

气力输送小流量煤粉在线流量超声测量

严祯荣¹, 罗晓明¹, 侯怀书²

(1. 上海市特种设备监督检验技术研究院, 上海 200333; 2. 上海应用技术学院, 上海 201418)

摘要:为了提高煤粉工业锅炉的清洁燃烧性能, 利用超声波检测的优势, 开展了小流量煤粉浓度与衰减预测分析, 研究了煤粉流量超声在线测量系统。结果表明, 对于流量 500 kg/h 的小流量和 60 ~ 80 μm 的小粒径煤粉, 超声在线测量系统实现了较精确测量, 其称重测量和超声测量的流量误差在 5.6% 左右。研究表明, 在线超声测量法在测量 60 ~ 80 μm 小粒径的煤粉流量具有明显优势, 该技术的应用将为 4 t/h 左右的小型燃煤粉工业锅炉的清洁燃烧提供科学的检测手段。

关键词:煤粉工业锅炉; 小流量; 超声波测量; 衰减预测; 清洁燃烧

中图分类号: TK224; TQ536 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2015)02-0122-03

Online flow ultrasonic measurement of small flow pulverized coal by pneumatic conveying

YAN Zhenrong¹, LUO Xiaoming¹, HOU Huaishu²

(1. Shanghai Institute of Supervision and Inspection Techniques for Special Equipment, Shanghai 200333, China;

2. Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

Abstract: In order to improve clean combustion performance of industrial pulverized coal boiler, the concentration and attenuation cycle of small flow pulverized coal were analyzed using ultrasonic detection. The pulverized coal flow of ultrasonic online measurement system was introduced. The results showed that the minimum flow could be controlled at 500 kg/h and the 60 μm to 80 μm small pulverized coal particle size could be measured accurately. The error between weighing measurement and ultrasonic measurement was about 5.6%. The pulverized coal flow online ultrasonic measurement had obvious advantages in measuring the flow of 60 μm to 80 μm , its application was able to improve clean combustion performance of 4 t/h pulverized coal industrial boiler.

Key words: industrial pulverized coal boiler; small flow; ultrasonic measurement; attenuation prediction; clean combustion

0 引 言

我国燃煤工业锅炉量大分布广, 普遍采用煤场堆放和人力上煤, 且燃烧效率低, 带来了极其严重的环境污染。采用密闭输粉给煤系统的煤粉工业锅炉技术是煤清洁燃烧技术最有发展前途的一种, 其在环保性能、燃烧效率、运行成本、小容量适应性和煤种适应性等方面具有绝对优势, 在我国已有大量成功推广应用^[1-3]。然而, 为了更准确检测煤粉工业锅炉的热效率, 运行煤粉消耗量的计量是个难题。

针对煤粉浓度测量的微波法^[4]、电磁法^[5]、激光法^[6]、电容法^[7]、压降法^[8]等多种测量手段由于存在一定缺点, 难以工业应用。然而, 超声波检测法具有明显的优势^[9]。尤其超声波法在测量煤粉流量的优势更明显, 可准确测量空气的流速并且不受温度变化和煤粉种类的影响; 对煤粉颗粒粒度在某一范围内的变化不敏感; 可以测量浓度较高时的煤粉流量; 校准时只需要较少的基础参数; 检测设备价格相对较低, 容易接受; 检测系统可以在不同的磨煤机之间传输。都伟杰等^[10]利用超声波相关函数法对

收稿日期: 2014-12-01; 责任编辑: 孙淑君 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2015.02.028

基金项目: 上海市质量技术监督局科研计划资助项目(2013-51); 国家质量监督检验检疫总局科研计划资助项目(2009QK112)

作者简介: 严祯荣(1972—), 男, 四川岳池人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事特种设备安全检验技术和节能技术研究。E-mail: yanzr2010@163.com

引用格式: 严祯荣, 罗晓明, 侯怀书. 气力输送小流量煤粉在线流量超声测量[J]. 洁净煤技术, 2015, 21(2): 122-124.

