

超声波在天然气流量计量中的应用

北京信息科技大学光电信息与通信工程学院(100089) 申 思
北京市燃气集团有限责任公司(100035) 申云廷

1 气体超声流量计应用现状

超声波流量计量在工业方面应用,已有近半个世纪的历史,初期因受到当时研究、技术、工艺和制造水平等诸多因素和历史条件限制,应用被局限在液体方面,直到 80 年代之后,随着相关研究、技术、工艺和制造水平等方面的发展和提高,特别是集成电路、数字电路、微处理器、高速数字信号处理技术以及压电陶瓷等高新技术的迅猛发展,超声波流量计在天然气计量应用方面有了突破性进展,到 20 世纪 90 年代中后期逐渐得到完善,现已成为一项成熟的高技术产品。

超声波气体流量计具有:量程大、精度高、重复性好、压损小(基本上为管损)、工件不易老化、使用寿命长无可动部件、机械制造工艺相对简单、维护简便;在大型计量系统工程项目中,具有投资与运行费用低,管理方便等突出优点,受到用户的欢迎。北京燃气集团从 2002 年开始新建门站全部使用超声波流量计,目前共计 10 台,年购入天然气 40 亿 m^3 ,另一在建门站,将安装 5 台超声波气体流量计,到时年供气量将达到 60 亿 m^3 。这几年间运行稳定,没有进行过任何大的维修维护工作。每两年 1 次周期在线检定,共进行过两次,没有做任何调整,检定结果均为合格,系统整体精度为 $\pm 1\%$ 。所对应的上游(中石油)集输站也基本上采用同样的超声波流量计量系统,现存唯一使用孔板计量的交接站,也因运行维护管理费用高,准备将其改造成超声波计量系统,计划 2008 年内投运。

至今已有美国、荷兰、英国等 12 个国家政府机构批准超声波流量计量作为贸易结算的法定计量器具,它是继孔板流量计、涡轮流量计之后第三类适用

于高压、大口径、高精度的天然气流量计。我国也为此相应的制定了如:《用气体超声流量计测量天然气流量》GB/T 18604—2001、《天然气压缩因子的计算 第 1 部分:导论和指南》GB/T17747.1—1999、《天然气压缩因子的计算 第 2 部分:用摩尔组成进行计算》GB/T17747.2—1999、《天然气压缩因子的计算 第 3 部分:用物性值进行计算》GB/T17747.3—1999、《天然气计量系统技术要求》GB/T18603—2001 等一系列国家标准,使得多声道超声波流量计在国内贸易口岸、西气东输沿线以及国内管道天然气大流量贸易计量方面的应用与发展得以迅速扩大,并正逐步取代孔板流量计,成为贸易计量结算的主要方式。

很多种速度式流量计在线实际计量中误差增加,一个主要原因是由于流体流态特性的影响,这一直是此类流量计的一个研究重点。由于现场阻流件类型的复杂性,流速廓形畸变,旋转流(涡流)以及脉动流等流体流态特性变化及影响,孔板流量计花费数十年时间试验,消耗大量人力,其成果仍不能满足高精度、大量程(孔板流量计目前最好的量程比为 10:1)、低压损等现场实际要求,其它类型如涡街流量计等的研究试验仍在大力进行中。近年出现多声道气体超声流量计,它利用多声道构建层析网络(见图 1),应用计算机技术进行实时补偿和处理取得良好效果。这是一种应用软件测量技术解决问题的方法,它与孔板流量计等采用对阻流件逐个测量的方法无疑有较好的技术性和经济性。并引起人们的充分重视,一个重要原因就是通过对多声道构建的层析网络,基本上解决了流体流动特性对流量计影响,具有 100:1 的大量程和 $\pm 0.5\% \sim \pm 0.75\%$ 的高精度。一般来讲声道数越多精度越高。在实际应用中,根据精度要求,选择声道数,一般声道数选择范围在 3 至 5

