

超 声 测 位 仪 表

——过程检测用超声仪表介绍之一

一、概 述

超声波测位是超声技术在过程检测中应用最广的领域之一,五十年代末就进入实用。起初只是较多的用于液体、固体物位的定点报警。现在不但能连续测量液体、颗粒体、块体的物位高度,量程也能从几十厘米到长达100米,而且还能用于有爆炸危险的场合,如煤矿煤位,乾式煤气柜中活塞位置测量。最新的产品还带有微处理器。

超声波测定物位的仪表根据使用特点可分为两大类:定点式物位信号控制器和连续指示式超声物位计。定点式用来检测被测物位是否到达预定高度,并发出相应的位置信号。根据不同的工作原理及探头结构,可以分别用来检测液面、固体料面、固/液分界面及液/液分界面。特点是简单可靠、使用方便,品种多,广泛应用于化工、石油、食品、医药及核子等工业部门。

连续指示式超声物位计能连续测量液位、固体料位。其工作原理大多采用回波测距法(即声呐法)。根据不同的应用场合及传声介质,可分为液体传声式,气体传声式及固体传声式三种。在目前工业过程检测应用中,绝大多数采用气体传声式。换能器安装在被测物料的上方,测量出超声脉冲从换能器辐射面到被测物料表面往返传播的时间,换算成物料高度。

超声物位仪表的主要优点是完全没有可动部件,工作可靠,安装使用维护方便。

二、定点式超声物位控制器

这类仪表亦称为超声开关,通常将探头

(超声换能器)安装在容器中需要发出控制信号的位置上,当被测物料高于或低于该位置时,仪表用两种不同的状态信号表示。其工作原理有许多种,都是利用被测物料对声波特性的影响,分别介绍如下。

1. 声阻式超声液位控制器 利用气体和液体对超声换能器振动阻尼的显著差别这一特性,来判别换能器是在液体中还是气体中,从而测定液面是否到达换能器的安装高度。

探头(换能器)的结构如图1所示,由安

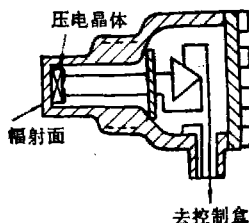


图1 声阻式液位控制器的探头结构

装在不锈钢外壳中的压电晶体和放大器组成。放大器的输出通过压电晶体反馈到放大器的输入,由于声反馈而在压电晶体的谐振频率上振荡。当探头的不锈钢辐射面处于空气中时,气体对振动的阻尼小,放大器处于振荡状态。当不锈钢辐射面和液体接触时,液体对振动阻尼大,使探头Q值降低,振荡停止,供给探头的电流增大,使控制盒内继电器动作发出控制信号。

这种仪表简单、方便,探头上有螺纹,使用时只需将探头拧装在容器侧壁上需要发信的高度即可。但是不适用于粘性液体,因为粘附在探头上的液体会阻尼探头振动,产生误动作。

2. 液介穿透式超声液位控制器 利用超声探头在气体中和液体中透射系数的显著差别,来判断被测液面是否到达探头安装高

度。探头的结构如图2所示。相隔一定距离平行放置的两片压电晶片被封装在不锈钢外壳中，或用环氧树脂铸成一体，中间留有一定间隙(例如12毫米)，两压电片分别接到控制盒中放大器的输入与输出端。当间隙内充满液体时，由于固体与液体的声阻抗率接近，透射系数较大，从发射晶体发出的超声波以较小的损耗穿过间隙内液体，传播到接收晶体上，经接收晶体转换成电信号送回放大器，使放大器处于振荡状态。当间隙内是气体时，气体与固体的声阻抗率差别极大，在固/气分界面上声波几乎全反射，透射系数极小，声反馈中断，振荡停止。所以可根据放大器振荡与否来判断被测液面是否高过探头间隙位置，仪表发出相应信号。

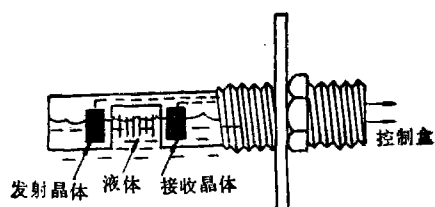


图2 液介穿透式液位控制器结构图

这种仪表结构也很简单，探头也使用螺纹拧装方式，从侧面密封安装在容器需要发信的位置，并且工作不受被测介质理化性质影响。有不同的型号适用于高压(280公斤/厘米²)、高温(150℃)、低温(-200℃)、强腐蚀、含有悬浮颗粒及粘性的液体，还可以检测液体中的固/液分界面。

