

# 化工测量仪表

《化工测量仪表》编写组

H UAGONG CELIANG YIBIAO

9334/268

037256



上海科学技术出版社

# 化 工 测 量 仪 表

《化工测量仪表》编写组

上海科学技术出版社

## 内 容 提 要

本书除对化工测量过程的基础知识作一般阐述外,主要介绍测量仪表的基本技术性能、测量原理、结构、选用、校验及安装,并且附有角接法节流装置计算用图和表。

### 化 工 测 量 仪 表

《化工测量仪表》编写组

(原上海人民版)

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 25.625 字数 564,000

1980年2月新1版 1980年2月第1次印刷

印数 1—12,000

书号: 15119·2039 定价: 2.40 元

## 前 言

工业自动化仪表正在日新月异地发展,在国民经济各部门日益得到了广泛应用,化工、炼油等工业生产中也正逐步实现生产过程自动化。为了能将目前已在化工、炼油生产中广泛采用的各种仪表更迅速地推广应用,提高生产的自动化水平,在1972年4月原燃化部召开的自控建设会议上决定,由现化工部自控中心站组织编写《化工测量仪表》。

本书可供化工、炼油生产部门从事仪表及自动化工作者阅读,同时也可作为大专院校化工、炼油自动化专业学生的参考用书。

《化工测量仪表》编写组执笔者为:华东石油学院范玉久、奚立明,上海化工学院陈彦萼,上海机械学院朱家祖,上海化工专科学校王振义。最后由华东石油学院范玉久、奚立明,上海化工学院陈彦萼校阅整理。

由于我们业务水平有限,书中可能还有不少缺点、错误,望广大读者批评指正。

《化工测量仪表》编写组

1979年2月

# 目 录

## 测量仪表概述

一、测量过程 .....	1	三、测量仪表的基本技术性能 .....	4
二、测量误差及误差理论 .....	1	四、测量仪表的基本组成 .....	6

## 第一篇 压力测量

<b>第一章 液柱式压力计</b>		<b>第一节 应变片式压力计</b> .....		17	
第一节	U型液柱压力计 .....	9	一、应变片原理 .....	17	
第二节	单管液柱压力计 .....	9	二、应变片式压力传感器 .....	18	
<b>第二章 弹性式压力计</b>		<b>第二节 热电真空计</b> .....		19	
第一节	膜式微压计 .....	12	<b>第四章 活塞式压力计</b>		
第二节	波纹管式压力计 .....	12	第一节	活塞式压力计的工作原理 .....	20
第三节	弹簧管式压力表 .....	13	第二节	活塞式压力计的应用 .....	21
一、	弹簧管的测压原理 .....	13	<b>第五章 压力表的选用、校验和安装</b>		
二、	弹簧管压力表的结构 .....	14	第一节	压力表的选用 .....	22
三、	霍尔片式弹簧管远传压力表 .....	14	第二节	压力表的校验和产生误差的原因 .....	22
<b>第三章 电气式压力计</b>		第一节		压力表的安装 .....	23

## 第二篇 流量测量

<b>第一章 差压式流量计</b>		二、脏污介质的流量测量 .....		44	
第一节	节流装置的流量测量原理 .....	26	第四节	标准节流装置的设计计算 .....	44
一、	节流现象及其原理 .....	26	一、	求出尚缺的数据 .....	45
二、	流量基本方程式 .....	28	二、	确定差压上限值 $\Delta P_{\max}$ (或 $h_{20\max}$ ) .....	45
三、	流量基本方程式中有关系数的确定 .....	30	三、	确定节流装置开孔直径 $d$ 值 .....	48
四、	实用流量方程式 .....	38	四、	节流装置开孔直径 $d$ 值的计算示例 .....	50
第二节	标准节流装置 .....	39	<b>第五节 差压计</b> .....		56
一、	标准节流装置的使用条件 .....	39	一、	双波纹管差压计 .....	57
二、	标准节流装置的结构和尺寸要求 .....	40	二、	膜片式差压计 .....	62
三、	制造节流装置的材料 .....	42	<b>第六节 差压式流量计的安装</b> .....		67
四、	标准节流装置的选择原则 .....	42	一、	标准节流装置的安装 .....	67
第三节	特殊节流装置 .....	43	二、	引压导管的安装 .....	68
一、	低雷诺数情况下的流量测量 .....	43	三、	差压计的安装 .....	68
			四、	差压式流量计的安装示例 .....	68

