

压裂支撑剂粒径测量分析的新方法

张学军

ZHANG Xue-jun

健雄职业技术学院, 江苏 太仓 215400

Chien Shiun Institute of Technology, Taicang, Jiangsu 215400, China

E-mail: lgd_zxj@163.com

ZHANG Xue-jun. New method for measurement and analysis of proppant sizing. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(35): 246-248.

Abstract: In order to appraise the performance of proppant scientifically and accurately, both of the theoretical analysis and the experimental method are used by solving binaryzation of the digital image of the particle projection, using the two algorithm of chain code, calculate the coordinates of the border points and coordinate-labeling-automaton of the distance between two points on the border, to obtain image geometric characteristic directly. An algorithm has been inferred for the sizing of fracturing proppant. The solution process for sizing of the fracturing proppant has been confirmed experimentally. The results indicate that the algorithm for the sizing and averaging measurement and analysis can be considered as the rationale for the particle pattern recognition and analysis system. Conclusively, this technology broke through with the sieving methods in measuring, which will provide support for the application of computer image analysis technology.

Key words: fracturing proppant; sizing; chain code; coordinate-labeling-automaton

摘要: 为了科学准确评价支撑剂的性能, 采用理论分析和实验的方法, 通过对颗粒数字图像进行二值化处理, 运用链编码技术直接提取图像几何特征的两个算法, 即计算边界点的坐标及边界上两点间距离的坐标标定自动机, 推导了压裂支撑剂粒径测量算法, 实验验证了其粒径均值的求解过程。研究结果表明, 压裂支撑剂粒径的测量、均值的计算与分析的算法能够成为颗粒图像识别分析系统的理论基础。研究结论突破了传统筛析测量方法, 为计算机图像分析技术的应用奠定了基础。

关键词: 压裂支撑剂; 粒径; 链编码; 自动机

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.35.074 文章编号: 1002-8331(2009)35-0246-03 文献标识码: A 中图分类号: TP391

1 引言

支撑剂是用于支撑裂缝的、具有一定强度的固体颗粒物质。粒径是支撑剂的一个重要的性能指标, 它分为 11 个规格, 分布范围(单位为 μm)为 3 350~1 700(6/12 目), 2 360~1 180(8/16 目), 1 700~1 000(12/18 目), 1 700~850(12/20 目), 1 180~850(16/20 目), 1 180~600(16/30 目), 850~425(20/40 目), 600~300(30/50 目), 425~250(40/60 目), 425~212(40/70 目), 212~106(70/140 目)。不同粒径的支撑剂所起的作用也不相同, 小粒径的支撑剂处于缝端位置, 起支撑微裂缝的作用, 并且有防砂的作用; 中等粒径的支撑剂处于缝的中部, 起主要的支撑作用; 大粒径的支撑剂处于缝口位置, 主要起支撑缝口的作用。支撑剂的粒径对支撑剂的性能评价有很重要的影响, 是正确选择和使用支撑剂的基础之一。

目前, 在众多颗粒分析方法中, 大多采用的方法是人工测试方法和显微镜法。这些方法不仅效率低, 而且由于人为因素会造成相应的误差, 给实际应用带来诸多不利。该文试图发现一种合适的测量算法, 通过计算机图像分析技术, 使得整个过

程方便快捷, 既提高了准确率, 又提高了工作效率。

2 传统的支撑剂粒径测量方法

根据中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 5108-2006《压裂支撑剂性能指标及测试推荐方法》, 支撑剂粒径的测量采用的是筛析法。具体作法为: 将 100 g 样品倒入排放好的标准筛顶筛, 再将这一系列标准筛放置振荡筛机上, 振荡 10 min 后, 依次称出每个筛子及底盘上的支撑剂质量, 并计算出各粒径范围的质量分数。如果累计量与试样相差 0.5%, 应更换样品并重新测试。支撑剂粒径均值的计算依据公式:

$$\bar{d} = \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i}$$

其中: \bar{d} 为粒径均值, 单位为微米(μm); n_i 为筛析实验相邻上下筛间支撑剂质量分数; d_i 为筛析实验相邻上下筛筛网孔径的平均值, 单位为微米(μm)。

基金项目: 辽宁省教育厅基金(The Educational Department of Liaoning Province Foundation of China under Grant No.05L181)。

