

基于图像识别的高纯度云母矿分选研究

王紫越¹, 张翼¹, 李星辉², 李俊², 牟少樊¹, 李佳楠¹

(1. 武汉工程大学 资源与安全工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 湖北平安电工材料有限公司, 湖北 咸宁 437000)

摘要: 这是一篇工艺矿物学领域的论文。为了解决高纯度云母中色斑杂质分选难的问题, 本文提出一种基于图像处理的含杂质云母的分选方法, 针对云母在不同光源条件下色斑杂质所呈现的状态, 研究了图像光照环境的影响, 并在此基础上对所获取图像进行高斯滤波、canny 边缘检测等处理方法的研究, 最终准确地实现云母矿的图像识别与区分, 并在三种不同种类的云母矿识别中取得较好的效果。

关键词: 工艺矿物学; 片状云母; 缺陷检测; 图像处理

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.03.013

中图分类号: TD97 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2024) 03-0081-05

引用格式: 王紫越, 张翼, 李星辉, 等. 基于图像识别的高纯度云母矿分选研究[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(3): 81-85.

WANG Ziyue, ZHANG Yi, LI Xinghui, et al. Study on separation of high purity mica ore based on image recognition[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(3): 81-85.

随着机器视觉技术的迅猛发展并趋于成熟, 将其融入选矿行业, 有提高生产效率、节省人工成本等优势^[1]。云母矿是一种具有高绝缘、绝热性能的矿石, 呈片状晶体, 可用于制造涂料、油漆、电气设备等, 一般用重选、浮选或与其他工艺联合分选^[2]。

目前, 云母的选别主要依靠人工手动甄选, 将纯净度较低的云母片剔除^[3]。这种方式不具有客观性、科学性, 且效率低下, 而普通色选机无法对云母进行针对性的晶格缺陷识别, 只能区分云母片之间的颜色差别, 选别效率较低, 为改善这种情况, 本文结合机器视觉技术, 提出针对云母矿预选的图像识别及处理研究。

1 原矿特征分析

云母的选别方式主要由其嵌布特征及矿物组成决定, 一般进行破碎使其与脉石分离, 而后进

行风选、重选、浮选等得到较高纯度的云母。在工业上, 片状云母的自然晶体进行加工时, 其中无缺陷部分面积越大, 其经济价值越高。有缺陷的晶体与较纯净晶体相比, 除外观差别外, 其他性质几乎一致, 传统选矿方式难以分离, 因此需要手动挑拣。然而人工手选效率较低, 且不同于大部分矿石, 较纯净的薄片云母呈透明片状, 颜色有绿、棕、黄等色调, 因此不能简单的判断颜色作为选别依据^[4]。

2 图像采集

图像样本的采集由 510 万像素 CCD 工业相机 (GED501) 完成。由于云母片多为透明且极易反光, 外观有特殊性, 对其拍摄环境进行实验, 使云母片晶格缺陷清晰暴露在图像中的同时, 也确保云母片边界轮廓清晰, 以区分无缺陷晶体。