第七节 差压式流量计使用中的测量误差	70
一、被测介质工作状态的变动	71
二、节流装置安装不正确	71
三、孔板入口边缘的磨损	71
四、节流装置内表面的结垢和流通截面积的变化	72
五、差压计和引压导管路安装的不正确	72

## 第二章 转子流量计

第一节 转子流量计的工作原理	73
一、工作原理	73
二、流量方程式	73
三、转子的特性	75
第二节 远传式转子流量计	75
一、LZD 系列电远传式转子流量计	75
二、LZQ 系列气远传式转子流量计	76
第三节 转子流量计的使用	77
一、转子流量计的使用特点	77
二、流量指示值的修正	77
三、改量程	79

## 第三章 靶式流量计

第一节 基本原理	80
第二节 靶式流量变送器的结构和原理	82
一、气动靶式流量变送器	82
二、电动靶式流量变送器	83
第三节 靶式流量变送器的校验和调整	84
一、干校	84
二、湿校	84

## 第四章 电磁流量计

第一节 基本原理和检测部分的结构	87
------------------	----

第二节 转换部分的构成原理	89
第三节 电磁流量计的特点和应注意的问题	93

## 第五章 涡轮流量计

第一节 变送器的结构和原理	95
一、涡轮变送器的结构	95
二、工作原理	96
第二节 涡轮流量计的显示仪表	97
一、总量积算	97
二、瞬时流量指示	102
第三节 涡轮流量计的特点	102

## 第六章 椭圆齿轮流量计

第一节 流量测量原理	104
第二节 流量信号的显示原理	105
一、就地显示	105
二、远传显示	105
第三节 椭圆齿轮流量计的特点和使用	105

## 第七章 质量流量计

第一节 直接式质量流量计	107
第二节 补偿式质量流量计	108
一、压差-密度补偿法	108
二、流速-密度补偿法	108
三、压差-流速补偿法	109

## 第八章 流量仪表的校验和标定

附录 角接法节流装置计算用图和表	111
------------------	-----

# 第三篇 物位测量

## 第一章 浮力式液位计

第一节 恒浮力式液位计	162
一、浮标式液位计	162
二、自动跟踪式液位计	162
三、浮球式液位计	163
第二节 变浮力式液位计	164
一、基本原理	164
二、BYD-III 型浮筒式液位变送器	165
三、浮筒式液位计的校验	167

## 第二章 静压式液位计

第一节 压力计式液位计	169
第二节 差压式液位计	170
一、QDZ-II 型气动差压变送器	170
二、迁移问题	170
三、用法兰式差压变送器测量液位	173
第三节 吹气式液位计	173
第四节 流化床工艺参数吹气式测量	175
一、流化床催化剂重度测量	175

