

20 余种液位测量方法分析

任开春 涂亚庆

(后勤工程学院, 重庆 400016)

[摘 要] 该文对磁致伸缩法、核辐射法、光纤传感器法和雷达法等 20 余种液位测量方法进行了分类归纳, 并对各自的原理、特点等进行了较系统的比较分析。

[关键词] 液位; 测量方法; 分析

[中图分类号] TK31 [文献标识码] A [文章编号] 1000-068X(2003)05-0012-05

Analyzing more than 20 methods relating to liquid level measurement

REN Kai-chun, TU Ya-qing

(Logistics Engineering College, Chongqing 400016, China)

Abstract: This paper clasifies more than 20 methods of liquid level measurement such as magnetostriction, nuclear radiation, optical-fiber sensor, radar level measurement etc. Their principles and characteristics are also analyzed and compared.

Key words: Liquid level; Measuring method; Analysis

物位包括液位和料位两类。液位又包括液位信号器和连续液位测量两种。液位信号器是对几个固定位置的液位进行测量, 用于液位的上、下限报警等。连续液位测量是对液位连续地进行测量, 它广泛地应用于石油、化工、食品加工等诸多领域, 具有非常重要的意义。文中对 20 余种连续液位测量方法进行比较分析。

1 玻璃管法、玻璃板法、 双色水位法、人工检尺法

玻璃管法: 该方

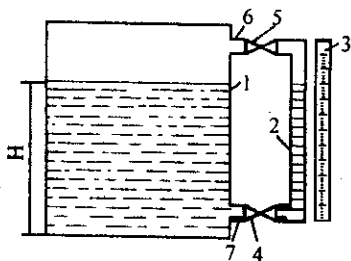


图 1—1 玻璃管法原理

法利用连通器原理工作, 如图 1—1 所示^[1]。图中 1—被测容器 2—玻璃管; 3—指示标度尺 4、5—阀 6、7—连通管。液位直接从指示标度尺读出。

玻璃板法: 玻璃板可通过连通器安装, 也可在容器壁上开孔安装, 并可串联几段玻璃板以增大量程。液位数值直接从玻璃板刻度尺读出。

双色水位计法: 该方法利用光学原理, 使水显示绿色, 而使水蒸汽显示红色, 从而指示出水位^[2]。

人工检尺法: 该方法用于测量油罐液位。测量时, 测量员把量油尺投入油品中, 并在尺砣与罐底接触时提起量油尺。根据量油尺上的油品痕迹, 读出油面高度, 根据量油尺末端试水膏颜色的变化确定水垫层的高度, 从而确定油高和水高^[3]。

以上 4 种方法都是人工测量方法, 具有测量简单、可靠性高、直观、成本低的优点。

2 吹气法、差压法、HTG 法

吹气法: 该方法的工作原理如图 2—1 所示^[4]。图中, 1—过滤器 2—减压阀 3—节流元件 4—转子流量计 5—变送器。因吹气管内压力近似等于液柱的静压力, 故 $P = \rho g H$

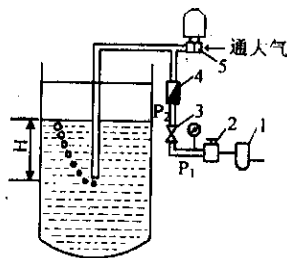


图 2—1 吹气法原理

式中, ρ —液体密度; H —液位。故由静压力 P 即可测量液位 H 。吹气法适用于测量腐蚀性强、有悬浊物的液体, 主要应用在测量精度要求不高的场合。

差压法: 该方法的工作原理如图 2—2 所示^[4]。图中, 1、2—阀门 3—差压变送器。对于开口容器或

收稿日期 2003-02-10

作者简介: 任开春 (1970-) 男, 讲师, 博士生, 研究方向为液位测量与信号处理。

常压容器, 阀门 1 及气相引压管道可以省掉。压力差与液位的关系为 $\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g H$

