



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110910411 A

(43)申请公布日 2020.03.24

(21)申请号 201911112511.1

G06T 5/30(2006.01)

(22)申请日 2019.11.14

(71)申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 杨明 江文滨 姬莉莉 曹高辉

林緬 徐志鹏 周羈

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

代理人 席卷

(51)Int.Cl.

G06T 7/13(2017.01)

G06T 7/136(2017.01)

G06T 7/62(2017.01)

G06T 5/00(2006.01)

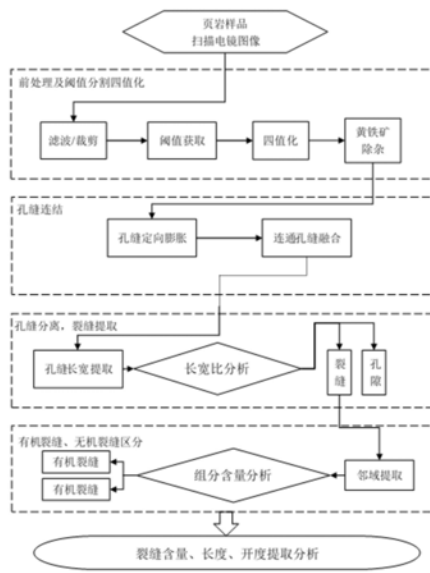
权利要求书3页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法

(57)摘要

本发明实施例公开了一种具有尺寸自适应的页岩裂缝提取方法,包括如下步骤:样品扫描电镜成像及滤波前处理;确定阈值进行阈值分割,将页岩样品电镜图像的要素分为四个组分,并通过设计形态学运算进行“白边(由孔隙周缘亮度增强引起的灰度异常增加)”消除;提取裂缝形态学特征以区分裂缝和孔;提取裂缝组分含量和尺寸信息,获取页岩孔隙结构各表征参数,该方法能够准确地分辨出有机裂缝、无机裂缝,并提取出等效三维参数,有利于对页岩样品储层孔隙结构和储运能力进行精准评估,同时,该方法普适性较高,能够对不同种类及不同电镜扫描成像品质的页岩样品进行研究,此外,该方法测量周期短、处理过程简单、成本较低,计算效率和精度高。



CN 110910411 A

1. 一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,其特征在于,包括如下步骤:
 - S100、样品处理、扫描成像及图像预处理;
 - S200、阈值分割,将页岩样品电镜图像的要素分为四组分,并进行“白边”消除,所述“白边”由于扫描电镜的边缘增强效应导致孔隙边缘灰度值异常增大现象;
 - S300、中断孔缝连结,进而提取孔缝长度和宽度,并以此区分裂缝和孔;
 - S400、提取裂缝组分含量和尺寸信息并通过形态学分析,获取页岩孔隙结构各表征参数。
2. 根据权利要求1所述的一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,其特征在于,在步骤S100中,具体包括:
 - S101、选取样品,进行样品处理后在扫描电镜下观测得到系列图像;
 - S102、图像预处理,裁剪除去图像黑边,并对电镜图像进行滤波处理。
3. 根据权利要求2所述的一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,其特征在于,在步骤S103中,具体包括:

提取图像灰度值非0的长方形区域四顶角位置,将长方形内的区域保留,长方形外的区域裁除;

对裁除后的图像先利用均值滤波消除形貌扫描的非光滑性,再用中值滤波消除图像椒盐噪声。
4. 根据权利要求1所述的一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,其特征在于,在步骤S200中,具体包括:
 - S201、选取所裁切图像中的代表性图像,即含有较多孔、有机质、无机质和黄铁矿的图像;
 - S202、利用二值化方法分别调节区分四种成分的三个阈值,即孔阈值、有机质与无机质的分割阈值、无机质与黄铁矿的分割阈值;
 - S203、在获取三阈值后,对样品扫描电镜图像进行阈值分割,将每一张图像的要素分为孔、含孔的有机质、含孔的无机质和黄铁矿四组分。
5. 根据权利要求1所述的一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,其特征在于,在步骤S200中,进行“白边”消除的具体步骤为:

将样品图像中各个连通的黄铁矿区域进行次序标记,统计各块面积并提取各个黄铁矿区块的边界坐标,重心坐标,长轴长,短轴长,等效半径;

计算各个黄铁矿区块的长轴与短轴长之比;

统计重心点附近 3×3 区域大小内,总计9个像素点的平均灰度值;

若黄铁矿区块的长轴和短轴之比大于10,或者重心附近9个像素点平均灰度值小于黄铁矿阈值,则确定该黄铁矿区块实质为孔缝周缘的“白边”干扰;

依据边界坐标找出包含该区块的最小长方形,给出长方形四个顶点坐标;

从提取得到的最小长方形往外扩展等效半径尺寸,得到新的长方形作为该孔的邻域;

当某向外扩充的邻域边遇到超出边界时,按照3像素的步长向内收缩,直到第一次满足不超过边界范围收缩停止,且各边收缩过程互相独立;

对各个连通块的邻域进行统计,分别计算各邻域内有机质、无机质的含量;

根据邻域内有机质组分与无机质组分的相对含量判断该“白边”的真实组成,若有机质

含量高,认为该“白边”是有机质,将“白边”区域填充为有机质的灰度值;若无机质含量高,则认为该“白边”的真实成分是无机质,将“白边”区域填充为无机质的灰度值。

6. 根据权利要求1所述的一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,其特征在于,在步骤S300中,孔缝连结的方式为进行定向膨胀运算,将被小块杂质或噪音阻断的裂缝打通,剔除裂缝方向上的杂质,具体包括:

