

鑽井儀表自動化

自動化教研室編

北京石油學院

一九六三年八月

序 言

随着生产的发展，对测量仪表和自动化提出了越来越高的要求，而测量仪表与自动化技术的发展又促进了生产的发展。石油矿场目前的生产过程中，没有仪表对各种操作情况加以检测，要正常生产是很困难的。由于生产力的发展，生产过程的处理量加大了，速度加快了，操作工艺更加复杂，要保证一定的产品质量和数量，提高生产率，保证生产的安全，节约原材料，减低劳动强度和节约劳动力，延长机械设备的寿命与利用率，要求利用仪表的检测结果。

对生产过程进行自动化，包括生产过程中各种参数的测量与记录，各种机器设备正常工作状态及处于危险状况时的信号与自动保护，维持某些参数为所希望数值的自动调节和改变机器工作状态时的自动操纵，如电机的启动停车等。

几乎所有生产过程都提出了这四項要求。在一个自动化系统中，这四种自动化方式多是同时具备的，而且是互相联系的。随着生产水平和自动化技术水平的不断提高，由最初只对某一生产过程或装置进行自动化，逐步发展到对全部生产过程进行自动化，而大体上形成了下面的发展阶段：

1. 局部自动化：只对某一生产过程或某一生产装置进行自动化，这是自动化的最初阶段。

2. 综合自动化：对所用的生产过程和生产装置进行自动化，可以根据他们之间内在的联系，更好的更合理的进行控制。

3. 全盘自动化：除生产装置外，对辅助装置如供水和供暖等也进行自动化，因而更多节约了劳动力，使工人主要从事于自动装置的维护与运行工作。

对于不同的生产过程实现自动化，在原理及其所用工具方面很多是相同的，但又各具有自己的特点，对于石油矿场生产过程来说，大体上具有以下特点：

1. 生产过程很多是在露天下进行的，劳动条件很差并处理着易燃的、含砂蜡及其他机械杂质的有腐蚀性的原油、石油产品或天然气。因此在安全防爆，可靠性，经济性方面对自动化系统及其装置提出了较高的要求。

2. 被控制的生产对象多是分散的，数量也很多，例如数量很多的油井是分散在矿区内，输油站是沿着管线分布的，为实现上述自动化内容，需要进行远距离测量，远距离控制、远距离信号和远距离调节——实现远动化，它不仅要解决远距离传送信息的问题，也要解决数量很多的信号如何最有效最经济的传送问题。对于井底参数的测量，也是一个特殊问题。

3. 对生产过程进行自动操纵的任务较多，对于自动调节的要求一般是不高的，在自动化的四个方面都有着自己的特点和要求，如井内参数的测量问题，各种特殊生产装置的自动操纵问题，输油泵站和钻进过程的自动调节及其自动操纵问题，矿区和油库的远动化和自动操纵问题……等等。

矿场生产过程的这些特点迫切要求实现机械化与自动化，世界各国都在这方面进行了很多工作，钻井过程中已经出现了各种型式的起下钻机械化自动化装置和钻机，钻进过程的自动调节自20年代起到现在，出现过不少自动机，不断的有所改善，但是直到目前为止做为钻井主要过程的起下钻和钻进过程的自动化尚未得到很好的解决，是正在进行进一步研究的问

題，这是因为钻井过程是比较复杂的，很多规律还没有掌握。在采油过程中，各国已出现了不少矿区自动化远动化系统，即在各油井和集输油装置实现局部自动化的基础上，通过远动系统，在中心调度站对整个矿区的生产进行检测记录和控制，长距离输油输气管线的自动化远动化系统也出现了不少，这首先要求泵站和压缩站的自动调节、自动操纵和保护的实现。现在已经提出了更进一步的综合自动化和全厂自动化问题来了，例如苏联已经在研究将各油井的生产状况，通过远动系统送到中心调度室内的电子计算机，迅速的计算出油田的动态，并确定合理的开采方法和措施的綜合自动化系统。显然，这种自动化系统必然促使采油生产水平的大大提高。在我国，目前这方面的生产水平还是較低的，但随着生产的发展，矿場生产过程自动化的问题已经提出来了，并将日益显視其重要性。几年来我国的科学技术人員和广大工人群众在这方面已经进行了一些試驗研究和革新，今后有待于我們的积极努力，而首先的问题是研究解决各种自动化技术工具，并同时发展自动化远动化方法的研究試驗工作，以使我国石油工业生产水平更快提高。

