智能传感与检测技术

(Measurement & Instrumentation)

过程参数检测部分

彭黎辉　电话：62773623
Email:lihuipeng@mail.tsinghua.edu.cn

物位测量

- 基本概念
  - 定义
  - 液位、料位、界位（相界面）
- 物位测量方法
  - 直读式、静压式、浮力式、电气式（电容）、波动式（声学、射线、微波）、机械接触式（音叉）

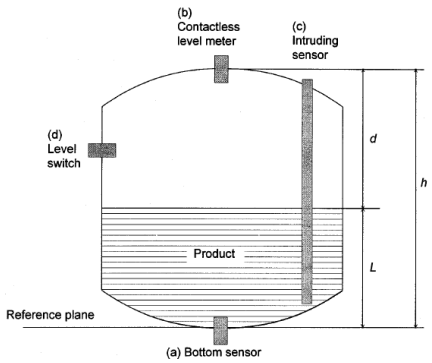
物位测量

- 基本概念

容器中液体或固体物料的表面位置，对应不同物料性质分为液位（液体）、料位（固体）和界位（液—液或液—固相界面）。

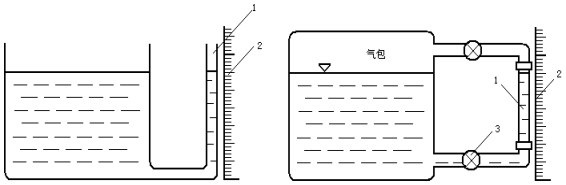
物位测量方法

- 直读式、静压式、浮力式、电气式（电容）、波动式（声学、射线、微波）、机械接触式（音叉）



物位测量方法—直读式

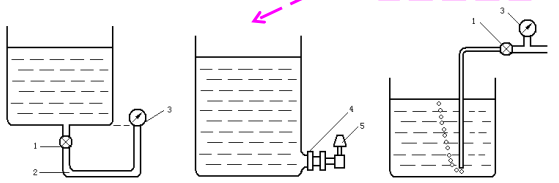
❑直观、简单、但信号不易远传



物位测量方法—静压式

❑测量原理：液体对容器底面产生的静压力与液位高度成正比，因此通过测容器中液体的压力即可测算出液位高度。

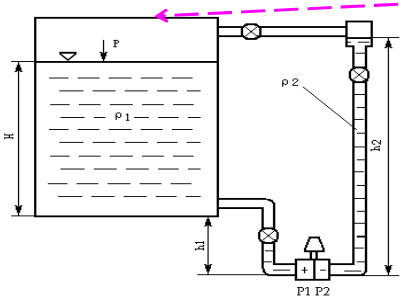
敞口容器



(a) 压力表式　(b)法兰式液位变送器　(c)吹气式液位计

物位测量方法—静压式

密闭容器



H——液位高度；
h1、h2——容器底面和工作液面距变送器高度；

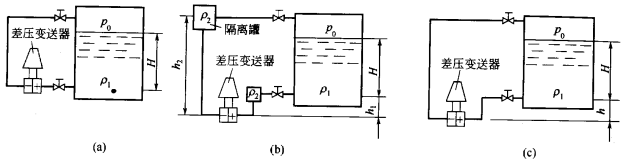
$P_1 = \rho_1 g(H + h_1) + P$

$P_2 = \rho_2 g h_2 + P$

$\Delta P = P_1 - P_2 = \rho_1 g H + \rho_1 g h_1 - \rho_2 g h_2 = \rho_1 g H - Z_0$