二、流化床催化剂藏量测量 .....	175
三、密相床层高度测量 .....	176
四、实现流化床测量的安装及配管 .....	176

### 第三章 电容式物位计

第一节 基本原理 .....	178
第二节 检测电容量的方法 .....	179

### 第四章 超声波物位计

第一节 基本原理 .....	181
第二节 测量方法 .....	182
一、设置校正具方法 .....	182

二、固定距离标志方法 .....	183
三、双探头测量方法 .....	184

第三节 超声波物位计的组成举例 .....	185
-----------------------	-----

第四节 超声波物位计的应用特点 .....	187
-----------------------	-----

### 第五章 放射性物位计

第一节 基本原理 .....	188
----------------	-----

第二节 射线探测器 .....	189
-----------------	-----

一、电离箱 .....	189
-------------	-----

二、盖革计数管 .....	189
---------------	-----

三、闪烁计数管 .....	189
---------------	-----

第三节 测量物位的方法 .....	190
-------------------	-----

## 第四篇 温度测量

### 第一章 测温仪表的基本概念

一、温度 .....	194
二、温标的概念及种类 .....	194
三、测温仪表的分类 .....	199

### 第二章 常用测温仪表

第一节 膨胀式温度计 .....	203
------------------	-----

一、液体膨胀式温度计(即玻璃液体温度计) .....	203
----------------------------	-----

二、固体膨胀式温度计 .....	212
------------------	-----

第二节 压力表式温度计 .....	213
-------------------	-----

一、压力表式温度计的测温原理及构造 .....	213
-------------------------	-----

二、压力表式温度计的分类 .....	214
--------------------	-----

第三节 热电偶 .....	217
---------------	-----

一、热电偶测温的基本原理 .....	218
--------------------	-----

二、常用热电偶的种类 .....	221
------------------	-----

三、热电偶的构造及结构型式 .....	223
---------------------	-----

四、热电偶冷端的温度补偿 .....	225
--------------------	-----

五、热电偶实用的测温线路 .....	230
--------------------	-----

六、特殊热电偶及其应用 .....	232
-------------------	-----

七、热电偶的故障、焊接与校验 .....	237
----------------------	-----

八、热电偶测温误差分析 .....	240
-------------------	-----

第四节 热电阻 .....	257
---------------	-----

一、热电阻的材料和要求 .....	258
-------------------	-----

二、常用热电阻 .....	259
---------------	-----

三、热电阻的基本技术特性 .....	262
--------------------	-----

四、热电阻的校验 .....	264
----------------	-----

五、热电阻的故障与修理 .....	265
-------------------	-----

六、热电阻的型号及主要规格 .....	266
---------------------	-----

第五节 半导体电阻温度计 .....	277
--------------------	-----

一、热敏电阻 .....	277
--------------	-----

二、半导体点温计 .....	278
----------------	-----

第六节 热辐射式高温计 .....	280
-------------------	-----

一、辐射测温的一般概念 .....	280
-------------------	-----

二、辐射高温计的理论基础 .....	282
--------------------	-----

三、WGG-2型光学高温计的原理、结构及使用 方法 .....	283
------------------------------------	-----

四、全辐射高温计 .....	286
----------------	-----

第七节 接触式温度计的安装 .....	291
---------------------	-----

一、感温元件在管道(设备)上的安装 .....	291
-------------------------	-----

二、连接导线与补偿导线的安装 .....	303
----------------------	-----

三、节省补偿导线的方法 .....	304
-------------------	-----

### 第三章 温度测量显示仪表

第一节 动圈式指示仪表 .....	307
-------------------	-----

一、动圈式仪表测量机构的作用原理 .....	307
------------------------	-----

二、对动圈测量机构的要求 .....	309
--------------------	-----

三、动圈仪表测量机构的组成部分 .....	310
-----------------------	-----

四、动圈仪表的误差分析 .....	311
-------------------	-----

五、XOZ型配热电偶的动圈仪表的测量线路 .....	314
----------------------------	-----

六、与热电偶配套的动圈仪表的改刻度 .....	316
-------------------------	-----

七、XOZ型配热电阻动圈仪表的测量线路 .....	317
---------------------------	-----

附: 动圈仪表型号命名 .....	321
-------------------	-----

第二节 电子电位差计 .....	321
------------------	-----

一、电位差计的原理、结构和使用方法 .....	321
-------------------------	-----

二、电子电位差计的工作原理及方块图(概述) .....	324
-----------------------------	-----

三、测量桥路的分析和计算 .....	325
--------------------	-----

四、稳压电源 .....	333
--------------	-----

五、晶体管放大器 .....	337
----------------	-----

六、平衡机构和可逆电机 .....	352	十一、电子电位差计的变形产品与附加装置 .....	381
七、走纸机构和同步电机 .....	354	第三节 电子平衡电桥 .....	388
八、XWC、XWD型电子电位差计 .....	355	一、测量桥路的分析与计算 .....	389
九、电子电位差计的调校与故障 .....	362	二、电子平衡电桥的调校与故障判断 .....	397
十、电子电位差计的干扰问题与防止措施 .....	369	附录 .....	398