須要指出的是：不同社会制度下，生产自动化会产生两种截然不同的社会后果。在社会主义制度下，生产自动化能够提高劳动生产率和产品质量，加速生产的发展，改善工人的劳动条件，減輕劳动强度，促进人类的物质文化水平不断的提高，并可以增加人类的新的力量，是建設共产主义社会的物质技术基础。但是，在资本主义制度下，由于生产资料为垄断资本所把持，自动化的结果只能使失业现象扩大，劳动者被剥削的程度加深，自动化不能減輕劳动人民的贫困，却只能为垄断組織带来更大的利潤，不但意味着相对人口过剩和工人的大量失业，而且带来了生产过剩的危机；不僅沒有減輕工人的劳动强度，而且使工人从事着更加紧张、更加繁重的半技术或非技术性的劳动。在资本主义社会，生产自动化和新技术的发展就这样加重着对工人階級的压榨，并把资本主义社会生产力的发展和资本主义生产关系的矛盾推到一个新的阶段，从而大大加剧了资本主义国家内的階級矛盾。

掌握测量和仪表的基本原理和方法，从而掌握测量时一般應該注意的问题和一些主要仪表的正确选择、使用 and 安装，了解本專業范围内自动控制的问题及基本原理，对于从事工业生产的技術人員来说是一个基本知識，因为这些直接关系到生产过程是否能够正常进行，以及怎样得到最好的生产状况，这些也是对同学们学好这门课程的要求。

要学好这门课程，需要根据这些要求和课程技术性较强的特点，除了認真掌握教师在課堂講授的内容外，要非常重視实验課和結構課的作用，多观察，多注意动手方法，在學習中还要注意掌握重点，經常以生产中的实际问题，做为深入思考和深入學習的问题，把所学知識在实际中加以运用。

本書考慮了上述自动化内容和矿場生产特点，根据現訂各專業教学计划和教学大綱的精神，以及几年来的教学經驗，在1962年本院編写的“石油矿仪表自动化”講义的基础上作了較大的修改，并按專業重新編写了“钻井仪表自动化”及“采油仪表自动化”兩本書。

参加这次編写和審閱的有袁璞、毛宝瑚、袁盛梧、單嘉华、趙玉珠、黃汉光等同志，由袁璞主編。由于編者水平所限，遺漏錯誤之处在所难免，誠恳的希望讀者予以指正。

目 錄

序言

第一章 測量与仪表概述	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 概述	2—1
第2节 液柱式压力計	2—1
第3节 彈性體压力計	2—5
第4节 压力表的選擇、安裝及校驗	2—8
第5节 深井压力測量与仪表	2—11
第三章 流量与物質性質測量	3—1
第1节 速度式流量計	3—1
第2节 容积式流量計	3—2
第3节 节流式流量計	3—3
第4节 定压降式流量計	3—8
第5节 偏心輪式流量計	3—10
第6节 泥漿比重的測量	3—12
第7节 泥漿比重与粘度的連續自动測定裝置	3—13
第四章 鉆压測量	4—1
第1节 液力指重表	4—1
第2节 电力指重表	4—5
第3节 直接測量和記錄鉆压的仪表	4—11
第4节 井底鉆压測量的一般方法	4—14
第五章 溫度的測量	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 測量元件的安裝校驗	5—27
第六章 送进量測量	6—1
第1节 进尺測量	6—1
第2节 机械鉆速測量	6—4
第3节 行程鉆速測量仪器裝置	6—5
第七章 轉数的測量	7—1
第1节 离心式轉速表	7—1
第2节 磁轉数表	7—2

第3节	测速电机.....	7—4
第4节	漏輪轉数的測量.....	7—5
第八章	自动化概述.....	8—1
第1节	钻井过程的自动化概述.....	8—1
第2节	自动調节的基本概念.....	8—3
第3节	調节对象的特性.....	8—7
第九章	钻具送进的自动化.....	9—1
第1节	液力自动送进裝置.....	9—1
第2节	ΔH—1型电—气自动送进裝置.....	9—3
第3节	电动自动送进裝置.....	9—8
第4节	井底送进裝置.....	9—11
第5节	自动控制钻具送进的原则与方法.....	9—14
参考文献		9—16

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：它是与观测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，向观测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。减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；而測量长度是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另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 ——被測量的变化值。

