

文章编号:1671-251X(2018)08-0091-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018020004

煤与矸石分选系统设计

杨慧刚¹, 乔志敏², 高绘彦³, 刘宇⁴, 赵一丁⁵

(1. 菏泽学院 机电工程学院, 山东 菏泽 274015; 2. 太原工业学院 自动化系, 山西 太原 030003;
3. 国网山东省电力公司 菏泽供电公司, 山东 菏泽 274000; 4. 东北大学 机械工程与自动化学院,
辽宁 沈阳 110819; 5. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要:针对常见选煤方法存在成本高、自然资源消耗大、环境污染严重,X射线选煤法对于不同厚度的煤和矸石容易出现识别错误等问题,设计了一种基于X射线和光纤传感器的煤与矸石分选系统。该系统首先利用X射线扫描获取煤和矸石X射线图像,经处理后得到图像灰度值;然后采用光纤传感器检测煤和矸石的厚度;最后综合灰度值和厚度确定煤矸识别阈值,实现煤和矸石的分选。实验结果表明,该系统利用煤矸识别阈值能有效识别煤和矸石。

关键词:煤炭开采;煤矸识别;煤与矸石分选;X射线;光纤传感器

中图分类号:TD948 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180718.1710.003.html>

Design of separation system of coal and gangue

YANG Huigang¹, QIAO Zhimin², GAO Huiyan³, LIU Yu⁴, ZHAO Yiding⁵

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Heze University, Heze 274015, China;
2. Department of Automation, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030003, China;
3. Heze Power Supply Company, State Grid Shandong Electric Power Company, Heze 274000, China;
4. School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China;
5. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: In view of problems of high cost, high consumption of natural resources and serious environmental pollution existed in common coal preparation methods and X-ray coal preparation method was easy to occur identification errors for different thickness of coal and gangue, a separation system of coal and gangue based on X-ray and optical fiber sensor was designed. Firstly, X-ray images of coal and gangue are obtained by X-ray scanning, which are processed to get gray value of the images. Then thickness of coal and gangue are measured by optical fiber sensor. Finally, identification threshold value of coal and gangue is determined by integrating gray value and thickness, so as to realize separation of coal and gangue. The experimental result shows that the system can identify coal and gangue effectively through the identification threshold value of coal and gangue.

Key words: coal mining; coal and gangue identification; coal and gangue separation; X-ray; optical fiber sensor

收稿日期:2018-02-01;修回日期:2018-07-15;责任编辑:盛男。

基金项目:中央高校基础研究经费资助项目(N120403011);菏泽学院2017年校基金资助项目(XY17KJ05)。

作者简介:杨慧刚(1989—),男,山东菏泽人,助教,硕士,主要研究方向为模式识别、路径优化,E-mail:yang123gang@126.com。

引用格式:杨慧刚,乔志敏,高绘彦,等.煤与矸石分选系统设计[J].工矿自动化,2018,44(8):91-95.

YANG Huigang, QIAO Zhimin, GAO Huiyan, et al. Design of separation system of coal and gangue[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(8): 91-95.

0 引言

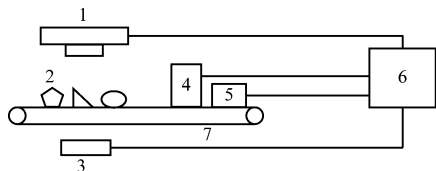
在煤炭生产过程中需要进行选煤,以得到不同质量的煤炭进行综合利用^[1-2]。现阶段,常见的选煤方法有重介质选煤法、跳汰选煤法、浮游选煤法及 γ 射线选煤法^[3],但这些方法存在成本高、自然资源消耗大、环境污染严重等问题。X 射线选煤法在煤和矸石分选过程中不需用水资源,具有成本低、无污染的特点^[4-5],但该方法对于同样厚度的煤和矸石识别有效,对于不同厚度的煤和矸石容易出现识别错误的情况^[6]。鉴此,本文采用光纤传感器检测煤和矸石的厚度,设计了一种基于 X 射线和光纤传感器的煤与矸石分选系统。

