

# 超声波换能器断线及损坏的检测方法

王贤妮

三川智慧科技股份有限公司 335000

**摘要：** 基于对超声波换能器的工作原理，再根据超声波换能器在停止激励后仍存在短时间的余振，并且能够将余振信号转换成微弱的电信号的原理，详细介绍了超声波换能器断线、损坏以及所测管道是否为空管的检测方法。

**关键词：** 水表；超声波换器；检测方法

超声波换能器是超声波流量计流量测量不可缺少的重要组成部分，运用超声波原理测量流体速度和流量具有精度高、可靠性好、无任何活动部件等优点，可广泛替代传统的机械运动式测量，超声波换能器与超声波流量计测量控制模块通过外部导线相连。在对本课题研制的样机进行测试时发现，在使用的过程中超声波换能器会出现断线、损坏的情况，而现在的超声波流量计还没有通用的标准的检测这种情况的方法，为了实现流量计实时准确的测量，本文针对这个问题进行了相应的研究并对换能器断线、损坏的检测方法申请了专利。

## 1 超声波换能器介绍

超声波是指高于 20KHZ 的声波，而换能器是指将一种形式的能量转换成另一种形式的能量的器件。超声波换能器就是可以将超声波信号转换成电信号，又可以将电信号转换成超声波信号的装置，其主要由压电元件构成。当信号脉冲即电信号作用于发射换能器时，发射换能器的压电元件由于受到电场的作用产生振动，发出随脉冲信号频率变化的超声波信号；当接收换能器接收到超声波信号时，超声波信号作用于接收换能器的机械元件产生振动，产生随超声波频率变化是的电信号。

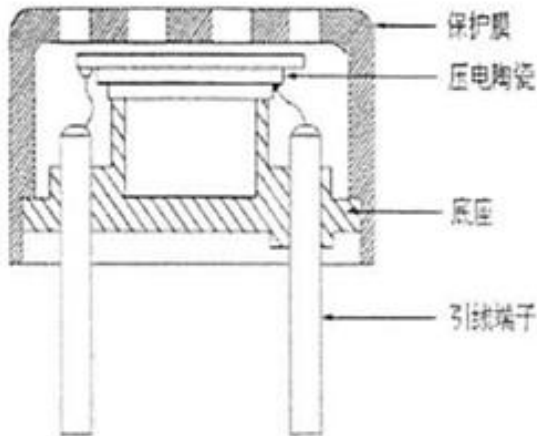


图1 超声波换能器结构图



图2 超声波换能器实物图

超声波换能器的结构图和实物图分别如图 1 和图 2 所示。基于设计的要

求，本系统采用中心频率为 1MHz 的超声波换能器，图 2 中的换能器就是本文用到的超声波换能器，超声波换能器都是收发一体的既可以发射也可以接收超声波信号。本文采用的超声波换能器只要 3V 的驱动电压就可以发射超声波信号，是低压驱动。由图 2 可以看出换能器有两根引线端口，这两根引线是将换能器与测量的控制模块相连接，以控制超声波信号的发射和接收来实现流量的测量。

## 2 超声波换能器断线、损坏检测方法

作为流量计流量测量的核心部件超声波换能器是通过引线端子与外部导线相连再与 TDC 测量模块相连接的，需要对连接的可靠性以及换能器的好坏进行检测，或使用过程中人为因素或非人为因素导致的超声波换能器断线、损坏等故障信息要及时的反馈。

超声波换能器是一种将电能和机械能进行相互转换的器件，其在停止激励后仍存在短时间余振，并且能够将机械振动转换为微弱电信号。根据这个原理，测量控制模块在发出超声脉冲后，马上检测换能器上传回的电信号，如果存在超声振动，则可认为超声波换能器工作正常。反之，如果检测不到，则表明连线中断，或者超声波换能器失效。