能使仪表指針發生位移的被測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。

測量仪表在外界条件不变的情况下，多次測量某一真实被測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。按照讀数再确定的測量的数值叫做仪表的指示值。确定仪表指示值的方法常是将仪表讀数乘以仪表常数或其分度值。例如鉗井用的指重表，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. 正确選擇仪表的量和准确度級，通常被測量变化范围的上下限越接近仪表測量范围的上下限越好。例如欲測温度在 $50\sim 80^{\circ}\text{C}$ 之間变化，要求測量結果的绝对誤差小于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，若有两个准确度級均为 1.5 級，量程分别为 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 和 $0\sim 500^{\circ}\text{C}$ 的两个温度表，則对于前者可能产生的基本绝对誤差 $\leq \pm 100 \times 1.5\% = 1.5^{\circ}\text{C}$ ，对于后者可能产生的基本绝对誤差 $\leq \pm 500 \times 1.5\% = 7.5^{\circ}\text{C}$ ，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. 正确使用和安裝測量仪表，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。实际使用和安裝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測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。随被測量不同，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. 对一个被測量进行多次測量，以减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，誤差常不超过预先規定的数值，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

第1節 概 述

石油矿場上广泛存在压力测量的問題，是由于压力大小为判断机械設備运行情况及鑽井工艺过程的重要参数。如測量泥漿泵出口压力，可以判断泥漿的流动狀況、泵的工作状态等，以及时采取措施防止蹩泵蹩钻。再如柴油机油压表指示是判断潤滑系統工作的主要依据，其它如深井压力，压气罐气压等測量，对正确使用維護設備、防止事故产生，保証生产过程的正常进行起着重要的作用。

所謂压力是指垂直作用在單位面积上的分布力。通常它用绝对压力、大气压力、表压力、負压力及真空度表示。绝对压力亦称全压力，它是單位面积上作用的全部压力。表压力是作用在單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，其差称作負压力。真空度为大气压力与負压力的差。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較多的應用。

常用的压力單位有：

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毫米垂直的水銀柱的高度所产生的压力（水銀在0°C的重度为13.595克/厘米³）
3. 毫米水柱或毫米水銀柱：常用以表示低压（水4°C）。

此外，还有米水柱、公斤/米²以及其它各种單位。各压力單位間的关系是：

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

压力測量仪表有許多型式，一般常用的压力表可按下面分类：

按照压力測量仪表的工作原理，可以分作五种类型：液體的、彈性體的、活塞的、綜合的、电气的。

按照用途压力表又可分作标准的、范型的和实用的。实用的压力表的准确度級为0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0, 6.0, 其中1.5及2.5級用的最多。范型的压力表用作校驗实用压力表，其准确度級为0.35、0.2、0.1、0.05。标准的压力表用作校驗范型压力計，其准确度級为0.03、0.02、0.01、0.005。

第2節 液柱式压力計

液柱式压力計一般用来測量0.005毫米水柱到1000毫米水銀柱的压力或达760毫米水銀柱的真空。由于它在一定条件下比較容易得到較高的准确度，因此常被作为實驗室用的低压微压标准器。

这类压力計中包括最簡單的U形管压力計与根据同一原理为了適應不同的要求而發展了的其他形式的压力計。

一、U形管压力計如圖2—1所示，設工作液的重度为 γ ，工作液面以上的介質的重度为 γ' ，若双方介質的压力不相等并分別为 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，則根据液體靜力学的原理，可用下式表示这一平衡情况。

$$P_1 - P_2 = h(\gamma - \gamma')。$$

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 等於大氣壓力。當工作液以上的介質為空氣時， ρ' 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於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，當管內液柱升降時，杯內液面總要下降一些，由圖可知：

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

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

若杯徑遠大於管徑時，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，所產生的誤差僅為 0.25%。通常可以忽略不計。

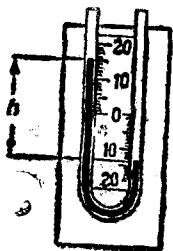


圖 2—1 U 形管壓力計

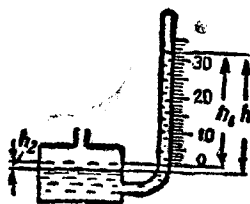


圖 2—2 單管式壓力計

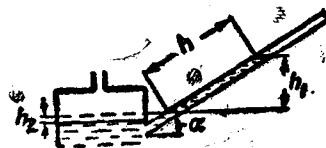


圖 2—3 斜管式壓力計

為了降低毛細管現象所引起的誤差，管徑一般不小於 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，然後乘以斜管傾角的正弦即得所測壓力的液柱高度。