式中: ΔP - 变送器正、负压室压力差; P_2 、 P_1 - 引压管压力; H - 液位。差压变送器将压力差变换为 4 ~ 20 mA 的直流信号。

如果压力处于测量范围下限时对应的输出信号大于

或小于 4 mA, 则都需要采用调整迁移弹簧等零点迁移技术, 使之等于 4 mA。

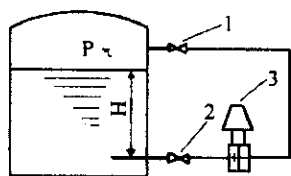


图 2—2 差压法原理

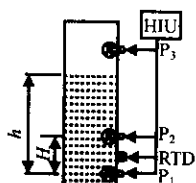


图 2—3 HTG 法原理

HTG 法: 该方法应用于油罐差压液位测量中, 如图 2—3 所示。图中: P_1 、 P_2 、 P_3

- 高精度压力传感器; RTD - 温度检测元件; HIU - 接口单元。 P_1 位于罐底附近的罐壳处, P_2 比 P_1 高 8 英尺, P_3 位于罐顶附近的罐壳处。对于常压油罐, 压力传感器 P_3 可以省去。设压力传感器 P_1 、 P_2 、 P_3 测得的压力分别为 p_1 、 p_2 、 p_3 , 则

$$G = (p_1 - p_3) S_{av}$$

$$\rho_{av} = \frac{p_1 - p_2}{gH}$$

$$h = \frac{p_1 - p_3}{\rho_{av} g} + h_0$$

式中: G - 油品重量; S_{av} - 油罐平均截面积; ρ_{av} - 介于压力传感器 P_1 、 P_2 之间油品平均密度; g 是重力加速度; H 是压力传感器 P_1 、 P_2 之间的距离; h 是油品高度; h_0 是压力传感器 P_1 的高度。RTD 用于测量油品温度, 以对测量数值进行温度补偿。HTG 测量系统价格较低, 但液位测量精度较低, 安装须在罐壁开孔。

以上 3 种方法都是利用液体的压力差来测量液位的。

3 浮子法、浮筒法、浮球法、伺服法、沉筒法

浮子法: 该方法采用浮子作为液位测量元件, 并驱动编码盘或编码带等显示装置, 或连接电子变送器以便远距离传输测量信号。

浮筒法: 该方法采用中

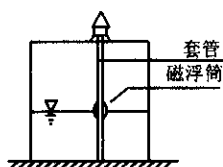


图 3—1 磁浮筒液位仪原理

间带孔的磁浮筒作为液位敏感元件, 如图 3—1 所示。不锈钢套管从浮筒中间孔穿过, 固定在罐顶和罐底之间。液位变化带动空心磁浮筒 (内藏永久磁铁) 沿套管上下移动, 并吸引套管内的磁铁沿套管内壁上下移动, 二次仪表根据磁铁的移动量计算出液位。

浮球法: 该方法利用杠杆原理工作, 如图 3—2 所示^[4]。图中: 1 - 浮球; 2 - 连杆; 3 - 转轴; 4 - 平衡重; 5 - 杠杆。浮球跟随液位变化而绕转轴旋转, 带动转轴上的指针转动, 并与杠杆另一端的平衡重平衡, 同时在刻度盘上指示出液位数值。浮球法有内浮球式和外浮球式两种, 如图 3—2 所示。浮球法主要用于测量温度高、粘度大的液位, 但量程较小。

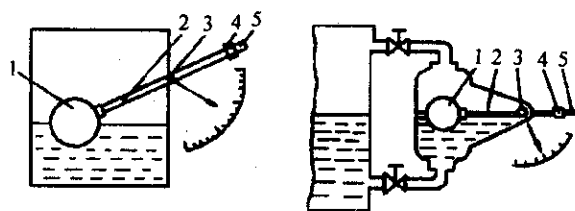


图 3—2 内、外浮球法原理

伺服法: 该方法采用波动积分电路, 消除抖动、延长寿命、提高液位测量精度。现代伺服液位仪的测量精度较高, 已达到 40 m 量程内小于 1 mm 的精度, 且一般都具有测量密度分布和平均密度的功能。