# 测量仪表概述

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、液位、流量、温度等参数进行自动测量。用来测量这些参数的仪表称为化工测量仪表。随着我国化工和炼油工业蓬勃发展,对测量仪表在数量上和质量上的要求,以及对各种特殊介质和参数测量的要求也日益提高。在毛主席革命路线指引下,我国化工仪表正在独立自主、自力更生、奋发图强道路上迅猛跃进,仪表工业面貌焕然一新,蒸蒸日上。采用新原理、新材料和新结构的各种崭新的化工测量仪表不断出现,以适应社会主义建设的需要。

## 一、测量过程

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。例如,弹簧管压力表之所以能用来测量压力,是根据被测压力经过弹簧管受压后的弹性变形,把被测压力转换成弹性变形位移(机械能),然后再通过机械传动放大,变成压力表指针的偏转,并与压力刻度标尺上的测压单位相比较而显示出被测压力的数值;又如各种炉温的测量,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(机械能),并与温度标尺相比较而显示出被测温度的数值等等。由此可见,各种测量仪表不论采用哪一种原理,它们的共性在于被测参数都要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。所以,各种测量仪表的测量过程,实质上就是被测参数信号以能量形式一次或多次不断转换和传送的过程;测量过程实质上也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比较的工具。

## 二、测量误差及误差理论

### 1. 测量误差

“客观现实世界的变化运动永远没有完结,人们在实践中对于真理的认识也就永远没有完结”。人们对于被测参数真实值的认识,随着实践经验的积累和科学技术的发展将愈来愈接近,但也决不会达到绝对相等的地步,这是由于在测量过程中始终存在着各种各样的影响因素。这些影响因素的不同和变化使得所测得的数值和被测参数真实值之间存在着一定差别,这一差别就是测量误差。即仪表的测量值 $\omega$ 不能绝对准确地等于被测参数的真实值 $L$ ,人们只是力求使 $\omega$ 接近 $L$ 。实际上,被测参数的真实值 $L$ 本身也仅仅是经过多次重复精细

测量得到的,认为比较可靠的数值而已。例如,在压力表校验中,往往利用准确度较高的标准压力表上的指示值作为代表比较可靠的被测压力的真实值  $P_L$ ,而准确度较低的工业用压力表上的指示值,则认为是不大可靠的测量值  $P_e$ ,而压力测量的误差  $\Delta P = P_e - P_L$ 。 $\Delta P$  愈小,被测压力指示值  $P_e$  的可靠程度愈高。因此,求知测量误差的目的就在于用来判断测量结果的可靠程度。

测量误差按其产生原因可以分成下列三类:

(1) 系统误差: 系统误差是由于仪表使用不当或测量时外界条件变化等原因所引起的测量误差,它是一种有规律的误差,可以用对测量值加上适当修正的方法来消除。例如,采用标准孔板测量蒸汽流量时,由于工作时蒸汽压力和温度与计算孔板孔径时的数值不同而引起的测量误差,这种误差属于系统误差。如果已知变动后工作状态时蒸汽的压力和温度的数值,则可以通过一定关系式的计算,对仪表指示值加以修正的方法来消除之。所以,系统误差是一种固定误差,在测量过程中应尽力避免或减少。

(2) 疏忽误差: 疏忽误差是由于在测量时的疏忽大意而造成的测量误差。这类误差的数值很难估计,带有这类误差的测量结果就毫无意义。因此,必须加强革命责任感,细心工作,避免发生这类误差。

(3) 偶然误差: 在客观实践中,即使在消除了上述两类误差条件下,进行测量时还会发生误差。例如,对同一个参数进行几次重复测量时,每次测量也仍然不可能完全相等,每一个测量值或多或少地与被测参数真实值之间存在着一定的差别。这类误差的产生是由于测量过程中偶然原因而引起的,故称偶然误差。