1 系统方案

1.1 硬件设计

基于 X 射线和光纤传感器的煤与矸石分选系统主要由 X 射线源模块、探测器模块、光纤传感器模块、气动调节阀分选装置、上位机、带式输送机等组成,如图 1 所示。

(1) X 射线源模块。选用 137801-001 型 X 射线源,其输出电压为 80~160 kV,输出电流为 0~3 mA,输出的 X 射线可轻易穿透煤和矸石。该射线源可通过 RS232 串口与上位机通信,操作简单。



1—X 射线源模块;2—煤和矸石;3—探测器模块;4—光纤传感器模块;5—气动调节阀分选装置;6—上位机;7—带式输送机

图 1 基于 X 射线和光纤传感器的煤与矸石分选系统组成

Fig. 1 Composition of separation system of coal and gangue based on X-ray and optical fiber sensor

(2) 探测器模块。主要包括 X-CARD 线阵探测器和 X-DAQ 数据采集卡,利用探测器采集衰减后的 X 射线,经过数据采集卡处理得到煤和矸石的 X 射线图像。线阵探测器将接收到的衰减后的 X 射线通过内部的闪烁体转换为电信号,并传送到数据采集卡。数据采集卡将线阵探测器传送的电信号转换为数字信号,并通过以太网(或 USB)接口发送到上位机。

(3) 光纤传感器模块。主要包括 FU-6F 型反射式光纤传感器^[7-8]和 FS-N13N 型光纤放大器,用于检测煤和矸石的厚度。光纤传感器将光信号传至

光纤放大器,光纤放大器将光信号转换为电信号输出。由于光纤放大器输出信号为模拟信号,需要进行模数转换。选用 RS-4021M 型模数转换模块将模拟信号转换为数字信号,并通过 RS485/RS232 转换器或 PCI 总线和上位机相连。

1.2 软件设计

系统软件主要包括电源控制模块、图像灰度检测模块^[9]、厚度检测模块和控制模块。

(1) 电源控制模块主要实现 X 射线源的启动和停止、X 射线源电压和电流的设置、系统供电电源的控制。

(2) 图像灰度检测模块对煤和矸石的 X 射线图像进行处理^[10],获取有效的灰度值信息^[11]。

(3) 厚度检测模块主要实现煤和矸石厚度信息的采集、存储和显示^[12]。

(4) 控制模块主要作用是保证系统各部分运行的协调性,即确保采集的数据能够保持同步,并快速对数据进行有效的分析、处理,实现煤和矸石识别,及时发出分选信号。煤和矸石识别流程如图 2 所示。

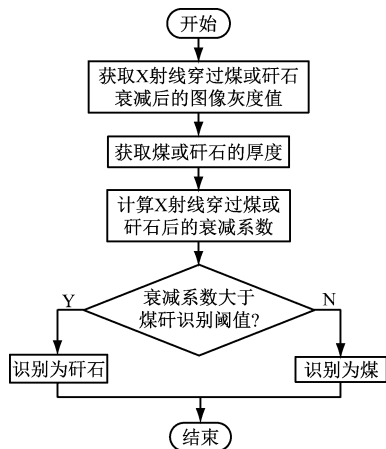


图 2 煤和矸石识别流程

Fig. 2 Coal and gangue identification process

2 系统关键技术

2.1 X 射线源电压和电流设置

X 射线强度过小无法穿透煤或矸石,强度过大会造成大量辐射,因此应选择合适的 X 射线强度。X 射线强度主要通过 X 射线源电压来控制。X 射线源正常工作电压为 150 kV、电流为 500 μ A^[4]。考虑到实验操作的安全性,设置 8 组不同电压,分别为 115,120,125,130,135,140,145,150 kV。煤和矸石的 X 射线图像灰度值与 X 射线源电压之间的关系见表 1。

