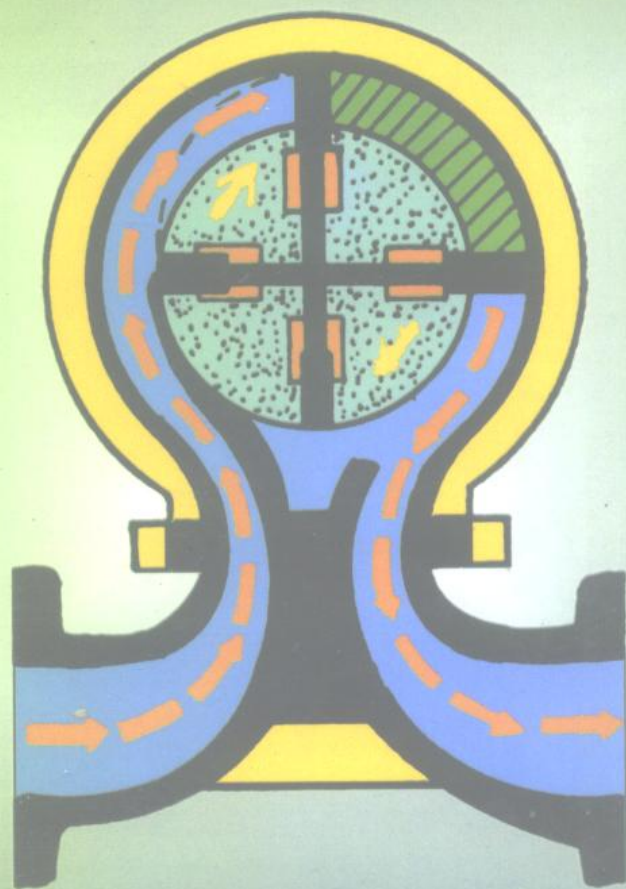


中等专业学校教学用书

# 测量仪表及自动化

(石油储运专业)

谢建昌 王克华 编



石油工业出版社

北京)

78

4

登录号	100721
分类号	TE978
种次号	004

中等专业学校教学用书

# 测量仪表及自动化

(石油储运专业)

谢建昌 王克华 编



石油工业出版社

### 内 容 提 要

本书系中等专业学校、油气集输储运工程专业的专业课教材。主要包括：常用测量仪表、DDZ-Ⅱ型和 DDZ-Ⅲ型电动调节仪表的结构特点、工作原理、安装和调校等方面的知识；同时对自动调节系统的组成、原理、设计、整定及在油田的应用等方面也作了较详细的介绍。

本书除作为有关专业教材外，也可供石油、化工、电站等现场技术人员阅读。

DDZ3/14

### 图书在版编目 (CIP) 数据

测量仪表及自动化/谢建昌, 王克华编.  
北京: 石油工业出版社, 1996.11  
中等专业学校教学用书  
石油储运专业  
ISBN 7-5021-1756-3

I. 测…  
II. ①谢…②王…  
III. 测量仪表—自动化—专业学校—教材  
IV. TE761

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 11402 号

石油工业出版社出版  
(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)  
石油工业出版社印刷厂排版印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开 13<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 印张 328 千字 印 1-2000  
1996 年 11 月北京第 1 版 1996 年 11 月北京第 1 次印刷  
ISBN 7-5021-1756-3/TE·1486 (课)  
定价: 10.50 元

## 前 言

本书是根据中国石油天然气总公司人教局（原石油工业部教育司）1986年制订的中等专业学校“测量仪表及自动化教学大纲”编写的。为适应石油储运专业的特点，本书在内容的深度和广度方面进行了适当的调整。全书共分十三章，主要介绍石油储运工程中常用测量仪表、DDZ—II型、DDZ—III型电动调节仪表；自动调节系统的组成、原理、设计和整定，以及自动调节系统在油田的应用。

本书由胜利石油学校谢建昌和王克华合编，绪论、第一章至第六章由王克华编写，第七章至第十三章由谢建昌编写。李德俭、吕宇玲参加了部分资料的整理工作。全书由石油大学自动化系罗万象教授主审。

