

# 超声衰减浓度计实验平台的搭建

董磊<sup>1,2</sup>, 伍先达<sup>1</sup>

(1. 中国科学院合肥智能机械研究所 安徽合肥, 230031)

(2. 中国科学技术大学 安徽合肥, 230028)

**摘要:** 介绍了一种实验平台, 用来研究超声波衰减系数与颗粒物浓度之间的关系。该平台采用 ATMEL 公司 AT89C51 微控制器, 主要包括脉冲发生电路、水声换能器的驱动电路、检波电路、数据采集电路及与上位机的串口通讯电路。数据传输至上位机后, 对数据进行处理, 主要采用曲线拟合方法找出描述浓度和衰减系数之间关系的多项式。本文主要阐述超声衰减测量颗粒物浓度的原理, 以及该平台硬软件的整体设计框架。

**关键词:** 超声衰减系数; 悬浮颗粒物浓度; 水声换能器

**Abstract:** This paper introduces the platform of experiments, which is used to study the relationship between ultrasonic attenuation coefficient and the consistency of suspended particulate matter. The platform adopts the AT89C51 microcontroller of ATMEL, and mainly consists of the pulse generating circuit, the drive circuit of underwater transducer, the detection circuit, the data acquisition circuit and the serial port communication circuit with PC. After the data transmits to PC, we use curve fitting method to process data and find the polynomial to describe the relationship between ultrasonic attenuation coefficient and the consistency of suspended particulate matter. This paper mainly expounds the principle to measure suspended particulate matter with the method of ultrasonic attenuation.

**Key words:** Ultrasonic attenuation coefficient; Consistency of suspended particulate matter; Underwater transducer

中图分类号: TN752.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-9227(2007)06-0048-03

## 0 引言

当前, 随着经济的迅猛发展, 能源问题、资源问题已越来越受到重视, 建设“节约型社会”已成为社会的共识, 同时由于信息化时代的到来, 将新技术、新方法应用到传统工业设备中提高其自动化程度和生产效率的要求已日益迫切。在煤炭、环保、冶金、化工等行业设备的控制系统中, 在线测量悬浊液颗粒物的浓度是必要的。

在线测量悬浊液颗粒物浓度的方法主要有光电法、放射线法、机械法和超声波法等。其中, 超声波法安全可靠、量程较宽, 国外污泥测量也主要用超声波法。然而, 国外产品价格较高, 因此开发一种在线式悬浊液颗粒物浓度计, 对于我们降低产品成本、提高生产效率、降低能耗和环境保护具有很重要的意义。本文就将探讨基于超声衰减原理的悬浊液颗粒物浓度计开发的实验平台。

## 1 超声测量原理

收稿日期: 2007-07-10

振动在弹性介质中的传播称为机械波。频率在 16~20000Hz 之间的机械波就是人耳能听到的声波, 频率低于这个范围的就是次声波, 而高于这个范围的就是超声波。超声波是一种机械波, 它的束射性很好, 在介质中传播, 其衰减系数与介质关系密切, 故而经常用于工业检测。媒质的声衰减是个很复杂的物理量, 在较严格的平面波情况下, 声波扩散的影响虽可忽略, 但声衰减绝对值的测量仍比较繁琐, 在工业测量技术中往往只需测量其相对值, 测量方法比较容易。

超声波通过液体悬浮物的衰减主要由三部分组成: 液体的黏滞衰减、颗粒物的散射衰减和扩散衰减, 前两类衰减取决于媒质的特性, 后一类则由声源特性引起的。黏滞衰减又称为吸收衰减, 是指声能有一部分不可逆地转换成媒质的其它形式的能量; 散射衰减指声波传播过程中碰到另外一种媒介组成的障碍物, 而向不同方向产生散射; 扩散衰减指的是因波阵面面积扩大导致的声强减弱, 这取决于声源辐射的波形和束射特性, 与媒质无关且总的声能并未变化。黏滞衰减和散射衍射衰减都遵守指数衰减规律, 对于沿

X方向传播的平面波而言,当不需要涉及扩散衰减时,其声压随传播距离d的变化公式为: $P = P_0 \times e^{-\beta d}$ 。超声波衰减方式与颗粒物大小和超声波频率密切相关,相关研究表明:超声波的波长 $\lambda \geq 12\pi r$ 时矿浆粒子分布全部处在超声波的黏性损耗区域。在黏性损耗区域,不考虑粒子的相互作用,只考虑粒子的振动,而粒子振动响应落后于声波。对于测量浓度的超声波频率来说,矿浆的粒子分布应全部处在粘性损耗区域。