从表 1 可看出,随着 X 射线源电压的减小(即

X 射线强度的减弱),煤和矸石的 X 射线图像灰度值不断减小,煤和矸石的 X 射线图像灰度值差异先增大后减小,在电压为 140 kV 时煤和矸石的 X 射线图像灰度值差异最大,易于系统识别煤和矸石。因此系统中设置 X 射线源电压为 140 kV、电流为 500 μ A。

表 1 煤和矸石的 X 射线图像灰度值与 X 射线源电压之间的关系

Table 1 Relationship between X-ray image gray value of coal and gangue and X-ray source voltage			
电压/kV	煤 X 射线图像灰度值 f_c	矸石 X 射线图像灰度值 f_g	$f_c - f_g$
115	925	459	466
120	1 170	465	705
125	1 352	480	872
130	1 556	496	1 060
135	1 700	550	1 150
140	1 798	617	1 181
145	1 851	682	1 169
150	1 900	734	1 166

2.2 煤和矸石厚度测量

光纤传感器由光源、入射光纤、接收光纤、光电探测器组成,如图 3 所示。光纤传感器探头由入射光纤和接收光纤组成,光源发出的光经入射光纤射向被测物体,接收光纤接收被测物体表面反射的光并将其传输至光电探测器,光电探测器将光信号转换成电压信号输出。由于光电探测器接收的光强大小与被测物体到光纤传感器探头的距离有关,而光强与光纤传感器输出电压呈线性关系,所以可通过测量光纤传感器输出电压来获得被测物体与光纤传感器探头之间的距离。

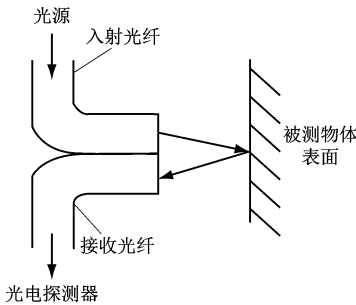
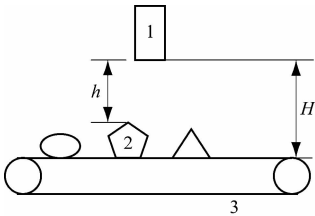


图 3 光纤传感器结构

煤和矸石厚度测量原理如图 4 所示。 H 为光纤传感器探头到输送带表面的距离,为固定值; h 为光纤传感器探头到被测物体表面的距离,即光纤传感器的检测距离。因此被测物体的厚度为



1—光纤传感器探头;2—煤和矸石;3—带式输送机

图 4 煤和矸石厚度测量原理

Fig. 4 Measuring principle of thickness of coal and gangue

$$d = H - h \tag{1}$$

由于输送带具有一定的宽度,被测的煤和矸石在输送带上具体位置不能确定,所以需要在输送带上方沿输送带宽度方向架设多个光纤传感器探头,并使检测范围尽量覆盖整个输送带宽度^[13]。考虑成本因素,在输送带宽度为 1 m 的情况下,可并排设置 16 个光纤传感器探头。

实验测得被测物体与光纤传感器探头之间的距离 h 和光纤传感器输出电压 U 的关系,见表 2。

表 2 被测物体与光纤传感器探头之间的距离和光纤传感器输出电压之间的关系

Table 2 Relationship between distance between measured object and probe of optical fiber sensor and output voltage of optical fiber sensor