图 3 是一个常见的超声波测量系统结构。在测量流速时，换能器 A 和换能器 B 互为收发，测量超声脉冲从一个换能器发出，到达另一个换能器为止。

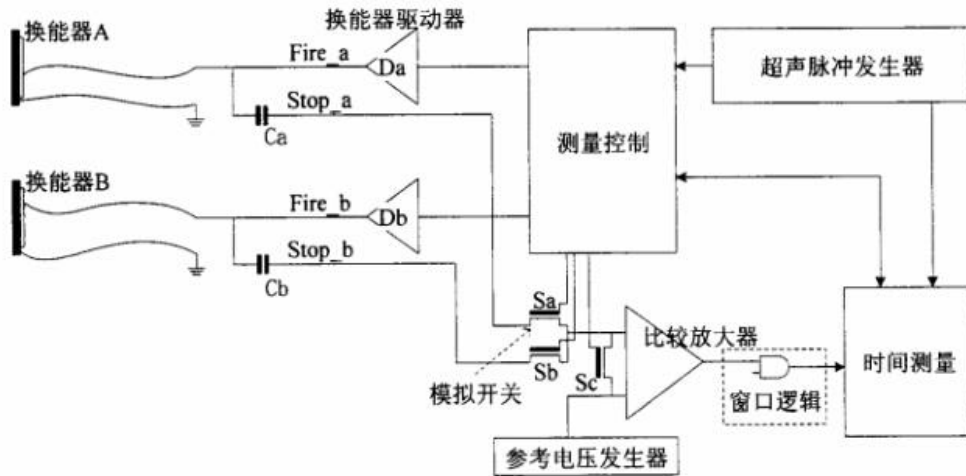


图 3 超声波测量系统结构图

现有技术有两种断线检测方法：

- (1) 在换能器的两极跨接一个电阻，通过在换能器驱动器中加上拉电阻（远小于所跨接的电阻阻值），并判断连线上的逻辑值，如果为 0 则表明没有断线；
- (2) 不加任何器件正常测量，如果在接收端检测不到超声波，则认为测量条件不成立。

上述方法存在一些限制：方法 1 检测的其实是连线加电阻是否断开，而没有顾及到换能器，有可能漏判。方法 2 无法将所测管道是否为空管和断线区分开，分辨能力不够，需另外增加空管检测电路。

本发明利用换能器本身的特性，在检测断线、换能器失效同时，还能对空管进行判断，极大提高了超声波计量仪表的适应能力。

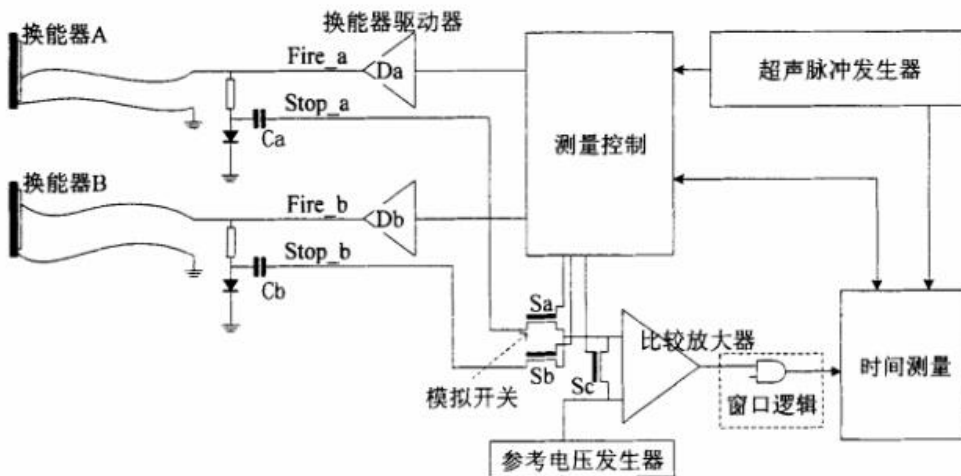


图 4 超声波换能器断线、损坏检测电路

如图 4 所示，相对常见的超声测量系统，进行以下改动：

1. 在 Stop 输入处增加钳位二极管，以防止换能器余振期间产生过高的电压，导致模拟开关漏电。

2. 修改测量控制模块的逻辑，按以下步骤进行测量（以检测换能器 A 断线为例）

(1) 给电容  $C_a$  充电，参考电压发生器输出标准参考电压；模拟开关 Sa/Sc 闭合；换能器驱动器 Da 输出驱动为低。

(2) 换能器 A 发超声波，断开 Sc，参考电压发生器输出比标准参考电压高 20mV 的电压，以减少环境干扰。超声脉冲发生器的脉冲信号通过换能器驱动器 Da 驱动换能器 A，按脉冲个数配置输出相应个数的超声脉冲。

(3) 余振测量：在超声脉冲发送结束后，打开窗口逻辑，用测量模块测量比较放大器输出的连续几个脉冲沿（上沿或下沿）距离发波的时间。测量得到若干时间值  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ ，如图 5 所示，如果它们的差与超声脉冲的周期（或者半周期）一致，则意味着 stop 输入检测到余振信号，表明换能器连接正常。

