

交叉偶极子阵列声波测井在裸眼井中的应用研究

成志超

(中石化经纬有限公司华东测控分公司, 江苏 扬州 225100)

【摘要】针对声波测井成像图噪声多、图像模糊导致的反射体自动识别困难、依赖专家识别、费时耗力等问题,提出反射体自动识别方法。通过高斯混合模型将像素点按颜色进行聚类,拆分为多通道子图,筛选有效子图进行组合;基于局部连通性进行粗降噪;以连通区域内像素点数量为基准进行精细降噪,最终完成反射体区域的像素级精确识别。整个过程完全自动化,在油田开发所用声波成像图上进行实验,实现反射体区域像素级精确识别,极大地提高了开发效率。

【关键词】测井; 声波成像图; 反射体; 高斯混合模型; 自动识别; 精确识别

一、前言

声波测井(速度)资料是石油天然气勘探开发中的核心基础资料。通过声波合成地震记录可建立地震资料和地下地质条件之间的联系,进一步通过地震数据和声波等资料可进行储层和含气性预测。声波资料的应用主要受三个方面的影响。一是不同年代、不同测量仪器可造成不同井的声波数据可能出现误差;二是声波采集过程易受到井壁质量或声波频散的影响;三是为节约钻井成本,有些钻井不测量声波。因此在实际生产中,需要进行声波资料评估,并对误差进行校正。在未测量声波的地区,就需要预测声波以为后期分析提供可靠的基础资料。声波质量评估一般在两个方面进行,一是通过井壁环境、声波频散、地层条件等综合评估声波可靠性,并提出针对性的解决办法;二是针对于地震反演开展的声波数据评估。结合交会图、直方图、相关图等开展数据质量控制,并基于统计规律在声波缺失的钻井处开展声波预测。而在海洋深水地区,由于钻井之间距离较远,地质环境差异较大,速度变化较快,如简单用数据统计规律来进行评估和预测声波存在较大的不确定性。通过地震反演来获得可靠的储层和含气性预测结果,首先要建立速度变化和地质条件的关系。面对深水地区多个年度、不同钻井、不同测井仪器、不同井眼环境可能带来的声波差异,就需要建立一个统一的声波评估标准。而岩石物理模拟是建立该标准的最好手段。岩石物理模拟通过计算已钻井点处不同岩性、物性、含气性等因素下的理论声波,并和钻井实测声波进行对比分析。由于理论声波并不考虑地质背景(如超压、成岩、微裂隙等),因此理论和实测声波的拟合程度主要与地质条件的变化有关,从而辅助评估不同钻井实测声波可靠性。另外,在未测量声波或者声波受到测井环境影响较为严重的情形下,基于岩石物理模拟计算的声波可作为替代资

料,用于后期的含油气性预测。实际应用中,受测井解释、井眼环境、地质条件变化等多因素的影响,岩石物理模拟应用程度不同。如针对某一个砂体或者砂组建模,或针对某一小段目的层建模,或者不同井采用不同的模型参数,这些研究难以指导建立适用于区域内不同钻井、不同目的层的统一模型,辅助声波资料的评估和校正。本文结合深水地区已钻井实际资料特点,开展了多口已钻井的岩石物理模型的研究工作。通过密度数据改善泥岩的孔隙度解释精度,将岩石物理模型计算范围从储层段延伸至包括储层和非储层的全井段,并延伸至不同钻井。实现在一个区域内通过一个模型在多口钻井都有较好的模拟吻合度的目的,声波评估效果更好,验证了通过岩石物理模型评估和预测声波有着较高的可靠性。