用MatLab的regionprops方法,遍历提取单个孔缝的方向、长度和宽度,沿孔缝方向按照长方形进行尺寸扩展,沿孔缝方向两端的外延长度为该裂缝长度的1/4,其宽度为该裂缝宽度,得到该孔缝的定向膨胀区域;

在定向膨胀区域寻找孔缝,若寻找到的孔缝的分布方向与原孔缝的分布方向夹角在 $\pm 30^\circ$ 以内,则认为他们是同一孔缝;

找到同一孔缝之后,提取包含两区块段的最小长方形,在该最小长方形内对两块体进行闭运算,半径为大孔缝长度的1/4,从而使其融合。

7. 根据权利要求1所述的一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,其特征在于,在步骤S300中,区分裂缝和孔的步骤为:

对提取的孔缝进行闭运算,使得凹陷小区块被填充,然后进行开运算,使得凸出毛刺被消除;

提取孔缝所在最小长方形,提取长方形对角线长度作为孔缝的长度;

提取孔缝的像素面积,以像素面积除以孔缝长度,作为孔缝的等效宽度;

将长度的1.1次方除以宽度,得到一个判定比例参数,当该参数小于预设比例数时,认为这个孔缝是孔;而当该参数大于预设比例数时,判定这个孔缝是裂缝,将判定结果分别进行标记。

8. 根据权利要求7所述的一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,其特征在于,根据孔和裂缝的标记结果,提取包含各块体的最小长方形,提取内部组分信息,将裂缝划分有机裂缝和无机裂缝,具体为:

根据提取的边界信息,提取最小长方形区域;

从提取得到的最小长方形往外扩展等效半径尺寸,得到新的长方形作为该孔的邻域;

当某向外扩充的邻域边遇到超出边界时,按照3像素的步长向内收缩,直到第一次满足不超过边界范围收缩停止,且各边收缩过程互相独立;

对各个连通块的邻域进行统计,分别计算各邻域内有效有机质、无机质的含量,特别是与裂缝相接触的区域有机质、无机质含量;

根据邻域内有机质组分与无机质组分的相对含量判断该裂缝的成分属性,若有机质含量高,认为该裂缝是有机缝;若无机质含量高,则认为该裂缝是无机缝。

9. 根据权利要求1所述的一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,其特征在于,在步骤S400中,裂缝组分含量和尺寸信息包括:裂缝含量、有机裂缝含量、无机裂缝含量、有机裂缝长宽平均值、无机裂缝长宽平均值和裂缝总长宽平均值。

10. 根据权利要求1所述的一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,其特征在于,在步骤S400中,对提取结果进行数据处理,具体是将二维扫描电镜提取参数等效换算为三维参数,包括:

建立三维孔随机截面投影到二维平面时的概率分布函数:

$$P(r) = \frac{r}{R\sqrt{R^2 - r^2}}$$

其中 r 是二维孔径, R 是三维孔径, $P(r)$ 表示孔径为 R 的三维孔经过二维随机截面投影得到孔径为 r 的孔的概率;

二维随机截面投影的概率分布的平均值:

$$\bar{r} = \frac{\pi}{4}R$$

将获取的孔径尺寸相关的值,统计除以 $\pi/4$ 再进行深入计算求解,即完成升维转换。

一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及石油天然气地质勘探技术领域,具体涉及一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法。

背景技术

[0002] 页岩气作为一种清洁的非常规能源拥有巨大的储量。页岩孔隙结构特征的提取是进行储量精确评估、孔隙网络运移能力计算的基础,也是页岩气勘探开发研究的重点。页岩内成分含量复杂,孔隙结构发育,主要成分为有机质、无机质和黄铁矿。在有机质内发育有有机孔、有机裂缝;在无机质内发育有无机孔、无机裂缝。

[0003] 页岩裂缝组分构成了页岩人工压裂缝发育的基本框架,也是页岩气运移的主要通道,对页岩裂缝网络的分析是页岩气勘探开发研究的重点。在复杂的孔缝网络结构中,裂缝与孔伴生,依靠传统方法,无法将其进行有效区分。裂缝系统内存在着有机组分和无机组分,其上吸附与运移能力具有极大的差异性,将有机缝、无机缝组分进行区分出来,是进行页岩储气评估和可采量精确评估的一大难点。

[0004] 获取多孔介质孔隙结构的方法主要有流体注入法和直接观察法。流体注入法是通过低温氮吸附、低温二氧化碳吸附、压汞等手段,依据Kelvin方程建立起来的孔隙结构表征方法,目前已经得到广泛应用。直接观察法是基于以扫描电镜为代表的显微技术而发展起来的观测方法,能够直接得到页岩断面的视觉直观信息。基于合理的图像处理技术,能够有效将图像所蕴含的信息进行定量化提取。

[0005] 但是,现有的页岩裂缝自动提取方法存在以下缺陷:

[0006] (1) 页岩裂缝组分十分复杂,且与孔伴生,现有的页岩裂缝自动提取方法不能对裂缝组分进行区分,且有效信息数据提取不充分,无法对页岩样品的储层孔隙结构和储运能力进行精准的评估;

[0007] (2) 现有的页岩裂缝自动提取方法适用性较低,无法对不同种类以及不同电镜扫描成像品质的页岩样品进行分析研究,不利于研究的进行;

