



YC-2 型 超 声 液 位 计

张大安 赵毅 张昌征 狄小青

(北京市新技术应用研究所)

1982 年 2 月 4 日收到

YC-2 型超声液位计是为液化石油气大型贮液罐中的液位测量而设计的。它采用晶体管和集成电路、数字显示,并有距离增益控制电路、声速校准电路和超位报警电路,适于高压密闭容器中的液位测量。

一、性能特点和技术指标

超声测液位的优点是测量方便(可遥测、遥控、连续测量)、迅速、精度高。为了测量液化石油气大型贮液罐中的液位,我们研制了 YC-2 型超声液位计。这种液位计适于高压密闭容器中的液位测量。它的性能特点是:

1. 采用全晶体管电路,计数部分采用中规模集成电路,使仪器体积小、重量轻、寿命长。

2. 发射电路功放部分采用复合管推挽电路,输出波形好,效率高。

3. 接收电路采用调谐电路进行选频放大,并设有距离增益控制电路,大大提高了接收灵敏度。

4. 设有超位报警电路,报警液位可以预选,当实测液位超过预选报警液位时,仪器发出灯光信号,同时发出报警声信号。

5. 设有故障报警电路,当连续 10 次测量发射收不到反射信号时,发出灯光报警信号,表示测量条件恶化收不到反射波,此时指示的液位值无效。

6. 设有声速校准电路,与设在测量管中的固定距离的反射棒配合,可对被测液体中的声速随时进行校准,消除了被测液体成分及温度的变化而引起的测量误差。

YC-2 型超声液位计的技术指标如下:

换能器工作频率: 420 千赫; 取样周期: 约 0.3 秒; 测量方式: 底部发射, 自发自收; 发射脉冲宽度: 35 微秒; 盲区: 1 米; 测量精度: 5×10^{-3} ; 最大测量高度: 40 米 (200 米接收电缆测液化石油气); 显示方式: 数字显示; 报警液位: 在测量范围内任选; 测量通道: 单通道三探头切换测量; 电源及功耗: 220 伏, 50 赫, 30 瓦; 外形尺寸: $460 \times 350 \times 150$ 毫米³; 重量: 约 5 公斤。

二、测量原理

超声换能器(探头)固定在测量立管的底板外,采取自发自收方式。测量立管与贮罐连通。探头自立管底部发出超声脉冲,经过底板、液体,向液面传去,到达液面即被反射回来,又被该探头所接收,如图 1 所示。

设在被测液体中超声波的传播速度为 c , 液面高度为 H , 若忽略壁厚的影响, 则声波在液体中的往返传播时间 t 如下式所示:

$$t = \frac{2H}{c} \quad (1)$$

在关系式 (1) 中,对于某一种被测液体,在一定温度下, c 是已知的常数。所以,关系式 (1) 表明,超声波在液体中的传播时间 t 是与液面高度 H 成正比的。因而,测出时间 t , 经过一定的比例换算,就得出了液面高度 H 。

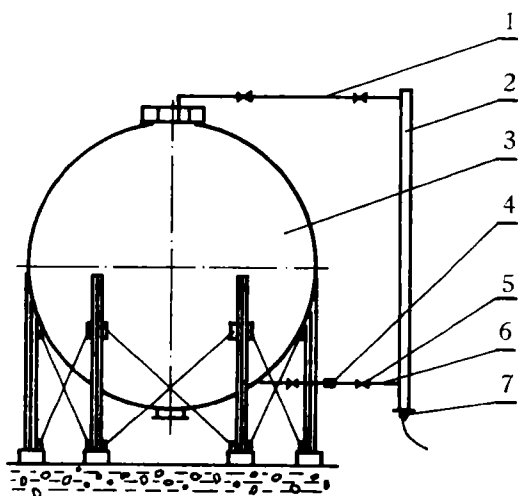


图1 测量示意图

- 1.气相管; 2.测量立管; 3.球形罐; 4.过滤器;
5.阀门; 6.液相管; 7.换能器。

对时间 t 的测量是如何实现的呢? 图2是测量原理方块图。自探头发出超声脉冲开始, 扣除壁厚延迟时间, 即打开一个电子门, 使频率为 f 的振荡信号通过电子门进入计数电路。当接收脉冲到达时, 使电子门关闭, 振荡信号不能通过, 不能进入计数电路。所以, 计数电路所记的数字 N 是:

$$N = ft \quad (2)$$

合并(1)(2)两式得到

$$H = \frac{cN}{2f} \quad (3)$$

(3)式说明, 计数电路所记数字 N 间接地代表了 H 。若调整振荡频率 f , 使

$$\frac{c}{2f} = 1$$

即在数值上使

$$f = \frac{c}{2} \quad (4)$$

则记数 N 可以直接代表液面高度 H 。这样, 液面高度 H 可以由数字显示直接读出。

在(3)和(4)式中, f 的单位为赫兹, H 的单位与 c 中的长度单位是一致的, 例如, 若 c 以毫米/秒计, 则液面高度就等于 N 毫米。对于不同的被测液体, 要根据(4)式来调整振荡器的

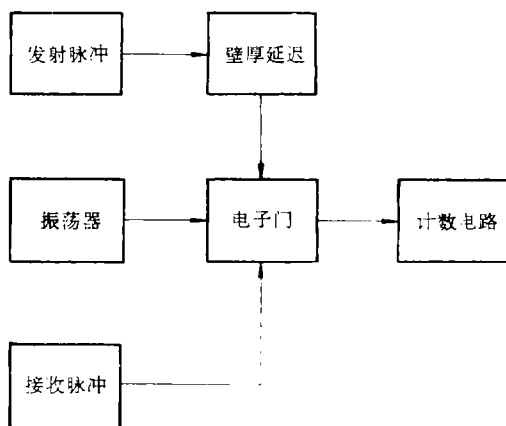


图2 测量原理方块图

频率。本仪器是专为测液化石油气而设计的, 所以振荡器的频率是根据液化石油气中的声速而确定的。假若要适应于多种液体的液面测量, 则可预先根据这几种液体中的声速度, 把振荡器调定在几个对应的频率上, 测量时, 视被测液体的不同而用波段开关进行切换。

三、电路方块图及工作过程

YC-2 型超声液位计的电路方块图如图3所示。图4是工作过程时间波形图。

下面参照图3和图4介绍其工作过程。

主控振荡器产生周期为300毫秒左右的方波, 这就是一次测量的周期。方波的负后沿触发记忆单稳和第一延迟单稳。记忆单稳产生一个80毫秒的正方脉冲输给寄存器 MOS-J, 以保证在计数过程中寄存器处于寄存状态, 避免数码管闪动。第一延迟单稳产生一个0.5毫秒的正方脉冲, 其负后沿同时触发复零单稳和第二延迟单稳。复零单稳产生复零脉冲, 使计数电路在发射单稳被触发前全部复零。为此, 复零单稳的脉冲宽度要小于第二延迟单稳的脉冲宽度, 取为25微秒。而第二延迟单稳的脉冲宽度为50微秒, 其负后沿触发发射单稳。

发射单稳控制发射脉冲的宽度。本仪器的发射脉冲宽度为35微秒。受控振荡器的振荡频率为超声探头的工作频率, 即420千赫。它受发射单稳的控制而振荡, 产生方波调制的正