YAN Zhenrong, LUO Xiaoming, HOU Huaishu. Online flow ultrasonic measurement of small flow pulverized coal by pneumatic conveying[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(2): 122-124.

粒径 140 ~ 200 μm 的电厂煤粉流量进行了试验研究,石喜光等^[11]应用超声波法对管内气固两相流密度进行了测量研究。然而关于超声波检测方法用来测量小煤粉流量,尤其是测量小粒径煤粉的报告和应用还比较少。为此,开展小流量煤粉的超声衰减分析,开发相应的小流量煤粉在线超声测量系统,在 1 台 4 t/h 左右的小型燃煤粉工业锅炉上进行在线煤粉流量测量,为小型燃煤粉工业锅炉的系统能效测试提供精确的测试手段。

1 研究方法

1.1 煤粉流量超声波检测的理论模型

超声波在煤粉气固两相流中传播时,由于煤粉颗粒的散射与吸收等作用引起超声衰减。以液固两相流的测量理论为基础,考虑到煤粉颗粒粒度均为微米级,与介质中传播的超声波长相比较满足瑞利散射条件,可以忽略由于超声复散射所造成的衰减影响。此时只考虑由于煤粉吸收以及热损耗、散射所造成的超声衰减,将 McClements 与 BLBL 理论模型应用于气固两相流测量中。McClements 模型主要考虑由于吸收与热损耗所造成的声衰减,该模型中超声复波系数 k 按文献[12]计算;BLBL 模型主要描述的是声散射对颗粒两相介质中声衰减的贡献,该模型不包含对黏性损失和热耗散损失的描述,因此在建模过程中无须引入太多的物性参数,其衰

减系数 α_s 和消声效率 K 按文献[12]计算。

1.2 煤粉颗粒浓度与衰减预测分析

利用 McClements 叠加 BLBL 理论模型,分别对粒径为 10 ~ 30、60 ~ 80、100 ~ 120 μm 的煤粉颗粒做浓度与衰减预测分析,如图 1 所示。由图 1a 可知,随煤粉颗粒的浓度增加,衰减系数基本呈线性增加且检测频率越高衰减越明显,表明实际检测时在满足检测信号分辨率的情况下应选择尽可能高的超声频率,此外,如果选用某固定频率检测,测得 2 个浓度下的声衰减系数即可确定衰减-浓度曲线斜率,从而实现任意衰减系数所对应的颗粒相浓度测量。由图 1b 可知,当颗粒粒径大于 10 μm ,衰减系数随粒径的增加单调递减,说明在已知煤粉颗粒浓度的情况下,通过测量衰减系数可以得到唯一的颗粒粒径;当煤粉颗粒粒径大于 200 μm ,衰减系数对粒径的变化不再敏感,这意味着当颗粒相粒径小于 200 μm 时,黏性损失和热损失对粒径较为敏感,原因是相同体积浓度下,颗粒粒径越小则颗粒数目越多,由温度梯度造成的热衰减越大,此外粒径越小的颗粒在相同声压场内的振荡越明显,由此造成的黏性损失越大。由图 1c 可知,煤粉颗粒粒径越小对超声频率越敏感,在检测煤粉气固两相流之前需要确认煤粉颗粒的粒径分布以及平均粒径,据此选取合适的检测超声频率就可以提高检测灵敏度与检测精度。

