

采油儀表自動化

自動化教研室編

北京石油學院

一九六三年八月

說 明

因使用時間倉促，排版困難，故本講義除第五章外正文與圖分別付印。圖另印成圖冊，圖號與正文圖號完全相符。同學使用時注意查對。

目 錄

說明

第一章 測量与仪表概論.....	1—1
第1节 測量和仪表.....	1—1
第2节 計量工作的基本知識.....	1—2
第二章 压力的測量.....	2—1
第1节 液柱式压力計.....	2—1
第2节 彈性體压力表.....	2—3
第3节 压力表的选择、安裝与校驗.....	2—5
第4节 深井压力測量与仪表.....	2—6
第三章 界面的測量.....	3—1
第1节 界面測量的方法及常用仪表.....	3—1
第2节 井底液面的測量.....	3—2
第四章 流量測量与仪表.....	4—1
第1节 节流式流量計.....	4—1
第2节 孔板流量計的安裝与校驗.....	4—6
第3节 孔板流量計的选择与計算.....	4—9
第4节 定压降式流量計.....	4—10
第5节 动压式流量計.....	4—11
第6节 速度式与容积式流量計.....	4—12
第7节 井底流量計.....	4—15
第五章 温度的測量.....	5—1
第1节 膨脹式溫度計.....	5—2
第2节 压力表式溫度計.....	5—3
第3节 热电式溫度計.....	5—10
第4节 电阻溫度計.....	5—17
第5节 测温元件的安裝与校驗.....	5—27
第六章 被測量的轉換.....	6—1
第1节 常电量的电測法.....	6—1
第2节 远距离測量中的轉換器.....	6—5
第3节 气測法.....	6—6
第七章 自动調节的一般概念.....	7—1
第1节 油气分离器液面的自动調节.....	7—1
第2节 管道及容器压力自动調节.....	7—2
第3节 自动調节系統的一般問題.....	7—4
第八章 油井的自动裝置.....	8—1
第1节 自噴井生产过程的自动化及其裝置.....	8—1
第2节 抽油井生产过程的自动化及其裝置参考文献.....	8—4

第一章 测量与仪表概述

利用仪表对生产过程中的各种参数进行测量,是了解生产过程的重要方法,是保证生产过程正常的,并以最优方式进行的基本依据,因而近代的各种生产过程都离不开测量仪表。

第1節 测量和仪表

一、测量的基本概念

将被测量与另一个作为测量单位的同类量进行比较,就叫做测量。

测量的基本方法可以归结为:

- 1.直接测量:将被测量与仪表或标准值直接进行比较的方法。例如用压力表测量压力,用尺量度长度,用砝码测量重量等。
- 2.间接测量:测量与被测量有一定函数关系的另一个量,以确定被测量的方法。此时被测量要经过变送器变成另一个宜于测量的量。如测量节流装置两端压差以确定流量,测量热电偶电势以确定温度……等等。
- 3.复合测量:利用几个与欲知量之间的关系计算出欲知量的大小。如测量出电流电压来计算功率,测量泵的流量,压头以确定其输出功率,和电动机消耗的功率来计算泵装置的效率……等等。

对测量的基本要求是能够得到准确的测量结果,并且及时的反映被测量的变化。

二、仪表的基本概念

测量仪表是将被测量与规定的标准测量单位进行比较的工具设备。

测量仪表按照测量方法结构性能及测量参数等不同可分为以下几类

1.按照测量方法来分类:

①比较式仪表:用测量单位间彼此相互比较、或是将被测量与测量单位或范型标准进行比较的仪表称为比较式仪表。这种仪表若无测量单位或范型标准,它就不能实现测量。例如天平若没有一套砝码,则它就不能进行测量。这种测量方法一般说比较准确。

②直读式仪表:借用读数装置如刻度,图表以及记录机构等将被测量直接指示出来的仪表叫做直读式仪表。例如压力表与玻璃温度计等。

2.按照结构与性能分类:

①指示式仪表:只能在仪表上反映出被测量的瞬时数值的仪表称为指示式仪表。它一般均具有刻度,例如玻璃温度计等。

②积算式仪表:它是具有积累数量的机构,能把在一定期间内被测量的积累数量表示出来的仪表。一般它具有十进位的数字轮或数字盘,例如积算式流量计就属于这种仪表。

③记录式仪表:它具有自动记录装置,能将测量随着时间变化而记录下来的仪表。例如具有自动记录装置的钻井用指重表就是属于这种仪表。

④复合式仪表:它具有多种用途或可以测量两个以上参数的仪表。例如记录流量并且记录压力的记录仪表。

⑤工业用仪表:要符合工业生产的要求,有一定的准确度,可靠、方便。

⑥便携式仪表:它是便于提携用来校验各种工业用仪表的仪表。它一般多是准确度级比

較高的仪表。例如手提电位計等。

⑦實驗室用仪表：它是范型或标准型的精密仪表，用做校驗檢查仪表或实用仪表。它一般是在實驗室中應用，使用中需要特別注意維護，例如活塞式压力表校驗器等就屬於这种仪表。

3. 按照被測量参数来分类：

①热工測量仪表：热力过程中各种参数的測量仪表屬於这种仪表。例如測量压力的压力表；測量温度的溫度計；測量流量的孔板流量計等。

②电工測量仪表：它是电力工程中各种参数的測量仪表。例如电压表，电流表等。

③机械量測量仪表：它是力学的各种参数的測量仪表。如測量运动参数的速度、位移、加速度的仪表以及測量变形的电阻应变仪等。

測量仪表的結構是相当复杂的。測量同一类参数的仪表在内部結構及外觀上可以完全不同。但是若从仪表的作用来看，都包括有下列三个必要的元件：

1) 敏感元件：它是直接与被測对象發生联系（但不一定直接接触）的元件。它的作用是感受被測量的变化，从而对外界發生一个相應的訊号。例如压力表中的彈簧管，它能感受被測压力的变化，并按照变化的大小而發出一定大小的位移的訊号。

2) 执行元件：它是与觀測者直接發生联系的元件。它的作用是根据敏感元件發出的訊号，向觀測者指出被測量数值的大小，执行測量所要求的任务，例如仪表的标尺和指針，或积算式仪表的記数盤等等都是起这种作用的。