由于编者水平有限，书中可能有不妥之处，敬请读者批评指正，以便修改提高。

编者

1995年12月

# 目 录

绪论	( 1 )
----	-------

## 第一篇 测量仪表

<b>第一章 测量仪表基本知识</b>	( 3 )
第一节 测量过程和测量误差	( 3 )
第二节 测量仪表的基本技术性能	( 5 )
第三节 测量仪表的基本构成	( 7 )
习题与思考题	( 8 )
<b>第二章 压力测量</b>	( 9 )
第一节 弹性式压力计	( 10 )
第二节 差压计	( 18 )
第三节 差压变送器	( 22 )
习题与思考题	( 28 )
<b>第三章 流量测量</b>	( 30 )
第一节 差压式流量计	( 31 )
第二节 转子流量计	( 38 )
第三节 腰轮式流量计	( 43 )
第四节 涡轮流量计和水表	( 49 )
第五节 其它流量计	( 53 )
习题与思考题	( 58 )
<b>第四章 物位测量</b>	( 60 )
第一节 直读式液位计	( 60 )
第二节 浮力式液位计	( 62 )
第三节 静压式液位计	( 67 )
第四节 油水界面测试仪	( 70 )
习题与思考题	( 74 )
<b>第五章 温度测量</b>	( 75 )
第一节 膨胀式温度计	( 75 )
第二节 热电偶温度计	( 78 )
第三节 热电阻温度计	( 84 )
第四节 温度变送器	( 87 )
第五节 温度测量显示仪表	( 90 )
习题与思考题	( 102 )
<b>第六章 含水分析及密度测量</b>	( 104 )
第一节 原油含水分析仪	( 104 )
第二节 振动管式密度计	( 110 )

习题与思考题	(113)
--------	-------

## 第二篇 自动化

<b>第七章 基本概念</b>	(114)
第一节 自动调节系统概述	(114)
第二节 自动调节系统的过渡过程	(117)
第三节 调节对象的特性	(119)
第四节 基本调节规律	(125)
习题与思考题	(130)
<b>第八章 调节器</b>	(132)
第一节 电动Ⅱ型调节器	(132)
第二节 电动Ⅲ型调节器	(136)
第三节 可编程调节器	(140)
习题与思考题	(142)
<b>第九章 调节阀</b>	(143)
第一节 调节机构	(143)
第二节 气动薄膜调节阀	(148)
第三节 电动调节阀	(150)
第四节 电—气阀门定位器	(157)
第五节 调节阀的选择	(158)
习题与思考题	(160)
<b>第十章 自动调节系统介绍</b>	(161)
第一节 调节方案设计	(161)
第二节 工艺控制流程图	(164)
第三节 调节器参数的工程整定	(165)
第四节 调节系统的投运	(168)
习题与思考题	(169)
<b>第十一章 储运常见系统的调节方案</b>	(170)
第一节 定值调节系统	(170)
第二节 原油稳定装置的调节方案	(173)
第三节 联合站的自动化	(175)
习题与思考题	(177)
<b>第十二章 计算机控制系统</b>	(178)
第一节 基本概念	(178)
第二节 计算机控制系统的一般组成	(179)
第三节 计算机在控制中的典型应用	(180)
第四节 小型工业控制机控制油品自动装车	(181)
习题与思考题	(184)
<b>第十三章 其它单元仪表</b>	(185)
第一节 安全保持器	(185)

第二节 分电盘	(187)
第三节 电动记录仪	(189)
第四节 闪光报警器	(191)
习题与思考题	(196)
附录表	(197)
附录表一 铂铑 10—铂热电偶分度表	(197)
附录表二 镍铬—镍硅热电偶分度表	(198)
附录表三 镍铬—铜镍热电偶分度表	(199)
附录表四 铁—铜镍热电偶分度表	(200)
附录表五 铂热电阻分度表 (一)	(201)
附录表六 铂热电阻分度表 (二)	(202)
附录表七 铜热电阻分度表 (一)	(203)
附录表八 铜热电阻分度表 (二)	(204)
主要参考资料	(205)

# 绪 论

在原油的集输、储运生产过程中，原油、天然气及伴生污水的处理往往是在密闭的设备、管道中连续进行的。只有借助于测量仪表与自动化装置进行检测和控制，才能保证生产的正常运行。同时，油、气、污水及其它处理用剂，具有易燃、易爆及腐蚀性质，且都是在较高的压力、温度下进行处理。为了确保安全生产，提高生产效率、改善劳动条件，必须把生产中的各项工艺参数控制在最佳值，使生产设备在最佳状态下自动地运行，就是要实现生产过程的自动化。

## 一、生产过程自动化及其应用

所谓生产过程自动化，就是在生产过程中，对生产设备配置一些自动化装置，以代替操作人员的直接操作。这种用自动化装置来控制生产过程的方法，就称为生产过程自动化。

近年来，在石油集输储运工程领域，自动化仪表与自动化技术得到了广泛的应用。从沙漠腹地无人值守的集输泵站，到海上采油平台的遥测遥控；从长输管线微波数据通信联网控制，到油田联合处理站及油库的仪表应用，自动化已成为油气集输储运生产中重要的技术要求。特别是计算机在自动化领域中的应用，提高了仪表的性能，提供了更有效的控制手段，为更好地推广、应用生产过程自动化技术创造了非常有利的条件。

