

第五章 物位检测

- 物位是指存放在容器或工业设备中物质的高度或位置。

物位 {

- 液位——液体介质液面的高低；
- 界位——液体—液体或液体—固体的分界面；
- 料位——固体粉末或颗粒状物质的堆积高度。

- ❖ 根据**物位的高低**，可以确定容器内的原料、半成品或成品的数量，以确保能连续供应生产中各环节所需的物料，并为经济核算提供依据；
- ❖ 根据**物位的高低**，可以了解是否工作在正常范围内（例如，对于液封槽来说，液位过低，就失去了液封的意义）；
- ❖ 根据**物位的高低**，还可以判断工作状况是否处于安全范围之内（例如，对于锅炉的汽泡来说，水位太低，会引起爆炸事故）。

5.1 物位检测方法

直读式

静压式

浮力式

机械接触式

电气式

声学式

射线式

光学式

微波式

(1) 直读式

这种方法最简单也最常见。在生产现场经常可以发现在设备容器上开一些窗口或接旁通玻璃管液位计，用于直接观察液位的高低。该方法准确可靠，但只能就地指示，容器压力不能太高。

(2) 静压式

根据流体静力学原理，静止介质内某一点的静压力与介质上方自由空间压力之差同该点上方的介质高度成正比。因此通过压差来测量液体的液位高度。基于这种方法的液位计有差压式、吹气式等。

(3) 浮力式

利用浮子高度随液位变化而改变，或液体对沉浸于液体中的沉筒的浮力随液位高度而变化的原理而工作。前者称恒浮力法，后者称变浮力法。基于这种方法的液位计有浮子式、浮筒式、磁翻转式等。

（4）机械接触式

通过测量物位探头与物料面接触时的机械力实现物位的测量。主要有重锤式、音叉式、旋翼式等。

(5) 电气式

将敏感元件置于被测介质中，当物位变化时，其电气性质如电阻、电容、磁场等会相应改变。这种方法既适用于测量液位，又适用于测量料位。主要有电接点式、磁致伸缩式、电容式、射频导纳式等。

(6) 声学式

利用超声波在介质中的传播速度及在不同相界面之间的反射特性来检测物位，可以检测液位和料位。

(7) 射线式

放射线同位素所放出的射线（如 γ 射线等）穿过被测介质时会被介质吸收而减弱，吸收程度与物位有关。

(8) 光学式

利用物位对光波的遮断和反射原理工作，光源有激光等。

(9) 微波式

利用高频脉冲电磁波反射原理进行测量，相应雷达液位计。

在物位检测中，有时需要对物位进行连续测量，时刻关注物位的变化；而有时仅需要测量物位是否达到上限、下限或某个特定的位置，这种定点测量用的仪表被称为**物位开关**，常用来监视、报警及输出控制信号。

物位开关有浮球式、电学式、超声波式、射线式、振动式等，其工作原理与相应的物位计工作原理相同。

5.2 常用物位检测仪表

5.2.1 浮力式液位计

有浮子式、浮球式、浮筒式和磁翻转式等。

类别	工作原理	用途	特点
浮子式液位计	基于浮力原理，利用漂浮于液面上的浮子升降位移反映液位的变化	就地指示，可附加电远传信号	受滑轮摩擦力影响较大
浮球式液位计	浮球置于液面上，通过连杆与转动轴相连，与转动轴另一端加载平衡重物的杠杆进行力矩平衡，再通过杠杆外侧指针变化指示液位高低。		适用于温度、黏度较高而压力不太高的密闭容器的液位测量，安装维护方便，当用于液位波动频率快时，输出信号应加阻尼器。
浮筒式液位计	浸没在液体中的浮筒所受浮力随液位浸没高度而变化		适用于介质密度和操作压力变化范围较宽场合的液位和分界面测量
磁翻转式液位计	在与容器连通的非导磁管内，带有磁铁的浮子随管内液位的升降，使紧贴该管外侧标尺上磁性翻板或翻球产生翻转，有液体的位置红色向外，无液体的位置白色向外，红白分界之处就是液位高度		就地指示观察效果好

5.2.2 差压式液位计

利用静压原理来测量。液位 h 与压差 ΔP 之间的关系可简述如下：

设容器底部的压力为 P_B ，液面上压力为 P_A ，两者的距离即为液位高度 h ，根据静力学原理：

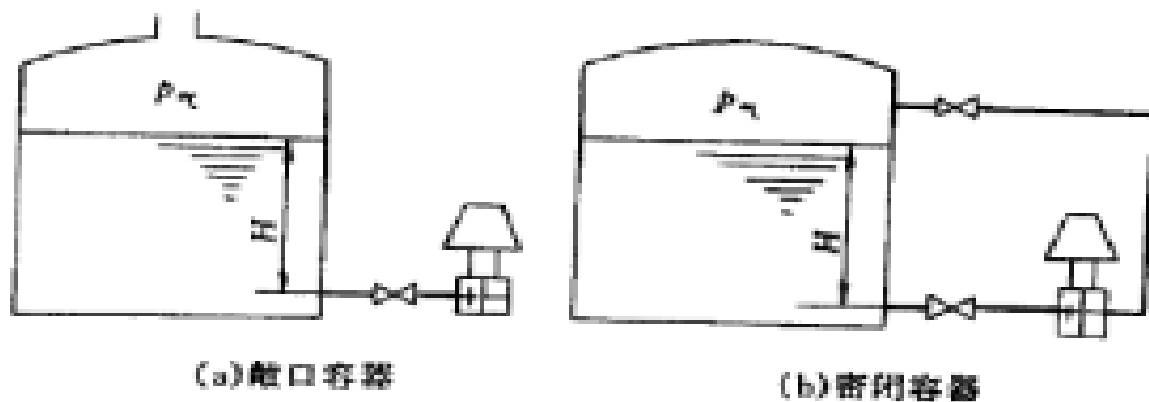
$$\Delta P = P_B - P_A = h\rho g$$

由于液体密度 ρ 一定，故压差与液位成一一对应关系，知道了压差就可以求出液位高度。

对于敞口容器， P_A 为大气压力，只需将差压变送器的负压室通大气即可。

对于密闭容器，差压式液位计的正压侧与容器底部相通，负压侧连接容器上面部分的气空间。

如果不需要远传，可在容器底部或侧面液位零位处引出压力信号到压力表上，仪表指示的表压力直接反映对应的液柱静压，可根据压力与液位的关系直接在压力表上按液位进行刻度。



在使用差压式液位计实际测量时，要注意零液位与检测仪表取压口（差压式液位计的正压室）保持同一水平高度，否则会产生附加的静压误差。但是现场往往由于客观条件的限制不能做到这一点，因此必须进行量程迁移和零点迁移。