## 2. 误差理论

偶然误差从每一次测量结果来看似乎没有规律性,但从多次重复测量的结果来看,却具有它特有的内在规律性。实践反复表明:对同一个参数进行多次重复测量时,发现与真实值相差较小的出现次数很多,而且相差愈小的出现次数愈多;而与真实值相差较大的出现次数很少,且相差愈大的出现次数愈少。如果按误差大小和出现次数绘成图形,如图 0-1 所示。

从图 0-1 可知,出现正误差和出现负误差的次数几乎是相等的,而且对于同一个误差值出现正值和出现负值的次数也是几乎相等的。如果重复测量的次数愈多,则上述图形就愈对称。这是从大量实验所得出的统计规律。

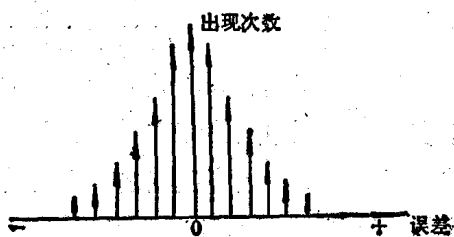


图 0-1 测量误差分布情况

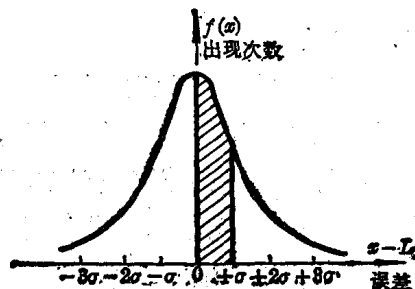


图 0-2 正态分布曲线

把上述感性认识上升到理性，也就与概率理论相接近。如果对同一个参数进行无限多次的重复测量，其结果可以用一条与图 0-1 上的包络线相似的对称曲线来表达误差的分布情况，这一曲线即为正态分布曲线，见图 0-2。

假定正态分布曲线下的面积为 100%，即等于 1 的话，即：

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (0-1)$$

这条曲线可以用下列函数式表示：

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-L)^2}{2\sigma^2}} \quad (0-2)$$

式中： $f(x)$ ——某一误差出现的次数；

$x$ ——测量所得的数值(测量值)；

$L$ ——被测参数的真实值；

$\sigma$ ——均方根误差。

均方根误差  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-L)^2}{n}}$ ， $n$  为测量次数。

由于曲线下总面积假定为 100%，故如图 0-2 上带斜线部分的曲线下面积，是代表误差在  $0 \sim +\sigma$  范围内的测量出现次数与总次数的比值，也就是表示  $0 \sim +\sigma$  范围内测量误差出现的机会多少，称为出现的概率。

从图(0-2)及式(0-2)可知，当  $x=L$  时， $f(x)$  为最大值，即测量值出现等于真实值的机会最多，概率最大。同时，如果重复测量的次数  $n$  为无限大的话，则由于正态分布曲线上的正、负误差的分布是对称的，这时各次测量值的算术平均值就等于真实值  $L$ ，即：

$$\frac{\sum x}{n} = L \quad (0-3)$$

由式(0-2)可以算出，误差在  $-\sigma \sim +\sigma$  之间的曲线下面积或出现的概率等于 68.3%；误差在  $-2\sigma \sim +2\sigma$  之间的曲线下面积或出现的概率等于 95.4%；误差在  $-3\sigma \sim +3\sigma$  之间的曲线下面积或出现的概率等于 99.7%。由此可见，几乎全部测量结果数值都在  $L \pm 3\sigma$  范围内，故可以认为进行测量时的偶然误差的最大值等于  $3\sigma$ ，称为极限误差或最大误差，其值用三倍均方根误差表示。

