

选煤厂浓缩机煤泥水沉积界面超声波感知技术

朱子祺¹, 吕一波²

(1. 国家能源集团 神东洗选中心, 陕西 榆林 719315; 2. 黑龙江科技大学 矿业工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150022)

摘要:浓缩机中煤泥水沉积界面是描述浓缩机工作状态重要技术参数,对指导煤泥水絮凝剂加药量等参数控制具有重要意义。笔者利用翻转式人工采样器对神东洗选中心煤制油选煤厂浓缩机中煤泥的浓度分布和粒度分布规律进行研究,沿着径向等距选取 100~13 100 mm 范围内的 14 个点、深度 100~4 900 mm 范围内的 16 个位置,共设置 195 个采样点。研究表明,浓缩机中从表层往下的煤泥水浓度逐渐升高,3 600 mm 以下的煤泥浓度急剧升高且出现波动,煤泥水沿浓缩机径向水平分布的浓度变化与采样半径无关。利用超声探测原理设计制造了超声波测试平台,设定超声工作频率为 66 MHz,由于超声波在煤泥水中传播时受煤泥水中煤泥的影响而出现衰减现象,以此来检测浓缩机中不同深度的煤泥水浓度,从而计算浓缩机中煤泥水沉积界面深度。试验结果表明,煤泥水浓度与超声波发射接收频率差具有良好的线性关系。对浓缩机生产状态和停产状态时的清水层高度进行测试,并与人工检测的清水层高度结果进行对比,结果表明,超声波测试平台检测指标与人工测试指标差在 46~57 mm,可取代人工测试,实现了浓缩机沉积界面参数的自动化检测,为后续煤泥水絮凝剂沉降过程的自动化控制提供重要依据。

关键词:煤泥水;沉积界面;超声波;沉降

中图分类号:TD94

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2019)05-0162-05

Ultrasonic sensing technology of coal slime water deposition interface in the thickener of coal preparation plant

ZHU Ziqi¹, LYU Yibo²

(1. CHN Energy Shendong Coal Preparation Center, Yulin 719315, China; 2. School of Mining Engineering, Heilongjiang University of Science & Technology, Harbin 150022, China)

Abstract: The coal slime water deposition interface is an important technical parameter to describe the working state of the thickener. It is of great significance to guide the parameter control of slurry flocculant dosage. In this paper, the object is the rule of the distribution of coal slime concentration and particle size in the thickener of shendong coal preparation center coal preparation oil preparation plant. 14 points from 100 mm to 13 100 mm and 16 positions from 100 mm to 4 900 mm were selected along radial equidistance, and 195 sampling points were set altogether. The results show that the concentration of coal slime water in the thickener is higher as it goes down from the surface, the concentration of coal slime below 3 600 mm increases sharply and there is fluctuation. The concentration of coal slime water along the radial horizontal distribution of the thickener changes independently of the sampling radius. Ultrasonic testing platform is designed and manufactured by ultrasonic detection principle, the operating frequency of ultrasonic is set as 66 MHz. When ultrasonic wave propagates in coal slime water, the ultrasonic wave would attenuate affected by coal slime in coal slime water. This phenomenon was used to detect the concentration of coal slime water at different depths in the thickener, thus the depth of coal slime water deposition interface in the thickener was calculated. The results show that there is a good linear relationship between the concentration of coal slime water and the difference of ultrasonic transmitting and receiving frequency. The height of fresh water layer during the production and shutdown of the thickener was tested respectively, and the results were compared with the artificial detection of the height of the fresh water layer. The experiment shows that the index difference value between ultrasonic testing platform and manual testing is 46~57mm. It can replace manual

收稿日期:2019-09-03;责任编辑:张晓宁 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.19090316

作者简介:朱子祺(1982—),男,江苏徐州人,高级工程师,主要从事煤岩富集和煤泥水研究。E-mail:61967312@qq.com

引用格式:朱子祺,吕一波.选煤厂浓缩机煤泥水沉积界面超声波感知技术[J].洁净煤技术,2019,25(4):162-166.

ZHU Ziqi, LYU Yibo. Ultrasonic sensing technology of coal slime water deposition interface in the thickener of coal preparation plant[J]. Clean Coal Technology, 2019, 25(4): 162-166.



移动阅读

test and realize automatic detection of deposition interface parameters of thickener. This test platform provides an important basis for automatic control of the subsequent sedimentation process of coal slime water flocculation.