3) 中間元件，它是联系敏感元件和执行元件的元件。它的作用是将敏感元件發生的訊号（改变或者不改变訊号的性質）直接地或是間接地傳遞給执行元件，例如压力表中的槓桿齒輪等傳动機構。

第2節 計量工作的基本知識

一、測量誤差

測量結果是由仪表指示的。由于种种原因，仪表的讀数和真实值总是有誤差的。減小誤差是測量技术研究的最重要的問題之一。

1. 誤差的表示方法

表示誤差一般常用的方法有以下兩種：

①絕對誤差：仪表的指示数值与被測量的真实数值間的差数叫做絕對誤差。它可以是正值；也可以是負值。若測量出的数值小于真实数值則叫做負誤差；反之，若測量出的数值大于实际数值則叫做正誤差。

$$\Delta = A - A'$$

式中 A ——被測量的指示数值；
 A' ——被測量的真实数值；
 Δ ——絕對誤差（正值或負值）。

絕對誤差只能表示誤差的大小，但并不能說明測量工作的准确程度，例如測量井內液面时，液面深度1000米，絕對誤差是一米；而測量長度是10米的油管时，絕對誤差是0.1米，后者絕對誤差值虽小，但准确度却低。因此要表示出測量的工作質量还需用其它的表示誤差的方法。

②相对誤差：絕對誤差和被測量的实际数值的比值称为相对誤差。

$$\delta = \frac{\Delta}{A'} \times 100\%$$

式中 δ ——相对误差（用百分数来表示）。

例如上面所举出的液面测量和油管的测量，若用相对误差来表示，就可以充分说明测量工作的质量。他们的相对误差分别是：

$$\delta_1 = \frac{1}{1000} \times 100\% = 0.1\%$$

$$\delta_1 = \frac{0.1}{10} \times 100\% = 1\%$$

2. 误差的来源

测量是用仪表进行的，测量结果所产生的误差显然和仪表质量有关，此外，也和测量时所处的条件和其他因素有关。归结起来，测量结果所产生的误差来源于以下几个方面：

①基本误差：由于仪表本身的不准确所引起的误差，大体上取决于仪表制造的水平。

②附加误差：由于使用时的条件和仪表刻度时的标准情况不同而引起的误差。例如温度变化时引起的仪表零件的变形和电阻电感对参数的变化，外界电磁场对某些电磁式仪表的影响而使仪表刻度与真实值不符，或者由于安装使用不当，读数计算不准等等所引起的误差。或者是由于观察者在测量过程中读错了读数，记错了记录，接错了仪表的线路等所产生的明显的误差。总之除因仪表本身不准所引起的误差之外的所有误差，均称为附加误差。它是由仪表外部原因引起的。

二、测量仪表的主要技术术语：

1. 仪表的量程：即仪表所能测量的数值的上限与下限之差。例如能测量 -20°C 到 100°C 的水银温度计的量程是 120°C 。

2. 仪表的准确度与准确度级：

在对仪表刻度的标准状况下，仪表读数所可能产生的最大绝对误差说明了仪表的准确程度。此误差相对于量程百分数的数值称为该仪表的准确度等级，是仪表出厂时用来说明其准确程度的常用的表示方法。例如测量范围为 $0 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 的温度计，若其可能的最大绝对误差不超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，则其准确度级为 $\pm \frac{5}{1000} \times 100\% = 0.5$ 级。

仪表的准确度级规定为以下一些数值：0.005, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0, 6.0等。其中 0.005~0.02 级的仪表是属于实验室用的或标准的仪表，工业用的仪表很少有超过 0.5 级的，常用仪表的准确度级是 1.5 级和 2.5 级，个别的有时用 4.0 和 6.0 级的。为了校验工业用压力表还有用 0.35 和 0.6 两种准确度级的标准仪表。

3. 仪表的灵敏度

仪表指针的角位移或线位移与在此范围内的被测量的数值的变化值的比称为仪表的灵敏度。因此它也就是单位被测参数变化所引起的仪表指示机构的角位移或线位移。例如压力表的灵敏度是决定于压力每改变 1 公斤/厘米² 时指针所移动的角度度数。仪表的灵敏度愈高，则测量愈准确。仪表的灵敏度可用下式表示：

$$S = \frac{d\alpha}{dQ}$$

式中 S ——灵敏度；

$d\alpha$ ——指針的指示值的变化或角位移；

dQ ——被测量的变化值。

能使仪表指針發生位移的被测量的最小变化数值称为仪表的灵敏度界限。

4. 仪表讀数的变差。

测量仪表在外界条件不变的情况下，多次测量某一真实被测量数值时所得的最大差数称为仪表的变差。变差产生的原因主要是由于仪表的連动机构存在有或多或少不可避免的摩擦和間隙，以及彈簧零件的彈性后效等現象所致。

变差的大小，一般是用仪表可能發生的最大变差对仪表全刻度的百分数来表示。仪表的变差过大时，虽不超过准确度等級，亦不能繼續使用。

5. 仪表的讀数和指示值

按照仪表上的計数設備（刻度、圖表，計数机构等）所讀出的数字称为讀数。按照讀数再确定的测量的数值叫做仪表的指示值。确定仪表指示值的方法常是將仪表讀数乘以仪表常数或其分度值。例如鑽井用的指重表，表上只标出路，讀出格数以后，必須按照拉力刻度对照表进行折算，才能找出拉力的公斤数。若讀为50格，对照表中为100公斤/格，則指示值拉力應为5000公斤。

三、滿足測量准确性要求的方法

1. 正确选择仪表的量程和准确度級，通常被测量变化范围的上下限越接近仪表测量范围的上下限越好。例如欲測溫度在 $50\sim 80^{\circ}\text{C}$ 之間变化，要求測量結果的絕對誤差小于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，若有兩個准确度級均为 1.5 級，量程分別为 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 和 $0\sim 500^{\circ}\text{C}$ 的兩個溫度表，則对于前者可能产生的基本絕對誤差 $\leq \pm 100 \times 1.5\% = 1.5^{\circ}\text{C}$ ，对于后者可能产生的基本絕對誤差 $\leq \pm 500 \times 1.5\% = 7.5^{\circ}\text{C}$ ，显然后者是不能滿足工作要求的。即使准确度級为 0.5，也是不能滿足工作要求的。

