

岩屑荧光系统下砂岩目标的识别与分类

崔康宁¹, 滕奇志¹, 吴晓红¹, 何海波²

(1. 四川大学 电子信息学院图像信息研究所, 四川 成都 610064;

2. 成都西图科技有限公司, 四川 成都 610064)

摘要: 岩屑的砂岩部分是整个岩屑含油的集中区域, 但是在岩屑的荧光图像中, 由于岩屑颗粒的边界不明显, 很难准确地得到砂岩目标, 因此影响后续含油组分分析的准确性。岩屑荧光系统通过对岩屑样本同一个视域下的白光图像进行边缘流处理, 得到砂岩目标, 再与系统生成的训练文件作对比分析, 从而得到岩屑样本的含油组分分析。

关键词: 岩屑荧光图像; 边缘流分割; 边缘流矢量; 砂岩识别

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2014)03-0038-03

Identification and classification of sandstone target under the debris fluorescence system

Cui Kangning¹, Teng Qizhi¹, Wu Xiaohong¹, He Haibo²

(1. School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China;

2. Chengdu Xitu Technology Co., Ltd, Chengdu 610041, China)

Abstract: Sandstone of the debris is concentrated with most oil area of the whole section debris, but the boundary of debris grain is not obvious, it's hard to identify the sandstone accurately, so the oil classification of the sandstone is inexact. The debris fluorescence system processes light image under the same field of vision with edge segmentation to get the sandstone target, then contrast with training documents generated by the system to get the oil classification of the debris sample.

Key words: debris fluorescence image; edge segmentation; edge vector; identification of the sandstone

岩屑录井^[1]是地质录井工作发现油气层、评价油气层的重要方法之一。岩屑数字荧光图像录井技术是油气勘探开发生产现场直观发现、快速分析油气层的实用性创新技术,是集计算机图像处理、分析、识别和应用技术于一体的地质录井。以往估测含油砂岩的含油组分主要是靠人工经验的方式,因此,岩屑录井资料的准确性受人为因素的影响较大,现场资料的可比性、实用性存在着很大的局限性,难以达到油气勘探对录井工作的要求^[2]。为了解决这一难题,在大量室内实验研究工作的基础上,首先建立了含油砂岩岩屑的识别方法,以此为基础建立了岩屑样品中各含油砂岩含油组分分析的检测方法,成功地开发出岩屑荧光图像分析系统,实现了岩屑样品中各类岩屑百分含量和含油砂岩含油组分分析检测的自动化和定量化,为及时发现油气层和评价油气层提供可靠信息。

岩屑荧光图像分析系统是实现在荧光图像后期处理及分析的一套软件系统,用于岩屑荧光图像砂岩面积的识别、组分分析与分类识别以及信息管理等方面。该系统主要包含岩屑荧光图像砂岩面积的识别和岩屑荧光图像的含油组分分析两个部分。

1 岩屑荧光图像砂岩面积的识别

岩屑主要是泥岩和砂岩的混合物,而含油部分主要集中在砂岩中,因此需要把荧光图像中砂岩部分做识别和提取处理。然而荧光图像(如图1所示)下岩屑颗粒间边界不明显,难以准确区分泥岩和砂岩。

岩屑图像采集系统^[3]是岩屑荧光图像分析系统的前端系统,它主要用于采集岩屑图片,而且此系统可以通过改变光源,对同一岩屑样本在严格的同一视域下分别采集荧光图像和白光图像。由于荧光图像下对泥岩和砂岩的识别提取存在很大困难,因此在白光图像下首先将