Key words: coal slime water; deposition interface; ultrasonic; sedimentation

0 引言

煤炭占世界化石燃料已探明储量的90%以上,是重要的不可再生资源^[1-4]。我国原煤产量占一次能源总产量70%以上,且在相当长一段时间内,我国仍以煤炭作为主要能源^[5]。煤炭分选过程大部分都以水为介质,通常每产1 t煤产生3~5 m³煤泥水^[6]。我国大部分煤炭属于高灰分、易泥化煤种,在机械化采煤过程中,细颗粒含量较多,造成煤泥水难以沉降。如果直接外排煤泥水,将严重污染环境,同时浪费大量资源,因此采用浓缩机回收煤泥水具有重要意义。

煤泥水在浓缩机沉降过程中,其沉降界面的测定是反映煤泥水沉降过程和药剂效果的重要参数,是浓缩机工作效果的评价指标。浓缩机的沉积界面上方为清水层,煤泥水浓度低,清水层高度值越大,说明煤泥水沉积效果好;沉积界面以下为沉降区域,煤泥水浓度高,煤泥颗粒在该区域完成进一步沉降。选煤厂煤泥浓缩机缺少探测仪器,导致无法实时测量沉积界面,使沉降界面的测量存在较大误差^[7-9],因此研究煤泥水沉降界面的感知技术具有重要的现实意义。界面检测方法可分为接触测量法和非接触测量法,其中接触测量法包括直读法、静压法、浮力法、电容式测量法等;非接触测量法包括同位素、超声波、雷达测量法等。生产中最常用的方法是超声波与电容式界面检测法。超声波技术具有非接触、精度高以及无损等优点,随着超声波技术的深入研究,相关应用更加广泛。利用超声波进行定位和测距的原理有多种,其中常见的有声波幅值检测、时间检测以及相位检测等^[10-11]。超声波在传输过程中,介质中的传播速度以及传输时间均会对检测结果产生影响。文献[12]采用超声波技术研究了污泥浓度自动跟踪测量界面的方法,并设计了测量污泥界面的计量仪器;文献[13]通过单片机的方式设计了污泥界面的测量系统,对污水处理厂的沉淀泥水进行测量。而煤炭浓缩机沉积界面检测的相关研究鲜见报道。本文采用翻转式人工采样器,研究了神东洗选中心煤制油选煤厂浓缩机中煤泥的浓度分布和粒度分布规律,并利用超声探测原理设计制造了超声波测试平台,检测浓缩机中不同深度的煤泥水浓度,从而计算浓缩机中煤泥水沉积界面深度,以期为

后续煤泥水絮凝沉降过程的自动化控制提供参考。

1 试验

1.1 采样点

为掌握神东洗选中心煤制油选煤厂浓缩机煤泥浓度分布与煤泥粒度分布规律,通过煤泥沉积层探测传感器,沿径向等距选取100~13 100 mm中的14个点、深度100~4 900 mm中的16个位置,共195个采样点,并分别进行探测,如图1所示。

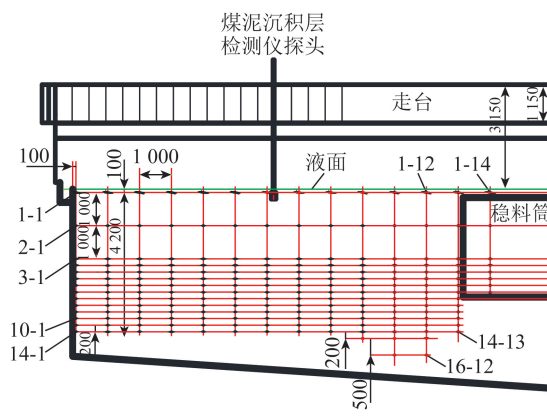


图1 浓缩机采样点

Fig.1 Sampling point of concentrator

1.2 浓缩机煤泥水沉积界面检测

1.2.1 煤泥水采样

2019年7月13—14日,选煤厂入料量稳定在950 t/h左右,其中阳离子型凝剂加入量为0.9 m³/h,阴离子型加药量在0.6 m³/h左右,浓缩机底流质量浓度350 g/L左右,各参数较稳定。通过人工采样器采集现场煤泥水作为试验试样,如图2所示。



图2 人工采样器

Fig.2 Manual sampler

采样器线上标注采样深度,旋转手柄,调节取样

深度,将取样器放入煤泥水中,取样器瓶口朝下并在重力作用下进入煤泥水中,取样瓶到达设计取样深度时,放松取样瓶底部的拉线,取样瓶底部向下运动,瓶口翻转向上,该点煤泥水进入取样瓶中后,将取样瓶拉起,得到浓缩机中的煤泥水试验样品。将取样瓶中的煤泥水倒入 500 mL 器皿中,备用。

