

超声水流量检测换能器性能指标及试验装置研究

姚灵^{1,2} 王让定² 左富强¹ 王欣欣¹

(1. 宁波水表股份有限公司, 浙江 宁波 315032 2. 宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 研究了超声水流量检测换能器的工作原理和结构, 从满足超声水表和超声流量计使用特性要求角度提出了评价超声换能器性能的综合指标以及环境和介质影响量等指标, 设计了配套的全性能台式试验装置。

关键词: 计量学; 超声时差测量法; 超声水流量换能器; 换能器使用特性; 换能器性能试验装置; 换能器试验方法

中图分类号: TH814. 92

文献标识码: A

Ultraphonic Water Flowrate Transducer Operating Characteristic and Performance Test Device Design

Yao Ling^{1, 2} Wang Rangding² Zuo Fuqiang¹ Wang Xinxin¹

(1. Ningbo Water Meter Co.LTD, Ningbo 315032, China 2. Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;)

Abstract: To study the working principle and structure of the ultrasonic water flow detection transducer, to submit a comprehensive index of evaluating performance for ultrasonic transducer and the environment and medium impact index from the ultrasonic water meter and ultrasonic flowmeter's using the characteristic angles, to design a complete set of full performance test device.

Key Words: Metrology; Ultraphonic transit-time difference measurement method; Ultraphonic Water flowrate transducer; Transducer operating characteristic; Transducer performance testing device; Transducer testing method

1 概述

超声水流量检测换能器是超声水表、超声流量计及超声热量表等计量表计的关键核心部件, 它的技术性能指标、工作稳定性、对环境影响量(如环境温度、湿度、振动)和被测介质影响量(如管道内水的温度、压力变化)的适应性等特性决定了上述计量表计的测量准确度和工作稳定性。

目前, 国内由于缺乏对超声水流量检测换能器性能评价指标、试验方法及其试验装置的研究, 导致了此类换能器无法开展必要的全性能基础试验和可靠性评价工作, 给超声水计量仪表的长期稳定工作和可靠使用带来严重隐患。因此, 开展超声水流量检测换能器评价指标的研究与全性能试验装置的开发是很有必要的。

2 超声换能器工作原理

超声水流量换能器通常采用圆薄片厚度振动模式工作, 见图 1; 其结构常被设计成图 2 所示形式。由于大多数超声水流量传感器均工作于时差法测量原理, 因此一个换能器需同时兼备发射和接收功能。超声时差法流量仪表的正、逆向传播时间 t_{1-2} 、 t_{2-1} 及时间差 Δt 与被测管道内线平均流速之间的关系如下,

$$v = \frac{D}{2 \sin \varphi \cos \varphi} \left(\frac{\Delta t}{t_{1-2} \cdot t_{2-1}} \right) \quad (1)$$

式中 D —测量管直径； v —测量管内被测流体线平均速度； φ —换能器连线（即超声波传播方向）与测量管轴线之间夹角； t_{1-2} —超声波正向传播时间； t_{2-1} —超声波逆向传播时间； Δt —超声波正、逆向传播时间差。

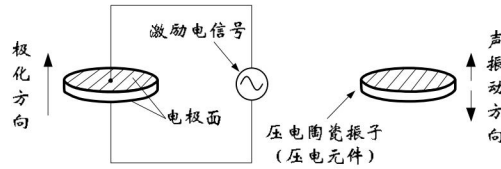


图1 换能器压电元件振动模式

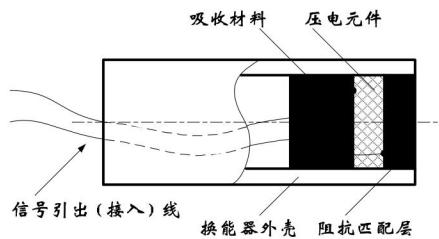


图2 换能器结构图

当发射电路对换能器1实施一定频率的脉冲波激励时，换能器1就会向换能器2发射超声波束，同时在时点start处打开高精度计时器进行计时；换能器2接收到超声波信号后在规定的信号时点stop处关闭计时器；超声波从激励至接收的这段传播时间称为正向传播时间，反之则称为逆向传播时间。换能器超声发射至接收的时间序列见图3示意图。