通常,换能器探头我们采用压电陶瓷材料做成的水声换能器,作用是实现电能和声能的相互转换。其频率取决于晶体材料的厚度,功率取决于材料的大小。声压与功率的关系为: $P = \sqrt{2\rho c I}$ ,其中P为声压幅值, $\rho$ 为介质密度,c为声速,I为声强即单位面积辐射声功率。所谓接收换能器的自由场电压灵敏度,就是指接收换能器的输出电压与在声场中引入换能器之前该点的自由声场声压的比值,一般用分贝表示,基准灵敏度取值为 $1V/\mu Pa$ 。发送电压灵敏度指在某频率下,在指定方向上,离开发射换能器有效声场中心一米处的声压与发射换能器输入端输入电压信号大小的比值。一般我们选用换能器,接收灵敏度约为 $1mV/Pa$ ,发射灵敏度一般为 $20Pa/V$ ,经计算,我们需要大约2W的辐射功率,发射换能器应该加150V的电压。

这里,我们采用面积比值法,即将超声探头置于两平行钢板的一端,发射脉冲激励换能器,当发射的声脉冲透过浑水介质后,尚有部分声能被反射板反射至声源,产生二次反射,如此往复反射。我们连续测量其衰减反射回波多次,得到如图1所示的回波序列脉冲包络,并与在清水中的回波包络面积相比较。声压幅值公式为: $P_i = P_{i0} \times \exp(-2iL\beta)$ ,其中 $P_i$ 及 $P_{i0}$ 为声压幅值,i为回波次数,L为两平行钢板间距, $\beta$ 为衰减系数。回波包络面积比值: $A_i/A_0 = \int_0^\infty P_i * dx / \int_0^\infty P_0 * dx = \exp(-2LB)$ ,

其中, $A_i$ 、 $A_0$ 分别为浑水和清水中的包络面积。故:

$$\beta = \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{A_i}{A_0}\right)$$

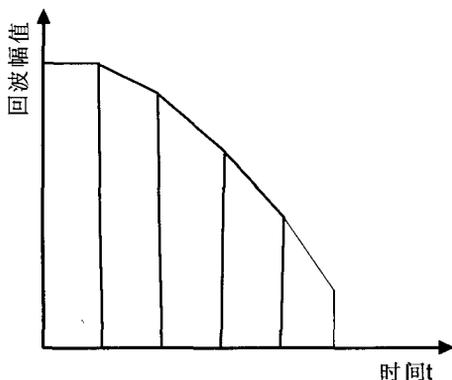


图1 回波序列脉冲包络

## 2 系统硬件组成

该平台采用ATMEL公司AT89C51微控制器,主要包括脉冲发生电路、水声换能器的驱动电路、检波电路、数据采集电路及与上位机的串口通讯电路。AT89C51是美国ATMEL公司生产的低电压、高性能CMOS 8位单片机,片内含4k bytes的可反复擦写的Flash只读程序存储器和128 bytes的随机存取数据存储器(RAM),器件采用ATMEL公司的高密度、非易失性存储技术生产,兼容标准MCS-51指令系统,片内置通用8位中央处理器(CPU)和Flash存储单元,功能强大。平台的硬件组成如图2所示,本平台采用的水声换能器收发一体。不过,为方便起见,下文将其分为接收换能器和发射换能器两部分。

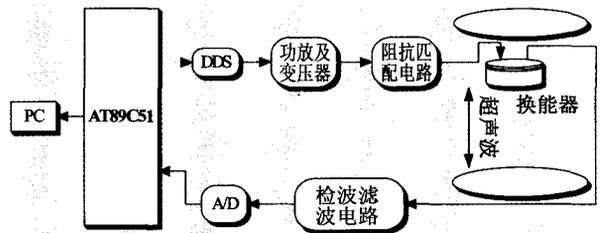


图2 平台的硬件组成

### 2.1 脉冲产生及换能器驱动电路

超声脉冲是由压电换能器产生的,它的能量将由脉冲发生器所发出的高压电子电脉冲来提供。电子脉冲由微控制器控制,可发出连续的脉冲序列,进行功率放大后,通过换能器驱动电路连接到发射换能器,使之产生机械振荡。其中,需要注意的是阻抗匹配问题。如果忽略电损耗,一个压电换能器的静态等效电路是一个纯电容。当换能器振动辐射声能量时,还存在动态阻抗,它是由换能器振动部分的力阻抗和介质对振动部分的反作用而产生的。动态阻抗总可以用电阻、电感和电容来表示。由于应用于工业现场,我们用ATMEL单片机通过DDS(AD9850)产生脉冲信号,其频率稳定、可靠性较高。

DDS技术是一种用数字控制信号的相位增量技术,具有频率分辨率高、稳定性好、可灵活产生多种信号的优点。基于DDS的波形发生器是通过改变相位增量寄存器的值 $\Delta phase$ (每个时钟周期的度数)来改变输出频率的。每当N位全加器的输出锁存器接收到一个时钟脉冲时,锁存在相位增量寄存器中的频率控制字就和N位全加器的输出相加。在相位累加器的输出被锁存后,它就作为波形存储器的一个寻址地址,该地址对应的波形存储器中的内容就是一个波形合成点的幅度值,然后经D/A转换变成模拟值输出。当下一个时钟到来