[0008] (3) 现有的页岩裂缝自动提取方法操作复杂,计算效率和精度不高,且测量周期较长,会浪费大量人力物力。

发明内容

[0009] 为此,本发明实施例提供一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,该方法通过采用数字图像处理的方式对页岩扫描电镜图像进行孔隙结构参数提取,能够准确地分辨出有机裂缝、无机裂缝,并提取出等效三维参数,有利于对页岩样品的储层孔隙结构和储运能力进行精准的评估,同时,该方法普适性较高,能够对不同种类以及不同电镜扫描成像品质的页岩样品进行研究,有利于研究的进行,此外,该方法测量周期短、处理过程简单、成本较低,计算效率和精度更高,能够极大地节省人力物力,能够有效解决现有技术中存在的问题。

[0010] 为了实现上述目的,本发明实施例提供如下技术方案:一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,包括如下步骤:

[0011] S100、样品处理、扫描成像,并对电镜图像进行预处理;

[0012] S200、阈值分割,将页岩样品电镜图像的要素分为四组分,并进行“白边”消除;

[0013] S300、孔缝连结,提取孔缝长度和宽度,并以此区分裂缝和孔;

[0014] S400、提取裂缝组分含量和尺寸信息,并进行数据处理,获取页岩孔隙结构各表征参数。

[0015] 进一步地,在步骤S100中,具体包括:

[0016] S101、选取样品,进行样品切割、表面打磨和抛光处理,得到符合扫描电镜观测所需尺寸的样品薄片;

[0017] S102、通过扫描电镜观察,获取具有代表性体积尺度的页岩样品系列扫描电镜图像;

[0018] S103、图像预处理,裁剪除去图像黑边,并对电镜图像进行滤波处理。

[0019] 进一步地,在步骤S103中,具体包括:

[0020] 提取图像灰度值非0的长方形区域四顶角位置,将长方形内的区域保留,长方形外的区域裁除;

[0021] 对裁除后的图像先利用均值滤波消除形貌扫描的非光滑性,再用中值滤波消除图像椒盐噪声,具体为:

[0022] 对裁除后的图像进行均值滤波:生成一个 3×3 (或 5×5)的模板,对目标点周围8(或24)个像素(去掉目标点本身)求取平均值,由该平均值代替目标点的像素值,之后对图像所有像素点依次求均,则得到滤波后的图像;

[0023] 对裁除后的图像进行中值滤波:生成一个 3×3 (或 5×5)的模板,对目标点周围8(或24)个像素(去掉目标点本身)求取中值,由该中值代替目标点的像素值,之后对图像所有像素点依次求中值,则得到滤波后的图像。

[0024] 进一步地,在步骤S200中,具体包括:

[0025] S201、选取所裁切图像中的代表性图像,即含有较多孔、有机质、无机质和黄铁矿的图像;

[0026] S202、利用二值化方法分别调节区分四种成分的三个阈值,即孔阈值、有机质与无机质的分割阈值、无机质与黄铁矿的分割阈值;

[0027] S203、在获取三阈值后,对样品扫描电镜图像进行阈值分割,将每一张图像的要素分为孔、有机质(含孔)、无机质(含孔)和黄铁矿四组分。

[0028] 进一步地,在步骤S200中,进行“白边”消除的具体步骤为:

[0029] 将样品图像中各个连通的黄铁矿区域进行次序标记,统计各块面积并提取各个黄铁矿区块的边界坐标,重心坐标,长轴长,短轴长,等效半径;

[0030] 计算各个黄铁矿区块的长轴与短轴长之比;

[0031] 统计重心点附近 3×3 区域大小内,总计9个像素点的平均灰度值;

[0032] 若黄铁矿区块的长轴和短轴之比大于10,或者重心附近9个像素点平均灰度值小于黄铁矿阈值,则确定该黄铁矿区块实质为孔缝周缘的“白边”干扰;

[0033] 依据边界坐标找出包含该区块的最小长方形,给出长方形四个顶点坐标;

[0034] 从提取得到的最小长方形往外扩展等效半径尺寸,得到新的长方形作为该孔的邻域;

[0035] 当某向外扩充的邻域边遇到超出边界时,按照3像素的步长向内收缩,直到第一次满足不超过边界范围收缩停止,且各边收缩过程互相独立;

[0036] 对各个连通块的邻域进行统计,分别计算各邻域内有机质、无机质的含量,特别是与黄铁矿区相接触的区域有机质、无机质含量;

[0037] 根据邻域内有机质组分与无机质组分的相对含量判断该“白边”的真实组成,若有机质含量高,认为该“白边”是有机质,将“白边”区域填充为有机质的灰度值;若无机质含量高,则认为该“白边”的真实成分是无机质,将“白边”区域填充为无机质的灰度值。

[0038] 进一步地,在步骤S300中,孔缝连结的方式为进行定向膨胀运算,将被小块杂质或噪音阻断的裂缝打通,剔除裂缝方向上的杂质,具体包括:

[0039] 用regionprops方法,遍历提取单个孔缝的方向、长度和宽度,沿孔缝方向按照长方形进行尺寸扩展,沿孔缝方向两端的外延长度为该裂缝长度的1/4,其宽度为该裂缝宽度,得到该孔缝的定向膨胀区域;

[0040] 在定向膨胀区域寻找孔缝,若寻找到的孔缝的分布方向与原孔缝的分布方向夹角在 $\pm 30^\circ$ 以内,则认为他们是同一孔缝;

