



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111028094 B

(45) 授权公告日 2022. 09. 20

(21) 申请号 201911112480.X

G06T 7/62 (2017.01)

(22) 申请日 2019.11.14

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106547028 A, 2017.03.29

申请公布号 CN 111028094 A

WO 2016007170 A1, 2016.01.14

US 10190998 B1, 2019.01.29

(43) 申请公布日 2020.04.17

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

钟雷文.“浅谈页岩气测井有机碳含量的计算方法”.《能源技术 能源与环境》.2017,全文.

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

孙寅森.“基于图像分析技术的页岩微孔隙特征定性及定量表征”.《地球科学进展》.2016,全文.

(72) 发明人 杨明 江文滨 姬莉莉 曹高辉
林缅甸 徐志鹏 周羈

焦淑静.“泥页岩有机显微组分的扫描电镜形貌特征及识别方法”.《电子显微学报》.2018,全文.

(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
专利代理师 席卷

Hongyn Yu.“Porosity estimation in kerogen-bearing shale gas reservoirs”.《Journal of Natural Gas Science and Engineer》.2018,全文.

(51) Int. Cl.

G06Q 50/02 (2012.01)

G06T 5/00 (2006.01)

G06T 7/136 (2017.01)

G06T 7/187 (2017.01)

审查员 李峥

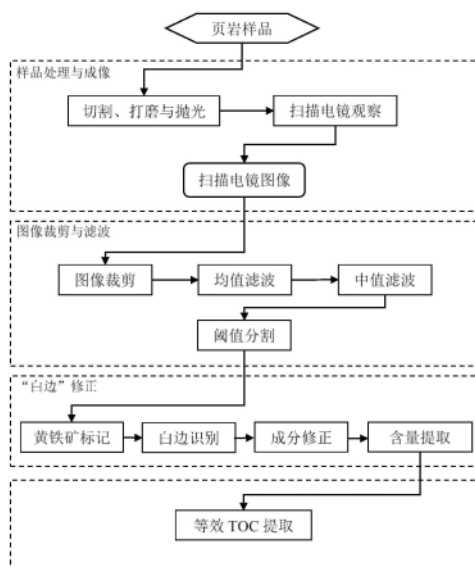
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法

(57) 摘要

本发明实施例公开了一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,包括如下步骤:样品处理、扫描成像,并对电镜图像进行预处理;阈值分割,将页岩样品电镜图像的要素分为四组分;“白边”识别、修正,并提取有机质骨架含量;利用升维变换将二维平面参数转换为等效三维参数,并计算页岩样品等效TOC含量,该方法通过采用数字图像处理的方法对页岩有机质骨架含量进行评估,并由此推算页岩的等效TOC含量,能够对页岩储层储气能力和输运能力进行精准的评估,同时,该方法普适性更高,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,能极大降低测试成本。



CN 111028094 B

1. 一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,其特征在于,包括如下步骤:

S100、样品处理、扫描成像,并对电镜图像进行预处理;

S200、阈值分割,将页岩样品电镜图像的要素分为四组分;

S300、“白边”识别、修正,并提取有机质骨架含量,所述“白边”为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;

S400、利用升维变换将二维平面参数转换为等效三维参数,并计算页岩样品等效TOC含量;

计算有机质骨架的三维等效有机质骨架面积,除以三维等效的样品总面积,得到三维等效的有机质骨架含量 γ_o ;

$$\gamma_o = S_{v,o}/S_{v,s} = s_{p,o}/s_{p,s} = N_o/N_s;$$

其中, N_o 为像素个数, N_s 为总像素个数, $s_{p,o}$ 表示 N_o 个像素对应的二维面积, $s_{p,s}$ 表示样品 N_s 个总像素对应的二维面积, $S_{v,o}$ 表示 N_o 个像素对应的三维等效面积, $S_{v,s}$ 表示样品 N_s 个总像素对应的三维等效面积;

根据以下公式计算出页岩样品的三维等效TOC含量:

$$TOC = \gamma_o * \frac{\rho_k}{\rho_r} * \omega_k = \frac{N_o}{N_s} * \frac{\rho_k}{\rho_r} * \omega_k$$

其中, ρ_k 为干酪根的密度,取 $1.05\text{g}/\text{cm}^3$, ρ_r 为页岩的密度,取 $2.55\text{g}/\text{cm}^3$, ω_k 为干酪根的质量含碳量,取70%-85%。

2. 根据权利要求1所述的一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,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;

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;

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。

3. 根据权利要求2所述的一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,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所述的一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,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所述的一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,其特征在于,在步骤S300中,“白边”识别、修正具体包括:

S301、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;

S302、计算各个黄铁矿区块的长轴与短轴长之比;