## 二、自动化仪表分类

工业自动化仪表种类繁多。常用仪表一般分类如下：

(1) 按仪表使用能源分类，可分为电动仪表、气动仪表和自力式仪表。它们分别使用电、压缩空气及被测介质自身能量作动力。

(2) 按测量参数分类，可分为化工测量仪表（测量压力、物位、流量、温度等参数）、电工测量仪表（测量电压、电流……等参数）、成份分析仪表等等。

(3) 按仪表在自动调节系统中的作用分类，可分为变送器（用于参数的检测与信号的转换及传送）、调节器、执行器（用于对参数的调节）、显示记录仪等。

(4) 按仪表的组合方式分类，可分为基地式仪表和单元组合仪表。

基地式仪表集变送、显示、调节各部分功能于一体，单独构成一个固定的调节系统。

单元组合式仪表将变送、调节、显示等功能制成各自独立的仪表单元，各单元间用统一的输入输出信号相联系，可以根据实际需要选择某些单元进行适当的组合、搭配，组成各种测量系统或调节系统。单元组合仪表的显示装置一般是按百分刻度，不能直接读出参数的数值及单位，必须通过换算。

单元组合仪表按联络信号的形式不同，有电动单元组合仪表及气动单元组合仪表两种。

国产 QDZ 系列气动单元组合仪表，气源采用压力为 0.14MPa 的压缩空气，统一标准信号为 0.02~0.1MPa 气压信号。国产 DDZ 系列电动单元组合仪表有 DDZ-Ⅱ型、DDZ-Ⅲ型两个系列。DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表电源为 220V 单相交流电源，统一标准信号为 0~10mA 直流电流。仪表主要使用晶体管放大器作为放大单元。DDZ-Ⅲ型电动单元组合仪表，电源为 24V 直流电源，统一信号为国际标准信号，4~20mA 直流电流。

DDZ-Ⅲ型仪表主要使用集成运算放大器作为放大单元。

## 三、课程的性质、任务与要求



本课程为石油储运专业的必修课。它与物理学、电工及电子学、流体力学、机械原理、油气集输工程等课程有密切联系，是一门综合性、实践性较强的专业技术课。通过本课程的学习，应能掌握油气集输、储运工程中常用测量仪表的基本结构与工作原理；了解仪表的特点、作用及校验，以便在实际生产过程中能正确选择、使用常用仪表，并具备常见仪表故障的分析、处理能力。同时，应了解自动调节的基本知识，学会使用调节仪表，懂得自动调节系统的原理、投运及参数整定方法。

# 第一篇 测量仪表

## 第一章 测量仪表基本知识

### 第一节 测量过程和测量误差

#### 一、测量的概念

测量就是用实验的方法，借助一定的仪器或设备把被测量的量（被测量）与其相应的测量单位进行比较，求出二者的比值，从而得到被测量数值大小的过程。测量结果——测量值，包括被测量的大小、符号（正或负）及测量单位。

例如，要测量一个物体的长度，就要用一把具有刻度单位（如 mm）的直尺与被测物体比较，得到物体长度对应直尺上的数值（如为 0—100），则该被测物体的长度值即为 100mm。

在测量人的体温时，将体温计与人体接触传热，使体温计内水银膨胀，水银柱升高，在体温计上读得人体温度（被测量）是测量单位（摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ ）的倍数（如 37），从而确定人的体温值（ $37^{\circ}\text{C}$ ）。

可以看出：测量过程实质上就是将被测量与体现测量单位的标准量进行比较的过程，而测量仪表就是实现这种比较的工具。在工业测量仪表中，为了便于使这一比较过程自动完成，一般都是根据某些物理、化学效应，将被测量转换成一个相应的、便于测量比较的信号形式显示出来。例如在体温计中，是利用水银的热膨胀效应，将温度大小转换成一定的水银柱高度，与已被转换成了高度的温度测量单位（标尺刻度）进行比较，即可读出温度值。

#### 二、测量误差

测量误差是指由于某些测量仪表本身的问题，或是由于测量原理方法的局限性、外界因素的干扰以及测量者个人因素等原因，使测量仪表的指示值  $x_m$  与被测量的真实值  $x_l$ （称为真值）之间存在的偏差值。

