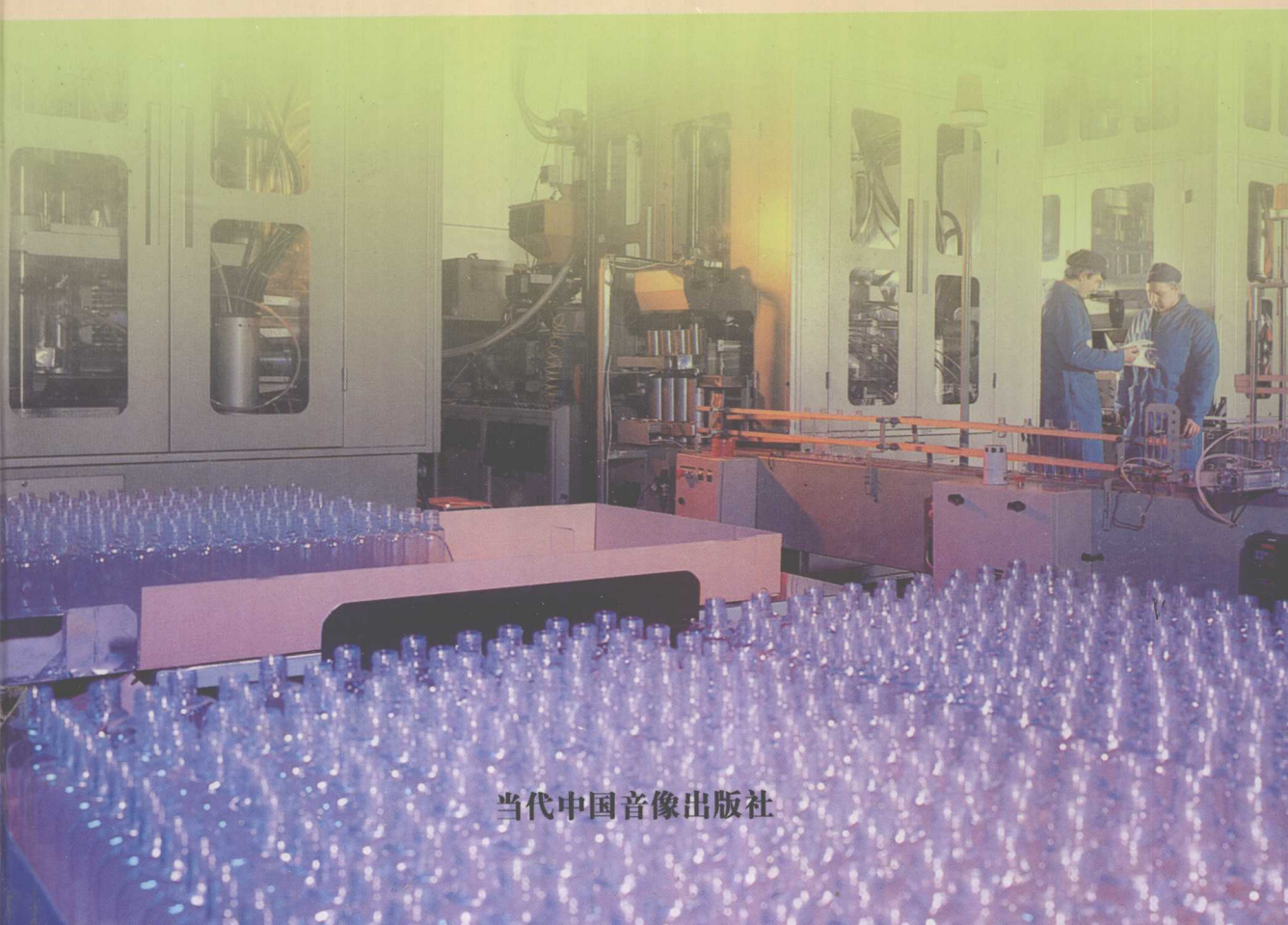


塑料机械设备

创新设计与自动化生产制造使用
维护及质量检验技术标准

SU LIAO JI XIE SHE BEI 实用手册



当代中国音像出版社

第四节 压力检测

压力是生产过程控制中的重要参数。许多生产过程（特别是化工、炼油等生产过程）都是在一定的压力条件下进行的。如连续催化重整反应器要求控制压力在 0.24MPa，高压聚乙烯要求将压力控制在 150MPa 以上，而减压蒸馏则要在比大气压低很多的真空中进行。因此测量和控制压力能够保证生产过程安全、正常运行，保证产品质量。另外，有些变量的测量，如流量和物位，也可以通过测量压力或差压而获得。

一、压力单位和压力检测方法

(1) 压力的单位

在工程上，压力定义为垂直均匀地作用于单位面积上的力，用符号 p 表示。在国际单位制中定义 1N 垂直作用于 1m^2 面积上所形成的压力为 1 帕斯卡（简称“帕”，符号 Pa）。目前虽然规定 Pa 为法定计量单位，但其他一些压力单位还在普遍使用。表 2-6 给出了各种压力单位之间的换算关系。

表 2-6 压力单位换算表

| 单 位 | 帕 /Pa | 巴 /bar | 工程大气压 / (kgf/cm ²) | 标准大气压 /atm | 毫米水柱 /mmH ₂ O | 毫米汞柱 /mmHg | 磅力/平方英寸 / (lbf/in ²) |
|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 帕/Pa | 1 | 1×10^{-5} | $1.019\ 716 \times 10^{-5}$ | $0.986\ 923\ 6 \times 10^{-5}$ | $1.019\ 716 \times 10^{-1}$ | $0.750\ 06 \times 10^{-2}$ | $1.450\ 442 \times 10^{-4}$ |
| 巴/bar | 1×10^5 | 1 | 1.019 716 | 0.986 923 6 | $1.019\ 716 \times 10^4$ | $0.750\ 06 \times 10^3$ | $1.450\ 442 \times 10$ |
| 工程大气压 / (kgf/cm ²) | $0.980\ 665 \times 10^5$ | 0.980 665 | 1 | 0.967 84 | 1×10^4 | $0.735\ 56 \times 10^3$ | $1.422\ 4 \times 10$ |
| 标准大气压 /atm | $1.013\ 25 \times 10^5$ | 1.013 25 | 1.033 23 | 1 | $1.033\ 23 \times 10^4$ | 0.76×10^3 | $1.469\ 6 \times 10$ |
| 毫米水柱 /mmH ₂ O | $0.980\ 665 \times 10$ | $0.980\ 665 \times 10^{-4}$ | 1×10^{-4} | $0.967\ 84 \times 10^{-4}$ | 1 | $0.735\ 56 \times 10^{-1}$ | $1.422\ 4 \times 10^{-3}$ |
| 毫米汞柱 /mmHg | $1.333\ 224 \times 10^2$ | $1.333\ 224 \times 10^{-3}$ | $1.359\ 51 \times 10^{-3}$ | $1.315\ 8 \times 10^{-3}$ | $1.359\ 51 \times 10$ | 1 | 1.9338×10^{-2} |
| 磅力/平方英寸 / (lbf/in ²) | $0.689\ 49 \times 10^4$ | $0.689\ 49 \times 10^{-1}$ | $0.703\ 07 \times 10^{-1}$ | $0.680\ 5 \times 10^{-1}$ | $0.703\ 07 \times 10^3$ | $0.517\ 15 \times 10^2$ | 1 |