图1 岩屑荧光图像

岩屑图像中的颗粒分割为一个一个的闭合区域^[4],再根据砂岩和泥岩的一些纹理和颜色特征对砂岩部分进行提取,这样就可以完整地识别并提取出砂岩部分。

在分割岩屑各个颗粒的过程中,本系统采用边缘流分割算法进行颗粒间边界的提取,具体原理如下。

边缘流算法^[5]首先是对图像中的每个像素点确定指向该点最近边缘的流方向;然后检测相反方向的边缘流矢量相遇的位置^[6],该位置即图像中对象的边缘。

图像中像素点 s 在 θ 方向上的边缘流矢量为 $F(s, \theta)$, 定义为:

$$F(s, \theta) = [E(s, \theta), P(s, \theta), P(s, \theta + \pi)] \quad (1)$$

其中, $E(s, \theta)$ 为图像像素点 s 沿 θ 方向的边缘能量,用于描述颜色、纹理等图像信息沿 θ 方向的变化强度; $P(s, \theta)$ 表示从图像像素点 s 往 θ 方向可能找到边缘的概率; $P(s, \theta + \pi)$ 表示从像素点 s 往 $(\theta + \pi)$ 方向可能找到边缘的概率。 $P(s, \theta)$ 和 $P(s, \theta + \pi)$ 用来描述边缘流方向的可能性。边缘流的定义提供了一个统一的框架,将图像的色彩和纹理等不同的图像特征结合起来。

下面介绍边缘流计算过程中要用到的主要公式。

(1) GD (the first derivative of Gaussian)

x 轴方向上高斯函数的一阶导数为:

$$\begin{aligned} \text{GD}_{\sigma}(x, y) &= \frac{\partial G_{\sigma}(x, y)}{\partial x} = -\frac{2x}{2\sigma^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \\ &= -(x/\sigma^2)G_{\sigma}(x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

将 GD 与图像亮度卷积可以得到图像亮度变换的强弱。

(2) DOOG (the difference of offset Gaussian)

x 轴方向高斯函数的偏移差分为:

$$\text{DOOG}_{\sigma}(x, y) = G_{\sigma}(x, y) - G_{\sigma}(x+d, y) \quad (3)$$

其中, d 是两个高斯核中心的距离,与 σ 成正比。

通过旋转式(2)和式(3),可以得到它们在不同 θ 下的表示:

$$\text{GD}_{\sigma, \theta}(x, y) = \text{GD}_{\sigma}(x', y') \quad (4)$$

$$\text{DOOG}_{\sigma, \theta}(x, y) = \text{DOOG}_{\sigma}(x', y') \quad (5)$$

其中, $\text{GD}_{\sigma, \theta}(x, y)$ 表示高斯函数沿着 θ 方向的一阶导数, $\text{DOOG}_{\sigma, \theta}(x, y)$ 表示高斯函数沿着 θ 方向平移距离 d 的偏移差分, $x' = x \cos \theta + y \sin \theta$, $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$ 。

运用边缘流矢量定位边缘的主要操作步骤为:首先将彩色图像进行颜色空间转化,由 RGB 空间转化为 Lab 空间,然后在单一尺度下构造边缘流矢量。计算当前点的边缘流矢量时,可以统计 8 或 16 方向的边缘

流矢量场,计算每个方向上找到边缘的概率,概率的大小与存在边缘的可能性成正比,由此确定该点矢量方向^[7]。当遍历完整幅图像后,绘制边缘流矢量图,矢量图中边缘流矢量方向相反处就是图像中目标边缘所在的位置。

假设 a_i 为第 i 个边缘流矢量的加权系数,则有 $\sum a_i = 1$ 。

计算好各种边缘流之后,合成的边缘流矢量可以表示为:

$$F(s, \theta) = [\sum E_i(s, \theta) \cdot a_i, \sum P_i(s, \theta) \cdot a_i, \sum P_i(s, \theta + \pi) \cdot a_i] \quad (6)$$

其中, $\sum E_i(s, \theta) \cdot a_i$ 是综合的边缘流能量, $\sum P_i(s, \theta) \cdot a_i$

为在 θ 方向找到边缘的综合概率, $\sum P_i(s, \theta + \pi) \cdot a_i$ 表示在 $\theta + \pi$ 方向找到边缘的综合概率。

本文选用 Lab 色彩模型中的亮度信息 L 分量构造边缘流矢量,因为亮度信息 L 与颜色信息 a 、 b 相对独立,在寻找目标边缘时,亮度信息起着重要的作用,亮度变化较大的地方就是边缘,适合于图像分割^[8]。