零点迁移

物位测量方法—静压式



（a）

$p_+ = \rho_1 g H + p_0$

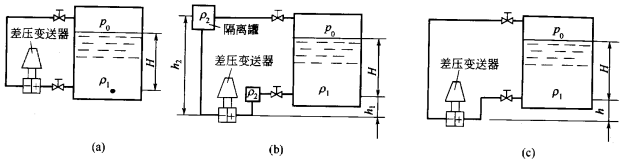
$p_- = p_0$

$\Delta p = p_+ - p_- = \rho_1 g H$

H——液位高度；

零点无迁移

物位测量方法——静压式



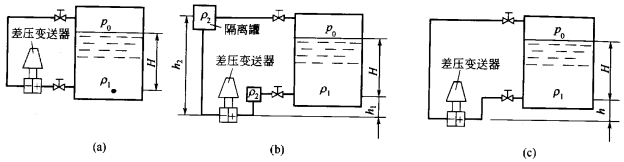
（b） $p_+ = \rho_1 g H + \rho_2 g h_1 + p_0$

$p_- = \rho_2 g h_2 + p_0$

H——液位高度；
h1、h2——差压变送器引压管中隔离液高度；
（液罐上方气体可凝）

$\Delta p = p_+ - p_- = \rho_1 g H + \rho_2 g (h_1 - h_2)$ ← 零点负迁移

物位测量方法——静压式



（c） $p_+ = \rho_1 g H + \rho_1 g h + p_0$

$p_- = p_0$

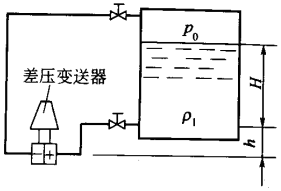
H——液位高度；
差压变送器安装低于液罐底部

$\Delta p = p_+ - p_- = \rho_1 g H + \rho_1 g h$ ← 零点正迁移

填空题 3分

设置

下图所示为采用某种差压变送器测量罐内水位（范围0～10米）的安装方式，储液罐顶部为空气，储液罐中液体为水，差压变送器引压管中无隔离液，测量时需要打开引压管上的阀门，差压变送器出厂时按量程0～10米水柱标定（即压差为0时输出信号为4mA，压差为10米水柱时输出信号为20mA），已知h为2.5米，则液位H为5米时，差压变送器输出为 [填空1] mA，为了使差压变送器输出和被测液位相对应，需要进行零点 [填空2]（负，正）迁移，完成零点迁移后当H为2.5米时，差压变送器输出 [填空3] mA。



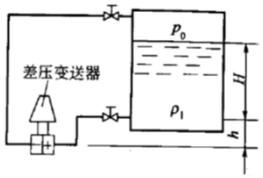
正常使用填空题需3.0以上版本雨课堂

作答

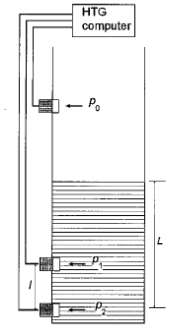
物位测量方法——静压式

思考题：

下图所示为采用某种差压变送器测量罐内水位H（范围0～10 米）的安装方式，储液罐顶部为空气，储液罐中液体为水，差压变送器引压管中无隔离液，测量时需要打开引压管上的阀门，差压变送器出厂时按量程0～10 米水柱标定(即压差为0时输出信号为4mA，压差为10 米水柱时输出信号为20mA)，已知h为2.5 米，则液位H为5 米时，差压变送器输出_____mA，为了使差压变送器输出和被测液位相对应，需要进行零点_____（负迁移，正迁移），完成零点迁移后当H为2.5 米时，差压变送器输出_____mA。



物位测量方法—静压式



❑思考题1：左图所示通过测量3个压力p_0、p_1、p_2来获得液位高度L，用于测量p_1、p_2的压力变送器间的距离l已知，试推导液位高度L的表达式，并说明采用此压力测量模式有何优点？

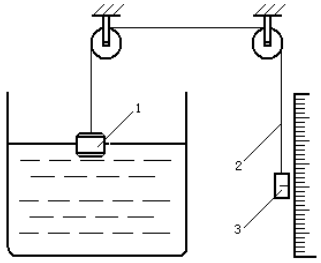
$$L=\frac{p_2-p_0}{p_2-p_1}l$$

物位测量方法—浮力式

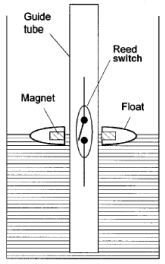
❑测量原理：

浮力法测液位是依据力平衡原理，通常借助浮子一类的悬浮物，浮子做成空心刚体，使它在平衡时能够浮于液面。当液位高度发生变化时，浮子就会跟随液面上下移动。因此测出浮子的位移就可知液位变化量。浮子式液位计按浮子形状不同，可分为浮子式、浮筒式等等；按机构不同可分为钢带式、杠杆式等。