时,相位累加器的输出又加一次频率控制字,使波形存储器的地址处于所合成波形的下一个幅值点上。最终,相位累加器检索到足够的点就构成了整个波形。

用单片机AT89C51控制DDS芯片AD9850产生频率为1kHz~1MHz的脉冲信号,经MOSFET栅极驱动芯片IR21844驱动控制MOSFET模块,产生一定电压幅值的电子脉冲信号,再经过变压器耦合升压后驱动发射换能器。对发射换能器来说,为了要使机械地转换效率最大,发射换能器必须工作在它地共振频率。

## 2.2 检波及数据采集电路

超声波经过悬浊液衰减后到达接收换能器,接收换能器将其转换为电压脉冲信号。由于脉冲信号频率很高,直接采集其幅值电压几乎是不可能的事情,所以这里采用检波电路,利用一个二极管和一个电容(如图3)组成检波电路。当脉冲信号到来时,二极管形成通路,对电容进行充电,脉冲信号消失后电容并不会放电,如此经过若干个脉冲后,电容两端电压值基本上等于脉冲幅值电压,对其滤波后即可直接采样。对接收换能器而言,为了使机械到电地转换效率最大,最佳的工作点取在反共振频率处。在换能器系统中,发射部分的共振频率要与接收部分反共振频率相匹配。

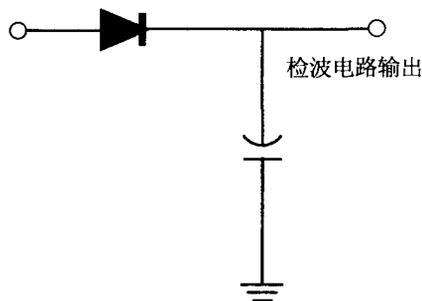


图3 检波电路

在检波电路的输出端加上滤波电路,对电容两端电压进行滤波,然后即可用MAX186进行采样转换。再将采集的数据通过AT89C51自带的串行口传输至上位机。

## 3 整体软件设计

这里,软件设计涉及单片机和上位机两部分,单片机软件主要是控制脉冲波的发送和直流电压信号数据采集,示意图如图4所示。系统上电初始化后,启动DDS连续产生60个脉冲序列,同时启动定时器以确定回波到达的时间,回波到达时间可以通过两钢板之间的距离 $d$ 和声波在水中的速度 $v$ 来确定,即为,启动计数器以便只采集其前8次回波幅值。当定时器产生中断

后,即可开始采样,如此反复直至计数器到达设定值后结束。

我们将每次采集的8组数据传输至上位机,通过上位机软件计算回波包络面积,和清水中的包络面积相比较,求出衰减系数。通过在不同的悬浊液浓度下做实验,可以得出不同浓度下的衰减系数。然后通过曲线拟合,就可以得出描绘衰减系数和浓度关系的多项式。

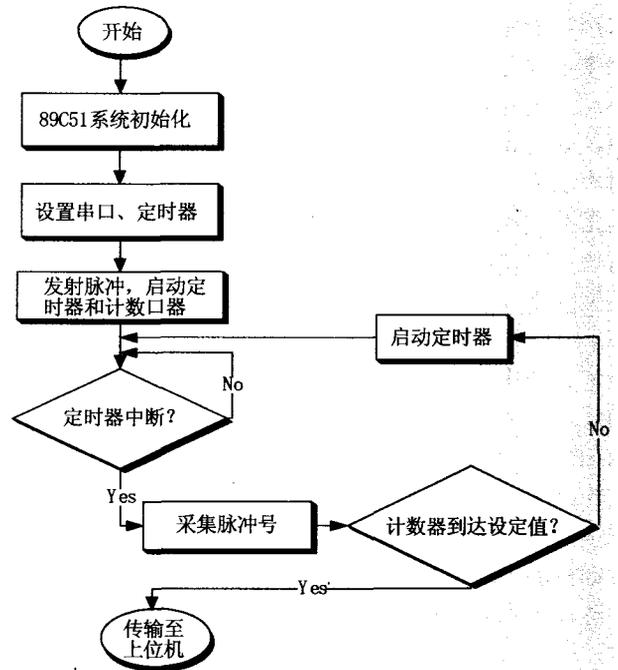


图4 平台的软件流程

## 4 结束语

通过此实验平台,我们得出超声衰减系数和悬浊液浓度之间的关系多项式,有了此多项式,我们就可以在此平台上进行扩展,例如可以扩展DeviceNet模块以便用于AB公司PLC控制系统,形成在线超声浓度计,也可以加上液晶显示模块等,形成独立的超声衰减浓度计产品。

## 参考文献

- 肖纯功. 超声换能器的频率选择[J]. 自动化仪表, 2001. 01
- 张叔英, 钱炳兴. 高浓度悬浮泥沙的声学观测[J]. 海洋学报, 2003. 11
- 马伯志. 基于DDS技术的智能超声波功率源的研制[J]. 电子技术应用, 2004. 12
- 应崇福. 超声学[M]. 北京: 科学出版社, 1990, 12
- 沈亦兵. 散射介质的吸收系数和散射系数的间接测量[J]. 光学仪器, 1995年01期