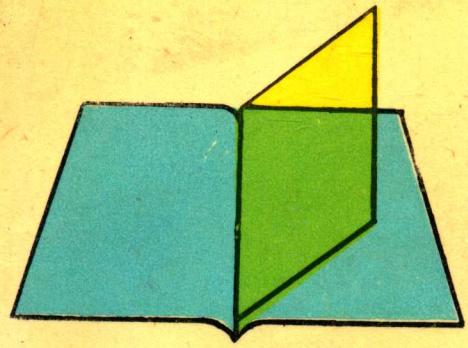


职工高等工业专科学校试用教材

# 化工仪表及自动化

## （化工类专业适用）

北京化工学院
厉　玉　鸣　编

化学工业出版社

TQ056
3

83/82

职工高等工业专科学校试用教材

# 化工仪表及自动化

（化工类专业适用）

北京化工学院
厉玉鸣　编

化学工业出版社
·北　京·

（京）新登字039号

**图书在版编目（CIP）数据**

化工仪表及自动化/厉玉鸣主编.-北京：化学工业出版社，1987.2（1995.10重印）

职工高等专科学校试用教材·化工类专业适用

ISBN 7-5025-0724-8

Ⅰ.化… Ⅱ.厉…Ⅲ.①化工仪表-高等学校-教材②自动化-化工设备-高等学校-教材 Ⅳ.TQ056

中国版本图书馆CIP数据核字（95）第03070号

---

出版者 化学工业出版社（北京市朝阳区惠新里3号）

**社长** 俸培宗 **总编辑** 蔡剑秋

发 行 新华书店北京发行所

印 刷 北京市通县京华印刷厂

装 订 北京市通县京华印刷厂

版 次 1987年2月第1版

印 次 1995年10月第8次印刷

开 本 787×1092 $^{1}/_{16}$

印 张 19

字 数 444千字

印 数 104 591—114 690

定 价 19.60元

# 目　录


绪论

第一篇　化工测量仪表

**第一章　压力测量**……7

第一节　压力单位及测压仪表……7

第二节　弹性式压力计……8

一、弹性元件……8

二、弹簧管压力表……9

第三节　电气式压力计……10

一、应变片式压力传感器……11

二、压阻式压力传感器……11

三、电容式压力传感器……12

第四节　压力计的选用及安装……13

一、压力计的选用……13

二、压力计的安装……14

习题与思考题……16

附录　常用弹簧管压力表及真空表规格……16

**第二章　流量测量**……19

第一节　差压式流量计……20

一、节流现象与流量基本方程式……20

二、标准节流装置……22

三、气动差压变送器……23

四、电动差压变送器……32

五、差压式流量计的测量误差……34

第二节　转子流量计……37

一、工作原理……37

二、电远传式转子流量计……39

三、气远传式转子流量计……40

四、转子流量计的指示值修正……40

第三节　其它流量计……44

一、椭圆齿轮流量计……44

二、涡轮流量计……45

三、电磁流量计……46

四、堰式流量计……47

习题与思考题……49

**第三章　物位测量**……51

第一节　物位测量的意义及主要类型……51
第二节　差压式液位计……52
一、工作原理……52
二、零点迁移问题……52
三、用法兰式差压变送器测量液位……54
四、色带指示仪……54
第三节　其它物位计……57
一、电容式物位计……57
二、核辐射物位计……59
三、称重式液罐计量仪……59
习题与思考题……61
第四章　温度测量……62
第一节　概述……62
一、测温仪表的分类……62
二、温度测量的基本原理……62
第二节　热电温度计……64
一、热电偶……65
二、补偿导线与冷端温度补偿……70
三、XCZ-101型动圈式仪表……75
四、电位差计……77
第三节　电阻温度计……88
一、热电阻……88
二、XCZ-102型动圈式仪表……90
三、电子自动平衡电桥……92
第四节　测温仪表的选用与安装……94
一、工业温度计的选用……94
二、测温元件的安装……95
三、连接导线与补偿导线的安装……96
第五节　电动温度变送器……96
一、测量桥路……97
二、电压-电流转换器……99
第六节　数字式显示仪表……100
一、数字式显示仪表的原理及其特点……100
二、模-数变换器……101
三、电子计数器……103
四、显示器……103
五、数字式显示仪表基本组成……105
习题与思考题……105
附录一、镍铬-镍硅（镍铝）热电偶分度表……107

