

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2022.0002.002

对烧结机机尾断面图像气孔特征提取的研究

张学锋, 周志远, 汤亚玲, 储岳中

(安徽工业大学 计算机科学与技术学院, 安徽 马鞍山 243000)

摘 要:针对烧结机机尾断面气孔特征提取的研究,提出了一种基于 OTSU 三次迭代 RGB 颜色通道的多阈值法;为了保证气孔特征提取的准确性和减少图像细节的丢失,采用 OTSU 法先分别对机尾断面图像的 RGB 颜色通道 3 次迭代进行阈值分量计算,再通过 RGB 三颜色通道占比比值确定权值,计算出一个全局阈值和两个局部阈值进行三阈值图像分割;利用获取的全局阈值将机尾断面图像的火红层和黑矿层进行分割,之后两个局部阈值分别对嵌入在火红层和黑矿层中的气孔进行分割,最终提取出机尾断面的气孔特征;实验表明,方法相较于常规方法能够提取出更多机尾断面的气孔特征及细节,同时提取出的气孔特征轮廓层次感较好,气孔特征提取的准确性较高。

关键词:机尾断面;气孔特征;OTSU 法;图像分割;

中图分类号:TP182.1

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2022)02-0008-06

0 引 言

烧结是冶金工艺中制备人造富矿的一个重要流程。稳定的烧结矿成分与冶金性能,可促进高炉长周期稳定运行。FeO 是衡量烧结过程正常与否、决定烧结矿强度与冶金性能的重要指标之一。目前烧结过程主要依赖于看火工进行判断,即烧结过程的优劣,极大程度上取决于看火工对机尾断面呈现出的烧结信息的判断能力。然而,受个人视力、颜色识别能力、经验以及机尾段面的恶劣环境等因素影响,使得不同看火工的判断存在误差^[1]。若能将烧结看火工的经验数字化,使得计算机具备在线检测烧结工艺质量的能力。这将极大改善烧结工艺,使炼钢的产量和质量都得以提升。

在烧结过程中,机尾断面的气孔的数量与 FeO 的含量存在相关性^[1]。若能将机尾断面的气孔进行量化,即可准确预测 FeO 的含量。根据烧结机机尾断面的图像特性,图像被划分为火红层、黑矿层、气孔区,其中气孔区嵌套在火红层和黑矿层之中。目前,针对烧结机机尾断面气孔特征提取已经有一些研究,如:张石等^[2]提出利用矩保持法分割烧结机机尾断面图像,将火红层从图像中分割开来;王培珍等^[3]提出迭代的两级 K&I 最小误差法对机尾断面图像进行双阈值分割,提取了火红层的气孔;王翊等^[4]提出了先利用 OTSU 法对机尾断面图像火红层进行提取,再利用矩保持法对火红层的气孔进行提取的双阈值图像分割法。

在上述提出的方法基础之上,提出了一种基于 OTSU 三次迭代 RGB 颜色通道的多阈值法对烧结机

收稿日期:2020-12-22;修回日期:2021-01-15.

基金项目:安徽省教育厅重大课题基金(KJ2017ZD05);安徽高校协同创新项目(GXXT-2019-008).

作者简介:张学锋(1978—),男,河北石家庄人,教授,博士,从事计算机仿真研究.

通讯作者:周志远(1995—),男,安徽滁州人,硕士生,从事计算机视觉研究. E-mail: zzy_ahut@163.com

机尾断面进行气孔特征提取。改进后的方法能够在减少图像细节丢失的前提下,将气孔从机尾断面的火红层和黑矿层较为准确的提取出来。为烧结看火工提供实时、清晰、完整的机尾断面气孔特征图像,优化了烧结生产工艺。为烧结过程在线判断 FeO 含量的研究奠定了良好基础。

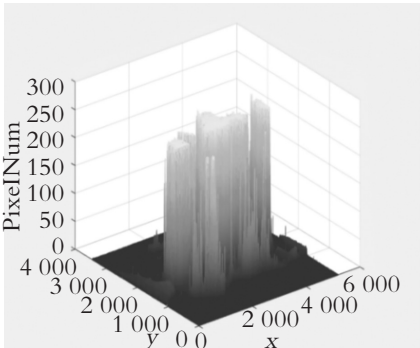
1 基于 OTSU 改进的气孔特征提取方法

基于经典的 OTSU^[5] 法的图像分割,通常是对采用传统的图像灰度方法形成的灰度图像进行阈值分割。传统的图像灰度方法通常是取 RGB 某一个颜色通道的二维矩阵作为灰度图像的每个点对应的灰度值。另一种方法是取 RGB 颜色通道的某一最大分量二维矩阵作为灰度图像的每个点对应的灰度值。还有一种是对 RGB 颜色通道进行均值化处理,得到的均值二维矩阵作为灰度图像的每个点对应的灰度值。最后一种是通过给定权值系数的方法对 RGB 颜色通道的进行计算求和,得到一个新的二维矩阵作为灰度图像的每个点对应的灰度值。