(2) 压力的表示方法

压力有三种表示方法，即绝对压力、表压力、负压或真空度，它们之间的关系见图 2-25。

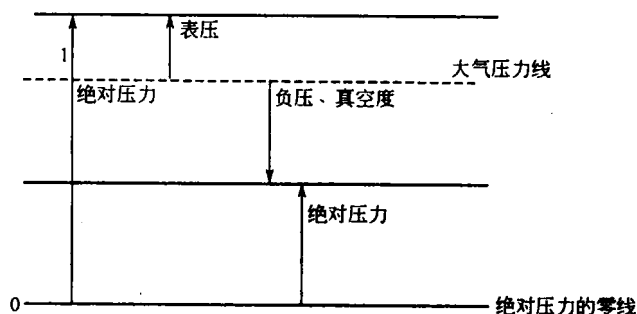


图 2-25 绝对压力、表压力、负压或真空度之间的关系

绝对压力是指物体所受的实际压力。

表压力是指一般压力仪表所测得的压力，它是高于大气压力的绝对压力与大气压力之差，即

$$p_{\text{表压}} = p_{\text{绝对压力}} - p_{\text{大气压力}} \quad (2-21)$$

真空度是指大气压与低于大气压的绝对压力之差，是负的表压（负压），即

$$p_{\text{真空度}} = p_{\text{大气压力}} - p_{\text{绝对压力}} \quad (2-22)$$

通常情况下，由于各种工艺设备和检测仪表本身就处于大气压力之下，因此工程上经常采用表压和真空度来表示压力的大小，一般压力仪表所指示的压力也是表压或真空度。

(3) 压力的检测方法

压力检测方法主要有以下几种。

①弹性力平衡方法 基于弹性元件的弹性变形特性进行测量。弹性元件受到被测压力作用而产生变形，而因弹性变形产生的弹性力与被测压力相平衡。测出弹性元件变形的位移就可测出弹性力。此类压力计有弹簧管压力计、波纹管压力计、膜式压力计等。

②重力平衡方法 主要有活塞式和液柱式。活塞式压力计将被测压力转换成活塞上所加平衡砝码的质量来进行测量的，测量精度高，测量范围宽，性能稳定可靠，一般作为标准型压力检测仪表来校验其他类型的测压仪表。液柱式压力计是根据流体静力学原理，将被测压力转换成液柱高度进行测量的，最典型的是 U 形管压力计，结构简单且读数直观。

③机械力平衡方法 其原理是将被测压力变换成一个集中力，用外力与之平衡，通过测量平衡时的外力来得到被测压力。机械力平衡方法较多用于压力或差压变送器中，精度较高，但结构复杂。

④物性测量方法 基于在压力作用下测压元件的某些物理特性发生变化的原理，如电气式压力计、振频式压力计、光纤压力计、集成式压力计等。

二、常用压力检测仪表

(1) 弹性式压力计

弹性式压力表是根据弹性元件受压后产生的变形与压力大小有确定关系的原理工作的。其结构简单，测压范围广（ $0\sim 10^3\text{MPa}$ ），是目前生产过程中使用最广泛的压力表。常见的测压用弹性元件主要是膜片、波纹管 and 弹簧管。图 2-26 是常见弹性元件的示意图。

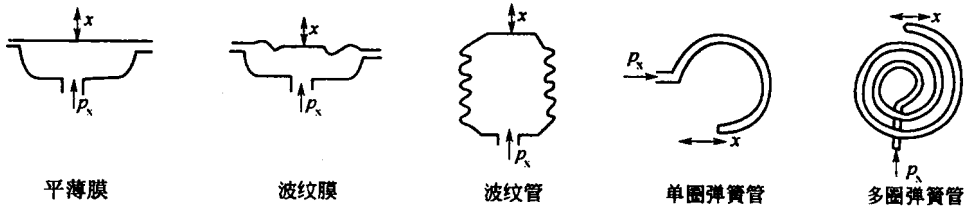


图 2-26 弹性元件示意图

①膜片 膜片是一种圆形薄板或薄膜，其周边固定在壳体或基座上。当膜片两边的压力不等时就会产生位移。将膜片成对地沿着周边密封焊接，就构成了膜盒。若将膜盒内部抽成真空，则当膜盒外压力变化时，膜盒中心就会产生位移。这种真空膜盒常用于测量大气的绝对压力。

膜片受到压力作用产生的位移量较小，虽然可以直接带动传动机构指示，但是灵敏度低，指示精度不高，一般为 2.5 级。在更多的情况下，都是将膜片和其他转换元件结合在一起使用。例如，在力平衡式压力变送器中，膜片受压后的位移，通过杠杆和电磁反馈机构的放大和信号转换等处理，输出标准电信号；在电容式压力变送器中，将膜片与固定极板构成平行板电容器，当膜片受压产生位移时，测出电容量的变化就间接测得压力的大小；在光纤式压力变送器中，入射光纤的光束照射到膜片上产生反射光，反射光被接收光纤接收，其强度是光纤至膜片的距离的函数，当膜片受压位移后，接收到的光强度信号相应会发生变化，通过光电转换元件和有关电路的处理，就可以得到与被测压力对应的电信号。

②波纹管 波纹管是一种轴对称的波纹状薄壁金属筒体，当它受到轴向力作用时能产生较大的伸长或收缩位移。波纹管的位移相对较大，通常在其顶端安装传动机构，带动指针直接读数。波纹管灵敏度较高，适合检测低压信号，测压范围是 $1.0\sim 10^6\text{Pa}$ ，但波纹管时滞较大，测量精度一般只能达到 1.5 级。