二、相关研究

(一) 远探测测井技术发展现状

声波远探测测井技术的研究和应用,从最初的单极反射纵波成像技术发展到目前的偶极横波远探测技术,将声波测井探测距离扩大到井外几十米的范围,有效对地层构造及地质体进行探测。2004年,Tang^[1]首次把偶极子用于反射声波成像测井中,并提出了偶极横波远探测测井方法。2009年,Tang等利用四分量偶极数据对井旁裂缝和盐丘内部的精细构造进行了成像,取得了显著的应用效果。2012年,唐晓明全面总结了偶极横波远探测测井技术取得的重要进展,并对技术改进和发展方向进行展望。随后,唐晓明对偶极声波远探测技术原理和方法进行论述,并结合数值模拟计算验证了该项技术的可行性。但是探测距离的扩大导致声波成像过程中更易受到干扰,产生噪声,影响测井解释。

(二) 高斯混合模型图像处理

近年来,高斯混合模型被广泛应用于图像处理。

杜钰娇等结合图片灰度值的分布,做出水体灰度值与非水体灰度值均服从高斯分布的假设,结合高斯混合模型,提出一种基于图割的图像分割算法。郭红光等针对经典的暗通道先验方法在对大面积天空的有雾图像去雾时,图像中天空区域出现颜色失真等问题,提出了一种结合高斯混合模型的改进暗通道图像去雾方法。包广斌等针对边界模糊和对比度低的口腔CT图像中牙齿目标区域提取难的问题,提出一种基于高斯混合模型与K-均值的改进聚类分割算法,实现降噪平滑的同时增强图像细节。Riaz等[根据医学成像中目标可由颜色、纹理等典型特征表征的特点,将图像建模为对应于目标和背景的高斯混合分布,从而进行医学图像分割。Moraru等[以弥散张量成像(DTI)中b值生成的像素强度和对比度在基于高斯混合模型分类中所得结果为依据,对脑组织变化进行定量的全局评估。Shi等提出一种高分辨率遥感图像分割算法HGMM,能够灵活地模拟复杂的分布,准确地分割图像。根据测井成像图中无法直接按照特定颜色范围区分各区域,但能以像素点所属类别为依据进行区分的特点,结合前人经验,本文采用高斯混合模型对图像中像素点颜色值进行聚类分析,从而获取单一颜色的成像子图。

(三) 图像降噪方法

数字图像在采集、网络传输及接收的过程中,由于外部环境复杂,存在干扰因素,可能会产生噪声,破坏图像结构或边缘,影响图像分辨率和准确性,对图像后续处理极为不利。数字图像处理中已有较多对图像降噪的相关研究,并且所得方法已广泛应用于图像处理、图像增强,改善视觉显示。传统的降噪方法有均值滤波、中值滤波、高斯滤波等。均值滤波算法仅计算像素点邻域平均值,没有考虑到像素点空间位置信息,降噪效果较差。中值滤波算法作为典型的空域降噪算法,较适合去除椒盐噪声,其核心思想是对邻域像素灰度值进行统计,找到中间灰度值从而代替目标像素的灰度值。高斯滤波算法将像素点的邻域进行高斯加权平均,充分考虑到像素点的空间位置信息,但无法从根本上解决图像弱边缘和弱纹理的细节模糊问题,降噪效果不够好。以上这些滤波方法往往不考虑局部特征,在降噪同时模糊甚至破坏了边缘信息和很多细节信息,本文针对其不足,提出一种将基于像素值相似性比较的滤波算法与基于连通域面积比较的滤波算法相结合的方式对图像进行降噪。

三、交叉偶极子阵列声波测井在裸眼井中的应用研究

本文使用高斯混合模型对声波测井成像图中像素点进行聚类,按照聚类结果对各像素点重新赋值,形成单一颜色的成像子图,采用一种基于像素点相似

性比较的滤波算法对图像中孤立噪声点进行粗降噪,然后标记图像中各个连通域,采用基于连通域面积比较的滤波算法对图像中较大的噪声区域作进一步细降噪,采用凸包算法得到反射体区域轮廓,按像素点位置与原图一一映射,得到最终的降噪效果图。