个声道之间。声道数越多成本价格也越高。同时要考虑国内检定机构检定设备的流量范围和精度等制约限制,目前所能检定的最大管径为 DN300,最小管径一般在 DN150,所能出具的系统精度等级的能力为 1 级。被检定系统精度过高不仅增加投资,同时还无法得到检定机构确认。声道数量受管径几何空间尺寸限制,因此小管径可安装声道数受到限制,精度相应也受到一定限制。大流量超声波管径选用一般在 DN150 至 DN300 之间。多声道超声波流量计已成为了一项成熟流量计量检测技术,国内已有不少厂商在大流量方面,开发出超声波天然气流量计量的产品,但目前还主要局限于管道天然气大流量贸易计量方面。在中小流量方面,国际上已开发并拥有了民用超声燃气表,由于涉及到一些敏感技术等问题,较难获得具体的相关技术信息资料。国内尚无其产品和应用,相关产品的介绍也很少,更难见到有关民用超声燃气表的技术性文章或资料。因此,借鉴目前工业用大型超声流量计所采用的时差法测量燃气流量的方法,依据对超声波流量计量的了解和应用情况,于此尝试着发表本文,对超声波在燃气流量计量中的应用进行一些介绍,以供大家探讨。

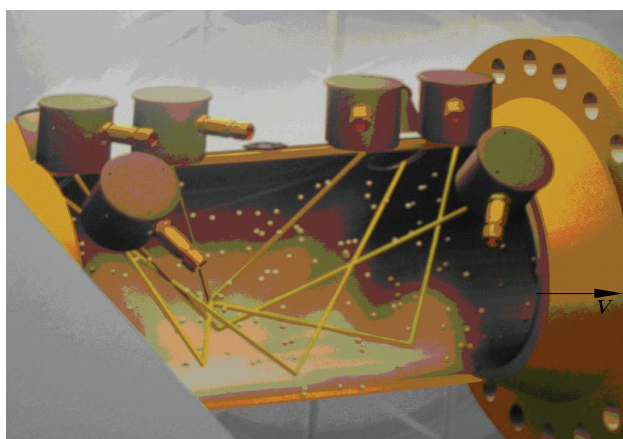


图 1 多声道超声波流量计的声道结构

2 超声波流量计量介绍

2.1 基本概念

超声波是一种机械波,主要有纵波、横波和表面波三种形式,其它则为这三种波的衍生波,(如蓝姆波等)。上述 3 种波在传媒介质中具有不同的传播特

性。其中仅纵波具有在气体中以声速 C 定向传播的特性,并且频率越高,波长就越短,其定向性就越好。由于在气体中传播过程中超声频率越高,声强声压的衰减就越大,有资料表明频率在 150kHz 以内衰减影响不大,若超过 500kHz 衰减较为严重,使超声波在气体测量中有效声程的长度受到高频特性制约限制,而不能做的很长。

超声波测量气体流量的技术是应用超声波的纵波在气体中以声速 C 定向传播特性进行测量,具体应用有多种方法,主要分为以下几种:单向测量法、频差法、超声多普勒法、相关法、相位差法和时差法。目前国内外工业超声流量计均采用时差法。时差法在国内有被称为速度差法,核心是对顺流和逆流声速时间的测量。

2.2 测量流量的时差法原理

如图 2 所示,一对 A 和 B 超声波换能器相向交替(或同时)发射或接收超声波,由于声速顺流所需的传输时间较短,而声速逆流时所需的传输时间较长。通过测量超声波在介质中的顺流和逆流传播的时间和时差,可以间接测量到流体平均流速 V ,并根据平均流速和已确定的流道横截面 A 的关系,应用微处理器的处理技术导出流量 Q ,流量公式: $Q=A \cdot V$,最终计算出流体的体积。超声波时差法测量流体流量的技术核心是对时间的测量与处理。