物位测量方法—浮力式

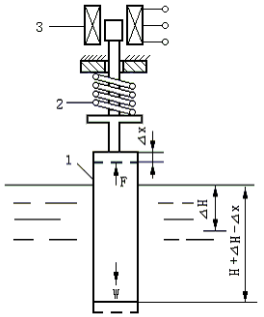


直读式浮子液位计



舌簧管式浮子液位计

物位测量方法—浮力式



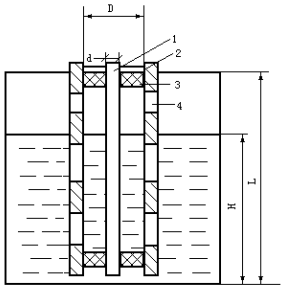
浮筒式液位计　　1-浮筒；2-弹簧；3-差动变压器

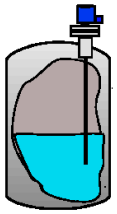
$$cx_0=mg-A\rho gH$$

$$c(x_0-\Delta x)=mg-A\rho g(H+\Delta H-\Delta x)$$

$$\Delta H=\left(1+\frac{c}{A\rho g}\right)\Delta x$$

物位测量方法—电容式

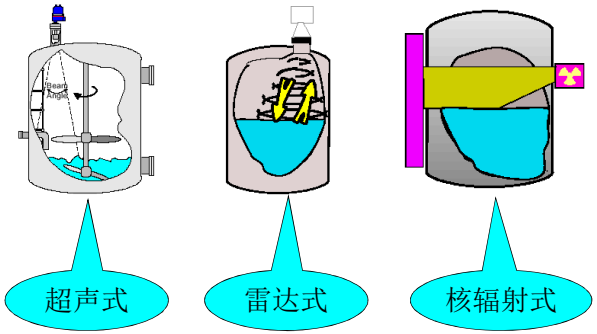




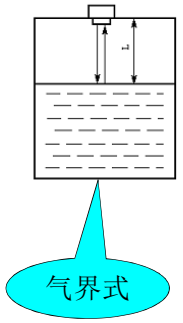
$$C=\frac{2\pi\varepsilon L}{\ln\left(D/d\right)}$$

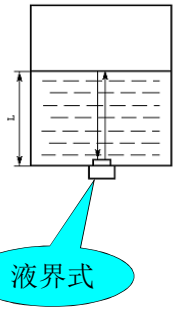
1、2-内、外电极；3-绝缘套； 4-流通孔。

物位测量方法—波动式



物位测量方法—超声式





$$L=\frac{1}{2}C\Delta t$$

声速

传播距离

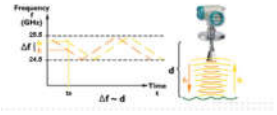
传播时间

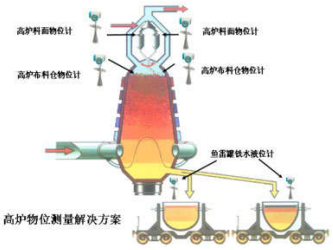
气界式

液界式

物位测量方法—雷达式

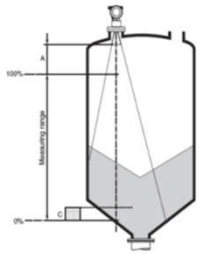
发射波和回波之间产生一个相位差，相位差通过傅立叶形成一个频谱，频谱与雷达物位计测量的距离呈一个线性的关系。