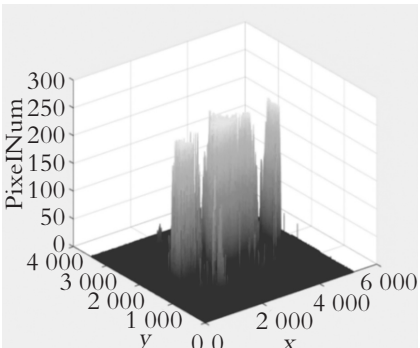
如图 1(a),(b),(c) 分别表示,烧结机机尾断面图像 R,G,B 三个颜色通道的三维分布。从图 1 可以看出,R 颜色通道分量的占比最多,其次是 G 颜色通道,占比最少的是 B 颜色通道。3 个颜色通道的分布差异较大,有明显的区分。若直接对采用上述传统的图像灰度方法的灰度图像进行阈值分割,会因原始图像中的 RGB 颜色通道的比重放大或者缩小,导致丢失了原图的部分细节^[6]。

先前对烧结机机尾断面的气孔特征提取的研究,主要聚焦在机尾断面图像的火红层中的气孔而忽略了嵌套在黑矿层中的气孔,一般使用双阈值的方法^[7],仅将气孔从火红层中提取出来。忽略对黑矿层中的气孔特征提取,势必会导致对机尾断面的气孔特征提取不够准确。

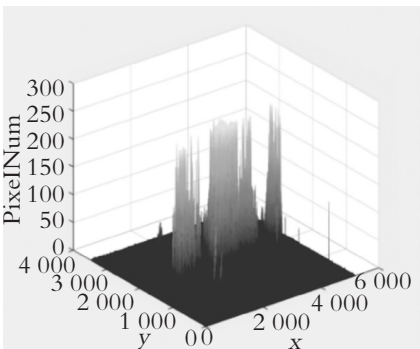
针对上述提及的问题,提出一种基于 OTSU 的三次迭代 RGB 颜色通道的多阈值法对烧结机机尾断面气孔特征进行提取。



(a) R 颜色通道



(b) G 颜色通道



(c) B 颜色通道

图 1 机尾断面图像 RGB 颜色通道三维分布

Fig. 1 Three-dimensional distribution of RGB color channels of the cross-sectional image of the aircraft tail

1.1 机尾断面图像灰度处理方法

考虑到机尾断面 RGB 颜色通道分布不均匀的情况。对机尾断面的灰度处理,采用基于 RGB 三颜色通道占比的比值作为图像灰度计算公式的权值系数,来消除因图像的灰度化而丢失原图的部分细节^[8]。对机尾断面的灰度化具体思路是,先分别统计 RGB 三颜色通道的灰度总和 S_r, S_g, S_b ,之后再分别计算每个颜色通道灰度总和占比的比值 R_r, R_g, R_b 。RGB 三颜色通道占比的比值计算如式(1)—(3)所示:

$$R_r = S_r / (S_r + S_g + S_b) \quad (1)$$

$$R_g = S_g / (S_r + S_g + S_b) \quad (2)$$

$$R_b = S_b / (S_r + S_g + S_b) \quad (3)$$

最后对机尾断面进行灰度处理,得到灰度化的机尾断面图像 I_{gray} 。灰度处理图像的计算如式(4)所示:

$$I_{\text{gray}} = R_r * R + R_g * G + R_b * B \quad (4)$$

1.2 OTSU 法三次迭代 RGB 颜色通道获取阈值分量

OTSU 法也称为最大类间方差法,是一种自适应阈值图像分割方法,具有计算简单,算法执行效率高的特点,能够很好地将灰度差异明显的前景和背景分割开,因此在图像分割领域有着非常广泛的应用^[9]。