附录二、镍铬-考铜热电偶分度表 …… 109
附录三、铂铑-铂热电偶分度表 …… 110
附录四、热电偶的规格与型号 …… 110
附录五、铂热电阻温度与电阻值对照表 …… 112
附录六、铂热电阻温度与电阻值对照表 …… 113
附录七、WZG型铜热电阻分度特性表 …… 114
附录八、WZC型铜热电阻分度特性表 …… 115
参考书目 …… 115

## 第二篇　化工自动化基础

**第五章　化工自动化基本概念** …… 117
第一节　自动调节系统概述 …… 117
一、人工调节和自动调节 …… 117
二、自动调节系统的分类 …… 118
三、自动调节系统的组成 …… 118
四、自动调节系统的方框图 …… 119
五、负反馈的概念 …… 121
六、调节系统的静态与动态 …… 121
第二节　调节对象的特性 …… 122
一、简单液位对象特性的数学描述 …… 123
二、串联贮槽特性的数学描述 …… 125
三、描述对象特性的参数 …… 125
四、对象特性的实验测取 …… 132
习题与思考题 …… 134
**第六章　自动调节系统的过渡过程及基本调节规律** …… 136
第一节　自动调节系统的过渡过程及品质指标 …… 136
一、自动调节系统的过渡过程 …… 136
二、自动调节系统的品质指标 …… 137
第二节　位式调节 …… 140
一、双位调节 …… 140
二、具有中间区的双位调节 …… 141
三、多位调节 …… 143
第三节　比例调节 …… 144
一、比例调节规律及其特点 …… 144
二、比例度及其对调节过程的影响 …… 146
第四节　积分调节 …… 149
一、积分调节规律及其特点 …… 149
二、比例积分调节规律与积分时间 …… 151
三、积分时间对系统过渡过程的影响 …… 152

第五节　微分调节 …… 153
一、微分调节规律及其特点 …… 153
二、实际的微分调节规律及微分时间 …… 153
三、比例微分调节系统的过渡过程 …… 155
四、比例积分微分调节 …… 156
习题与思考题 …… 158
**第七章　自动调节仪表** …… 159
第一节　概述 …… 159
第二节　气动单元组合仪表 …… 160
一、单元组合仪表概述 …… 160
二、气动膜片式比例积分调节器 …… 161
三、微分器 …… 169
四、波纹管式比例积分调节器 …… 172
五、波纹管式微分器 …… 174
六、显示仪表 …… 175
第三节　电动单元组合仪表 …… 179
一、DDZ-Ⅲ型电动调节器 …… 179
二、DDZ-Ⅱ型电动调节器 …… 190
第四节　基地式调节器 …… 195
一、UTQ-Ⅱ型气动液位调节器 …… 196
二、简易式电子调节器 …… 199
第五节　可编程序调节器简介 …… 200
习题与思考题 …… 202
**第八章　执行器** …… 204
第一节　气动执行器 …… 204
一、气动执行器的组成与分类 …… 204
二、调节阀的流量特性 …… 210
三、调节阀的选择 …… 214
四、调节阀的安装和维护 …… 216
第二节　阀门定位器与电-气转换器 …… 216
一、气动阀门定位器 …… 216
二、电-气阀门定位器 …… 217
三、电-气转换器 …… 218
第三节　电动执行器 …… 218
一、概述 …… 218
二、角行程电动执行机构 …… 219
三、直行程电动执行机构 …… 221
习题与思考题 …… 221
**第九章　简单调节系统** …… 222