S303、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;

S304、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,并判断“白边”的真实组成。

6. 根据权利要求5所述的一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,其特征在于,判断“白边”的真实组成时:

依据“白边”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。

7. 根据权利要求1所述的一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,其特征在于,在步骤S300中,提取有机质骨架含量的具体步骤为:

S305、在经修正的页岩样品电镜图像中,提取并统计样品图像中所有灰度值大于孔阈值但小于基本阈值的像素个数;

S306、将S305统计的像素个数 N_o 乘单像素表征实际面积值,得页岩样品有机质所占面积 S_o ;

$$S_o = N_o \times S_{\text{single}}$$

S307、统计样品总像素个数 N_s ,乘单像素表征实际面积值,作为页岩样品实际面积 S_s ;

$$S_s = N_s \times S_{\text{single}}$$

8. 根据权利要求1所述的一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,其特征在于,在步骤S400中,变换具体包括:

将面积参数按照下式进行转换:

$$S_v = s_p / \left(\frac{\pi}{4}\right)^2$$

其中 s_p 是二维面积, S_v 是三维等效面积。

一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法

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,具体涉及一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法。

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] 页岩的TOC含量获取一般是通过燃烧试验法和测井法。这些都是基于现场试验进行的TOC分析,不仅存在很大的不准确性,更重要的是,具有较高的成本,较长的测量周期。基于扫描电镜图像页岩结构定性观测和定量表征,是近些年兴起的热点。扫描电镜观测也已经达到足够的精度,能够直接对页岩孔隙结构进行统计评估,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。

[0004] 但是,现有的页岩TOC含量提取方法存在以下缺陷:

[0005] (1) 现有的页岩TOC含量提取方法提取结果不准确、有效信息挖掘不足,无法对页岩储层储气能力和输运能力进行精准的评估,给研究工作带来很大的不准确性;

[0006] (2) 现有的页岩TOC含量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研究,不利于研究的进行;

[0007] (3) 现有的页岩TOC含量提取方法测量周期较长、处理过程复杂,且成本较高,造成资源浪费。

发明内容

[0008] 为此,本发明实施例提供一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,该方法通过采用数字图像处理的方法对页岩有机质骨架含量进行评估,并由此推算页岩的等效TOC含量,能够对页岩储层储气能力和输运能力进行精准的评估,同时,该方法普适性更高,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,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。

[0009] 为了实现上述目的,本发明实施例提供如下技术方案:一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,包括如下步骤:

[0010] S100、样品处理、扫描成像,并对电镜图像进行预处理;

[0011] S200、阈值分割,将页岩样品电镜图像的要素分为四组分;

[0012] S300、“白边”识别、修正,并提取有机质骨架含量;

[0013] S400、利用升维变换将二维平面参数转换为等效三维参数,并计算页岩样品等效TOC含量。

- [0014] 进一步地,在步骤S100中,具体包括:
- [0015] 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;
- [0016] 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;
- [0017] 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。
- [0018] 进一步地,在步骤S103中,具体包括:
- [0019] 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;
- [0020] 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。
- [0021] 进一步地,对裁除后的图像进行均值滤波具体为: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;
- [0022] 对裁除后的图像进行中值滤波具体为: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。
- [0023] 进一步地,在步骤S200中,具体包括:
- [0024] 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;
- [0025] 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;
- [0026] 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。
- [0027] 进一步地,在步骤S300中,“白边”识别、修正具体包括:
- [0028] S301、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;
- [0029] S302、计算各个黄铁矿区块的长轴与短轴长之比;
- [0030] S303、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;
- [0031] S304、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,并判断“白边”的真实组成。
- [0032] 进一步地,判断“白边”的真实组成时:
- [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，提取有机质骨架含量的具体步骤为：

[0039] S305、在经修正的页岩样品电镜图像中，提取并统计样品图像中所有灰度值大于孔阈值但小于基本阈值的像素个数；

[0040] S306、将S305统计的像素个数 N_o 乘单像素表征实际面积值，得页岩样品有机质所占面积 S_o ；

$$[0041] \quad S_o = N_o \times S_{\text{single}}$$

[0042] S307、统计样品总像素个数 N_s ，乘单像素表征实际面积值，作为页岩样品实际面积 S_s 。

$$[0043] \quad S_s = N_s \times S_{\text{single}}$$

[0044] 进一步地，在步骤S400中，变换具体包括：

[0045] 将面积参数按照下式进行转换：

$$[0046] \quad S_v = s_p / \left(\frac{\pi}{4}\right)^2$$

[0047] 其中 s_p 是二维面积， S_v 是三维等效面积。

[0048] 进一步地，在步骤S400中，计算页岩样品等效TOC含量时：

[0049] S401、计算有机质骨架的三维等效有机质骨架面积，除以三维等效的样品总面积，得到三维等效的有机质骨架含量 γ_o ；

$$[0050] \quad \gamma_o = S_{v,o} / S_{v,s} = s_{p,o} / s_{p,s} = N_o / N_s$$

[0051] S402、根据以下公式计算出页岩样品的三维等效TOC含量：

$$[0052] \quad TOC = \gamma_o * \frac{\rho_k}{\rho_r} * \omega_k = \frac{N_o}{N_s} * \frac{\rho_k}{\rho_r} * \omega_k$$