作者简介: 张学军(1965-), 男, 副教授, 主要研究领域为计算机应用技术。

收稿日期: 2008-07-03 修回日期: 2008-09-27

3 基于链编码技术的图像几何特征提取

当坐标标定自动机在图像区域边界行走,或者读入图形边界的链编码,就可以依次给出点在 x 和 y 方向的位移量,据此可以计算边界点的坐标以及两点间的欧式距离。

3.1 坐标标定自动机

规定坐标标定自动机的内部状态为坐标标定自动机行走的方向,图 1 给出了坐标标定自动机向左,向上,向右,向下这 4 种状态的表示。分别把它们记为 $\bar{1}$ 、 $\bar{2}$ 、 $\bar{3}$ 和 $\bar{4}$ 。规定坐标标定自动机是沿着图形的边界按逆时针方向行走的。

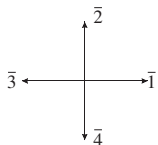


图 1 正四边形点阵中坐标标定自动机的内部状态

当碰到顶点链编码中编码为 2 的顶点时,坐标标定自动机将保持原有的行走方向。而在编码为 1 和 3 的顶点时,坐标标定自动机将改变它的行走方向。因此顶点链编码中的编码 1、2 和 3 就构成了坐标标定自动机的输入集。

以状态 $\bar{1}$ 为例,来考虑坐标标定自动机对于不同输入的响应。当遇到编码 1 时,下一时刻坐标标定自动机将向上拐弯行走,因此下一时刻坐标标定自动机的状态为 $\bar{2}$,如图 2(a)。当遇到编码 2 时,坐标标定自动机将保持原有的行走方向,因此下一时刻坐标标定自动机的状态仍然为 $\bar{1}$,如图 2(b)。当遇到编码 3 时,坐标标定自动机将向下拐弯行走,因此下一时刻的状态为 $\bar{4}$,如图 2(c)。

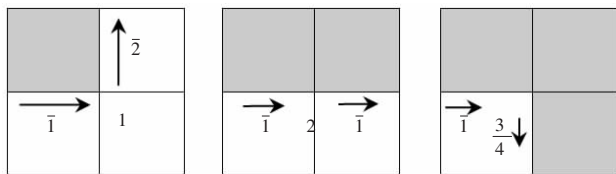


图 2 坐标标定自动机在状态 $\bar{1}$ 时对于不同输入的响应

对于其他的内部状态,进行同样的分析,可以得到相应的状态迁移规则。把 4 种状态在不同输入下的迁移规则集合起来,就得到了正四边形点阵坐标标定自动机的状态迁移映射,表 1 即为汇总结果。

表 1 正四边形点阵坐标标定自动机的状态迁移映射

状态 $\bar{1}$	状态 $\bar{2}$	状态 $\bar{3}$	状态 $\bar{4}$
$\bar{1}+2 \Rightarrow \bar{1}$	$\bar{2}+2 \Rightarrow \bar{2}$	$\bar{3}+2 \Rightarrow \bar{3}$	$\bar{4}+2 \Rightarrow \bar{4}$
$\bar{1}+1 \Rightarrow \bar{2}$	$\bar{2}+1 \Rightarrow \bar{3}$	$\bar{3}+1 \Rightarrow \bar{4}$	$\bar{4}+1 \Rightarrow \bar{1}$
$\bar{1}+3 \Rightarrow \bar{4}$	$\bar{2}+3 \Rightarrow \bar{1}$	$\bar{3}+3 \Rightarrow \bar{2}$	$\bar{4}+3 \Rightarrow \bar{3}$

3.2 边界点坐标的获取

坐标标定自动机的输出提供了顶点坐标变化的信息。如果下一时刻是状态 $\bar{1}$,坐标标定自动机将在 x 坐标方向向前移动一个格点,因此 x 坐标加 1, y 坐标不变,即 $x \rightarrow 1, y \rightarrow 0$ 。同理,对于其余的状态也可以得到 x 坐标和 y 坐标的变化值。可见,坐标标定自动机的输出只与下一时刻的状态有关,与输入无关。表 2 即为正四边形点阵坐标标定自动机的输出映射。

定义两个字符串,分别依次记录坐标标定自动机的 x 输出

表 2 正四边形点阵坐标标定自动机的输出映射

状态	输出(坐标的变化值)
$\bar{1}$	$x \rightarrow 1, y \rightarrow 0$
$\bar{2}$	$x \rightarrow 0, y \rightarrow 1$
$\bar{3}$	$x \rightarrow -1, y \rightarrow 0$
$\bar{4}$	$x \rightarrow 0, y \rightarrow -1$