用电动差压式液位计测量液位时，其输出信号为4~20mA电流信号，即当液位高度 $h=0$ 时，输出为4mA， h 为最高液位时，输出为20mA，而当 h 在零与最高液位之间时，则对应应在4~20mA之间有一输出信号。

令正压室压力为 P_1 ，负压室压力为 P_2 ，则：

$$P_1 = P_A + h\rho g$$

$$P_2 = P_A$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = h\rho g$$

当 $h=0$ 时， $\Delta P=0$ ，此时差压式液位计输出信号为4mA。

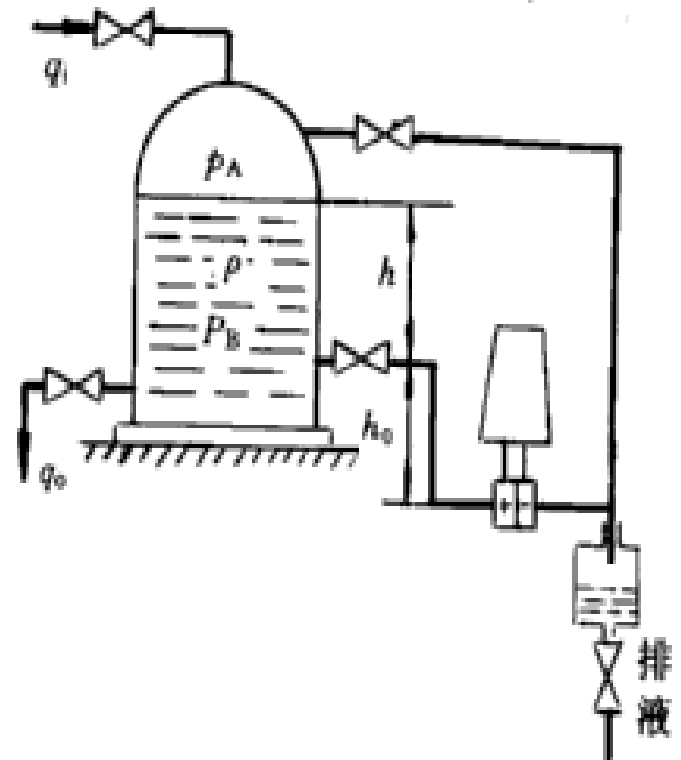
正迁移举例：差压式液位计的取压口不是与容器底部安装在同一水平面上，而是低于贮槽底部在实际应用中，则在液位为零时，液位计并不对应输出为4mA，其输出信号中包含了静液柱的影响。为了提高测量精度，必须对差压式液位计进行量程迁移，缩小量程，消除静液柱的影响。

$$P_1 = P_B + h_0 \rho g = P_A + h \rho g + h_0 \rho g$$

$$P_2 = P_A$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = h \rho g + h_0 \rho g$$

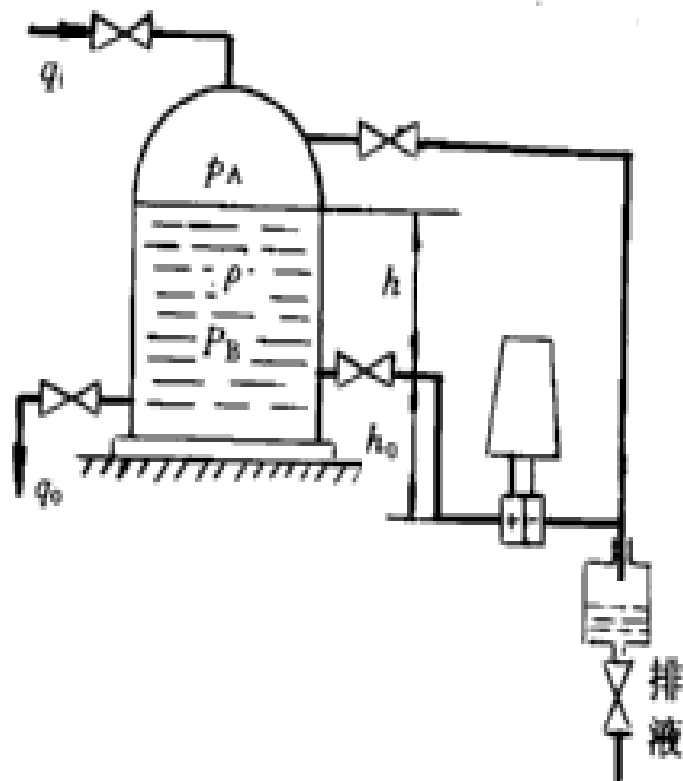
在无迁移情况下，实际测量范围是 $0 \sim (h_0 \rho g + h_{\max} \rho g)$ ，原因是这种安装方法时 ΔP 多出一项 $h_0 \rho g$ 。当 $h=0$ 时， $\Delta P = h_0 \rho g$ ，因此 $P_0 > 4\text{mA}$ 。



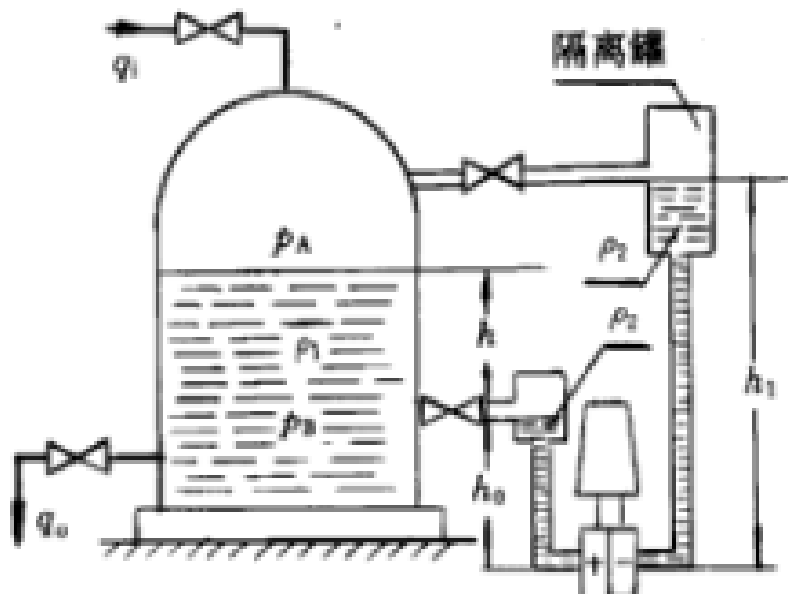
为了迁移掉 $h_0\rho g$ ，即在 $h=0$ 时仍然使 $P_0=4\text{mA}$ ，可以通过仪表的调零机构预加一个作用力进行零点迁移，即将仪表的零点迁移到与液位零点相重合。