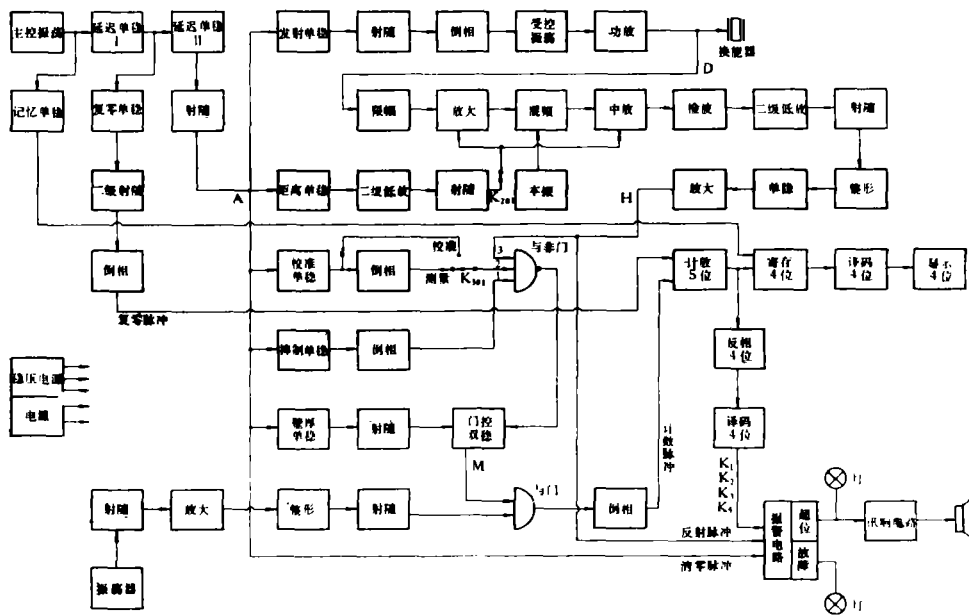


图 3 电路方块图

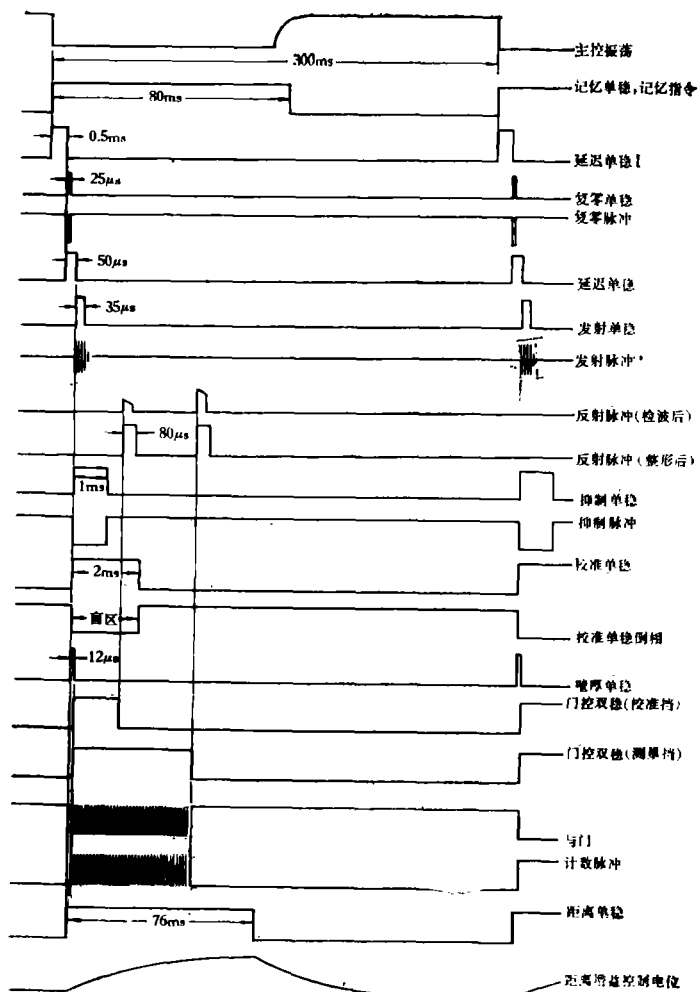


图 4 工作过程时间波形图

弦波,方波宽度即为发射单稳的方波宽度。受控振荡器产生的方波调制波至功放级放大后经输出变压器送至超声探头,转换为超声脉冲向被测液体发射出去。

第二延迟单稳方脉冲的负后沿还同时触发壁厚延迟单稳、校准单稳、抑制单稳和距离单稳。

壁厚延迟单稳的脉冲宽度相当于声波穿过容器壁的往返时间,该正脉冲的负后沿通过门控双稳来产生开门信号。

由探头接收到的信号,经限幅切去过高的部分,进入调谐到 420 千赫的选频放大器,而后与本振产生的 1220 千赫的信号进入混频级,产生 800 千赫的差频信号,经中放后检波成为正脉冲,再经整形后,触发一个单稳电路使产生方脉冲,经两级放大即为反射波正方脉冲。它接到三输入端与非门的第三个输入端,通过后,触发门控双稳翻转,作为与门的关门信号。

距离增益控制电路产生一个自发射脉冲开始随时间而指数形升高的直流电位,使接收放大电路增益随被测距离加大而提高,以便使声波在介质中传播的衰减得到增益方面的补偿,提高远距离测量的灵敏度。

抑制单稳被触发后,产生宽度为 1 毫秒的正方脉冲,倒相后的负抑制脉冲加到三输入端与非门的第一个输入端上。在这个负抑制脉冲的作用时间内,其他两个输入端的正脉冲都不能通过与非门。发射脉冲经接收放大电路而形成的正脉冲正是在这段时间内,所以它不能通过与非门。由此可以看出,抑制单稳的作用就是为了抑制发射脉冲对门控电路的影响。

校准单稳被触发后,产生一个宽度为 2 毫秒的正方脉冲。当接通校准挡时,该正方脉冲加到三输入端与非门的第二个输入端上。在该正方脉冲作用的时间内,扣除抑制脉冲后所余下的时间,可以允许第三个输入端的正脉冲通过与非门。在液化石油气中,这段时间大致对应于 0.5—1 米处的反射波。在测量立管内距底板 0.75 米高的地方,设置了一个反射棒。由该反射棒所产生的正反射脉冲加到与非门的第