第一节　简单调节系统的组成…… 222
第二节　被调参数的选择…… 222
第三节　调节参数的选择…… 225
第四节　调节器调节规律的选择及参数整定…… 227
一、调节规律的选择…… 227
二、调节器参数的工程整定…… 227
第五节　调节系统的投运及操作中的常见问题…… 231
一、调节系统的投运…… 231
二、调节系统操作中的常见问题…… 234
习题与思考题…… 240
**第十章　复杂调节系统**…… 241
第一节　串级调节系统…… 241
一、串级调节系统概述…… 241
二、串级调节系统的特点及应用…… 244
三、主、副调节器调节规律的选择…… 247
四、调节器参数整定与系统投运…… 247
第二节　其它复杂调节系统…… 249
一、均匀调节系统…… 249
二、比值调节系统…… 251
三、前馈调节系统…… 253
四、取代调节系统…… 254
五、分程调节系统…… 255
六、多冲量调节系统…… 256
第三节　计算机控制系统…… 258
一、概述…… 258
二、计算机控制系统的基本组成…… 259
三、计算机控制系统的分类…… 261
四、直接数字控制系统…… 264
五、计算机控制系统的现场应用…… 269
习题与思考题…… 270
**第十一章　典型化工单元的调节方案**…… 271
第一节　流体输送设备的自动调节…… 271
一、离心泵的自动调节方案…… 271
二、往复泵的自动调节方案…… 273
三、压气机的自动调节方案…… 274
第二节　传热设备的自动调节…… 275
一、两侧均无相变化的换热器调节方案…… 275
二、载热体进行冷凝的加热器自动调节…… 277
三、冷却剂进行汽化的冷却器自动调节…… 279

第三节　精馏塔的自动调节…… 280
一、精馏塔的干扰因素及对自动调节的要求…… 280
二、精馏塔的调节方案…… 282
第四节　化学反应器的自动调节…… 285
一、化学反应器的调节要求…… 285
二、釜式反应器的温度自动调节…… 286
三、固定床反应器的自动调节…… 287
四、流化床反应器的自动调节…… 289
习题与思考题…… 289
参考书目…… 290

# 绪　论

化工自动化是化工、炼油、食品、轻工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。

自动化是提高社会生产力的有力工具之一。它能保证生产正常运行，促进强化生产；提高产品产量，保证产品质量；减少消耗定额，降低生产成本；延长设备寿命，确保生产安全；改善劳动条件，减轻劳动强度。

从生产过程自动化的发展情况来看，首先是应用一些自动检测仪表来监视生产；进一步就是应用自动控制仪表及一些控制机构，代替部分人工操作，按工艺要求自动控制生产过程正常进行；在此基础上又进一步发展，使用电子计算机以实现生产过程的全部自动化。

按照功能的不同，自动化系统一般可以分为：

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、容器或管道中不停地进行化学反应或物理变化。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工艺参数进行测量，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生产的“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或操作不当，会导致工艺参数越出允许的变化范围，使生产不正常，甚至有引起爆炸、燃烧或发生其它严重事故的可能。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报警与联锁装置。在事故即将发生前，信号系统就能自动地发出声、光信号，告诫人们注意并及早采取措施。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，必要时紧急停产，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与水蒸汽，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，使它们交替地接通煤气发生炉，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（或控制）系统

在化工生产中，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，都可能引起其它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，对生产中某些重要工艺参数进行自

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。

本门课程重点介绍自动检测系统与自动调节系统。

本课程分为两篇。第一篇是化工测量仪表，第二篇化工自动化基础。实际上，第一篇是研究如何获取化工生产过程中的“信息”；第二篇是研究如何对化工生产过程进行有效的“控制”。所以，从这个意义上来说，“化工仪表及自动化”课程是研究生产过程的“信息与控制”的。这是一门综合性的技术学科。随着现代科学技术的进步，本学科将不断发展并日益被人们所重视。在化工生产过程中，由于实现了自动化，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，越来越多的工艺技术人员认识到：学习自动化及仪表方面的知识，对于管理与开发现代化化工生产过程是十分重要的。