③弹簧管 弹簧管是弯成圆弧形的空心管子，其横截面积呈椭圆或扁圆形。弹簧管一端固定，一端可以自由移动。当被测压力从弹簧管的固定端输入时，随着压力的改变，弹簧管的自由端发生位移，中心角 θ 发生变化。弹簧管有单圈和多圈之分。单圈弹簧管的中心角变化量较小，而多圈弹簧管的中心角变化量较大。在弹簧管自由端装上指针，配上传动机构和压力刻度，就能构成就地指示式弹簧管压力表，如图 2-27 所示。也可以用适当的转换元件将弹簧管自由端的位移变成电信号输出。

弹簧管压力表的结构简单，使用方便，价格便宜，使用范围广泛，测量范围宽，可以测量负压、微压、低压、中压和高压，因而是目前工业上用得最多的测压仪表，其测量精度最高可以达到 0.15 级。

(2) 压力传感器

压力传感器是指能够检测压力并提供远传信号的装置，能够满足自动化系统集中检测显示和控制的要求。当压力传感器输出的电信号进一步变换成标准统一信号时，又将它称为压

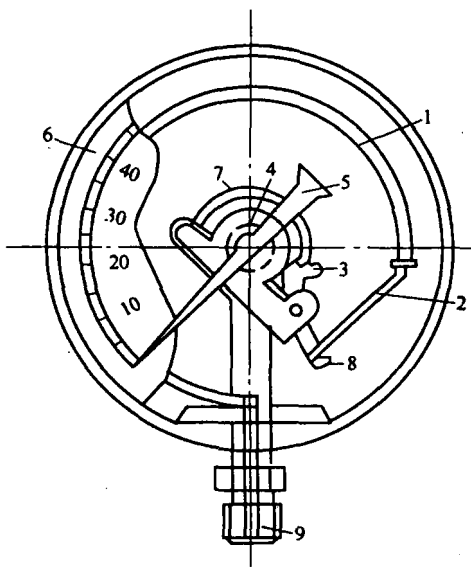


图 2-27 弹簧管压力表

- 1—弹簧管；2—拉杆；3—扇形齿轮；4—中心齿轮；
5—指针；6—面板；7—游丝；8—调节螺钉；9—接头

力变送器。以下简单介绍几种常见的压力传感器。

①应变片式压力传感器 应变片是由金属导体或半导体材料制成的电阻体，基于应变效应工作。在电阻体受到外力作用时，其电阻阻值发生变化，相对变化量为

$$\frac{\Delta R}{R} = k\varepsilon \quad (2-23)$$

式中， ε 是材料的轴向长度的相对变化量，称为应变； k 是材料的电阻应变系数。

金属电阻应变片的结构形式有丝式和箔式，半导体应变片的结构形式有体形和扩散形。图 2-28 是金属电阻应变片的几种结构形式。

半导体材料应变片的灵敏度比金属应变片的灵敏度大，但受温度影响较大。

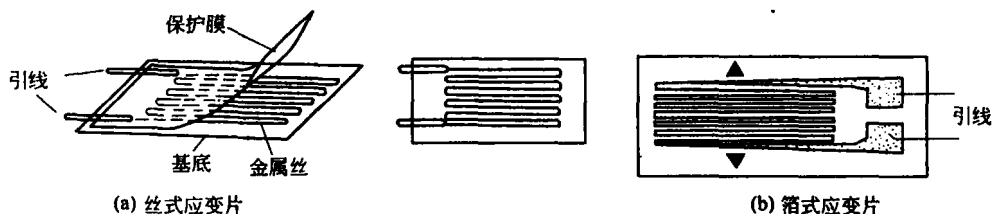


图 2-28 金属电阻应变片结构形式

应变片一般要和弹性元件结合在一起使用，将应变片粘贴在弹性元件上，在弹性元件受压变形的同时应变片也发生应变，其电阻值发生变化，通过电桥输出测量信号。应变片式压力传感器测量精度较高，测量范围可达几百兆帕。

②压电式压力传感器 当某些材料受到某一方向的压力作用而发生变形时，内部就产生极化现象，同时在它的两个表面上就产生符号相反的电荷；当压力去掉后，又重新恢复不带电状态。这种现象称为压电效应。具有压电效应的材料称为压电材料。压电材料种类较多，

有石英晶体、人工制造的压电陶瓷，还有高分子压电薄膜等。

图 2-29 是一种压电式压力传感器的结构图。压电元件被夹在两块弹性膜片之间，压电元件一个侧面与膜片接触并接地，另一个侧面通过金属箔和引线将电量引出。压力作用于膜片时，压电元件受力而产生电荷，电荷量经放大可转换成电压或电流输出。

压电式压力传感器结构简单、体积小、线性度好、量程范围大。但是由于晶体上产生的电荷量很小，因此对电荷放大处理的要求较高。

③压阻式压力传感器 压阻元件是指在半导体材料的基片上用集成电路工艺制成的扩散电阻。它是基于压阻效应工作的，即当它受压时，其电阻值随电阻率的变化而变化。常用的压阻元件有单晶硅膜片以及在 N 型单晶硅膜片上扩散 P 型杂质的扩散硅等，也是依附于弹性元件而工作。图 2-30 是一种压阻式压力传感器结构示意图。在硅杯底部布置着四个应变电阻。硅杯将两个气腔隔开，一端通入被测压力，另一端通入参考压力。当存在压力差时，硅杯底部的膜片发生变形，使得两对应变电阻的阻值产生变化，电桥就失去平衡，其输出电压与膜片承受的差压成比例。