测量误差的表示形式因其用途不同而不同，测量误差的分类方法也有所不同。

(1) 按误差产生原因及规律来分，可分为系统误差、随机误差和粗大误差。

系统误差是指在相同的条件下，多次测量同一量时，出现的一种绝对值大小和符号保持不变或是按照某一规律变化的误差。系统误差是由于仪表质量问题、测量原理不完善、仪表使用不当或工作条件变化引起的一种误差。必须指出：单纯增加测量次数，无法减少系统误差对测量的影响，但在找出产生误差的原因之后，可以通过对测量结果引入适当的修正而消除之。

随机误差是指在已经消除系统误差之后，在相同的条件下测量同一量时，出现的一种误差值以不可预计的方式变化的误差。随机误差是由于那些对测量结果影响较小、我们尚未认

识或无法控制的因素（如电子噪声干扰等）造成的。在多次重复测量同一量时，其误差值总体上服从统计规律（如正态分布）。从随机误差的统计规律分布特征，可对其示值大小和可靠性做出评价，并可通过适当增加测量次数求平均值的方法，减少随机误差对测量结果的影响。

粗大误差是指一种显然与事实不符的误差，其误差值较大且违反常规。粗大误差一般是由于操作人员在操作、读数或记录数据时粗心大意造成的。测量条件的突然改变或外界重大干扰也会造成粗大误差。对于这类误差一旦发现，应及时纠正。

(2) 按误差的数值表示方法，可分为绝对误差、相对误差和引用误差。

绝对误差是仪表示值  $x_m$  与被测量真值  $x_l$  之差的代数值。它是以被测量单位表示的误差，以符号  $e_a$  表示

$$e_a = x_m - x_l \quad (1-1)$$

显然，绝对误差只能表示示值误差的大小，而无法表示测量结果的可信程度，也不能用来衡量不同量程同类仪表的准确度。

相对误差是仪表示值的绝对误差与被测量真值之比，以符号  $E_r$  表示

$$E_r = \frac{e_a}{x_l} \times 100\% \quad (1-2)$$

它是一个无量纲值。由于真值不易取得，有时用仪表示值代替真值求相对误差（称为标称相对误差），用  $E_k$  表示，即

$$E_k = \frac{e_a}{x_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

相对误差比其绝对误差更能说明测量结果的准确程度。如有两组测量值，第一组： $x_l = 1000^\circ\text{C}$ 、 $x_m = 1005^\circ\text{C}$ ，则  $e_a = +5^\circ\text{C}$ 、 $E_r = 0.5\%$ ；第二组： $x_l = 100^\circ\text{C}$ 、 $x_m = 105^\circ\text{C}$ ，则  $e_a = +5^\circ\text{C}$ 、 $E_r = 5\%$ 。两组测量结果的绝对误差虽然相等，但第一组结果的相对误差小得多，显然第一组比第二组准确可信。

单凭绝对误差和相对误差评价一台仪表的准确与否是不行的。因为仪表的测量范围各不相同，即使有相同的绝对误差，也不能说两仪表一样准确。在仪表测量范围内绝对误差各不相同，相对误差也不是一个定值，它们将随被测量的大小而变化。特别是当测量值趋于零时，相对误差在理论上将趋于无穷大。所以亦无法用相对误差衡量仪表的准确程度。工业上常用仪表的“引用误差”表示其测量准确程度。

引用误差是仪表示值的绝对误差与仪表量程之比，可以表示为

$$E_q = \frac{e_a}{R_s} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中  $e_a$ ——仪表的绝对误差；

$E_q$ ——仪表的引用误差；

$R_s$ ——仪表的量程， $R_s = x_{\max} - x_{\min}$ 。

其中， $x_{\max}$ 与 $x_{\min}$ 是仪表测量范围的最大值与最小值，对于就地显示仪表 $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 也就是仪表标尺上、下限刻度值。例如，一温度计的测量范围为 $-50 \sim 250^\circ\text{C}$ ，则其量程为 $300^\circ\text{C}$ 。对于测量范围下限为零的仪表，其量程就是测量范围的上限值，如普通压力表就是这样。

(3) 按误差与仪表使用条件的关系可分为基本误差和附加误差。

基本误差是仪表在规定的正常工作条件下，所可能产生的误差。仪表基本误差的允许值，叫做仪表的“最大允许绝对误差”，用 $e_{\max}$ 表示。仪表在规定条件下工作时，诸示值的绝对误差数值（绝对值）都不应超过其最大允许绝对误差，即 $|e_a|_{\max} \leq e_{\max}$ 。