通过本门课程的学习，应能了解主要工艺参数（温度、压力、流量及物位）的测量方法和仪表的工作原理及特点；能根据工艺要求，正确地选用和使用常见的测量仪表和调节仪表；能了解化工自动化的初步知识，理解基本调节规律，懂得调节器参数是如何影响调节质量的；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；能在生产开停车过程中，初步掌握自动控制系统的投运及调节器的参数整定。

近年来，科学技术的发展与革新极为迅速，特别是电子计算机在自动化中发挥越来越巨大的威力，这对常规仪表产生了一系列的影响，促进常规仪表不断变革。但是，电子计算机并不能完全代替常规仪表，因为既使在控制系统中采用了电子计算机，也还必须具有获得过程信息的工具——检测仪表及具体执行控制功能的工具——执行器。因此，随着工业生产自动化的不断提高，常规仪表与计算机都将获得进一步的发展，以适应各个方面的不同要求。

# 第一篇　化工测量仪表

在工业生产过程中，为了正确地指导生产操作，保证生产安全，保证产品质量和实现生产过程自动化，一项必不可少的工作是准确而及时地检测出生产过程中的各个有关参数。用来测量生产过程中压力、流量、物位、温度等参数的仪表称为化工测量仪表。现就有关测量和测量仪表的一些基本知识作一简单介绍。

## 一、测量过程和测量误差

### 1．测量过程

在生产过程中，尽管所使用的测量仪表品种繁多，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。

### 2．测量误差

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。工程上通常是以下列质量指标来衡量测量仪表品质的。

（1）绝对误差和相对误差

绝对误差在理论上是指仪表指示值 $x_i$ 和被测量的真实值 $x_t$ 之间的差值，可表示为：

$$\Delta = x_i - x_t$$

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所得到的两个读数之差，可用下式表示：

$$\Delta = x - x_0$$

式中　$\Delta$——绝对误差；

$x$——被校表的读数值；

$x_0$——标准表的读数值。

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，两台标尺范围（即测量范围）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：

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

（2）允许误差和精度等级

根据仪表的使用要求，规定一个在正常情况下允许的最大误差，这个允许的最大误差就叫允许误差。允许误差一般用相对百分误差来表示，即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，可表示为：

$$仪表的允许误差=\pm\frac{仪表的最大绝对误差}{标尺上限值-标尺下限值}\times 100\%$$

仪表的标尺上限值与下限值之差，一般称为仪表的量程（*Span*）。

仪表的精度等级是按国家统一规定的允许误差划分成的若干等级，因此，仪表的精度等级与仪表允许误差的大小有关。根据仪表的允许误差去掉“±”号及“%”号后的数值，可以来确定仪表的精度等级。目前，我国生产的仪表常用的精度等级有0.005；0.02；0.05；0.1；0.2；0.4；0.5；1.0；1.5；2.5；4.0等。如果某台测温仪表的允许误差为±1.5%，则认为该仪表的精度等级符合1.5级。为了进一步说明如何确定仪表的精度等级，下面再举一个例子。

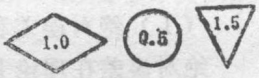
例　某台测温仪表的测温范围为200～700℃，仪表的最大绝对误差为±4℃，试确定该仪表的允许误差与精度等级。

解　仪表的允许误差为：

$$\pm\frac{4}{700-200}\times 100\%=\pm 0.8\%$$

如果将该仪表的允许误差去掉“±”号与“%”号，其数值为0.8。由于国家规定的精度等级中没有0.8级仪表，同时，该仪表的允许误差超过了0.5级仪表所允许的最大误差，所以，这台测温仪表的精度等级为1.0级。