为了获取到准确的阈值,先对原始的机尾断面图像,利用 OTSU 法对其 RGB 颜色通道进行阈值计算,之后将计算出的阈值对已经灰度化的图像 I_{gray} 进行阈值分割。不直接对灰度图像进行阈值计算是为了避免因图像灰度化带来的灰度损失,造成阈值获取不准确。对灰度图像 I_{gray} 分割的全局阈值和局部阈值的获取,是先通过对机尾断面图像 RGB 颜色通道分别迭代 3 次,得到 R 颜色通道的 3 个阈值分量 T_{r1} ($0 \leq T_{r1} \leq 255$)、 T_{r2} ($0 < T_{r2} < T_{r1}$)、 T_{r3} ($T_{r1} < T_{r3} < 255$)、G 颜色通道的 3 个阈值分量 T_{g1} ($0 \leq T_{g1} \leq 255$)、 T_{g2} ($0 < T_{g2} < T_{g1}$)、 T_{g3} ($T_{g1} < T_{g3} < 255$)、B 颜色通道的 3 个阈值分量 T_{b1} ($0 \leq T_{b1} \leq 255$)、 T_{b2} ($0 < T_{b2} < T_{b1}$)、 T_{b3} ($T_{b1} < T_{b3} < 255$)。最后将所得阈值分量与式(1)一式(3)计算出的比值对应相乘再求和得到全局阈值 T_1 ($0 \leq T_1 \leq 255$) 和局部阈值 T_2 ($0 < T_2 < T_1$)、 T_3 ($T_1 < T_3 < 255$)。OTSU 法对最佳阈值的计算方法是,通过不断遍历找到使得类间方差最大的阈值。类间方差计算如式(5)一式(7)所示:

$$\sigma_{Br}^2 = \omega_{r1} * (\varphi_r - \varphi_{r1})^2 + \omega_{r2} * (\varphi_r - \varphi_{r2})^2 \quad (5)$$

$$\sigma_{Bg}^2 = \omega_{g1} * (\varphi_g - \varphi_{g1})^2 + \omega_{g2} * (\varphi_g - \varphi_{g2})^2 \quad (6)$$

$$\sigma_{Bb}^2 = \omega_{b1} * (\varphi_b - \varphi_{b1})^2 + \omega_{b2} * (\varphi_b - \varphi_{b2})^2 \quad (7)$$

其中 $\omega_{r1}, \omega_{g1}, \omega_{b1}$ 和 $\omega_{r2}, \omega_{g2}, \omega_{b2}$ 分别表示 RGB 三个颜色通道的阈值分量分割点前后的灰度值占比。 $\varphi_{r1}, \varphi_{g1}, \varphi_{b1}$ 和 $\varphi_{r2}, \varphi_{g2}, \varphi_{b2}$ 分别表示 RGB 三个颜色通道的阈值分量分割点前后的平均灰度值。 $\varphi_r, \varphi_g, \varphi_b$ 分别表示 0~255 级灰度区间的灰度累积值。 $\sigma_{Br}, \sigma_{Bg}, \sigma_{Bb}$ 分别表示 RGB 三个颜色通道的类

间方差。当 $\sigma_{Br1}, \sigma_{Bg1}, \sigma_{Bb1}$ 最大时,即得到最佳的全局阈值 T_1 对应的全局阈值分量 T_{r1}, T_{g1}, T_{b1} 。最佳的局部阈值 T_2 和 T_3 对应的局部阈值分量 T_{r2}, T_{g2}, T_{b2} 和 T_{r3}, T_{g3}, T_{b3} ,同理可求得。

1.3 对机尾断面气孔的特征提取

在获取到 RGB 颜色通道的阈值分量和占比比值之后,全局阈值 T_1 和局部阈值 T_2 和 T_3 的计算如式(8)一式(10)所示:

$$T_1 = R_r * T_{r1} + R_g * T_{g1} + R_b * T_{b1} \quad (8)$$

$$T_2 = R_r * T_{r2} + R_g * T_{g2} + R_b * T_{b2} \quad (9)$$

$$T_3 = R_r * T_{r3} + R_g * T_{g3} + R_b * T_{b3} \quad (10)$$

所得全局阈值 T_1 和局部阈值 T_2 和 T_3 ,可将机尾断面分为 4 个灰度级区间段,即 $0 \leq I_{\text{gray}} < T_2, T_2 \leq I_{\text{gray}} < T_1, T_1 \leq I_{\text{gray}} < T_3, T_3 \leq I_{\text{gray}} \leq 255$ 。结合冶金工艺及人类视觉观察,通常机尾断面的气孔在火红层呈现出耀眼的亮斑,在黑矿层中呈现出微弱的亮斑^[10]。从图像的角度分析,气孔在黑矿层和火红层中的灰度值都大于其所在范围内的某个阈值。根据这一气孔在机尾断面的表现特征,气孔的特征提取计算如式(11)所示:

$$p_{\text{gray}}(x, y) = \begin{cases} 0 & 0 \leq p_{\text{gray}}(x, y) < T_2 \\ 255 & T_2 \leq p_{\text{gray}}(x, y) < T_1 \\ 0 & T_1 \leq p_{\text{gray}}(x, y) < T_3 \\ 255 & T_3 \leq p_{\text{gray}}(x, y) \leq 255 \end{cases} \quad (11)$$

2 实验与分析

2.1 图像采集及去噪处理

实验的图像采集设备是将一台可见光 CCD 摄像机安装在,透过烧结机机尾与料层高度一致的开孔处,且开孔处距离机尾断面 5 m 的位置。用于采集机尾断面图像^[11]。

由于机尾断面受台车倾倒烧结过程中产生的扬尘影响。实验采用 5×5 的高斯卷积核对采集到的机尾断面图像进行高斯滤波去噪处理^[12]。如图 2 所示的是未被高斯滤波去噪的机尾断面原始图像,图 3 是高斯滤波处理后的机尾断面图像。通过实验对照,使用高斯滤波能够有效地去除机尾断面的扬尘影响。

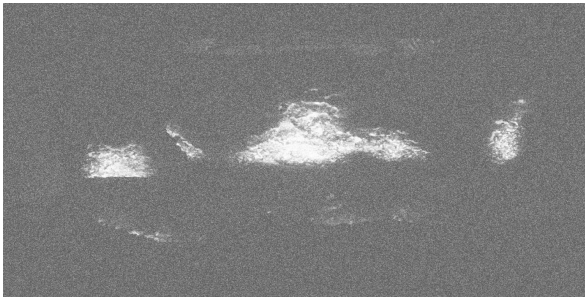


图 2 机尾断面原图

Fig. 2 Original view of the tail section

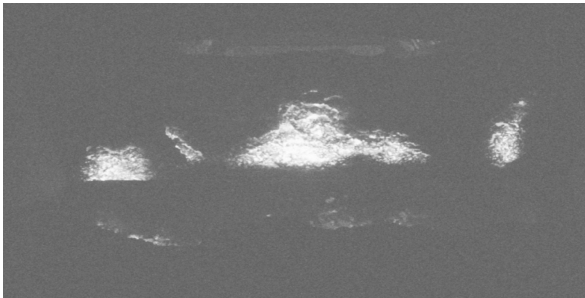


图 3 高斯去噪的机尾断面

Fig. 3 The tail section of Gaussian denoising

2.2 气孔特征提取及对照

实验采用了基于 OTSU 的三次迭代 RGB 颜色通道多的阈值法对机尾断面进行了气孔特征提取,同时与三阈值的 OTSU 法和双阈值的最小误差法进行了对照实验。3 种方法的阈值对照如表 1 所示。

表 1 实验的 3 种方法阈值对照

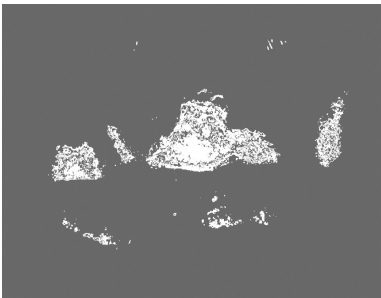
Table 1 Threshold comparison of three methods of experiment

阈 值	T_1	T_2	T_3
本文方法	101	29	181
三阈值的 OTSU 法	87	26	185
双阈值的最小误差法		128	193

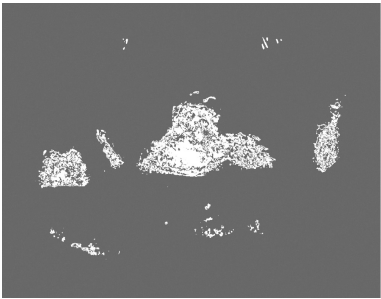
如图 4(a) 所示的是利用基于 OTSU 三次迭代 RGB 颜色通道多阈值法对机尾断面图像提取的气孔特征

