

基于 XRD 与 XRF 分析矿物质对浮选尾煤图像灰度特征影响

邱鸿鑫, 陈浙锐, 陈颂, 王光辉

(中国矿业大学化工学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 针对浮选尾煤含有大量无机矿物质, 严重影响机器视觉技术采集到的浮选尾煤图像灰度特征, 影响浮选尾煤灰分在线预测。本文通过 XRD、XRF 对煤样进行物相分析以及元素的定量、定性分析, 使用 K 值法分析结果确定最终的试验用矿物质为高岭石、黄铁矿、白云石、石英。通过配煤试验, 得到了不同矿物质组成对浮选尾煤灰度的影响程度。研究结果表明: 煤样中主要矿物质成分是黄铁矿和石英时, 对图像的平均灰度值影响最小; 主要矿物质是白云石和黄铁矿、白云石和石英时, 对图像的平均灰度值影响最大。

关键词: 衍射图谱; 机器视觉; 图像处理; 无机矿物

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.02.020

中图分类号: TD 文献标识码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 02-0114-04

浮选作为矿物选别^[1]的主要方法, 随着智能化的普及, 机器视觉技术的兴起, 将机器视觉技术引入到浮选生产在线监控中具有重要指导意义。

Hargrave 等^[2]通过浮选泡沫的图像分析, 进行灰分预测; Bartolacci 等^[3]通过分析泡沫的纹理特征, 来实现对灰分的预测; 刘文礼等^[4]通过提取灰度相关矩阵, 使用 bp 神经网络对煤泥泡沫特征提取识别; 路迈西等^[5-7]通过提取领域泡沫的特征, 进行建模预测灰分; 周开军等^[8]通过改进 FCM 分割浮选泡沫图像, 来定量的检测泡沫形状与尺寸; 张庆利^[9]通过 ARM 图像处理方法实现对煤炭灰分的在线预测; 牟学民等^[10-11]提取了浮选泡沫的速度特征, 建立了速度与精煤灰分预测模型; Moolman 等^[12-13]提取泡沫的颜色, 分析了泡沫在不同品位的情况下的纹理特征, 结合神经网络预测回收率。

本文针对矿物质是对尾煤图像灰度特征影响的主要原因, 采用实验室配煤, 控制变量进行试验, 得到矿物质对灰度的影响规律, 为以后建立尾煤灰分软测量模型提供数据支撑。

1 试验准备

为了使尾煤灰分一致, 减少单一煤样试验误差, 选用太原选煤厂和赵庄选煤厂的煤样, 通过浮沉试验得到密度为 -1.4 g/cm^3 和 $+1.8\text{ g/cm}^3$ 的两个密度级的样品, 作为基础煤样, 由表 1 可知, 两个矿区的煤样灰分接近, 矿物质含量大致相同, 对试验影响可以忽略不计。

1.1 煤样 XRD 分析

表 1 尾煤灰分 / %
Table 1 Tailing coal ash

太原 $-1.4/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	太原 $+1.8/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	赵庄 $-1.4/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	赵庄 $+1.8/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$
5.8	81.3	6.0	82.0

收稿日期: 2019-03-22

作者简介: 邱鸿鑫 (1993-), 男, 硕士, 主要从事矿物加工过程控制模拟研究。

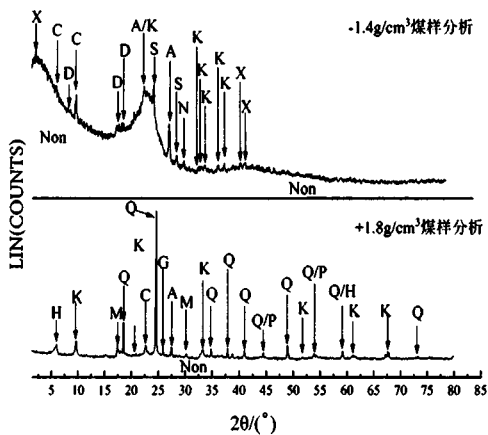


图 1 太原煤样分析

Fig. 1 Analysis of Taiyuan coal samples

使用 X 射线衍射仪分别对两个煤样进行分析，由图 1 可知，太原 -1.4 g/cm³ 煤样的灰分比较低，含有的矿物质中最多的是高岭石；而太原 +1.8 g/cm³ 的煤样，高岭石与石英含量较多，并伴有少量斜绿泥石与磷云母。由图 2 可知，赵庄 -1.4 g/cm³ 的