但是，在实际测量中不可能进行无限次的重复测量，同时真实值也是不知道的。因此，一般采用多次 ( $n$  为有限值) 重复测量所得到的一组数据的算术平均值  $\bar{x}$  代替。当重复测量次数愈多， $\bar{x}$  愈接近  $L$ 。这时，可从算术平均值  $\bar{x}$  与各次测量值  $x$  之差来估计测量误差。对有限次重复测量时的均方根误差可以证明为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (0-4)$$

式中， $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ ， $n$  为有限值，一般  $n=20$  以上。

然而，对同一个参数进行多次重复测量，也只有实验室条件下才有可能，而在一般工业生产条件下，由于被测参数往往处于经常不停的波动之中，仅能实现一次测量。这时，只

能认为一次测量的最大可能误差就是多次重复测量的最大误差，即认为一次测量的最大可能误差也在  $3\sigma$  范围内。

因此，从测量误差的概率理论而得到的结论是：最大测量误差可以被用来确定被测值接近真实值的准确程度。如果求得了多次重复测量结果的均方根误差  $\sigma$ ，就不难估计出测量值的最大可能误差的数值为  $3\sigma$ 。但在工业上应用时，是以测量仪表本身的精度等级为准，即认为在正常情况下一次测量的最大可能误差不会超过该仪表规定的允许误差。

### 三、测量仪表的基本技术性能

#### 1. 仪表的准确度

任何测量过程中既然存在测量误差，在应用测量仪表对生产过程中工艺参数进行测量时，不仅需要知道仪表表面上的指示值，而且还应知道该测量仪表的准确度，即所得测量值接近真实值的准确程度，以便估计到测量值的误差大小。

测量仪表在其标尺范围内各点读数的绝对误差，一般是标准表(准确度较高)和被校表(准确度较低)同时对同一个参数进行测量时所得到的两个读数之差。绝对误差一般不用作判断仪表的质量，因为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，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，工业仪表不采用绝对误差，而采用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：

$$\delta = \frac{x - x_0}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\% \quad (0-5)$$

式中： $x$ ——被测参数的测量值；

$x_0$ ——被测参数的标准值；

$x - x_0 = \Delta x$ ，为绝对误差。

例如，某台测温仪表的标尺范围为  $0 \sim 500^\circ\text{C}$ ，已知其绝对误差最大值  $\Delta t_{\max} = 6^\circ\text{C}$ ，则其相对百分误差为：

$$\delta_{\max} = \frac{6}{500 - 0} \times 100\% = 1.2\%$$

仪表的准确度等级是按国家统一规定的允许误差大小划分成几个等级。某一类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。例如，某台测温仪表的允许误差为  $\pm 1.5\%$ ，则该仪表的准确度为 1.5 级；允许误差为  $\pm 1\%$ ，则其准确度为 1 级，或称 1 级表。

如果上述测温仪表的准确度原为 1.5 级，则由于上面所求得的  $\delta_{\max} = 1.2\%$ ，小于其允许误差值  $\pm 1.5\%$ ，故校验结果表明该仪表是符合 1.5 级的。仪表的准确度等级常以圆圈内的数字标明在仪表的面板上。例如 1.5 级，就用  $\textcircled{1.5}$  表示。

仪表的基本误差，是指仪表在正常工作条件(例如周围介质温度、湿度、振动、电源电压和频率等)下的最大误差，也用相对百分误差表示。如果仪表不在规定的正常工作条件下工

作, 则由于外界条件变动的影晌将引起额外误差, 称为附加误差。例如, 当仪表的工作温度超过规定的范围时, 将引起温度附加误差。

准确度习惯上又称为精确度, 因此准确度等级习惯上常称为精确度等级, 简称精度等级。

## 2. 非线性误差

对于理论上具有线性刻度特性的测量仪表, 往往会由于各种因素的影响, 使得仪表的实际特性偏离其理论上的线性特性, 这种非线性现象如图 0-3 所示。

非线性误差则是衡量偏离线性程度的指标, 它取实际值与理论值之间的绝对误差最大值  $\Delta'_{\max}$  和仪表标尺范围之比的百分数表示, 即:

$$\text{非线性误差} = \frac{\Delta'_{\max}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\% \quad (0-6)$$

