



高等学校试用教材

# 化工仪表及自动化

(工艺类专业适用)

北京化工学院等合编  
厉玉鸣 主编

化学工业出版社

81.18  
162  
0.2

高等学校试用教材

# 化工仪表及自动化

(工艺类专业适用)

北京化工学院等合编

厉玉鸣 主编



本书分两大篇共十三章。第一篇是化工测量仪表，叙述压力、流量、液位、温度及成分的测量原理和有关的测量仪表；第二篇是化工自动化部分，主要介绍化工生产过程中各种工艺参数的自动调节，并介绍构成自动调节系统所必需的调节仪表及调节阀。

本书为高等学校化工工艺类专业的教材，也可供从事化工生产的工艺工程技术人员参考。

本书由北京化工学院厉玉鸣（绪论、第一、二、三、六、七、八章）、马俊英（第四章）、南京化工学院何叔金（第五、十章）、钱铃（第九章）、华南工学院吴嘉麟（第十一、十二、十三章）编写。全书由上海化工学院章允楼主审。

高等学校试用教材  
化工仪表及自动化  
(工艺类专业适用)  
北京化工学院等合编  
厉玉鸣 主编

化学工业出版社出版  
(北京朝阳门内大街十六号)

化学工业出版社印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行

开本787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张18 $\frac{1}{2}$ 字数466千字印数1-21,650  
1981年7月北京第1版1981年7月北京第1次印刷  
统一书号15063·3222(K-239)定价1.90元

## 目 录

绪论 .....	1
<b>第一篇 化工测量仪表</b>	
<b>概述 .....</b>	<b>3</b>
一、测量及测量误差 .....	3
二、化工测量仪表的分类 .....	4
<b>第一章 压力测量 .....</b>	<b>6</b>
第一节 基本概念 .....	6
第二节 弹性式压力计 .....	7
一、弹性式压力计的弹性元件 .....	7
二、单圈弹簧管压力表 .....	8
第三节 电气式压力计 .....	8
一、应变片式压力变送器 .....	8
二、霍尔片式压力变送器 .....	8
第四节 压力计的选用和安装 .....	9
一、压力计的选用 .....	9
二、压力计的安装 .....	10
<b>第二章 流量测量 .....</b>	<b>12</b>
第一节 差压式流量计 .....	12
一、节流装置的流量测量原理 .....	13
二、气动差压变送器 .....	15
三、电动差压变送器 .....	23
四、差压式流量计的安装 .....	24
第二节 转子流量计 .....	27
一、转子流量计的测量原理 .....	27
二、转子流量计的选用与换算 .....	28
三、气远传式转子流量计 (LZQ系列) .....	29
四、电远传式转子流量计 (LZD系列) .....	30
第三节 其它流量计 .....	30
一、椭圆齿轮流量计 .....	30
二、靶式流量计 .....	31
三、涡轮流量计 .....	32
四、电磁流量计 .....	33
<b>第三章 液位测量 .....</b>	<b>35</b>
第一节 几种常见的液位测量方法 .....	35

一、玻璃液位计	35
二、浮力式液位计	36
三、静压式液位计	37
四、电容式液位计	38
第二节 差压式液位计	38
一、法兰式差压变送器	39
二、差压变送器的量程迁移	39
第三节 色带指示仪	41
<b>第四章 温度测量</b>	44
第一节 概述	44
一、双金属温度计	45
二、压力计式温度计	45
三、辐射式高温计	46
第二节 热电温度计	46
一、热电偶	46
二、动圈式仪表	52
三、电位差计	54
第三节 热电阻温度计	63
一、热电阻温度计的工作原理	63
二、工业常用热电阻	63
三、与热电阻配套使用的不平衡电桥和电子自动平衡电桥	64
第四节 电动温度变送器	67
一、工作原理	67
二、测量桥路	67
三、电压-电流转换器	69
第五节 测温元件的安装	70
一、测温元件的安装要求	70
二、布线要求	71
<b>第五章 成分分析器</b>	76
第一节 热导式气体分析器	76
一、混合气体的导热系数与其组成的关系	77
二、测量方法	78
三、发送器结构	79
四、RD-004型热导式氢分析器	80
第二节 气相色谱仪	82
一、基本原理	83
二、常用术语	85
三、组成	85
四、色谱柱	89
五、检测器	90