给定尺度参数 σ ,则边缘能量 $E(s, \theta)$ 定义为尺度图像 $I_{\sigma, L}(x, y)$ 沿着 θ 方向的梯度幅值,即:

$$\begin{aligned} E(s, \theta) &= \left| \frac{\partial}{\partial n} I_{\sigma, L}(x, y) \right| = \left| \frac{\partial}{\partial n} [I_L(x, y)] \times G_{\sigma}(x, y) \right| \\ &= \left| I_L(x, y) \times \frac{\partial}{\partial n} G_{\sigma}(x, y) \right| = |I_L(x, y) \times \text{GD}_{\sigma, \theta}(x, y)| \end{aligned} \quad (7)$$

其中, $s = (x, y)$ 是图像的像素点, $I_L = (x, y)$ 是图像 $I(x, y)$ 转到 Lab 色彩空间 L 通道中点 (x, y) 的强度值, n 表示 θ 方向的单位法矢量。从式(7)可以看出,边缘能量 $E(s, \theta)$ 实际上就是图像 $I_L(x, y)$ 与高斯函数 $G_{\sigma}(x, y)$ 卷积后得到的尺度图像 $I_{\sigma, L}(x, y)$,在 θ 方向上也就是尺度图像梯度的大小,反映了尺度图像强度的强弱变化^[9]。

在得到 $E(s, \theta)$ 后,寻找 $P(s, \theta)$ 最大值(也就是 s 点附近最有可能的边缘方向)对应的 θ ,该 θ 对应的方向就是边缘所在的方向。

$$\theta(s) = \text{ang} \max_{\theta} \{P(s, \theta)\} \quad (8)$$

边缘流矢量包括它的方向和幅值^[10]。 s 点边缘流矢量的方向就是式(8)中的 $\theta(s)$ 。而在 $\theta(s)$ 方向上的边缘能量 $E(s, \theta(s))$ 就是边缘流矢量的幅值。图2从一维角度说明了边缘流矢量对边缘的定位效果。在边缘左边的点,由于 $P(\text{left}) < P(\text{right})$,因此这些点上的 $\theta(s)$ 都指向右边,即边缘流的方向是右;在边缘右边的点,由于 $P(\text{left}) > P(\text{right})$,因此这些点上的 $\theta(s)$ 都指向左边,即边缘流的方向是左^[11]。两个方向的边缘流相遇的地方就是边缘的位置。

从前面的叙述中已经了解到,影响边缘流矢量结果的唯一因素就是尺度因子 σ 。经过大量的测试,在泥岩和砂岩的混合物中, $\sigma = 3$ 分割效果比较好,如图3所示。

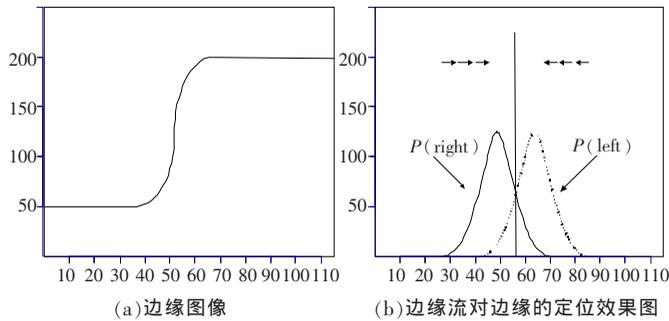


图2 原图及边缘定位图

图3 尺度参数 $\rho=3$ 的分割效果

细线就是本文通过边缘流分割提取出来的边缘分割线,从图3可以明显看出,各个颗粒已被划分为独立的闭合区域。根据砂岩的纹理和颜色特征^[12]填充砂岩的闭合区域,如图4所示。



图4 边缘流分割提取的目标

对比图3和图4可以发现,基本上所有的砂岩部分都提取出来了。通过这种方法,本文另外测试了多个岩屑样本,基本上都识别出岩屑样本中的砂岩部分。

2 岩屑荧光图像含油组分分析与分类识别

把在白光图像下提取的砂岩图像叠加到荧光图像上,再分析砂岩区域的颜色、亮度等特征,从而得到岩屑的含油组分。

岩屑荧光分析系统采用聚类算法对彩色色谱图进行分层训练,生成训练文件。在此基础上,对荧光图像的发光强度、波长、颜色、亮度和饱和度进行彩色分类,将不同区域点标记为轻质油、中质油和重质油,同时记录下类别的颜色等待征。通过以上过程,可以得到目标区域的分类情况,最后用不同颜色显示不同组分类别,其实现原理见参考文献^[13]。砂岩分类结果如图5所示。