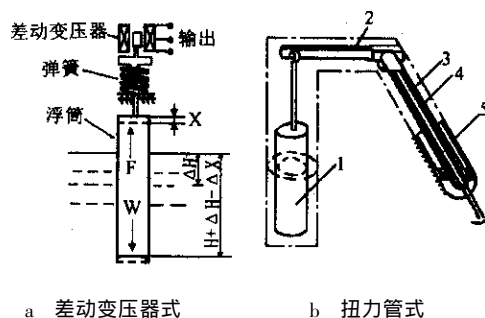


图 3—3 沉筒法原理

沉筒法: 沉筒的位置随着液位的变化而变化, 但其变化量并不与液位变化量相等。在图 3—3a 中^[4], 液位与浮筒位置的关系如下:

$$\Delta H = \left(1 + \frac{C}{A\rho g}\right) \Delta X = K \Delta X$$

上式中: ΔH - 液位变化量; C - 弹簧的弹性系数; A - 沉筒截面积; ρ - 液体密度; ΔX - 沉筒位置变化量。通常情况下, 浮筒位置变化量 ΔX 远小于液位变化量 ΔH 。图 3—3b 是扭力管式沉筒法原理^[4], 图中: 1 - 沉筒; 2 - 杠杆; 3 - 扭力管; 4 - 芯轴; 5 - 外壳。沉筒位置随液位变化而变化, 在杠杆的作用下,

扭力管芯轴的扭角发生变化,二次仪表根据扭角的变化量计算出液位。

以上 5 种方法都是利用浮力原理来工作的。

4 电容法、电阻法、电感法

电容法 用于测量非导电液体的电容法原理如图 4—1 所示^[4]。图 4—1 中,电容由两块同心的圆柱面板组成,其电容量 C_H 为

$$C_H = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_1 H}{\ln \frac{R}{r}} + \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_2 (l-H)}{\ln \frac{R}{r}}$$

$$= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_2 l}{\ln \frac{R}{r}} + \frac{2\pi(\epsilon_1 - \epsilon_2)\epsilon_0}{\ln \frac{R}{r}} H$$

$$= C_0 + \frac{2\pi(\epsilon_1 - \epsilon_2)\epsilon_0}{\ln \frac{R}{r}} H$$

上式中: ϵ_1 - 被测液体的相对介电常数; ϵ_2 - 气相介质的相对介电常数; H - 电容传感器浸入液体的深度(m); l - 电容传感器垂直高度(m); R - 内极板圆柱底面半径(m); r - 外极板圆柱底面半径(m)。由于 R 、 r 、 l 等都是固定值,只要利用 ϵ_1 、 ϵ_2 、 C_H 就能计算出液位 H 。图 4—2 是用于测量导电液体的电容法原理^[4],其公式推导略。电容式液位仪价格较低,安装容易,且可以应用于高温、高压的场合。但电容液位仪测量重复精度较低,需定期维修和重新标定,工作寿命也不是很长。

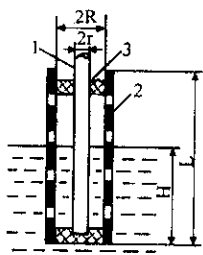


图 4—1 非导电液体
电容法原理

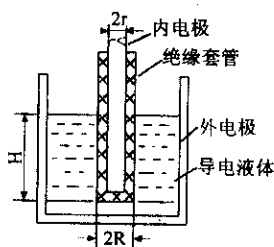


图 4—2 导电液体
电容法原理

电阻法 该方法^[5]特别适用于导电液体的测量,敏感器件具有电阻特性,其电阻值随液位的变化而变化,故将电阻变化值传送给二次电路即得到液位。探针式利用跟踪测量法来测量液位,以液位上升的情形为例来说明液位测量原理,当液位上升时,提起探针完全脱离液体,然后缓慢降低探针寻找液面,则探针与液体刚接触时的位置即与液位相对应。探针式的特点是测量精度很高、控制电路复杂。