六、气路	91
七、定性定量分析	93
第三节 红外线气体分析器	94
一、基本原理	94
二、结构	96
第四节 热磁式氧分析器	101
一、工作原理	101
二、结构	103
第五节 工业酸度计	106
一、电极电位及原电池	106
二、pH值与原电池电动势的关系	107
三、工业酸度计	107

## 第二篇 化工自动化

第六章 基本概念	114
第一节 自动调节系统概述	114
一、自动调节系统及其组成	114
二、自动调节系统的分类	116
第二节 自动调节系统的过渡过程	117
一、系统的静态和动态	117
二、自动调节系统的过渡过程及品质指标	118
三、影响调节系统过渡过程品质的主要因素	120
第七章 调节对象的特性	122
第一节 描述对象特性的参数	122
第二节 对象特性的数学描述	125
第三节 对象特性的测取	127
第八章 基本调节规律及其对过渡过程的影响	130
第一节 双位调节	130
第二节 比例调节	132
一、比例调节器的调节规律及比例度	132
二、比例调节系统的过渡过程	133
第三节 积分调节	135
一、积分调节作用	135
二、比例积分调节规律及积分时间	136
第四节 微分调节	137
一、微分调节规律	137
二、比例微分调节系统的过渡过程	139
三、比例积分微分调节	139
第九章 自动调节仪表	141
第一节 概述	141

第二节 气动调节器 .....	141
一、气动膜片式比例积分调节器概况 .....	142
二、基本结构 .....	142
三、工作原理 .....	142
第三节 微分器 .....	148
一、基本结构 .....	148
二、工作原理 .....	149
第四节 显示仪表 .....	151
一、显示机构 .....	151
二、记录传动机构 .....	153
三、气路切换开关 .....	153
第五节 新型气动调节仪表 .....	154
一、自动调节部分 .....	154
二、手动控制部分 .....	160
三、仪表整机动作过程 .....	161
第六节 DDZ-Ⅱ型电动调节器(DTL-121) .....	164
一、输入回路 .....	165
二、放大部分 .....	166
三、PID运算反馈回路 .....	166
四、手动操作与自动跟踪 .....	170
第七节 DDZ-Ⅲ型电动调节器 .....	171
一、概述 .....	171
二、电动Ⅲ型仪表的特点 .....	172
三、调节器的组成及各部分作用原理 .....	174
第八节 基地式调节器 .....	180
一、液位变送器 .....	181
二、液位调节器 .....	182
<b>第十章 气动薄膜调节阀</b> .....	184
第一节 气动薄膜调节阀的结构与分类 .....	184
一、结构 .....	184
二、调节阀的种类 .....	187
第二节 气动薄膜调节阀的选用及计算 .....	191
一、执行机构和调节阀结构型式的选择 .....	191
二、气开、气关的选择 .....	191
三、调节阀流量特性的选择 .....	191
四、调节阀的流通能力和口径计算 .....	197
第三节 阀门定位器 .....	200
一、配薄膜执行机构的气动阀门定位器 .....	200
二、配薄膜执行机构的电-气阀门定位器 .....	202
第四节 电-气转换器 .....	202

第五节 调节阀的安装、使用 .....	203
<b>第十一章 简单调节系统</b> .....	208
第一节 被调参数的选择 .....	208
第二节 调节参数的选择 .....	210
一、对象静态特性的影响 .....	210
二、对象动态特性的影响 .....	210
三、按对象特性选择调节参数的原则 .....	213
四、调节参数选择举例 .....	213
第三节 关于测量问题的考虑 .....	214
一、测量元件安装点的选择 .....	215
二、测量元件的特性 .....	215
三、传递滞后 .....	216
第四节 调节器调节规律的选择 .....	216
第五节 调节器参数的工程整定 .....	217
一、经验凑试法 .....	217
二、临界比例度法 .....	218
三、衰减曲线法 .....	218
第六节 气动仪表组成的调节系统及投运 .....	219
一、用气动仪表组成的调节系统 .....	219
二、调节系统的投运 .....	222
三、用气动仪表组成调节系统的投运 .....	222
第七节 电动仪表组成的调节系统及投运 .....	223
一、蒸发器调节系统 .....	223
二、采用DDZ-Ⅰ型仪表组成的调节系统 .....	223
三、DTL-121组成调节系统的投运 .....	225
第八节 调节系统运行中常见问题和处理方法 .....	225
一、调节系统之间的相互影响及处理方法 .....	225
二、运行中调节系统常见问题 .....	226
<b>第十二章 复杂调节系统</b> .....	228
第一节 串级调节系统 .....	228
一、基本概念 .....	228
二、串级调节系统的调节过程分析 .....	230
三、串级调节系统的确定 .....	231
四、调节规律的选择 .....	232
五、串级调节系统的投运 .....	233
六、串级调节系统的参数整定 .....	234
第二节 均匀调节系统 .....	234
一、基本概念 .....	234
二、均匀调节方案 .....	235
第三节 比值调节系统 .....	237