由于 $h_0\rho g$ 作用在正压室上，我们称之为正迁移量。预加作用力抵消了 $h_0\rho g$ 在正压室内产生的力，达到正迁移的目的。

量程迁移后，测量范围为 $0 \sim h_{\max}\rho g$ ，再通过零点迁移，使差压式液位计的测量范围调整为 $h_0\rho g \sim (h_0\rho g + h_{\max}\rho g)$ 。



负迁移举例：对于腐蚀性流体，在差压式液位计正、负压室与取压点之间应分别装有隔离罐，并充以隔离液，以防止具有腐蚀作用的液体或气体进入液位计造成对仪表的腐蚀。若此时被测介质密度为 ρ_1 ，隔离液密度为 ρ_2 ($\rho_2 > \rho_1$)，则

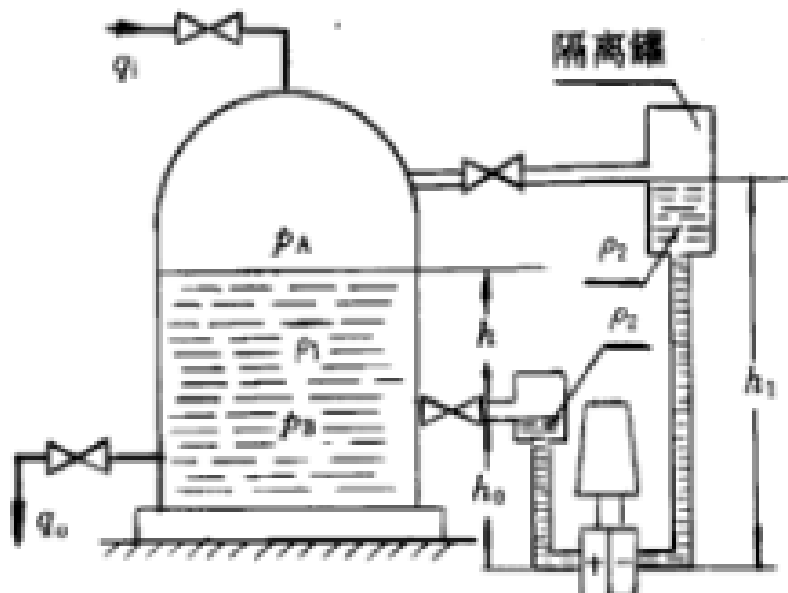


$$P_1 = P_A + h\rho_1g + h_0\rho_2g$$

$$P_2 = P_A + h_1\rho_2g$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = h\rho_1g - (h_1 - h_0)\rho_2g$$

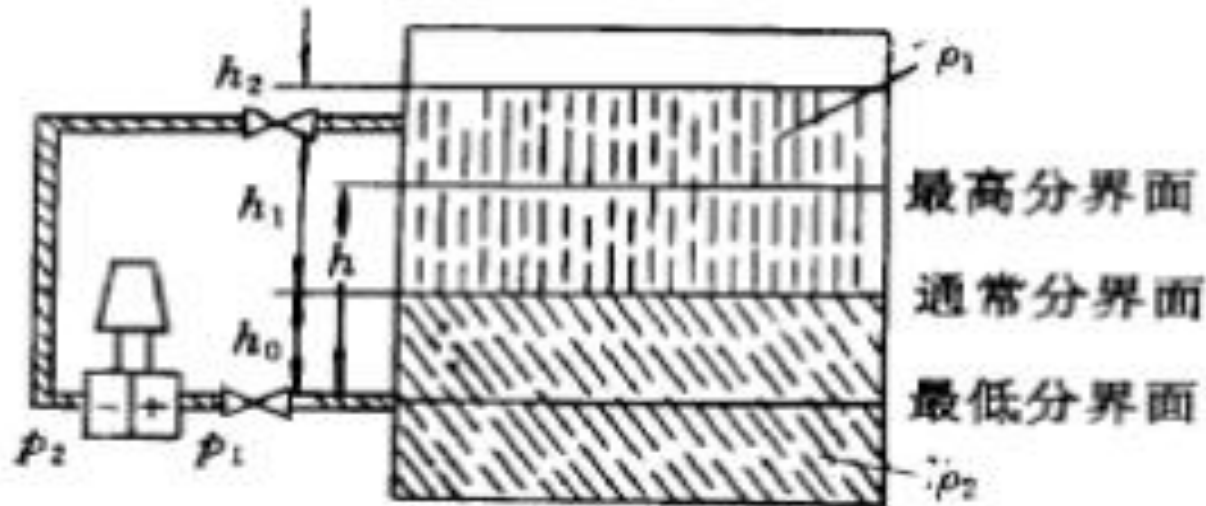
对比无迁移情况， ΔP 多了一项压力 $(h_1 - h_0) \rho_2 g$ ，它作用在负压室上，我们称之为负迁移量。当 $h=0$ 时， $\Delta P = -(h_1 - h_0) \rho_2 g$ ，因此 $P_0 < 4mA$ 。为了迁移掉 $-(h_1 - h_0) \rho_2 g$ 的影响，可以调整预加作用力来进行负迁移以抵消掉 $-(h_1 - h_0) \rho_2 g$ 在负压室内产生的力，以达到负迁移的目的。