2. 正确使用和安装测量仪表，使其尽量与仪表刻度时的标准情况相符，或减小附加誤差。

3. 定期进行校驗，做出仪表讀数的改正曲綫。实际使用和安装的情况常与刻度时标准情况不符。为此可在使用时利用更准确的测量仪表对仪表指示值进行校驗，其間的誤差就是仪表指示值所需的改正值。随被测量不同，做出改正值的曲綫，以便測量时进行改正。仪表使用一定期限后，其准确度可能下降，还需要定期对仪表进行校驗。

4. 对一个被测量进行多次測量，以減少仪表外部因素偶然改变所产生的誤差，或者查出由于观察者的疏忽而引起的明显的錯誤。在大多数測量过程中，誤差常不超过預先規定的数值，常用的測量仪表也具有一定的極限誤差，因此在工業生产过程中，通常只进行一次測量，只有在特別精密的測量中，才进行多次測量。

第二章 压力的测量

石油矿场上广泛存在压力测量的问题，是由于压力大小为判断采油工艺过程及设备运行情况的重要参数。如油井压力是合理开发油田、保证生产正常进行的技术参数。再如输油泵出口压力，可以判断管道有无堵塞与漏失，以及泵的工作情况，即时采取相应的措施。由此可见，压力测量对正确使用设备、防止事故发生、保证生产正常进行，起着重要作用。

所谓压力是指垂直作用在单位面积上的分布力。通常它用绝对压力、大气压力、表压力、负压力及真空度表示。绝对压力亦称全压力，它是单位面积上作用的全部压力。表压力是作用在单位面积上的绝对压力与大气压力之差，若绝对压力低于大气压力时，其差称作负压力，而真空度为大气压力与负压力的差。常用的仪表都是处于大气压力之中，故表压力与真空度得到较多的应用。

常用的压力单位有：

1. 工程大气压(公斤/厘米²)：相当于1公斤的力均匀而垂直地作用在1厘米²的面积上。
2. 物理大气压：相当于760毫米垂直的水银柱的高度所产生的压力(水银在0°C的重度为13.595克/厘米³)

3. 毫米水柱或毫米水银柱：常用以表示低压(水4°C)。

此外，还有米水柱、公斤/米²以及其它各种单位。各压力单位间的关系是：

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10000 \text{ 公斤/米}^2 = 10000 \text{ 毫米水柱} = 735.56 \text{ 毫米水银柱。}$$

压力测量仪表在目前有着许多型式，按其作用原理可分以下几类：

1. 液体的压力计，它基于用已知重度的液柱高度与被测压力平衡的方法。如U形管，压差计属于此类。

2. 活塞式压力计是用已知作用在单位面积上的重量与被测压力平衡，其准确度高，常用作标准的压力计。

3. 弹性体压力计用弹性元件在弹性变形时的应力与被测压力相平衡。这类仪表广泛的用于各个工业部门。

4. 电气式的压力计，它是根据某些物理现象将压力变换成各种电量进行测量的。如金属变形会使它的电阻变化。据此特性可以制造出电阻式压力计。

5. 利用某些物质的物理化学性质来测量压力。如利用水银的融熔温度来测量高压，不同压力下水银的熔点不同。

第1节 液柱式压力计

液柱式压力计一般用来测量0.005毫米水柱到1000毫米水银柱的压力或达760毫米水银柱的真空。由于它在一定条件下比较容易得到较高的准确度，因此常被作为实验室用的低压微压标准器。

这类压力计中包括最简单的U形管压力计与根据同一原理为了适应不同的要求而发展的其他形式的压力计。

一、U形管压力计如图2-1所示，设工作液的重度为 γ ，工作液面以上的介质的重度为 γ' ，若双方介质的压力不相等并分别为 P_1 与 P_2 ，因而使工作液产生高度为 h 的液柱差，若所

用單位一致，則根據液體靜力學的原理，可用下式表示這一平衡情況。

$$P_1 - P_2 = h(\gamma - \gamma')$$

用U形管壓力計單獨測量不大的表壓或真空度時，式中 P_2 等于大氣氣壓。當工作液以上的介質為空氣時， γ' 常可以忽略不計。

由公式可以看出，U形管壓力計的靈敏度反比于工作液與介質的重度差。此外，當測量較高的真空度時，為了縮短U形管的長度，採用一端封閉並充滿水銀的U形管真空計。

U形管壓力計的優點是結構簡單，缺點是每測一數值需要讀數，不能受較高的壓力與機械損害。視差一般以1毫米計。

二、單管式壓力計如圖2—2所示，這種壓力計在每次測量時，只需讀取一個讀數。應當注意到無論左面杯的面積 F （直徑為 D ）比右面管的截面 f （直徑為 d ）大多少倍，當管內液柱升高時，杯內液面總要下降一些，由圖可知：

$$h = h_1 + h_2 \text{ 与 } Fh_2 = fh_1$$

$$\text{消去 } h_2 \text{ 得: } h = h_1 \left(1 + \frac{f}{F}\right) = h_1 \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right)$$

若杯徑遠大于管徑時，可直接按 h_1 讀數而不致引起顯著的誤差。例如杯徑為80毫米，管徑為4毫米時，產生的誤差僅為0.25%。通常可以忽略不計。

為了降低毛細管現象所引起的誤差，管徑一般不小于4毫米。

單管式壓力計同樣可以測量表壓與壓差，測量真空時管端亦需封死，管內充滿水銀。水銀即使處於高真空度下也是比較不易揮發的。

三、斜管式的壓力計，當測量低壓並需要準確到 $1/10$ 毫米水柱時，簡便而有效的辦法就是採用斜管式壓力計（又名微壓計）。其原理與單管式壓力計相同，不過這裡由圖2—3可知：

$$h_1 = h \cdot \sin \alpha$$

就是說被測壓力為 h_1 時可以根據較長的液柱 h 來讀取讀數，然後乘以斜管傾角正弦的即得所測壓力的液柱高度。

四、將液面位移變化轉換為機械位移的液體壓力計，上述各種壓力計的共同缺點是它們只能用作指示儀表，不能用于記錄，同時還不能用在處於高壓與混濁的液體測量壓力。

浮標式壓差計：其工作原理與U形管相同（見圖4—2），被測壓力 P_1 與 P_2 引入高壓室（直徑 D_1 ）及低壓室（直徑為 d ），它的差值被二室液柱高度差的重量平衡。高壓室內的浮標A在壓差變化時，產生相應位移 h_1 ，通過密封軸與傳動連桿，帶動指針與記錄筆。為了提高測量精度，浮標需有較大的推動力，因此高壓室的直徑 D 通常比低壓室的直徑 d 大的多。