1.2.2 浓缩机沉积界面检测方法

为了测量浓缩机中煤泥水界面位置,煤泥水浓度是重要指标,其测量方法为取 500 mL 煤泥水试样过滤后,取滤渣烘干至质量不再变化,待煤泥冷却至室温后称重,计算煤泥水浓度。

采用 CUS71 型超声波发生系统、示波器(深圳

市邦亚电子科技有限公司,GDS-1072-A-U)、双路数字信号发生器(江苏瑞特电子设备有限公司,SG1020)搭建超声界面测试平台。分析超声波在煤泥水中的传播波形及传播速度,以及不同浓度下超声波传播速度的变化规律,测量浓缩机煤泥水沉积界面。

2 结果与讨论

2.1 浓缩机内部浓度规律

煤泥水中煤泥质量与煤泥水体积比,称为煤泥水浓度。采用人工方法进行浓度检测,浓缩机试验样品浓度见表 1。

表 1 浓缩机内部不同半径、深度各采样点的煤泥水浓度

Table 1 Relation of slurry water concentration at sampling points of different radius and depth in concentrator

采样深度/ mm	煤泥水浓度/(g·L ⁻¹)													
	100	1 100	2 100	3 100	4 100	5 100	6 100	7 100	8 100	9 100	10 100	11 100	12 100	13 100
100	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	20.9
1 000	0.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.2	1.2	0.5	1.2	0.6	0.2	0.4	14.6
2 000	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	20.8
2 200	0.6	0.7	1.4	1.4	0.4	1.3	0.9	0.2	2.4	0.9	2.4	0.7	5.6	15.6
2 400	3.1	2.0	3.3	2.3	4.0	3.5	5.1	5.1	5.3	4.0	5.5	6.1	7.0	20.9
2 600	5.5	5.0	5.5	6.8	6.5	4.1	6.3	5.8	6.0	6.6	6.4	6.7	8.6	15.4
2 800	7.3	6.8	8.2	6.8	5.1	6.5	6.2	6.7	6.1	6.7	6.0	8.2	8.6	19.5
3 000	8.0	8.9	7.8	8.2	8.0	7.4	6.8	9.1	7.6	8.8	9.0	9.4	9.0	20.2
3 200	8.1	8.4	7.5	8.6	8.0	9.1	6.1	7.4	10.0	10.2	11.2	8.9	9.3	
3 400	9.4	8.3	8.8	8.3	7.9	8.2	8.7	8.4	9.1	9.0	8.8	9.0	8.9	
3 600	11.1	11.4	11.5	10.7	8.4	10.9	10.4	8.3	9.5	11.5	11.3	10.9	11.9	
3 800	18.1	12.3	11.1	8.6	12.5	12.1	12.8	11.2	13.0	11.3	14.6	13.4	10.7	
4 000	18.1	14.2	16.7	12.7	10.4	11.9	12.8	11.7	6.6	9.0	9.7	8.8	7.0	
4 200	22.2	18.8	14.8	11.7	13.2	12.4	15.9	15.2	13.2	13.4	12.4	13.3	13.7	
4 400										25.5	20.9	25.4	21.3	
4 900											123.2	157.4		

注:100,1 100,2 100,⋯,13 100 为采样点与浓缩机溢流堰的距离,mm。

由表 1 可知,浓缩机内部不同半径、深度各采样点的煤泥水浓度波动很小,说明试验结果可信。采样深度 100~3 600 mm 时,煤泥水浓度逐渐升高;3 600~4 000 mm,煤泥水浓度波动较大;4 000 mm 以上,煤泥水浓度急剧升高。煤泥浓缩池稳定状态下,从液面到池底纵向可划分为 A、B、C、D、E 五个区。为了简化浓缩池区域,可以将 A+B 区称为澄清层,D+E 区称为煤泥沉积界面,C 区高度很小,称为临界区域。当煤泥水质量浓度大于 12 g/L 时,超声波会发生反射,此时程序计算的距离为澄清层高度,浓缩机总深度为 5 500 mm,则两者相减即可得到煤

泥沉积层高度。

当采样深度不超过 3 000 mm 时,煤泥水浓度与采样半径无关;采样半径为 13 100 mm 时,煤泥水浓度增加幅度最大;采样半径在 100~13 100 mm 时,随着采样深度的增加,煤泥水浓度均呈增加趋势,这与煤泥水的沉降有较大关系;采样半径大于 13 100 mm 时,采样深度与煤泥水浓度无明确关系。