迁移调整后，差压式液位计的测量范围调整为

$$-(h_1 - h_0) \rho_2 g \sim [h_{\max} \rho_1 g - (h_1 - h_0) \rho_2 g]$$

测量液体分界面举例：



液位计正、负压室受力情况如下：

$$P_1 = h_0 \rho_2 g + (h_1 + h_2) \rho_1 g$$

$$P_2 = (h_2 + h_1 + h_0) \rho_1 g$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = h_0 g (\rho_2 - \rho_1)$$

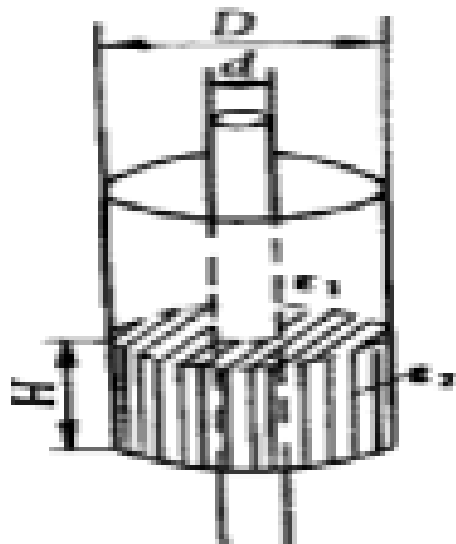
由于 $(\rho_2 - \rho_1)$ 是已知的，所以压差 ΔP 与分界面高度 h_0 成一一对应关系。

5.2.3 电容式物位计

电容式物位计是基于圆筒电容器工作的，其结构如图所示，电容量为

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln D/d}$$

式中 L 为极板长度； D ， d 为外电极和内电极外径； ϵ 为极板间介质的介电常数。



当圆筒型电极间的一部分被物料浸没时，极板间存在的两种介质的介电常数将引起电容量的变化。令原有中间介质的介电常数是 ε_1 ，被测物料介电常数 ε_2 ，被浸没电极长度为 H ，则可以推导出电容变化量 ΔC 是

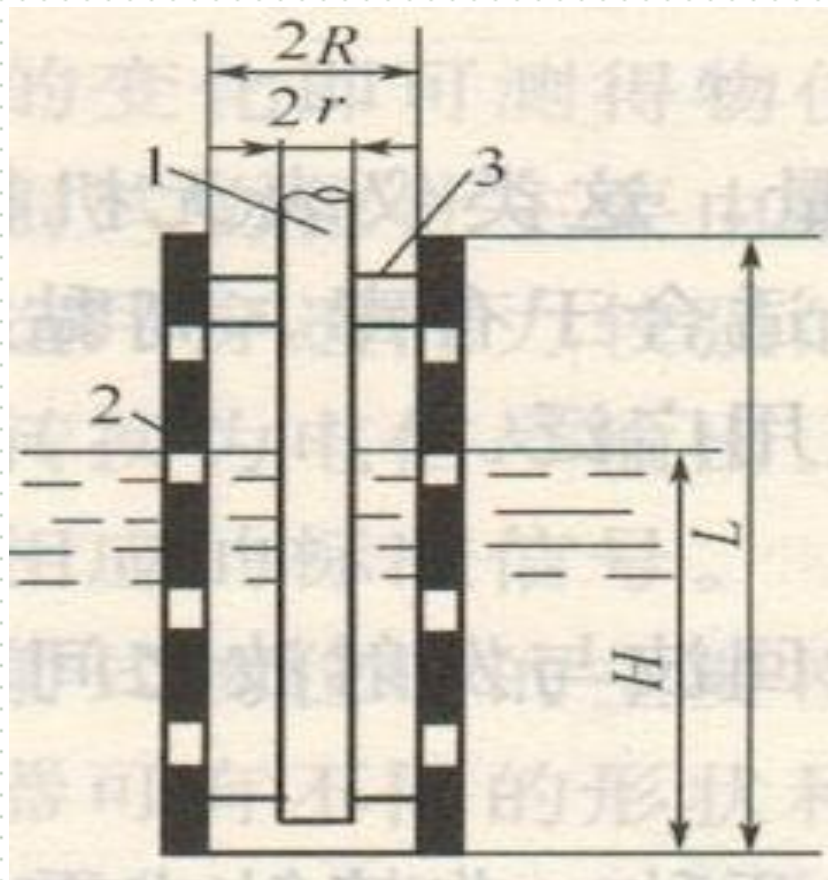
$$\Delta C = 2\pi \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\ln D / d} H$$