浮標式壓差計的基本關係式為：

$$\Delta P = P_1 - P_2 = (h_1 + h_2)(\gamma - \gamma_1)$$

式中 γ ——工作介質比重；

γ_1 ——被測介質或中間介質比重。

壓差變化時，低壓室增加的液體與高壓室排出的液體體積相等，即

$$\frac{\pi}{4} D^2 \cdot h_1 = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot h_2$$

$$h_2 = \frac{D^2}{d^2} h_1$$

由此得到

$$\Delta P = (1 + \frac{D^2}{d^2}) h_1 (\gamma - \gamma')$$

由上式可知,被测压差与浮标相应位移成比例,仪表有着均匀的压差刻度。低压室直径 d (高压室直径 D 是固定不变的,且浮标最大位移为 30.5 毫米) 改变时,可以得到不同的量程范围。此外,被测介质的比重 γ' 也影响测量效果,测量过程中若 γ' 变化较大;则需用中间介质。

浮标式压差计是用金属制的特别形式的 U 形管压力计,能工作于较高的压力下并有较大的动力来带动指针与记录笔等。图 2—5 所示其中的一种,能工作于 160 公斤/厘米² 以内的压力下。图中 a) 为剖面图, b) 与 B) 为带动指针与记录笔的连动机构。高压室 1 通过针阀 8 与较高的压力相连;低压室 2 通过针阀 7 与较低的压力相连。1 与 2 的底部又用 U 形钢管连通。两室内灌有一定量的水银。当两室压力相等时,高压室内的铁质浮标 3 处于其行程的最高位置。由浮标所带动的指针或记录笔应位于零点。当测量压差时,浮标 3 随着水银面下降,借连杆 4 转动小轴 5 并通过 13、18、19、20 等一系列的连动机构去带动指针或记录笔以指出或记下所测压差的数值,小轴 5 位于轴套 6 内,在轴与轴套间可用油枪打入含有铅粉的滑润脂以作润滑与封闭之用。此外,9 为平衡阀,在测量时应关死,打开后两室压力即趋相等。10 为充入水银的堵头。12 是圆锥形安全塞,当所测压差过高时即因浮标 3 压下而将 U 形管管口封闭以免将水银冲走。11 是洩水银堵头。

上述压差计的量程由于低压室(又名量程式室)内径与长度的不同有 40、63、100、160、250、400、630 与 1000 毫米水银柱等几种可以更换的。每种都可用量程相当的 U 形玻璃管压力计来校对其刻度。压差计均备有水平泡以保证仪器安装好以后高低压室处于垂直位置。

环形压差计,也叫环天平。图 2—6 所示为这类仪器的一种。金属环 1 下半部灌以工作液体,并由上方的隔板 2 将所余的空间分为两段,待测压力由隔板两侧导入,环上下设有充放液体的堵头 8 与 9,环下端按有重锤 4,全部机构由横梁上的刀刃 3 及其刀槽所支承,类似天平的支点。图中所示位置为压力 P_1 等于 P_2 的情况。当 P_1 大于 P_2 时,不工作液出现液柱差,由此而产生的转矩将环以顺时针方向旋转,直到被由于锤 4 的升高以及转动系统重心偏离所产生的反力矩所平衡为止,这时弧棒 5 搬动曲线条 6 使指针 7 转动一个相当的角度并指出当时的压力变化。仪器分高压与低压的两种:前者工作压力在 32 公斤/厘米² 以下;后者则在 0.25 公斤/厘米² 以下,工作液用水,油或水银,量程不超过 160 毫米水柱或水银柱。低压的可用橡皮作导管。仪器的准确度级一般为 1.5,常用来间接测量气体的流量。

在使用或修理压差计时,常常要涉及处理水银的问题。必须注意到水银是有毒的物质,破裂的皮肤与水银接触能发生红肿,而有害尤烈的则是水银的蒸气。大量吸入水银蒸气即有致命的危险;无意之间吸入少量的水银蒸气,日积月累必然招致慢性水银中毒而产生严重的后果。所以处理水银时应特定的设备中进行,并注意遵守有关的安全技术措施。近年来研究出不用水银而能测量低压的膜式 DM 型压差计。

第 2 节 弹性体压力表

这类仪表是根据弹性体在弹性限度内变形而受力或比例的原理制成,所用的各种弹性元件有:金属风箱、金属膜片以及单圈的或多圈的弹簧管等。

由弹性元件制成的压力表,具有结构简单、可靠、对振动不太敏感,以及安装时无需严格的保持水平等优点。其测量范围从 -1 至 10000 个工程大气压,因而应用非常广泛。一般制

成准确度級为1.0, 1.5, 2.5及4.0的实用仪表与准确度級为0.2, 0.35, 0.5的范型仪表。

弹簧管压力計 如图2—7所示, 取一断面近似椭圆, 一端封閉的弧狀弹簧管, 設其圓心为0, 当管内外处于大气压力之下时, 弧的圓心角为 α , 椭圆截面短軸的長度为 e (等于 AA' 或 BB'), 并令 R 与 r 分別代表 OB 与 OB' 的長度。若相对于管外大气压力而增減管内压力时, e 必有变化, 从而引起其它量的变化, 但是弧長 $\widehat{AB}$ 与 $\widehat{A'B'}$ 是不变的。若令 e' , R' , r' 与 α' 代表变化后的各項数据, 則由于

$$R\alpha = R'\alpha' \text{ 与 } r\alpha = r'\alpha'$$

二式相減得

$$(R-r)\alpha = \alpha'(R'-r')$$

或

$$e\alpha = e'\alpha'$$

設

$$e' = e + \Delta e \text{ 和 } \alpha' = \alpha - \Delta \alpha$$

由此可得

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta e \cdot \alpha}{e + \Delta e}$$