四、將液面位置變化轉換為機械位移的液柱式壓力計

上面所介紹的各構造有一個共同的缺點，就是這些儀表，都只能作為指示儀表，不能作為記錄儀表。要作成記錄儀表就必須將液面的位置變化轉換為機械位移。

屬於這種方法的常用儀表有浮漂式，環管式和復鐘式液柱壓力計等。這裡擬重點加以介紹。

1. 浮漂式壓差計 浮漂式壓差計是用金屬制的特別形式的 U 形管壓力計，能工作於較高壓力下並有較大的動力來帶動指針與記錄筆等。圖 2—4 所示其中的一種，能工作於 160 公斤/厘米²以內的壓力下。圖中 a) 為剖面圖，b) 與 b) 為帶動指針與記錄筆的連動機構。高壓室

1 通过針閥 8 与較高的压力相連；低压室 2 通过針閥 7 与較低压力相連。1 与 2 的底部又用 U 形鋼管連通。兩室內灌有一定量的水銀。当兩室压力相等时，高压室内的鉄質浮漂 3 处于其行程的最高位置。由浮漂所帶动的指針或記錄笔應位于零点。当測量压差时，浮漂 3 随着水銀面下降，借連桿 4 轉动小軸 5 并通过 13、18、19、20 等一系列的連动机件去牽动指針或記錄笔以指出或記下所測压差的数值。小軸 5 位于軸套 6 內，在軸与軸套間可用油槍打入含有鉛粉的潤滑脂以作潤滑与封閉之用。此外，9 为平衡閥，在測量时應关死，打开后兩室压力即趋相等。10 为充入水銀的堵头。12 是圖釘形安全塞，当所測压差过高时即因浮漂 3 压下而將 U 形管管口封閉以免將水銀冲走。11 是洩水銀堵头。

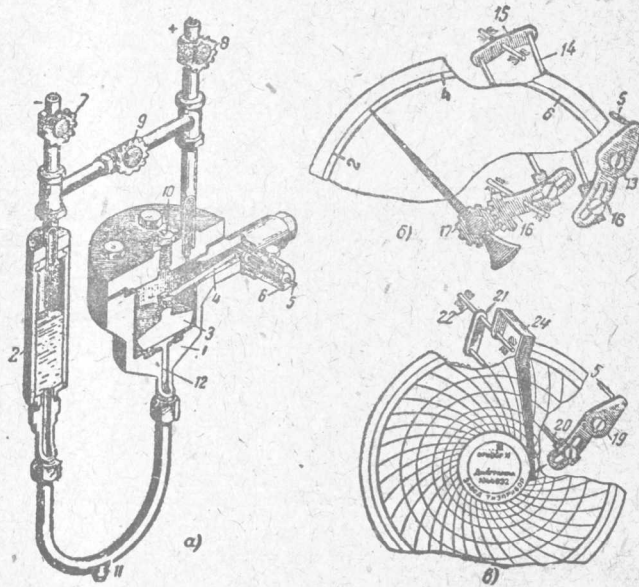


圖2—4 ДП—型浮標式压差計

上述压差計的量程由于低压室（又名量程室）內徑与長度的不同有 40、63、100、160、250、400、630 与 1000 毫米水銀柱等几种可以更換的。每种都可用量程相当的 U 形玻璃管压力計来校对其刻度。压差計均备有水平泡以保証仪器安裝好以后高低压室处于垂直位置。

ДП 型浮漂压差計的准确度級是 1.5，除用以測量低压外，最多的是用来間接測量流量与液面，这些將在以后的章节中講到。

在工厂里，为了操作上的方便，往往需要采用远距离測量。但是，如果用上述压差計直接进行远距离測量时，势必要鋪設很長的導压管，这非但不方便而且會产生显著的測量上的滯后。所以实际上都采用远距傳示式仪器。常用的远距傳示仪器有兩種：电感式的与气动式。后者將在气动式自动調节器一章中叙述。

圖2—5所示为电感式远距傳示仪器的一种。它具有兩個受訊器：一个是指式式的，另一个是記錄式的。圖中 1 为压差計的高压室（浮漂室），高压室盖上装有一段非磁性金属管，管的上端可用堵头封閉，管外套着由兩個相等部分組成的漆包銅綫圈，并可由彈簧 7 与螺套 8 来調节其上下位置。鉄心 5 一般系塗有絕緣漆的硅鋼片卷成并借桿 3 与浮漂 6 相連。压力变化时浮漂 6 的移动改变着鉄心 5 在兩段綫圈內的分布，因而改变了兩段綫圈对交流电所产生的阻抗，这样就使受訊器綫圈內的鉄心 12 發生同样的移动，同时牽动指針或記錄笔并