3. 液/液分界面检测器 探头结构如图3所示。发射晶体与接收晶体之间间隙较长(例如150毫米)，安装时从容器侧面倾斜密封安装(与水平面约成10°)，当间隙内是同一种液体时，放大器由于声反馈而振荡；当两种液体的分界面处于间隙中间时，发射晶体发出的超声波部分被反射，部分被折射，不能到达接收晶体，声反馈中断，振荡停止，控制盒发出相应的信号。

上述三种仪表只能检测液体，工作频率

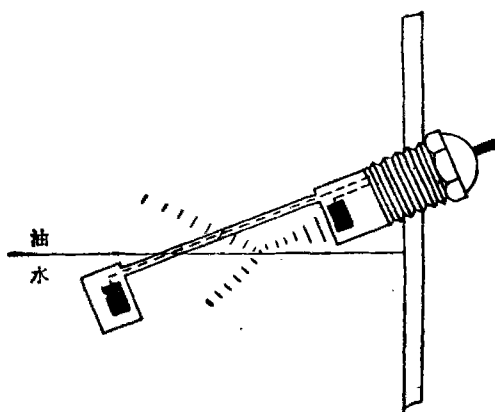


图3 液-液分界面检测器探头结构图

约1兆赫左右，并且都须和被测液体接触，所以耐蚀性取决于外壳材料。

4. 气介穿透式超声物位控制器 当空气中传播的超声束被遮断时，发出控制信号。整套仪表由超声发射器、超声接收器与控制盒组成。工作频率为20~40千赫。使用时，两只超声换能器相对安装在需要发信的高度上，声路保持畅通。超声发射器发出的超声波被接收器接收，送回控制盒内的放大器中。当被测料位升高，遮断声路时，接收换能器收不到超声波，控制盒内继电器发出相应信号。

这种仪表的工作不受被测介质物理性质的影响，所以适用范围广，不仅能用于检测一般颗粒状介质，而且还能用于比重轻、介电率低的塑料单体及羽兽毛等。此外，该仪表还能代替光电开关广泛用于其它用途，如传送带上物体计数，皮革喷涂控制、板材及透明物体检测以及无人驾驶车的防撞等。

三、连续指示式超声物位计

这类仪表利用声呐原理。早期的产品以被测液体作为传声介质来测量液位。由于工业过程中各种容器结构不同，被测介质也多种多样，声速各不相同，难以做到通用。近年来利用空气传声的超声物位计发展很快，几乎完全替代了液介传声的超声物位计。它

有下列优点:

(1) 测量时不和被测介质接触, 所以不受被测物料的理化性质影响, 适用范围广, 不仅能测一般液体, 还能测量高粘度液体、浆状液体、含有杂质及悬浮颗粒的液体、以及颗粒及块状物体。

(2) 无可动部件, 安装使用维护很方便, 换能器可以清洗。

(3) 电路采用固态器件, 并应用了信息处理技术, 所以工作稳定可靠, 对环境的适应性强, 输出功能多样。

(4) 可以做到安全防爆。

上述优点使超声物位计特别适合于测量煤仓、矿仓、谷仓中颗粒状及块状料位。

1. 测量原理 超声物位计由探头(超声换能器)、电子装置及温度补偿传感器(通常装在探头内)组成。探头装在被测容器或料仓顶部, 定时地向被测料面发射超声探测脉冲, 并接收从料面反射的回波。测量出超声脉冲来回传播的时间 Δt 即能得出距离 h 及物位 H :

$$h = \frac{c}{2} \cdot \Delta t, \quad H = L - h = L - \frac{c}{2} \cdot \Delta t$$

式中 c ——空气中声速; L ——探头到容器底部的距离。但是声速 c 随温度变化, 可近似表示为 $c = 331.45 + 0.6T$ (米/秒), 式中 T 为摄氏温度。温度每变化 10°C 会给测量结果附加1.7%的误差。为了提高测量精度, 通常用热敏电阻测定温度, 并自动地进行补偿。

向料面发出探测脉冲后, 能接收到从料面的反射波, 这是进行测量的必要条件。被测介质如果是液体, 由于液面呈水平, 对声波的反射性能良好, 所以不成问题。如果被测物料是颗粒状或块状固体, 料面经常形成一定安息角, 如果入射声波在被测料面上仍是镜面反射, 则探头就无法收到料面回波。所以要测量固体料面, 入射声波在料面上必须形成漫反射, 如图4所示, 当料面安息角为 θ 时, 虽然入射声波与料面法线成 θ 角,