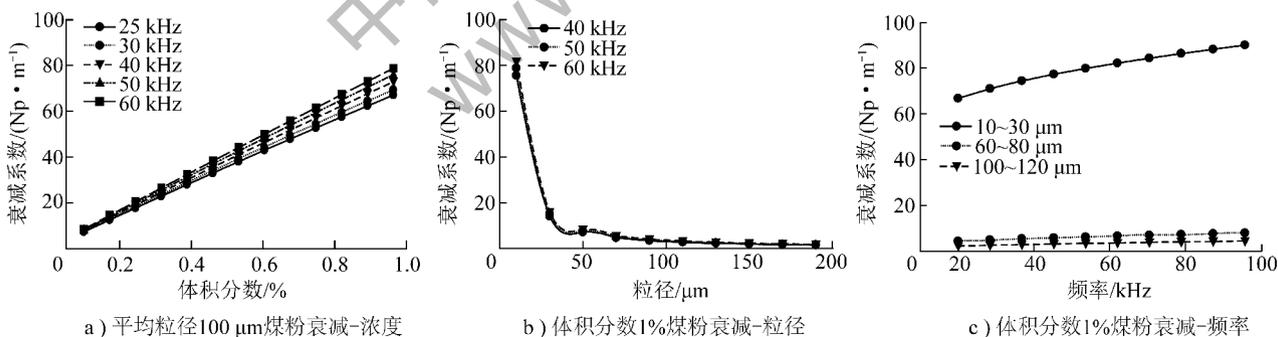


图 1 煤粉颗粒浓度与衰减预测

2 试验结果及分析

2.1 煤粉流量测量系统

结合上述煤粉颗粒做浓度与衰减的预测分析、衰减测量。开发了低频超声信号发生接收仪器与高速 A/D 卡^[13-15],设计超声探头,根据超声检测理论模型编辑有关程序,建立煤粉流量的测量系统,将超声探头安装在一次风煤粉管道上,然后进行调试和

测量。

2.2 测量结果

在 20 $^{\circ}\text{C}$ 环境温度下,对粒径分布为 60 ~ 80 μm 煤粉作超声实时在线检测,检测所用超声传感器中心频率为 25 kHz,为提高信号分辨率,采样频率 40 MHz,煤粉输送空气压力为 0.6 MPa,管道直径为 108 mm。纯空气输送时得到的超声信号、输送低浓度煤粉、高浓度煤粉时得到的信号如

图2所示。分别计算低浓度与高浓度的超声衰减系数 α_1 和 α_2 ,得到25 kHz频率下 $\alpha_1 = 9.05$ Np/m, $\alpha_2 = 13.99$ Np/m。反演得到的体积浓度分别为1.944%和3.02%。空气中超声速度 $C =$

356.531 m/s,顺流声速 $V_v = 377.495$ m/s,逆流声速 $V_l = 336.388$ m/s,煤粉的实际流动速度为10.955 m/s,据此得到的流量分别为 0.00195 m³/s与 0.00303 m³/s。