从上式可知, 在彈性限度內, 因变形 Δe 比短軸長度 e 小的多, 因此可以足够正确的認为被测压力与弹簧管轉角 $\Delta \alpha$ 成比例, 仪表有着均匀刻度。当所测压力大于大气压力时, 轉角 $\Delta \alpha$ 为正 (即 α' 減少), 那么当被测压力低于大气压力时, 則轉角为負 (即 α' 增大)。显然弹簧管的短軸 e 愈小, 中心角 α 愈大, 在同样的变形 Δe 下, 轉角 $\Delta \alpha$ 愈大, 因此弹簧管都作成即扁而薄的形狀, 对于指示用的弹簧管一般作成中心角为 270° 的弧狀管, 而記錄式仪表一般采用多圈式弹簧管。

弹簧管压力計: 它是用弹簧管制成的彈性體压力計。圖2—8所示为工業上應用最广的弹簧管压力計, 它的最通用的名字就是“压力表”。圖中2为弹簧管, 其自由端通过連桿6、扇形齒輪7帶动小齒輪, 压力表的指針就安在小輪軸上。弹簧管自由端的角位移一般只有 $5 \sim 20^\circ$, 但由于扇形齒輪及槓桿的放大作用, 使指針的角移达到 270° 。游絲10旨在消除齒輪間与槓桿間連接处的間隙。指針的行程可由改变連桿6左端在扇形齒輪桿槽內的位置而加以調节。弹簧管的材料与固定桿的焊接: 低压的用黃銅与錫焊; 高压的用磷青銅、鋼与銅焊, 为了避免腐蝕, 有时需用不銹鋼弹簧管。

为了保証压力表准确与持久, 就要把弹簧的彈性后效, 殘余变形等現象減小到最小。为此一般弹簧管均采用等于2的强度系数, 即最高工作压力不超过其彈性比例限度的50%。例如, 比例限度为16公斤/厘米²的弹簧管压力表, 其量程應为0~8公斤/厘米²。

弹簧管压力表的測量范围約为0.3~10000公斤/厘米² (表压) 与0~760毫米水銀柱的真空。兼有表压和真空刻度的叫做真空压力表。只測真空的叫真空表。

圖2—10为帶有电触点的信号式压力表。动触点2与压力表指針相連; 靜触点1与4的位置可由另外两个指針来調节以选择發出信号或報警的压力范围。3与5为信号灯, 电鈴或發話器等。在有爆炸危險的气氛中裝有信号压力表时, 應采用防爆式的。

为了增加弹簧管的灵敏度, 可以做成多圈式的。圖2—11为螺旋形弹簧管, 也有各圈盤在同一平面上的, L形桿3伸入弹簧管內部的一段把弹簧管的自由端与軸4連接起来并焊牢。軸4的前端上固定着金屬片6, 在片6上有游标8并借拉桿10与曲軸9以牽动記錄笔弓架11及記錄笔13。調节微动螺桿7可以使8沿6上下移动以校准記錄笔的行程。記錄笔的零点則可用零点調节器12来进行粗略調节, 精細的零点調节則需用螺絲刀在弓架11的缺口內进行調节。

膜式压力計: 它是利用薄膜式彈性元件制成的压力計, 圖2—12与圖2—13所示为具有水

平刻度与垂直刻度的两种膜式低压计,用来测量16~2500毫米水柱间的低压与检查炉膛或烟道内±220~500毫米水柱间的压力变化。一般均为2.5级的仪器。图(2-12a)中:1为导压管,8为弹簧片,在金属架9上有许多用来校准刻度的小螺钉。当鼓膜2在压力相对于膜外大气气压而变化时,膜片即收缩或膨胀并借机件4、6与7等使指针5发生相应的偏转。此外10与11为调节指针另点的机构,12为小弹簧(游丝)能产生使指针趋向零点的小转矩,用克服机件间的空隙与松动,以减小仪表的变差。图2-13中,1为表体,2为金属壳,壳间夹着带有夹板4的折膜3。当膜下压力变化时,夹板4借弹簧6的作用而比例的上下移动,并通过其它机件使指针7尖端沿刻度9产生相应的位移。指针的零点与行程可由改变销子5与弹簧片6有效长度来调节。

风箱式压力计:它是利用波纹筒式弹性元件制成的弹性体压力计。图2-15为风箱式压力计的一种,其准确度级为2.5级。测量范围有0~0.3, 0~0.5, 0~1与0~1.6公斤/厘米²等几种,其中0~1的常用作气动式远传讯仪器的受讯器(二次仪表)。图中2为风箱,装于金属壳与底座之间,风箱内有负荷弹簧以保证风箱底的位移比例于压力的变化。待测压力由管1导入。风箱底的移动藉杆3与L形横杆牵动记录笔。杆3上端在杆4槽内的位置可用微动螺桿6调节以校准记录笔的行程。记录纸由发条钟或电钟驱动的。

第3节 压力表的选择、安装与校验

一、压力表的选择 选择压力表是根据测量要求确定压力计的类型,量程与准确度级。选择之前要考虑以下问题:

(1) 被测压力的数值与特点(即是恒定的或变化的,以及变化的剧烈程度),以及被测介质的物理与化学性质,如粘度、温度、有无腐蚀性,有无固体颗粒等。

(2) 测量地点的工作条件,如有无振动,清洁度,环境温度的变化等。

(3) 测量精确度,经济方面以及其它要求。

量程选择是依据被测压力的最大值及其特点确定。对于工业上常用的弹性体压力计,一般遵照下述原则:若被测压力是恒定的或变化平缓的,所采用的仪表适用于仪表刻度的1/3~2/3范围内。若被测压力变化剧烈时,适用于仪表刻度的1/3~1/2范围内,如某被测压力当工作过程中在3~5公斤/厘米²变化,若变化很慢则采用刻度为0~8公斤/厘米²的压力表;若变化很快时应采用刻度为0~10公斤/厘米²的压力表。对于非弹性体压力计,则被测压力的最大值应接近仪表允许的最大值,但不能超过此值。

选择压力表的准确度级时,应考虑被测介质的物理与化学性质以及工作条件对测量可能带来的附加误差。一般而言,仪表的准确度级要高于测压精确度的要求,相差多少主要取决于附加误差的大小。选择准确度过高的仪表是不经济的。