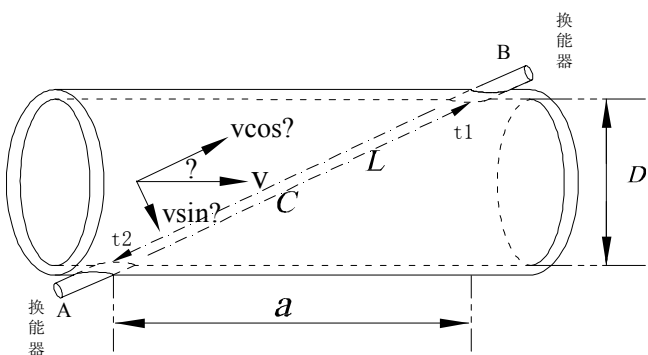


图 2 超声波流量测量原理示意图

下面是时间 t 与平均流速 V 相互关系的基本公式与推导

$$t_1 = \frac{L}{C + V \cos \theta} + t_{d1} \quad (1)$$

$$t_2 = \frac{L}{C - V \cos \theta} + t_{d2} \quad (2)$$

公式中参数说明:

L —两个对射超声波探头 A 与 B 之间有效声道的总长度(声程);

θ —超声波的传播方向与流体的流动方向加角;

t_1 —顺流时的测量总时间;

t_{d1} —顺流时间测量电路及探头的总延时时间;

t_2 —逆流时的测量总时间;

t_{d2} —逆流时间测量电路及探头的总延时时间;

C —超声波的声波速度;

V —流体在有效截面积为 A 的流道中的平均流

速;

$V\cos\theta$ —流体在声波传递方向上的分速度;

$C+V\cos\theta$ —超声波顺流声速;

$C-V\cos\theta$ —逆流声速。

由上述公式通过代数推导出平均流速 V

$$V = \left[\frac{1}{t_2 - t_{d2}} - \frac{1}{t_1 - t_{d1}} \right] \times \frac{L}{2\cos\theta} \quad (3)$$

$$C = \frac{2L}{t_1 + t_2 - (t_{d1} + t_{d2})} \quad (4)$$

$$V = \frac{(2L)^2}{[t_1 + t_2 - (t_{d1} + t_{d2})]^2} \times \frac{\Delta\tau}{2L\cos\theta} \quad (5)$$

$$\tau_1 = t_1 - t_{d1}; \tau_2 = t_2 - t_{d2};$$

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = (t_2 - t_{d2}) - (t_1 - t_{d1})$$

流速是时间的函数,通过对时间值的测量可以计算出平均流速 V 。

工业大流量超声波一般双向测量的最大平均流速范围: ± 30 m/s, 最小平均流速范围: ± 0.3 m/s。实际应用中一般将最大平均流速 V_{\max} 控制在小于 25 m/s 范围内, 下限平均流速 V_{\min} 控制在大于 0.7 m/s 以上。流速过大会导致声波在流道轴的方向上发生偏移, 使接收端传感器所接收的信号因该偏移受到一定影响。

超声波在管道内传输时, 其声速 C 与介质组分、压力和温度密切相关。当这三者中的一项或几项同时发生变化时, 声波速度 C 也会随之发生改变。压力增大, 天然气密度增大, 声波速度提高; 温度升高, 分子热运动加快, 声波速度同样提高。0℃ 时声波在天然气中的传播速度 $C=410$ m/s, 20℃ 时 $C=420$ m/s, 45℃ 时 $C=455$ m/s。从 0℃ 提升到 45℃ 时, 相对于 20℃ 最大有近 25 m/s 变化范围。相对于所测量的平均流速 V 而言, 其影响很大。由于流速测量

精度要求, 应当消除掉上述因素对 C 的影响和干扰。设标准声速 C_0 , $V=0$ 流速时受到压力 P 和温度 T 影响后, 声速有 ΔC_{pt} 变化, 其声速 $C_i = C_0 + \Delta C_{pt}$, 当该条件下有平均流速 V 时, 顺流的声速表示为: $C_{vs} = C_0 + \Delta C_{pt} + V\cos\theta$, 逆流的声速表示为: $C_{vn} = C_0 + \Delta C_{pt} - V\cos\theta$ 。

