

压力是工业生产中的重要参数之一。特别是在化工、炼油、天然气的处理与加工生产过程中,压力既影响物料平衡,又影响化学反应速率。所以必须严格遵守工艺操作规程,这就需要检查或控制其压力,以保证工艺过程的正常进行。

例如高压聚乙烯要在 150MPa 的高压下聚合,氢气和氮气合成氨气时,要在 15MPa 的高压下进行反应,而炼油厂的减压蒸馏,则要求在比大气压力低很多的真空中进行。如果压力不符合要求,不仅会影响生产效率,降低产品质量,有时还会造成严重的生产事故,此外,测出压力或差压,也可以确定物位或流量。



视频讲解

5.1 压力及压力检测方法

本节介绍压力的定义、压力的单位及压力的检测方法。

5.1.1 压力的定义及单位

1. 压力的定义

压力是指垂直、均匀地作用于单位面积上的力。

压力通常用 P 表示,单位力作用在单位面积上,为一个压力单位。

$$P = \frac{F}{A} \quad (5-1)$$

式中, P ——压力;

F ——垂直作用力;

A ——受力面积。

2. 压力的单位

在工程上衡量压力的单位有如下几种。

1) 工程大气压

1 公斤力垂直而均匀地作用在 1 平方厘米的面积上所产生的压力,以公斤力/厘米²表示,记作 kgf/cm²。是工业上使用过的单位。

2) 毫米汞柱(mmHg),毫米水柱(mmH₂O)

1 平方厘米的面积上分别由 1 毫米汞柱或 1 毫米水柱的重量所产生的压力。

3) 标准大气压

由于大气压随地点不同,变化很大,所以国际上规定水银密度为 13.5951g/cm³、重力加速度

为 980.665cm/s² 时,高度为 760mm 的汞柱,作用在 1cm² 的面积上所产生的压力为标准大气压。

4) 国际单位(SI)制压力单位帕(Pa)

1 牛顿力垂直均匀地作用在 1 平方米面积上所形成的压力为 1“帕斯卡”,简称“帕”,符号为 Pa。加上词头又有千帕(kPa)、兆帕(MPa)等。为我国自 1986 年 7 月 1 日开始执行的计量法规定采用的压力单位。表 5-1 给出了各压力单位之间的换算关系。

表 5-1 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	1.019716×10 ⁻⁵	0.9869236×10 ⁻⁵	1.019716×10 ⁻¹	0.75006×10 ⁻²	1.450442×10 ⁻⁴
巴(bar)	1×10 ⁵	1	1.019716	0.9869236	1.019716×10 ⁴	0.75006×10 ³	1.450442×10
工程大气压 (kgf/cm ²)	0.980665×10 ⁵	0.980665	1	0.96784	1×10 ⁴	0.73556×10 ³	1.4224×10
标准大气压 (atm)	1.01325×10 ⁵	1.01325	1.03323	1	1.03323×10 ⁴	0.76×10 ³	1.4696×10
毫米水柱 (mmH ₂ O)	0.980665×10	0.980665×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴	0.96784×10 ⁻⁴	1	0.73556×10 ⁻¹	1.4224×10 ⁻³
毫米汞柱 (mmHg)	1.333224×10 ²	1.333224×10 ⁻³	1.35951×10 ⁻³	1.3158×10 ⁻³	1.35951×10	1	1.9338×10 ⁻²
磅力/平方英寸 (lbf/in ²)	0.68949×10 ⁴	0.68949×10 ⁻¹	0.70307×10 ⁻¹	0.6805×10 ⁻¹	0.70307×10 ³	0.51715×10 ²	1

5.1.2 压力的表示方法

在工程上,压力有几种不同的表示方法,并且有相应的测量仪表。

1. 绝对压力

被测介质作用在容器表面积上的全部压力称为绝对压力,用符号 $p_{绝}$ 表示。

2. 大气压力

由地球表面空气柱重量形成的压力,称为大气压力。

它随地理纬度、海拔高度及气象条件而变化,其值用气压计测定,用符号 $p_{大气压}$ 表示。

3. 表压力

通常压力测量仪器是处于大气之中,则其测量的压力值等于绝对压力和大气压力之差,称为表压力,用符号 $p_{表}$ 表示。

$$p_{表} = p_{绝} - p_{大气压} \tag{5-2}$$

一般地说,常用压力测量仪表测得的压力值均是表压力。

4. 真空度

当绝对压力小于大气压力时,表压力为负值(负压力),其绝对值称为真空度,用符号 $p_{真}$ 表示。

$$p_{真} = p_{大气压} - p_{绝} \tag{5-3}$$

用来测量真空度的仪器称为真空表。

5. 差压

设备中两处的压力之差称为差压。

生产过程中有时直接以差压作为工艺参数。差压的测量还可作为流量和物位测量的间接手段。

这几种表示方法的关系如图 5-1 所示。

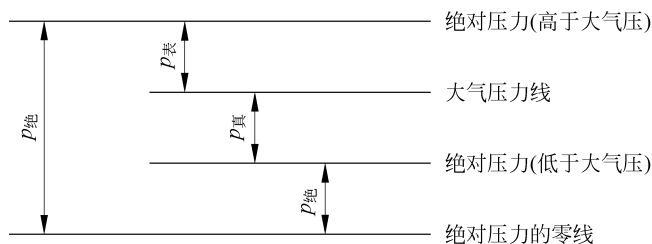


图 5-1 各种压力表示法之间的关系

5.1.3 压力检测的主要方法及分类

根据不同工作原理,压力检测方法 & 分类主要有如下几种。

1. 重力平衡方法

基于重力平衡方法的压力计分为如下几种。

1) 液柱式压力计

基于液体静力学原理。被测压力与一定高度的工作液体产生的重力相平衡,将被测压力转换为液柱高度来测量,其典型仪表是 U 形管压力计。

2) 负荷式压力计

基于重力平衡原理。其主要形式为活塞式压力计。

2. 弹性力平衡方法

这种方法利用弹性元件的弹性变形特性进行测量,被测压力使弹性元件产生变形,因弹性变形而产生的弹性力与被测压力相平衡,测量弹性元件的变形大小可知被测压力。

3. 机械力平衡方法

这种方法是将被测压力经变换单元转换成一个集中力,用外力与之平衡,通过测量平衡时的外力可以测知被测压力。

4. 物性测量方法

在压力的作用下,测压元件的某些物理特性会发生变化。

1) 电测式压力计

利用测压元件的压阻、压电等特性或其他物理特性,将被测压力直接转换为各种电量来测量。多种电测式类型的压力传感器,可以适用于不同的测量场合。

2) 其他新型压力计

如集成式压力计、光纤压力计。

5.2 常用压力检测仪表

压力检测仪表有很多,这里仅介绍液柱式压力计、活塞式压力计、弹性式压力计及常用的压力传感器。

5.2.1 液柱式压力计

这种压力计一般采用水银或水为工作液,用 U 形管、单管或斜管进行压力测量,常用于



视频讲解

低压、负压或压力差的检测。

1. U形管压力计

如图 5-2 是用 U 形玻璃管检测的原理图。它的两个管口分别接压力 p_1 和 p_2 。当 $p_1 = p_2$ 时,左右两管的液体的高度相等,如图 5-2(a)所示。当 $p_2 > p_1$ 时,U 形管的两管内的液面便会产生高度差,如图 5-2(b)所示。根据液体静力学原理,有

$$p_2 = p_1 + \rho h g \quad (5-4)$$

式中, ρ ——U 形管内所充工作液的密度;

g ——U 形管所在地的重力加速度;

h ——U 形管左右两管的液面高度差。

式(5-4)可改写为

$$h = \frac{1}{\rho g} (p_2 - p_1) \quad (5-5)$$

这说明 U 形管内两边液面的高度差 h 与两管口的被测压力之差成正比。如果将 p_1 管通大气,即 $p_1 = p_{\text{大气压}}$,则

$$h = \frac{p}{\rho g} \quad (5-6)$$

式中, $p = p_2 - p_{\text{大气压}}$,为 p_2 的表压。

由此可见,用 U 形管可以检测两被测压力之间的差值(称差压),或检测某个表压。

由式(5-6)可知,若提高 U 形管工作液的密度 ρ ,则在相同的压力作用下, h 值将下降。因此,提高工作液密度将增加压力的测量范围,但灵敏度下降。

用 U 形管进行压力检测具有结构简单、读数直观、准确度较高、价格低廉等优点,它不仅能测表压、差压,还能测负压,是科学实验研究中常用的压力检测工具。但是,用 U 形管只能测量较低的压力或差压(不可能将 U 形管做得很长),测量上限不超过 0.1~0.2MPa,为了便于读数,U 形管一般是用玻璃做成,因此易破损,同时也不能用于静压较高的差压检测,另外它只能进行现场指示。

2. 单管压力计

U 形管压力计的标尺分格值是 1mm,每次读数的最大误差为分格值的一半,而在测量时需要从左、右两边的玻璃管分别读数,所以可能产生的读数误差为 $\pm 1\text{mm}$ 。为了减小读

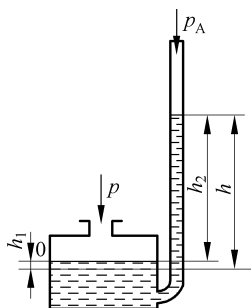


图 5-3 单管压力计示意图

数误差和进行 1 次读数,可以采用单管压力计。

单管压力计如图 5-3 所示,它相当于将 U 形管的一端换成一个大直径的容器,测压原理仍与 U 形管相同。当大容器一侧通入被测压力 p ,管一侧通入大气压 p_A 时,满足下列关系

$$p = (h_1 + h_2) \rho g \quad (5-7)$$

式中, h_1 ——大容器中工作液下降的高度;

h_2 ——玻璃管中工作液上升的高度。

在压力 p 的作用下,大容器内工作液下降的体积等于管

内工作液上升的体积,即

$$h_1 A_1 = h_2 A_2 \quad (5-8)$$

$$h_1 = \frac{A_2}{A_1} h_2 = \frac{d^2}{D^2} h_2 \quad (5-9)$$

式中, A_1 ——大容器截面;