仪表精度等级是衡量仪表质量优劣的重要指标之一，一般数值越小，仪表精度等级越高，仪表的准确度也越高。工业现场用的测量仪表，其精度大多是0.5级以下的。

仪表的精度等级一般可用不同的符号形式标志在仪表面板上，如

等。

（3）灵敏度与灵敏限

仪表指针的线位移或角位移，与引起这个位移的被测参数变化量的比值称为仪表的灵敏度，用公式表示如下：

$$S=\frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$$

式中　$S$——仪表的灵敏度；

$\Delta\alpha$——指针的线位移或角位移；

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

所以仪表的灵敏度，在数值上就等于单位被测参数变化量所引起的仪表指针移动的距离（或转角）。

所谓仪表的灵敏限，是指能引起仪表指针发生动作的被测参数的最小变化量。通常仪表的灵敏限的数值应不大于仪表允许绝对误差的一半。

值得注意的是，上述指标仅适用于指针式仪表。在数字式仪表中，往往用分辨力来表示仪表灵敏度（或灵敏限）的大小。数字仪表的分辨力就是在仪表的最低量程上最末一位改变一个数所表示的量。以七位数字仪表为例，在最低量程满度值为1 V时，它的分辨力

则为 0.1 $\mu V$。数字仪表能稳定显示的位数越多，则分辨力越高。

（4）指示变差

在进行仪表校验时，常常会发现在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（即被测参数由小逐渐变大和由大逐渐变小）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指示变差。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的量程之比的百分数表示，即：

$$\text{变差}=\frac{(x_{正}-x_{反})_{max}}{\text{仪表的量程}}\times 100\%$$

必须注意，仪表的变差不能超出仪表的允许误差，否则，应及时修理。

（5）反应时间

当用仪表对被测量进行测量时，被测量变化以后，仪表指示值总要经过一段时间才能准确地显示出来。反应时间就是用来衡量仪表能不能尽快反应出参数变化的品质指标。反应时间大，说明仪表需要较长时间才能给出准确的指示，那就不宜用来测量变化频繁的参数。因为在这种情况下，当仪表尚未准确显示出被测值时，参数本身却早已改变了，使仪表始终指示不出参数瞬时值的真实情况。所以，仪表的反应时间长短，实际上是反映了仪表动态特性的好坏。

仪表的反应时间有不同的表示方法。当输入信号突然变化一个数值后，输出信号将由原始值逐渐变化到新的稳态值。仪表的输出信号（即指示值）由开始变化到新稳态值的63.2%所用的时间，可用来表示反应时间，也有用变化到新稳态值的95%所用的时间来表示反应时间的。

必须指出，在考虑对仪表品质指标的要求时，除了以上指标以外，还应该对仪表的可靠性引起足够的重视。一台仪表在使用过程中，各种指标不应该有明显的变化。另外，对品质指标的要求切勿有偏面性、绝对性。要根据工艺生产的实际需要，并考虑到仪表制造的现状及经济合理性，对仪表性能指标提出恰如其分的要求。

## 二、工业仪表的分类

工业仪表种类繁多，结构形式各异，根据不同的原则，可以进行相应的分类。

1．按仪表使用的能源分类

按使用的能源来分，工业自动化仪表可以分为气动仪表、电动仪表和液动仪表。目前工业上常用的为气动仪表和电动仪表。

（1）气动仪表　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、放射性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，不宜实现远距离大范围的集中显示与控制；与计算机结合比较困难，难于实现复杂系统的控制。

（2）电动仪表　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；便于与计算机联用；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。但电动仪表一般结构较复杂；易受温度、湿度、电磁场、放射性等环境影响。

2．按信息的获得、传递、反映和处理的过程分类

从工业自动化仪表在信息传递过程中的作用不同，可以分为五大类：

（1）检测仪表　检测仪表的主要作用是获得信息，并进行适当的转换。在生产过程中，检测仪表主要用来测量某些工艺参数，如温度、压力、流量、物位以及物质的成分、物性等，并将被测参数的大小成比例地转换成电的信号（电压、电流、频率等）或气压信号。