顺流与逆流的声速差表示为:

$$\Delta C_{vsn} = C_{vs} - C_{vn} = 2V\cos\theta \quad (6)$$

上面公式的推导表明, 通过对顺流和逆流时间做差的方法, 一方面不仅确实可以完全消除掉温度和压力变化对声速的影响量 ΔC_{pt} , 即时间中的共模成分即声波速度变化的影响, 而不影响流速的测量; 同时顺流与逆流的声速差 ΔC_{vsn} 等于 2 倍流速的余弦分量, 差分得到有效的放大, 使测量的灵敏度提高, 扩大差模成分这正是时差法能够应用于超声检测的基础与核心。顺流与逆流声速 C 一个完整的测量周期 t_1 与 t_2 两时间极短, 一般在毫秒级, 短时间内温度和压力变化不大或基本保持稳定。使时间的时差法是有效的流量测量方法, 因此该项技术方案, 在国内外超声波流量实际测量中得到广泛应用。上述公式和推导还可以通过数学的方法做出进一步的理论证明, 时差法是正确有效的。

3 超声波在民用燃气表中的应用展望

目前, 全国在用燃气表数大约 1 600 万台, 其中北京仅在用 IC 卡表有 150 万台, 国内燃气表年计划发展量约 100 多万台。国内民用燃气表一直以量程比大, 成本低的膜式燃气表占据主导地位。膜式燃气表的原理和基本结构已有上百年历史, 精度从 $\pm 3\%$ 提高到 $\pm 1.5\%$, 重量上有所减轻、体积有所减小、表体外形有所改观变化。在信息化的今天, 查表、收费、计量、运行维护以及管理等诸多方面, 膜式燃气表仅依靠机械字轮指示器记录气量这一基本功能, 已不能适应或满足市场多种需求, 因而出现了在膜式燃气表(简称基表)的基础上, 进行各种各样智能化、信息化改造的现象, 如 IC 卡表、有线远传表、无线远传表等。上海、北京等地又出现了在 IC 卡表基础上增加无线传输功能发展的趋势。目前基表价格一般在 90 元到 140 元左右, 而加装智能化后的价格一般在 450 元到 550 元左右, 最低的 IC 卡燃气表价格能到

350元左右。智能化部分与基表相比较,已占总价格的70%以上。

目前,欧洲和日本已经出现了民用超声波燃气表和水表,如英国 INVENSYS 有限公司的 Sonix 6 型超声煤气表,德国 ELSTER 的 USK6 型超声燃气表,主要技术参数基本上以膜式表为参比对象。从市场需求、成本价格接受能力和现代化信息管理要求等方面综合考虑,针对国外民用燃气表出现的具有

突破性技术进步,国内外不少厂商在超声波水表,热水表产品开发应用上已初具一定的规模和能力,其中已有部分国内厂家对超声波民用燃气表有所涉及。这应当引起国内燃气表行业的密切关注。

民用超声波燃气表属速度式智能化流量测量仪表。民用超声燃气表测量系统基本结构,如图4所示:双点划线左边是IC卡表或远传表的电路框图;右边是流量测量电路框图部分;右上边是由流道、声