电感法 该方法^[5]适用于导电液体的液位测量,特别是液态金属。电感法的原理是,液位变化使得

电感元件的自感、互感或导磁率发生变化,故将该变化量送往二次电路即可得到相应的液位数值。电感法应用最为广泛的是高频液位计。该液位计的测量原理是,频率调制信号通过射频电缆耦合到传输线传感器谐振回路,谐振回路的输出电压经过检波电路和射频电缆传送给低通滤波器,然后根据低通滤波器的输出电压控制调谐电路,产生新的振荡频率,直到传感器谐振电路处于完全谐振状态为止,则此时的振荡频率即与传感器的电感量相对应,从而与液位相对应。

以上 3 种方法都是利用液位传感器的电参数产生变化的方法来测量液位的。

5 磁致伸缩法、超声波法、调制型光学法、微波法

磁致伸缩法 该方法用于测量油罐液位的原理如图 5—1 所示^[6]。图 5—1 中有两个浮子,分别用来检测油气界面和油水界面。各浮子内都藏有一组永久磁铁,用来产生固定磁场。测量时,液位计头部发出低电流“询问”脉冲,该电流产生的磁场沿波导管向下传导。当电流磁场与浮子磁场相遇时,产生“返回”脉冲(也称“波导扭曲”脉冲)。询问脉冲与返回脉冲之间的时间差即对应油水界面和油气界面的高度。磁致伸缩液位计安装容易,测量精度很高,但液体密度变化和温度变化会带来测量误差^[7],浮子沿着波导管外的护导管上下移动,容易被卡死。

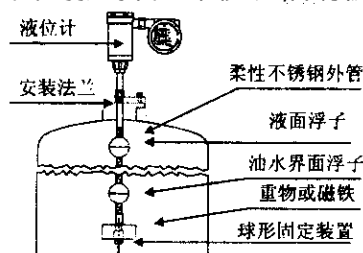


图 5—1 磁致伸缩液位计原理

超声波法 换能器将电功率脉冲转换为超声波,射向液面,经液面反射后再由换能器将该超声波转换为电信号。超声波是机械波,传播衰减小,界面反射信号强,且发射和接收电路简单,因而应用较为广泛,但超声波的传播速度受介质的密度、浓度、温度、压力等因素影响,其测量精度较低。

微波法 微波通过天线(大多为口径天线,也有平面天线)辐射出去,经液面反射后被天线接收,然后由二次电路计算发射信号与接收信号的时间差得到液位。连续波雷达液位计原理如图 5—2 所示,该液位计采用三角波频率调制形式,并通过对发射信号

与接收信号混频后得到的差额信号的分析,得到微波传输时间,从而计算出液位。微波速度受传播介质、温度、压力、液体介电常数的影响很小,但液体界面的波动、液体表面的泡沫、液体介质的介电常数对微波反射信号强弱有很大影响。当压力超过规定数值时,压力对液位测量精度将产生显著影响。对于介电常数小于规定数值的液体,大部分雷达液位仪都需要采用波导管,但波导管的锈蚀、弯曲和倾斜都会影响测量精度。例如:当空高 h 为 20 m,导波管与垂直方向倾斜角度 α 只要超过 0.573° ,则引起的液位误差 Δh 将超过 1 mm,由此证明,在倾斜角度 α (单位为度)较小时, Δh 满足: $\Delta h = \frac{h\pi^2}{64800} \alpha^2$

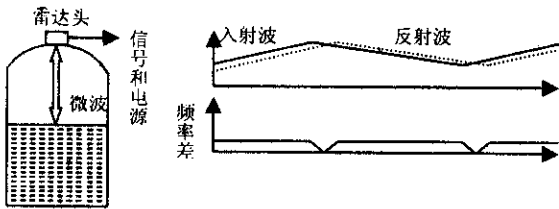


图 5-2 微波雷达液位仪原理图

雷达液位仪特别适合于高污染度或高粘度的产品,如沥青等。雷达液位仪测量的重复精度较高,无须定期维修和重新标定,测量精度也较高,但价格较高,测量油水界面困难。

调制型光学法与微波法类似,只是采用相位或频率调制的光信号代替微波信号。图 5-3 是一种激光雷达液位仪原理图^[8]。但光信号受水蒸汽、油蒸汽影响较大,并对液面波动很敏感,且必须采用易受污染的光学镜头。