和 y 输出。分别用 a, b, c 三个符号来表示坐标变化值 -1、0 和 1,存入字符串中。

3.3 图像边界上任意两点距离

对于边界上任意两点,从 x 字符串和 y 字符串中读出相应的字符,代入字符所表示的数字,并分别相加,就得到这两点的 x 坐标差和 y 坐标差。这样就可以得到两点间的街区距离。把 x 坐标差和 y 坐标差分别取平方,再相加就是两点间的欧式距离的平方。如果其中的一点为坐标原点,那么 x 坐标差和 y 坐标差就给出了边界上各点的坐标。对于一般情况,从边界上的一点到坐标原点的坐标,做一个简单的坐标变换,就可以得到边界上各点的坐标。

如图 3 所示,起点 s 处自动机的状态为 $\bar{2}$,区域对应的顶点链编码(VCC)是 131311233113121231212321。运用坐标标定自动机,可以得到 x 输出的字符串为: ababababababbbcbcbcbcb, y 输出的字符串为: bcbcbabcbabababbbcbcbcb, A, B 两顶点间的 x 输出的字符串为: ababbabababb, y 输出的字符串为: bcbcbabcbabaa, 二者对应的 x 和 y 方向的变化为: -1, 0, -1, 0, 0, -1, 0, -1, 0, -1, 0, 0 和 0, 1, 0, -1, -1, 0, 1, 0, -1, 0, -1, -1。由此可以得到 A, B 两顶点的 x 坐标差为 5, y 坐标差为 -3, 二者之间的欧式距离为 $\sqrt{34}$ 。

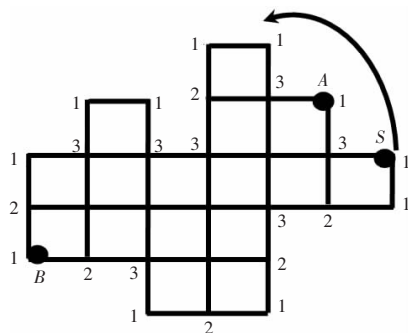


图 3 任意一区域及其对应的逆时针方向的顶点链编码

4 实例计算与分析

选取 100 g 的样品,分别就筛析法和基于链编码技术方法进行检测。

4.1 筛析法

经过筛析实验,得到实验结果,粒径规范为 1 180~850 μm (16/20 目)的粒径计算均值如表 3 所示。

$$\text{粒径均值 } \bar{d} = \sum n_i d_i / \sum n_i = (975.91 \times 100) / 99.99 \approx 976 \mu\text{m}。$$

4.2 基于链编码技术方法

4.2.1 图像的预处理

在图像边界坐标的获取和计算边界上任意两点间距离之前必须对颗粒的数字图像进行预处理,预处理包括:对图像进行平滑,再二值化分割,将颗粒与背景分开;再对分割后的二值

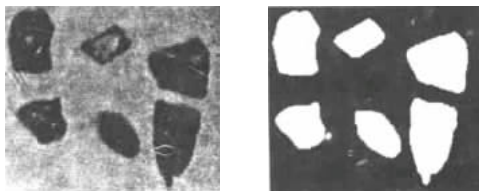
表3 支撑剂粒径均值计算(筛析法)

上下筛间隔 尺寸/ μm	上下筛孔径 均值 $d/\mu\text{m}$	上下筛间粒径 百分比 n_i	$n_i d/\mu\text{m}$
1 700~1 180	1 440	1.24	17.86
1 180~1 000	1 090	37.90	413.11
1 000~850	925	48.70	450.48
850~710	780	11.90	92.82
710~600	655	0.25	1.64
合计	-	99.99	975.91

化图像用中值滤波法去噪;再对图像进行膨胀和收缩;最后还要对图像进行填充,将属于同一颗粒的像素点作上同样的标号,背景用0表示,颗粒的投影区域标号从1开始增加,颗粒的个数即为标号的最大值。以后面积和周长的计算都是在作有标号的图像的基础上进行。

4.2.2 获取实际样品图像

图4(a)是实际采集的样品的原始图,光电转换系统采用JVC彩色CCD摄像机,有效像素44万[753(水平) \times 582(垂直)],显微镜选用10倍物镜,其像素长、宽尺寸(μm)为 0.8×0.75 。图4(b)是图4(a)经过处理后得到的二值图像。