[0053] 其中， ρ_k 为干酪根的密度，一般取 $1.05\text{g}/\text{cm}^3$ ， ρ_r 为页岩的密度，一般取 $2.55\text{g}/\text{cm}^3$ ， ω_k 为干酪根的质量含碳量，一般取70%-85%。

[0054] 本发明实施例具有如下优点：

[0055] (1) 本发明通过采用数字图像处理的方法对页岩有机质骨架含量进行评估，并由此推算页岩的等效TOC含量，能够对页岩储层储气能力和输运能力进行精准的评估；

[0056] (2) 本发明普适性更高，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；

[0057] (3) 本发明测量周期短、处理过程简单、能够极大地降低测试成本。

附图说明

[0058] 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。

[0059] 图1为本发明的整体流程结构示意图；

具体实施方式

[0060] 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。

[0061] 如图1所述,本发明提供了一种基于页岩扫描电镜图像提取的等效TOC计算方法,包括如下步骤:

[0062] 步骤S100、样品处理、扫描成像,并对电镜图像进行预处理。

[0063] 在步骤S100中,具体包括:

[0064] 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。

[0065] 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。

[0066] 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 $398.5\mu\text{m}\times 398.5\mu\text{m}$ 。

[0067] 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。

[0068] 在步骤S103中,具体包括:

[0069] 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。

[0070] 对裁除后的图像进行均值滤波具体为: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。

[0071] 对裁除后的图像进行中值滤波具体为: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。

[0072] 步骤S200、阈值分割,将页岩样品电镜图像的要害分为四组分。

[0073] 在步骤S200中,具体包括:

[0074] 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;

[0075] 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。

[0076] 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。

[0077] 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。

[0078] 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。

[0079] 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)。

[0080] 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,应用bwlabel方法对连通块体进行顺序标记,每个连通块体内的各像素标记为同一数字。

[0081] 步骤S300、“白边”识别、修正,并提取有机质骨架含量。

[0082] 在步骤S300中,“白边”识别、修正具体包括:

[0083] 步骤S301、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。

[0084] 步骤S302、计算各个黄铁矿区块的长轴与短轴长之比。

[0085] 步骤S303、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。

[0086] 步骤S304、进行判断,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,并判断“白边”的真实组成。

[0087] 判断“白边”的真实组成时:

[0088] 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。

[0089] 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。

[0090] 在步骤S300中,提取有机质骨架含量的具体步骤为:

[0091] 步骤S305、在经修正的页岩样品电镜图像中,提取并统计样品图像中所有灰度值大于孔阈值但小于基本阈值的像素个数。

[0092] 步骤306、将步骤S305统计的像素个数 N_o 乘单像素表征实际面积值,得页岩样品有机质所占面积 S_o ;

[0093] $S_o = N_o \times S_{single}$

[0094] 步骤S307、统计样品总像素个数 N_s ，乘单像素表征实际面积值，作为页岩样品实际面积 S_s 。

$$[0095] \quad S_s = N_s \times S_{\text{single}}$$

[0096] 在步骤S400中，变换具体包括：

[0097] 将面积参数按照下式进行转换：

$$[0098] \quad S_v = s_p / \left(\frac{\pi}{4}\right)^2$$

[0099] 其中 s_p 是二维面积， S_v 是三维等效面积。

[0100] 在步骤S400中，计算页岩样品等效TOC含量时：

[0101] 步骤S401、计算有机质骨架的三维等效有机质骨架面积，除以三维等效的样品总面积，得到三维等效的有机质骨架含量 γ_o ；

$$[0102] \quad \gamma_o = S_{v,o} / S_{v,s} = s_{p,o} / s_{p,s} = N_o / N_s$$

[0103] 步骤S402、根据以下公式计算出页岩样品的三维等效TOC含量：

$$[0104] \quad TOC = \gamma_o * \frac{\rho_k}{\rho_r} * \omega_k = \frac{N_o}{N_s} * \frac{\rho_k}{\rho_r} * \omega_k$$