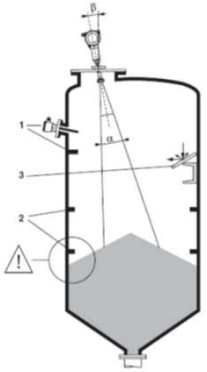




物位测量方法—雷达式

粮仓中储粮数量的测量





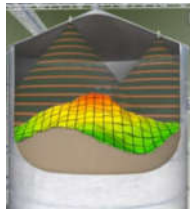
物位测量方法—3D Level Scanner

APM 3D Level Scanner

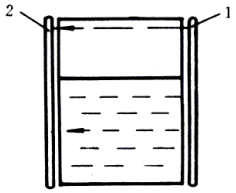
2008年，以色列APM公司推出了3D物位扫描仪3DLevelScanner

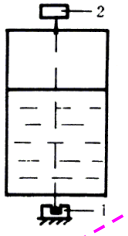
该系列产品不仅可以测量平均体积、平均料位，而且还可以测量最大最小料位，还可以形成料仓内部的立体图像；

该产品由三个天线（antenna）构成的阵列发射低频（3-10kHz）脉冲，通过测量接受不同方向上回波的传播时间，从而测定物位的高低、体积和质量；



物位测量方法—辐射式





1-放射源
2-接收器

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

入射强度

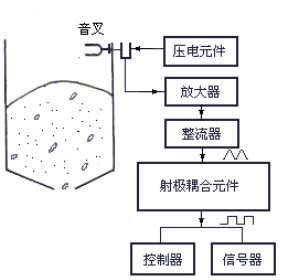
出射强度

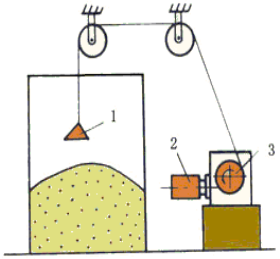
吸收系数

料位高度

$H = \frac{1}{\mu}(\ln I_0 - \ln I)$

物位测量方法—机械式





音叉式料位计

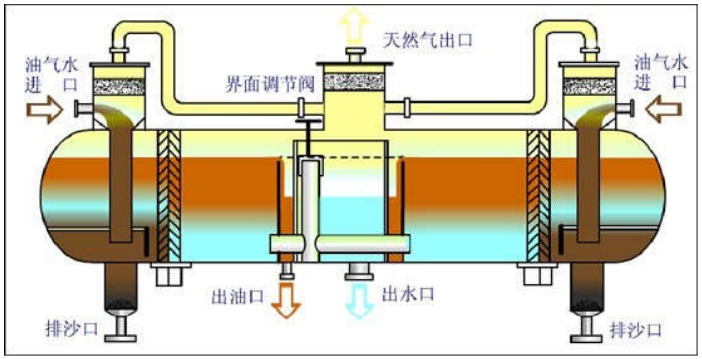
重锤探测式式料位计

物位测量方法—物位开关

表 7-2 物位开关

分 类	示 意 图	与被测介质接触部
浮球式		浮球
电导式		电极
振动叉式		振动叉或杆
微波穿透式		非接触
核辐射式		非接触
运动阻尼式		运动板

物位测量方法—工业实例



物位测量方法—工业实例

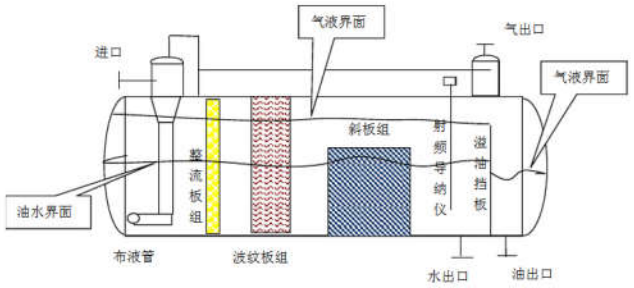
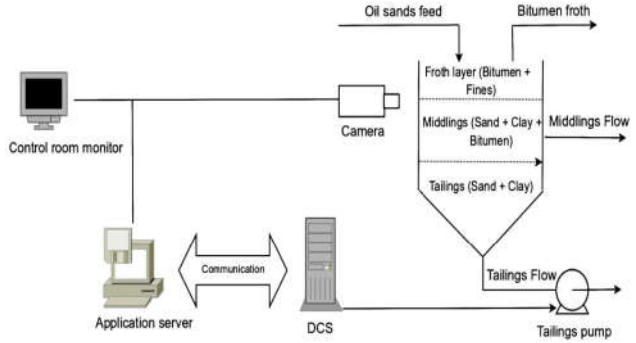