压力表型式在量程与准确度级确定之后,可以参见下表选择。若有其它特殊要求时,如远距离测量等,可以采用电动或气动远传讯仪表。

表 2-1

测 量 范 围	被 测 介 质	精 确 度	压 力 计 类 型
真空—0	气体	±1毫米水银柱	水银真空式压力计(单管)
	液体	±2毫米水银柱	弹性管真空表

0—±800毫米水銀柱	氣體或液體	±2.5%	膜式抽力計或壓力計
0—±160毫米水柱或水銀柱	氣體或液體 靜壓<16公斤/毫米 ²	±1.5%	環形壓差計
0—±100毫米水柱	氣體或液體	±1毫米水柱	斜管式壓力計
100~1000毫米水柱或毫米水銀柱	氣體或液體 靜壓<5公斤/毫米 ²	±1.0毫米水柱或水銀柱	U形管壓力計
0~30公斤/毫米 ²	液體易結凝固	±1.5%	膜式壓力表
0~1000公斤/毫米 ²	氣體或液體	±1.5%或±2.5%	彈性管壓力表
1000公斤/毫米 ² 以上	氣體或液體	±1.5%或±2.5%	電測壓力表

二、壓力表的安裝。壓力表安裝的正確與否，直接影響測量的精確度，因此在選擇壓力表時所考慮的一些問題，在確定安裝位置與保護裝置時，仍要予以充分重視。

安裝壓力表時應先在設備或管綫上需要測量壓力又不易堵塞的地方鉗一個8~10毫米的光潔圓孔，然後在孔上焊一銅質管箍。導壓管一般都用 $\frac{1}{2}$ "的，在導壓管綫上應適當的使用針閥與活接頭（有尼）以便利裝拆與檢修。如圖2—15所示，流體有腐蝕性或易凝結時，應採用適當的隔離設備（圖a）；壓力波動頻繁劇烈時，應採用阻尼罐（圖b）；測量蒸汽或高溫流體的壓力時，應加一段紫銅廻弯冷凝管（圖b）以免彈簧管受熱損壞或由於熱膨脹而產生的誤差。

導壓管一般不超過50米，過長將增加測量上的滯後；在測量高處的壓力時，若導壓管內充滿液體，則需考慮到液柱靜壓對讀數的影響。

三、壓力表的校驗。為了保證測量的可靠性與生產的安全，必須定期對壓力表進行校驗，所謂校驗是用準確度級高的範圍型儀表校對工業用壓力表的刻度。

為了保證壓力測量的可靠性與生產的安全，必須根據規定的期限按時對壓力表進行校驗。未經校驗並打上鉛封的壓力表是不許使用的。圖2—16所示為范型壓力表（或真空表）的外形。其刻度均為300°的圓弧，每度一個分格，刻度盤上註明壓力表的量程。使用時須標出相當於每一度的壓力。范型壓力表的準確度分為0.2與0.35的兩種。

圖2—17為范型活塞式壓力計，準確度級為0.02、0.05與0.2等三種。圖中1與2為精密加工，用以產生標準壓力的活塞與活塞桿，3為砝碼盤，與2連在一起，用以承受砝碼4，使用時，把待校驗的壓力表接在接頭6上，關閉左邊的針閥8與針閥9，打開右邊的針閥8與針閥7。用手輪10將帶有革碗的活塞5旋出，將機油由油杯11內吸入系統中，然後安好活塞桿2，依次增加砝碼並將活塞5適當地旋進，使活塞桿浮起。比較由砝碼的重量通過活塞的截面積作用在油上所建立的標準壓力與壓力表的讀數。比較時，應保持活塞桿有輕微的旋轉以消除1與2相對運動時由於油的粘滯作用所引起的誤差。工程用壓力表可直接與范型壓力表比較，以進行速校驗。范型壓力表則需用活塞式壓力計來校驗。經過修理調整後，被校驗壓力表仍超過準確度級所規定的許可誤差時，就不應當再繼續使用。如果不知道原來壓力表的準確度級時，就按下面的規定：0~20公斤/厘米²的壓力表誤差不得大於0.2公斤/厘米²，0~50公斤/厘米²的壓力表誤差不得大於±0.3~0.5公斤/厘米²，0~100公斤/厘米²壓力表誤差不得大於±0.5~1.0公斤/厘米²。

第4節 深井壓力測量與儀表

一、井內壓力計的要求

油井内压力计是用于测量和记录作用在自喷井，压裂井，抽油井以及注水井的井底及井身各处的压力的仪表。

为了合理开发油田，正常进行油井生产，为了监察油井的工艺生产条件，需要研究和决定油井一系列技术参数，这些参数的研究和决定都要求要进行油井压力的测量，

它的任务不外是：

1. 研究井底驱动能力消耗及衰退的规律，测定井底静止压力恢复曲线，从而决定合理开发油田的措施。

2. 测量沿井身压力的变化情况，以决定原油开始气化及结蜡时的井深。

3. 测量各油井井底压力，从而指示出并掌握油层各点的压力变化情况。

4. 决定油层压力的变化情况，从而找出采用保持油层压力方法及油层压力的变化趋势。

目前井底压力测量多是將特殊结构的井底压力计放入井内完成的。

提出以下几方面的要求：

1. 测量范围与准确度：油层压力一般是较高的，井内压力计要测量高达 $200 \sim 300$ 公斤/厘米² 的压力，在试油试井过程中又常常需要测量很小的压力，例如当决定油层动压力的变化情况，注水注气及采油时，各井的互相影响时，要测量 0.1 公斤/厘米² 的压力。

目前使用的最准确的油井压力计，例如：MTI—2Y 型，其准确度级是 0.35 ，也就是说当已测量的压力是 200 公斤/厘米² 或 300 公斤/厘米² 时，其误差将达到 ± 0.7 公斤/厘米² 及 ± 1.05 公斤/厘米²，显然这是不能满足要求的。为此使用了微差压力计。

2. 具有自动记录装置：完成上述第一、二项任务，需要记录沿井身压力的变化，需要记录关井后，井底压力由流动压力变为静止压力的变化曲线。目前采用最多的是将压力计放在井内来测量，用时钟带动记录机构，当测量静止压力的恢复曲线时，常要求几昼夜的时间，一般的时钟机构不易达到这个要求，从此观点来看，利用地面装置对井底压力进行远测是比较适宜的。因地面的时钟机构可以人为使其长期运转。