h/cm	U/V	h/cm	U/V
0	5.0	20	1.2
5	3.1	25	0.7
10	2.3	30	0.4
15	1.6	35	0.1

利用最小二乘法^[14]拟合得

$$U = -0.126h + 4.008 \tag{2}$$

由式(1)和式(2)可得

$$d = H + 7.937U - 31.81 \tag{3}$$

因此,煤和矸石的厚度可通过光纤传感器输出电压 U 和光纤传感器探头到输送带表面的固定距离 H 计算得到。

2.3 煤矸识别阈值确定

X 射线衰减公式为

$$I = I_0 \exp(-ud) \tag{4}$$

式中: I_0 、 I 分别为 X 射线穿过物体前后的强度; u 为衰减系数; d 为被穿透物体的厚度。

由式(4)可得

$$u = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{d} \tag{5}$$

由于 X 射线强度与 X 射线图像灰度值之间呈正比关系,由式(5)可得

$$u = \frac{1}{d} \ln \frac{f_0}{f} \tag{6}$$

式中 f_0, f 分别为 X 射线穿过物体前后对应 X 射线图像的灰度值。

由于煤和矸石所含元素、密度不同,对 X 射线的吸收系数不同,X 射线在穿透煤和矸石后衰减程度也会不同。利用探测器模块采集的煤和矸石 X 射线图像获取最小灰度值,同时利用光纤传感器检测煤和矸石的厚度,便能计算出 X 射线穿过煤和矸石的衰减系数。

设 X 射线穿过第 $1, 2, \cdots, i$ 块煤的衰减系数分别为 $u_{c1}, u_{c2}, \cdots, u_{ci}$, X 射线穿过第 $1, 2, \cdots, i$ 块矸石的衰减系数分别为 $u_{g1}, u_{g2}, \cdots, u_{gi}$, 则 X 射线穿过煤的平均衰减系数 $\bar{u}_c$ 和 X 射线穿过矸石的平均衰减系数 $\bar{u}_g$ 分别为

$$\bar{u}_c = \frac{u_{c1} + u_{c2} + \cdots + u_{ci}}{i} \tag{7}$$

$$\bar{u}_g = \frac{u_{g1} + u_{g2} + \cdots + u_{gi}}{i} \tag{8}$$

由此得出煤矸识别阈值^[15]为

$$T = \frac{\bar{u}_c + \bar{u}_g}{2} \tag{9}$$

3 实验结果分析

对大量煤和矸石进行实验得到各自最小灰度值和厚度,将实验数据代入式(6)一式(8),得出 $\bar{u}_c$ 约为 7.70, $\bar{u}_g$ 约为 16.02, X 射线穿过煤和矸石的衰减系数有明显的差异性,根据式(9)计算得出煤矸识别阈值 $T=11.86$ 。为验证煤矸识别阈值设置的有效性,各取 20 组煤和矸石,测量煤和矸石 X 射线图像最小灰度值和厚度,并根据式(6)求取 X 射线穿过煤和矸石的衰减系数(初始未衰减的 X 射线图像灰度值取 2 500),见表 3、表 4。可看出 X 射线穿过

表 3 X 射线穿过煤的衰减系数

Table 3 Attenuation coefficient of X-ray through coal					
最小灰度值	厚度/cm	衰减系数	最小灰度值	厚度/cm	衰减系数
1 262	10.63	6.42	1 240	8.91	7.78
1 182	9.95	7.49	818	12.39	8.99
1 435	9.17	6.01	1 376	9.21	6.96
1 302	9.32	6.95	1 332	7.60	8.29
1 628	6.98	6.13	874	10.16	10.33
1 274	11.29	6.43	869	9.65	10.95
1 701	7.21	5.32	892	11.14	9.26
1 577	8.37	5.48	1 901	3.78	7.21
760	21.82	5.45	803	13.14	8.63
850	10.23	10.48	737	12.85	9.49

表 4 X 射线穿过矸石的衰减系数

Table 4 Attenuation coefficient of X-ray through gangue					
最小灰度值	厚度/cm	衰减系数	最小灰度值	厚度/cm	衰减系数
734	8.50	14.41	791	7.32	15.67
851	6.60	16.32	741	8.74	13.85
867	6.95	15.23	583	9.81	14.71
584	8.25	17.62	500	10.70	14.85
489	9.97	16.82	576	9.15	15.97
692	7.71	16.51	730	6.91	17.78
438	10.10	17.14	491	10.30	15.74
633	7.53	18.20	823	8.17	13.52
543	8.91	17.12	417	9.93	18.03
1 034	5.90	14.70	902	6.23	16.33