(a)原始图像 (b)二值图像

图4 样品原始图和二值图

4.2.3 实际样品计算

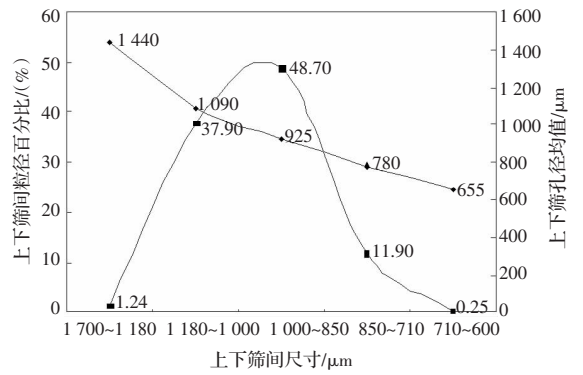
根据坐标标定自动机原理,获取图像中每一颗粒边界各点的点坐标 (x_i, y_i) ,计算每一颗粒边界各点间的距离 d_i ,并选取其中的最大值 $D_i = \max(d_j, j=1, 2, 3, \dots, n)$, D_i 即为该颗粒的粒径。按照图像对颗粒的编号,对图像中每一个颗粒重复检测、计算,就可得到所有颗粒的粒径,对粒径均值累加因子求和,就可得到所有颗粒粒径的均值。如表4。即支撑剂粒径均值约为:982。

表4 支撑剂粒径均值计算(链编码技术方法)

粒径范围/ μm	粒径范围内粒	粒径范围内累计	粒径均值累
	径均值/ μm	百分比	
1 700~1 180	1 443	1.24	17.89
1 180~1 000	1 096	37.92	415.60
1 000~850	932	48.74	454.26
850~710	784	11.91	93.37
710~600	668	0.19	1.27
合计	-	100.00	982.39

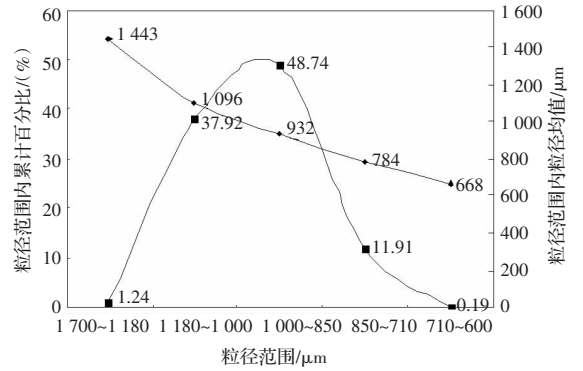
4.3 两种方法的对比分析

通过对表3与表4对比分析,能够看出:用该文方法计算出的数据普遍比筛析法要稍大,其原因就是在振荡过程中,对



上下筛间尺寸/ μm

(a)筛析法



粒径范围/ μm

(b)链编码技术法

图5 两种方法的分布对比

于稍细长的颗粒,有可能从上筛振到下筛,相对影响了其准确性。从图5也可看出分布的集中性。

5 结语

链编码是图像处理中最基本的目标描述手段,已广泛应用于图像图形学的各个分支领域中,链编码是获得图像几何特征的重要手段。通过实例计算可以看出,利用图像处理技术,测量图像中物体的形状系数可以识别物体颗粒的几何特征,在实际应用中,可以根据计算结果了解物体颗粒的形状分布规律及特性,为工业在线分析提供重要的参数,为计算机图像分析技术的应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 张薇.图像顶点链编码和顶点欧氏距离的计算[J].华东师范大学学报:自然科学版,2005(2):33-38.
- [2] 张学军.压裂支撑剂球度与圆度测量分析[J].辽宁工程技术大学学报,2006(6):827-829.
- [3] 匡蕴娟,张圣希.多种链编码在数字图像中的标定算法[J].计算机应用研究,2007(2):160-162.
- [4] 顾国庆,许彦冰.数字图像区域标定的方法[J].上海理工大学学报,2001(4):295-299.
- [5] 李毅.粉体颗粒形貌特征的提取与识别技术[J].重庆大学学报,2000(5):67-69.
- [6] 王勇.图像识别中颗粒形状表征方法的研究[J].安徽理工大学学报:自然科学版,2005(1):27-29.