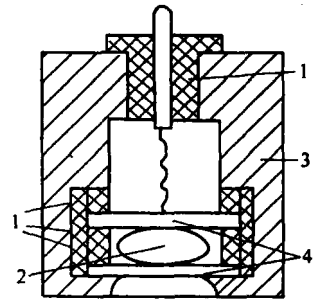


图 2-29 压电式压力传感器结构示意图
1—绝缘体；2—压电元件；
3—壳体；4—膜片

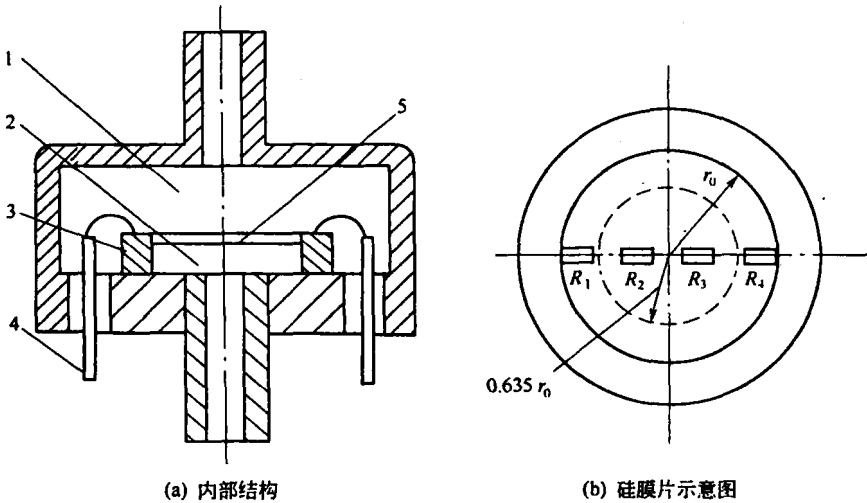


图 2-30 压阻式压力传感器结构示意图

1—低压腔；2—高压腔；3—硅杯；4—引线；5—硅膜片

压阻式压力传感器主要优点是体积小、结构简单、性能稳定可靠、寿命长、精度高、无活动部件，能测出微小压力的变化、动态响应好、便于成批生产。主要缺点是测压元件容易受到温度的扰动影响而改变压电系数。为克服这一缺点，在加工制造硅片时利用集成电路的制造工艺，将温度补偿电路、放大电路甚至电源变换电路都集中在同一块硅片上，从而大大提高了传感器性能。这种传感器也称为固态压力传感器。

④电容式压力传感器 其测量原理是将弹性元件的位移转换为电容量的变化。将测压膜片作为电容器的可动极板，它与固定极板组成可变电容器。当被测压力变化时，由于测压膜片的弹性变形产生位移改变了两块极板之间的距离，造成电容量发生变化。图 2-31 是一种

电容式压力传感器的示意图。测压元件是一个全焊接的差动电容膜盒，以玻璃绝缘层内侧凹球面金属镀膜作为固定电极，以中间弹性膜片作为可动电极。整个膜盒用隔离膜片密封，在其内部充满硅油。隔离膜片感受两侧的压力，通过硅油将压力传到中间弹性膜片上，使它产生位移，引起两侧电容器电容量的变化。电容量的变化再经过适当的转换电路输出 4~20mA 标准信号，就构成目前常用的电容式差压变送器。

电容压力传感器结构紧凑、灵敏度高、过载能力大、测量精度可达 0.2 级、可以测量压力和差压。

⑤集成式压力传感器 它是将微机械加工技术和微电子集成工艺相结合的一类新型传感器，有压阻式、微电容式、微谐振等形式。图 2-32 是压阻式集成传感器检测元件的示意图。硅杯底部是 E 形断面，构成作为检测元件的硅膜片。在硅膜片断面减薄部分，沿应力灵敏度大的方向形成力敏电阻，感受差压引起的切向和径向应力变化；在硅膜片断面加厚部分也形成力敏电阻，感受静压的作用；在加厚部分切向和径向压阻系数接近零的方向形成温敏电阻，感受温度的变化。

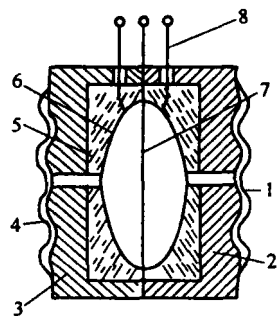


图 2-31 电容式压力传感器示意图

1, 4—隔离膜片；2, 3—不锈钢基座；5—玻璃绝缘层；6—固定电极；7—弹性膜片；8—引线

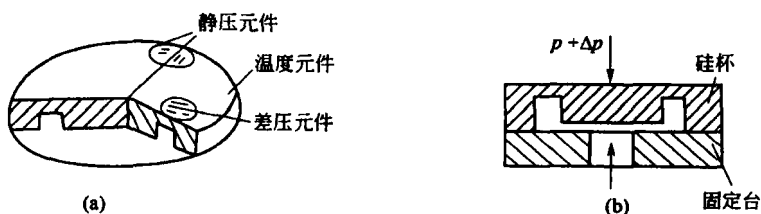


图 2-32 压阻式集成传感器检测元件示意图

将差压、静压和温度同时测出，再送入微机系统经过运算处理后就可以得到修正后的被测差压值、静压值和温度值。

集成式压力传感器测量精度高，可以达到 0.1 级、功耗低、响应快、重量轻、稳定性和可靠性高。目前正处于开发和逐渐应用阶段。

三、压力表的选用

压力表的选用主要包括仪表型式、量程范围、精度和灵敏度、外形尺寸以及是否还需要远传和其他功能，如指示、记录、报警、控制等。选用的依据如下：

- ①必须满足工艺生产过程的要求，包括量程和精度；
- ②必须考虑被测介质的性质，如温度、压力、粘度、腐蚀性、易燃易爆程度等；
- ③必须注意仪表安装使用时所处的现场环境条件，如环境温度、电磁场、振动等。

从被测介质性质来看，对腐蚀性较强的介质应使用像不锈钢之类的弹性元件或传感器；对氧气、乙炔等介质应选用专用的压力仪表。

从对仪表输出信号要求来看，对于只需要观察压力变化的情况，可选用弹簧管或 U 形液

柱式那样直接指示型的仪表；对于需要将压力信号远传到控制室或其他电动仪表的情况，则应选用电气式压力检测仪表或其他具有电信号输出的仪表，如应变片压力传感器、电容式压力传感器等；对于要检测快速变化的压力信号的情况，则应选用电气式压力检测仪表，如扩散硅压力传感器。

从仪表使用环境来看，对于温度特别高或特别低的环境，应选择温度系数小的敏感元件；对于爆炸性较强的环境，在使用电气式压力表时，应选择安全防爆型压力表。

各种压力表各有其特点和适用范围。在选择压力表后，还应该正确安装，避免因安装不当造成的测量误差。有关压力表的安装必须严格按照各种压力表的使用说明书规定进行。

第五节 物位检测

物位包括三个方面：④液位，指设备或容器中液体介质液面的高低；⑤料位，指设备或容器中块状、颗粒状或粉末状固体堆积高度；⑥界位，指两种液体（或液体与固体）分界面的高低。生产过程中经常需要对物位检测，主要目的是监控生产的正常和安全运行，保证物料平衡。