A_2 ——玻璃管截面;

d ——玻璃管直径;

D ——大容器直径。

将式(5-9)代入式(5-7),得

$$p = \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right) h_2 \rho g \quad (5-10)$$

由于 $D \gg d$, 故 $\frac{d^2}{D^2}$ 可忽略不计, 则式(5-10)可写成

$$p = h_2 \rho g \quad (5-11)$$

此式与式(5-6)类似, 当工作液密度 ρ 一定时, 则管内工作液上升的高度 h_2 即可表示被测压力(表压)的大小, 即只需 1 次读数便可以得到测量结果。因而读数误差比 U 形管压力计小一半, 即 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 。

3. 斜管压力计

用 U 形管或单管压力计来测量微小的压力时, 因为液柱高度变化很小, 读数困难, 为了提高灵敏度, 减小误差, 可将单管压力计的玻璃管制成斜管, 如图 5-4 所示。

大容器通入被测压力 p , 斜管通入大气压力 p_A , 则 p 与液柱之间的关系仍然与式(5-7)相同, 即

$$p = (h_1 + h_2) \rho g$$

因为大容器的直径 D 远大于玻璃管的直径 d , 则 $h_1 + h_2 \approx h_2 = L \sin \alpha$, 代入上式后可得

$$p = L \rho g \sin \alpha \quad (5-12)$$

式中, L ——斜管内液柱的长度;

α ——斜管倾斜角。

由于 $L > h_2$, 所以说斜管压力计比单管压力计更灵敏。改变斜管的倾斜角度 α , 可以改变斜管压力计的测量范围。斜管压力计的测量范围一般为 $0 \sim 2000 \text{ Pa}$ 。

要求精确测量时, 要考虑容器内液面下降的高度 h_1 , 这时

$$p = (h_1 + h_2) \rho g = \left(L \sin \alpha + L \frac{A_2}{A_1}\right) \rho g = L \left(\sin \alpha + \frac{d^2}{D^2}\right) \rho g = KL \quad (5-13)$$

式中, K 为系数, $K = \left(\sin \alpha + \frac{d^2}{D^2}\right) \rho g$ 。

当工作液密度及斜管结构尺寸一定时, K 为常数, 读出 L 数值与系数 K 相乘, 便可以得到要测量的压力 p 。

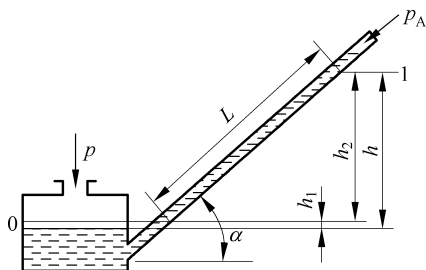


图 5-4 倾斜式压力计示意图

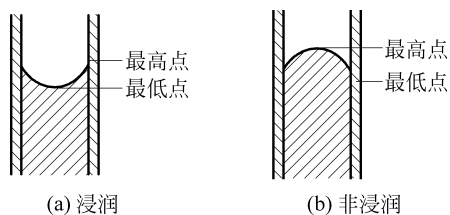


图 5-5 液面的弯月现象

在使用液柱式测压法进行压力测量时,由于毛细管和液体表面张力的作用,会引起玻璃管内的液面呈弯月状,如图 5-5 所示。如果工作液对管壁是浸润的(水),则在管内成下凹的曲面,读数时要读凹面的最低点;如果工作液对管壁是非浸润的(水银),则在管内成上凸的曲面,读数时要读凸面的最高点。

5.2.2 活塞式压力计

活塞式压力计是一种精度很高的标准器,常用于校验标准压力表及普通压力表。其结构如图 5-6 所示,它由压力发生部分和压力测量部分组成。

1. 压力发生部分

螺旋压力发生器 4,通过手轮 7 旋转丝杠 8,推动工作活塞 9 挤压工作液,经工作液传压给测量活塞 1。工作液一般采用洁净的变压器油或蓖麻油等。

2. 压力测量部分

测量活塞 1 上端的托盘上放有砝码 2,活塞 1 插入在活塞柱 3 内,下端承受螺旋压力发生器 4 向左挤压工作液 5 所产生的压力 P 的作用。当活塞 1 下端因压力 P 作用所产生向上顶的力与活塞 1 本身和托盘以及砝码 2 的重量相等时,活塞 1 将被顶起而稳定在活塞柱 3 内的任一平衡位置上,这时的力平衡关系为

$$pA = W + W_0 \quad (5-14)$$

$$p = \frac{1}{A}(W + W_0) \quad (5-15)$$

式中, A ——测量活塞 1 的截面积;

W ——砝码的重量;

W_0 ——测量活塞(包括托盘)的重量;

p ——被测压力。

一般取 $A = 1\text{cm}^2$ 或 0.1cm^2 。因此可以方便而准确地由平衡时所加的砝码和活塞本身的质量得到被测压力 p 的数值。如果把被校压力表 6 上的示值 p' 与这一准确的压力 p 相比较,便可知道被校压力表的误差大小;也可以在 b 阀上部接入标准压力表,由压力发生器改变工作液压力,比较被校表和标准表上的示值进行校验,此时, a 阀应关闭。还可以同时校验两台压力表。测量范围为 $0.04 \sim 2500\text{MPa}$,精度达 $\pm 0.01\%$ 。可测正压、负压、绝对压力。主要用于压力表的校验。

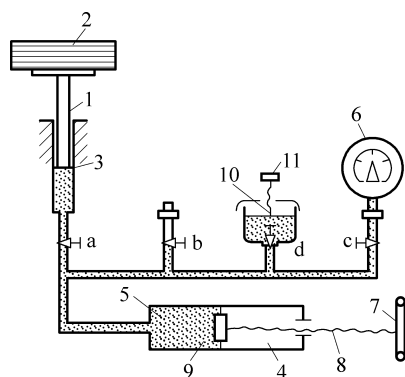


图 5-6 活塞式压力计示意图

a, b, c, d —切断阀; 1—测量活塞; 2—砝码;
3—活塞柱; 4—螺旋压力发生器; 5—工作液;
6—压力表; 7—手轮; 8—丝杠; 9—工作活塞;
10—油杯; 11—进油阀



视频讲解

5.2.3 弹性式压力计

弹性式压力检测是用弹性元件作为压力敏感元件把压力转换成弹性元件位移的一种检测方法。

1. 测压弹性元件

弹性元件在弹性限度内受压后会产生形变,变形的大小与被测压力成正比关系。如图 5-7 所示,目前工业上常用的测压用弹性元件主要是弹性膜片、波纹管 and 弹簧管等。

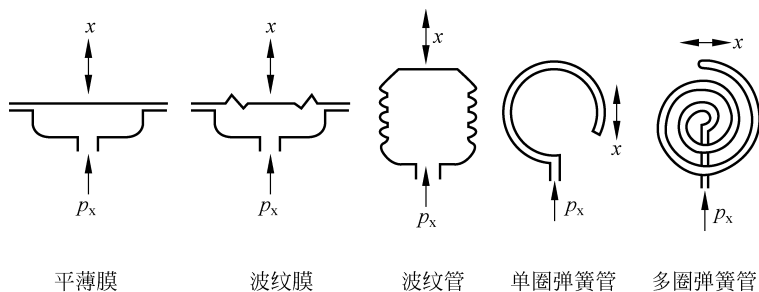


图 5-7 弹性元件示意图

1) 弹性膜片

膜片是一种沿外缘固定的片状圆形薄板或薄膜,按剖面形状分为平薄膜片和波纹膜片。波纹膜片是一种压有环状同心波纹的圆形薄膜,其波纹数量、形状、尺寸和分布情况与压力的测量范围及线性度有关。有时也可以将两块膜片沿周边对焊起来,形成一个薄膜盒子,两膜片之间内充液体(如硅油),称为膜盒。

当膜片两边压力不等时,膜片就会发生形变,产生位移,当膜片位移很小时,它们之间具有良好的线性关系,这就是利用膜片进行压力检测的基本原理。膜片受压力作用产生的位移,可直接带动传动机构指示。但是,由于膜片的位移较小,灵敏度低,指示精度也不高,一般为 2.5 级。在更多的情况下,都是把膜片和其他转换环节合起来使用,通过膜片和转换环节把压力转换成电信号,例如,膜盒式压力变送器、电容式压力变送器等。

2) 波纹管

波纹管是一种具有同轴环状波纹,能沿轴向伸缩的测压弹性元件。当它受到轴向力作用时能产生较大的伸长收缩位移,通常在其顶端安装传动机构,带动指针直接读数。波纹管的特点是灵敏度高(特别是在低区),适合检测低压信号($\leq 10^6$ 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(中心角 θ 通常为 270°)。其横截面积呈非圆形(椭圆或扁圆形)。弹簧管一端是开口的,另一端是封闭的,如图 5-8 所示。开口端作为固定端,被测压力从开口端接入到弹簧管内腔;封闭端作为自由端,可以自由移动。

当被测压力从弹簧管的固定端输入时,由于弹簧管的非圆横截面,使它有变成圆形并伴有伸直的趋势,使自由端产生位移并改变中心角 $\Delta\theta$ 。由于

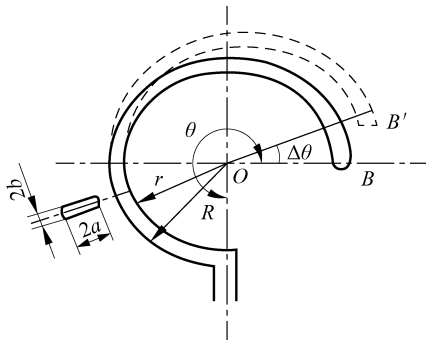


图 5-8 单圈弹簧管结构示意图

输入压力 p 与弹簧管自由端的位移成正比,所以只要测得自由端的位移量就能够反映压力 p 的大小,这就是弹簧管的测压原理。

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,二者的测压原理是相同的。弹簧管常用的材料有锡青铜、磷青铜、合金钢、不锈钢等,适用于不同的压力测量范围和测量介质。