一、比值调节概述 .....	237
二、比值调节系统的类型 .....	237
三、比值系数的折算 .....	239
第四节 分程调节系统 .....	240
一、基本概念 .....	240
二、分程调节的应用 .....	241
三、分程调节中的几个问题 .....	244
第五节 前馈调节系统 .....	245
一、前馈与反馈 .....	245
二、前馈调节的型式 .....	246
三、前馈调节的特点和应用 .....	248
第六节 取代调节系统 .....	249
一、基本概念 .....	249
二、取代调节系统的应用 .....	250
三、积分饱和现象和防止方法 .....	252
第七节 计算机控制 .....	255
一、直控与监控 .....	255
二、微处理机和分级控制 .....	257
<b>第十三章 典型化工单元的调节方案 .....</b>	<b>259</b>
第一节 流体传送的自动调节 .....	259
一、泵的自动调节方案 .....	259
二、压气机的自动调节 .....	261
第二节 传热设备的自动调节 .....	265
一、两侧均无相变化的换热器调节方案 .....	265
二、载热体进行冷凝的加热器自动调节 .....	268
三、载热体进行汽化的冷却器自动调节 .....	269
第三节 精馏设备的自动调节 .....	270
一、概述 .....	270
二、塔的整体调节方案 .....	272
三、精馏塔的调节方案 .....	274
第四节 反应器的自动调节 .....	278
一、化学反应器的类型与控制 .....	278
二、反应器的调节要求及被调参数的选择 .....	279
三、反应器的调节方案 .....	280
第五节 锅炉的自动调节 .....	285
一、汽包水位的调节 .....	285
二、燃烧过程的自动调节 .....	288

## 绪 论

为把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的伟大的社会主义强国，这是中国人民光荣的历史使命。也是广大科技工作者的伟大历史使命。四个现代化的关键是科学技术现代化，而生产过程自动化是科学技术现代化的重要内容之一。本门课程将介绍有关化工过程自动化的基本知识，并介绍为实现化工过程自动化所必需的自动化装置。

化工自动化是化工、炼油等化工类型生产过程自动化的简称。在化工设备上，配上一些自动化装置，代替操作人员的部分直接劳动，使生产在不同程度上自动地进行，这种用自动化装置来管理化工生产过程的办法，称为化工自动化。

化工生产过程的特点是，大多数物料以液体或气体的状态，连续地在密闭的管道和塔器等内部进行各种变化，它不仅有物理变化，同时伴随着化学反应。这类性质的生产，只有借助于自动化工具进行检测和调节才能保证生产过程正常进行。另外，化工生产过程有的是高温、高压、易爆、易燃，还有的是有毒、有腐蚀性、有刺激性臭味，为了确保安全生产，改善劳动条件，保护工人身体健康，也必须实现自动化。

化工自动化系统，一般包括下列内容：

### 1. 自动检测系统

化工生产过程往往是连续的生产过程，各种物料在密闭的塔器或管道中不停地进行化学反应或物理的变化，为了控制生产，首先必须随时了解生产过程中各工艺参数的变化情况。为此，人们利用各种检测仪表自动地连续地对各参数进行测量，并将结果自动地指示或记录下来，以代替操作者对各参数的不断观察与记录。因此，自动检测系统又常称为工业的“眼睛”。

### 2. 自动信号联锁保护系统

生产过程中，有时由于一些偶然因素的影响，导致工艺参数超出允许的变化范围而出现不正常情况时，就有引起爆炸，燃烧或发生其它事故的可能。为了确保安全生产，保证产品质量，常对某些关键性参数设有信号自动联锁装置，在事故即将发生前，信号系统就能自动地发出声、光信号，告诫人们注意。如工况已接近危险状态时，联锁系统立即采取紧急措施，打开安全阀或切断某些通路，必要时紧急停车，以防止事故的发生和扩大。它是生产过程中的一种安全装置。