一、物位检测方法

物位检测面临的对象不同，检测条件和检测环境也不相同，因而检测方法很多。归纳起来大致有以下几种方法。

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。因此通过差压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。

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。

二、常用物位检测仪表

(1) 差压式液位计

利用静压原理来测量。差压式液位计测量液位时，液位 h 与差压 Δp 之间有一定的关系。

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 ，见图 2-33，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，如图 2-34 (a) 所示。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，如图 2-34 (b) 所示。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。

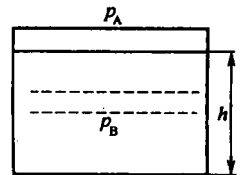


图 2-33 压力示意图

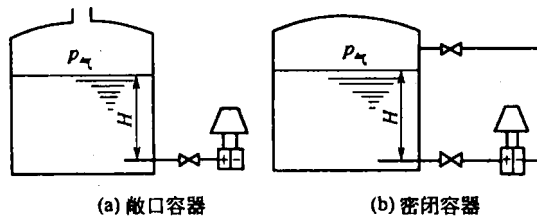


图 2-34 静压式液位测量原理

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。现以气动差压式液位计为例予以说明。

用气动差压式液位计测量液位时，其输出信号为 20~100kPa 气压信号，如果按照图 2-34 (b) 的安装方法，即当液位高度 $h = 0$ 时，输出为 20kPa， h 为最高液位时，输出为 100kPa，而当 h 在零与最高液位之间时，则对应在 20~100kPa 之间有一输出气压信号，这是液位测量中最简单的情况。为了区别于图 2-35 和图 2-36 所示情况，称它为“无迁移”。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 20kPa。

但如图 2-35 所示, 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, 而是低于储槽底部。在实际应用中, 则在液位为零时, 液位计并不对应输出为 20kPa, 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, 消除静液柱的影响。

由图 2-35 可知

$$p_1 = p_B + h_0\rho g = p_A + h\rho g + h_0\rho g$$

$$p_2 = p_A$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = h\rho g + h_0\rho g$$

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 $p_0 > 20\text{kPa}$ 。为了迁移掉 $h_0\rho g$, 即在 $h=0$ 时仍然使 $p_0 = 20\text{kPa}$, 可以调整仪表的迁移弹簧张力。由于 $h_0\rho g$ 作用在正压室上, 称之为正迁移量。迁移弹簧张力抵消了 $h_0\rho g$ 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 $h_0\rho g \sim (h_0\rho g + h_{\max}\rho g)$ 。

如图 2-36 所示的情况为负迁移。

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

$$p_1 = p_A + h\rho_1 g + h_0\rho_2 g$$

$$p_2 = p_A + h_1\rho_2 g$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = h\rho_1 g - (h_1 - h_0)\rho_2 g$$

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, 称之为负迁移量。当 $h=0$ 时, $\Delta p = -(h_1 - h_0)\rho_2 g$, 因此 $p_0 < 20\text{kPa}$ 。为了迁移掉 $-(h_1 - h_0)\rho_2 g$ 的影响, 可以调整负迁移弹簧的张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

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

利用差压式液位计还可以测量液体的分界面, 如图 2-37 所示。液位计正、负压室受力情况如下

$$p_1 = h_0\rho_2 g + (h_1 + h_2)\rho_1 g$$

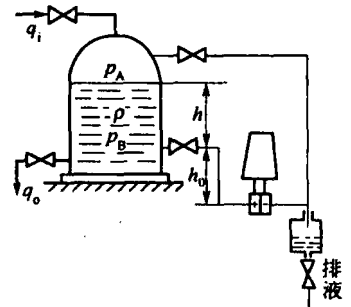


图 2-35 液位测量的正迁移

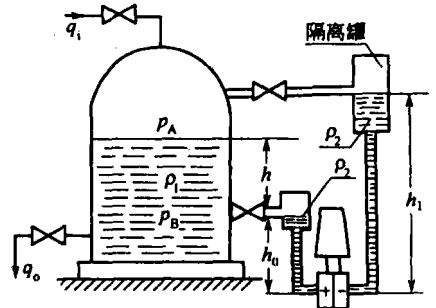


图 2-36 液位测量的负迁移

$$p_2 = (h_2 + h_1 + h_0) \rho_1 g$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = h_0 g (\rho_2 - \rho_1)$$

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。

(2) 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 2-38 所示，电容量为

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln D/d} \quad (2-24)$$

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

$$\Delta C = k \frac{(\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\ln D/d} H \quad (2-25)$$

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。

电容式物位计适用范围广泛，但要求介质介电常数保持稳定，介质中没有气泡。

(3) 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。

图 2-39 是超声波测量物位的原理图。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

$$H = \frac{1}{2} vt \quad (2-26)$$

式 (2-26) 中，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。超声换能器由压电材料制成，实现电能和机械能的相互转换，其发射器和接收器可以装在同一个探头上，也可分开装在两个探头上，探头可以装在容器的上方或者下方。电子装置用于产生电信号激

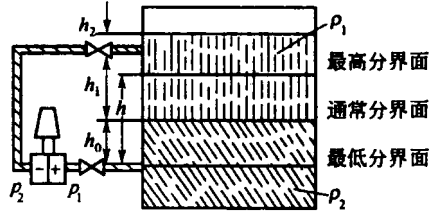


图 2-37 用差压式液计测分界面原理图

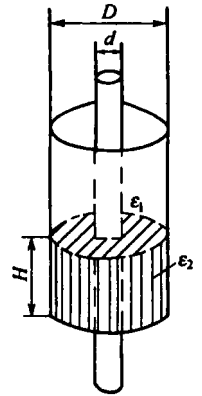


图 2-38 电容式物位计原理

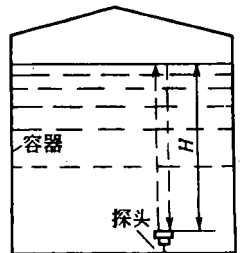


图 2-39 超声波液位检测原理

励超声换能器发射超声波，并接收和处理经过超声换能器转换的电信号。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，因此适用于液体、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，但有些介质对超声波吸收能力很强，无法采用超声波检测方法。