2. 弹簧管压力表

弹簧管压力可以通过传动机构直接指示被测压力,也可以用适当的转换元件把弹簧管自由端的位移转换成电信号输出。

弹簧管压力表是一种指示型仪表,如图 5-9 所示。被测压力由接头 9 输入,使弹簧管 1 的自由端产生位移,通过拉杆 2 使扇形齿轮 3 作逆时针偏转,于是指针 5 通过同轴的中心齿轮 4 的带动而作顺时针偏转,在面板 6 的刻度标尺上显示出被测压力的数值。游丝 7 是用来克服因扇形齿轮和中心齿轮的间隙所产生的仪表变差。改变调节螺钉 8 的位置(即改变机械传动的放大系数),可以实现压力表的量程调节。

弹簧管压力表结构简单、使用方便、价格低廉、测量范围宽,因此应用十分广泛。可测负压、微压、低压、中压和高压(可达 1000MPa),测量范围为 $-10^5 \sim 10^9$ Pa。精度高达 0.1 级 ($\pm 0.1\%$)。一般的工业用弹簧管压力表的精度等级为 1.5 级或 2.5 级。

在化工生产过程中,常常需要把压力控制在某一范围内,即当压力低于或高于给定范围时,就会破坏正常工艺条件,甚至可能发生危险。这时就应采用带有报警或控制触点的压力表。将普通弹簧管压力表稍加变化,便可成为电接点信号压力表,它能在压力偏离给定范围时,及时发出信号,以提醒操作人员注意或通过中间继电器实现压力的自动控制。

图 5-10 是电接点信号压力表的结构和工作原理示意图。压力表指针上有动触点 2,表盘上另有两根可调节的指针,上面分别有静触点 1 和 4。当压力超过上限给定数值(此数值由静触点 4 的指针位置确定)时,动触点 2 和静触点 4 接触,红色信号灯 5 的电路被接通,

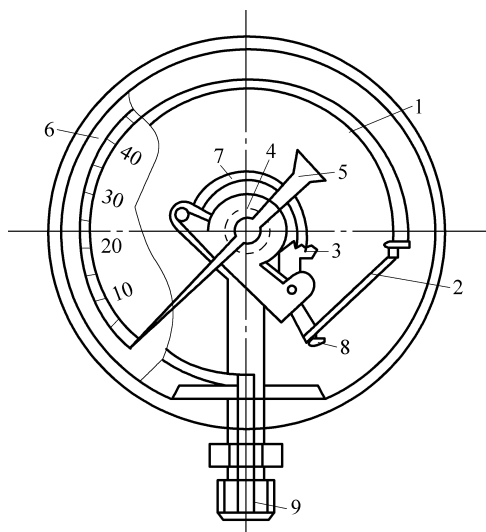


图 5-9 弹簧管压力表示意图

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

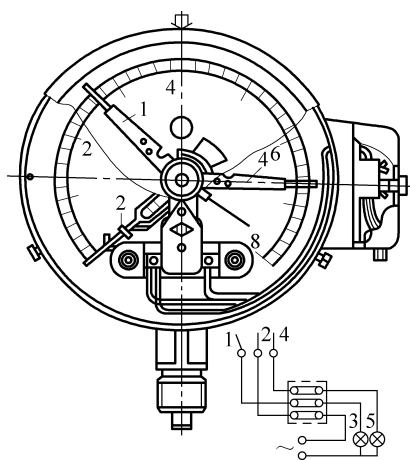


图 5-10 电接点信号压力表示意图

1,4—静触点；2—动触点；3—绿色信号灯；5—红色信号灯

使红色灯发亮。当压力超过下限给定数值时,动触点 2 和静触点 1 接触,绿色信号灯 3 的电路被接通,使绿色灯发亮。静触点 1 和静触点 4 的位置可根据需要灵活调节。

3. 波纹管差压计

采用膜片、膜盒、波纹管等弹性元件可以制成差压计。图 5-11 给出双波纹管差压计结构示意图,双波纹管差压计是一种应用较多的直读式仪表,其测量机构包括波纹管、量程弹簧组和扭力管组件等。仪表两侧的高压波纹管和低压波纹管为测量主体,感受引入的差压信号,两个波纹管由连杆连接,内部填充液体用来传递压力。差压信号引入后,低压波纹管自由端带动连杆位移,连杆上的挡板推动摆杆使扭力管机构偏转,扭力管芯轴的扭转角度变化,扭转角变化传送给仪表的显示机构,可以给出相对应的被测差压值。量程弹簧的弹性力和波纹管的弹性变形力与被测差压的作用力相平衡,改变量程弹簧的弹性力大小可以调整仪表的量程。高压波纹管与补偿波纹管相连,用来补偿填充液因温度变化而产生的体积膨胀。

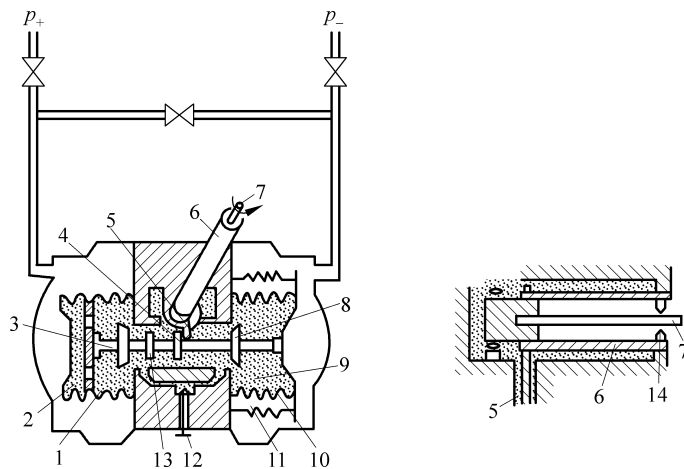


图 5-11 双波纹管差压计结构示意图

- 1—高压波纹管; 2—补偿波纹管; 3—连杆; 4—挡板; 5—摆杆; 6—扭力管; 7—芯轴;
8—保护阀; 9—填充液; 10—低压波纹管; 11—量程弹簧; 12—阻尼阀; 13—阻尼环; 14—轴承

差压计使用时要注意的问题是,仪表所引入的差压信号中包含有测点处的工作压力,又称背景压力。所以尽管需要测量的差压值并不很高,但是差压计要经受较高的工作压力,因此在差压计使用中要避免单侧压力过载。一般差压计要装配平衡附件。例如如图 5-11 所示的三个阀门的组合,在两个截止阀间安装一个平衡阀,平衡阀只在差压计测量时关闭,不工作期间则打开,用来平衡正负压侧的压力,以避免单向过载。新型差压计的结构均已考虑到单向过载保护功能。

波纹管差压计可测差压,也可测压力,测量范围小,一般为 $0 \sim 0.4 \text{ MPa}$ 。精度为 1.5~2.5 级。

4. 弹性测压计信号的远传方式

弹性测压计可以在现场指示,但是更多情况下要求将信号远传至控制室。一般在已有的弹性测压计结构上增加转换部件,就可以实现信号的远距离传送。弹性测压计信号多采用电远传方式,即把弹性元件的变形或位移转换为电信号输出。常见的转换方式有电位器式、霍尔元件式、电感式、差动变压器式等。

图 5-12 为电位器式电远传弹性压力计结构原理。在弹性元件的自由端处安装滑线电位器,滑线电位器的滑动触点与自由端连接并随之移动,自由端的位移就转换为电位器的电信号输出。这种远传方法比较简单,可以有很好的线性输出,但是滑线电位器的结构可靠性较差。

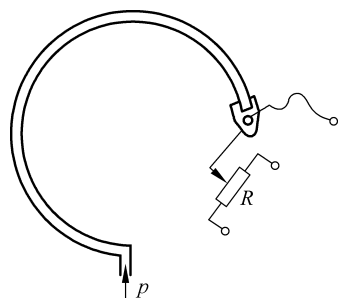


图 5-12 电位器式电远传压力计结构原理图

图 5-13 为霍尔元件式电远传弹性压力计结构原理。霍尔片式压力传感器是根据霍尔效应制成的,即利用霍尔元件将由压力所引起的弹性元件的位移转换成霍尔电势,从而实现压力的测量。

霍尔片为一半导体(如锗)材料制成的薄片。如图 5-14 所示,在霍尔片的 Z 轴方向加一磁感应强度为 B 的恒定磁场,在 Y 轴方向加一外电场(接入直流稳压电源),便有恒定电流沿 Y 轴方向通过。电子在霍尔片中运动(电子逆 Y 轴方向运动)时,由于受电磁力的作用,而使电子的运动轨道发生偏移,造成霍尔片的一个端面上正电荷过剩,于是在霍尔片的 X 轴方向上出现电位差,这一电位差称为霍尔电势,这样一种物理现象就称为“霍尔效应”。

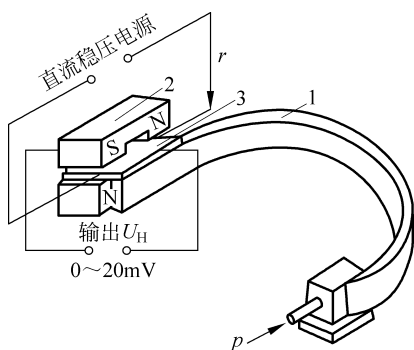


图 5-13 霍尔片式电远传压力计结构原理图

1—弹簧管; 2—磁钢; 3—霍尔片

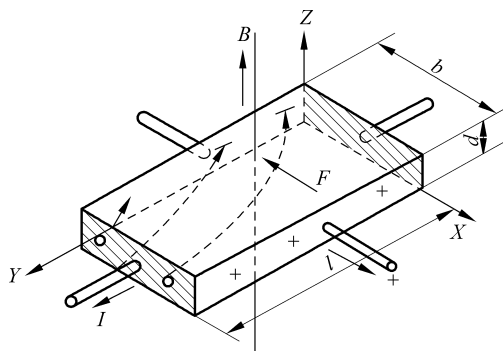


图 5-14 霍尔效应示意图

霍尔电势的大小与半导体材料、所通过的电流(一般称为控制电流)、磁感应强度以及霍尔片的几何尺寸等因素有关,可用下式表示

$$U_H = R_H B I \quad (5-16)$$

式中, U_H ——霍尔电势;