当电容器几何尺寸 D 、 d 以及介电常数 ε_1 、 ε_2 保持不变时，电容变化量 ΔC 就与物位高度 H 成正比。因此只要测出电容变化量就可测得物位。

电容式物位计可以检测液位、料位和界位。但是电容变化量较小，准确测量电容量就成为物位检测的关键。

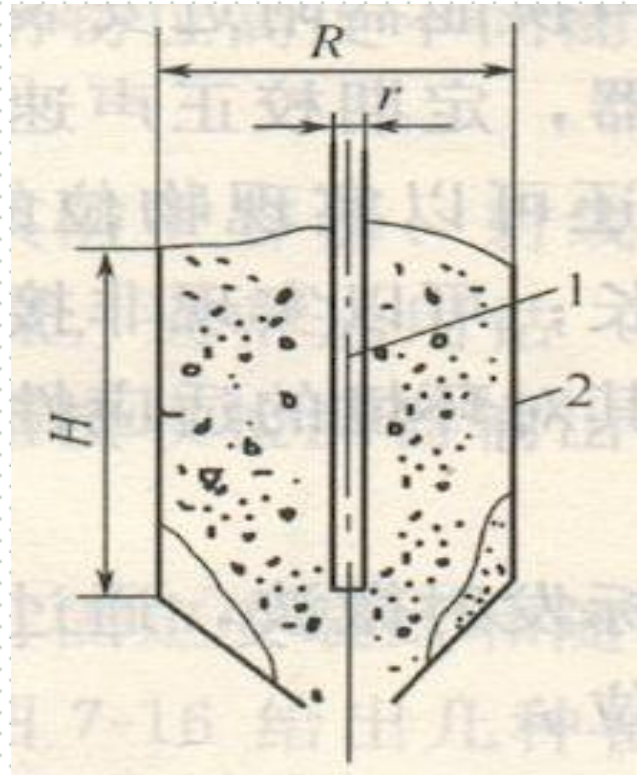
常见的电容检测方法有交流电桥法、充放电法和谐振电路法等。

当测量**非导电介质**物位时，（1）用同心套筒电极：



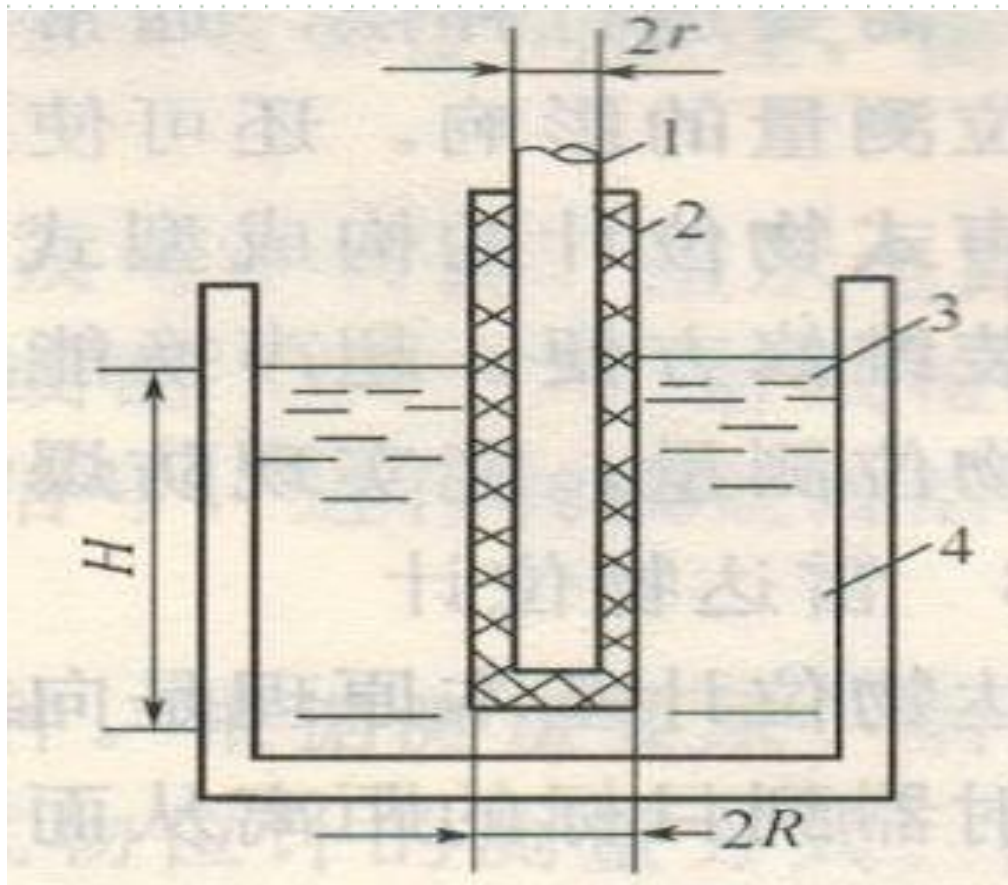
1—内电极；2—外电极；3—绝缘套

(2) 在容器中心设内电极，将金属容器壁作为外电极



1—金属棒内电极；2—容器壁

当测量**导电介质**液位时，可用包有一定厚度绝缘外套的金属棒作为内电极，而外电极即为液体介质本身。



1—内电极；2—绝缘套管；3—外电极；4—导电液体

电容式物位计适用范围广泛，一般不受真空、压力、温度等环境条件的影响。但要求介质介电常数保持稳定，介质中没有气泡。

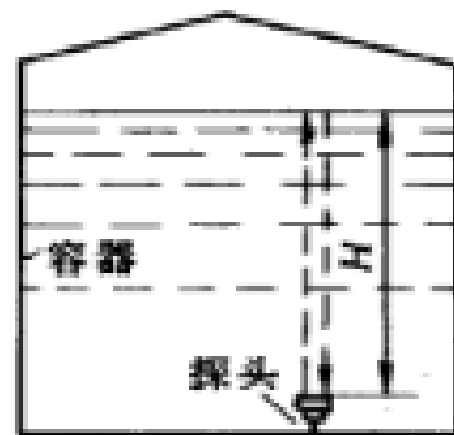
5.2.4 超声波物位计

超声波在气体、液体和固体介质中以一定速度传播时因被吸收而衰减，但衰减程度不同，在气体中衰减最大，而在固体中衰减最小；当超声波穿越两种不同介质构成的分界面时会产生反射和折射，且当这两种介质的声阻抗差别较大时几乎为全反射。利用这些特性可以测量物位，如回波反射式超声波物位计通过测量从发射超声波至接收到被物位界面反射的回波的时间间隔来确定物位的高低。

在容器底部放置一个超声波探头，探头上装有超声波发射器和接收器。当发射器向液面发射短促的超声波时，在液面处产生反射，反射的回波被接收器接收。若超声波探头至液面的高度为 H ，超声波在液体中传播的速度为 v ，从发射超声波至接收到反射回波间隔时间为 t ，则有如下关系：

$$H = \frac{1}{2} vt$$

只要 v 已知，测出 t ，就可得到物位高度 H 。



超声波物位计主要包括超声换能器和电子装置两部分。

由于超声波物位计检测的精度主要取决于超声传播速度和传播时间，而传播速度容易受到介质温度、成分等变化的影响，因此需要进行补偿。

通常的补偿方法是在超声换能器附近安装一个温度传感器，根据已知的声速与温度之间的关系自动进行声速补偿。另外也可以设置一个校正器具定期校正声速。

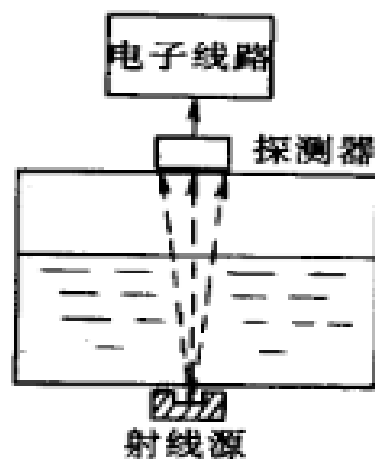
超声波物位计采用的是非接触测量，适用于液体、颗粒状、粉状物以及粘稠、有毒介质的物位测量，能够实现防爆。