(4) 核辐射式物位计

核辐射式物位计是利用放射源产生的 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，其变化规律如式 (2-27)。

$$I = I_0 \exp(-\mu H) \quad (2-27)$$

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)。图 2-40 是用射线方法检测物位的示意图。

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) 磁翻转式液位计

其结构原理如图 2-41 所示。用非导磁的不锈钢制成的浮子室内装有带磁铁的浮子，浮子室与容器相连，紧贴浮子室壁装有带磁铁的红白两面分明的翻板或翻球的标尺。当浮子随管内液位升降时，利用磁性吸引，使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。

磁翻转式液位计指示直观、结构简单、测量范围大、不受容器高度的限制，可以取代玻璃管液位计，用来测量有压容器或敞口容器内的液位。指示机构不与液体介质直接接触，特别适用于高温、高压、高粘度、有毒、有害、强腐蚀性介质，且安全防爆。除就地指示外，还可以配备报警开关和信号远传装置，实现远距离的液位报警和监控。

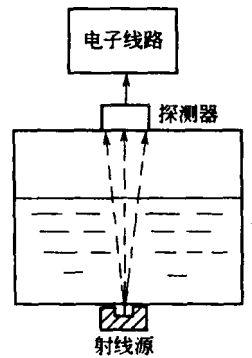


图 2-40 射线方法检测物位示意图

三、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

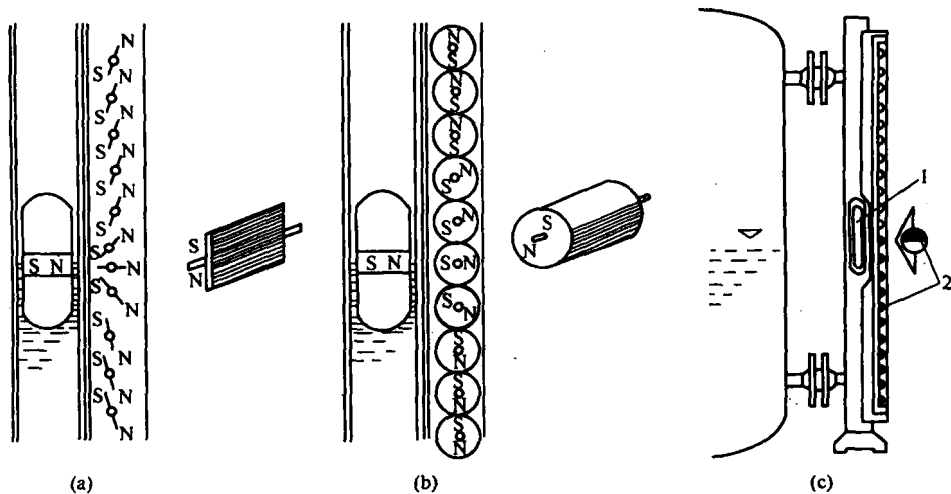


图 2-41 磁翻转式液位计

1—内装磁铁的浮子；2—翻球

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。

第六节 成分和物性参数检测

在工业生产过程中，成分是最直接的控制指标。对于化学反应过程，要求产量多，收率高；对于分离过程，要求得到更多的纯度合格产品。为此，一方面要对温度、压力、液位、流量等变量进行观察、控制，使工艺条件平稳；另一方面又要取样分析、检验成分。例如在氨的合成中，合成气中一氧化碳（CO）和二氧化碳（CO₂）含量高时，合成塔催化剂要中毒；氢氮比不适当，转化率要低。像这些成分都需要进行分析。又如在石油蒸馏中，塔顶及侧线产品的质量不仅取决于沸点温度，也与密度等许多物性参数有关。大气环境监测分析，需要对有关气体成分参数进行测量。因此，成分、物性的测量和控制是非常重要的。

下面介绍几种常用成分和物性的检测方法，从中了解影响成分和物性检测元件静态特性的误差因素及如何排除这些误差。

一、成分和物性参数检测方法

(1) 热导式气体成分检测

热导式气体成分检测是利用各种气体的导热系数不同来测出气体的成分。从图 2-42 可以看出氢气 (H_2) 的导热系数最大, 是空气的 7 倍多。在测量中必须满足两个条件: 第一, 待测组分的导热系数与混合气体中其余组分的导热系数相差要大, 越大越灵敏; 第二, 其余各组分的导热系数要相等或十分接近。这样混合气体的导热系数随待测组分的体积含量而变化, 因此只要测出混合气体的导热系数便可得知待测组分的含量。然而, 直接测量导热系数很困难, 故要设法将导热系数的差异转化为电阻的变化。

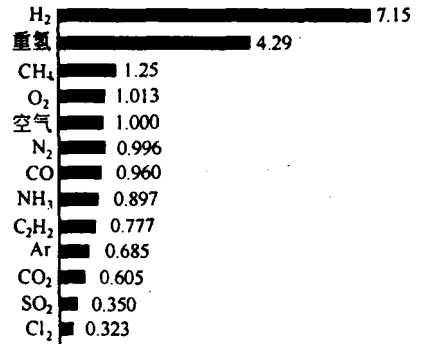


图 2-42 各种气体的相对导热系数

为此, 将混合气体送入热导池, 通过在热导池内用恒定电流加热的铂丝, 铂丝的平衡温度将取决于混合气体的导热系数, 即待测组分的含量。例如, 待测组分是氢气, 则当氢气的百分含量增加后, 铂丝周围的气体导热系数升高, 铂丝的平衡温度将降低, 电阻值则减少。电阻值可利用不平衡电桥来测得, 如图 2-43 所示。

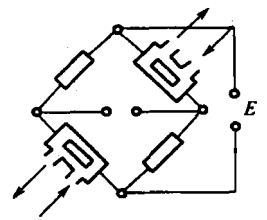


图 2-43 双臂-差比不平衡电桥

这是一个双臂-差比的不平衡电桥, 以补偿电源电压及环境温度变化时对铂丝平衡温度的影响, 并提高测量灵敏度。与待测气体成分比例的桥路输出电压可转换成相应的标准直流电流信号。热导式气体成分检测装置可用于氢气 (H_2)、二氧化碳 (CO_2)、氨 (NH_3)、二氧化硫 (SO_2) 等成分分析。

