## 一种用于水泥料位测量的 超声波料位仪的研制及应用<sup>\*</sup>

汤建明

(同济大学声学研究所,上海200092)

摘要: 本文讨论了一种用于水泥料位测量的超声波料位仪的工作基本原理,设计以及实际应用的情况,测量精度为±0.5%。

关键词:水泥料位测量;超声波料位仪;测量精度

中图分类号: T B559, 文献标识码: A

## Development and application of an ultrasonic level detector for measurment of cement

TANG Jian-ming

(Institute of Acoustics Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract**: This paper discusses the basic principle of the operation, design and practical application of an ultrasonic level detector for measurment of cement. Its precision of the measurment is about  $\pm 0.5\%$ .

Key word: measurment of cement level; ultrasonic level detector; precision of the measurment

1 前言

超声波液位计、料位仪在对工业生产过程 控制系统的各种储罐、料仓检测中,在常压、被测 物料对超声波吸收较小,工作环境温度也不太高 的工况条件下已应用得不少。但是,能在储罐 料仓内有压力,被测物料对超声波具有强吸 收高衰减的工况条件下工作的超声波料位 仪尚未见到成功应用的报道。目前,能对水泥 料位作非接触测量的有钴 60 放射线料位仪 表但由于它对人体有危害,人们不乐意采用。 最近几年发展起来的雷达料位仪,它的量程 仅有 10m 左右。因而,研制能对水泥物料进行 测量的安全,准确、大量程超声波料位仪表已 成为急需。我们针对这一状况研制出一种能 在水泥储罐,仓中有 5kg 压力,温度 70 以 上、弥漫雾状工况条件下有效工作的超声波 水泥料位仪,量程为 42m(刚性面,量程可达 到 130m),盲区 1.5m,精度可达±0.5%。

2 工作原理

超声波测量物位是利用声呐原理来确定 物料在容器内的位置,是一种在空气中的声 呐定位设备。它的工作原理可简述为:超声波 换能器发出的超声脉冲,通过空气传到物料 的界面,经界面反射回到发射换能器并被其 接收。只要测出超声脉冲从发射到接收所用 的时间,再根据空气中的声速,就可计算出换 能器到物料面的距离,从而确定物位。假定超 声换能器到物料面的垂直距离为*L*,超声波 从发射到接收的时间为*t*,空气中的声速为 *c*,则换能器到物料面的距离为:

<sup>\*</sup> 收稿日期: 99-11-04;修订日期: 99-11-20 作者简介:汤建明(1954-),男,高级工程师

L = ct/2 (1) 式中: c = 331.4 + 0.61T (m/s) (2)

T:为摄氏温度。由于距离L的测量精 度与空气声速c、测量时间t的精度有关,而 现在测时的精度可达到 $10^{-6}$ s以上,因此L的精度实际上依赖于c的精度。而声速c是 一个与温度有关的量,从(2)式可知,温度T每变化1 声速近似变化 $2^{\pm}$ 。如果将空气中 的温度、湿度、压强三者一起考虑时,须对上 式(2)进行修正,这时应引入水蒸汽和干燥空 气的定容、定压比热比。如果不对声速c修 正,在测量中就会产生很大的误差。对声速校 正的方法有:标准量具法和温度传感器法。我 们采用温度传感器补偿法,它直接由单片机 对温度采样运算。

3 仪器的设计

此前的超声波料位仪未能有效地测量水 泥料位的原因在于: a)水泥物料对超声波有很 强的声吸收; b)水泥物料在储存、施工的运送 过程中是采用气流输送的,这种运送方式使水 泥在罐、仓中的堆积密度随时间而变化。例如 在常温下,标准堆积的表观密度为 3.1T/m<sup>3</sup>, 而自由堆积的密度为13T/m<sup>3</sup>。但当高压气流 输送时堆积密度要小于 1.3T/m<sup>3</sup>。c)高压气流 输送水泥,使罐,仓内呈现弥漫气雾状还伴随 有高温出现,这也是测量水泥料位的一大障 碍。鉴于这些原因,在设计研制仪器时,对式 (1)、式(2)中的参数进行了模拟测试及理论 推算,以期使仪器能对强吸收、高衰减高温的 水泥物料测量时获得有效、可靠的使用效果。