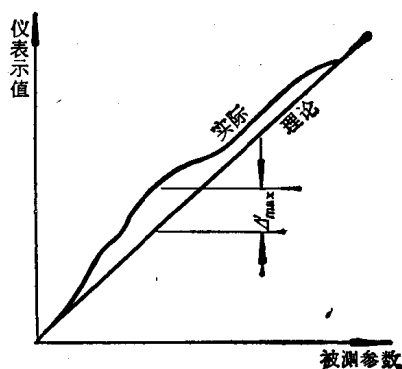


图 0-3 非线性现象

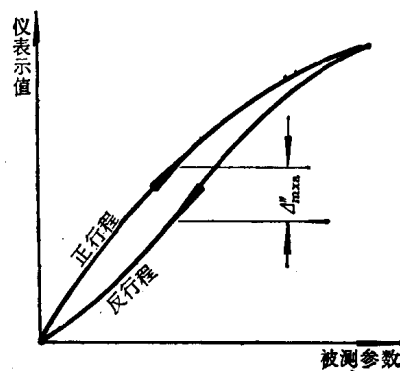


图 0-4 测量仪表的变差

## 3. 变差

在外界条件不变情况下, 使用同一仪表对某参数进行正反行程(即逐渐由小到大和逐渐由大到小)测量时, 发现其结果是: 相同的被测参数数值所得到的仪表指示值都不相等, 二者之差即为变差, 如图 0-4 所示。

造成变差的原因很多, 例如传动机构的间隙、运动件的摩擦、弹性元件的弹性滞后的影响等。变差的大小, 取在同一被测参数数值下正反行程间仪表指示值的绝对误差的最大值  $\Delta''_{\max}$  与仪表标尺范围之比的百分数表示, 即:

$$\text{变差} = \frac{\Delta''_{\max}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\% \quad (0-7)$$

## 4. 灵敏度和灵敏限

灵敏度表达测量仪表对被测参数变化的灵敏程度, 取仪表的输出信号, 例如指针的直线位移或转角位移  $\Delta\alpha$  与引起此位移的被测参数变化量  $\Delta x$  之比表示, 即:

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x} \quad (0-8)$$

测量仪表的灵敏度可以用增大放大系统(机械的或电子的)的放大倍数的办法来提高。但是, 必须指出仪表的性能主要决定于仪表的基本误差, 如果单纯地从加大仪表灵敏度来企

图达到更准确的读数，这是不合理的，反而可能出现灵敏度似乎很高，但准确度实际上却下降的虚假现象。为了防止这种虚假灵敏度，常规定仪表标尺上的分格值不能小于仪表允许误差的绝对值。

仪表的灵敏限则是指能引起仪表指针发生动作的被测参数的最小(极限)变化量。一般，仪表的灵敏限的数值应不大于仪表允许误差绝对值的一半。

#### 四、测量仪表的基本组成

从化工和炼油厂等所用的各种测量仪表来看，一般都由测量、传送和显示(包括变送)等三个基本部分组成。以化工和炼油生产中最常见的四大类被测参数即：压力( $P$ )、液位( $H$ )、流量( $Q$ 、 $G$ 、 $M$ )、温度( $T$ )，它们的基本组成大致可以分为三大部分，举例如下：

测量仪表基本组成

被测参数	测 量 仪 表			测量仪表名称
	测 量	传 送	显 示	
$P$	弹 簧 管	机械传动放大机构	指 示	弹簧管压力表
$H$	浮 筒	固定在扭力管上的芯轴	气动转换机构及压力表	浮筒液位计
$Q$	孔 板	引 压 导 管	差 压 计	差压式流量计
$T$	热 电 阻	导 线	动 圈 仪 表	电阻温度计

测量部分一般与被测介质直接接触，并起被测参数信号能量形式的转换作用；传送部分大多数仅起信号能量的传送作用；显示部分也起被测参数信号能量的转换作用，有的还包含信号能量形式的再次转换以适应远距离传送的需要，称为变送。

