

超声波液位计的误差分析与校正

马伟

(中国船舶重工集团公司第715研究所第3研究室, 浙江杭州 310012)

摘要 介绍了超声波液位计工作原理, 讨论了超声波液位计在液位测量中, 影响测量精度的各种因素。并对参考声速误差、渡越时间误差和系统时延误差的成因及影响进行了分析, 提出了各种误差的校正方法。

关键词 超声波; 液位测量; 误差分析; 校正

中图分类号 TP216 文献标识码 A 文章编号 1007-7820(2011)04-107-03

Error Analyze And Compensation of Ultrasonic Liquid Level Meter

Ma Wei

(3 Research, 715th Research Institute of China Shipbuilding Industry Corporation, Hangzhou 310012, China)

Abstract This paper simply introduced the principle of ultrasonic wave, discussed various factors which affect the accuracy of liquid level meter, analyzed the causes and effects of reference error, transit-time error, time-delay error, and proposed correction methods of all kinds of errors.

Keywords ultrasonic wave; liquid level meter; error analysis; compensation

在工业生产中, 液位测量是一个重要的测试和控制手段。随着工业自动化程度的快速发展, 液位测量已被广泛应用, 如各种容器、管道内液位测量及水库、江河、水渠的水位测量^[1]。无论是应用于哪种场所, 都对液位计的测量精度提出了越来越高的要求。目前, 液位测量使用最普遍的是超声波液位计, 但由于超声波液位计的测量精度极易受到温度、湿度、粉尘、被测量液体的化学成分等多方面因素的影响, 导致其测量精度不高。本文对超声波液位计测量中可能出现的一些误差进行了分析, 并提出了相应的补偿措施。

1 工作原理

超声波液位计工作原理如图1所示, 超声波液位计一般采用收发合一的陶瓷超声波换能器, 声波的发射和接收都由同一个探头完成。探头向被测液面发射超声波信号, 超声波由探头经传播介质传播至被测液面, 在液面上形成反射, 反射波沿原路径传播至探头, 被探头接收。计时单元测量超声波从发射到回波被接收所用的时间, 根据声波在空气中的传播速度, 可以计算出探头至液面的距离, 从而得出液面的高度^[4]。

收稿日期: 2011-03-01

作者简介: 马伟(1976-), 男, 工程师。研究方向: 电子工程技术。

$$h = H - S = H - \frac{V \times t}{2} \quad (1)$$

式(1)为液位高度计算公式。其中, H 表示探头距容器底部的距离; S 表示探头距离液面的距离; v 为超声波的传播速度; t 为超声波的传播时间。

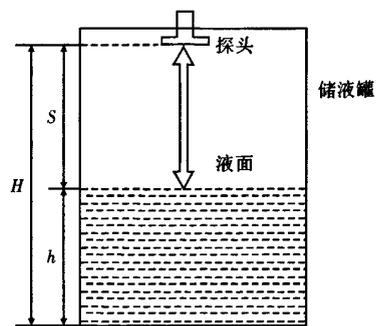


图1 超声波液位计工作原理图

2 误差分析及校准方法

2.1 参考声速精度误差

由式(1)可知, 超声波的传播时间是液位计测量的中间结果, 利用超声波液位计测量液位, 还需要知道超声波在空气中的传播速度, 因此对超声波传播速度取值精度将极大地影响超声波液位计的测量精度。

2.1.1 温度补偿

一般情况下, 温度是影响声速的主要因素, 在正常大气压条件下, 声速与温度的关系如下

$$V = V_0 \sqrt{1 + \frac{T}{273}} \quad (2)$$

其中, $V_0 = 331.45 \text{ m/s}$ 表示 0°C 时声速; T 表示温度, 单位 $^\circ\text{C}$ 。

在工业测量中一般以式(3)近似计算空气中超声波的声速与温度的关系。

$$v = 331.45 + 0.607T \quad (3)$$

因此, 可以通过在液位计上安装温度传感器实时测量温度, 并利用式(3)中给定的温度与声速的关系, 方便地换算出声速值。但是, 实际上声速又不仅仅受温度影响, 还与气体密度、气压、湿度、空气中的悬浮物等诸多因素有关。因此, 在实际应用中仅利用测量温度的方法对声速进行标定还有诸多不足, 且在温度测量过程中也会存在一定的误差, 因此温度补偿方法只适用一般应用, 而无法满足高精度测量。