2.2 浓缩机清水层高度

设超声波传播速度为 c ,则其在煤泥水中的速度可表示为: $c = (1/\rho k_1)^{1/2}$ (其中, ρ 为煤泥水的密度, k_1 为绝热压缩系数)。超声波换能器发射信号

后,经煤泥沉积层进行反射,超声波接收器收到回波信号所用时间为 t ,则超声波探头到煤泥沉积界面之间的距离 $h = ct/2$ 。

超声波在液体中的传播速度受压缩系数和密度的影响,由于温度对液体的密度和绝热压缩性能有直接影响,故超声波传播速度对温度的变化较为敏感,因此必须考虑同一传输介质中,不同温度下传播速度的变化。声速测量的准确性直接关系到最终测距的准确性,在液体介质中传播,影响超声波传播速度的主要因素是温度,还包括液体媒介的压力和黏度等因素。考虑温度对传播速度的影响,采用温度补偿经验公式: $c \approx 1402.3 + 5.0654T + 0.0618T^2$ (T 为传播媒介的温度)进行计算。由此利用超声波测量测试平台,对浓缩机沉积界面浓度进行测试,试验结果见表2。

表2 煤泥水浓度、浊度对超声波频率的影响

Table 2 Effect of slurry water concentration and turbidity on ultrasound frequency

煤泥水浓度/ ($g \cdot L^{-1}$)	煤泥采样 深度/mm	发射频率/ MHz	接收频率/ MHz	发射与接收频率 的差值/MHz
8.10	3 569	66.20	66.043	0.057 56
8.27	3 669	66.20	66.093	0.071 60
9.84	3 769	66.05	66.029	0.011 76
10.99	3 869	66.05	66.015	0.025 20
12.04	3 969	66.20	66.097	0.030 60
12.26	4 069	66.05	66.007	0.033 66

随浓缩机内部煤泥水深度增加,煤泥水浓度增大,煤泥水介质密度的变化直接超声波的反射。随着煤泥水浓度增高,煤泥水密度增大,在浓缩机内部形成一个沉积界面。超声波发生系统以固定发射频率(66 MHz)时,超声波在煤泥水中传播受煤泥水浓度、浊度的影响,声波频率呈衰减趋势,超声波传播过程中遇到沉积界面仍有很好的反射峰值,超声波

发生系统检测到反射波,并计算得到沉积界面高度。通过试验发现,超声波可以用于煤泥水沉积界面的预测。

为了验证超声波发生系统可取代人工方式测量沉积界面,对超声波与人工检测的清水层高度进行对比分析,测试结果见表3。

由表3可知,通过人工与超声波2种检测方法所得结果相差不大,超声波与人工测试指标差在46~57 mm,说明超声波系统测量浓缩机沉积界面可以取代人工测量方式。

表3 超声波与人工检测清水层高度对比

Table 3 Comparison of surface height by ultrasonic detection and manual detection

临界浓度/ ($g \cdot L^{-1}$)	人工测澄 清水层高度 /mm	超声波检 测澄清层 高度/mm	煤泥沉积 界面高度/ mm	发射频 率/MHz	接收频 率/MHz
12.13	3 655	3 599	1 902	66.20	66.042 8
11.95	3 705	3 648	1 853	66.00	66.092 8
12.31	3 755	3 702	1 799	66.06	66.028 2
12.44	3 735	3 686	1 815	66.06	66.014 8
11.86	3 815	3 767	1 734	66.20	66.096 0
12.35	3 865	3 819	1 682	66.05	66.006 3

为了获取沉积界面信号,需掌握煤泥水沉降过程中沉降界面与输出电流的关系。通过试验分别测定了停产和正常生产状态下的浓缩机清水层厚度(表4、5)。

由表4、5可知,正常生产过程中,煤泥水性质基本稳定,因此,输出电流基本稳定。由此反映出电流信号与沉积界面的变化规律,将电流信号传送到调度室,实现上位机显示浓缩机沉积的变化情况,为选煤厂智能化提供决策信息。

表4 停产3 h后不同取样点与清水层高度关系

Table 4 Relation between different sampling points and clear water layer height after 3 hours of shutdown

测量地点	1	2	3	4	5	6	7	8
清水层高度/mm	3 845	4 085	4 245	4 375	4 575	4 775	5 015	4 970(电流为 12.0 mA)