R_H ——霍尔常数,与霍尔片材料、几何形状有关;

B ——磁感应强度;

I ——控制电流的大小。

由式(5-16)可知,霍尔电势与磁感应强度和电流成正比。提高 B 和 I 值可增大霍尔电势 U_H ,但两者都有一定限度,一般 I 为 $3\sim 30\text{mA}$, B 约为几千高斯,所得的霍尔电势 U_H 约为几十毫伏数量级。必须指出,导体也有霍尔效应,不过它们的霍尔电势远比半导体的霍尔电势小。

如果选定了霍尔元件,并使电流保持恒定,则在非均匀磁场中,霍尔元件所处的位置不同,所受到的磁感应强度也将不同,这样就可得到与位移成比例的霍尔电势,实现位移-电势

的线性转换。

将霍尔元件与弹簧管配合,就组成了霍尔片式电远传弹性压力计,如图 5-13 所示。

被测压力由弹簧管 1 的固定端引入,弹簧管的自由端与霍尔片 3 相连接,在霍尔片的上、下方垂直安放两对磁极,使霍尔片处于两对磁极形成的非均匀磁场中。霍尔片的四个端面引出四根导线,其中与磁钢 2 相平行的两根导线和直流稳压电源相连接,另两根导线用来输出信号。

当被测压力引入后,在被测压力作用下,弹簧管自由端产生位移,因而改变了霍尔片在非均匀磁场中的位置,使所产生的霍尔电势与被测压力成比例。利用这一电势即可实现远距离显示和自动控制。这种仪表结构简单,灵敏度高,寿命长;但对外部磁场敏感,耐振性差。其测量精确度可达 0.5%,仪表测量范围 0~0.00025MPa 至 0~60MPa。



视频讲解

5.2.4 压力传感器

能够检测压力值并提供远传信号的装置统称为压力传感器。

压力传感器是压力检测仪表的重要组成部分,它可以满足自动化系统集中检测与控制的要求,在工业生产中得到广泛应用。压力传感器的结构形式多种多样,常见的形式有应变式、压阻式、电容式、压电式、振频式压力传感器等。此外还有光电式、光纤式、超声式压力传感器。以下介绍几种常用的压力传感器。

1. 应变式压力传感器

各种应变元件与弹性元件配用,组成应变式压力传感器。应变元件的工作原理是基于导体和半导体的“应变效应”的,即由金属导体或者半导体材料制成的电阻体,当它受到外力作用产生形变(伸长或者缩短)时,应变片的阻值也将发生相应的变化。在应变片的测量范围内,其阻值的相对变化量与应变有以下关系

$$\frac{\Delta R}{R} = K\epsilon \quad (5-17)$$

式中, ϵ ——材料的应变系数;

K ——材料的电阻应变系数,金属材料的 K 值为 2~6,半导体材料的 K 值为 60~180。

为了使应变元件能在受压时产生变形,应变元件一般要与弹性元件一起使用,弹性元件可以是金属膜片、膜盒、弹簧管及其他弹性体;敏感元件(应变片)有金属或合金丝、箔等,可做成丝状、片状或体状。它们可以以粘贴或非粘贴的形式连接在一起,在弹性元件受压变形的同时带动应变片也发生形变,其阻值也发生变化。粘贴式压力计通常采用四个特性相同的应变元件,粘贴在弹性元件的适当位置上,并分别接入电桥的四个臂,则电桥输出信号可以反映被测压力的大小。为了提高测量灵敏度,通常使相对桥臂的两对应应变元件分别位于接受拉应力或压应力的位置上。

应变式压力传感器的测量电路采用电桥电路,如图 5-15 所示。

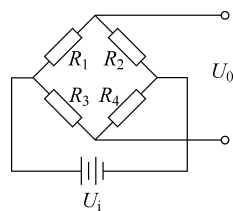


图 5-15 直流电桥

$$U_0 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) U_i = U_i \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (5-18)$$

当不受压力时, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, $U_0 = 0$ 。

当受压,并且相应电阻变化 ΔR_i 时,

$$U_0 = U_i \frac{R(\Delta R_1 - \Delta R_2 - \Delta R_3 + \Delta R_4) + \Delta R_1 \Delta R_4 - \Delta R_2 \Delta R_3}{(2R + \Delta R_1 + \Delta R_2)(2R + \Delta R_3 + \Delta R_4)} \quad (5-19)$$

当 $R \gg \Delta R_i$ 时,

$$U_0 = \frac{U_i}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_2}{R} - \frac{\Delta R_3}{R} + \frac{\Delta R_4}{R} \right) = \frac{U_i}{4} K (\epsilon_1 - \epsilon_2 - \epsilon_3 + \epsilon_4) \quad (5-20)$$

如图 5-16 所示,待测压力 p 作用在膜片的下方,应变片贴在膜片的上表面。当膜片受压力作用变形向上凸起时,膜片上的应变

$$\epsilon_r = \frac{3p}{8h^2 E} (1 - \mu^2) (R^2 - 3r^2) \quad (\text{径向}) \quad (5-21)$$

$$\epsilon_t = \frac{3p}{8h^2 E} (1 - \mu^2) (R^2 - r^2) \quad (\text{轴向}) \quad (5-22)$$

式中, p ——待测压力;

h ——膜片厚度;

R ——膜片半径;

E ——膜片材料弹性模量;

μ ——膜片材料泊松比。

$r=0$ 时, ϵ_r 和 ϵ_t 达到正最大值。

$$\epsilon_{r\max} = \epsilon_{t\max} = \frac{3pR^2}{8h^2 E} (1 - \mu^2) \quad (5-23)$$

$r=r_c=R/\sqrt{3} \approx 0.58R$ 时, $\epsilon_r=0$;

$r>0.58R$ 时, $\epsilon_r<0$;

$r=R$ 时, $\epsilon_t=0$, ϵ_r 达到负的最大值。

$$\epsilon_r = -\frac{3pR^2}{4h^2 E} (1 - \mu^2) \quad (5-24)$$

如图 5-16 所示,使粘贴在 $r>r_c$ 区域的径向应变片 R_1 、 R_4 感受的应变与粘贴在 $r<r_c$ 内的切向应变片 R_2 、 R_3 感受的应变大小相等,它们的极性相反,则电桥输出信号反映了被测压力的大小。

应变式压力检测仪表具有较大的测量范围,被测压力可达几百兆帕,并具有良好的动态性能,适用于快速变化的压力测量。尽管测量电桥具有一定的温度补偿作用,应变片压力检测仪表仍有比较明显的温漂和时漂,因此,这种压力检测仪表较多地用于一般要求的动态压力检测,测量精度一般为 $0.5\% \sim 1.0\%$ 。

2. 压阻式压力传感器

压阻式压力传感器是根据压阻效应原理制造的,其压力敏感元件就是在半导体材料的基片上利用集成电路工艺制成的扩散电阻,当它受到外力作用时,扩散电阻的阻值由于电阻率的变化而改变,扩散电阻一般也要依附于弹性元件才能正常工作。

用作压阻式传感器的基片材料主要为硅片和锗片,由于单晶硅材料纯、功耗小、滞后和蠕变极小、机械稳定性好,而

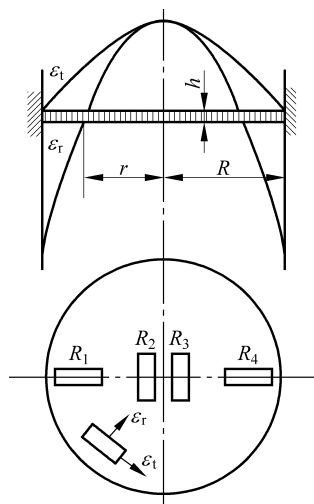


图 5-16 应变式压力传感器示意图

且传感器的制造工艺和硅集成电路工艺有很好的兼容性,以扩散硅压阻传感器作为检测元件的压力检测仪表得到了广泛应用。

如图 5-17 所示为压阻式压力传感器的结构示意图。它的核心部分是一块圆形的单晶硅膜片,膜片上用离子注入和激光修正方法布置有四个阻值相等的扩散电阻,如图 5-17(b)所示,组成一个全桥测量电路。单晶硅膜片用一个圆形硅杯固定,并将两个气腔隔开,一端接被测压力,另一端接参考压力(如接入低压或者直接通大气)。

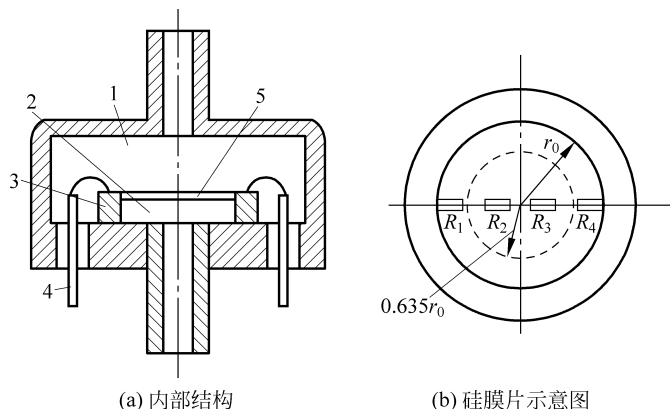


图 5-17 压阻式压力传感器的结构示意图

1—低压腔；2—高压腔；3—硅杯；4—引线；5—硅膜片

当外界压力作用于膜片上产生压差时,膜片产生变形,使两对扩散电阻的阻值发生变化,电桥失去平衡,其输出电压与膜片承受的压差成比例。

压阻式压力传感器的主要优点是体积小、结构简单,其核心部分就是一个既是弹性元件又是压敏元件的单晶硅膜片。扩散电阻的灵敏系数是金属应变片的几十倍,能直接测量出微小的压力变化。此外,压阻式压力传感器还具有良好的动态响应、迟滞小、频率响应高、结构比较简单、可以小型化等特点。因此,这是一种发展比较迅速、应用十分广泛的压力传感器。