2.1.2 实测声速补偿

实践证明, 无论是利用何种经验公式和经验数据对声速进行补偿, 都会由于测量环境的复杂性和测量方法等原因, 引进新的误差。因此利用实测声速的方法进行声速补偿被认为是最可靠的补偿方法。

如图2所示, 在发射探头前端安装一个挡板, 挡板与探头形成一个距离固定的声程区间, 该结构称之为声程架。当探头发射声波时, 该挡板能将一部分声波反射回探头。探头接收到反射波后, 计算从发射到接收的时间, 利用式(4)计算声速^[2]

$$V = \frac{2 \times L}{t} \quad (4)$$

其中, L 为声程架的声程长度; t 为声波传播时间。

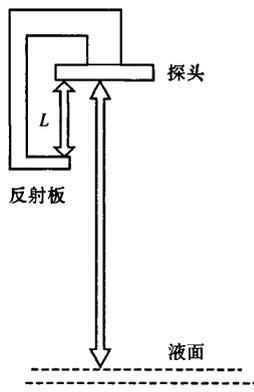


图2 实测声速补偿原理图

利用实测声速方法进行补偿, 由于补偿声波与测量声波传播路径所处的环境极为相似, 所受的环境影响也

基本一致, 其声速通常也较接近, 所以这种方法是目前使用最精确的声速修正方式。但是在这种方法的使用中, 声程架应选用低温度膨胀系数的材料, 以免环境温度变化声程架发生热胀冷缩, 使声程距离 L 发生改变, 影响实测声速精度。

2.2 渡越时间误差

声波是纵向振动的弹性机械波, 它借助传播介质的分子运动而传播。由于传播介质的吸收、散射和声波的扩散等原因, 导致声强、声压和声能减弱, 发生声波衰减。并且液位计的测量需要在被测液面上形成一次声波反射, 这同样会引起声波的衰减。声波是按传播距离的指数规律衰减的, 当液面高度不同时, 声波的传输距离也不相同, 其接收波的幅度也会有较大差异。

接收到的超声波脉冲串经过放大滤波后, 其波形如图3所示。探头发射超声波时系统开始计时, 当接收信号的幅度超过设定的阈值时停止计时。液位高度发生变化时, 接收信号的幅度也会发生变化。在液位比较低时, 接收信号幅度比较小, 可能需要在第4个波峰处才能达到阈值; 当液面高度比较高时, 接收信号幅度比较大, 可能在第3个甚至更早就能达到阈值。这样停止计时的时间就不是确定的, 这种不确定性必然会给系统测量精度带来误差。例如, 当超声波频率为 40 kHz 时, 如果停止计时信号相差一个波形, 那么计时时间就会相差 $125 \mu\text{s}$, 如果声速此时为 340 m/s , 则液面高度就会相差 42.5 mm , 这个误差如果应用到石化部门 1000 m^3 以上的储油罐上, 将会产生很可观的绝对误差, 所以必须要消除。

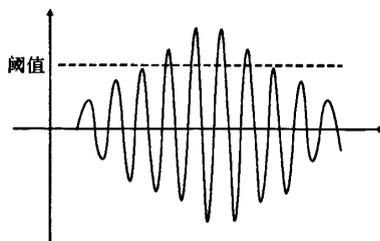


图3 接收波检测示意图

目前比较简单的消除渡越时间误差的办法是增加时间控制电路(TGC), 利用TGC电路补偿声波在传播过程中的衰减, 使各种液面高度情况下, 接收波的幅度基本保持一致, 从而尽量减小测量误差。但是, 这种方法还是具有较大局限性。该方法需要预知不同液位高度声波的传播时间, 以及在这段距离内声波的衰减量, 然后将两者的对应关系拟制出一条曲线, 并

设计出符合这一曲线方程的时间增益控制电路。根据前面的分析，其中，较为重要的两个因素——传播时间和衰减量，易受现场环境影响，而不能与事先拟制的曲线很好的吻合。并且，即使拟合的曲线十分精确，也难以设计出与之完全吻合的 TGC 电路。由此，在补偿中新的误差引入也就在所难免了。