指出或記下当时的差压数值。圖中22是横梁14与17的軸点。金屬錘13为鉄心12的平衡重量，这样，綫圈兩段内电流稍有不同，鉄心就能輕易地吸动。

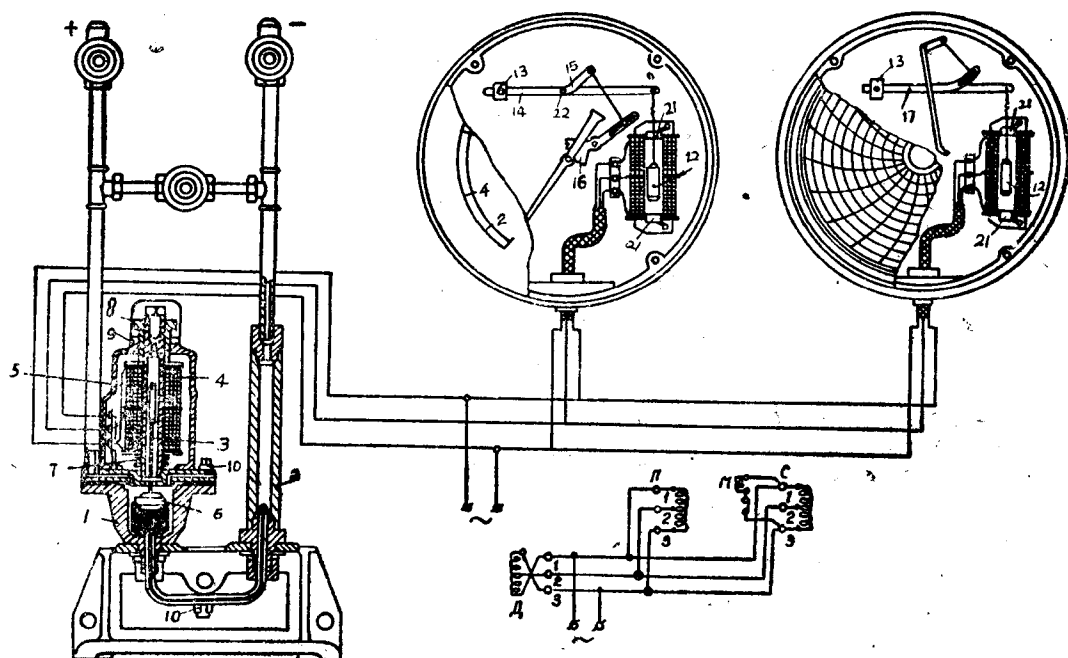


圖2—5 ДПЭС型浮标式压差計及其受訊器

电感式远距离傳示的原理很簡單，由圖2—6所示，就是一只由电阻阻抗組成的交流电桥。由于双方綫圈与鉄心都是相同或相似的，所以只有两个鉄心处于彼此对称的位置时，电桥才能平衡，中綫EF内无电流流过，这时每个綫圈兩段内都通过同样的电流，对鉄心有相等的吸引力，使鉄心稳定而不上下移动。当兩鉄心在各自綫圈内的位置彼此不对称时，由于阻抗分布的不对称，使E、F兩点間产生电位差并在導綫中有电流流过，于是綫圈兩段内电流不等，产生不同的吸引力，直到使两个鉄心重新处于对称位置为止。这样，当一个鉄心随測量元件移动时，另一鉄心也必作同样的移动。这种設備可以用在各种測量仪表內。

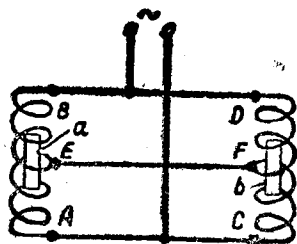


圖2—6 电感电桥原理圖

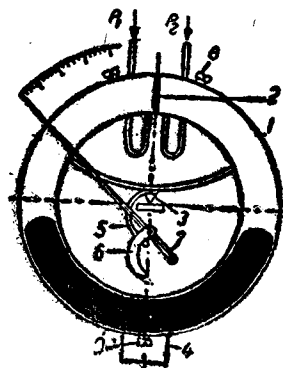


圖2—7 环形压差計

2. 环形压差計，也叫环天平。圖2—7所示为这类仪器的一种。金屬环1下半部灌以工作液體，并由上方的隔板2將所余的空間分为兩段，待測压力由隔板兩側導入，环上下設有充放液體的堵头8与9，环下端按有重錘4，全部机构由橫梁上的刀刃3及其刀槽所支承，类似天平的支点。圖中所示位置为压力 P_1 等于 P_2 的情况。当 P_1 大于 P_2 时，使工作液出現液柱差，由此而产生的轉矩將环以順时針方向旋轉，直到被由于錘4的升高以及轉动系統重心偏离所产生的反力矩所平衡为止，这时弧杆5撥动曲綫板6使指針7轉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，油或水銀，量程不超过160毫米水柱或水銀柱。低压的可用橡皮作導管。仪器的准确度級一般为1.5，常用来間接測量气体的流量。