### 3. 自动操纵系统

自动操纵系统可以根据预先规定的步骤，自动地对生产设备进行某种周期性操作。例如，合成氨造气车间的煤气发生炉，要求按照吹风、上吹、下吹制气、吹净等步骤周期性地接通空气和水蒸汽，利用自动操纵机就可以代替人工自动地按照一定的时间程序扳动空气和水蒸汽的阀门，使它们交替的接通煤气发生炉，从而极大地减轻了操作工人的重复性体力劳动。

### 4. 自动调节系统

生产过程中各种工艺条件不可能是一成不变的。特别是化工生产，大多数是连续生产，各设备都相互关联着，其中某一设备中的工艺条件发生变化时，都可能引起其他设备中某些

参数的波动,或偏离正常的工艺条件。为了保证多快好省地进行生产,就需要用一些自动调节装置,对生产中某些重要参数进行自动调节,使它们在受到外界干扰的影响而偏离正常状态时,能自动地回复到规定的数值范围以内。这就是自动调节系统。

近年来,科学技术的发展与革新极为迅速。石油化工企业不断朝着大规模、强化生产的方向迈进,无论从能量利用,产品质量,收率等几个方面都对自动化提出了越来越高的要求。随着自动化技术工具的发展,特别是计算技术的发展,为实现更高一级的自动控制提供了非常有利的条件。

化工生产过程自动化是一门综合性的技术学科,与工艺和设备有着极为紧密的关系。而且,在自动化之后,人们通过自动化装置来管理生产,自动化装置与工艺及设备已结合成为有机的整体。因此,自动化专业人员应该通晓工艺,而工艺和设备人员必须具有自动化方面的基本知识。为此,化工工艺类专业设置了本课程,通过本课程的学习,应能了解常用化工仪表的基本原理、主要特点及使用中的问题;能根据工艺的需要和自控设计人员共同讨论和提出合理的自动控制方案;能为自控设计正确提供有关工艺条件和数据;能在生产开车过程中,了解投运的方法和参数整定。

# 第一篇 化工测量仪表

## 概 述

### 一、测量及测量误差

在化工和炼油生产过程中，为了有效地进行生产操作和自动调节，都需要对工艺生产中各种参数，例如压力、流量、液位、温度等进行测量。实践表明，在化工和炼油生产中应用的测量仪表品种虽然很多，它们所测的参数和仪表的结构原理也各不相同。然而从仪表测量过程的实质讲，却都有相同之处。测量过程在实质上都是将被测参数与其相应的测量单位进行比较的过程，而测量仪表就是实现这种比较的工具。各种测量仪表不论采用哪一种原理，它们都是要将被测参数经过一次或多次的信号能量形式的转换，最后获得便于测量的信号能量形式，而由指针位移或数字形式显示出来。例如各种炉温的测量，常常是利用热电偶的热电效应，把被测温度转换成直流毫伏信号（电能），然后变为毫伏测量仪表上的指针位移，并与温度标尺相比较而显示出被测温度的数值。

对于工程上所使用的测量仪表，一般希望测量的结果准确可靠、灵敏度高、反应迅速、滞后小、便于使用维护、结构简单、价格便宜等等。

在测量过程中，由于所使用的测量工具本身不够准确、观测者的主观性和周围环境的影响等等，使得测量的结果不可能绝对准确，由仪表读得的被测值与真实值之间，总是存在一定的差距，这种差距就称为测量误差。由于表示方法的不同，可有多种误差名称。

绝对误差在理论上是指仪表指示值 $x_m$ 与被测量的真实值 $x_x$ 之差的绝对值，可表示为：

$$\Delta = |x_m - x_x|$$

式中  $\Delta$ ——绝对误差。

在工程上，要知道被测量的真实值是困难的。因此，所谓测量仪表在其标尺范围内各点读数的绝对误差，一般是指用标准表（准确度较高）和被校表（准确度较低）同时对同一参数测量时所得两个读数之差的绝对值。可用下式表示：

$$\Delta = |x - x_0|$$

式中  $\Delta$ ——绝对误差；

$x$ ——被校表的读数；

$x_0$ ——标准表的读数。



事实上，由于仪表的准确度不仅与绝对误差有关，而且还与仪表的标尺范围有关。例如，而台标尺范围（即测量范围，又称量程）不同的仪表，如果它们的绝对误差相等的话，标尺范围大的仪表准确度较标尺范围小的为高。因此，工业仪表经常将绝对误差折合成仪表标尺范围的百分数表示，称为相对百分误差 $\delta$ ，即：

$$\delta = \frac{x - x_0}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} 100\%$$