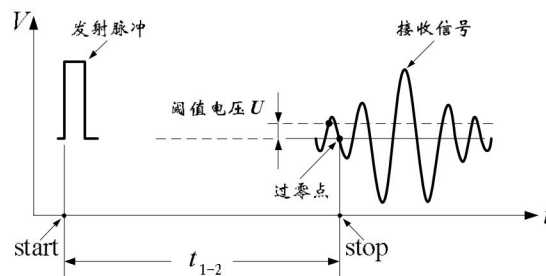


图3 超声换能器收发时序示意图

由于超声换能器中的电声转换元件大多采用的是PZT（锆钛酸铅压电陶瓷）材料，它的声特性阻抗与被测介质水的阻抗特性相差悬殊，因此大部分超声波进入水的界面时就会被反射，不能传送至接收换能器。阻抗匹配层的作用就是通过声特性阻抗的匹配，使大部分超声波能顺利通过被测介质。为了及时吸收发射超声波的余振信号，在压电元件后通常设置有吸收材料，以确保后一次发射的超声波不受前一次的影响。

3 换能器综合性能指标

超声换能器的基本特性是要保证发射换能器在发射脉冲信号激励下能够长期稳定发送超声波，并在阻抗匹配层配合下，使超声波能以最大能量通过被测介质抵达接收换能器；接

收换能器应将接收到的超声波转化成稳定的电信号送至信号处理电路。简言之，超声换能器的主要作用是起到“电-声”和“声-电”转换，并保证每次转换过程的一致和稳定。从实际使用情况看，更应关注换能器的综合性能指标。

1) 传播时间的稳定性

在声速恒定（即介质温度不变）、测量管几何尺寸不变条件下，传播时间和时间差均为管道内流体线平均流速 v 的函数，它们能间接反映出管内流速乃至流量、累计流量的数值。因此在规定时间内测量一组换能器的传播时间及时间差的变化量就能综合判别出超声换能器实际工作的稳定性及可靠性。

2) 频率与幅值的稳定性

任何由压电元件构成的超声换能器均有自身谐振频率，当换能器工作于谐振频率时，可以取得最好的发射及接收效果。

当压电元件的几何尺寸和材料确定后，其中心频率就基本恒定；同时，当换能器和测量管的几何尺寸、阻抗匹配材料特性、发射激励信号强度及频率以及工作环境温、湿度等均不变时，接收换能器的输出幅值也会保持基本不变。

频率与幅值特性指标不能随时间发生变化，即换能器的“时漂”要足够小。这些指标是决定超声波传播时间一致与稳定的决定因素。

3) 耐环境影响特性

换能器工作时会受到环境条件的影响，如气候环境的温度、湿度等变化影响；机械环境的振动、冲击等影响；电磁环境的静电放电、电脉冲群、静磁场、电磁场等影响。尤其是温度和湿度变化非常容易引起被测介质、压电元件材料、阻抗匹配材料以及金属材料等的特性变化，产生所谓的“温漂”与“湿漂”。因此换能器能否承受环境条件变化的影响，是决定换能器长期工作可靠性的重要指标。

4) 耐介质影响特性

换能器工作时同样会受到被测介质温度变化和压力变化等的影响。如：被测介质温度变化会导致超声波传播速度变化和换能器外壳几何尺寸变化，介质压力变化会导致换能器中压电元件和阻抗匹配层特性和形状发生变化，等等。由此可见，换能器耐介质影响的特性也是十分重要的。

4 性能试验装置设计

为满足换能器上述综合性能指标要求，超声水流量检测换能器试验装置应具有以下功能和基本结构。

1) 主要功能

换能器性能试验装置可以对检测换能器的三类主要指标开展测量与试验：

第一，在额定条件下，对正/逆向传播时间及时间差、传播时间及时间差的时漂与温漂、以及被测介质水温与压力改变的试验；

第二，在环境参数改变条件下的试验，主要有气候环境条件下的温度和湿度改变、机械环境条件下的振动影响等；

第三，换能器固有特性的试验，如：接收中心频率、输出幅值、机械品质因素、静态电容、以及指向性等。

根据试验得到的换能器固有特性，同时参考额定条件和环境影响条件下的某些指标，对换能器进行性能配对。

2) 基本结构

性能试验装置设计成台式，便于在室内使用。试验装置主要由实流模拟单元、环境模拟单元、性能测量单元及保温封闭管路等组成。其中，实流模拟单元由水流体驱动及消振部件、流量调节机构、流量稳定机构、流量测量部件、水温调节与测控部件等组成；环境模拟单元

由环境温度、湿度、振动量调节与控制部件，环境及时间参数测量部件，环境试验程序、环境试验箱体等组成；性能测量单元由测量台架、角度调整机构、换能器综合特性测量部件等组成。试验装置功能示意图见图 4。