压阻式压力传感器的测量范围为 $0 \sim 0.0005 \text{ MPa}$ 、 $0 \sim 0.002 \text{ MPa}$ 至 $0 \sim 210 \text{ MPa}$ 。精度可达 $\pm 0.2\% \sim \pm 0.02\%$ 。

3. 电容式差压变送器

电容式差压变送器采用差动电容作为检测元件,主要包括测量部件和转换放大器两部分,如图 5-18 所示。

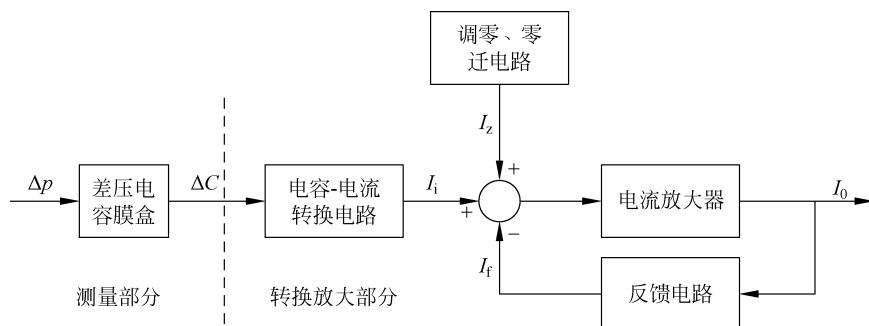


图 5-18 电容式差压变送器构成框图

图 5-19 是电容式差压变送器测量部件的原理,它主要是利用通过中心感压膜片(可动电极)和左右两个弧形电容极板(固定电极)把差压信号转换为差动电容信号,中心感压膜片分别与左右两个弧形电容极板形成电容 C_{i1} 和 C_{i2} 。

当正、负压力(差压)由正、负压室导压口加到膜盒两边的隔离膜片上时,通过腔内硅油液压传递到中心感压膜片,中心感压膜片产生位移,使可动电极和左右两个固定电极之间的间距不再相等,形成差动电容。

如图 5-20 所示,当 $\Delta p = 0$ 时,极板之间的间距满足 $S_1 = S_2 = S_0$; 当 $\Delta p \neq 0$ 时,中心膜片会产生位移 δ ,则

$$S_1 = S_0 + \delta, \quad S_2 = S_0 - \delta \quad (5-25)$$

由于中心感压膜片是在施加预张力条件下焊接的,其厚度很薄,因此中心感压膜片的位移 δ 与输入差压 Δp 之间可以近似为线性关系 $\delta \propto \Delta p$ 。

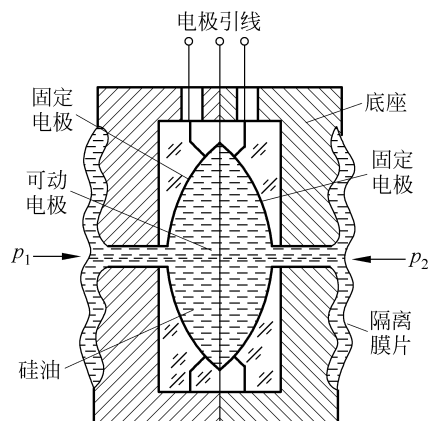


图 5-19 电容式差压变送器测量部件原理图

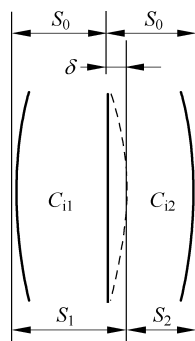


图 5-20 差动电容原理示意图

若不考虑边缘电场影响,中心感压膜片与两边电极构成的电容 C_{i1} 、 C_{i2} 可作平板电容处理,即

$$C_{i1} = \frac{\epsilon A}{S_1} = \frac{\epsilon A}{S_0 + \delta}, \quad C_{i2} = \frac{\epsilon A}{S_2} = \frac{\epsilon A}{S_0 - \delta} \quad (5-26)$$

式中, ϵ ——介电常数;

A ——电极面积(各电极面积是相等的)。

由于

$$C_{i1} + C_{i2} = \frac{2\epsilon A S_0}{S_0^2 - \delta^2}, \quad C_{i1} - C_{i2} = \frac{2\epsilon A \delta}{S_0^2 - \delta^2} \quad (5-27)$$

若取两电容量之差与两电容量之和的比值,即取差动电容的相对变化值,则有

$$\frac{C_{i1} - C_{i2}}{C_{i1} + C_{i2}} = \frac{\delta}{S_0} \propto \Delta p \quad (5-28)$$

由此可见,差动电容的相对变化值与差压 Δp 成线性对应关系,并与腔内硅油的介电常数无关,从原理上消除了介电常数的变化给测量带来的误差。

以上就是电容式差压变送器的差压测量原理。差动电容的相对变化值将通过电容-电流转换、放大的输出限幅等电路,最终输出一个 4~20mA 的标准电流信号。

由于整个电容式差压变送器内部没有杠杆的机械传动机构,因而具有高精度、高稳定性

和高可靠性的特点,其精度等级可达 0.2 级,是目前工业上普遍使用的一类变送器。

4. 振频式压力传感器

振频式压力传感器利用感压元件本身的谐振频率与压力的关系,通过测量频率信号的变化来检测压力。这类传感器有振筒、振弦、振膜、石英谐振等多种形式,以下以振筒式压力传感器为例介绍。

振筒式压力传感器的感压元件是一个薄壁金属圆筒,圆柱筒本身具有一定的固有频率,当筒壁受压张紧后,其刚度发生变化,固有频率相应改变。在一定的压力作用下,变化后的振筒频率可以近似表示为

$$f_p = f_0 \sqrt{1 + \alpha p} \quad (5-29)$$

式中, f_p —— 受压后的谐振频率;

f_0 —— 固有频率;

α —— 结构系数;

p —— 待测压力。

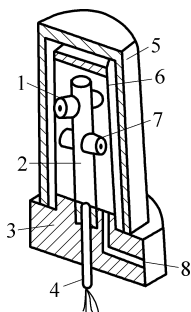


图 5-21 振频式压力传感器结构示意图

1—激振线圈; 2—支柱; 3—底座;
4—引线; 5—外壳; 6—振动筒;
7—检测线圈; 8—压力入口

传感器由振筒组件和激振电路组成,如图 5-21 所示,振筒用低温度系数的恒弹性材料制成,一端封闭为自由端,开口端固定在基座上,压力由内线引入。绝缘支架上固定着激振线圈和检测线圈,二者空间位置互相垂直,以减小电磁耦合。激振线圈使振筒按固有的频率振动,受压前后的频率变化可由检测线圈检出。

此种仪表体积小,输出频率信号重复性好,耐振;精确度高,其精确度为 $\pm 0.1\%$ 和 $\pm 0.01\%$;测量范围为 $0 \sim 0.014\text{MPa}$ 或 $0 \sim 50\text{MPa}$;适用于气体测量。

5. 压电式压力传感器

压电式压力传感器是利用压电材料的压电效应将被测压力转换成电信号的。它是动态压力检测中常用的传感器,不适合测量缓慢变化的压力和静态压力。

由压电材料制成的压电元件受到压力作用时将产生电荷,当外力去除后电荷将消失。在弹性范围内,压电元件产生的电荷量与作用力之间呈线性关系。电荷输出为

$$q = kSp \quad (5-30)$$

式中, q —— 电荷量;

k —— 压电常数;

S —— 作用面积;

p —— 压力。

测得电荷量即可知被测压力的大小。

图 5-22 为一种压电式压力传感器的结构示意图。压电元件夹于两个弹性膜片之间,压电元件的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。

被测压力均匀地作用在膜片上,使压电元件受力而产生电荷。电荷量经放大可以转换为电压或电流输出,输出信号给出相应的被测压力值,压电式压力传感器的压电元件材料多为压电陶瓷,也有高分子材料或复合材料的合成膜,各适用于不同的

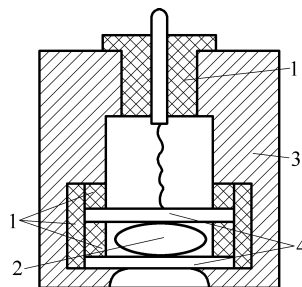


图 5-22 压电式压力传感器的结构示意图

1—绝缘体; 2—压电元件;
3—壳体; 4—膜片

传感器形式。电荷量的测量一般配有电荷放大器。可以更换压电元件以改变压力的测量范围,还可以用多个压电元件叠加的方式提高仪表的灵敏度。

压电式压力传感器体积小,结构简单,工作可靠;频率响应高,不需外加电源;测量范围 $0 \sim 0.0007 \text{ MPa}$ 至 $0 \sim 70 \text{ MPa}$;测量精确度为 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.06\%$ 。但是其输出阻抗高,需要特殊信号传输导线;温度效应较大。

5.2.5 力平衡式差压(压力)变送器

力平衡式差压(压力)变送器采用反馈力平衡的原理,其基本结构如图 5-23 所示。由测量部分(膜盒)、杠杆系统、放大器和反馈机构等部分组成,被测差压信号 Δp 经测量部分转换成相应的输入力 F_i , F_i 与反馈机构输出的反馈力 F_f 一起作用于杠杆系统,使杠杆产生微小的位移,再经放大器转换成标准统一信号输出。当输入力与反馈力对杠杆系统所产生的力矩 M_i 、 M_f 达到平衡时,杠杆系统便达到稳定状态,此时变送器的输出信号 y 反映了被测压力 Δp 的大小。下面以 DDZ-III 型膜盒式差压变送器为例进行讨论。DDZ-III 型变送器是两线制变送器,其结构示意图如图 5-24 所示。