图5中,轻质油、中质油及重质油分别以不同颜色代表,这幅图像所代表的岩屑样本中轻质油和中质油比较多,而重质油的含量较少。图6是另外两个样本的砂岩分类图,其中左图代表的岩屑样本含有中质油和重质油的比例较高,右图则含有轻质油和重质油的比例较高。



图5 砂岩分类效果图

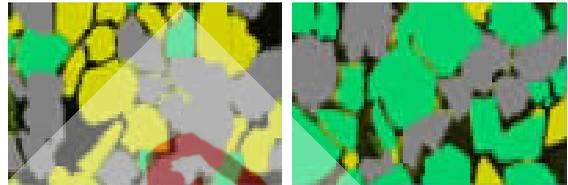


图6 其他样本的砂岩分类效果图

通过以上的一系列处理,就可以得到荧光图像的石油含量组分分析,而且效果很直观,据此可以得到岩屑样本的含油情况。

本文在岩屑荧光系统下,通过对白光图像进行岩屑间颗粒的边界提取,然后再根据砂岩和泥岩的纹理特征识别出岩屑中的砂岩目标,解决了在荧光图像下无法准确识别砂岩的弊端,实验结果证明此方法可以较为完整地获得岩屑中的砂岩目标。最后参照系统生成的训练文件对砂岩目标进行分类,得到岩屑荧光图像的含油组分分析。此外,本系统在分析识别砂岩含油组分的过程中具有一定的智能化和自动化,为地质部门对岩屑含油量进行定量分析提供了便利。

参考文献

- [1] 王春艳,王新顺,王延华,等.基于不同光谱技术的原油样品的荧光分析[J].光谱学与光谱分析,2006,26(4):728.
- [2] 鲍云杰,高玉凯,石景艳,等.岩屑定量描述评价仪的研制[J].测井技术,1999,23(1):68-71.
- [3] 邓明霞.岩屑图像采集影响因素及图像采集标准[J].录井工程,2007,18(2):17-20.
- [4] 慈兴华,向巧玲,陈方鸿,等.定量荧光分析技术在原油性质判别方面的应用探讨[J].石油实验地质,2004,26(1):100-102.
- [5] MA W Y, MANJUNATH B S. Edge flow: a technique for boundary detection and image segmentation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000,9(8):1375-1388.
- [6] 宋顶利,杨炳儒,于复兴.Edge flow 数字图像边缘检测[J].微电子学与计算机,2011,12(4):81-87.
- [7] 刘楠,舒宁.基于局部光谱空间分析的多尺度边缘检测[J].国土资源遥感,2005,65(3):34-38.
- [8] 张锋.砂岩薄片图像分割关键技术研究[D].成都:四川大学,2006.
- [9] CHANG C C, LIN C J. LIBSVM: a library for support vector machines[EB/OL].2011-10-15 .http://www.Csi.ntu.edu.tw/~cjlln/libsvm, 2011-03-09.
- [10] 曹华美,吴晓红,罗代升.融合边缘流和模糊区域聚类

- 的岩心图像分割 [J]. 计算机工程与应用, 2013 (6): 187-189.
- [11] 韦宏强, 李彤华, 郑屹, 等. 基于多结构元素形态学的图像边缘检测算法 [J]. 计算机工程与设计, 2007, 22 (28): 5452-5447.
- [12] 王东强, 李文东, 刘宗林, 等. 基于傅里叶变换的岩屑纹理特征提取及岩性识别方法研究 [J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 420-423.
- [13] 何霁, 滕奇志, 罗代升, 等. 一种改进的 ISODATA 算法及在彩色荧光图像中的应用 [J]. 四川大学学报, 2007, 44(3): 563.
- (收稿日期: 2013-11-08)

作者简介:

崔康宁, 男, 1988 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理与图像通信。

滕奇志, 女, 1961 年生, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 图像处理与模式识别。