[0041] 找到同一孔缝之后,提取包含两区块段的最小长方形,在该最小长方形内对两块体进行闭运算,半径为大孔缝长度的1/4,从而使其融合。

[0042] 进一步地,在步骤S300中,区分裂缝和孔的步骤为:

[0043] 对提取的孔缝进行闭运算,使得凹陷小区块被填充,然后进行开运算,使得凸出毛刺被消除;

[0044] 提取孔缝所在最小长方形,提取长方形对角线长度作为孔缝的长度;

[0045] 提取孔缝的像素面积,以像素面积除以孔缝长度,作为孔缝的等效宽度;

[0046] 将长度的1.1次方除以宽度,得到一个判定比例参数,当该参数小于预设比例数时,认为这个孔缝是孔;而当该参数大于预设比例数时,判定这个孔缝是裂缝,将判定结果分别进行标记。

[0047] 进一步地,根据孔和裂缝的标记结果,提取包含各块体的最小长方形,提取内部组分信息,将裂缝划分有机裂缝和无机裂缝,具体为:

[0048] 根据提取的边界信息,提取最小长方形区域;

[0049] 从提取得到的最小长方形往外扩展等效半径尺寸,得到新的长方形作为该孔的邻域;

[0050] 当某向外扩充的邻域边遇到超出边界时,按照3像素的步长向内收缩,直到第一次满足不超过边界范围收缩停止,且各边收缩过程互相独立;

[0051] 对各个连通块的邻域进行统计,分别计算各邻域内有效有机质、无机质的含量,特别是与裂缝相接触的区域有机质、无机质含量;

[0052] 根据邻域内有机质组分与无机质组分的相对含量判断该裂缝的成分属性,若有机质含量高,认为该裂缝是有机缝;若无机质含量高,则认为该裂缝是无机缝。

[0053] 进一步地,在步骤S400中,裂缝组分含量和尺寸信息包括:裂缝含量、有机裂缝含量、无机裂缝含量、有机裂缝长宽平均值、无机裂缝长宽平均值和裂缝总长宽平均值。

[0054] 进一步地,在步骤S400中,对提取结果进行数据处理,具体是将二维扫描电镜提取参数等效换算为三维参数,包括:

[0055] 建立三维孔随机截面投影到二维平面时的概率分布函数:

$$[0056] \quad P(r) = \frac{r}{R\sqrt{R^2 - r^2}}$$

[0057] 其中 r 是二维孔径, R 是三维孔径, $P(r)$ 表示孔径为 R 的三维孔经过二维随机截面投影得到孔径为 r 的孔的概率;

[0058] 二维随机截面投影的概率分布的平均值:

$$[0059] \quad \bar{r} = \frac{\pi}{4}R$$

[0060] 将获取的孔径尺寸相关的值,统计除以 $\pi/4$ 再进行深入计算求解,即完成升维转换。

[0061] 本发明实施例具有如下优点:

[0062] (1) 本发明采用数字图像处理的方法对页岩扫描电镜图像进行孔隙结构参数提取,能够准确地分辨出有机裂缝、无机裂缝,并提取出等效三维参数,有利于对页岩样品的储层孔隙结构和储运能力进行精准的评估;

[0063] (2) 本发明普适性较高,能够对不同种类以及不同电镜扫描成像品质的页岩样品进行研究,有利于研究的进行;

[0064] (3) 本发明测量周期短、处理过程简单、成本较低,计算效率和精度更高,能够极大地节省人力物力。

附图说明

[0065] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0066] 本说明书所绘示的结构、比例、大小等,均仅用以配合说明书所揭示的内容,以供熟悉此技术的人士了解与阅读,并非用以限定本发明可实施的限定条件,故不具技术上的实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。

[0067] 图1为本发明的整体流程结构示意图;

[0068] 图2为本发明的算法流程图;

[0069] 图3为本发明页岩样品有机裂缝提取结果示意图;

[0070] 图4为本发明页岩样品无机裂缝提取结果示意图;

[0071] 图5为本发明孔缝连结定向膨胀示意图;

[0072] 图6为本发明孔缝连结定向膨胀融合示意图;

[0073] 图7为本发明孔隙的最小四边形提取示意图;

[0074] 图8为本发明孔隙对应的邻域提取示意图。

具体实施方式

[0075] 以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式,熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0076] 如图1和图2所示,本发明提供了一种具有尺寸自适应的页岩裂缝自动提取方法,包括如下步骤:

[0077] 步骤S100、样品处理、扫描成像,并对电镜图像进行预处理。

[0078] 在步骤S100中,具体包括:

[0079] 步骤S101、选取样品,进行样品切割、表面打磨和抛光处理,得到符合扫描电镜观测所需尺寸的样品薄片。

[0080] 步骤S102、通过扫描电镜观察,获取具有代表性体积尺度的页岩样品系列扫描电镜图像。

[0081] 将所取得的页岩岩心切割成 $1\text{cm}\times 0.5\text{cm}\times 0.5\text{cm}$ 的块体,选尺寸 $1\text{cm}\times 0.5\text{cm}$ 的面作为观测面,进行打磨处理,并放入氩离子抛光设备进行抛光处理。抛光完毕之后,将样品置于扫描电镜设备的观察仓内进行扫描电镜观察,得到达到代表性尺寸的(REV)扫描电镜图像,本实施例的图像大小为 $398.5\mu\text{m}\times 398.5\mu\text{m}$ 。