附加误差是仪表在偏离规定的正常工作条件下使用时附加产生的新误差。此时仪表的实际误差等于基本误差与附加误差之和。

由于仪表在工作条件（如温度、湿度、振动、电源电压、频率等）改变时会产生附加误差，所以在使用仪表时，应尽量满足仪表规定的工作条件，以防止产生附加误差。

## 第二节 测量仪表的基本技术性能

仪表的技术性能指标是评价仪表质量优劣的重要依据，也是正确选择、使用仪表所必须具备和了解的知识。下面对仪表几种常用的基本技术性能介绍如下。

### 一、仪表的精确度

仪表的精确度简称精度，是表示测量结果与真值一致的程度。精确度高就意味着仪表既精密、又准确，也就是说，其随机误差与系统误差都小。工业仪表的精确度常用仪表的精度等级来表示。

精度等级，是仪表最大允许绝对误差 $e_{\max}$ 与仪表量程 $R_s$ 的引用误差去掉百分号后的数值，用符号 $A_c$ 表示

$$A_c = \frac{e_{\max}}{R_s} \times 100 \quad (1-5)$$

测量仪表的精度等级，是按照仪表的精确度高低划分的一系列标称值。仪表的精度等级值不是任意值，必须符合国家规定的等级系列。工业仪表常用精度等级有以下几个级别：0.1、0.2、0.35、0.5、1.0、1.5、2.5等。其精度等级值越小，则精确度越高，所可能产生的误差越小。如精度1.5级的仪表，在规定条件下使用时，其绝对误差的最大值不会超过量程的1.5%。

### 二、仪表的灵敏度

仪表的灵敏度是仪表在稳定状态下，其输出变化量与引起此变化的输入改变量的比值，用符号 $S$ 表示

$$S = \frac{\Delta x_m}{\Delta x_l} \quad (1-6)$$

式中， $\Delta x_l$  是被测参数变化量，也就是仪表的输入变化量； $\Delta x_m$  是相应的仪表输出改变量，对就地显示的仪表来说， $\Delta x_m$  就是仪表指针在刻度标尺上的移动量。

仪表灵敏度的大小反映了仪表对被测量的幅值敏感程度，其单位为输出、输入量单位之比。线性刻度标尺仪表的灵敏度等于常数，而非线性刻度标尺仪表的灵敏度各处不同。

提高仪表对信号的放大能力，就可以提高灵敏度。但这样并不能提高精度，减少测量误差。所以一般规定仪表标尺的分格值不小于仪表最大允许绝对误差。

表示仪表灵敏性能的指标，还有灵敏限与死区。

灵敏限是指能引起仪表指示值发生变化的被测量的最小改变量。单位与被测量单位相同。一般来说，灵敏限的数值不应大于仪表最大允许绝对误差的一半。

死区是指被测量的变化不致引起仪表指示有所改变的最大区间。单位与被测量单位相同。

### 三、仪表的变差

变差说明了仪表的正向（上升）特性与反向（下降）特性的不一致程度。

在工作条件不变的情况下，使用同一仪表对某一被测量进行由小到大（正行程）的测量和由大到小（反行程）的测量时，对同一被测量值，正反行程中仪表的指示值是不同的，如图 1-1 所示。这种现象称为变差。

变差的大小，用同一被测量下，在正、反行程中，示值之差的最大值  $e_{h\max}$  与仪表量程之比的百分数表示，符号为  $E_{gh}$

$$E_{gh} = \frac{e_{h\max}}{R_s} \times 100\% \quad (1-7)$$

造成仪表变差的原因很多，如传动机构零件间隙、运动部件摩擦、弹性元件的弹性滞后等等。

### 四、仪表的线性度

对于理论上具有线性刻度特性（输入输出特性）的仪表，会由于各种因素的影响，使仪表的实际特性偏离其理论上的线性特性，如图 1-2 所示。这种偏差叫非线性误差，用仪表的线性度来衡量。