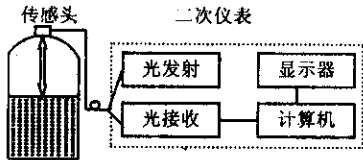


图 5-3 一种激光雷达光纤液位传感系统

以上 3 种方法都是通过检测信号传播的时间来确定液位的。设发射信号与接收信号的时间差为 t ,则空高 $h = vt/2$, v 为波的传播速度。

6 磁翻板法、振动法、核辐射法、光纤传感器法

磁翻板法原理如图 6-1a 所示^[1],1-翻板指示组件 2-浮子 3-连通管组件 4-调整螺钉 5-放泄塞。浮子装有一组永久磁铁,随液位变化而上下

移动,通过磁耦合作用带动磁翻板组件翻转。当液位上升时,磁翻板的红色面朝外;液位下降时,白色面朝外。故根据磁翻板的颜色即可确定液位。浮子内磁铁与磁翻板磁性结构如图 6-1b 所示^[5],每片翻板间的距离为 10 mm。采用几台磁翻板装置串联可增大量程。

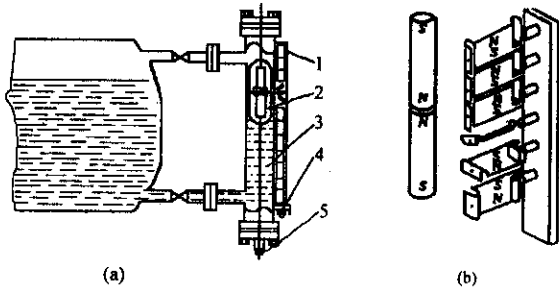


图 6-1 磁翻板法原理

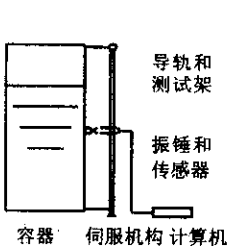


图 6-2 振动法原理图

振动法的原理如图 6-2 所示^[9]。振动液位仪由导轨、测试架、激锤、振动传感器、伺服机构等组成。伺服机构控制振锤上下爬动并激振,激振后的自由振动被振动传感器检测,该检测信号经 FET

变换后得到最大功率处的频率,最后由空罐时固有频率/液位关系得到液位。这种液位测量方法需要激锤、伺服机构等机械运动部件,其工作寿命不是很长,须定期维修和重新标定,安装也较复杂。

辐射法:放射性同位素在衰变过程中会辐射射线,常见的射线有 α 、 β 、 γ 射线。其中, γ 射线的穿透力强,射程远,故在核辐射液位测量中广泛采用。实验证明,穿过物质前后 γ 射线强度会发生变化,并满足以下关系^[5]: $J = J_0 e^{-\mu d}$

上式中: J_0 - 穿过物质前的强度; J - 穿透物质后的强度; μ - 物质对 γ 射线的衰减特性; d - 物质的厚度。核辐射式液位仪由放射源、探测器及处理电路组成。放射源大都采用钴-60 或铯-137。探测器有电离室、记数管、闪烁计数器等几种,其作用是探测射线穿透物质后的强度。核辐射液位仪采用非接触式安装,如图 6-3 所示。图 6-3a 采用点式放射源、探测器,测量范围较小;图 6-3b 采用点式放射源、线状探测器,测量范围较大;图 6-3c 采用线状放射源、探测器,测量范围最大。除 γ 射线外,中子射线也可用来测量液位。中子射线的穿透能力

极强,比 γ 射线强 10 倍以上,可穿透壁厚达 9 英寸的钢质容器^[10]。射线液位仪安装方便,测量精度能满足大罐测量的需要,有一定的应用场合。

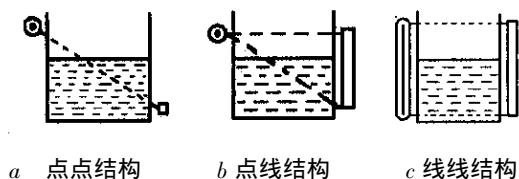


图 6—3 核辐射液位仪的安装

光纤传感法:文献[11]提出了一种光纤液位传感器,当液位变化时,压力传感器的敏感弹性膜片产生位移,带动反光膜移动,使探头感受的光强发生变化,从而计算出液位。文献[12]提出了又一种光纤液位传感器,根据探头在气相和液相介质中感受到光强的差异,判断探头的位置,并控制探头跟踪液位的变化,从而得到液位数值。