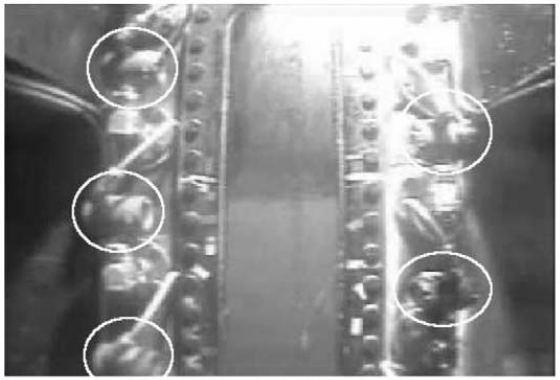
图 1 三相分离器结构示意图

物位测量方法—工业实例



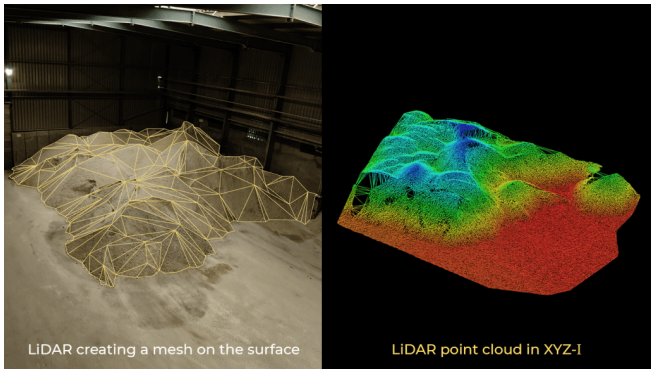
Phanindra Jampana, Sirish Shah, An image differencing method for interface level detection in separation cells, Machine Vision and Applications (2012) 23:283–298

物位测量方法—工业实例



物位测量方法—工业实例

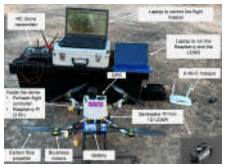
Stockpile Volume Monitoring and Measurement using LiDAR

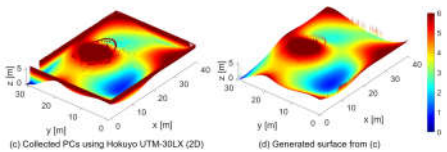


LiDAR creating a mesh and XYZ-I point cloud for volume monitoring, https://www.blickfeld.com

物位测量方法—工业实例

Stockpile Volume Monitoring and Measurement using LiDAR

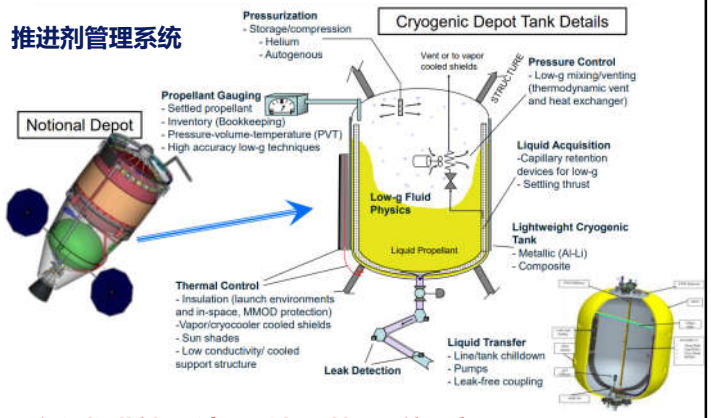




Ahmad Alsayed, Akilu Yunusa-Kaltungo, Mark K. Quinn, Farshad Arvin and Mostafa R. A. Nabawy , Drone-Assisted Confined Space Inspection and Stockpile Volume Estimation, Remote Sens. 2021, 13, 3356.