仪表的线性度，用实际特性与理论特性间的最大偏差  $e_{l\max}$  与仪表量程之比的百分数来表示，符号为  $E_{ql}$

$$E_{ql} = \frac{e_{l\max}}{R_s} \times 100\% \quad (1-8)$$

### 五、仪表的动态特性

仪表的动态特性是指被测量随时间迅速变化时，仪表指示值跟随被测量随时间变化的特性。仪表的动态特性反应了仪表对测量值的时间敏感性能。

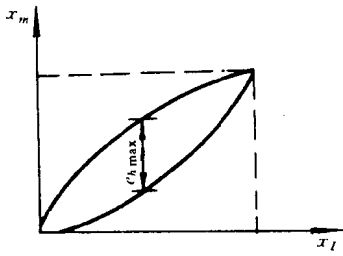


图 1-1 测量仪表的变差

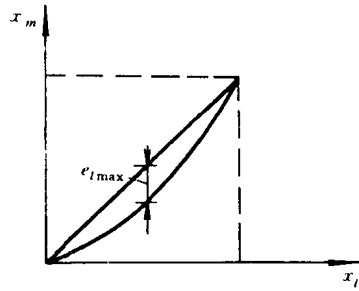


图 1-2 测量仪表的非线性

仪表的动态性能指标，一般用被测量初始值为零，并做满量程阶跃变化时，仪表示值的时间反应参数来描述。

被测量做满量程阶跃变化时，仪表的动态特性如图 1-3 所示。仪表指示值在稳定值上下振荡波动，称之为欠阻尼特性，如图 1-3 (a) 所示。仪表指示值慢慢增加，逐渐达到稳定值，称为过阻尼特性，如图 1-3 (b) 所示。

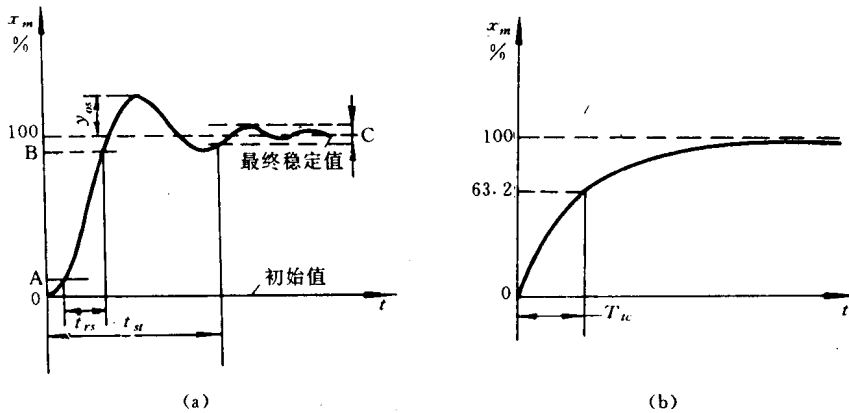


图 1-3 仪表的动态特性

对于欠阻尼特性，仪表的动态特性用上升时间  $t_{rs}$ 、稳定时间  $t_{st}$  及过冲量  $y_{os}$  表示。图中，A 一般为 5% 或 10%，B 一般为 90% 或 95%，C 一般为 2%~5%。

对于过阻尼特性，仪表的动态特性用时间常数  $T_{tc}$  表示。 $T_{tc}$  等于被测量做满量程阶跃变化时，仪表指示值达到满量程的 63.2% 时所需时间。

### 第三节 测量仪表的基本构成

各种测量仪表所测量的参数不同、测量原理及输出（指示）方式不同，其结构也各不相同。但就其测量功能而言，一般不外乎由检测、变换、显示、传输环节组成。某个环节可能是一个元件，也可能是一个复杂的装置。对于一些简单仪表，各环节的划分不一定太明显。

#### 一、检测环节

检测环节有时叫做传感器。检测元件一般与被测介质直接接触，感受被测量，并把被测

量转换成相应的机械的、电的或其它形式的易于传递、测量的信号，完成对被测参数信号形式的转换。如玻璃水银温度计，其检测元件是水银泡，它利用热胀冷缩原理，把温度转换成相应的水银柱高度；热电偶温度计中，检测元件是热电偶，利用热电效应把温度直接转换成毫伏电势信号。

检测元件是测量仪表的关键元件，决定整个仪表的测量质量，因而对检测元件具有较高的要求。例如，检测元件的输入输出特性，即被测量与转换信号间要有简单的单值函数关系，最好是线性关系；检测元件的输出信号不受非被测量的影响，以减少干扰；检测元件在测量过程中所消耗的被测对象的能量小，减少对被测对象的影响及干扰。

## 二、变换环节

变换环节是测量仪表的中间环节，有时称做变换器。它的作用是将检测元件的输出信号进行放大、传输、线性化处理或转换成标准统一信号输出，以供给显示环节，进行显示。例如，在弹簧管压力表中，变换环节是齿轮-杠杆传动机构，它将弹簧管（检测元件）的微小弹性变形转换并放大为指针的偏转；在电动单元组合仪表中，变换环节将检测元件的输出信号转换成具有统一数值范围的标准电信号（ $0\sim 10\text{mA}\cdot\text{DC}$  或  $4\sim 20\text{mA}\cdot\text{DC}$ ）输出，使一种显示器能够用于不同参数的显示。