[0082] 步骤S103、图像预处理,裁剪除去图像黑边,并对电镜图像进行滤波处理。

[0083] 在步骤S103中,具体包括:

[0084] 提取图像灰度值非0的长方形区域四顶角位置,将长方形内的区域保留,长方形外的区域裁除;对裁除后的图像先利用均值滤波消除形貌扫描的非光滑性,再用中值滤波消除图像椒盐噪声,具体为:

[0085] 对裁除后的图像进行均值滤波:生成一个 3×3 (或 5×5)的模板,对目标点周围8(或24)个像素(去掉目标点本身)求取平均值,由该平均值代替目标点的像素值,之后对图像所有像素点依次求均,则得到滤波后的图像。

[0086] 对裁除后的图像进行中值滤波:生成一个 3×3 (或 5×5)的模板,对目标点周围8(或24)个像素(去掉目标点本身)求取中值,由该中值代替目标点的像素值,之后对图像所有像素点依次求中值,则得到滤波后的图像。

[0087] 步骤S200、阈值分割,将页岩样品电镜图像的要害分为四组分,并进行“白边”消除。

[0088] 在步骤S200中,具体包括:

[0089] 步骤S201、选取所裁切图像中的代表性图像,即含有较多孔、有机质、无机质和黄铁矿的图像。

[0090] 步骤S202、利用二值化方法分别调节区分四种成分的三个阈值,即孔阈值、有机质与无机质的分割阈值、无机质与黄铁矿的分割阈值。

[0091] 对孔阈值进行调整提取,取不同大小的灰度临界值作为阈值,按照两个标准判断该灰度值的好坏:一是提取的孔是否与肉眼所见相符合;二是得到的面孔率是否与测得的孔隙度相接近。选取最好的灰度值作为最终划分阈值,本实施例中孔阈值最终取值是70。

[0092] 在选择有机质与无机质的分割阈值时,取大于孔阈值的不同大小的灰度临界值进

行提取试验,提取的有机质区域的结果与肉眼所识别结果最接近的灰度值为区分有机质与无机质的基本阈值,本实施例中,基本阈值最终取值是135。

[0093] 在选择无机质与黄铁矿的分割阈值时,取大于基本阈值的不同大小的灰度临界值进行提取试验,提取的黄铁矿区域的结果与肉眼所识别的结果最接近的灰度值作为区分无机质与黄铁矿的黄铁矿阈值,本实施例中黄铁矿阈值的最终取值是205。

[0094] 本实施例页岩样品中的主要组成部分为有机孔、无机孔、有机裂缝、无机裂缝、有机质、无机质、黄铁矿和其他黏土矿物,其中有有机孔、无机孔、有机裂缝、无机裂缝灰度值最小(黑色),并且无法通过单一灰度值进行区分,有机质灰度值较大一些(呈现黑灰色),无机质的灰度值更大一些(呈现灰色),黄铁矿的灰度值最大(呈现灰白色或白色)。

[0095] 步骤S203、在获取三阈值后,对样品扫描电镜图像进行阈值分割,将每一张图像的要素分为孔、有机质(含孔)、无机质(含孔)和黄铁矿四组分。

[0096] 在步骤S200中,进行“白边”消除的具体步骤为:

[0097] 将样品图像中各个连通的黄铁矿区域进行次序标记,统计各块面积并提取各个黄铁矿区块的边界坐标,重心坐标,长轴长,短轴长,等效半径。

[0098] 计算各个黄铁矿区块的长轴与短轴长之比;统计重心点附近 3×3 区域大小内,总计9个像素点的平均灰度值。

[0099] 若黄铁矿区块的长轴和短轴之比大于10,或者重心附近9个像素点平均灰度值小于黄铁矿阈值,则确定该黄铁矿区块实质为孔缝周缘的“白边”干扰。

[0100] 依据边界坐标找出包含该区块的最小长方形,给出长方形四个顶点坐标;从提取得到的最小长方形往外扩展等效半径尺寸,得到新的长方形作为该孔的邻域。

[0101] 当某向外扩充的邻域边遇到超出边界时,按照3像素的步长向内收缩,直到第一次满足不超过边界范围收缩停止,且各边收缩过程互相独立。

[0102] 对各个连通块的邻域进行统计,分别计算各邻域内有机质、无机质的含量,特别是与黄铁矿区相接触的区域有机质、无机质含量;根据邻域内有机质组分与无机质组分的相对含量判断该“白边”的真实组成,若有机质含量高,认为该“白边”是有机质,将“白边”区域填充为有机质的灰度值;若无机质含量高,则认为该“白边”的真实成分是无机质,将“白边”区域填充为无机质的灰度值。

[0103] 步骤S300、孔缝连结,提取孔缝长度和宽度,并以此区分裂缝和孔。

[0104] 在步骤S300中,孔缝连结的方式为进行定向膨胀运算,将被小块杂质或噪音阻断的裂缝打通,剔除裂缝方向上的杂质,具体包括:

[0105] 用regionprops方法,遍历提取单个孔缝的方向、长度和宽度,沿孔缝方向按照长方形进行尺寸扩展,沿孔缝方向两端的外延长度为该裂缝长度的 $1/4$,其宽度为该裂缝宽度,得到该孔缝的定向膨胀区域。

[0106] 在定向膨胀区域寻找孔缝,若寻找到的孔缝的分布方向与原孔缝的分布方向夹角在 $\pm 30^\circ$ 以内,则认为他们是同一孔缝。

[0107] 找到同一孔缝之后,提取包含两区块段的最小长方形,在该最小长方形内对两块体进行闭运算,半径为大孔缝长度的 $1/4$,从而使其融合。图5为本实施例孔缝连结定向膨胀示意图,图6为本实施例孔缝连结定向膨胀融合示意图。