三个输入端上,它到达的时间,恰恰在其他两个输入端都处于高电平的时域,即在负的抑制脉冲之后而又是校准单稳正方脉冲结束之前。所以,反射棒的正反射脉冲通过与非门而形成负方脉冲,加到门控双稳的另一个输入端,其负前沿使门控双稳翻转,成为与门的关门信号。这时可以根据反射棒的高度来校准正弦振荡器的频率,使数字指示正好等于反射棒的高度。

当三输入端与非门的第二个输入端接通测量挡时,校准单稳正方脉冲经过倒相而将一负方脉冲加到与非门上,只有在此负方脉冲过去之后的时间里,才能允许反射波正方脉冲通过与非门。所以,校准单稳脉冲宽度决定了测量的盲区。而当接通测量挡时,由于校准单稳倒相后负方脉冲的箝位作用,使反射棒的反射波不能通过与非门来触发门控双稳。另外,在第一次反射脉冲使门控双稳翻转之后,再到达的反射波脉冲并不能再使门控双稳翻转,就是说,第二次以后的反射波不起任何控制作用。

正弦振荡器产生的正弦波,经放大整形后成为连续方脉冲输给与门。与门受门控双稳的控制。在与门打开的时间内,连续方脉冲通过,作为计数脉冲进入计数电路,经寄存、译码后显示出来。因为与门的开门时间就是超声脉冲在液体中的传播时间,所以,在对振荡器频率进行校准之后,被数字显示出来的记数就代表了液面高度。

计数脉冲进入另一路译码器 MOS-Y 之后,与反射脉冲和第二延迟单稳脉冲一起控制超位报警和故障报警电路,使得当超位或收不到反射波时都能发出报警信号来。

四、试验情况

实验室内的模拟实验装置如图 5 所示。它的主体是一根内径为 200 毫米、长度为 1.8 米的无缝钢管,两端垂直于管轴焊上磨光钢板,管子水平放置,内充液化石油气,充满度为 85%。其中成分:丙烷—丙烯 32%、丁烷—丁烯 66%、戊烷—戊烯 2%。超声探头固定在一端

板之外,进行发射测量.在传输电缆为60米的情况下,可以测到第24次反射波,折合测量距离为43米;用200米长传输电缆,可测得第18次反射波,折合测量距离为32米.