(一) 高斯混合模型

高斯混合模型(GMM)是聚类分析常用模型之一,可以有效分析复杂数据,将聚类问题巧妙转化为多元统计分析问题,使问题简单化。用多个高斯分布组合表示的高斯概率密度函数为不同类别分别建立概率模型,通过逐渐逼近的方法,使给定数据集和数据模型之间达成最佳拟合。由于探测仪器、探测方式不同,最终得到的声波测井成像图数据集中各个图像的对比度、像素点颜色种类也会有所不同,且像素点颜色为三维连续值,因此无法直接根据特定颜色范围将反射体区域与噪声区域进行区域划分。通过初步分析声波测井成像图可以得出,反射体区域与噪声区域的像素点颜色种类存在一定差异性,可按类别进行大致划分。因此,本文通过高斯混合模型对图像中像素点进行聚类,得出其所属类别,并给每个像素点按类别重新赋值,达到初步背景去除的效果,减少后续处理的工作量。根据迭代公式计算,直至似然函数收敛,即获取到合适的参数值。基于高斯混合模型的像素点聚类算法步骤如下:(1)输入声波测井成像图,读取图像中所有像素点。(2)利用高斯混合模型对图像中所有像素点聚类,预测出每个像素点对应的类别。

(3)按照聚类结果,筛选有效子图,形成初步的背景去除效果。

(二) 图像降噪

1. 粗降噪

目前的远探测技术通过发射多种声波,主要采集反射波成像,然而测井仪器在工作中容易受到获取图像的环境条件、自身质量,以及传输信道干扰等影响产生噪声,这些噪声表现为孤立像素的离散变化,在空间上具有不相关性,影响测井解释,因此去除噪声对于后续测井图像的分析起到至关重要的作用。在对声波测井成像图降噪时,像素点颜色对于最终降噪效果影响较小,为了降低处理过程的复杂性,在降噪之前可以将图像转换为灰度图。图像中噪声大致可分为两类,一类是呈散乱分布的小噪点;另一类是面积相对较大的噪声区域。由于声波测井成像图中小噪点分布杂乱无章,反射体部分连通性较强,因此反射体部分的像素点邻域内颜色相似点的个数比噪声周围多。根据邻域识别法的思想,本文提出了一种基于像素值相似性比较的滤波算法,通过分析某假定噪点与其邻域像素点相似个数的多少来判别其是否为噪点,从而实现输入图像的初步降噪,达到突出反射体的目的。

2. 细降噪

基于像素值相似性比较的滤波算法可以对小噪声有效去除,但仍然存在一些面积较大的噪声区域。由于这些噪声区域形成了不同的连通域,因此可以采用连通域面积比较法进一步降噪。本文采用二次扫描法对图像连通域进行标记。第一次扫描通过逐行逐列扫描像素,判断像素之间的邻域关系,对属于同一连通区域的像素赋予相同的连通标号,实现连通标识。一般来讲,反射体的面积会比噪声区域的面积大,需要预先设定阈值用来确定噪声区域的比较面积大小。因此首先计算各个连通域的面积,然后基于连通域面积比较实现滤波算法。该算法基本思想如下:对采用基于像素值相似性比较的滤波算法得到的图像做连通域判断,标记不同大小的连通域,通过预设阈值与噪声区域面积比较,去除小于阈值的假定噪声区域,最终得到的图像就是精细降噪效果。

四、实验分析

(一) 实验环境

本文实验环境:Windows10操作系统,Intel i7-6700HQ处理器,1TB机械硬盘,16GB内存,NVIDIA GeForce GTX950M GPU,采用PyCharm进行实验。