[0108] 在步骤S300中,区分裂缝和孔的步骤为:

[0109] 对提取的孔缝进行闭运算,使得凹陷小区块被填充,然后进行开运算,使得凸出毛刺被消除。

[0110] 提取孔缝所在最小长方形,提取长方形对角线长度作为孔缝的长度;提取孔缝的像素面积,以像素面积除以孔缝长度,作为孔缝的等效宽度。

[0111] 将长度的1.1次方除以宽度,得到一个判定比例参数,当该参数小于预设比例数时,认为这个孔缝是孔;而当该参数大于预设比例数时,判定这个孔缝是裂缝,将判定结果分别进行标记。

[0112] 根据孔和裂缝的标记结果,提取包含各块体的最小长方形,提取内部组分信息,将裂缝划分有机裂缝和无机裂缝,具体为:

[0113] 根据提取的边界信息,提取最小长方形区域,图7为本实施例孔隙的最小四边形提取示意图;从提取得到的最小长方形往外扩展等效半径尺寸,得到新的长方形作为该孔的邻域,图8为本实施例孔隙对应的邻域提取示意图。

[0114] 当某向外扩充的邻域边遇到超出边界时,按照3像素的步长向内收缩,直到第一次满足不超过边界范围收缩停止,且各边收缩过程互相独立。

[0115] 对各个连通块的邻域进行统计,分别计算各邻域内有效有机质、无机质的含量,特别是与裂缝相接触的区域有机质、无机质含量。

[0116] 根据邻域内有机质组分与无机质组分的相对含量判断该裂缝的成分属性,若有机质含量高,认为该裂缝是有机缝;若无机质含量高,则认为该裂缝是无机缝。图3为本实施例页岩样品有机裂缝提取结果示意图,图4为本实施例页岩样品无机裂缝提取结果示意图。

[0117] 步骤S400、提取裂缝组分含量和尺寸信息,并进行数据处理,获取页岩孔隙结构各表征参数。

[0118] 在步骤S400中,裂缝组分含量和尺寸信息包括:裂缝含量、有机裂缝含量、无机裂缝含量、有机裂缝长宽平均值、无机裂缝长宽平均值和裂缝总长宽平均值。按照有机裂缝、无机裂缝统计裂缝面积,除以样品图像总面积,得到有机裂缝含量和无机裂缝含量及总裂缝含量;对单个裂缝按照有机裂缝、无机裂缝进行分别统计,提取单个长度和宽度,统计得到有机裂缝的长、宽平均值,无机裂缝的长、宽平均值和裂缝总长、宽平均值。

[0119] 在步骤S400中,对提取结果进行数据处理,具体是将二维扫描电镜提取参数等效换算为三维参数,包括:

[0120] 建立三维孔随机截面投影到二维平面时的概率分布函数:

$$[0121] \quad P(r) = \frac{r}{R\sqrt{R^2 - r^2}}$$

[0122] 其中r是二维孔径,R是三维孔径,P(r)表示孔径为R的三维孔经过二维随机截面投影得到孔径为r的孔的概率;

[0123] 二维随机截面投影的概率分布的平均值:

$$[0124] \quad \bar{r} = \frac{\pi}{4} R$$

[0125] 将获取的孔径尺寸相关的值,统计除以 $\pi/4$ 再进行深入计算求解,即完成升维转换。

[0126] 本发明通过采用数字图像处理的方式对页岩扫描电镜图像进行孔隙结构参数提

取,能够准确地分辨出有机裂缝、无机裂缝,并提取出等效三维参数,有利于对页岩样品的储层孔隙结构和储运能力进行精准的评估,同时,该方法普适性较高,能够对不同种类以及不同电镜扫描成像品质的页岩样品进行研究,有利于研究的进行,此外,该方法测量周期短、处理过程简单、成本较低,计算效率和精度更高,能够极大地节省人力物力。