在使用或修理压差計时，常常要涉及处理水銀的問題。必須注意到水銀是有毒的物質，破裂的皮膚与水銀接触會發生紅腫，而有害尤烈的則是水銀的蒸气。大量吸入水銀蒸气即有致命的危險；无意之間吸入少量的水銀蒸气，日积月累必然招致慢性水銀中毒而产生严重的后果。所以处理水銀时应在特定的設備中进行，并注意遵守有关的安全技术措施。近年来研究出不用水銀而能測量低压的膜式AM型压差計。

第3節 弹性体压力計

这类仪表是根据弹性體在彈性限度內應变正比于受力的原理制成。所用的各种彈性元件有：金屬風箱、金屬薄膜以及單圈的与多圈的金屬彈性扁管等。

由彈性元件制成的压力計都具有結構簡單，結实，不太敏感于震动以及安装时无需严格的保持水平等优点，其測量范围从-1至10000个工程大气压，因而應用非常广泛。一般制成准确度級为1.0、1.5、2.5及4.0的实用仪器与准确度級为0.2、0.35、0.5的范型仪器。

弹簧管压力計

如圖2—8所示，是一段截面近似橢圆，一端封閉的弧狀弹簧管，設其圆心为O，当管内外处于大气压力时，弧的圆心角为 α ，橢圆截面短軸的長度为 e （等于AA'或BB'），并令 R 与 γ 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，从而引起其它方面的变化。但是，弧長 $\overline{AB}$ 与 $\overline{A'B'}$ 是不变的。若令 e' 、 R' 、 γ' 、与 α' 分別表示变化后的有关数据，則

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

得到： $(R-\gamma)\alpha = (R'-\gamma')\alpha'$ 或 $e\alpha = e'\alpha'$

由此可知：若將弹簧管的一端固定，則当管内压力大于管外压力时 $e' > e$ ，所以 $\alpha' < \alpha$ ，即弹簧管的圆心角度小，那就必定是弹簧管的自由端向外擴張了。反之，若管内压力低于大气压力时，則管的自由端向里弯曲了。虽然这种彈性元件即可測量表压，又可測量真空度。不难看出扁管愈寬，愈扁，愈薄，所用金属材料彈性系数愈小就愈灵敏。若管的截面为圓时，就不能反映压力的变化了。

圖2—9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、扇形齿輪7帶动小齿輪，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5~20°，但由于扇形齿輪及槓桿的放大作用，使指針的角移达到270°。游絲10旨在消除齿輪間与槓桿間連接处的間隙。指針的行程可由改变連桿6左端在扇形齿輪槓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。

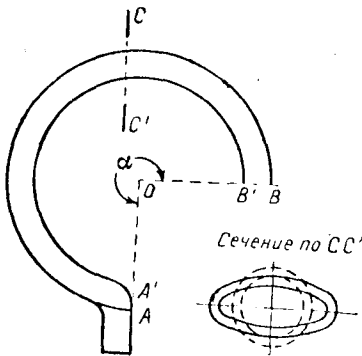


圖2—8 單圈彈簧管原理圖

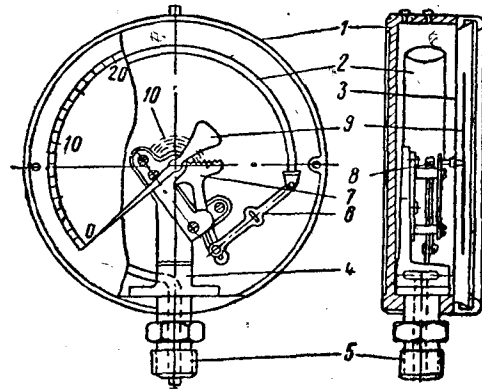


圖2—9 壓力表的結構

压力表也可做成圖2—10的形式。弯桿6的一端与指針軸焊在一起，改变6弯曲程度可以校准指針的行程。由于缺少放大机构，所以指針的最大角位移只有約 90° ，同时也由于省掉了齒輪与放大槓桿等而大大減少了机件間的磨損与空隙，不但提高了准确度，并能承受較大的震动。