常见的光源摆放方式可分为正面、侧面及背

收稿日期: 2022-08-26

作者简介: 王紫越 (1997-), 女, 研究生, 主要从事选矿自动化方面的研究工作。

通信作者: 张翼 (1982-), 男, 博士, 教授, 主要从事选矿自动化方面的教学与研究工作。

面光照^[5],同时,考虑到云母片呈黄绿色透明,可能造成其边界不明显,不利于后续图像处理,因此将普通白色背景与蓝色背景拍摄条件进行统计,见图1。

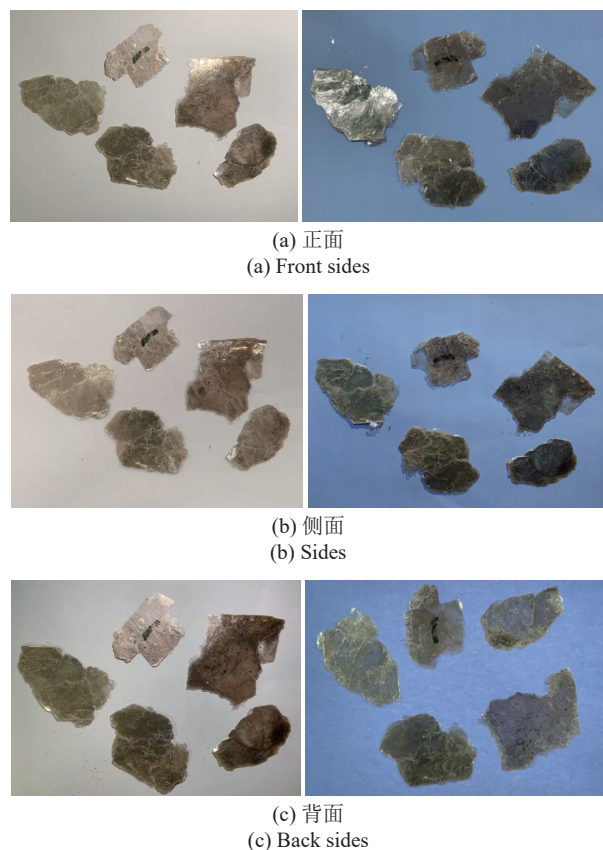


图1 光照方式与光照条件对比

Fig.1 Comparison of lighting mode and conditions

分析三种光照条件下所拍摄的图像,正面照光时,无法避免云母片的强烈反光,不利于图像的特征提取。侧面照光时,边界轮廓清晰,但整体颜色偏深,较难区分出缺陷斑点。背面照光则呈现较清晰的边界轮廓,同时能够明显观察斑点区域。另一方面,对比两种颜色的背景,较薄片云母在白色背景下边界模糊,无法准确捕捉其所在区域。

因此,对比不同的光照条件下所得图像后,本文选用蓝色背景下背光方式拍摄云母片作为处理样本。

3 图像处理

在确定拍摄环境后,固定相机与光源位置,此时可采集同样光照条件下的云母图像,从而减

少环境的影响。对云母图像的处理可大致分为图像预处理、云母轮廓的提取与定位和缺陷计算部分,得到各片云母的黑褐色斑点面积所占百分比,并输出不符合标准的云母片的坐标信息。

3.1 图像预处理

为确保能够在保留图像特征的同时减小运算量,便于后续图像处理算法,对图像进行预处理,根据公式(1)将RGB图像转为灰度图,结果见图2。

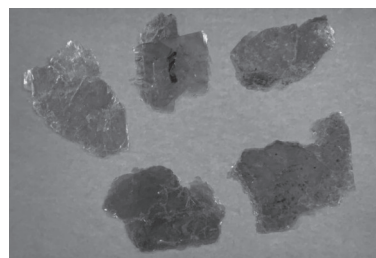


图2 灰度图像

Fig.2 Gray image

$$\text{Gray} = R \times 0.299 + G \times 0.587 + B \times 0.114 \quad (1)$$

式中:R为图像的红色通道,G为绿色通道,B为蓝色通道,Gray为计算所得像素点的值,并作为图像的灰度值。

高斯滤波可看作均值滤波的改进,其中心思想是在某一领域内,根据高斯分布计算各点到中心点的权值,并与相对位置像素值相乘、求和,高斯函数如下:

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

式中:x为像素点距离中心点的距离, σ 为方差。

图像处理过程中,可将其看作图像与高斯正态分布进行卷积操作,卷积核本质为权值组成的矩阵,卷积运算公式如下:

$$g(i,j) = \sum_{k,l} f((i+k),(j+l))h(k,l) \quad (3)$$

式中: $g(i,j)$ 表示计算后输出值, $f((i+k),(j+l))$ 表示矩阵区域中,点 (i,j) 处的原始像素值, $h(k,l)$ 表示权值矩阵中对应像素点的权值。不同大小高斯核下滤波处理所得图像见图3。

对比高斯核大小为 7×7 、 13×13 、 19×19 时的处理结果,可以看出核大小设置为 7×7 时存在较大噪声与多余信息,设置为 19×19 时图像噪声较小,但边缘信息丢失,图像过于模糊,设置为

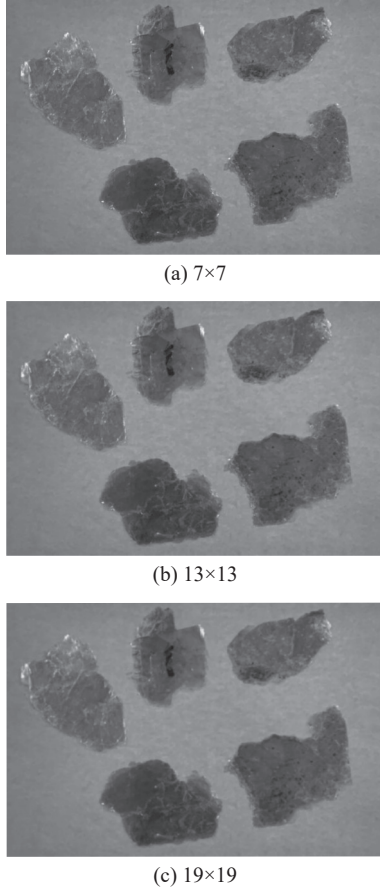


图3 滤波图像
Fig.3 Filtered images

13×13 时效果较理想，适当保留关键特征信息的同时，能够有效减少噪声影响。

3.2 轮廓提取

边缘是指图像中亮度值发生显著变化的部分，包含了大量信息，边缘的检测对图像中相关场景和物体的解释有重要意义。一般来说，边缘检测算法针对灰度图，而在灰度图像中则表现为灰度值急剧变化的点^[6]。本文中采用 canny 算法对经过预处理的云母片图像灰度图进行边缘提取，可分为四个步骤：高斯平滑，梯度值计算，非极大值抑制和双阈值检测，闭合曲线。