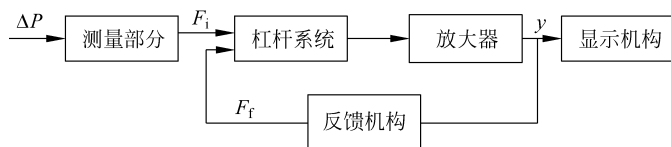


图 5-23 力平衡式压力计的基本框图

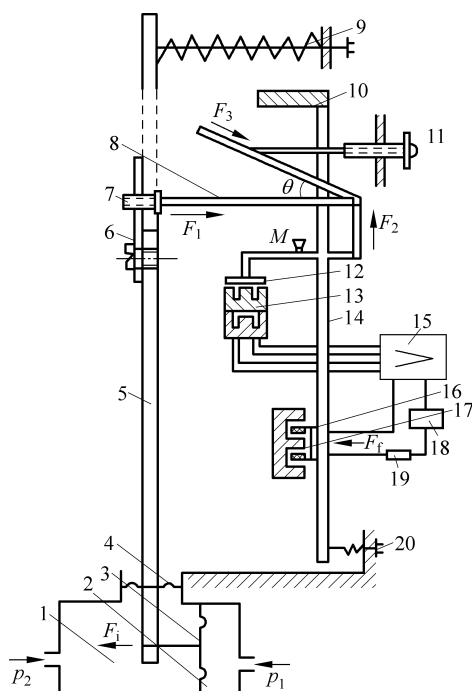


图 5-24 DDZ-III 型差压变送器结构示意图

- 1—低压室；2—高压室；3—测量元件(膜盒)；4—轴封膜片；5—主杠杆；6—过载保护簧片；7—静压调整螺钉；8—矢量机构；9—零点迁移弹簧；10—平衡锤；11—量程调整螺钉；12—位移检测片(衔铁)；13—差动变压器；14—副杠杆；15—放大器；16—反馈线圈；17—永久磁钢；18—电源；19—负载；20—调零弹簧

1. 测量部分

测量部分的作用,是把被测差压 Δp ($\Delta p = p_1 - p_2$) 转换成作用于主杠杆下端的输入力 F_i 。如果把 p_2 接大气,则 Δp 相当于 p_1 的表压。测量部分的结构如图 5-25 所示,输入力 F_i 与 Δp 之间的关系可用下式表示,即

$$F_i = p_1 A_1 - p_2 A_2 = \Delta p A_d \quad (5-31)$$

式中, A_1 、 A_2 为膜盒正、负压室膜片的有效面积(制造时经严格选配使 $A_1 = A_2 = A_d$)。

因膜片工作位移只有几十微米,所以可以认为膜片的有效面积在测量范围内保持不变,即保证了 F_i 与 Δp 之间的线性关系。轴封膜片为主杠杆的支点,同时它又起密封作用。

2. 主杠杆

杠杆系统的作用是进行力的传递和力矩比较。为了便于分析,这里把杠杆系统进行了分解。被测差压 Δp 经膜盒将其转换成作用于主杠杆下端的输入力 F_i ,使主杠杆以轴封膜片 H 为支点而偏转,并以力 F_1 沿水平方向推动矢量机构。由图 5-26 可知 F_1 与 F_i 之间的关系为

$$F_1 = \frac{l_1}{l_2} F_i \quad (5-32)$$

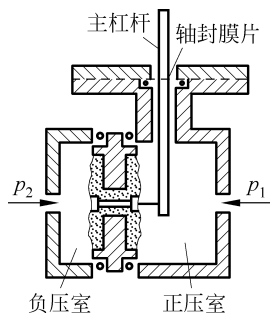


图 5-25 测量部分的结构原理图

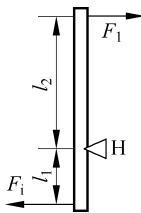


图 5-26 主杠杆受力分析示意图

3. 矢量机构

矢量机构的作用是对 F_1 进行矢量分解,将输入力 F_1 转换为作用于副杠杆上的力 F_2 ,其结构如图 5-27(a)所示。图 5-27(b)为矢量机构的力分析矢量图,由此可得出如下关系

$$F_2 = F_1 \tan \theta \quad (5-33)$$

4. 副杠杆

由主杠杆传来的推力 F_1 被矢量机构分解为两个力 F_2 和 F_3 。 F_3 顺着矢量板方向,不起任何作用; F_2 垂直向上作用于副杠杆上,并使其以支点 M 为中心逆时针偏转,带动副杠杆上的衔铁(位移检测片)靠近差压变送器,两者之间的距离的变化量通过位移检测放大器转换为 $4 \sim 20 \text{mA}$ 的直流电流 I_0 ,作为变送器的输出信号;同时,该电流又流过电磁反馈装置,产生电磁反馈力 F_f ,使副杠杆顺时针偏转。当 F_i 与 F_f 对杠杆系统产生的力矩 M_i 、 M_f 达到平衡时,变送器便达到一个新的稳定状态。反馈力 F_f 与变送器输出电流 I_0 之间的关系可以简单地记为

$$F_f = K_f I_0 \quad (5-34)$$

式中, K_f ——反馈系数。

需要注意的是,调零弹簧的张力 F_z 也作用于副杠杆,并与 F_f 和 F_2 一起构成一个力矩平衡系统,如图 5-28 所示。

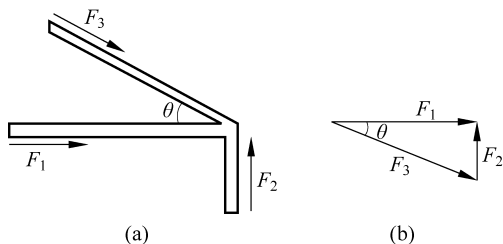


图 5-27 矢量机构及其受力分析示意图

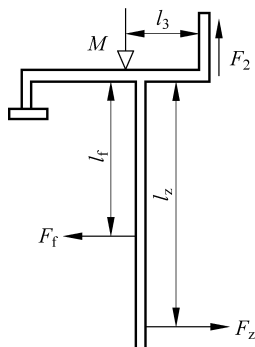


图 5-28 副杠杆受力分析示意图

输入力矩 M_i 、反馈力矩 M_f 和调零力矩 M_z 分别为

$$M_i = l_3 F_2, \quad M_f = l_f F_f, \quad M_z = l_z F_z \quad (5-35)$$

5. 整机特性

综合以上分析可得出该变送器的整机方块图,如图 5-29 所示,图中 K 为差压变压器、低频位移检测放大器等的等效放大系数,其余符号的含义如前所述。

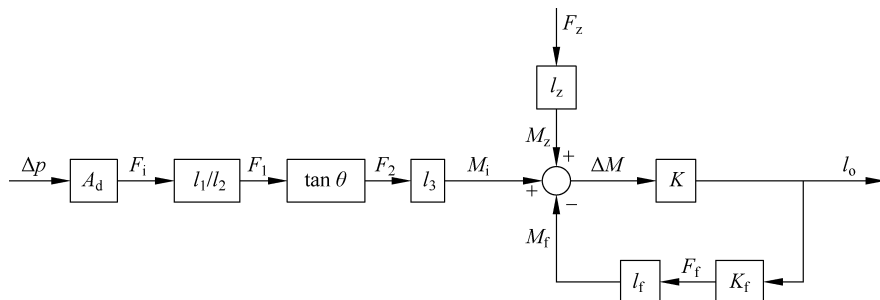


图 5-29 DDZ-III 型差压变送器的整机方块图

由图 5-29 可以求得

$$I_o = \frac{K}{1 + K K_f l_f} \left(\Delta p A_d \frac{l_1 l_3}{l_2} \tan \theta + F_z l_z \right) \quad (5-36)$$

在满足深度负反馈 $K K_f l_f \gg 1$ 条件时,DDZ-III 型差压变送器的输出输入关系如下,即

$$I_o = A_d \frac{l_1 l_3}{l_2 K_f l_f} \tan \theta \Delta p + \frac{l_z}{K_f l_f} F_z = K_i \Delta p + K_z F_z \quad (5-37)$$

式中, K_i 为变送器的比例系数。

由式(5-37)可以看出:

(1) 在满足深度负反馈条件下,在量程一定时,变送器的比例系数 K_i 为常数,即变送器的输出电流 I_o 和输入信号 Δp 之间成线性关系,其基本误差一般为 $\pm 0.5\%$,变差为 $\pm 0.25\%$;

(2) 式中 $K_z F_z$ 为调零项,调零弹簧可以调整 F_z 的大小,从而使 I_o 在 $\Delta p = \Delta p_{\min}$ 时为 4mA;

(3) 改变 θ 和 K_f 可以改变变送器的比例系数 K_i 的大小。 θ 的改变量是通过调节量程调整螺钉实现的, θ 增大, 量程变小。 K_f 的改变是通过改变反馈线圈的匝数实现的。另外, 调整零点迁移弹簧可以进行零点迁移。

5.3 压力检测仪表的选择及校验

为了保证控制系统安全运行, 必须选择使用适合的压力检测仪表, 并定期进行校验。

5.3.1 压力检测仪表的选择

压力检测仪表的选择是一项重要工作, 如果选择不当, 不仅不能正确、及时地反映被测对象压力的变化, 还可能引起事故。选择时应根据生产工艺对压力检测的要求、被测介质的特性、现场使用的环境等条件, 本着经济的原则合理地考虑仪表的量程、精度和类型等。

1. 仪表量程的选择

仪表量程是指该仪表可按规定的精确度对被测量进行测量的范围, 它根据操作中需要测量的参数的大小来确定。为了保证敏感元件能在其安全的范围内可靠地工作, 也考虑到被测对象可能发生的异常超压情况, 仪表的量程选择必须留有足够的余地, 但过大也不好。

《化工自控设计技术规程》对压力仪表量程选择要求如下:

- (1) 测稳定压力时, 最大工作压力不超过仪表上限值的 $\frac{2}{3}$ (新规程为 $\frac{3}{4}$);
- (2) 测脉动压力(或压力波动较大)时, 最大工作压力不超过仪表上限值的 $\frac{1}{2}$ (新规程为 $\frac{2}{3}$);
- (3) 测高压压力时, 最大工作压力不超过仪表上限值的 $\frac{3}{5}$ (新规程为 $\frac{3}{5}$);

最小工作压力不应低于仪表上限值的 $\frac{1}{3}$ 。

压力表量程选择示意图如图 5-30 所示。

当被测压力变化范围大, 最大和最小工作压力可能不能同时满足上述要求时, 选择仪表量程应首先满足最大工作压力条件。

根据被测压力计算得到仪表上、下限后, 还不能以此直接作为仪表的量程, 目前我国出厂的压力(包括差压)检测仪表有统一的量程系列, 它们是 1kPa、1.6kPa、2.5kPa、4.0kPa、6.0kPa 以及它们的 10^n 倍数(n 为整数)。因此, 在选用仪表量程时, 应采用相应规程或者标准中的数值。

2. 仪表精度的选择

压力检测仪表的精度主要根据生产允许的最大误差来确定, 即要求实际被测压力允许的最大绝对误差应大于仪表的基本误差。另外, 精度的选择要以经济、实用为原则, 只要测量精度能满足生产的要求, 就不必追求用过高精度的仪表。压力表的精度等级略有不同, 主



视频讲解

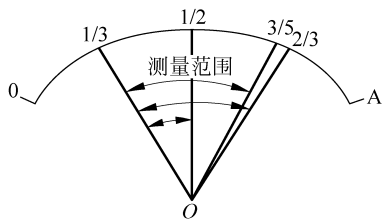


图 5-30 压力表量程选择示意图

要有: 0.1, 0.16, 0.25, 0.4; 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0 等。一般工业用 1.5、2.5 级已足够, 在科研、精密测量和校验压力表时, 则需用 0.25 级以上的精密压力表、标准压力表或标准活塞式压力计。

例 6-1 有一压力容器在正常工作时压力范围为 0.4~0.6MPa, 要求使用弹簧管压力表进行检测, 并使测量误差不大于被测压力的 3%, 试确定该表的量程和精度等级。

解 由题意可知, 被测对象的压力比较稳定, 设弹簧管压力表的量程为 A , 则根据最大、最小工作压力与量程关系, 有

$$A \geq 0.6 \times \frac{3}{2} = 0.9(\text{MPa})$$

根据仪表的量程系列, 可选用量程范围为 0~1.0MPa 的弹簧管压力表。

此时下限 $\frac{0.4}{1.0} \geq \frac{1}{3}$ 也符合要求,

根据题意, 被测压力的允许最大绝对误差为

$$\Delta_{\max} = 0.4 \times 3\% = 0.012(\text{MPa})$$

这就要求所选仪表的相对百分误差为

$$\delta_{\max} = \frac{0.012}{1.0 - 0} \times 100\% = 1.2\%$$

按照仪表的精度等级, 可选择 1.0 级的压力表。

3. 仪表类型的选择

根据工艺要求正确选用仪表类型是保证仪表正常工作及安全生产的主要前提。压力检测仪表类型的选择主要应考虑以下几个方面。

1) 仪表的材料

压力检测的特点是压力敏感元件往往要与被测介质直接接触, 因此在选择仪表材料的时候要综合考虑仪表的工作条件, 即工艺介质的性质。例如, 对腐蚀性较强的介质应使用像不锈钢之类的弹性元件或敏感元件; 氨用压力表则要求仪表的材料不允许采用铜或铜合金, 因为氨气对铜的腐蚀性极强; 又如氧用压力表在结构和材质上可以与普通压力表完全相同, 但要禁油, 因为油进入氧气系统极易引起爆炸。

2) 仪表的输出信号

对于只需要观察压力变化的情况, 应选用如弹簧管压力表, 甚至液柱式压力计那样的直接指示型的仪表; 如需将压力信号远传到控制室或其他电动仪表, 则可选用电气式压力检测仪表或其他具有电信号输出的仪表; 如果控制系统要求能进行数字量通信, 则可选用智能式压力检测仪表。

3) 仪表的使用环境

对爆炸性较强的环境, 应选择防爆型压力仪表; 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以及其他变换元件。

事实上, 上述压力表选型的原则也适用于差压、流量、液位等其他检测仪表的选型。

5.3.2 压力检测仪表的校验

压力检测仪表在出厂前均需进行检定, 使之符合精度等级要求。使用中的仪表则应定

期进行校验,以保证测量结果有足够的准确度。常用的压力校验仪表有液柱式压力计、活塞式压力计或配有高精度标准表的压力校验泵。标准仪表的选择原则是,其允许绝对误差约为被校仪表允许绝对误差的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$,这样可以认为标准仪表的读数就是真实值。如果被校表的读数误差小于规定误差,则认为它是合格的。

活塞式压力校验系统的结构原理如前图 5-6 所示。



视频讲解

5.4 压力检测系统

到目前为止,几乎所有的压力检测都是接触式的,即测量时需要将被测压力传递到压力检测仪表的引压入口,进入测量室。一个完整的压力检测系统至少包括:

- (1) 取压口——在被测对象上开设的专门引出介质压力的孔或设备。
- (2) 引压管路——连接取压口与压力仪表入口的管路,使被测压力传递到测量仪表。
- (3) 压力检测仪表——检测压力。

压力检测系统如图 5-31 所示。

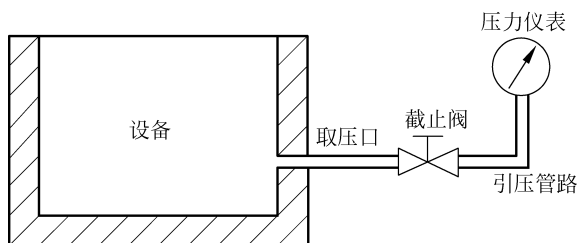


图 5-31 压力检测系统示意图

根据被测介质的不同和测量要求的不同,压力测量系统有的非常简单,有的比较复杂。为保证准确测量,系统还需加许多辅件,正确选用压力测量仪表十分重要,合理的测压系统也是准确测量的重要保证。

5.4.1 取压点位置和取压口形式

为真实反映被测压力的大小,要合理选择取压点,注意取压口形式。工业系统中取压点的选取原则遵循以下几条。

(1) 取压点位置避免处于管路弯曲、分叉、死角或流动形成涡流的区域。不要靠近有局部阻力或其他干扰的地点,当管路中有突出物体时(如测温元件),取压点应在其前方。需要在阀门前后取压时,应与阀门有必要的距离。图 5-32 为取压口选择原则示意图。

(2) 取压口开孔轴线应垂直设备的壁面,其内端面与设备内壁平齐,不应有毛刺或突出物。

(3) 被测介质为液体时,取压口应位于管道下半部与管道水平线成 $0^\circ \sim 45^\circ$ 的区域内,如图 5-33(a)所示。取压口位于管道下半部的目的是保证引压管内没有气泡,以避免造成测量误差;取压口不宜从底部引出,这是为了防止液体介质中可能夹带的固体杂质会沉积在引压管中引起堵塞。

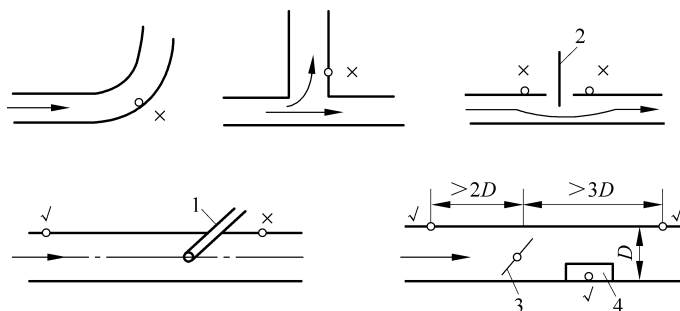


图 5-32 取压口选择原则示意图

1—温度计；2—挡板；3—阀；4—导流板

×—不适合做取压口的地点；√—可用于做取压口的地点

被测介质为气体时,取压口应位于管道上半部与管道垂直中心线成 $0^\circ \sim 45^\circ$ 的区域内,如图 5-33(b)所示。其目的是为了保证引压管中不积聚和滞留液体。

被测介质为蒸气时,取压口应位于管道上半部与管道水平线成 $0^\circ \sim 45^\circ$ 的区域内,如图 5-33(c)所示。这样可以使引压管内部充满冷凝液,且没有不凝气,保证测量精度。

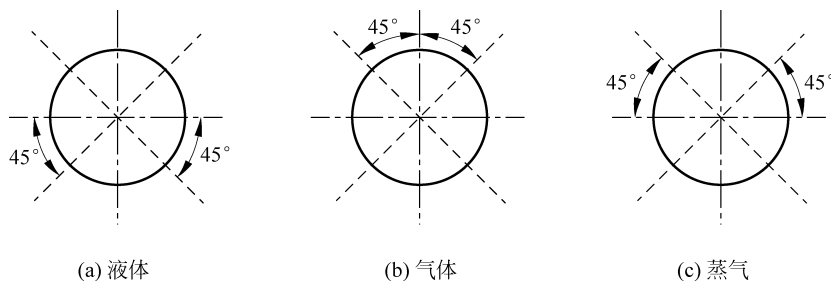


图 5-33 测量不同介质时取压口方位规定示意图

5.4.2 引压管路的铺设

引压管路应保证压力传递的实时、可靠和准确。实时,指不能因引压管路影响压力传递速度,与引压管的内径和长度有关;可靠,指必须有防止杂质进入引压管或被测介质本身凝固造成的堵塞的措施;准确,指管路中介质的静压力会对仪表产生附加力,可通过零点调整或计算进行修正,这要求引压管路中介质的特性(密度)必须稳定,否则会造成较大的测量误差。

引压管铺设应遵循以下原则。

(1) 导压管粗细要合适,一般内径为 $6 \sim 10\text{mm}$,长度尽可能短,不得超过 50m ,否则会引起压力测量的迟缓。如超过 50m ,应选用能远距离传送的压力计。引压管路越长,介质的黏度越大(或含杂质越多),引压管的内径要求越大。