仪表准确度等级是按国家统一规定的允许误差大小划分成若干等级。某一台仪表的允许误差是指在规定的正常情况下允许的相对百分误差的最大值，即：

$$\text{仪表的允许误差} = \pm \frac{\text{仪表的最大绝对误差值}}{\text{仪表的测量范围}} 100\%$$

在工业上，经常用仪表的精度级来表示仪表的准确度。仪表的精度级是将该仪表的允许误差的 $\pm$ 及%号去掉后的数值。如某台测温仪表的允许误差为 $\pm 1.5\%$ ，则认为该仪表的精度级符合1.5级。目前，我国生产的仪表其精度级有0.005；0.02；0.05；0.1；0.2；0.35；0.5；1.0；1.5；2.5；4.0等。工业现场用的大都是0.5级以下的。

仪表的精度级一般都以一定符号形式标志在仪表的标尺板上，如   等。

在进行仪表校验时，常常会发现外界条件不变的情况下，使用同一仪表对相同的被测参数值进行正、反行程（即被测参数逐渐由小到大和逐渐由大到小）测量时，其所得到的仪表指示值是不相等的，两者之差就称为该仪表在该读数点的变差。造成变差的原因很多，例如传动机构的间隙、运动件间的摩擦、弹性元件的弹性滞后影响等。变差的大小，一般用在同一被测参数数值下，正、反行程时仪表指示值的绝对误差的最大值与仪表标尺范围之比的百分数表示，即：

$$\text{变差} = \frac{(\bar{x}_E - \bar{x}_R)_{\max}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} 100\%$$

表示仪表的另一个基本技术指标是仪表的灵敏度，它是反映仪表灵敏程度的重要指标。灵敏度在数值上等于被测参数单位变化量引起的仪表指针移动距离（或转角），即：

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$$

式中  $\Delta\alpha$ ——仪表指针的直线位移（或转角位移）；

$\Delta x$ ——引起 $\Delta\alpha$ 所需的被测参数变化量。

## 二、化工测量仪表的分类

化工生产过程中所用的仪表，其结构和形式是多种多样的，根据不同的原则，可以进行相应的分类。

按仪表所使用的能源来分，可以分为气动仪表、电动仪表和液动仪表。但目前常用的为气动仪表和电动仪表。

气动仪表的结构比较简单、直观，工作比较可靠；对温度、湿度、电磁场、放射线等环境影响的抗干扰能力较强，能防火、防爆，价格比较便宜，但气动仪表一般反应速度较慢，传送距离受到限制；与计算机结合比较困难，使大厂的远距离集中控制受到限制。

电动仪表以电为能源，信号之间联系比较方便，适宜于远距离传送、集中控制；便于与电子计算机结合控制生产过程；近年来，电动仪表也可以做到防火、防爆，更有利于电动仪表的安全使用。但电动仪表一般投资较大，受温度、湿度、电磁场、放射线影响较大，使可靠性受到限制。

按仪表的组成形式来分，可以分为单元组合式仪表和基地式仪表。

单元组合式仪表是将各参数的测量及其变送、显示、调节等各部分，分别做成只完成某一个而又能各自独立工作的单元仪表（简称单元，例如变送单元、显示单元、调节单元等）。这些单元之间以统一的标准信号（气动的为 $0.2 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ ；电动的为 $0 \sim 10 \text{ mA}$ 或 $4 \sim 20 \text{ mA}$ ）互相联系，可以根据不同要求，方便地将各单元任意组合成各种调节系统，适用性和灵活性均较好。因此，近年来单元组合式仪表得到了广泛的应用。

基地式仪表是将测量、显示、调节等各部分都装在一个壳体内，成为不可分离的整体。当用它来构成简单自动化系统时，仪表台数少，结构简化。但用它来构成比较复杂的调节系统就有些困难了。