高斯平滑可以减弱因传感器的低频滤波特性对后续处理的影响，使得检测到的边缘更理想。由于图像边缘的不确定性，需计算边缘的梯度方向与梯度幅值，以此增强边缘在图像中的表现，凸显出有灰度值明显变化的点。计算公式如下：

$$P(i, j) = (g(i, j+1) - g(i, j) + g(i+1, j+1) - g(i+1, j))/2 \quad (4)$$

$$Q(i, j) = (g(i, j) - g(i+1, j) + g(i, j+1) - g(i+1, j+1))/2 \quad (5)$$

$$M(i, j) = \sqrt{P(i, j)^2 + Q(i, j)^2} \quad (6)$$

$$\theta(i, j) = \arctan(Q(i, j)/P(i, j)) \quad (7)$$

式中： $P(i, j)$ 与 $Q(i, j)$ 分别为 x 方向与 y 方向的一阶偏导数矩阵， $M(i, j)$ 为梯度幅值， $\theta(i, j)$ 为幅值方向。

最后对梯度幅值进行非极大值抑制处理，寻找局部区域极大值，并将其他点置为零，减少边缘点的误判，根据双阈值判断是否为边缘点，并连接闭合，以此得到云母片轮廓（图4）。

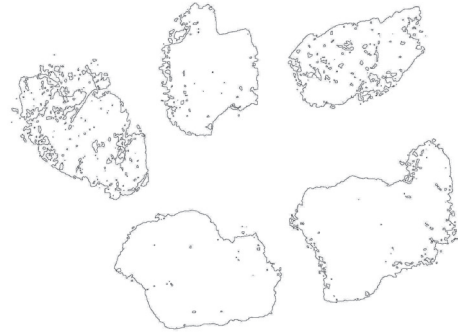


图4 云母片轮廓
Fig.4 Outline of mica sheet

云母矿的预选行为往往需要动态进行，因此除了直接获取云母片轮廓外，还可以捕捉运动状态的云母片进行分析。常用的运动物体检测方法有帧差法、光流法、背景帧差法^[7-8]。

帧差法将相邻两帧图像作差，将得到的各点的值与所设定的阈值进行对比，相对静止的部分为差值小于阈值的点，并将其赋值为零，认为是背景，其余则认为是运动区域的点。背景帧差法原理类似，将某一时刻的图像与所设定的背景作差，再与阈值进行比较，得到二值化图像。而光流法通过追踪物体明暗度的变化，以期重现真实的运动场，但这种方法的前提是假定拍摄环境亮度恒定，较难达到，且云母片有一定的反光特性，若采用该方式较难有较理想的效果。

本文中相机为固定状态，可认为背景不发生显著变化，且运动速度相对较慢，参考下采用帧差法^[9]，即可有效识别出运动状态的云母，以此定位各片云母的位置，并捕捉轮廓。

3.3 结果计算

经过上述处理，可得到一张表示云母区域的

二值化图像(图5),但图中可见大量多余的细小轮廓,在此基础上对其进行腐蚀膨胀操作,即先腐蚀后膨胀的开运算,消除冗余轮廓。

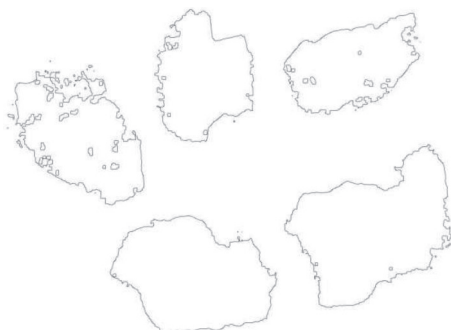


图5 云母区域的二值化图像
Fig.5 Binarized image of the mica region

得到云母区域轮廓后,根据轮廓上各点所在坐标分别遍历灰度图中云母片内部点的像素值,并判断灰度值大小,记录各片所包含的黑点面积,除去总面积得到缺陷部分所占百分比。最后,判断云母片的缺陷程度是否超出设定值,并挑选出非合格片,输出其轮廓中心点位置作为需要剔除的云母片所在坐标。