图 4(b) 所示的是三阈的值 OTSU 法对机尾断面图像提取的气孔特征图像,图 4(c) 所示的是双阈值的最小误差法对机尾断面图像气孔特征提取的图像。从实验的 3 种方法对机尾气孔特征提取的图像来看,所采用的方法提取了更多的气孔特征。如图 5(a) 所示的是机尾断面原始图像某区域,如图

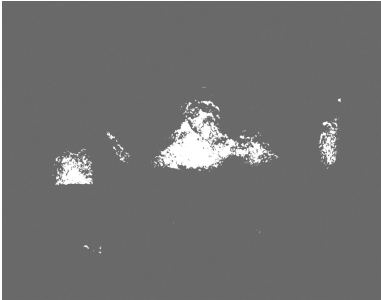
5(b) 所示的是本文的方法提取的气孔特征图像某区域,如图 5(c) 所示的是三阈值的 OTSU 法提取的气孔特征图像某区域,如图 5(d) 所示的是双阈值的最小误差法提取的气孔特征图像某区域。从图 5 可以看出,方法相较另外两种常规的方法,捕获了更多的气孔特征细节,且气孔特征轮廓层次分明。



(a) OTSU 三次迭代 RGB 颜色通道法



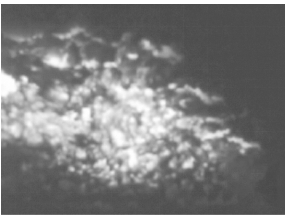
(b) 三阈值 OTSU 法



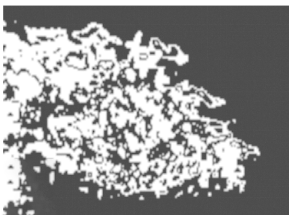
(c) 双阈值最小误差法

图 4 实验的 3 种方法对机尾断面气孔特征提取图像

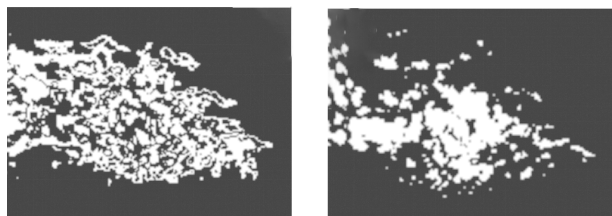
Fig. 4 Three methods of experiment to extract images of stomatal characteristics of the tail section



(a) 机尾断面局部原图像



(b) 本文方法



(c) 三阈值 OTSU 法

(d) 双阈值最小误差法

图 5 某局部区域图像

Fig. 5 Image of a local area

3 结 论

针对烧结机机尾断面图像气孔特征提取的研究,提出了基于 OTSU 三次迭代 RGB 颜色通道的多阈值法。通过对机尾断面 RGB 颜色通道分布的分析,发现其每个颜色通道分布均不均匀且差异较大,即采用传统的阈值分割方法会丢失部分图像细节,导致气孔特征提取不准确。采取的方法是通过将机尾断面图像的 RGB 3 个颜色通道分别进行三次迭代,将得到的颜色通道的阈值分量与 RGB 每个颜色通道占比比值进行计算得到一个全局阈值和两个局部阈值。全局阈值用于将机尾断面的火红层和黑矿层分割开来,两个局部阈值分别用于将嵌入在火红层和黑矿层中的气孔分割开来,最终提取出机尾断面图像的气孔特征。实验结果表明,本文的方法相较于常规方法能够提取到更多的机尾断面图像的气孔特征及细节,提取出的气孔特征轮廓层次分明,气孔提取准确性较高。

参考文献(References):

- [1] 吴晶. 基于烧结机尾断面图像的烧结质量人工智能检测方法的研究[D]. 沈阳:东北大学,2013.
WU Jing. Research on sintering quality artificial intelligence detection method based on cross-sectional image of sintering machine tail[D]. Shenyang:Northeastern University, 2013.
- [2] 张石,张宏勋,李淑云. 用矩保持法分割烧结机尾断面图像[J]. 基础自动化,1998(4):48—50.
ZHANG Shi, ZHANG Hong-xun, LI Shu-yun. Segmentation of sintering machine tail cross-section image with

moment retention method[J]. Basic Automation, 1998(4): 48—50.