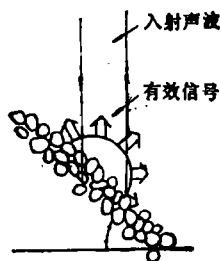


图4 入射波在料面上的漫反射

由于声能向各方向散射, 向探头方向散射的那部分声能返回探头被接收。能返回探头的那部分能量只是反射能量中很少一部分, 为了使回波信号足够强, 必须采用很大发射功率, 例如有的产品的脉冲发射功率达2千瓦。

能否在被测料面上产生漫反射, 由入射角 θ 、反射面的表面粗糙度 a 以及入射波的波长 λ 等参数决定。对于均匀颗粒物料, 其表面粗糙度等于颗粒直径。如果 $a \ll \lambda$, 就可以认为是光滑表面, 声波的反射服从斯奈尔定律。当 $a > \frac{\lambda}{4}$ 时, 就可以认为形成漫反射。声波

以 θ 角入射时, 有效表面粗糙度为 $a \cdot \cos\theta$ 。

考虑到空气中的衰减, 频率通常在10~70千赫之间。采用较高的频率可以得到较好的分辨率, 但传播损耗大, 测量距离短。例如对于最大量程2米的物位计, 使用70千赫, 对于30米的量程则要用约20千赫, 这时波长为17毫米, 能测的最小颗粒约为4毫米。对于50米以上的量程则要用约8千赫频率。

2. 超声换能器 是超声物位计的重要部件, 用来发射及接收超声脉冲。对用于物位计的超声换能器有如下要求:

(1) 能在环境恶劣场所、容易产生结露的场所及可能被水浸没的场所使用。

(2) 有较高的辐射效率及良好的指向性。

(3) 启动性能良好, 以缩短盲区。

通常采用压电陶瓷作激励元件, 用塑料或铝作外壳。为了改善压电陶瓷高阻抗与空

气低阻抗之间的匹配,在压电陶瓷与空气之间加上低声阻抗材料构成的匹配层,用2层四分之一波长的匹配层可以提高回波幅度达36分贝。一般都采用单探头方式、发射、接收共用一个换能器,这样不仅连接电缆可减少一根,而且由于发射时的振动,对探头起自清洁作用,灰尘不易积聚。探头与电子装置之间可相距300米,为了减少传输损耗,除了用专用电缆外,有的仪表还把前置放大器放在探头附近,将接收信号预放大后再传送到电子装置中处理。

3. 电子装置 方框图如图5所示。下面就将传播时间转换为物位信号的斜坡测距回路加以说明。图6表示探头和被测物位的位置关系, L_F 、 L 为探头到满量程物位和零物位的距离, t_F 、 t_z 为相应的来回传播时间, H 为要测量的物位, t_1 为探头到被测料面的

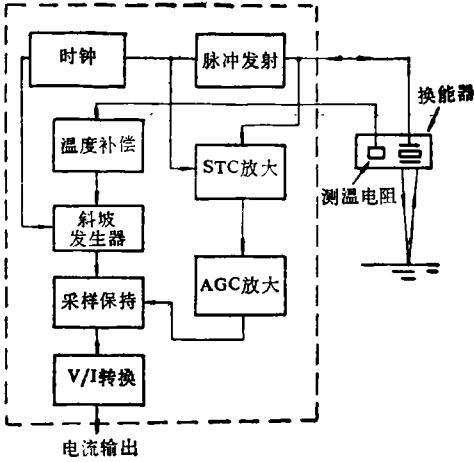


图5 超声物位计电子设备框图

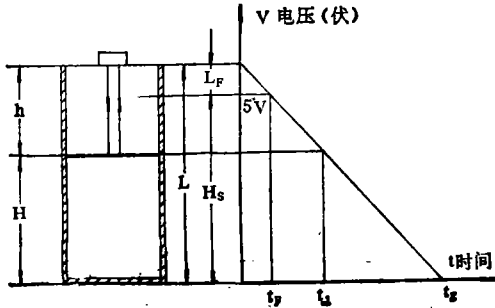


图6 探头与被测物位的位置关系图

来回传播时间, H_s 为物位计的量程。图6的右部是将时间转换为与物位相应的电压的斜坡电压。以 t_F 作为5伏(满量程电压), t_z 作为0伏来确定斜坡的斜率。

从被测料面上的回波在 t_1 秒后被接收到,相应的斜坡电压 V 就是与物位 H 成比例的电压信号,用采样保持电路取出这个电压值,作为物位电压信号输出。由于声速随温度变化而引起的测量误差也在斜坡电路中进行补偿。用装在探头内的温度传感器得到与温度成比例的电压信号,用这电压信号改变斜坡电压的斜率,来补偿温度系数。

为了对付由于过程条件变化引起的回波不稳定、噪声等的干扰,还采取了下列措施:

(1) 采样保持线路 除了接收到回波时将比例于物位的斜坡电压采样外,在收不到回波时中止采样,保持原来测量值。还能附加跟踪选通窗口,使接收放大器只在料面回波到达前后开启,这样可以除去外来噪声及不需要的反射波。

(2) 可控增益放大器(STC; AGC 放大器) 超声物位计在实际使用中回波幅度变化很大,超声脉冲在空气中传播时,由于扩散、衰减,回波强度随测量距离增大而变弱。STC(灵敏度时间控制)电路使放大器增益从发射开始随时间而增加,以进行补偿。有时即使距离相同,回波信号也会由于反射率的变化(液体表面形成泡沫、固体料面安息角的变化等)而产生很大起伏,AGC(自动增益控制)放大器能使放大后的回波保持固定幅值。

四、连续式超声物位计应用举例

1. 矿石贮存供给系统料位测量(图7)。

物料用皮带加入料仓,用超声料位计测量料仓内料位信号送CPU。料仓下端出口通过皮带将物料送到下道工序。用超声物位计测量皮带上料层厚度送CPU。CPU根据下道

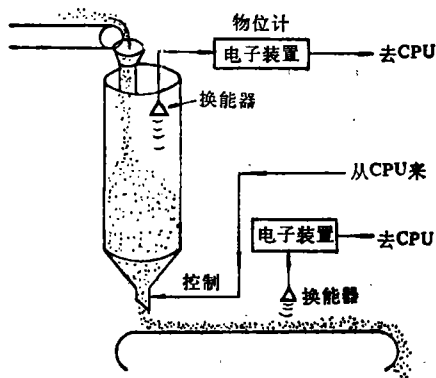


图7 矿石贮存供给系统料位测量示意图

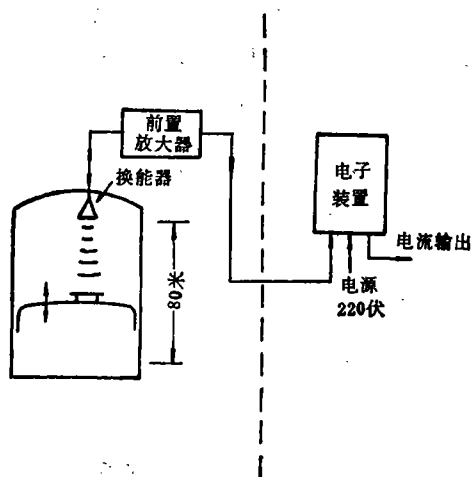


图8 乾式煤气柜活塞位置测量图

工序需要量控制出口阀门，保持料层均匀并能积算物料通过量。并根据料仓内贮量对供料系统发出指令。

2. 乾式煤气柜活塞位置测量(图8)。

大型乾式煤气柜、柜中活塞随贮气量多少而升降，升降距离最大约80米。用防爆型

超声物位计测量活塞位置，采用8千赫频率。换能器及前置放大器按防爆要求设计，电子装置安放在安全区。

上海工业自动化仪表研究所

李竞武 编

(上接第36页)

实际线路

本机线路主要由IC1 (SL325 线性5灯LED电平指示驱动器)、IC2 (SL322 发光显示驱动器)、IC3(CMOS 四与非门电路)三块集成电路组成，实际线路如图4所示。该线路经实际使用后效果令人满意，制作简便，体积可做得非常小。

由前述可知，“过零点截取电路”实际上

就是一只正弦波——方法转换器，通常习用的方法是将正弦波放大、限幅整形后获得，本机采用一只与非门就解决了。原理如图5所示。

与非门2、与非门3组成了单稳态电路，与非门4则完成隔离倒相的功能。

如果制作者有立体声收录机，可采用二只音画装置并列放置，由左、右声道分别推动，则效果更佳。如同时能选用彩色LED显示，就更使画面锦上添花了。

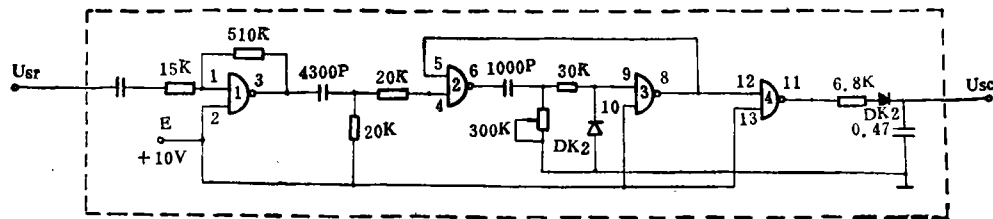


图5 过零点截取：单稳、隔离级电原理图