7 结束语

该文对 20 余种液位测量方法进行了分析比较。在实际应用中,应根据价格、测量精度、被测介质的特点等因素,合理选择液位仪的种类。

〔参考文献〕

[1] 《工业自动化仪表手册》编辑委员会. 工业自动化仪表

手册第二册产品部分(一)[M]. 机械工业出版社, 1987.10.

[2] 徐德兴. 水位计[M]. 水利电力出版社, 1989.3.

[3] 于贤福,等. 油库技术管理[M]. 中国石化出版社, 1999.12.

[4] 赵玉珠. 测量仪表与自动化[M]. 石油大学出版社, 1997.2.

[5] 杜如彬,等. 液位检测技术[M]. 原子能出版社, 1987.2.

[6] MTS Systems Corporation. MTS[®] Level Plus[®] 液位测量系统产品及应用简介[M], 1996.

[7] 任开春,等. 磁致伸缩液位仪介质密度变化对测量精度的影响[J]. 仪表技术与传感器, 2001(1), 16-17.

[8] 彭伟,等. 激光雷达光纤液位传感系统中光学非接触在线测量方法的研究[J]. 仪表技术与传感器, 1997(12), 19-22.

[9] 张朝晖,等. 振动式液位测量方法研究[J]. 仪器仪表学报, 1999(3) 250-253.

[10] Wayne Labs. level measurement: pressure methods dominate[J]. I & CS, 1990.2 37-38.

[11] 陈实英,等. 光纤液位传感器的研究[J]. 传感器技术, 2000(5) 47-48.

[12] 郑龙江,等. 新型光纤液位测量系统的研究[J]. 传感器技术, 2001(9) 18-20.

(上接第 11 页)

智能监控与故障报警系统也在不断发展与完善。但是,上述软件产品仅仅只能进行生产过程的实时监控,还无故障报警系统。INTEMOR 几乎是目前国际上具有智能专家事故预报系统的惟一软件平台,它代表了当今国际上最新的研究开发潮流。

INTEMOR 实时智能监控及事故预报系统是一个集计算机通讯与网络技术、自动化控制与检测技术、人工智能(专家系统、计算机视觉、神经网络)技术和信息处理技术为一体的高科技产品,现已成功地应用于加拿大的电厂、炼油厂和其它工业生产过程中,具有先进性和成熟性,目前世界上尚没有类似的技术或产品与之竞争。在这些研究机构开发的专家系统工具中,具有 Internet 通讯功能的专家系统只有 3 套,具有实时控制功能的专家系统共有 4 套,而 INTEMOR 是惟一同时具有因特网通讯功能和实时控制功能的专家系统,技术处于国际先进水平。

INTEMOR 实时在线智能监控及事故预报系统
万方数据

实现的集成是公有知识与私有知识的集成,人类智慧与计算机技术的集成,新发明创造与现有技术的集成。因此,当 INTEMOR 用于对企业的生产过程进行监控时,它只要从已有的 PLC、DCS 通讯网络上获得数据,进行高一层次的综合和处理,而不改变使用人员已经熟悉的操作程序和规则。即只是从高层次进行监督和预报,以及执行在紧急情况下的强行干预,因而可达到更好的控制与管理的效果。INTEMOR 专家知识库创建系统提供了如何获取及提炼专家知识的方法,可保证用户能开发出可以应用的专家系统。开发出的 INTEMOR 知识库可以和开发工具相分离,从而大大提高系统的有效性及可靠性。

6 结束语

综上所述,因特摩系统因其具备的功能和特点,在众多领域,尤其在实时智能监控和故障预报领域,必将具有广泛的应用和开发前景。