近年来，又出现了组装式电子综合控制装置。它是另一种形式的生产过程自动化成套控制装置。

化工测量仪表按所测量的参数不同，可以分为压力测量、流量测量、液位测量和温度测量等。本篇就是根据这种分类法，将各种主要的化工测量仪表加以叙述和介绍。

# 第一章 压力测量

## 第一节 基本概念

在化工、炼油生产过程中，经常会遇到压力和真空度的测量，其中包括比大气压力高很多的高压和比大气压力低很多的真空度的测量。如高压聚乙烯，要在 $1500\text{kgf/cm}^2$ 或更高压力下下进行聚合，氢气和氮气合成氨气时，要在 $150$ 或 $320\text{kgf/cm}^2$ 的压力下进行反应；而炼油厂减压蒸馏，则要在比大气压低几百毫米水银柱的真空下进行。如果压力不符合要求，不仅影响生产效率，降低产品质量，有时还会造成严重生产事故。因此，为了保证生产正常进行，必须对压力进行测量和按一定要求对压力进行控制。

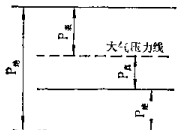


图 1-1 绝对压力、表压、负压（真空度）的关系

所谓压力，简单地说，就是指均匀垂直地作用在单位面积上的力。

压力的表示方式有三种，即绝对压力、表压、负压或真空度。它们之间的关系如图 1-1 所示。

表 1-1 各种压力单位换算表

巴 (bar)	公斤力/厘米 <sup>2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	磅/英寸 <sup>2</sup>	标准气压	汞柱(m) (0℃)	水柱(m) (15℃)
1	1.0197	14.50	0.9869	0.7501	10.197
0.9807	1	14.22	0.9678	0.7355	10.000
0.06895	0.07031	1	0.06805	0.05171	0.7031
1.0133	1.0332	14.70	1	0.760	10.33
1.3332	1.3595	19.34	1.3158	1	13.60
0.09806	0.1000	1.422	0.09673	0.07355	1.00

绝对压力是指介质所受的实际压力。

表压是指高于大气压的绝对压力与大气压力之差，即：

$$P_g = P_a - P_0$$

真空度是指大气压力与低于大气压力的绝对压力之差，即：

$$P_v = P_0 - P_a$$

真空度有时也叫负压。

因为各种工艺设备和测量仪表通常是处于大气之中，本身就承受着大气压力，所以，工程上经常都用表压或真空度来表示压力的大小。而通常用压力表和真空表测得的压力数值也都分别为表压和真空度。因此，以后所提到的压力，除特别说明外，均指表压或真空度。

压力的单位比较多，根据国际单位制 (SI) 规定，压力的单位为帕斯卡，简称帕 (Pa)，

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$$

与帕并用的单位是巴 (bar)，它们的关系是：

$$1\text{bar}=10^5\text{Pa}$$

我国目前仍经常采用的压力单位为 $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，它与巴的关系是：

$$1\text{kgf}/\text{cm}^2=0.9807\text{bar}$$

压力还可以用液柱高度来表示。各种压力单位之间换算关系见表1-1。

测量压力的仪表类型很多，如果按其转换原理的不同，则大致可分为下列四大类：

### 1. 液柱式压力计

它是根据流体静力学原理，把被测压力转换成液柱高度。利用这种方法测量压力的仪表有U形管压力计、单管压力计和斜管压力计等。

### 2. 弹性式压力计

它是根据弹性元件受力变形的原理，将被测压力转换成位移，这种方法我们将在下一节详细讨论。

### 3. 电气式压力计

它是将被测压力转换成各种电量，依据电量的大小而实现压力的间接测量。

### 4. 活塞式压力计

它是根据水压机液体传递压力的原理，将被测压力转换成活塞面积上所加平衡砝码的重量，它普遍地被作为标准仪器用来对弹簧管压力表进行校验和刻度。

## 第二节 弹性式压力计

### 一、弹性式压力计的弹性元件

弹性式压力计是利用各种型式的弹性元件，在被测介质的压力作用下产生弹性变形的程度（一般是用位移的大小）来度量被测压力的大小。

弹性元件不仅是弹性式压力计的感测元件，也经常用来作为气动单元组合仪表的基本组成元件，应用较广。常用的弹性元件有下列几种，如图1-2所示。

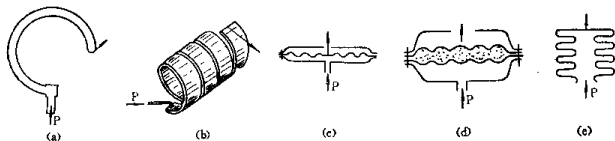


图 1-2 弹性元件示意图

单圈弹簧管是弯成圆弧形的金属管子，它的截面做成扁圆形或椭圆形〔如图1-2(a)〕，当通入压力 $P$ 后，它的自由端就会产生位移。这种单圈弹簧管自由端位移较小，能测量较高的压力。为了增加自由端的位移，可以制成多圈弹簧管〔如图1-2(b)〕。