物位测量方法—航天应用

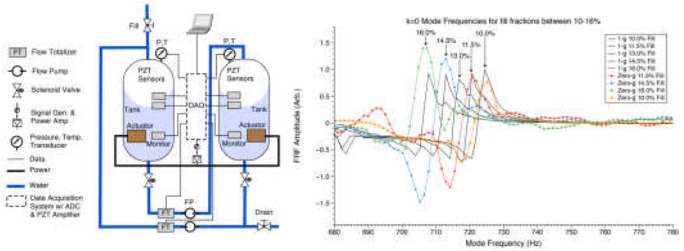
推进剂管理系统



低温推进剂（液氢、液氧）管理系统示意图

物位测量方法—航天应用

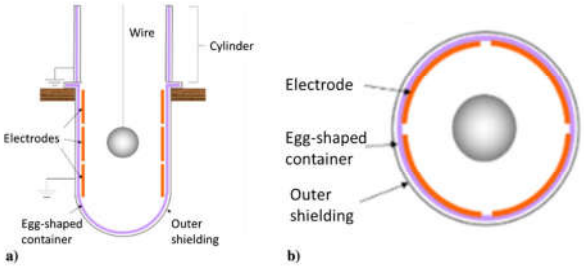
模态测量技术



Peterson T , Bossong C , Bartel B . Modal Propellant Gauging in Microgravity[C]，AIAA, 2016.

物位测量方法—航天应用

阻抗成像测量技术



Seung Ho Yang，Yong Sik Kim, Nicholas G. Dagalakis, and Yicheng Wang, Flexible Assemblies of Electro-capacitive Volume Tomographic Sensors for Gauging Fuel of Spacecraft，JOURNAL OF SPACECRAFT AND ROCKETS, 2021, 58(2)：499-504.

物位测量方法—航天应用

阻抗成像测量技术

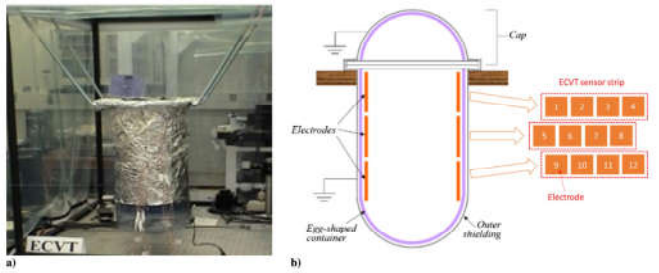


Fig. 6 Experimental ECVT setup at NIST: a) a photograph of the setup, and b) the configuration of the electrodes.

Seung Ho Yang，Yong Sik Kim, Nicholas G. Dagalakis, and Yicheng Wang, Flexible Assemblies of Electro-capacitive Volume Tomographic Sensors for Gauging Fuel of Spacecraft，JOURNAL OF SPACECRAFT AND ROCKETS, 2021, 58(2)：499-504.

物位测量方法—航天应用

阻抗成像测量技术

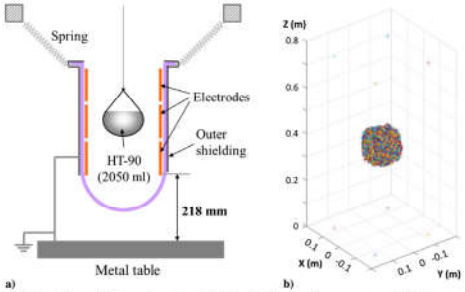


Fig. 9 Schematic diagram for testing HT-90 in a balloon and its reconstructed 3-D shape.

Seung Ho Yang，Yong Sik Kim, Nicholas G. Dagalakis, and Yicheng Wang, Flexible Assemblies of Electro-capacitive Volume Tomographic Sensors for Gauging Fuel of Spacecraft，JOURNAL OF SPACECRAFT AND ROCKETS, 2021, 58(2)：499-504.