(2) 磁导式含氧量检测

磁导式含氧量检测是通过测定混合气体的磁化率来推知氧气浓度, 从表 2-7 可以看出, 氧的体积磁化率最高而且是正值, 故它在磁场中会受到吸引力。

表 2-7 气体的体积磁化率

| 气体名称 | O_2 | NO | 空气 | NO_2 | C_2H_4 | C_2H_2 | CH_4 | H_2 | N_2 | CO_2 | 水蒸气 |
|---------------------------------------|-------|-----|-------|--------|----------|----------|--------|--------|-------|--------|-------|
| 体积磁化率 $k \times 10^{-9}$ (C.G.S.M) | +146 | +50 | +30.8 | +9 | +3 | +1 | +1 | -0.164 | -0.58 | -0.84 | -0.58 |

图 2-44 是热磁式含氧量分析的工作原理图, 混合气体通过环室, 在无氧组分时, 水平通道中将无气体流动, 铂丝 r_1 和 r_2 的温度及阻值相等, 桥路输出为零; 当混合气体中含有氧组分时, 由于恒定的不均匀磁场的作用, 则有气流通过水平通道, 这股气流称为磁风, 磁风将铂加热丝冷却, 使它的电阻值降低, 含氧量越高, 气流速度越大, 磁风也越大, 铂丝的温度就越低, 阻值也越低, 完成成分-电阻的转换, 电阻的变化使不平衡电桥输出相应的电压, 经转换后获得标准直流电流信号。

(3) 红外线气体成分检测

凡是不对称结构的双原子和多原子气体分子, 都能在某些波长范围内吸收红外线, 并且都具有各自的特征吸收波长。因此, 测量气体的浓度就是要测量被气体吸收掉的红外线能量 ΔE 。但是直接测量 ΔE 是很麻烦的, 所以红外线气体成分检测也是采用间接测量方法。例如光声式检测器 (又称薄膜电容器或微音器), 它将一恒定的红外线能量与被气体吸收后的红外

线能量进行比较, 得出能量差 ΔE , 继而把 ΔE 变为电容的变化, 最后把电容调制成低频电信号, 再经过放大、整流, 用电流显示出待测气体浓度。见图 2-45。

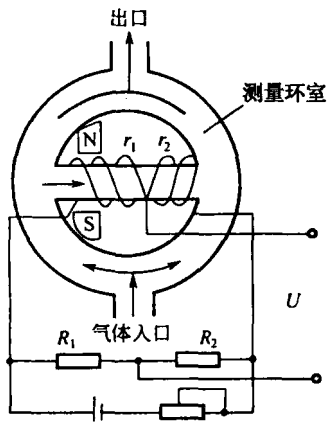


图 2-44 热磁式含氧量分析原理图

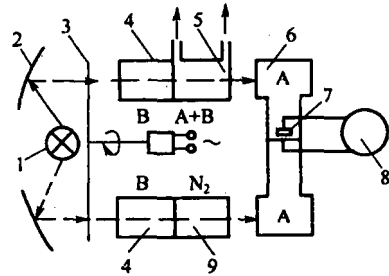


图 2-45 红外线气体成分检测原理图

1—红外光源；2—反射镜；3—由马达带动的切光片，将红外光先调制成脉动光，作为红外工作光；4—过滤气室；5—测量气室；6—吸收气室，内充有纯的被分析组分气体；7—薄膜式电容敏感元件的电量检测室；8—电测仪表；9—参比气室；A—待分析组分；B—干扰组分；N₂—氮气，它不吸收 1~25 μm 范围内的红外辐射能

红外线气体成分检测可以用来测量 CO, CO₂, CH₄, NH₃, C₂H₅OH 及水蒸气的含量, 有常量和微量两种分析。例如可分析 0~100% CO, CO₂ 及 0~50cm³/m³ (ppm) 的 CO, CO₂。

(4) 电导式浓度检测

电导式浓度检测是利用测量电解质溶液的电导率来推知待测组分的浓度。待分析的介质可以是液体, 也可以是气体。例如合成氨中微量 CO, CO₂ 的测量就是气体介质, 当 CO₂ 通过 NaOH 电解质溶液时, 反应生成 Na₂CO₃, 因此溶液的电导率降低。CO₂ 含量越高, 电导率降低也越多。这样就可以根据溶液的电导率或电阻值来确定 CO₂ 的含量。同样, 通过电桥和转换装置将电阻转换成标准统一电信号。对于 CO 必须先氧化成 CO₂ 后再进行测量。另外, H₂SO₄ 浓度和水中含盐量等液体介质的测定也可采用电导分析法。

(5) 色谱分析

上述的各种成分分析, 每种只能分析一种组分, 而色谱分析是基于各种组分吸附和脱附情况的差异, 可得出一系列色谱峰, 分别反映混合气体中各组分的含量, 它是一种高效、快速的分析方法。其分析过程可以分为三步: 首先, 被分析样品在流动相带动下通过色谱柱, 进行多组分混合物的逐一分离; 然后由热导或氢火焰检测器逐一测定通过的各组分物质含量, 并将其转换成电信号送到记录装置, 得到反映各组分含量的色谱峰谱图, 如图 2-46 所示, 最后对谱图或检测器输出的电信号进行人工或自动的数据处理。



图 2-46 色谱峰谱图

色谱分析能分析的组分极广, 例如可分析 H₂, CH₄, NH₃, N₂, CO₂ 以及烷烃等各种无机及有机化合物的多组分混合物样品。

在采用色谱分析时, 一种形式是在现场采样后将样品送到实验室进行色谱分析, 时间间隔较长; 另一种形式是采用在线仪表, 现场直接采样分析, 输出分析结果, 时间间隔短, 对生产监控有利。

(6) 酸度 (pH) 检测

酸度 (pH) 检测用来测定水溶液的酸碱度 (指水溶液中氢离子的浓度 $[H^+]$, 用 pH 表示)。当 $pH < 7$ 时溶液呈酸性; $pH > 7$ 时溶液呈碱性; $pH = 7$ 时溶液呈中性。因而它是通过测量水溶液中 $[H^+]$ 浓度来推知酸碱度。然而, 直接测量 $[H^+]$ 浓度是困难的, 故通常采用由 $[H^+]$ 浓度不同所引起的电极电位变化的方法来实现酸碱度的测量, 如图 2-47 所示。其测量方法是用一个恒定电位的参比电极 (如甘汞电极) 和测量电极 (如玻璃电极) 组成一原电池, 原电池电动势大小取决于 $[H^+]$ 浓度, 也就是取决于溶液的酸碱度, 电动势也可转换成相应的标准电信号。pH 检测应用极广, 染料、制药、肥皂、食品等行业都需要用它, 在废水处理过程中 pH 检测起着很重要的作用。