但如果介质对超声波吸收能力很强时则无法采用超声波检测方法。

5.2.5 核辐射物位计

利用放射源产生的 γ 射线穿过被测介质时，射线强度被吸收而衰减的现象来测量物位。当射线射入一定厚度的介质时，射线强度随着所通过的介质厚度的增加而衰减，其变化规律如下式：

$$I = I_0 e^{-\mu H}$$



式中 I_0 、 I 是射入介质前和通过介质后的射线强度， μ 是介质对射线的吸收系数， H 是射线通过的介质厚度。介质对射线的吸收能力不同，一般固体吸收能力最强，液体其次，气体最弱。当射线源和被测介质确定后， I_0 和 μ 就是常数，测出 I 就可以得到 H （即物位）。

核辐射式物位计属于非接触式测量，适用于操作条件苛刻的场合，如高温、高压、强腐蚀、易结晶等工艺过程，几乎不受温度、压力、电磁场等环境因素的影响。

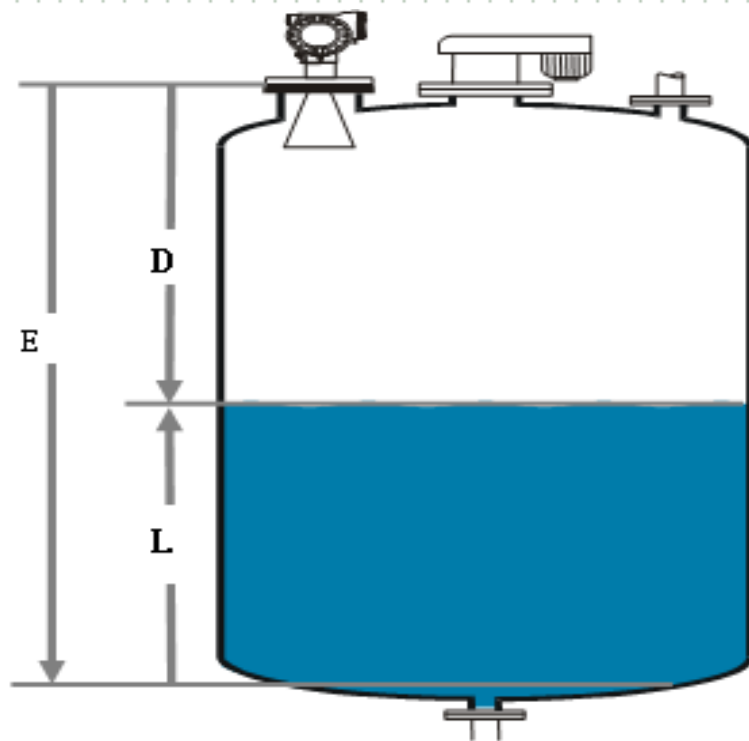
但由于放射线对人体有害，必须加强安全防护措施。

5.2.6 雷达物位计

雷达物位计利用微波经天线向被测容器的液面发射，当电磁波碰到液面后反射回来。检测出发射波及回波的时差，可计算出物位高度。有非接触式和接触式两类。

类别		测量原理	特点
非接触式	脉冲雷达式	雷达传感器装在高度为L的容器顶部，雷达天线发射固定频率脉冲波至介质表面，反射后由接收器接受，测出此过程经历的时间即可得到发射天线至介质表面的距离D，则物位高度 $H=L-D$ 。	常见天线按形状分为喇叭形天线、平面式天线、抛物形天线。测量距离长。 低介电常数工况下，接收的信号微弱且不稳定。对于容器内结构较复杂的情况，干扰回波多，信号处理困难。
	调频连续波式	容器顶部雷达天线发射的微波是频率波线性调制的连续波，当回波被天线收到时，天线发射频率已经改变，频率差与物位高度H成正比关系。	
接触式	导波雷达式	微波脉冲通过从罐顶伸入到罐底的导波管传播，当液体与导波管接触时产生的反射脉冲被雷达传感器接收到时，与基线反射脉冲相比较，得到液位高度。	能耗低。由于信号在导波管内传输不受液面波动和罐中障碍物影响，抗干扰性强。且介质密度、介电常数、雾气和泡沫对测量结果几无影响。 导波管需要考虑介质的腐蚀性和黏附性。测量距离不够长。