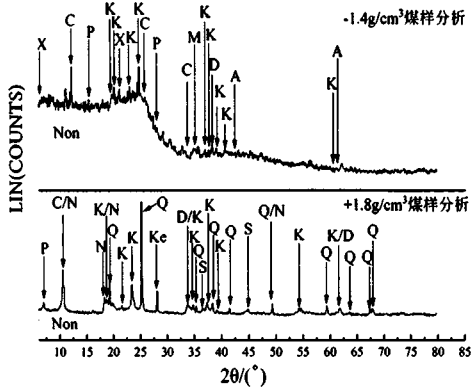


图 2 赵庄煤样分析

Fig. 2 Analysis of Zhaozhuang coal samples

煤样，非晶物质的成分较多，含有的矿物质中最多的是高岭石，而赵庄 +1.8 g/cm³ 的煤样，矿物质中高岭石和石英占主要成分。

1.2 煤样 XRF 分析

通过 XRF 分析，煤样化学成分分析见表 2。

表 2 元素分析

Table 2 Chemical composition analysis of coal samples

样品	太原 -1.4/(g·cm ⁻³)	太原 +1.8/(g·cm ⁻³)	赵庄 -1.4/(g·cm ⁻³)	赵庄 +1.8/(g·cm ⁻³)
分子式	含量 /%			
Ba	0.037	0.067	0.055	0.039
K ₂ O	0.073	2.280	0.039	1.230
MgO	0.120	0.833	0.093	0.466
Na ₂ O	0.150	0.569	0.190	0.260
TiO ₂	0.161	0.612	0.186	0.811
Zn	0.175	-	0.163	-
Cl	0.336	0.018	0.174	0.020

S	0.794	0.188	0.734	0.390
Fe ₂ O ₃	0.833	3.251	0.515	2.056
CaO	1.020	1.930	0.599	3.340
Al ₂ O ₃	2.290	19.830	2.930	25.070
SiO ₂	3.500	49.200	2.850	43.910
P	-	0.024	0.022	0.022
Mn	-	0.023	-	0.018
Cr	-	0.020	-	-
Sr	-	0.019	0.012	0.020
Zr	-	0.015	-	0.016

由表 2 可知，相较于 +1.8g/cm³ 的煤样，-1.4 g/cm³ 的煤样含有的矿物质元素更低，且由于地区的差异，不同煤中元素的种类与元素的含量也不一样。

通过 K 值法对太原和赵庄的密度为 +1.8 g/cm³ 的煤样进行定量分析，结果见表 3，表 4。

表 3 太原 (+1.8 g/cm³) 煤样定量分析结果 /%

Table 3 Quantitative analysis of Taiyuan (+1.8 g/cm³) coal samples

石英	高岭石	白云母	浊沸石	斜绿泥石	多水高岭石	煤
19.6	45.8	2.4	1.6	4.3	5.4	18.7

表 4 赵庄 (+1.8 g/cm³) 煤样定量分析

Table 4 Quantitative analysis of Zhaozhuang(+1.8 g/cm³) coal samples

石英	高岭石	珍珠石	多水高岭石	斜绿泥石	地开石	硅锂钠石	多硅锂云母	煤
11.2	59.1	2.1	1.8	2.7	1.4	1.1	0.3	18.0

由表 2 可知，不同的地区的煤样中所含有的矿物质组成有着显著差异，煤炭中含有的矿物质具体可以分为四大类：硅酸盐矿物、硫化物矿物、氧化物矿物、碳酸盐矿物。为了全面研究不同无机矿物质对尾煤灰度特征影响，依据以下原则选取无机矿物质：

- (a) 无机矿物质本身特性具有差异
- (b) 矿物质是煤中的常见矿物
- (c) 从以上四类矿物中各选择一种

本试验最终确定以高岭石、黄铁矿、石英、白云石为试验用矿物质。

2 不同矿物质组成对浮选尾煤图像灰度的影响研究

2.1 试验平台搭建

视觉系统通过工业 CCD 相机对每组试验样品采集 30 张图像传入计算机，经过图像平滑、降噪，

对图像灰度等信息进行提取, 计算灰度值, 研究矿物质对图像灰度均值影响。工作流程、试验平台见图 3。

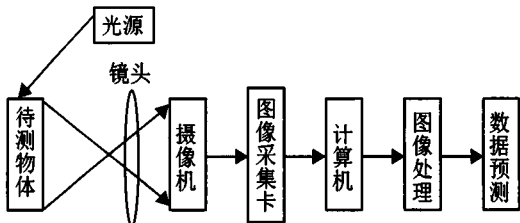


图 3 试验工作流程
Fig. 3 test workflow

2.2 试验分析

选择任意两种矿物质相互组合, 并且按照不同比例与精煤混合配置出煤样, 分别是高岭石与石英、白云石与黄铁矿、白云石与石英、石英与黄铁矿。通过试验测定了在浓度、煤样所含矿物质种类、灰分一致的条件下尾煤图像灰度均值, 试验结果见表 5~8。