[0127] 虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的范围。

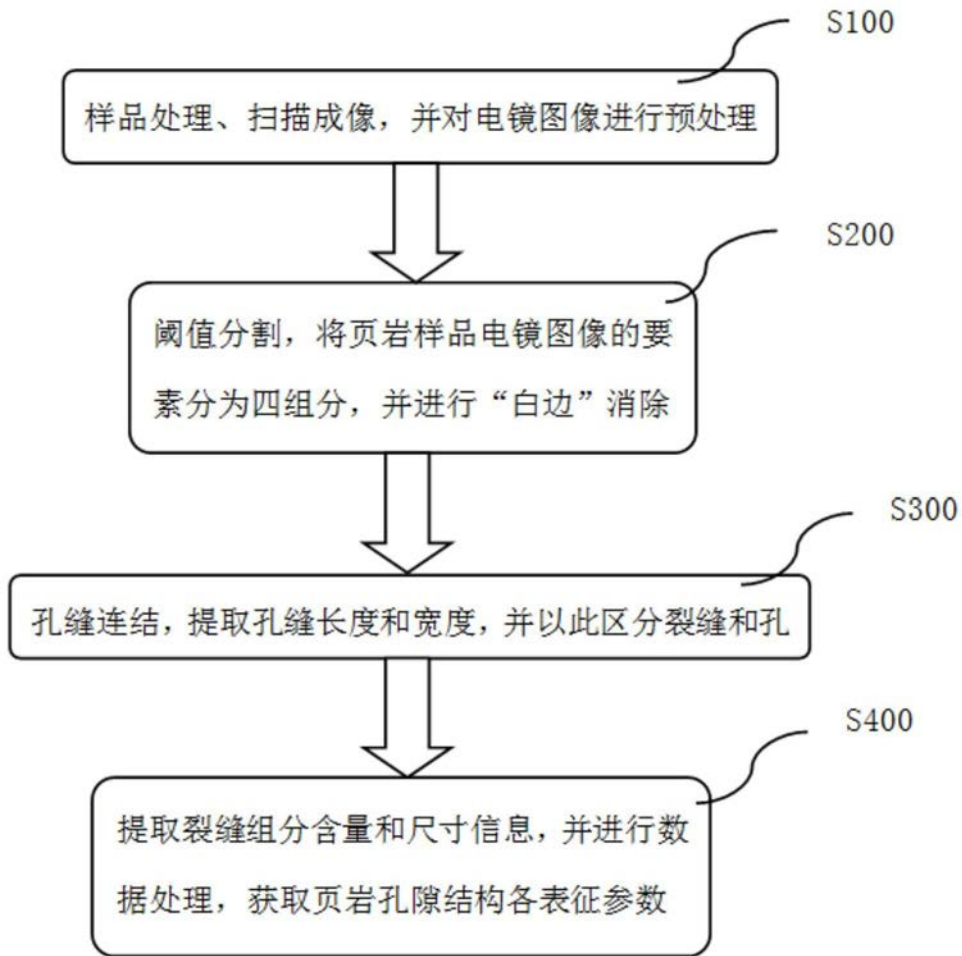


图1

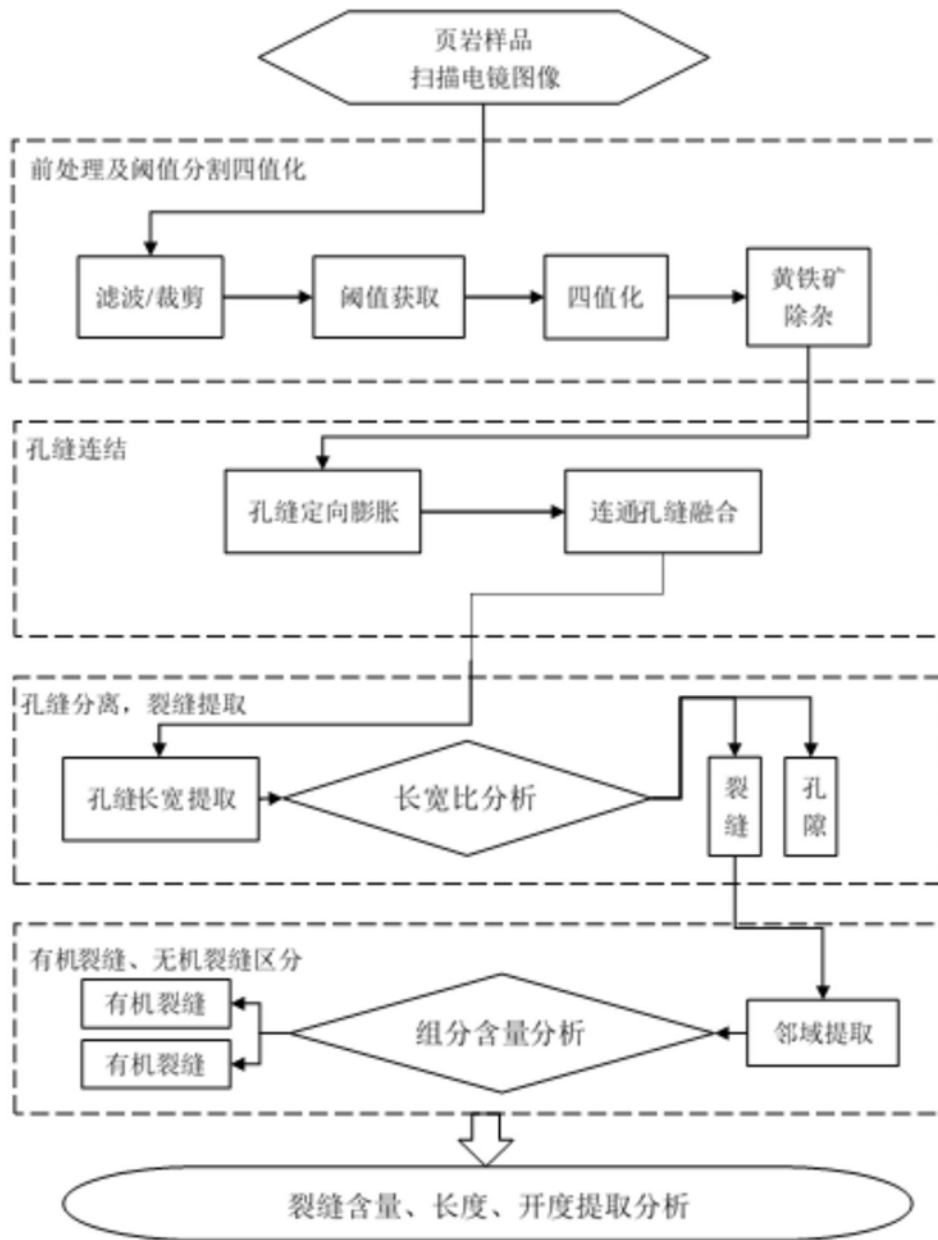


图2

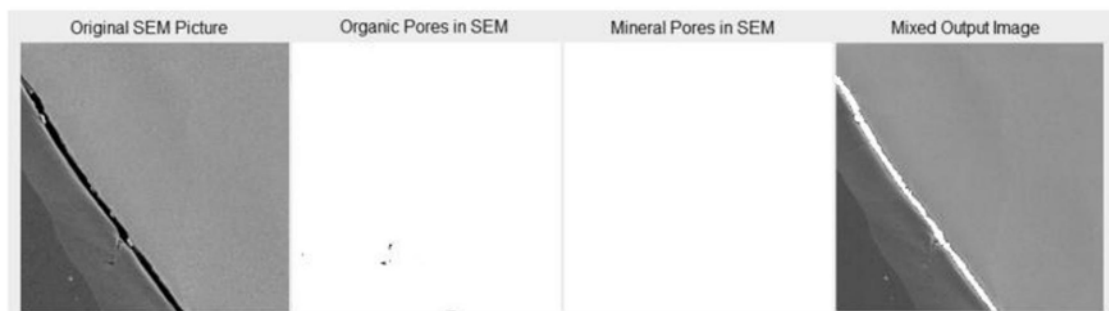


图3