对式(1)中t的测量,实际上就归结为超 声波从发射后到接收的声时测量,而保证声时 测量的可靠性就必须要有足够强的直达声的 回波信号,这对测量对象是水泥物料尤其重要。 因此对仪器的关键部件的换能器设计就有高 的要求,它应有高的发射效率和接收灵敏度,以 高效的发射效率来保证声源A的声功率,而高 灵敏度的接收可提高信噪比,以便获得有效的 声学技术 接收信号,保证测量的精确度。此外要获得有效接收信号还与物料面对声波的反射强度B、 声波路径传播损失C、接收方向性指数D、现 场环境噪声E等诸多因素有关。即可表示为:

 $A - 2C + B > E - D_{\circ} \tag{3}$ 

反射强度 B, 是指被测物料对声波反射的能力, 它与物料颗料大小、几何形状、以及物料的密度有关。例如, 水泥厂的磨头仓中的物料颗料半径约为 0.02m-0.05m, 而成品水泥粒径在微米数量级。如果物料颗粒的主曲率半径为  $r_1, r_2$ , 波数为 k, 超声波到物料面的垂直距离为 L 并满足  $kr_1, kr_2 \gg 1, L > r_1, r_2$ , 该物料颗料的反射强度可表示为:

*B*= 10lg(*r*1*r*<sup>2</sup>)/4 (4) 从式(4)中可知,反射强度*B* 与物料颗粒的 几何尺寸成正比。但是,当被测料仓内温度很 高时,即使物料颗粒在厘米数量级内,这时的 *B* 值也相当小。我们在温度 90 时对水泥磨 头仓内的物料进行测量时,实际测量该物料 的反射强度为- 45dB。对于成品水泥的平均 粒径为 30μm 左右(国家标准在 80μm 以 下),这时的反射强度为- 90dB,当对有 5kg 压力的水泥料仓内进行测量时,反射强度在 - 90dB 以下,甚至可达- 100dB。

声波路径传播损失 *C* 为扩散衰减 与吸 收衰减两部分之和, 如果传播距离为 *L*, 吸收 系数为 α, 那么, 它的传播损失 *C* 可表示为:

*C*= 20lg*L*+ α*L* (dB/m) (5) 式(5)中可见,如果声传播路径 *L* 一定,则 α 值对 *C* 影响为最大。α值的大小取决于粉尘 浓度、温度、相对湿度以及换能器工作频率。 而在粉尘浓度、温度以及湿度为一定时,换能 器 的工作频率选择也很重要。例在温度 20 、相对湿度 60%、频率 10kHz 的条件下, α值为 0. 128 dB/m。频率越高,*C* 值越大。

(3) 式中的 *E*、*D*, 可在设计接收电路和 换能器时综合考虑。适当的接收电路带宽能 有效地抑制环境噪声。换能器的工作频率和 其辐射面的几何尺寸一旦选定, 就可确定指

— 17 —

向性, 具有尖锐指向性的换能器可有效地在 窄、深的料仓中进行测量。

根据以上综合分析,设计了超声波料位 仪的仪器工作原理图,如图1所示。



图 1 超声波料位仪的原理框图

超声波水泥料位仪由微处理器(8031)、 键盘、显示单元、A/D 测温电路、D/A4mA ~ 20mA 输出、超声波发射单元、匹配、接收放 大器、滤波、门1、门2、温度传感器和超声波 换能器等组成。

微处理器 8031 是料位仪核心。在软件支 持下,通过键盘可进行人机对话,根据现场工 况条件,进行参数设置。由于各现场工况条件 差异甚大,故特意设计了一种鉴别真伪信号 的电路,在水泥厂和炼钢车间的料斗上使用 效果良好,另外,软件中也增设了判别信号真 伪的功能,进一步保证了测量结果的准确性。

A/D 测温电路通过接在桥路中的铂电 阻放大再与 0809 模块相联,8031 通过它进 行温度采样运算。D/A 为模拟输出,输出 4mA~20mA,也可接记录仪。

4 换能器

制作换能器时,先要确定其工作频率,工 作频率的确定视待测材料要求而定。根据我 们的工作积累,对于吸收较大的物料料位测 量,换能器的工作频率在 10~25kHz 为宜。

为了获得高的发射效率和接收灵敏度,我 们选用了纵向-圆盘弯曲复合振动模式的换能 器,弯曲振动的换能器具有低的辐射阻抗容易 与空气匹配,有利于对低反射强度物料的检测。