(2) 导压管水平铺设时要有一定的倾斜度($1:10 \sim 1:20$),以利于积存于其中之液体(或气体)的排出。

(3) 被测介质为易冷凝、结晶、凝固流体时,引压管路要有保温伴热措施。

(4) 取压口与仪表之间要装切断阀,以备仪表检修时使用。

(5) 测量特殊介质时,引压管上应加装附件。

测量下面特殊介质时,应注意:

(1) 测量高温(60°C 以上)流体介质的压力时,为防止热介质与弹性元件直接接触,压力仪表之前应加装 U 形管或盘旋管等形式的冷凝器,如图 5-34(a)、(b)所示,以避免因温度变化对测量精度和弹性元件产生的影响。

(2) 测量腐蚀性介质的压力时,除选择具有防腐能力的压力仪表之外,还可加装隔离装置,利用隔离罐中的隔离液将被测介质和弹性元件隔离开来。如图 5-34(c)所示为隔离液的密度大于被测介质的密度时的安装方式,如图 5-34(d)所示为隔离液的密度小于被测介质的密度时的安装方式。

(3) 测量波动剧烈(如泵、压缩机的出口压力)的压力时,应在压力仪表之前加装针形阀和缓冲器,必要时还应加装阻尼器,如图 5-34(e)所示。

(4) 测量黏性大或易结晶的介质压力时,应在取压装置上安装隔离罐,使罐内和导压管内充满隔离液,必要时可采取保温措施,如图 5-34(f)所示。

(5) 测量含尘介质压力时,最好在取压装置后安装一个除尘器,如图 5-34(g)所示。

总之,针对被测介质的不同性质,要采取相应的防热、防腐、防冻、防堵和防尘等措施。

(6) 当被测介质分别是液体、气体、蒸气时,引压管上应加装附件。

在测量液体介质时,在引压管的管路中应有排气装置,如果差压变送器只能安装在取样口之上时,应加装储气罐和放空阀。

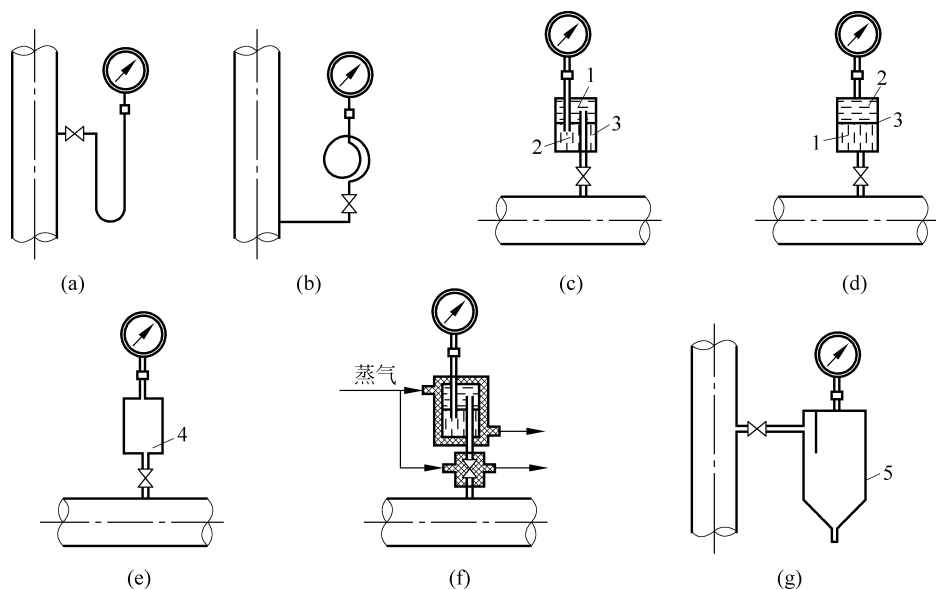


图 5-34 测量特殊介质压力时附件的安装示意图

1—被测介质; 2—隔离介质; 3—隔离罐; 4—缓冲罐; 5—除尘器

5.4.3 压力检测仪表的安装

无论选用何种压力检测仪表和采用何种安装方式,在安装过程中都应注意以下几点。

(1) 压力计应安装在易于观测和检修的地方。

(2) 对于特殊介质应采取必要的防护措施。

(3) 压力计与引压管的连接处,应根据被测压力的高低和被测介质性质,选择适当的材料作为密封垫圈,以防泄漏。

(4) 压力检测仪表尽可能安装在室温,相对湿度小于80%,振动小,灰尘少,没有腐蚀性物质的地方,对于电气式压力仪表应尽可能避免受到电磁干扰。

(5) 当被测压力较小时,而压力计与取压口又不在同一高度时,对由此高度而引起的测量误差应按式(5-38)进行修正,即

$$\Delta p = \pm H \rho g \quad (5-38)$$

式中, H ——压力计与取压口的高度差;

ρ ——导压管中介质的密度;

g ——重力加速度。

(6) 为安全起见,测量高压的压力计除选用有通气孔的外,安装时表壳应向墙壁或无人通过之处,以防止发生意外。

思考题与习题

5-1 简述压力的定义、单位及各种表示方法。表压力、绝对压力、真空度之间有何关系?

5-2 某容器的顶部压力和底部压力分别为 -20kPa 和 200kPa ,若当地的大气压力为标准大气压,试求容器顶部和底部处的绝对压力及底部和顶部间的差压。

5-3 压力检测仪表有哪几类?各基于什么原理?

5-4 作为感受压力的弹性元件有哪几种?它们各有什么特点?

5-5 简述弹簧管压力表的基本组成和测压原理。

5-6 应变式压力传感器和压阻式压力传感器的原理是什么?

5-7 简述电容式压力传感器的测压原理及特点。

5-8 振频式压力传感器、压电式压力传感器的测压原理及特点是什么?

5-9 要实现准确的压力测量要实现哪些环节?了解从取压口到测压仪表的整个压力测量系统中各组成部分的作用及要求。

5-10 简述压力检测仪表的选择原则。

5-11 请列举常见的弹性压力计电远传方式。

5-12 在压力表与测压点所处高度不同时如何进行读数修正?

5-13 用U形玻璃管压力计测量某管段上的差压,已知工作介质为水银,水银柱在U形管上的高度差为 25mm ,当地重力加速度 $g=9.8065\text{m/s}^2$,工作温度为 30°C ,水银的密度为 13500kg/m^3 ,试用国际单位制表示被测压差大小。

5-14 用弹簧管压力表测某容器内的压力,已知压力表的读数为 0.85MPa ,当地大气压为 759.2mmHg ,求容器内的绝对压力。

5-15 有一工作压力均为 6.3MPa 的容器,现采用弹簧管压力表进行测量,要求测量误差不大于压力示值的1%,试选择压力表的量程和准确度等级。

5-16 压力仪表的选用主要从量程、准确度和使用的介质特性(腐蚀性)等方面考虑,所

以差压检测仪表也只需考虑上述这些因素。这句话对吗？为什么？

5-17 在测量快速变化的压力时,选择何种压力传感器比较合适?

5-18 用弹簧管压力计测量蒸汽管道内压力,仪表低于管道安装,二者所处标高为1.6m和6m,若仪表指示值为0.7MPa。已知蒸气冷凝水的密度为 $\rho=966\text{kg/m}^3$,重力加速度 $g=9.8\text{m/s}^2$,试求蒸汽管道内的实际压力值。

5-19 某台空压机的缓冲器,其工作压力范围为 $1.1 \sim 1.6 \text{ MPa}$,工艺要求就地观察罐内压力,并要求测量结果的误差不得大于罐内压力的 $\pm 5\%$,试选择一台测量范围及精度等级合适的压力计,并说明其理由。

5-20 现有一台测量范围为 $0 \sim 1.6 \text{ MPa}$, 精度为 1.5 级的普通弹簧管压力表, 校验后, 其结果如下表所示, 试问这台表是否合格? 它能否用于某空气储罐的压力测量? (该储罐工作压力为 $0.8 \sim 1.0 \text{ MPa}$, 测量的绝对误差不允许大于 $\pm 0.05 \text{ MPa}$)

MPa	上行程					下行程				
标准表读数	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	1.6	1.2	0.8	0.4	0.0
被校表读数	0.000	0.385	0.790	1.210	1.595	1.595	1.215	0.810	0.405	0.000

5-21 被测量压力变化范围为 $0.9 \sim 1.4 \text{ MPa}$, 要求测量误差不大于压力示值的 $\pm 5\%$, 可供选用的压力表量程规格为 $0 \sim 1.6 \text{ MPa}$ 、 $0 \sim 2.5 \text{ MPa}$ 、 $0 \sim 4.0 \text{ MPa}$, 精度等级有 1.0、1.5、2.5 三种。试选择合适量程和精度的仪表。

5-22 如果某反应器最大压力为 1.4MPa(平稳压力),允许最大绝对误差为 ± 0.02 MPa,现有一台测量范围为 0~1.6MPa,精度为 1 级的压力表,问能否用于该反应器的测量?试选择量程和精度合适的仪表。

5-23 某台往复式压缩机的出口压力范围为25~28MPa,测量误差不得大于1MPa,工艺上要求就地观察,并能高低限报警,试正确选用一台压力表,指出精度与测量范围。

5-24 如图 5-35 所示,管道中介质为水,设 $1\text{mH}_2\text{O}$ 产生的压力约等于 9.8kPa ,则 A、B 两压力表的读数值为多少?

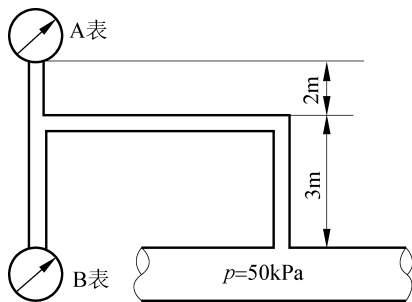


图 5-35 习题 5-24 图