（2）显示仪表　显示仪表的作用是将由检测仪表获得的信息显示出来，包括各种模拟量、数字量的电动、气动指示仪、记录仪和积算器，以及工业电视、图象显示等。

（3）集中控制装置　包括各种巡回检测仪、巡回调节仪、程序控制仪、数据处理机、电子计算机以及仪表控制盘和操作台等。

（4）调节仪表　包括各种电动、气动的调节器以及用来代替模拟调节仪表的微处理机等。调节仪表可以根据需要对输入信号进行各种运算。

（5）执行器　执行器可以接受调节仪表来的信号或直接来自操作人员的指令，对生产过程进行操作或控制。执行器包括各种气动、电动、液动执行机构和调节阀。

3．按仪表的组成形式分类

（1）基地式仪表　这种仪表是将测量、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调节系统时，仪表台数少、结构简单，但用它来构成比较复杂的系统时就较困难，不够灵活。

（2）单元组合式仪表　将对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种功能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，适用性和灵活性都较好。

本篇将着重介绍几个主要工艺参数的检测方法及仪表，并涉及某些显示仪表，而调节仪表及执行器将在第二篇中再予介绍。根据被测参数的不同，我们将检测仪表分为压力、流量、物位、温度等，分别加以介绍。

# 第一章 压力测量

化工生产中，所谓压力是指由气体或液体均匀垂直地作用于单位面积上的力。在工业生产过程中，压力往往是重要的操作参数之一。特别是在化工、炼油等生产过程中，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、超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150兆帕或更高压力下进行聚合；氢气和氮气合成氨气时，要在15或32兆帕的压力下进行反应；而炼油厂减压蒸馏，则要在比大气压低很多的真空下进行。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。在化学反应中，压力既影响物料平衡关系，也影响化学反应速度。所以，压力的测量与控制，对保证生产过程正常进行，达到高产、优质、低消耗和安全是十分重要的。

## 第一节 压力单位及测压仪表

由于压力是指均匀垂直地作用在单位面积上的力，故可用下式表示：

$$P=\frac{F}{S} \tag{1-1}$$

式中 $P$ 表示压力，$F$ 表示垂直作用力，$S$ 表示受力面积。

根据国际单位制（代号为SI）规定，压力的单位为帕斯卡，简称帕（Pa），1帕为1牛顿每平方米，即：

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

帕所代表的压力较小，工程上经常使用兆帕（MPa）。帕与兆帕之间的关系为：

$$1\text{MPa}=1\times10^6\text{Pa} \tag{1-3}$$

过去使用的压力单位比较多，根据1984年2月27日国务院“关于在我国统一实行法定计量单位的命令”的规定，这些单位将不再使用。但为了使大家了解国际单位制中的压力单位(Pa或MPa)与过去的单位之间的关系，下面给出几种单位之间的换算关系表1-1。