3. 测量仪表的尺寸要较油管径小，以便自油管内下入井底，并且不妨碍正常生产，要能承受井底的高压和一定温度的影响，因此又要求有好的密封性，将记录，测量机构与井内高压介质隔开，通常还装有温度表以便对井内温度变化所引起的误差进行校正。

4. 使用上通常利用专用的绞车通过钢丝将压力计放入井内，需注意防喷，又能顺利下放。下放前要严格检查密封装置及时钟机构动作是否正常，下放时要防止钢丝打结而折断，为此在压力计下面常附有加重杆，以保证顺利下放，尤其在产量大含蜡多的油井内更为重要。要注意绞车上转数表的读数，以便准确的停在需要测压的深度，并防止压力计下放过头，而撞入井底。

5. 在地面上对井底压力进行远测，这不但更方便，而且可避免下放压力计对生产的影响和可能产生的事故，但要解决井底发讯器和井底到地面的通讯问题，目前还未得到完善结果，这是发展方向。

二、常用的井底压力计

在我国和苏联广泛采用的是 MTI 型螺旋管式自记压力计。也用弹簧活塞式自记压力计 MTI—3 型及其他类型的压力计。今重点介绍于后：

1. MTI 型井压力计，它的基本原理是由测压的敏感元件带动记录笔，由时钟机构带动记录卡片。作用原理见图 2—18。压力计放入井内后，压力介质自孔 10 进入仪表，作用于波纹管 8 上，波纹管与螺旋弹簧管 5 内充满着液体，弹簧管的一端在波纹管上，另一端固定在

軸11上, 当井內压力变化时, 彈簧管5变形使11轉动, 11裝有記錄笔12, 它在卡片滾筒4內的卡片上画出压力的变化, 卡片紙滾筒由时鐘机构2經螺桿3帶動作上下移动。記錄紙是塗有鈦白和腊的紙或与白粉紙。用塗有鈦白卡片记录时, 使用鋼制笔尖, 使用白粉紙记录时用黃銅笔尖。用1.6到2.0毫米的鋼絲連接在仪表的懸掛器上, 將仪表放入井內。仪表下部裝有最大溫度計, 以便引入溫度校正值。

МГГ-2Y型井底压力計的結構見圖2-19, 有压力的液體經濾器6壓縮風箱7, 使彈簧管11帶記錄笔19旋轉, 記錄紙筒16由时鐘机构24通过螺桿23使其上下移动, 就在記錄紙上画出了井內压力随時間的变化曲綫。記錄紙筒自最上移到最下位置所需時間可由改变螺桿23的螺距来調节, 在3.3到15小时之間, 压力的測量極限值有50, 80, 120, 160, 200, 250, 300和400公斤/厘米²几种。仪表工作溫度的極限值为100°C。仪表下放的深度由下放仪器用的絞車上的轉数表指示。

在使用时需注意防止油流上頂仪器或因管壁結腊而使仪器不能自由下放, 可在下部連上加重桿。下放前應先注意檢查密封和鐘表机构是否正常。

对測量所得圖紙进行分析时, 因記錄紙尺寸很小, 需要專門的放大器或精确測量, 然后根据溫度校正曲綫加以校正。这样МГГ型井底压力計的准确度可达0.35到0.50。

2. МГП型井底压力計, 它是利用液體压力作用在活塞上所产生的位移来測量的, 其原理如圖2-20所示, 液體自孔8进入压力計, 經濾器5进入裝有彈簧4的空間, 其压力作用在活塞3的下端, 推动其上移并与彈簧4变形后的彈力相平衡, 压力越大, 彈簧变形越大, 活塞3帶动的記錄笔7上下移动的距离越大。記錄紙筒2由时鐘机构1帶动其轉动(这与МГГ型井底压力計相反), 这样在記錄紙上即可画出井內压力随時間的变化曲綫。这种压力計的結構見圖2-21。

3. ДГМ-4型井底微差压力計

測量井內压力恢复曲綫及微小压力变化时, 上述深井压力計是不适用的。因为它要求准确度級为0.35的压力計, 即当油井压力为200个大气压时, 僅允許有0.7个大气压的誤差。

ДГМ-4型微差压力計的工作原理如圖2-22所示。它是基于預先在活塞上部充入气压与井內压力相抵消的方法进行測量的。既当井內压力只由高于預先充入气压时, 活塞16向上位移, 气压升高并与井內压力平衡。該位移由上部記錄机构記錄出来。

充气工作在仪器下入井內以前进行, 步驟如下: 在彈簧8及短节11的位置上插入特制針閥, 閥桿可以打开或关闭閥門13, 壓縮空氣可由此进入。由于氣體压力与溫度有关, 充气前將压力計放入水池內預热15~20分鐘, 使溫度稳定(即仪器內溫度同于水温), 并檢查絲扣連接处的密封性。

充气压力按下式計算:

$$P = P_0 \frac{T_3}{T_{CK3}} + 0.5$$

式中 P——充气压力;

P_0 ——井內測定点的压力(大气压);

T_3 ——水池水温°C;

T_{CK3} ——井內測定点的溫度°C;

P_0 及 T_{CK3} 由一般井底压力計測量, 公式中附加的0.5是为了补偿閥門上端与下端間彈簧力之差值。

充气时,在进入压力计的空气压力作用下活塞移动到最上位置,其帽顶在压力室的下端。在气压作用下活塞中的阀门打开,活塞上下空间联通,当仪器内压力高于上式计算值20%以后,拆去进气管线,停止充气,逐渐放气,使其内部压力达到计算值为止。活塞中阀门2在弹簧1作用下重新关闭,活塞就移到最下位置。

热稳定后,将针阀自阀门座上拧下(图2-23a,弹簧的作用使阀门压紧在阀座上),装好弹簧与短节,拧上下接头后,即可把压力计下入井内。一般用2米/秒的速度下放仪器,在下放到预定点之上100至200米时,停留10~15分钟,使其热平衡。然后再下放到预定深度,此时上下提降仪器,以使阀门确实打开。阀门打开后室14与井底联通,井内压力变化,在活塞上下形成压差,从而推动活塞上移,改变压力室14的体积直到平衡为止。活塞移动经杆16由记录笔记录在卡片上。仪器由井底取出后,所记录的压力变化曲线需经下式计算:

$$\Delta P = P_0 \left[\frac{1}{(1-mh)\varphi} - 1 \right]$$

式中 ΔP ——压差(公斤/公分²);
 P_0 ——测量点的绝对压力(大气压);
 h ——卡片上座标长度(公分);
 m ——仪器常数(公分);
 φ ——非理想气体的修正系数。