圖2—11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的位置可由另外兩個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。

为了增加彈簧管的灵敏度，可以做成多圈式的。圖2—12为螺旋形彈簧管，也有各圈盤在同一平面上的，L形桿3伸入彈簧管內部的一段把彈簧管的自由端与軸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。

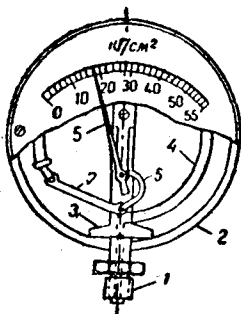


圖2—10 窄刻度压力表

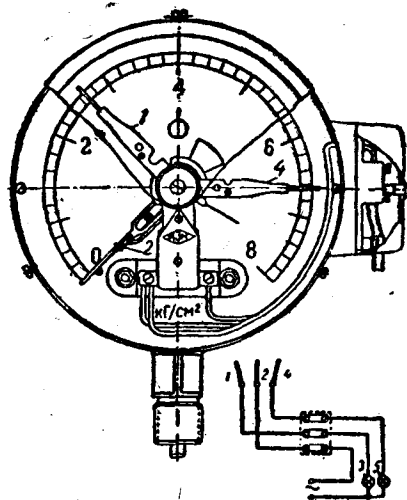


圖2—11 信号压力表

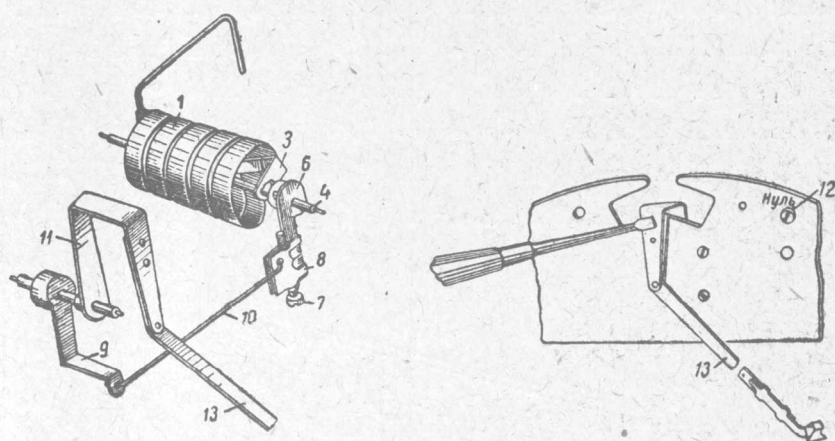


圖2-12 MF式压力記錄儀的彈簧管与記錄筆

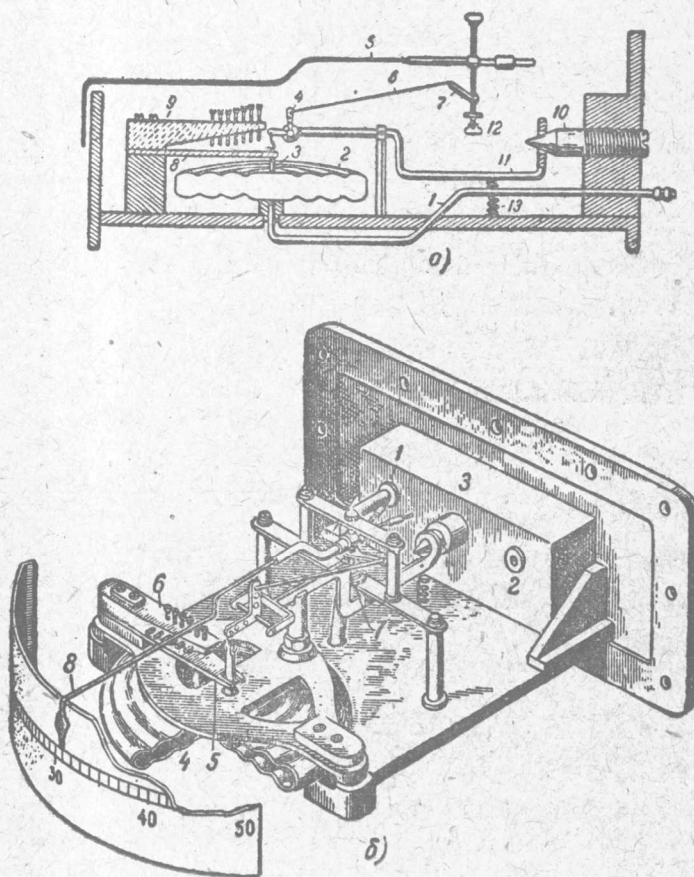


圖2-13 MC式水平刻度的膜式压力計

膜式压力計

它是利用薄膜式彈性元件制成的压力計，圖2-13与圖2-14所示为具有水平刻度与垂直刻度的兩種膜式低压計，用来測量16~2500毫米水柱間的低压与檢查炉膛或烟道內 $\pm 220 \sim 500$ 毫米水柱間的壓力变化。一般均为2.5級的仪器。圖2-13a)中，1为導压管，8为