要彻底消除渡越时间误差，接收电路可以采取如图 4 所示形式。信号的变换过程如图 5 所示，图 5(a) 为经过前置预处理的接收信号，经过直流检波与滤波后提取出信号的包络如图 5(b) 所示，将包络进行微分处理如图 5(c) 所示。通过信号的变换过程可以看出，无论接收信号的幅度如何，其包络的峰值肯定处于接收信号的时间中心点上，即微分信号的过零处。因此，过零检测电路产生的停止计时信号一定处于回波信号的时间中心点，不会因信号的幅度而改变，由此，渡越时间误差也就完全消除了。

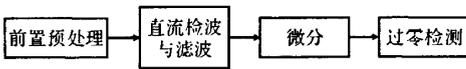


图 4 接收电路框图

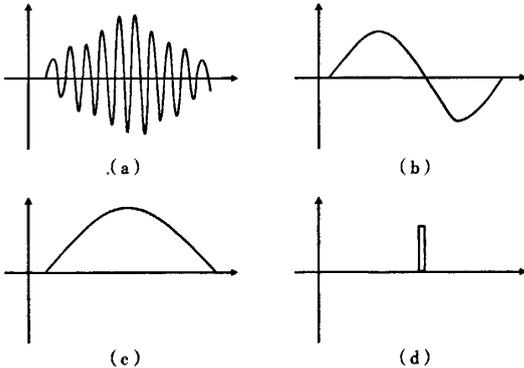


图 5 信号变换图

2.3 系统误差

系统误差主要由系统时延产生，系统延时的主要来源有硬件电路延时、单片机的中断响应延时、探头响应延时等。由于超声液位计工作于脉冲发射状态，单片机每次发出发射命令后，发射功放电路要经过一

个能量蓄积的过程才能达到发射状态，同时探头内的压电陶瓷也有一个起振过程，要达到 40 kHz 的振动频率也需要一定时间。而计时却是从发射命令发出开始的，因此这个系统时延必须要予以考虑，并在软件上进行补偿。另外，超声波测量液位时，液位距离都是从探头前端表面到液面，实际上压电陶瓷声学中心并不是在其表面上。因此，从探头表面到声学中心点的距离，也会引起系统误差，这个误差可以和时延误差归为一类，并一同修正^[3]。

对于同一个型号或批次的液位计，由于所用的元件、材料、工艺等都一样，其系统时延也相差无几，并且是一个比较固定的值。因此，可以通过对固定距离测量的方式，标定并修正系统时延。设 S_1 、 S_2 为两个已知的固定距离， t_1 、 t_2 为在这两个距离进行标定时测得的时间，其中含有相同的系统时延 Δt ，即声波往返于两个距离时所用的实际时间分别为： $t_1 - \Delta t$ 和 $t_2 - \Delta t$ 。则有

$$S_1 = v \times (t_1 - \Delta t) \quad (5)$$

$$S_2 = v \times (t_2 - \Delta t) \quad (6)$$

由式(5)和式(6)可得

$$\Delta t = \frac{S_2 t_1 - S_1 t_2}{S_2 - S_1} \quad (7)$$

将实测的 S_1 、 S_2 、 t_1 、 t_2 代入式(7)中，求得 Δt ，再将系统软件中的测量结果用 Δt 修正，则可以消除系统延时误差。

3 结束语

以上对超声波液位计测量中几种主要误差进行了分析，并提出了修正方法，采取以上修正方法的液位计，在测量精度上将会有较大提高。

参考文献

[1] 秦永烈. 物位测量仪表[M]. 北京: 机械工业出版社, 1978.
 [2] 陈琴仙. 声速测量探头的研制[J]. 声学与电子工程, 1999(4): 29-32.
 [3] 刘艳艳. 超声波液位计的研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2007.

超声波液位计的误差分析与校正

作者: [马伟, Ma Wei](#)
作者单位: [中国船舶重工集团公司第715研究所, 第3研究室, 浙江, 杭州, 310012](#)
刊名: [电子科技](#)
英文刊名: [ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY](#)
年, 卷(期): 2011, 24(4)

参考文献(3条)

1. [刘艳艳](#) [超声波液位计的研究](#) 2007
2. [陈琴仙](#) [声速测量探头的研制](#) 1999(04)
3. [秦永烈](#) [物位测量仪表](#) 1978

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzkj201104031.aspx