在很多情况下应用简化公式(具有1~2%的误差),不考虑空气压缩性对理想气体定律的偏差。

$$\Delta P = P_0 \frac{h}{m-h}$$

这种仪器(图2-22)的基本原理是利用井内压力和压缩空气的压力平衡。压缩空气是充满在仪器压力室中的。接头1系在下放仪器用的钢丝,它与接头2拧在一起,接头2的下端与管3密封连接,管3内装有记录机构(是由时钟4,卡纸滚筒7和记录笔所组成的)。滚筒7由时钟机构通过系杆5和6带转。管子3的下端密封连接缸体15,其内装有固定在杆12上的活塞16。

ДГМ-4型的最大压力是200公斤/厘米²,测压差范围是最大测量压力的10%,刻度尺长100毫米,灵敏度是0.005,外径36毫米,长度1400毫米,重5.5公斤。

由于以下缺点,ДГМ-4型未得到广泛应用:

- 下放仪器入井的手续很麻烦——充入空气和使之热平衡。
- 此仪器需在高于测点温度中进行热平衡。
- 压缩空气易自螺纹连接和阀门处漏失。

四、МГД-2型井底差动压力计:

МГД-2型与ДГМ-4的主要区别是它们所能测量的绝对压力的数值及量程范围不同。МГД-2型的主要优点是使用简单,因为它不需预先充满压缩空气以及绝热,工作比较方便。

МГД-2型井底差动压力计的工作原理如图2-24所示。

在仪表中共有3个工作室,A室通过孔3与外界介质相通,室中装有记录机构。B室中充满油液,通过流道7与A室相通,流道可以通过阀5关闭。在连接接头13中,活塞6通过橡皮密封环8自由运动。B室充满空气,具有一个大气压,用接头12与B室隔开,通过接

头上的橡皮密封环11, 活塞10自由运动。活塞10上面裝有彈簧9, 压力的变化由记录笔4記在繪圖紙上, 繪圖紙捲裝在由时鐘机构1帶动的滾筒2上, 记录笔藉助彈性支架固定在活塞6的上端, 活塞6座在活塞10上。

当沒有工作压力作用时, 在一个大气压工作下, 活塞10处于上边極限位置, 这时若使裝繪圖紙的滾筒轉动, 則如圖2—24所示在繪圖紙上將要描繪出一條0—0的另点直綫, 当將仪表下入井內后, 閥5打开, 并且使A室与B室相通, 这时外面介質的压力, 經過孔3和流道7作用在活塞10上, 在压力作用下, 活塞10將要在B室中間下移动, 由于B室中是一个大气压, 因此在压力差的作用下, 彈簧9伸張一段長度, 其伸張長度与被測压力成正比, 这时由于活塞6是座于活塞10上面的, 因之它將下行一段距离, 并且用记录笔在繪圖紙上画出m—n。

当仪表停放在一定井深时, 則记录笔將在繪圖紙上画出一條不变的压力綫n—f。用于关闭閥5的控制机构应当在一定井深时能使閥关闭。这时由于閥5的关闭, 將使A室与B室隔离开。若当閥关闭后, 將仪表提起100米, 若介質比重为1时, 則外面介質的工作压力大致將減小10公斤/厘米²。

由于彈簧已在压力作用下因活塞10移动而伸張, 当將仪表提起100米时, 則活塞10(压力減低)升到一定的位置, 并且与这时外面介質的工作压力相适应。

因为室B中充滿油液, 而活塞10的面积較活塞6的面积大10倍, 于是活塞6向上移动的距离將較活塞10大10倍。这时记录笔画出了曲綫f—k, 而活塞6与活塞10相隔的距离与f—k的距离恰好相等。

此后, 若在井口將采油树关闭, 則井中的压力將要升高, 这时由于上下活塞的面积差, 于是当A室与B室隔断后记录笔移动的距离比反應測量压力大小的活塞10移动的距离大10倍, 因之即可使測量仪表的灵敏度提高10倍。

整个仪表的結構組成如圖2—24所示。

仪表下入井內时, 是借用固定連接在接头1上面的懸繩器。帶有繪圖紙的滾筒7是借用时鐘机构2通过傳动器4來傳动旋轉的。时鐘机构的軸与減速器的軸是借用齿式联軸器3相連接的。滾筒軸在联軸器中用橡皮的自动封严盤根环6密封好。

仪表的內腔与外面的介質經過孔及濾器5相通。被測压力用固定在小活塞10上面的记录笔9进行记录。活塞10經過特殊的減載橡皮密封环14在压力計的管體21內移动, 小活塞22的重器19座在大活塞的加桿20上。

小活塞10圍繞自己的軸綫的旋轉运动是藉用導向器11來防止的, 導向器11与小活塞用接头的絲扣連接在一起。在滾筒上固結有繩索8, 它每經過一定的時間間隔即拉动槓桿12, 并且使它旋轉起動, 在槓桿的下面具有在閥15中進出的銷釘, 在彈簧13的作用下, 閥15將座在閥座16上而將其关闭, 同时將压力室与具有記錄机构的工作隔开, 大直徑的活塞22藉用彈簧18來操縱, 而彈簧借固定器17固定在管體上, 活塞22經過自动封严的橡皮盤根杯23, 在具有大气压力的工作室中移动。这个工作室由管體24形成, 为了測量仪表內温度的变化, 裝有最大溫度計26, 它和金屬的心軸27一起裝在筒體28中, 为防止劇烈振动, 裝有橡皮減震器25和29。

仪表的測量極限是115公斤/厘米², 压差極限是15公斤/厘米², 也就是說記錄压力的最大範圍是15公斤/厘米²。仪表的灵敏度界限是0.05公斤/厘米², 仪表的長度是1.7米, 直徑是35.5毫米, 重量是9公斤。