## 三、显示环节

显示环节是人-机联系的主要环节，它的作用是向观察者显示被测量数值的大小。也就是将转换放大后的信号，与被转换了的测量单位，用人们易于观察的形式相比较，以指示出被测量的大小。如指针式显示仪表，是利用指针对标尺的相对位置来表示被测量数值的，被测量的测量单位被转换成了标尺的刻度分格。这种操作者参与比较过程的显示，称为模拟显示。而用数字形式显示被测量数值的显示方式称为数字显示，其比较过程在表内进行。

## 四、传输环节

传输环节的作用是联系仪表的各个环节，给其它环节的输入输出信号提供通路。

### 习题与思考题

1. 系统误差、随机误差、粗大误差的特点及产生原因是什么？
2. 绝对误差、相对误差、引用误差的特点是什么？
3. 表示仪表的性能指标一般有哪些？它们的意义是什么？
4. 有一只  $0\sim 1.6\text{MPa}$ 、1.5 级的压力表，校验后发现其变差最大值为  $15\text{kPa}$ 、绝对误差最大值为  $-20\text{kPa}$ ，问其变差及误差是否符合要求，此压力表合格否？
5. 有一只温度计，用于测量加热炉出口油温，其测量范围是  $0\sim 100^\circ\text{C}$ 。经检定，该温度计的最大测量误差为  $1.3^\circ\text{C}$ ，那么该温度计的精度等级可能是多少？
6. 用一弹簧管压力表测量外输油泵出口压力。已知该压力表的测量范围是  $0\sim 4\text{MPa}$ ，精度为 1.5 级，若压力表指示为  $2.5\text{MPa}$ ，试问该测量结果的准确度（相对误差）最差是多少？

## 第二章 压力测量

压力是油气集输储运、污水处理工作中需要经常测量和控制的重要工艺参数之一。如油气分离器、脱水器、加热炉，都必须在一定压力下工作，压力的变化会影响处理效果，过高会危及设备安全。例如，稳定塔须在一定的负压下工作，压力波动会影响轻油产量和质量；外输管线的压力大小及变化，还是调节外输流量、判断管线事故（穿孔、堵塞）的重要手段与依据。因而，压力测量是直接关系到生产过程能否优质、安全、高效运行的重要条件，对压力的测量与控制具有十分重要的意义。

压力就是垂直均匀作用在物体单位面积上的力。在物理学上称之为压强，但是在工程中常把它称之为压力。

压力的单位，在国际单位制（SI）中是“帕斯卡”，简称为“帕”，符号为 Pa。一帕相当于一平方米面积上垂直均匀作用一牛顿力产生的压力，即  $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ 。

我国过去使用的压力单位有多种，例如：物理大气压 atm、工程大气压  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、毫米水柱  $\text{mmH}_2\text{O}$ 、毫米汞柱 mmHg、巴 bar 等等。

我国现已推广使用法定计量单位，以上非法定计量单位限制使用。但为了方便换算，现将各种旧压力单位与国际单位间压力换算关系列于表 2-1 中，以备参考。

表 2-1 常用压力单位换算表

压力单位	帕斯卡 Pa	巴 bar	标准大气压 atm	工程大气压 $\text{kgf}/\text{cm}^2$	毫米水柱 $\text{mmH}_2\text{O}$	毫米汞柱 mmHg	磅力/英吋 <sup>2</sup> $\text{lbf}/\text{in}^2$
Pa	1	$1 \times 10^{-5}$	$9.8692 \times 10^{-6}$	$1.0197 \times 10^{-5}$	$1.0197 \times 10^{-1}$	$7.5006 \times 10^{-3}$	$1.4504 \times 10^{-4}$
bar	$1 \times 10^5$	1	$9.8692 \times 10^{-1}$	1.0197	$1.0197 \times 10^4$	$7.5006 \times 10^2$	$1.4504 \times 10^1$
atm	$1.0133 \times 10^5$	1.0133	1	1.0332	$1.0332 \times 10^4$	760	$1.4696 \times 10^1$
$\text{kgf}/\text{cm}^2$	$9.8067 \times 10^4$	$9.8067 \times 10^{-1}$	$9.6784 \times 10^{-1}$	1	$1 \times 10^4$	$7.3556 \times 10^2$	$1.4224 \times 10^1$
$\text{mmH}_2\text{O}$	9.8067	$9.8067 \times 10^{-5}$	$9.6784 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	1	$7.3556 \times 10^{-2}$	$1.4224 \times 10^{-3}$
mmHg	$1.3332 \times 10^2$	$1.3332 \times 10^{-3}$	$1.3158 \times 10^{-3}$	$1.3595 \times 10^{-3}$	$1.3595 \times 10^1$	1	$1.9343 \times 10^{-2}$
$\text{lbf}/\text{in}^2$	$6.8949 \times 10^3$	$6.8949 \times 10^{-2}$	$6.8046 \times 10^{-2}$	$7.0307 \times 10^{-2}$	$7.0307 \times 10^2$	$5.1715 \times 10^1$	1