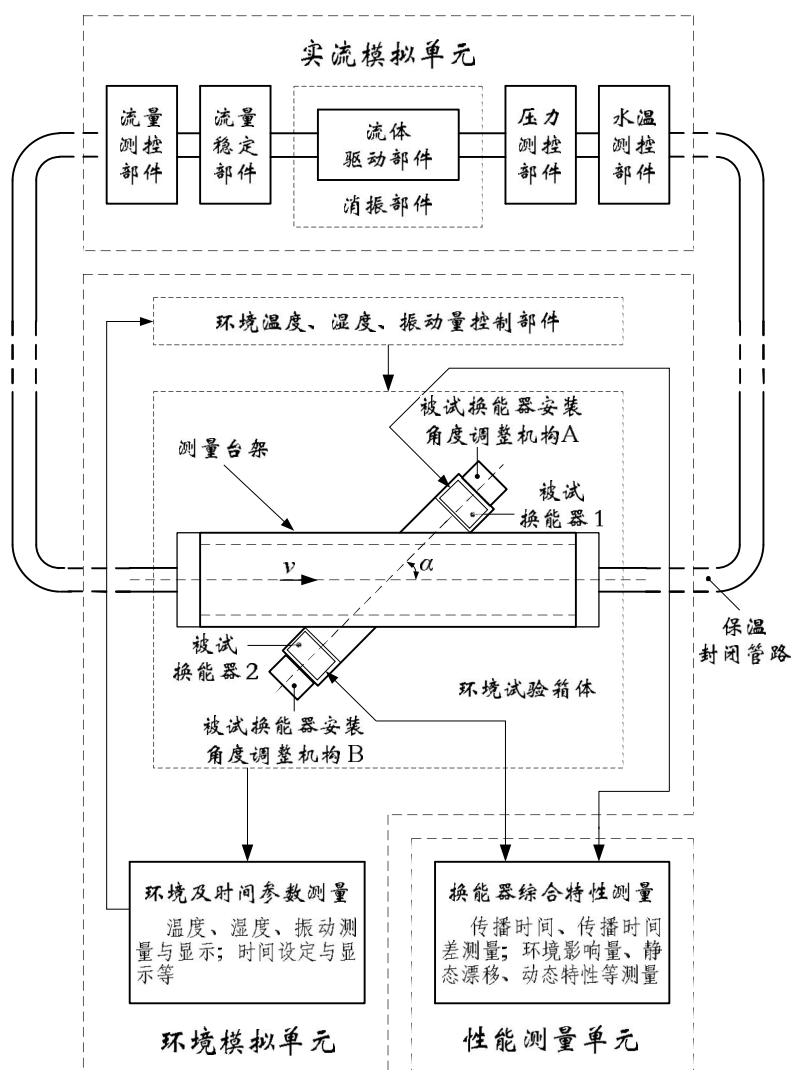


图 4 换能器性能试验装置功能示意图

全性能试验装置的试验项目可以覆盖到与超声水流量计仪表性能指标相关的全部项目，具有体积小、功能全、试验项目多、影响量试验可以在实流条件下进行等特点。

5 结语

在分析、研究超声水流量检测换能器的结构和工作原理基础上，从满足使用要求角度提出了换能器的综合评价指标，设计了相应的试验装置和方法，为超声水流量检测换能器的性能测量、环境和介质影响量试验及换能器特性配对等提供了有效的方法和工具，也为超声水表及超声热量表等产品质量的提升和长期稳定工作创造了有利条件。

参考文献

- [1] 姚 灵. 电子水表传感与信号处理技术[M]. 北京:中国质检出版社, 2012,03.
- [2] 林书玉著. 超声换能器的原理及设计[M]. 北京:科学出版社, 2006,12.
- [3] BS ISO/TR 12765, Measurement of fluid flow in closed conduits — Methods using

transit-time ultrasonic flowmeters, 1998[S].

- [4] 牛跃华, 彭黎辉, 张宝芬, 等. 基于数字仪器的超声波流量计研究平台设计与实现[J]. 仪器与仪表学报, 2008, 29(10): 2024~2028.
- [5] 姚灵、王让定、左富强, 等. 一种超声水流量换能器综合性能试验装置及其使用方法 [P]. 201210573562.6, 2012.12.26

本文资助: 浙江省优先主题重点工业项目 (2010C11025); 宁波市重大科研攻关项目 (2009B10003)

第一作者简介: 姚灵 (1953~), 男(汉族), 浙江庆元人, 教授级高级工程师, 博士后合作导师, 宁波大学兼职教授, 主要研究方向: 流量/几何量传感与信号处理技术.
E-mail: 13806630959@139.com

作者联系方式: 宁波市 江北区 北海路 268 弄 99 号 宁波水表股份有限公司 邮编: 315032
电话: 0574-88195868; 邮箱地址: 13806630959@139.com

注: 本文曾在 2013 年第 8 期《仪表技术》杂志刊出

2013 年 3 月 21 日