换能器在脉冲宽度两毫秒以及在匹配电路的驱动下发射后,它可在 6ms 时间内达到静止,等待接收从料面反射回来的信号。发射脉冲的迅速衰减,有利于缩短盲区,增加测量

量程。为了使换能器可接受高温和气流,在换 能器辐射表面采用了特制的耐高温低声速材 料,既能提高发射效率,又能耐高温(材料耐 温可达 250),经测试,这种自发自收圆盘 弯曲振动的超声波换器具有很高的发射效率 和接收灵敏度以及尖锐的指向性,在向距离 2.0m高的天花板顶发射时,不经过放大器 接收到第一次回波信号可达 50V PP。图 2、图 3分别给出了两种频率换能器的指向性图。



图 2 频率 f = 10kHz 的换能器指向性图



图 3 频率f = 24kHz的换能器指向性图

## 5 应用

我们已将这类超声波料位仪成功地使用在 仓容量分别为一万吨、一千吨,高度分别为 42m、36m的水泥储料罐上(罐内有5kg压力), 仪表性能稳定、可靠,实时地反映料罐内物料的 位置,仪器测量精度可达到±0.5%。目前,这种 超声波料位仪已经在北京市、河北省、以及上海 中美合资的水泥仓、罐上应用,经近两年来的使 用,仪器的故障率几乎为零,深受用户欢迎。

(下转第22页)

的投影,那么重建结果就不完整了,所得重 建像如图9所示,因此,这里要采用0~360 范 围内的全部投影信号才能得到完美结果。

3.3 三维 URCT 图像

为了得到被成像生物样品内部的三维 URCT 图像,可令换能器在Z方向步进,每 隔 ΔZ,重复"1"的获取投影和"2"的URCT 重建,即可获取生物样品内部多个截面的重 建像,将多个截面的URCT 图像数据即可得 到生物样品内部的三维URCT 图像的三维 显示。本文所用样品沿 Z 方向是一致的,为 简单化,采用50个图8所示的重建像数据,即 可得到图10所示的三维URCT 图像。



图10 三维 URCT 图像

4 结语

在 URCT 成像中, 在远场条件下, 采用 X 射线 CT 成像中的滤波—后投影算法和0 ~360 范围内的投影数据, 可得到生物样品 内一个截面的 URCT 图像。对于多辐二维 URCT 图像, 采用三维显示方法, 得到了 URCT 图像的三维显示。

日本 HONDA 公司采用与 X 射线 CT 基本相同的工作原理<sup>[4]</sup>,即采用单换能器,用

(上接第18页)

参考文献:

- [1] 超声工业测量 [M].同济大学声学所1977.
- [2] Alfonso Barone et al. [J] . JASA1972; 51(3):
- [3] Y. KOIKE. A theoretical study of near-field acoustic levitation of planar objects [J]. World congress on ultrasonics 1995.

有多个换能器阵元组成的接收线阵接收超声 信号,就可得到一个投影,不断旋转被检测 物体一个角度,并重复上述发射、接收过程, 就可得到多个投影。同样采用 X 射线 CT 成 像中的滤波——后投影算法,即可得到被检 测物体一个截面的声衰减分布图像。 HONDA 公司的商品广告给出了人手的 CT 图像,十分清晰。

本文仅对 URCT 方法用于医疗诊断作 了初步探索,真正用于生物样品以及更进一 步的临床应用还需要做大量的工作。不过,由 于 URCT 仅采用单个换能器同时发射和接 收,从原理上讲,与日本 HONDA 公司采用 的透射式超声 CT 成像方法相比,本文法更 简单,更实用。

参考文献:

- J.F.Greenleaf and R.C. Bah. Clinical imaging with transmissive ultrasonic computerized tomography. IEEE T rans. Biom ed. Eng, 1981; BME-28: 177~185
- S. J. Norton and M. Linzer. Ultrasonic reflectivity tomography: Reconstruction with circular transducer arrays. Ultrasonic Imaging, 1979; 1: 154~184.
- [3] C. Q. Lan, Y. H. Chen. Iterative method applied to ultrasound reflection mode tomography with circular and planar transducer arrays. Acoustical Imaging, 1992; 20: 95~102.
- [4] HONDA 公司广告.中国超声医学杂志, 1995; 11 (7).
- [4] G. DE Cicco, B. Morten. Thick film composite ultrasonic transducers operating in air [J]
  World congress on ultrasonics 1995.
- [5] Jiromaru Tsujino-Characteristis of Ultrasonic Vibration Bending of Thin Metal Speimens Using an Upper Vibration Punch and Lower Die[J]. World congress on ultrasonics 1995.

— 22 —