弹性膜片是由金属或非金属材料做成的具有弹性的一张膜片〔如图1-2(c)〕，在压力作用下能产生变形。有时也可以由两块金属膜片沿周口对焊起来，成一薄壁盒子，称为膜盒〔如图1-2(d)〕。

波纹管是一个周围为波纹状的薄壁金属筒体〔如图1-2(e)〕，这种弹性元件易于变形，而



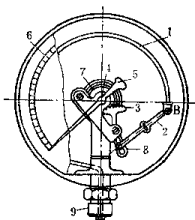


图 1-3 弹簧管压力表

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—调整螺钉；9—接头

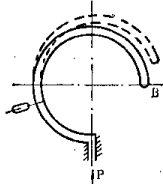


图 1-4 单圈弹簧管的结构

且位移可以很大，应用非常广泛。

根据弹性元件的各种不同型式，弹性式压力计可以分为相应的各种类型。下面我们仅介绍其中的一种——单圈弹簧管压力表

## 二、单圈弹簧管压力表

弹簧管压力表主要由测量元件和放大指示机构组成（见图1-3）。

单圈弹簧管压力表的测量元件——弹簧管，是一根弯成 $270^\circ$ 圆弧的椭圆形截面的空心金属管子（见图1-4）。管子的自由端B封闭，管子的另一端固定在接头上。通入被测的压力 $P$ 后，由于椭圆形截面在压力 $P$ 的作用下，将趋向圆形，弯成圆弧形的弹簧管随之产生向外挺直的扩张变形。从而使弹簧管的自由端B产生位移。此位移一般较小，必须通过放大机构才能指示出来。具体过程是这样的：弹簧管自由端B的位移通过拉杆2（见图1-3）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的带动物作顺时针偏转，在面板6的刻度标尺上显示出被测压力 $P$ 的数值。由于弹簧管自由端位移与被测压力之间具有正比例关系，因此，弹簧管压力表的刻度标尺是线性的。

## 第三节 电气式压力计

电气式压力计一般是将压力的变化转换成电阻、电感或电势等电量的变化，从而实现压力的间接测量。这种压力计反应比较迅速，易于远距离传送，在测量压力快速变化、脉动压力和真空、超高压的场合下较为合适。

### 一、应变片式压力变送器

应变片式压力变送器是利用应变片作为转换元件，将被测压力 $P$ 转换成应变片的电阻值变化，然后经过桥式电路得到毫伏级的电量输出，供给显示、记录仪表。

应变片是由金属导体或半导体材料制成的电阻体，它的电阻值 $R$ 随压力 $P$ 所产生的应变而变化。假如将两片应变片分别以轴向与径向两个方向固定在一圆筒上，如图1-5(a)所示，圆筒内通以被测压力 $P$ ，由于圆筒在压力 $P$ 的作用下产生应变，并且沿轴向和径向的应变值不一样，因此，引起 $r_1$ 、 $r_2$ 的数值发生了变化。 $r_1$ 、 $r_2$ 和固定电阻 $r_3$ 、 $r_4$ 组成测量桥路〔见图1-5(b)〕。当 $r_1=r_2$ 时，桥路是平衡的，输出电压 $\Delta U=0$ 。当 $r_1$ 与 $r_2$ 数值不等时，测量桥路失去平衡，输出不平衡电压 $\Delta U$ ，应变式压力变送器就是根据 $\Delta U$ 随压力 $P$ 变化来实现压力的间接测量。

### 二、霍尔片式压力变送器

霍尔片式压力变送器是利用霍尔元件将由压力引起的位移转换成电势，从而实现对压力的间接测量。

霍尔元件是一块锗半导体薄片，如图1-6所示。将霍尔元件放置在磁场强度为 $B$ 的磁场