(4)空管测量：余振时间与管道状态相关，流体满管时余振时间短，反之则长。如果在发波结束后延迟一段时间打开窗口逻辑，并且时间测量模块仍可以检测到余振，则表明空管。

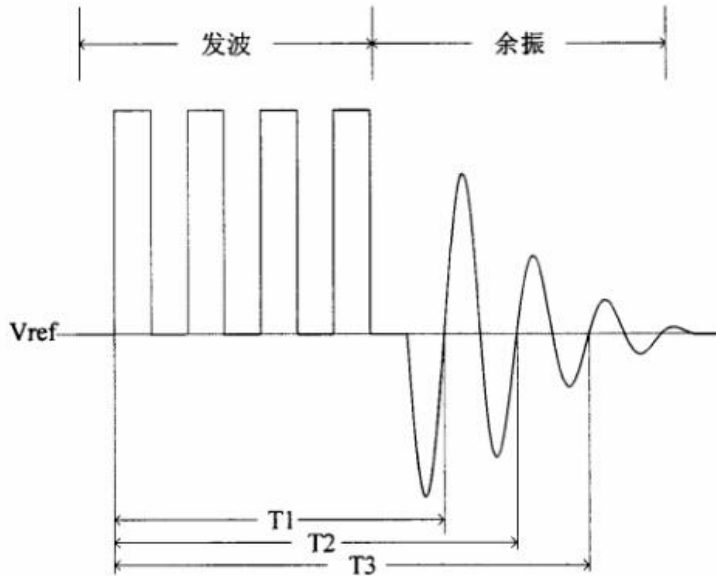


图 5 发射的超声波信号及余振信号

图 6 通过增加一个余波计数器，达到在正常测量的同时检测断线和空管的功能。

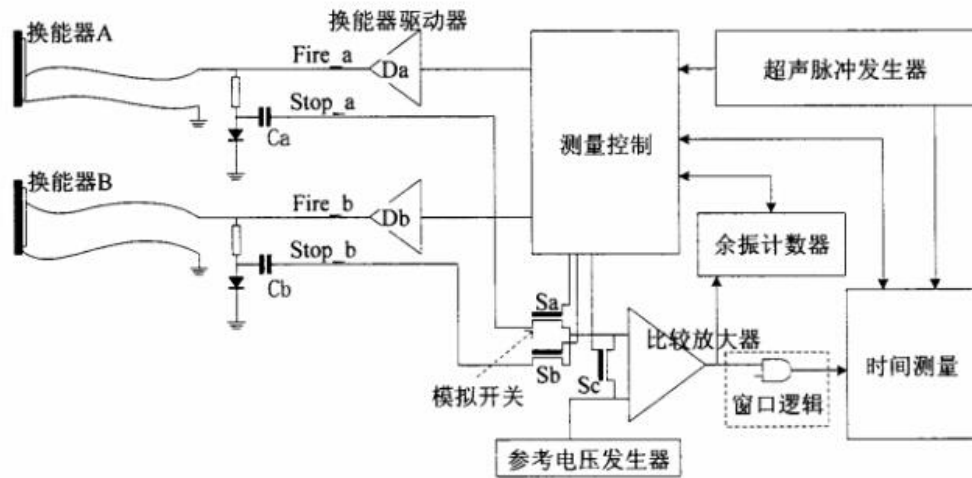


图 6 超声波换能器断线、空管检测电路

下面以测量从换能器 A 到换能器 B 的超声传播延迟为例，介绍测量的步骤，测量的时序如图 7 所示，：

1. 给电容 Ca 和 Cb 充电，参考电压发生器输出标准参考电压；模拟开关 Sa, Sb, Sc 闭合；换能器驱动器 Da, Db 输出驱动为低。

2. 换能器 A 发超声波，断开 Sc 和 Sb，参考电压发生器输出比标准参考电压高一些（如 20mV）的电压，以减少环境干扰。超声脉冲发生器的脉冲信号通过换能器驱动器 Da 驱动换能器 A，按脉冲个数配置输出相应个数的超声脉冲。

3. 余振测量：将超声脉冲发送结束，声波还未传播到换能器 B 的一段时间定义为余振计数时间。由余振计数器计算比较放大器所输出的上升沿个数。根据计数值，可直接判断是否有余振，以及振动时间的长短，从而判断是否空管、是否断线。

4. 时差测量：断开 Sa，接通 Sb，使用一般的方法测量声波到达换能器 B 端的时间。

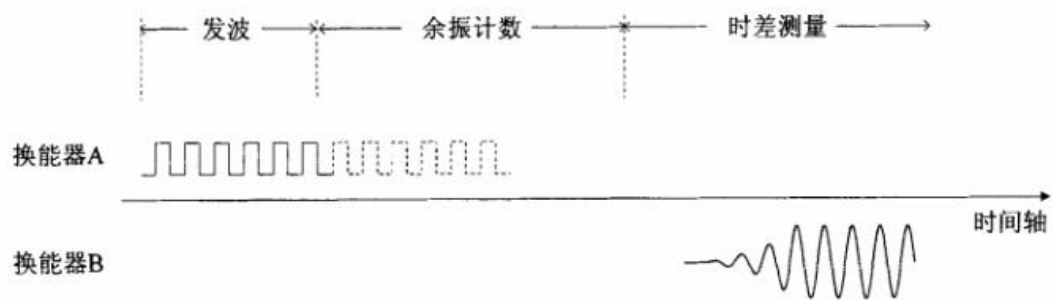


图 7 测量时序图