国外超声波燃气表



国内 IC 燃气表

图3 本文涉及有关燃气表的配图

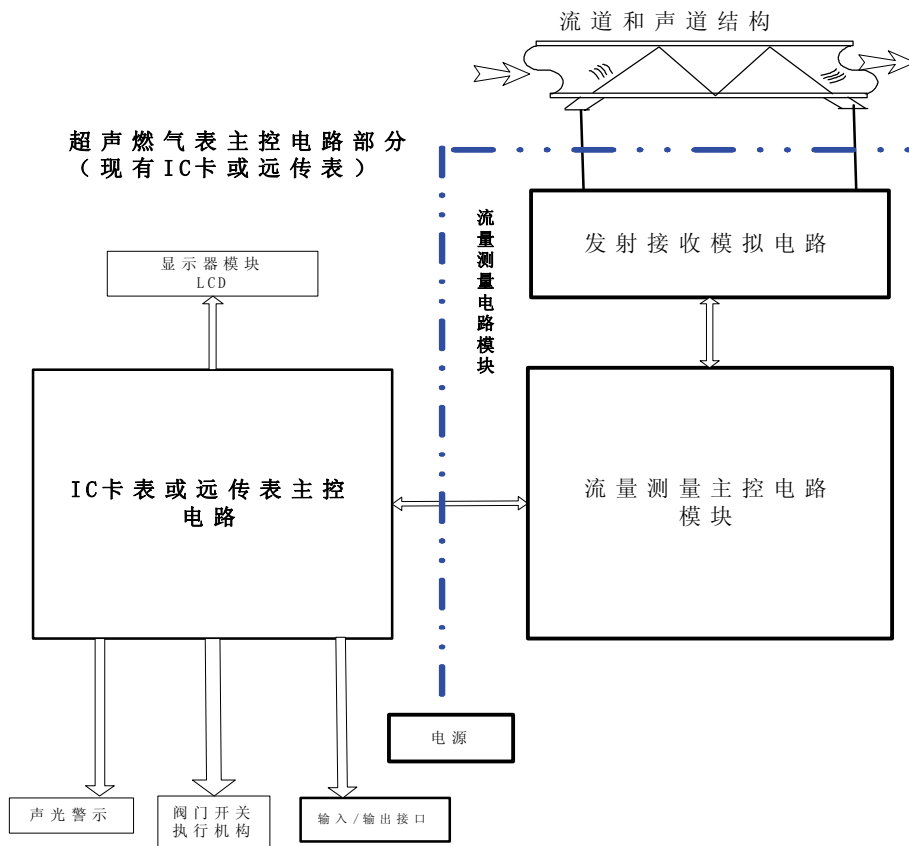


图4 民用超声波燃气表电路系统结构总框图

LNG冷能利用技术探讨

重庆大学城市建设与环境工程学院(400045) 周廷鹤 彭世尼

摘要 液化天然气(LNG)中含有大量的冷能,具有很高的经济价值。随着 LNG 用量的迅速增长以及全球性能源供应紧张形势的加剧,合理利用这些冷能显得尤为重要。本文介绍了 LNG 冷能利用的几个方法,并提出一个 LNG 冷能梯级利用的方案,以达到合理利用 LNG 冷能,减少焓损失的目的。

关键字 LNG 冷能 利用

Discussion of LNG Cold Energy Utilization Technology

Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering ,Chongqing University

Zhou Tinghe Peng Shini

Abstract LNG contains a lot of cold energy, which has high economic value. With the rapid growth of LNG consumption as well as the intensified situation of the global energy supply tensions, the reasonable use of the cold energy is particularly important. This paper discusses several ways that how to use LNG cold energy in cascade mode on the basis of energy and quality matching and make use of the concept of energy, so as to use the cold energy reasonably and to minimize the energy loss.

Keywords LNG cold energy utilization

道和超声波传感器构成的测量结构图。它彻底摒弃以膜式燃气表为基础进行二次智能化改造的模式,解决了基表性能单一的问题,使现有智能化计量系统潜在功能得以充分发挥和优化,有利于综合成本的降低,效益提高。民用超声波燃气表涉及到以下4个部分:声道和流道结构(机械装置);流量测量主控电路(数字电路);发射接收模拟电路(模拟电路);软件程序。内容涉及流体力学、声学、机械、电子和软件等方面,是一个较大的综合性技术开发项目。就目前国内在许多方面如机械、数字电路、模拟电路以及软件等方面的技术水平和设计能力,已具备相应的开发能力,电子器件如时间数字转换等关键元器件已可以完全满足设计需求(已有的超声波水表和燃气表已经说明了问题)。只要技术路线与方案合理,如在IC卡表的基础上进行二次开发,应无太大的技术

障碍。目前国内,应用于燃气的超声换能器技术与国外还存在有差距,主要表现在民用气体超声探头的成本与稳定性上,但探头技术的发展十分迅速。探头的核心技术是压电陶瓷晶体特性,依据现代电子技术的发展史和规律,可以预期,随着现代电子技术的迅速发展和电子元器件的成本大幅度下降,中小型超声波流量计的制造成本也将随之大幅降低,其技术与应用也将会更加完善成熟。国内大型超声流量计,超声波冷热水表以及国外超声波燃气表的生产应用表明,超声波技术用于民用燃气表仅是一个时间的问题,若民用超声燃气表能够走向市场,将会对现有民用燃气表应用产生深远的影响。因此,无论是产品开发生产厂商或是应用管理方,做好前期相关技术研究、准备、跟踪或了解、把握相应的技术标准应是件很有意义的工作。