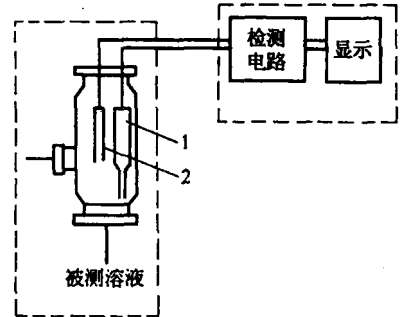


图 2-47 pH 检测示意图

1—甘汞电极; 2—玻璃电极

(7) 湿度检测

检测湿度的湿度计有干湿球湿度计、露点式湿度计、电解式湿度计、电容式湿度计等。这里介绍利用电容量变化来检测湿度的方法。对于一定几何形状的电容器, 其电容量与两极板间介质的介电常数 ϵ 成正比。一般介质的介电常数 ϵ 在 2~5 之间, 而水的介电常数 ϵ 特别大, ϵ 为 81。电容法检测湿度就是基于这点。当介质中含有水分时, 会引起电容量变化, 从而使其振荡器的输出频率发生变化, 频率高低与湿度成正比, 因此检测频率信号就可得知湿度。

(8) 密度检测

检测密度的密度计有浮力式密度计、压力式密度计、重力式密度计、振动式密度计等。这里介绍通过测定振荡管的自由振荡频率来检测密度的方法, 单管型结构工作原理见图 2-48。外管为非导磁性的不锈钢管, 内放有导磁性的薄膜镍合金管作为振动管, 当被测液体自下而上通过振动管内外时, 由于电磁感应, 振动管振动, 且振动频率随被测液体的密度而变化。液体密度增大, 则振动频率下降; 反之, 液体密度减小, 则振动频率上升。经对振动频率检测放大、反馈等处理, 输出相应的 4~20mA 直流电流。

振动式密度计测量精度高, 广泛应用于石油化工过程控制中。

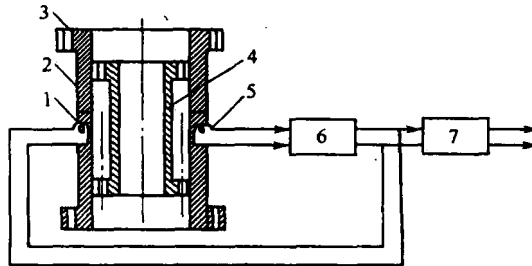


图 2-48 单管振动式密度检测原理图

1—驱动线; 2—外管; 3—法兰孔; 4—振动管;
5—检测线圈; 6—驱动放大器; 7—输出放大器

(9) 水质浊度计

在一定条件下，表面散射光的强度与单位体积内微粒的数量成正比，浊度计就是利用这一原理制成的，如图 2-49 所示。

自光源 1 发出的光经聚光镜 2 以后，以一定的角度射向水面。经水面反射和折射的两路光线均被水箱的黑色侧壁吸收，只有从水表面杂质微粒向上散射的光线才能进入物镜 3。物镜把这些散射光聚到测量光电池 4 上，经光电转换成电压后输出。当水中无微粒时，光电池的输出为零，随着水中微粒的增加，散射光增强，光电池的输出电压与水的浊度成线性关系，因此由光电池的输出电压便可求得水的浊度。分光镜 5

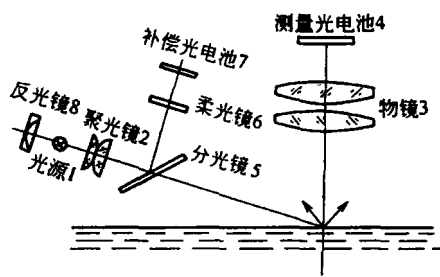


图 2-49 浊度计工作原理图

5 使部分照明光在它表面反射，经柔光镜 6 后射到补偿光电池 7 上，其输出电压作为控制亮度补偿回路的信号。水质浊度计采取局部恒温措施来克服温度对光电池的影响。反光镜 8 用以提高光源的利用率。此外还可采用双光束比较法对深色液体进行色补偿以及采用逆散反射原理进行测量。

浊度计主要特点是：光学系统设计时充分利用表面散射光的能量，杂光干扰小；为提高仪器性能设有亮度补偿和恒温装置；可直接指示浊度并输出标准信号；水样进测量系统前，先经过稳流和脱泡装置，以减少干扰，并有快速落水阀，便于水箱内沉积物的排出，清洗方便；仪器配有零浊度水过滤器和标准散射板，检查校正方便；进水量每分钟 2~5L。

(10) 溶解氧分析仪

溶解氧分析仪是一种电化学分析仪，目前国内产品有两种，极谱式溶解氧分析仪和溶解氧分析仪

①极谱式溶解氧分析仪 测量元件是一隔膜式极谱池，由浸在电解液中的铂阴极、银阳极和外包聚四氟乙烯的渗透隔膜组成。当两极间加上一定的极化电压时，溶解氧经过极谱池透过薄膜到达阴极时，两极上发生氧化还原反应，产生与氧含量大小成正比的扩散电流，测出此电流并加以放大，就可得出溶解氧的多少。同时气体透过薄膜的扩散速度随温度的上升而增加，电流也随之增大而造成误差，因此在电极体内封装了一个热敏电阻，利用热敏电阻随温度变化的关系曲线和氧扩散电流随温度变化的关系曲线相似这一特点进行补偿。极谱式溶解氧分析仪有传感和显示两部分，结构简单，使用方便，反应快，被测水温允许范围 5~35℃，被测水压力为常压，有两个热敏电阻用作温度补偿。极谱式溶解氧分析仪主要用于水质分析、污水处理及水产养殖等部门测量水中溶解氧的浓度。

②溶解氧分析仪 电化学式溶解氧分析仪的工作原理是首先把电解池产生的氢气用燃烧法除去所含的微量氧，净化后的氢气通过一个装置与被测水样充分混合。此时水中的溶解氧气被氢气转换，经水气分离后，成为以纯净氢气为主体并含有被置换出来需要测量的氧的混合气体。此混合气被引入由黄金丝和镀铂黑的铂丝所组成的电极，此分析电极对氧量的变化极为敏感，氢和氧在电极表面产生电化学反应，在正常情况下，电极反应电流的大小与溶解氧的含量有关，如图 2-50 所示。

电化学式溶解氧分析仪的主要特点是：不受水样电导度、pH 值、温度和机械杂质的影