非接触式常用喇叭或杆式天线发射微波和接受回波信号，天线安装在料仓上顶端。有脉冲雷达物位计、调频连续波雷达物位计。

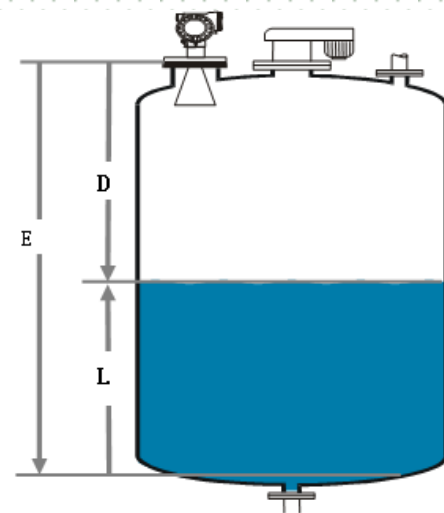


E —空罐高度； L —液位高度； D —雷达波发射端至液面的空间距离

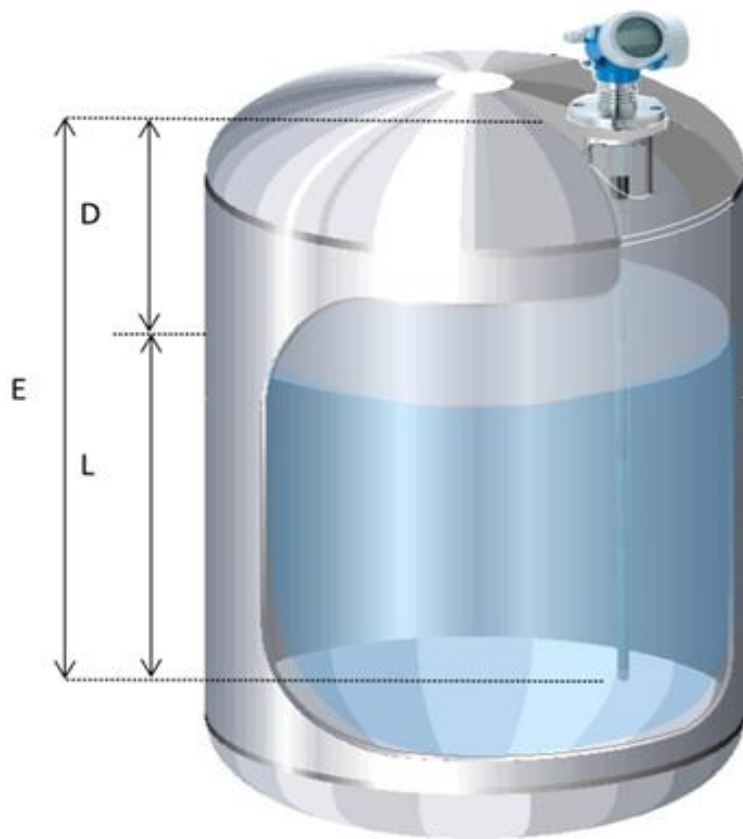
雷达液位计到介质表面的空间距离D:

$$D = \frac{t \cdot c}{2}$$

式中C是电磁波传播速度（光速， $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ），t是从发射电磁波到回收信号经历的时间。液位高度L即为空罐高度E与雷达液位计到介质表面的空间距离D之差。



接触式采用金属波导体（杆或钢缆）传导微波，故又称为导波雷达物位计，其导波杆从料仓顶部延续至底部，如图所示，发射的微波沿着导波杆外部向下传播，在到达物料面时产生反射，又沿着导波杆返回微波发射器被接收。

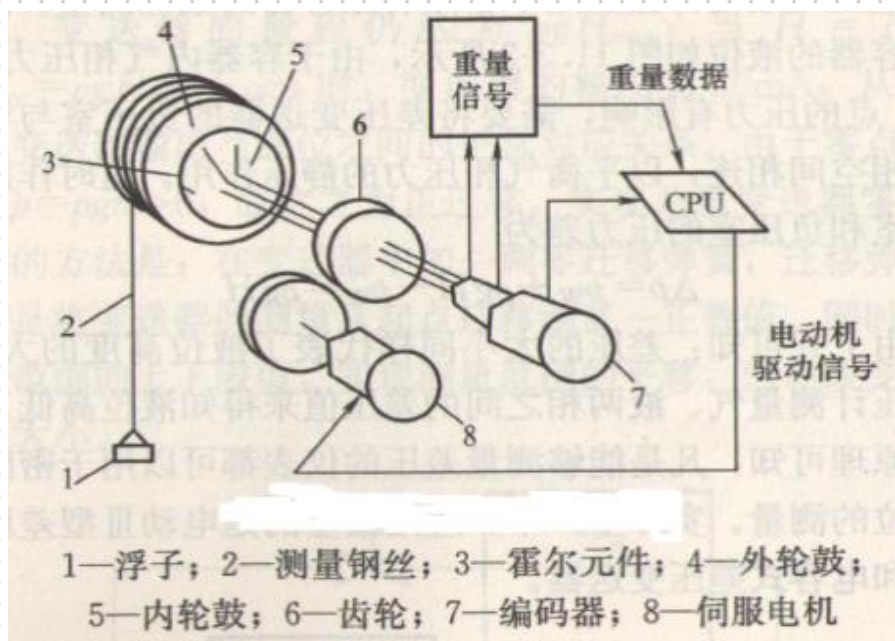


雷达液位计不受气体、真空、高温、变化的压力、变化的密度、气泡等因素影响，可用于易燃、易爆、强腐蚀性等介质的液位测量，如检测大型固定顶罐、浮顶罐或球形罐内的液体或者固体物位。

雷达物位计安装在罐的顶部，但不能装在顶部中央，避免多次强波反射；不能装在进料口上方；电磁波通道应避免被障碍物阻挡。

雷达物位计输出信号有数字和模拟两种，可以与DCS相通信，符合MODBUS通信协议。当用雷达波液位计测量大批贮罐群时，可通过数据采集单元（DAU）连接到DCS操作站，可精确地计算各贮罐内贮存的材料量，进行调度管理。

5.2.7 伺服液位计



浮子用测量钢丝悬挂在仪表外壳内，测量钢丝绕在外轮鼓上，外磁铁固定在外轮鼓内，并与固定在内轮鼓的内磁铁耦合在一起。液位计工作时，浮子作用于细钢丝上的重力在外轮鼓的磁铁上产生力矩，使轮鼓组件间的磁通量变化，导致内磁铁上的霍尔元件输出电压信号发生变化，其电压值与贮存于CPU的参考电压相比较。当浮子的位置平衡时，其差值为零。当液位变化时，浮子浮力变化造成磁耦力矩改变，霍尔元件输出电压信号与参考电压的差值驱动伺服电机转动，带动浮子上下移动重新达到新的平衡点。由于整个系统构成了闭环回路，可提高精度。

5.2.8 磁致伸缩液位计

利用磁致伸缩原理、通过两个不同磁场相交产生一个应变脉冲信号被探测所需时间来测量。测量元件是一根波导管，波导管内的敏感元件由特殊的磁致伸缩材料制成的。测量过程是由传感器的电子室内产生电流脉冲，该电流脉冲在波导管内传输，从而在波导管外产生一个圆周磁场，当该磁场和套在波导管上作为位置变化的活动磁环产生的磁场相交时，由于磁致伸缩的作用，波导管内会产生一个应变机械波脉冲信号以固定的声音速度传输，传输时间和活动磁环与电子室之间的距离成正比。

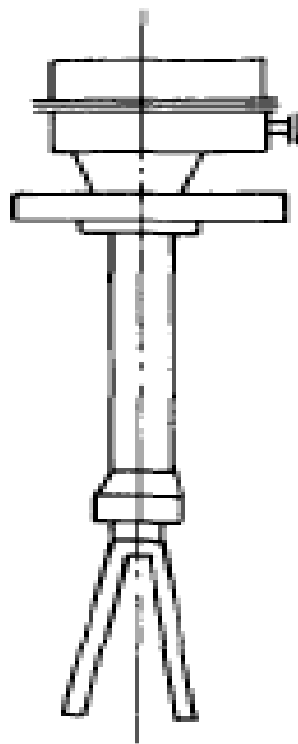
磁致伸缩液位计测量精度高，测量范围大，传感器元件与被测液体非接触，可广泛应用于石油、化工、制药、食品、饮料等行业。