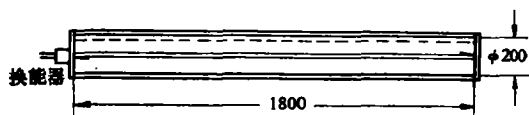


图5 模拟实验装置

现场试验在京郊某液化石油气贮备厂进行.贮液罐为球形,直径12.5米,贮存介质为液化石油气.测量示意图见图1.试验中油面高度为8米时,用60米传输电缆,可测得第8次反射波,折合测量距离为64米.为了抑制外界电磁信号的干扰,将灵敏度调低,使只收到第6次反射波,折合测量距离为48米.

测位立管内距底板75厘米处,水平放置一不锈钢反射棒,取其反射波以校准振荡器的频率.在示波器上可以清楚地看到反射棒的反射波.实验证明,仪器可以利用这个反射波方便地校准振荡器频率.这大大地减小了油温及油成分变化引起的测量误差.

安装技术要求:测位立管与底端法蓝的垂直度误差不大于0.02;测位立管与地平的垂直度误差不大于 10^{-3} ;液相管路中应安装过滤器;底部法蓝上不应积聚沉淀物;固定探头的紧固件应按有关防爆要求加工或采取密封措施.

实测液位的误差为 3×10^{-3} .

五、误差分析

测量误差可以分为仪器本身的误差及使用条件误差两部分.

仪器本身的误差来源于:

1. 计数振荡器的频率稳定度,为 10^{-4} .

2. 反射波丢波:由于换能器的起振惯性,当电信号加上时,它不能立即达到最大振动幅度;当交变力加上时,它也不能立即输出最大压电信号.因而会产生反射波中的前几个波幅度较小的现象.当这些波的幅度小到不能被接收

电路所接收时,就产生丢波现象.据示波器观察,在本仪器中,用200米长的传输电缆,测10米高的液位,反射波会丢失三个波.换能器频率为420千赫,三个波为7.2微秒;而声波在液化石油气中往返10米所需的时间约为22毫秒;所以丢波造成的误差为 3.3×10^{-4} .

综合上述两项,得到仪器本身的误差小于 5×10^{-4} .

另一类误差是使用条件误差,它包括:

1. 校准误差

反射棒的高度为75厘米,而超过74和小于76的数都可能显示为75.当然,实际数字越接近于75,则显示为75的数字越稳定.我们估计在 75 ± 0.2 的数值范围内,显示为75就会比较稳定.这样,校准误差为 $0.2/75 = 3 \times 10^{-3}$.

2. 温度误差

反射棒位于液位测量立管的底部,而整个立管高12.5米,其中液体上下是有温度差的.在立管外部不包隔热层的情况下,在夏天,立管内的液体温度,顶部比底部高 2°C ,在全程上平均高 1°C ,这样带来的测量误差为 4×10^{-3} .在立管外部包上隔热层后,上下部的温差会减小一半多,该项误差也会减小一半多,小于 2×10^{-3} .

综合这两项误差可知,在测量立管外部包上隔热层后使用条件造成的误差将小于 5×10^{-3} .

根据上述分析看出,仪器本身的误差比使用条件造成的误差小一个数量级.在现在的使用条件下,仪器本身的误差可以略去不计.为了提高测量精度,就要减小使用条件误差.这要求测量立管和液相管必须包上隔热层,以减小环境温度变化对管内液体温度的影响;另外,在利用反射棒进行校准时要仔细,使校准指示数字稳定、准确.若在将来的改进中,增加一位校准数字,则可把校准精度提高一个数量级.这样总的测量误差可以降到 3×10^{-3} 以下.