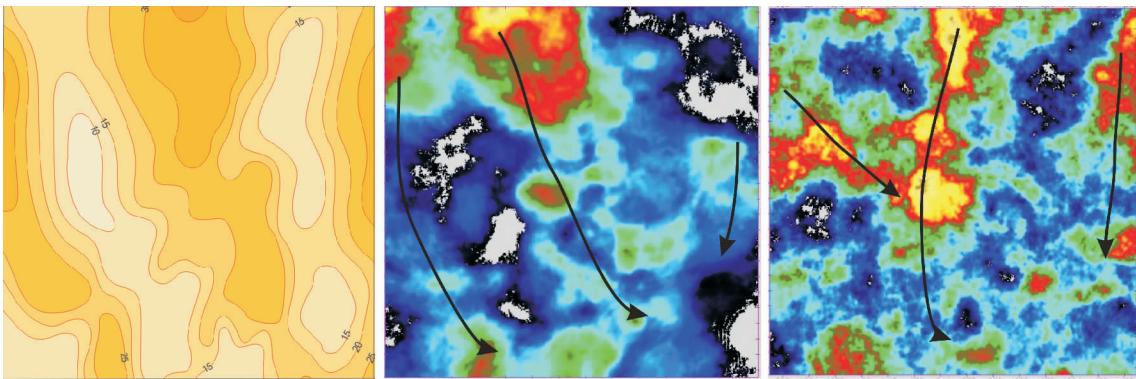


图 4 重构后的曲线反演剖面与原始曲线反演剖面

Fig. 4 The inversion profile of reconstructed well logs and original well logs



a D区砂体沉积相图
(图中等值线单位: m)

b 重构后的曲线砂厚图

c 原始曲线砂厚图

图 5 重构后的曲线反演平面图与原始反演平面图

Fig. 5 The inversed map of reconstructed well logs and original well logs

料的横向分辨率和测井资料的纵向分辨率,二者的结合提供了一个高分辨率的岩性数据体。图5是D区由重构后的曲线和原始曲线得到的砂厚图,通过对比可以明显看出,重构后的曲线得到的砂厚图能够很好地反映河道走向,与砂体沉积相图吻合度较高,证明了使用本方法曲线重构反演的有效性。

3 结论

通过对D区使用曲线重构反演可知:

(1) 在地层情况较复杂,利用单一测井曲线不能很好地进行岩性划分时,可以考虑使用曲线重构技术来进行岩性反演。

(2) 在曲线重构的过程中,需要考虑不同岩性的敏感参数,充分利用不同测井曲线包含的有效信息。

(3) 利用重构后的曲线进行岩性反演,反演的精确度得到了很大的提升;值得注意的是在曲线重构前,需要对各个曲线进行标准化,这样重构后的曲线才有意义。

在实际应用中应充分考虑各种因素的影响,以达到准确预测储层的目的。

参考文献:

- [1] 贺懿,刘宾,钱红英,等.基于多测井数据的重构技术在约束反演中的应用研究[J].天然气工业,2008,28(12):37-40.
- [2] 康清清.薄砂层地震储层预测方法研究与应用——以埕岛东部斜坡带为例[M].成都:成都理工大学,2009,5:13-16.
- [3] 崔健,张星.曲线重构反演在储层预测研究中的应用[J].大庆石油地质与开发,2008,27(3):133-135.
- [4] 许正龙.曲线重构技术在储层横向预测工作中的应用[J].石油实验地质,2002,24(4):377-380.
- [5] 龙国清,邓宏文,李玉君,等.基于模型正演的测井曲线重构技术在储层表征中的应用[J].油气地质与采收率,2008,15(1):66-68.
- [6] 熊冉,高亮,杨姣,等.曲线重构反演在储层横向预测中的应用[J].西南石油大学学报(自然科学版),2012,34(1):83-89.
- [7] 魏立花,郭精义,杨占龙,等.测井约束岩性反演关键技术分析[J].天然气地球科学,2006,17(5):732-735.
- [8] 周惠文,曹正林,杜斌山.含气特征曲线重构技术在致密含气砂岩储层预测中的应用[J].天然气地球科学,2006,17(5):723-726.

THE APPLICATION OF CURVE RECONSTRUCTION TO PREDICTION OF LITHOLOGIC TRAPS IN ORDOS BASIN

LI Jinquan, FAN Jiuxiao, DANG Dan

(The Sinopec North China Branch Exploration and Development Research Institute, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: In the process of well constrained stochastic inversion, we usually use one single logging curve to reveal the reservoir. This method has difficulties to fully reflect the reservoir characteristics since it uses only one type of curve. In this regard, we proposed in this paper to use a variety of well logs to reconstruct one curve which is closer to the real characteristics of the reservoir. Compared to gamma and neutron gamma logs, the reconstructed curve has a better correlation with the impedance, and the inversed lithologic section is closer to the real. With the data from the area D, we used curve reconstruction inversion technique for reservoir prediction in this paper. Results are much more satisfactory comparing to the conventional lithology inversion, which only uses a single curve.

Key words: curve reconstruction; reservoir prediction; well constrained; inversion