注 1：表中  $\text{mmH}_2\text{O}$  单位，水柱的温度为  $4^\circ\text{C}$ ；mmHg 单位，汞柱的温度为  $0^\circ\text{C}$ 。

注 2：重力加速度为  $9.8067\text{m}/\text{s}^2$ 。

在压力测量中，压力的表示常有绝对压力、表压力、负压力之分。压力的表示形式因其用途不同而不同。

绝对压力  $P$ ：是物体所受的实际压力。

表压力  $p$ ：也叫正压力， $p$  等于高于大气压力的绝对压力与当地大气压力之差，即

$$p = P - P_a \quad (2-1)$$

表压力是一般压力表所指示的压力，如无特别说明，工程上所指的压力，均为表压力。



在本书中表压力与绝对压力分别以字母  $p$  及  $P$  区别之。

负压力  $p'$ ：也叫真空度，是一般真空表所指示的压力， $p'$  等于当地大气压与低于大气压力的绝对压力之差，就是负的表压力。即

$$p' = P_a - P = -p \quad (2-2)$$

由于各种工艺设备和测量仪表都处在大气压力之下，所以普通压力表测得的压力值都是表压力或负压力。在需要使用绝对压力时，可由式 (2-1)、(2-2) 计算。

## 第一节 弹性式压力计

弹性式压力计采用弹性元件作为压力检测元件。测压时，压力使弹性元件产生弹性变形。弹性元件变形时产生的弹性力与被测压力产生的测量力相平衡。在此基础上，弹性元件以弹性变形的形式将压力转换成机械位移信号，然后测量其位移量确定被测压力的大小。常用弹性元件如图 2-1 所示。图中，膜片、波纹管多用于微压、低压测量；单圈、多圈弹簧管可用于高、中、低压直至负压力的测量，其中又以单圈弹簧管压力表在工业上应用最为广泛。

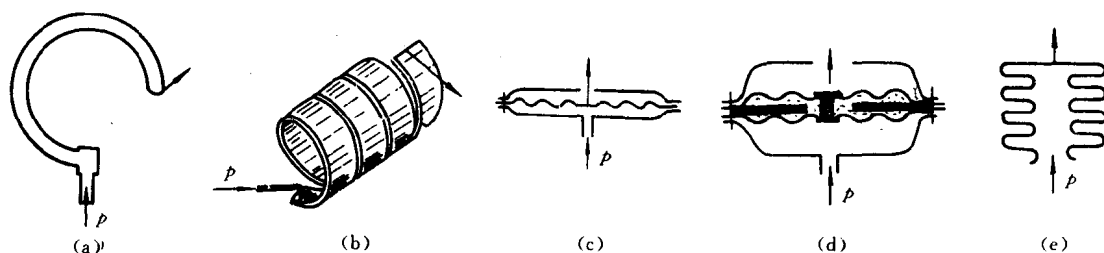


图 2-1 常用弹性元件

(a) 单圈弹簧管；(b) 多圈弹簧管；(c) 膜片；(d) 膜盒；(e) 波纹管

### 一、单圈弹簧管压力表

单圈弹簧管压力表，其测量范围广 ( $10^{-4} \sim 10^3$  MPa)、品种规格多，具有结构简单、使用方便、精度较高、坚固耐用、价格便宜的特点。因而被广泛地应用于工业生产上的各种压力测量场合，并在长期发展过程中，被附加上各种发信装置，用于进行压力信号报警与远传。如电接点压力表、霍尔远传压力计、光电编码压力表等等。

#### 1. 弹簧管压力表的构造

弹簧管压力表主要由单圈弹簧管、传动放大机构、指示机构和表壳四部分组成，如图 2-2 所示。

弹簧管：是一根弯曲成圆弧形的扁圆或椭圆形截面的空心金属薄管。它的一端封闭，并连结传动机构，是弹簧管的自由端，用来输出弹簧管变形位移；弹簧管的另一端与压力接头焊接，并固定于表壳上，以便输入被测压力到弹簧管内腔。

传动放大机构：包括拉杆 2、扇形齿轮 3、中心齿轮 4、调整螺钉 8 及游丝 7。在这里，传动放大机构的作用是将弹簧管的变形——自由端位移加以放大，并将其变为指针 5 的偏