(二) 数据集

本文采用声波测井成像图数据集进行反射体识别实验,该数据集来源于偶极横波远探测测井仪器在油田实际测井成像结果,图像大小不一,部分图像对比度较低,噪声由测井过程中无效反射波干扰生成,与反射体像素点色彩种类一致,难以区分。在进行实验之前,统一将图像分辨率大小处理为 300×960 。为数据集中较为清晰的反射体区域,该部分噪点较少,反射体的像素点分布呈现一定的纹理,且连通性较强。反射体与噪声混合区域,噪声部分像素点对反射体部分形成较大干扰,难以清晰刻画反射体边缘。以下实验针对三种典型区域进行处理,并对处理结果进行比较。

(三) 图像聚类分析

本实验对声波测井成像图中的像素点进行聚类,将类别设置为 k ,以聚类结果为依据按类别将对应像素点赋值为原图中的像素值。对实验图片选取的阈值 k 为 $4 \sim 6$ 。当 $k=4$ 时,图像中反射体区域会受到背景区域影响;当 $k=6$ 时,图像中像素点类别数无法达到所设定阈值数;当 $k=5$ 时,聚类效果最好观察实验所得聚类结果,每一幅图为原图中抽取的一种特定颜色。第一行三幅图像不包含反射体,第二行两幅图以反射体为主。第一行图像的有效像素点分布密度较高,而第二行图像的有效像素点分布密度较低。因此,以像素点分布密度为依据,将低密度像素点所属类别内的

各像素点按位置映射回原图,得到包含反射体区域有效像素的结果图,实现了背景去除,图像中像素点数量和颜色种类均有所减少,为后续降噪做好准备。

(四) 图像降噪分析

图像中像素点颜色值在本节降噪算法中已不再作为研究要点,因此将图像转换为更容易处理的灰度图,然后采用基于像素值相似性比较的滤波算法对图像进一步降噪。在初步粗降噪后,大部分小噪声点已经去除,仍存在一些面积较大或者分布较为密集的噪声。反射体部分与噪声部分相比,某些反射体虽然分布范围较小,但是内部像素点较为密集,而噪声区域虽然分布范围较大,但是内部像素点较为稀疏。因此可以对图像中像素点进行连通性判断,标记不同连通域,以像素点数量作为连通域面积衡量依据,对图像中连通区域进行去除。实验选取阈值 β 为 $220 \sim 230$,当 $\beta < 220$ 时,图像中仍存在一些较大噪声区域不能被去除,当 $\beta > 230$ 时,图像中相对较小的反射体会被当作噪声区域去除,当 β 在所设定阈值范围内时,去噪效果最好。虽然中值滤波降噪后图像中噪点较少,但是仍然存在很多未滤除噪声,而且反射体的边缘变得比较模糊。高斯滤波只是使图像整体更加模糊了,降噪效果较差。以上两种方法都是对整幅图像进行全局滤波,缺乏针对性。降噪结果表明,与传统的滤波算法相比,本文算法能够根据图像各个区域的不同特点做到有针对性地降噪,最终所得图像边缘保护效果好,而且更加清晰。

结语

本文采用高斯混合模型对声波测井成像图中的像素点按照颜色聚类,并将所得聚类结果应用于像素点的重新赋值,得到聚类后的单一颜色子图,采用一种基于像素值相似性比较的滤波算法对图像进行粗降噪,按照连通域面积大小进行细降噪,得到最终降噪结果的灰度图,然后采用凸包算法对反射体区域进行调整,最终实现反射体识别。实验结果表明,本文所设计的方法可以有针对性地对声波测井成像图中不同区域的噪声点进行去除,较好地满足反射体识别的要求,相较于中值滤波和高斯滤波,本文算法能够更好地保留反射体部分,去除无关噪声,实现反射体像素级自动精确识别。本文工作将测井专业人员从费时耗力的识别工作中解脱出来,利用识别结果对井周的地质构造进行评价,为后期综合地质研究和深入勘探提供技术支撑,得到测井专家的认可。

参考文献:

- [1] 唐晓明, 魏周拓. 声波测井技术的重要进展——偶极横波远探测测井[J]. 应用声学, 2012, 31(1):10-17.