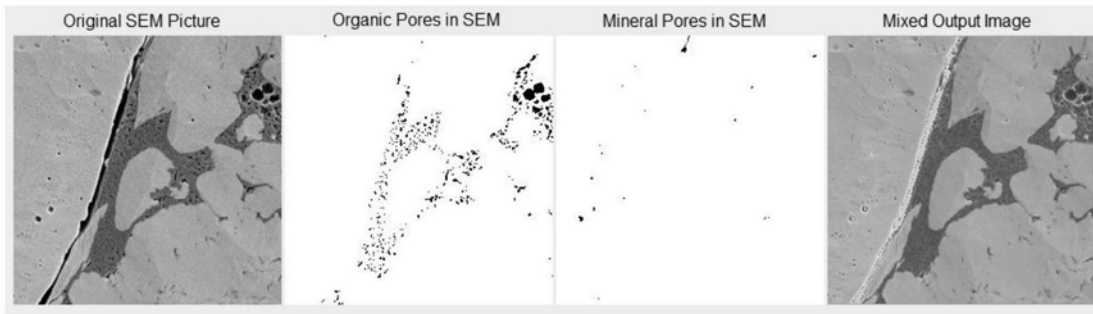


图4

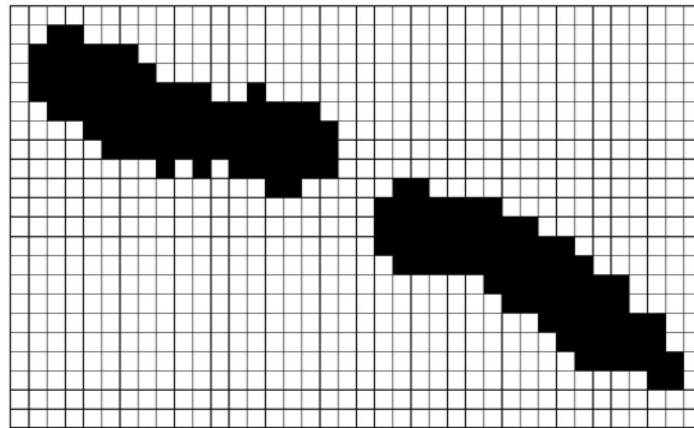


图5

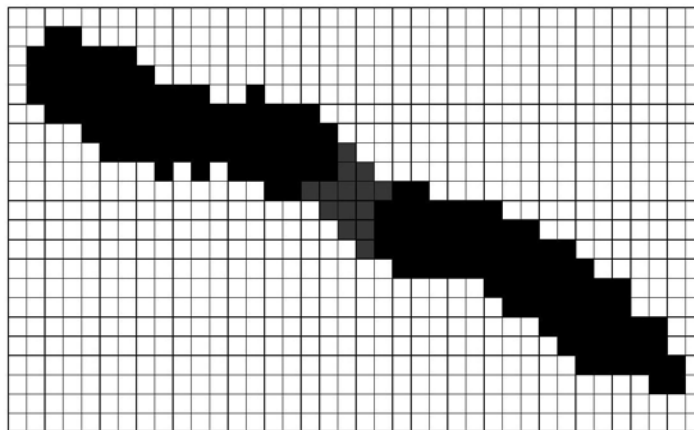


图6

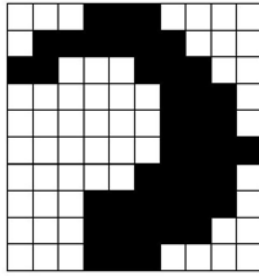


图7

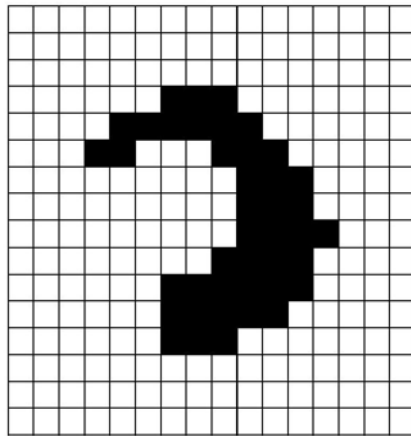


图8