表 1-1 各种压力单位换算表

| 压力单位 | 帕 Pa | 兆帕 MPa | 工程大气压 kgf/cm² | 物理大气压 atm | 汞柱 mmHg | 水柱 $mH_2O$ | 磅/英寸² lb/in² | 巴 bar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 帕 | 1 | $1\times10^{-6}$ | $1.0197\times10^{-5}$ | $9.869\times10^{-6}$ | $7.501\times10^{-3}$ | $1.0197\times10^{-4}$ | $1.450\times10^{-4}$ | $1\times10^{-5}$ |
| 兆帕 | $1\times10^6$ | 1 | 10.197 | 9.869 | $7.501\times10^3$ | $1.0197\times10^2$ | $1.450\times10^2$ | 10 |
| 工程大气压 | $9.807\times10^4$ | $9.807\times10^{-2}$ | 1 | 0.9678 | 735.6 | 10.00 | 14.22 | 0.9807 |
| 物理大气压 | $1.0133\times10^5$ | 0.10133 | 1.0332 | 1 | 760 | 10.33 | 14.70 | 1.0133 |
| 汞柱 mm | $1.3332\times10^2$ | $1.3332\times10^{-4}$ | $1.3595\times10^{-3}$ | $1.3158\times10^{-3}$ | 1 | 0.0136 | $1.934\times10^{-2}$ | $1.3332\times10^{-3}$ |
| 水柱，m | $9.806\times10^3$ | $9.806\times10^{-3}$ | 0.1000 | 0.09678 | 73.55 | 1 | 1.422 | 0.09806 |
| 磅/英寸² | $6.895\times10^3$ | $6.895\times10^{-3}$ | 0.07031 | 0.06805 | 51.71 | 0.7031 | 1 | 0.06895 |
| 巴 | $1\times10^5$ | 0.1 | 1.0197 | 0.9869 | 750.1 | 10.197 | 14.50 | 1 |

在压力测量中，常有表压、绝对压力、负压或真空度之分，其关系见图 1-1。

工程上所用的压力指示值，大多为表压（绝对压力计的指示值除外）。表压是绝对压力和大气压力之差，即：

$$P_{表压}=P_{绝对压力}-P_{大气压力}$$

当被测压力低于大气压力时，一般用负压或真空度来表示，它是大气压力与绝对压力之差，即：

$$P_{真空度}=P_{大气压力}-P_{绝对压力}$$

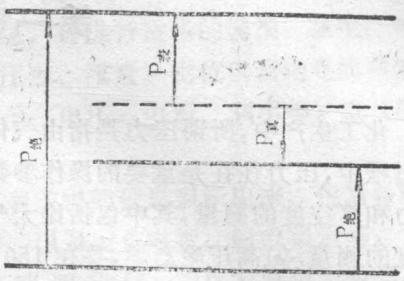



图 1-1 绝对压力、表压、负压(真空度)的关系

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，工程上经常用表压或真空度来表示压力的大小。以后所提到的压力，除特别说明外，均指表压或真空度。

测量压力和真空度的仪表很多，按照其转换原理的不同，大致可分为四大类：

1．液柱式压力计

它是根据流体静力学原理，将被测压力转换成液柱高度进行测量的。按其结构形式的不同，有U型管压力计、单管压力计和斜管压力计等。这种压力计结构简单、使用方便。但其精度受工作液的毛细管作用、密度及视差等因素影响，测量范围较窄，一般用来测量低压力或真空度。

2．弹性式压力计

它是将被测压力转换成弹性元件变形的位移进行测量的。例如弹簧管压力计、波纹管压力计及膜式压力计等。

3．电气式压力计

它是通过机械和电气元件将被测压力转换成电量（如电压、电流、频率等）来进行测量的仪表，例如电容式、电阻式、电感式、应变片式和霍尔片式等压力计。

4．活塞式压力计

它是根据水压机液体传送压力的原理，将被测压力转换成活塞上所加平衡砝码的重量进行测量的。它的测量精度很高，允许误差可小到 0.05～0.02%。但结构较复杂，价格较贵。一般作为一种标准型压力测量仪器，可检验其它类型的压力计。

## 第二节　弹性式压力计

弹性式压力计是利用各种形式的弹性元件，在被测介质压力的作用下，使弹性元件受压后产生弹性变形的原理而制成的测压仪表。这种仪表具有结构简单、使用可靠、读数清晰、牢固可靠、价格低廉、测量范围广以及有足够的精度等优点。若增加附加装置，如记录机构、电气变换装置、控制元件等，则可以实现压力的记录、远传、信号报警、自动控制等。弹性式压力计可以用来测量几百帕到数千兆帕范围内的压力，因此在工业上是应用最为广泛的一种测压仪表。

### 一、弹性元件

弹性元件是一种简易可靠的测压敏感元件。它不仅是弹性式压力计的测压元件，也经