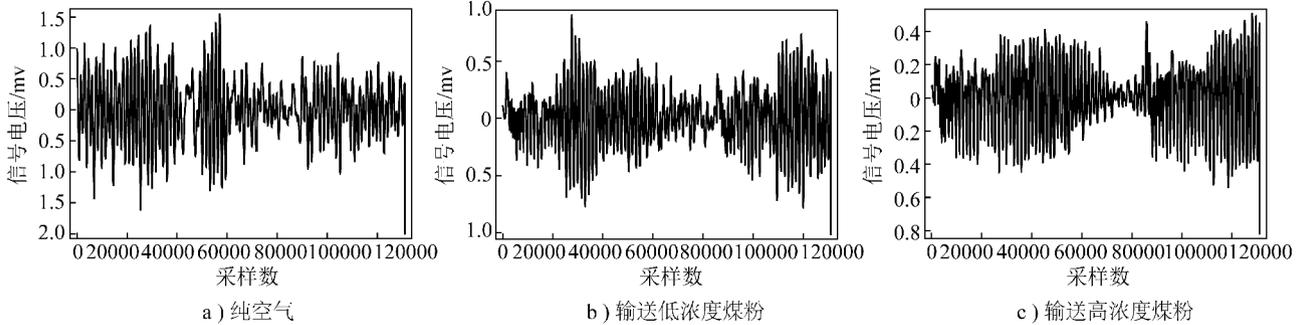


图2 不同煤粉浓度的超声信号变化情况

2.3 测量质量误差分析

已知管道直径为140 mm,采样频率100 MHz,空气中声速为340 m/s,煤粉通过时,A探头发射B探头接收声速为502 m/s,B探头发射A探头接收声速为398 m/s,计算得到煤粉流动速度为73.58 m/s。输送纯空气时测得相应的超声信号,将该超声信号作为背景信号,对该超声信号作FFT(快速傅里叶变换)变换,得到其频域信号,取26 kHz频率的信号幅值 I_0 。然后进行输送煤粉时测得相应的超声信号,一种情况是A探头发射且B探头接收时得到的超声信号,另一种情况是B探头发射且A探头接收时得到的超声信号,将这2种超声信号作FFT变换,得到其频域信号,取26 kHz频率的信号幅值 I_1 。然后计算得到输送煤粉时造成的超声衰减系数。再利用两FFT信号计算得到管道内煤粉体积浓度为3.2%,因此实测煤粉流量为 0.036 m³/s,煤粉的密度为 1.4×10^2 kg/m³,得到流量约为50.4 kg/s。将500 kg煤粉置于煤粉仓中,得到的称重测量和超声测量的流量误差在5.6%左右。

3 结 论

1)煤粉颗粒的超声波衰减与预测分析表明,煤粉粒径越小对超声频率越敏感,在检测煤粉气固两相流之前需要确认煤粉颗粒的粒径分布以及平均粒径,据此选取合适的检测超声频率就可以提高检测灵敏度与检测精度。

2)开发的气力输粉煤粉在线超声在线测量系统,对于小流量500 kg/h和小粒径 $60 \sim 80$ μm 的煤粉,该超声在线测量系统实现了较精确测量,其称重测量和超声测量的流量误差在5.6%左右。

参考文献:

- [1] 严祯荣,罗晓明,韩军,等.低流量煤粉稳燃燃烧器的研究与应用[J].洁净煤技术,2011,17(6):61-65.
- [2] 纪任山,王乃继,肖翠微,等.高效煤粉工业锅炉技术现状及应用[J].洁净煤技术,2009,15(5):51-55.
- [3] 严祯荣,罗晓明,时贵玉,等.燃煤粉工业锅炉的发展前景及节能减排技术创新[J].节能技术,2010,28(1):65-69,71.
- [4] Yan Yong. Mass flow measurement of bulk solids in pneumatic pipelines [J]. Measurement Science and Technology, 1996, 7(12):1687-1706.
- [5] 廖宏楷,周昊,杨华,等.风煤在线测量的锅炉燃烧优化系统[J].动力工程,2005,25(4):559-562.
- [6] 贾志海,范学良,李俊峰,等.锅炉煤粉气力输送状态在线监测系统研究[J].仪器仪表学报,2009,30(8):1655-1658.
- [7] 孙猛,雷兢,李志宏,等.锅炉送粉管道煤粉浓度的电容层析成像测量方法研究[J].仪器仪表学报,2008,29(3):517-519.
- [8] 范卫东,章明川,何磊,等.管道内气固两相流颗粒浓度和风速测量方法的试验研究[J].仪器仪表学报,2003,24(1):13-17.
- [9] 曹亚鹏.基于超声波方法的一次风风速监测系统研究[D].吉林:东北电力大学,2010:1-8.
- [10] 都伟杰,张俊芳,刘鹏.利用超声波相关函数法在线检测煤粉浓度[J].热力发电,2009,38(6):82-84,87.
- [11] 石喜光,周昊,岑可法.基于超声波法的管内气固两相流浓度测量技术[J].热力发电,2005,34(5):37-38.
- [12] 苏明旭.颗粒两相介质中颗粒粒径及浓度超声测量理论研究[D].上海:上海理工大学,2002.
- [13] 杨金岩,郑应强.一种用于超声波检测的高速数据采集卡[J].计算机自动测量与控制,2000(8):19-20.
- [14] 罗珊,孙峥,蒋新胜,等.模拟有源滤波器MAX275的原理及应用[J].国外电子元器件,2005(1):73-75.
- [15] 滕艳菲,陈尚松.超声波测距精度的研究[J].国外电子测量技术,2006,25(2):23-25.