表5 正常生产情况下不同取样点与清水层高度关系

Table 5 Relationship between different sampling points and clear water layer height under normal production conditions

测量地点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
清水层高度/mm	3 610	3 600	3 640	3 670	3 700	3 740	3 770	3 690	3 560
输出电流/mA	9.8	9.7	9.8	9.9	9.9	10.0	10.0	9.9	9.7

3 结 论

1) 利用超声波在煤泥水中传播时受煤泥水中煤泥的影响而出现衰减的现象,检测浓缩机中不同深度的煤泥水浓度,从而计算出浓缩机中煤泥水沉积界面深度。试验结果表明,煤泥水浓度与超声波发射接收频率差具有良好的线性关系。

2) 对浓缩机中生产状态和停产状态时的清水层高度进行测试,并与人工检测的清水层高度进行对比,可以取代人工测试,实现了浓缩机沉积界面参数的自动化检测。

3) 浓缩机中从表层往下的煤泥水浓度逐渐升高,3 600 mm 以下的煤泥浓度急剧升高且出现波动,煤泥水沿浓缩机径向水平分布的浓度变化与采样半径无关。

参考文献(References):

- [1] 李欣芮,周蜜,段昱,等.世界煤炭储量预测及研究[J].科技创新导报,2017(11):37-39.
LI Xinrui,ZHOU Mi,DUAN Yu,et al. Prediction and research of world coal reserves[J].Science and Technology Innovation Herald, 2017(11):37-39.
- [2] 王猛,汤家轩,倪斌,等.澳大利亚与我国煤炭资源储量评估规则对比研究[J].中国煤炭,2017,43(5):137-140.
WANG Meng,TANG Jiaxuan,NI Bin,et al. A comparative study on estimation and evaluation rules of coal resource and coal reserve in Australia and China.[J].China Coal,2017,43(5):137-140.
- [3] 彭北桦,董大啸,王佟.国际常见煤炭资源/储量分类标准对比探讨[J].西安科技大学学报,2017,37(6):899-905.
PENG Beihua,DONG Daxiao,WANG Tong. Comparative analysis of popular coal resource and reserve classification standards in the world[J].Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2017,37(6):899-905.
- [4] MOLAYEMAT H,TORAB F M,PAWLOWSKY-GLAHLN V,et al. The impact of the compositional nature of data on coal reserve evaluation,a case study in Parvadeh IV coal deposit,Central Iran[J].

International Journal of Coal Geology,2018,188:94-111.

- [5] 刘畅,孙超.未来中长期我国煤炭需求预测[J].中国煤炭,2017,43(10):5-9.
LIU Chang,SUN Chao.Long-term future prediction of China's coal demand[J].China Coal,2017,43(10):5-9.
- [6] 赵寒絮.微波辐照辅助煤泥水沉降试验研究[D].淮南:安徽理工大学,2016.
ZHAO Hanxu.Research on the settlement of coal slurry with microwave [D].Huainan: Anhui University of Science and Technology,2016.
- [7] CARULLO A,PARVIS M.An ultrasonic sensor for distance measurement in automotive application [J].IEEE Sensors Journal, 2001,1(2):143-146.
- [8] FERNANDO FIGUEROA J,JOHN S,LAMANCUSA.A method for accurate detection of time of arrival analysis and design of an ultrasonic ranging system [J].The Journal of the Acoustical Society of America,1992,91(1):486-494.
- [9] 田晓娟.基于单片机的超声波淤泥界面检测系统的开发[D].济南:山东轻工业学院,2008.
TIAN Xiaojuan. Research on ultrasonic sludge interface detection system based on single-chip microcomputer [D].Jinan: Shandong Institute of Light Industry,2008.
- [10] 王化祥.自动检测技术[M].北京:化学工业出版社,2004.
WANG huaxiang. Automatic measurement technique [M].Beijing: Chemical Industry Press,2004.
- [11] 林二妹.基于 AT89S51 单片机的超声波测距系统设计[J].陕西科技大学学报,2013,31(4):127-130.
LIN Ermei. Ultrasonic ranging system design based on SCM AT89S51 [J].Journal of Shanxi University of Science & Technology,2013,31(4):127-130.
- [12] MAVIOLI D,SARDINI E,TARONI A.Ultrasonic distance measurement for linear and angular position control [J].IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1988, 37 (12): 578-581.
- [13] 崔洽.小波分析在超声检测信号处理中的应用研究[D].长沙:湖南大学,2012.
CUI Zhi.The research and application of wavelet analysis in ultrasonic signal processing [D].Changsha: Hunan University,2012.