表 5 高岭石加石英试验

Table 5 Test of the coal samples made by minerals(quartz&kaolinite)

序号	-1.4 g/cm ³ , g	高岭石质量/g	石英质量/g	总质量/g	浓度/(g·L ⁻¹)	灰分/%	高岭石比例/%	灰度均值
1	8.9	0.0	15.1	24	40	65	0	98.3
2	8.9	3.0	12.1	24	40	65	20	105.9
3	8.9	6.0	9.1	24	40	65	40	105.8
4	8.9	9.1	6.0	24	40	65	60	113.2
5	8.9	12.1	3.0	24	40	65	80	114.1
6	8.9	15.1	0.0	24	40	65	100	123.4

表 6 白云石加黄铁矿试验

Table 6 Test of the coal samples made by minerals(dolomite&pyrite) and coal of -1.4 g/cm³

序号	-1.4 g/cm ³ , g	白云石质量/g	黄铁矿质量/g	总质量/g	浓度/(g·L ⁻¹)	灰分/%	白云石比例/%	灰度均值
1	8.9	0.0	15.1	24	40	65	0	107.3
2	8.9	3.0	12.1	24	40	65	20	110.5
3	8.9	6.0	9.1	24	40	65	40	123.8
4	8.9	9.1	6.0	24	40	65	60	140.6
5	8.9	12.1	3.0	24	40	65	80	166.8
6	8.9	15.1	0.0	24	40	65	100	217.7

表 7 白云石加石英试验

Table 7 Test of the coal samples made by minerals(dolomite&quartz) and coal of -1.4 g/cm³

序号	-1.4 g/cm ³ , g	白云石质量/g	石英质量/g	总质量/g	浓度/(g·L ⁻¹)	灰分/%	白云石比例/%	灰度均值
1	8.9	0.0	15.1	24	40	65	0	98.3
2	8.9	3.0	12.1	24	40	65	20	127.8
3	8.9	6.0	9.1	24	40	65	40	148.6
4	8.9	9.1	6.0	24	40	65	60	178.7
5	8.9	12.1	3.0	24	40	65	80	197.8
6	8.9	15.1	0.0	24	40	65	100	216.6

表 8 黄铁矿加石英试验

Table 8 Test of the coal samples made by minerals(pyrite &quartz) and coal of -1.4 g/cm³

序号	-1.4 g/cm ³ , g	黄铁矿质量/g	石英质量/g	总质量/g	浓度/(g·L ⁻¹)	灰分/%	黄铁矿比例/%	灰度均值
1	8.9	0.0	15.1	24	40	65	0	99.0
2	8.9	3.0	12.1	24	40	65	20	101.9
3	8.9	6.0	9.1	24	40	65	40	103.9
4	8.9	9.1	6.0	24	40	65	60	105.3
5	8.9	12.1	3.0	24	40	65	80	106.7
6	8.9	15.1	0.0	24	40	65	100	108.4

由表 5~8 可知, 当尾煤灰分一定, 使用黄铁矿与石英配置煤样时, 图像的平均灰度值变化较小, 但是配置的煤样是白云石与石英、以及白云石与黄铁矿时, 图像的平均灰度值受到的影响相对更大。这是因为黄铁矿与石英的表观特性差异不大, 而白云石、石英和黄铁矿的表观特性差异最明显, 导致采集到的尾煤图像灰度均值波动较大。

3 结 论

(1) 通过 XRD 与 XRF 对太原与赵庄选煤厂的煤样进行元素与定量分析, 配置出的试验煤样进行试验, 当煤样的灰分相同时, 其灰度特征会随产地不同有一定差异。

(2) 用不同的矿物质与精煤配置不同灰分的尾煤, 通过拍摄到的图像, 分析提取灰度平均值, 发现使用石英配置煤样时, 随着白云石的含量增加, 对尾煤图像灰度均值的影响最大, 当都为白云石时, 黄铁矿相较于石英对灰度均值的影响较小。

(3) 浮选尾煤的灰度变化受矿物质的表观特性的差异影响较大, 为后续通过机器视觉技术对浮选尾煤进行灰分实时预测提供了技术参考。

参考文献:

[1] 张瑞英. 浅谈降低煤泥浮选药剂消耗的途径 [J]. 选煤技术, 2010 (19): 40-42.
Zhang R Y. A Brief Discussion on Ways to Reduce the Consumption of Coal Slurry Flotation Agents [J]. Coal Preparation Technology, 2010 (19): 40-42.
[2] Hargrave JM, Miles N J, Hall ST. The use of grey level