为便于观察,在识别出的云母片外画矩形,并将黑褐色斑点标记为绿色,由结果来看,与人眼识别基本一致,见图6。

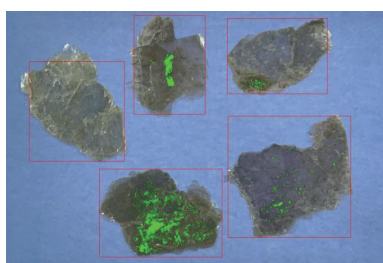


图6 结果图像
Fig.6 Result image

4 结 论

本文进行了云母片图像的采集环境实验,确定了背面光照的位置,并对比不同颜色背景下云母片图像,最终确定在蓝色背景下以背光方式采集图像,能够较清晰地分辨透明云母片轮廓。对图像进行灰度化后,对比不同高斯核大小处理结果,以canny边缘检测算法捕捉轮廓定位云母片位置,进行黑褐色斑点的缺陷识别及计算,能够相对迅速且准确地区分合格与非合格云母片,为后

续控制剔除部分奠定了基础。

参考文献:

- [1] 吴西顺,邓杰,姜焕琴,等. 传感器驱动的智能选矿: 过去、现在和未来[J]. 矿产综合利用, 2020(5):18-26.
- [2] 陈威,童慧,肖亚雄,等. 我国云母分选技术现状及其在砂石行业中的应用前景[J]. 水力发电, 2021, 47(1):90-93.
- [3] 张丹萍. 河南某地云母矿选矿试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [4] 王宏伟. 浅谈风力选别云母的工艺[J]. 新疆有色金属, 2012, 35(S1):83-84.
- [5] 张博文,王刚. 基于OPENCV图像处理的金刚石微粉粒的统计方法[J]. 自动化技术与应用, 2021, 40(7):170-173.
- [6] 黄伟,林尧,陈洁. 基于Matlab起重机吊钩表面缺陷检测图像处理[J]. 机电技术, 2016(6):95-98.
- [7] 刘洋. 运动目标检测技术研究综述[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(17):183.
- [8] 李志朋. 基于机器视觉的运动目标跟踪方法研究[J]. 电子技术与软件工程, 2021(1):78-79.
- [9] 罗芳. 基于视频监控的运动图像检测算法研究[J]. 无线

互联科技, 2016(7):3-4.

LUO F. Research on motion image detection algorithm based

on video surveillance[J]. *Wireless Interconnection Technology*,

2016(7):3-4.

Study on Separation of High Purity Mica Ore Based on Image Recognition

WANG Ziyue¹, ZHANG Yi¹, LI Xinghui², LI Jun², MOU Shaofan¹, LI Jianan¹

(1.School of Resource & Safety Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, Hubei, China;

2.Pamica Technology Co., Ltd., Xianning 437000, Hubei, China)

Abstract: This is an article in the field of process mineralogy. In order to solve the problem of color spot impurity sorting in high-purity mica, a sorting method of mica containing impurities based on image processing is proposed in this article. According to the state of color spot impurities of mica under different light sources, the influence of image illumination environment is studied. On this basis, the processing methods such as Gaussian filtering and Canny edge detection are studied. Finally, the image recognition and discrimination of mica ores are realized accurately, and good results are obtained in the recognition of three different types of mica ores.

Keywords: Process mineralogy; Mica; Defect detection; Image processing

////////////////////////////////////
(上接第 42 页)

Effect of Metal Cations on Hydration of Montmorillonite and its Mechanism

YANG Yongli, CHENG Wei, HUANG Wenhao

(College of Mining, Guizhou University, National & Local Joint Laboratory of Engineering for Effective Utilization of Regional Mineral Resources from Karst Areas, Guizhou Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Non-metallic Mineral Resources, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: This is an article in the field of mining engineering. Montmorillonite is a kind of clay mineral which has significant impact on the sedimentation of coal slime water. Its charged surface and easy hydration hinder the mutual contact between particles, keeping the suspension stable dispersion and worsen the sedimentation of slime water. Based on sedimentation experiments, we studied the effects of common metal cations Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} and Al^{3+} on the sedimental characteristics of montmorillonite. Meanwhile, the mechanism of various metal cations in the hydration and sedimentation behavior of montmorillonite was investigated by using microcalorimeter, Zeta potential analyzer and infrared spectrometer. The experiment results show that, adding Al^{3+} and Ca^{2+} to montmorillonite suspension or montmorillonite-containing slime water can result into smaller sedimentation compressed layer and lower turbidity of the supernatant. So, Al^{3+} and Ca^{2+} show better performance in the sedimentation when compared with Na^+ , K^+ , Mg^{2+} . The mechanism analysis shows that metal cations compress the electric double layer on the surface of montmorillonite, thus inhibit the hydration of montmorillonite, and are conducive to the agglomeration and sedimentation of montmorillonite. The research results have scientific significance for the treatment of montmorillonite-containing coal slime water.

Keywords: Mining engineering; Montmorillonite; Coal slime water; Hydrated swelling; Zeta potential analyzer; Micro calorimeter