- [3] 王培珍,周芳,杜培明. 烧结断面图像分割方法的研究[J]. 微机发展,2004(4):78—79+124.
WANG Pei-zhen, ZHOU Fang, DU Pei-ming. Research on image segmentation method of sintering section[J]. Microcomputer Development, 2004(4): 78—79+124.
- [4] 王翊. 烧结矿 FeO 含量实时预测系统的关键技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2007.
WANG Yi. Research on the key technology of the real-time prediction system of FeO content in sinter[D]. Chongqing:Chongqing University, 2007.
- [5] OTSU N. A shreshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 2007, 9(1):62—66.
- [6] 卜文斌,游福成,李泉,等. 一种基于大津法改进的图像分割方法[J]. 北京印刷学院学报,2015,23(4):76—78+82.
BU Wen-bin, YOU Fu-cheng, LI Quan, et al. An improved image segmentation method based on dajin method[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2015, 23(4): 76—78,82.
- [7] 詹志宇,安友军,崔文超. 图像阈值分割算法及对比研究[J]. 信息通信,2017(4):86—89.
ZHAN Zhi-yu, AN You-jun, CUI Wen-chao. Image threshold segmentation algorithms and comparative research[J]. Information and Communication, 2017(4): 86—89.
- [8] 郭丽. 基于 RGB 颜色空间的彩色图像灰度化算法研究[D]. 西安:陕西师范大学,2017.
GUO Li. Research on grayscale algorithm of color image based on RGB color space[D]. Xi'an:Shaanxi Normal University, 2017.
- [9] 韩思奇,王蕾. 图像分割的阈值法综述[J]. 系统工程与电子技术,2002(6):91—94+102.
HAN Si-qi, WANG Lei. A review of image segmentation threshold methods[J]. System Engineering and Electronic Technology, 2002(6): 91—94+102.
- [10] 解秀亮,王福平,陈至坤,等. 烧结机火焰图像的小波去噪及亮度特征分析[J]. 机械工程与自动化,2019(1):37—39.

XIE Xiu-liang, WANG Fu-ping, CHEN Zhi-kun, et al. Wavelet denoising and brightness characteristic analysis of flame image of sintering machine[J]. Mechanical Engineering and Automation, 2019(1): 37—39.

[11] 刘征建,左海滨,张瀚斗,等. 烧结机尾特征断面图像采集算法的研究及应用[J]. 钢铁,2008(3):21—24.

LIU Zheng-jian, ZUO Hai-bin, ZHANG Han-dou, et al. Research and application of image acquisition algorithm for characteristic section of sintering machine tail[J]. Iron and Steel, 2008(3): 21—24.

[12] LE V L, KIM T J, Kim Y D, et al. Extended Gaussian filtering for noise reduction in spectral analysis[J]. Journal of the Korean Physical Society, 2020, 77(10).

Research on Extraction of Porosity Feature of Cross Section Image of Sintering Machine Tail

ZHANG Xue-feng, ZHOU Zhi-yuan, TANG Ya-ling, CHU Yue-zhong

(School of Computer Science and Technology, Anhui University of Technology, Anhui Maanshan 243000, China)

Abstract:Based on the research on the pore feature extraction of the sintering machine tail section, this paper proposed a multi-threshold method based on OTSU three iterations of RGB color channels. In order to ensure the accuracy of stomatal feature extraction and reduce the loss of image details, this method not only adopted the OTSU method to calculate the threshold components of the RGB color channels of the tail section image for three iterations, but also determined the weights by the ratio of the RBG three color channels. Finally, a global threshold and two local thresholds were calculated to perform three-threshold image segmentation. The author used the obtained global threshold to segment the flaming red layer and the black ore layer of the cross-sectional image of the sintering machine tail, and then used two local thresholds to respectively segment the pores embedded in the flaming red layer and the black ore layer. In the end, the author extracted the stomatal features of the tail section of the sintering machine. Experiment shows that compared with conventional methods, this method can extract more stomatal features and details of the tail section of the sintering machine. At the same time, the extracted stomatal feature contours are better and the accuracy of stomatal feature extraction is high.

Key words:machine tail section; stoma characteristics; OTSU method; image segmentation;

责任编辑:田 静

引用本文/Cite this paper:

张学锋,周志远,汤亚玲,等. 对烧结机机尾断面图像气孔特征提取的研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2022,39(2):8—13.

ZHANG Xue-feng,ZHOU Zhi-yuan,TANG Ya-ling,et al. Research on extraction of porosity feature of cross section image of sintering machine tail[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition),2022,39(2):8—13.