[0105] 其中， ρ_k 为干酪根的密度，一般取 $1.05\text{g}/\text{cm}^3$ ， ρ_r 为页岩的密度，一般取 $2.55\text{g}/\text{cm}^3$ ， ω_k 为干酪根的质量含碳量，一般取70%-85%。

[0106] 经计算得到的页岩样品的等效TOC的值为2.83%-3.44%，而通过燃烧法测得的相同页岩样品的TOC是4.05%。因此，基于扫描电镜图像的TOC预测值与利用理化技术测量得到的页岩样品TOC值是相当的，也即两者在TOC含量上也具有相当的一致性，能够进行对比分析，具有一定的准确度。

[0107] 本方法具有以下优点：本发明通过采用数字图像处理的方法对页岩有机质骨架含量进行评估，并由此推算页岩的等效TOC含量，能够对页岩储层储气能力和运输能力进行精准的评估；本发明普适性更高，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，通过本方法对于电镜扫描成像较好的页岩样品，处理准确率可达95%，对于成像质量较差的页岩样品，处理准确率也可达85%以上；本发明测量周期短、处理过程简单、成本较低，能够极大地节省人力物力，并且测试准确度与传统理化技术相比，相差在10%以内，具有很好的可信度。

[0108] 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。

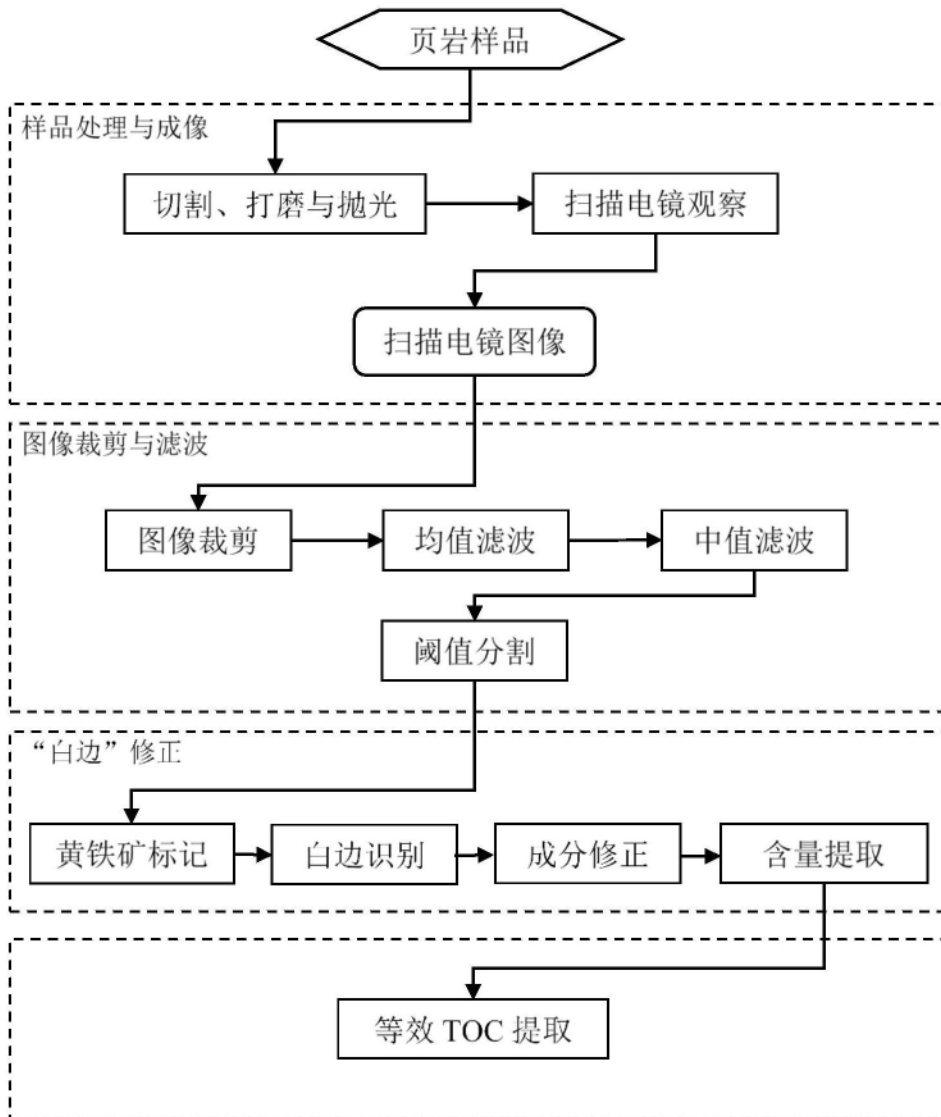


图1