- measurement in predicting coal flotation performance [J]. Minerals Engineering, 1996, 9 (6): 667-674.
- [3] Bartolacci G, Pelletier P J, Tessier J J, et al. Application of numerical image analysis to process diagnosis and physical parameter measurement in mineral processes-part I: flotation control based on froth textural characteristics [J]. Miner Eng, 2006, 19: 734-747.
- [4] 刘文礼, 路迈西, 王凡, 等. 煤泥浮选泡沫图像纹理特征的提取及泡沫状态识别 [J]. 化工学报, 2003, 54(6): 830-835.
- Liu W L, Lu M S, Wang F, et al. Extraction of Texture features of Coal Slime Flotation Foam Image and Foam State Recognition [J]. Journal of Chemical Industry, 2003, 54 (6) : 830-835.
- [5] 路迈西, 王凡, 王勇, 等. 煤泥浮选泡沫图像处理 [J]. 2001, 29(11): 28-29.
- Lu M S, Wang F, Wang Y, et al. Image Processing of Coal Slurry Flotation Foam [J]. 2001, 29 (11) : 28-29.
- [6] 刘文礼, 路迈西. 数字图像处理技术在煤泥浮选泡沫图像纹理特征的提取及识别上的应用 [J]. 选煤技术, 2004 (4): 78-81.
- Liu W L, Lu M S. Application of Digital Image Processing Technology in Extraction and Recognition of Texture Features of Coal Slime Flotation Foam Image [J]. Coal Preparation Technology, 2004 (4) : 78-81.
- [7] 王勇, 杨公训, 路迈西, 等. 煤泥浮选泡沫图像灰度行程及其统计纹理特征 [J]. 煤炭学报, 2006, 31(1) : 94-98.
- Wang Y, Yang G X, Lu M X, et al. Gray Scale Travel and its Statistical Texture Characteristics of Coal Slurry Flotation Foam Image [J]. Chinese Journal of Coal, 2006, 31 (1) : 94-98.
- [8] 周开军. 矿物浮选泡沫图像形态特征提取方法与应用 [D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- Zhou K J. Method and Application of Morphological Feature Extraction of Mineral Flotation Foam Image [D]. Changsha: Central South University, 2010.
- [9] 张庆利. 基于 ARM 煤炭灰分在线检测系统 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
- Zhang Q L. Online Coal Ash Detection System Based on ARM [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2007.
- [10] 刘金平, 桂卫华, 牟学民, 等. 基于 Gabor 小波的浮选泡沫图像纹理特征提取 [J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(8): 1699-1775.
- Liu J P, Gui W H, Mu X M, et al. Texture Feature Extraction of Flotation Foam Image Based on Gabor Wavelet [J]. Journal of Instrument and instrumentation, 2010, 31 (8) : 1699-1775.
- [11] 牟学民, 刘金干, 桂卫华, 等. 基于 SIFT 特征配准的浮选池沫移动速度提取与分析 [J]. 信息与控制, 2011, 40(4): 525-531.
- Mu X M, Liu J G, Gui W H, et al. Extraction and Analysis of Foam Motion Velocity in Flotation Pool Based on SIFT Feature Registration [J]. Information and Control, 2011, 40 (4) : 525-531.
- [12] Moolman DW, Aldrich C, Van Deventer J S J. The interpretation of flotation froth surfaces by using digital image analysis and neural networks [J]. Chemical Engineering Science, 1995, 50 (22): 3 501-3 513.
- [13] Moolman D, Aldrich C, Schmitz G, et al. The interrelationship between surface froth characteristics and industrial flotation performance [J]. Minerals Engineering, 1996, 9 (8): 837-854.

Study on the Influence of Minerals on the Gray Characteristics of Flotation Coal Image Based on XRD and XRF

Qiu Hongxin, Chen Zhirui, Chen Song, Wang Guanghui

(School of Chemical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu, China)

Abstract: The flotation tail coal contains a large amount of inorganic minerals, which seriously affects the gray scale characteristics of the flotation tail coal image collected by machine vision technology, and affects the online prediction of flotation tail coal ash. In this paper, the phase analysis of the coal samples and the quantitative and qualitative analysis of the elements were carried out by XRD and XRF. The K-value analysis results were used to determine the final experimental minerals as kaolinite, pyrite, dolomite and quartz. Through the coal blending test, the influence degree of different mineral composition on the gray scale of the flotation tail coal was obtained. The results show that the main mineral composition of the coal sample is pyrite and quartz, which has the least influence on the average gray value of the image. The main minerals are dolomite and pyrite, dolomite and quartz. The value has the greatest impact.

Keywords: Diffraction pattern; Machine vision; Image Processing; Inorganic mineral