5.2.9 物位开关

(1) 音叉物位开关

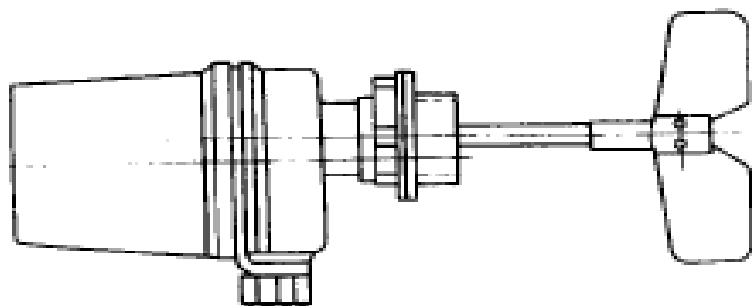
适用于检测各种非粘滞性的干燥粉状及小颗粒固体物料，用于高低料位的控制和信号报警。

如图为音叉料位信号器的外形图，它由发信部分的音叉和电气部分组成。其工作原理为：在音叉端部紧压两组压电晶体，一组是驱动元件，作用是产生电磁激励，在音叉间发出一定频率的振动，另一组是检测元件，将音叉振动变换成电压。二者分别接于放大器的输入和输出端，形成机械—电子振荡电路。当物料高度达到音叉位置时，叉体被物料挤满，振荡器停振，继电器输出开关信号。



（2）阻旋式料位开关

广泛应用于料仓内固体颗粒或粉状物料位的控制和报警。



当料仓料位低时，信号器的旋转叶片一直在转动；当料位高时，物料对旋转叶片产生阻旋作用，使阻旋式料位信号器的负载检测器动作，继电器发出开关信号，使外接电路发出信号或控制进料（或出料），从而使电机停止或启动。

这种信号器的特点是体积小，重量轻，接点容量大，可直接带负载，装拆和维修方便。

(3) 浮球型液位开关

浮球型液位开关种类多，应用广。

a. 电缆浮球液位开关

利用微动开关或水银开关做接点零件，当电缆浮球以重锤为原点上扬一定角度时，开关接通（或断开）。电缆浮球型液位开关可以加工成多点控制，实现多个液位报警。

b. 小型浮球液位开关

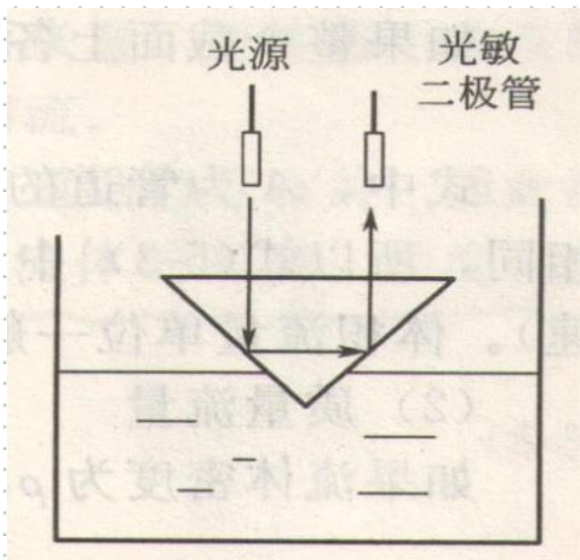
浮球内部装有环型磁铁，固定在杆径内磁簧开关相关位置上。浮球随液体的变化而上下浮动，利用浮球内部磁铁吸引磁簧开关的闭合，产生开关动作来控制液位。

c. 磁性浮子液位开关

在磁翻板液位计旁路管的外侧加装磁性开关，作为电器接点信号输出。磁性浮子液位开关适用于高温、高压等场合及强酸、强碱的液位检测。

(4) 光电式液位开关

利用光的全反射原理工作，主要由发射光源、光电接收器等组成。光源发射的光信号经过液位传感器的直角三棱镜与空气接触时产生全反射，大部分光被光敏二极管接受，液位传感器输出信号为高电平。当液位达到传感器检测位置时，光线发生折射，光敏二极管接受的光信号明显减弱，传感器输出低电平信号。传感器输出信号经过放大电路驱动带动相应开关动作。光电式液位开关体积小，安装容易，适用于有杂质或带有黏性液体的液位检测。



（5）静电容式液位开关

在电容式物位计基础上增加检测开关。当物位高度对应的电容量达到开关内部设定线路值时，测量线路产生高频谐振，检出谐振信号，转换成开关动作。

（6）射频导纳式物位开关

基于射频电容技术，通过电路产生稳定的高频信号来检测被测介质的阻抗变化。工作时将高频信号加在测量电极上，并将空气的介电常数产生的阻抗设为仪表零点。当探头与被测介质接触并产生阻抗变化达到设定的数值时，产生开关信号输出。射频导纳物位开关在测量电极与接地电极间增加了保护电极，可以解决粘附、挂料等问题，增加了温度修正电路解决工作点漂移问题，工作性能稳定可靠，能适用于复杂的测量环境。多用于固体、浆料等料位测量及高压场合。

5.3物位检测仪表的选用

各种物位检测仪表都有其特点和适用范围，有些可以检测液位，有些可以检测料位。

选择物位计时必须考虑的测量范围、测量精度、被测介质的物理化学性质、环境操作条件、容器结构形状等因素。

在液位检测中最为常用的就是静压式和浮力式测量方法，但必须在容器上开孔安装引压管或在介质中插入浮筒，因此在介质为高粘度或者易燃易爆场合不能使用这些方法。

在料位检测中可以采用电容式、超声波式、射线式等测量方法。

各种物位测量方法的特点都是检测元件与被测介质的某一个特性参数有关，如静压式和浮力式液位计与介质的密度有关，电容式物位计与介质的介电常数有关，超声波物位计与超声波在介质中传播速度有关，核辐射物位计与介质对射线的吸收系数有关。这些特性参数有时会随着温度、组分等变化而发生变化，直接关系到测量精度，因此必须注意对它们进行补偿或修正。

END