彈簧片，在金屬架 9 上有許多用來校准刻度的小螺釘。当鼓膜 2 在压力相对于膜外大气压而变化时，膜片即收縮或膨脹并借机件 4、6 与 7 等使指針 5 發生相應的偏轉。此外 10 与 11 为調节指針零点的機構，12 为小彈簧（游絲）能产生使指針趋向零点的小轉矩，用来克服机件間的空隙与松动，以减小仪表的变差。圖 2—14 中，1 为表體，2 为金屬壳，壳間夾着帶有夾板 4 的折膜 3。当膜下压力变化时，夾板 4 借彈簧 6 的作用而比例的上下移动，并通过其它机件使指針 7 尖端沿刻度 9 产生相應的位移。指針的零点与行程可由改变銷子 5 与彈簧片 6 的有效長度来調节。

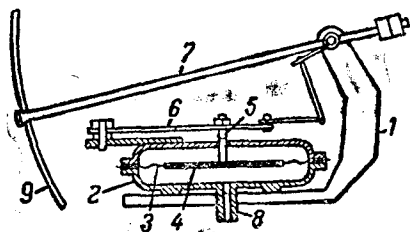


圖 2—14 垂直刻度的膜式压力計

風箱式压力計

它是利用波紋筒式彈性元件制成的彈性體压力計。圖 2—15 为風箱式压力計的一种，其准确度級为 2.5 級。測量范围有 0~0.3, 0~0.5, 0~1 与 0~1.6 公斤/厘米²等几种，其中 0~1 的常用做气动式远距傳示儀器的受訊器（二次仪表）。圖中 2 为風箱，裝于金屬壳与底座之間，風箱內有負荷彈簧以保証風箱底的位移比例于压力的变化。待測压力由管 1 導入。風箱底的移动藉杆 3 与 L 形槓杆牽动記錄笔。

杆 3 上端在杆 4 槽內的位置可用微調螺絲 6 調节以校准記錄笔的行程。記錄紙由發条鐘或电鐘驅動的。

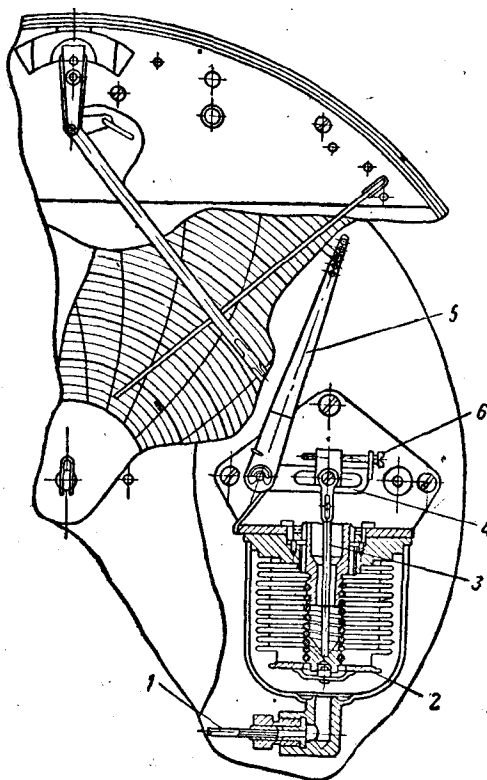


圖 2—15 風箱式压力計

第 4 節 压力表的选择、安裝及校驗

一、压力表的选择

選擇压力表是根据測量要求确定压力計的型式，量程及准确度級。選擇之先要考慮以下問題：

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質，如粘度、温度、有无腐蚀性、有无固體顆粒等。

2. 測量地点的工作条件，如有无振动、清潔度、环境温度的变化等。

3. 測量精确度、經濟方面以及其它要求。

量程選擇是依据被测压力的最大数值与特点确定。对于工業上常用的彈性體压力計一般遵照下述原則：若被测压力是恒定的或变化平