煤的衰减系数总体在 11 以下,X 射线穿过矸石的衰减系数总体在 11 以上,表明煤矸识别阈值设置合理,可有效识别煤和矸石。

4 结语

基于 X 射线和光纤传感器的煤与矸石分选系统利用 X 射线扫描获取煤和矸石 X 射线图像,并经过处理得到图像灰度值,采用光纤传感器检测煤和矸石的厚度,通过灰度值和厚度确定煤矸识别阈值,消除了不同煤和矸石厚度对识别的影响,有效实现了煤和矸石的自动分选。

参考文献(References):

[1] 石焕,程宏志,刘万超.我国选煤技术现状及发展趋势[J].煤炭科学技术,2016,44(6):169-174.
SHI Huan, CHENG Hongzhi, LIU Wanchao. Present status and development trend of China's coal preparation technology [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(6): 169-174.

[2] ZHENG Gangfeng. Slime heavy medium cyclone advantages in coal production [J]. Filtration + Separation, 2016, 53(2): 40-45.

[3] 程学珍,王伟,卫阿盈.煤与矸石在线分选系统设计[J].工矿自动化,2013,39(8):95-98.
CHENG Xuezheng, WANG Wei, WEI Aying. Design of online separation system for coal and gangue[J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(8): 95-98.

[4] 杨慧刚,乔志敏.基于 X 射线和机器视觉的煤与矸石分选系统设计[J].工矿自动化,2017,43(3):85-89.
YANG Huigang, QIAO Zhimin. Design of separation system of coal and gangue based on X-ray and machine vision[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(3): 85-89.

[5] CHEN Xiaohui, LI Xiaoya, MA Yuncan, et al. Optimization of a femtosecond laser generated x-ray source for pulsed radiograph[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2016, 806: 378-382.

[6] 霍平,曾翰林,霍柯言. 基于图像处理的煤/矸密度识别系统的研究[J]. 选煤技术,2015(2):69-73.
HUO Ping,ZENG Hanlin,HUO Keyan. Research on density identification system of coal and refuse based on image processing technology[J]. Coal Preparation Technology,2015(2):69-73.

[7] 杨秋虎. 基于强度调制的光纤位移传感器信号处理技术研究及电路实现[D]. 武汉:华中科技大学,2011: 21-29.

[8] 廖圣华. 基于光纤传感器的表面轮廓检测系统研究与开发[D]. 武汉:华中科技大学,2012:31-35.

[9] 孙继平,余杰. 基于支持向量机的煤岩图像特征抽取与分类识别[J]. 煤炭学报,2013,38(增刊2): 508-512.
SUN Jiping, SHE Jie. Coal-rock image feature extraction and recognition based on support vector machine[J]. Journal of China Coal Society,2013,38 (S2):508-512.

[10] 米强,徐岩,刘斌,等. 煤与矸石图像纹理特征提取方法[J]. 工矿自动化,2017,43(5):26-30.
MI Qiang,XU Yan,LIU Bin,et al. Extraction method of texture feature of images of coal and gangue[J]. Industry and Mine Automation,2017,43(5):26-30.

[11] 孙继平,余杰. 基于小波的煤岩图像特征抽取与识别[J]. 煤炭学报,2013,38(10):1900-1904.
SUN Jiping,SHE Jie. Wavelet-based coal-rock image feature extraction and recognition[J]. Journal of China Coal Society,2013,38(10):1900-1904.

[12] 宋剑. 基于图像特征的煤与矸石识别算法研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2016:43-47.

[13] 黄洪涛,关建军. 基于机器视觉的煤炭自动识别分拣系统研究[J]. 电子设计工程,2017,25(14):162-166.
HUANG Hongtao, GUAN Jianjun. Research on automatic coal recognition and sorting system based on machine vision[J]. Electronic Design Engineering, 2017,25(14):162-166.

[14] LIU Congshan, LI Xiangbao, YANG Yupu. Text classification algorithm based on neighborhood component analysis[J]. Computer Engineering,2012, 38(15):139-141.

[15] LU Jiwen, ZHOU Xiuzhuang, TAN Y P, et al. Neighborhood repulsed metric learning for kinship verification[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2014, 36(2): 331-345.