测量仪表对被测参数的显示形式有：指示、记录、累计积算、远传变送以及上下限报警等。

# 第一篇 压力测量

在化工和炼油生产过程中，经常会遇到比大气压力高几百倍的高压和比大气压力低很多的真空的测量。例如，氢气和氮气合成氨气的压力为  $320 \text{ kg f/cm}^2$ ，而炼油厂的减压蒸馏要在比大气压低几百毫米水银柱的真空度下进行，高压聚乙烯则要在  $1500 \text{ kg f/cm}^2$  高压下进行聚合。所以，压力测量是保证工艺生产过程良好地进行，达到高产优质、低消耗和安全生产所必需的重要参数之一。

压力测量仪表简称压力表或压力计。它根据工艺生产过程的不同要求，可以有指示、记录和带有远传变送、报警、调节装置等。被测压力的显示方式一般多采用指针机械位移，也有采用数字显示形式。

压力的大小是由垂直作用在单位面积上的力来决定的。工程上衡量压力的单位主要有以下几种：

(1) 垂直作用于每平方厘米面积上的力的公斤数作为计量单位，即工程大气压力，以公斤力/厘米<sup>2</sup> [ $\text{kg f/cm}^2$ ] 表示，在工程上也常用公斤/厘米<sup>2</sup> [ $\text{kg/cm}^2$ ] 表示。

(2) 垂直作用在底面积上的水银柱或水柱的高度作为计量单位，以毫米汞柱 [ $\text{mm Hg}$ ] 或毫米水柱 [ $\text{mm H}_2\text{O}$ ] 表示。工程上采用工程大气压，而不用物理大气压。一个工程大气压等于垂直作用于1平方厘米面积上的力为1公斤时的压力，而一个物理大气压为垂直作用于底面积上的水银柱高度等于760 mm (在水银密度为  $13.5951 \text{ 克/厘米}^3$  和重力加速度为  $980.665 \text{ 厘米/秒}^2$  条件下) 时的压力。此外，国外也有采用磅/平方吋，即 [ $\text{p.s.i}$ ] 作为压力计量单位。常用测压单位之间的换算关系如下表所列。

压力单位换算表

压力单位	物理大气压	工程大气压 [ $\text{kg f/cm}^2$ ]	毫米汞柱 [ $\text{mm Hg}$ ]	米水柱 [ $\text{m H}_2\text{O}$ ]	磅/吋 <sup>2</sup> [ $\text{p.s.i}$ ]
1 物理大气压	1	1.0332	760	10.332	14.696
1 工程大气压	0.9678	1	735.56	10.000	14.223
1 毫米汞柱	0.00131	0.00136	1	0.0136	0.0193
1 米水柱	0.0968	0.1	73.556	1	1.4223
1 磅/吋 <sup>2</sup>	0.0681	0.0703	51.715	0.703	1

在压力测量中,常有表压、绝对压力、负压或真空度之分,见图 0-1。

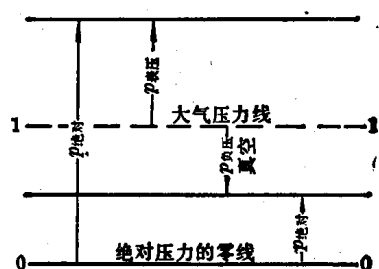


图 0-1 表压、绝对压力和负压  
(真空)关系

工业上所用的压力指示值大多为表压,即压力表的指示值是绝对压力和大气压力之差。所以,绝对压力为表压和大气压之和,工程上采用表压加 1 (以  $\text{kg f/cm}^2$  为计量单位时)得到被测压力的绝对值。如果被测压力低于大气压力,称为负压或真空,常用  $[\text{mm Hg}]$  或  $[\text{mm H}_2\text{O}]$  表示。生产现场使用的有压力表、真空表和压力-真空两用表。

测压仪表依其转换原理的不同,大致可以分为四大类:

1. 液柱式压力计 将被测压力转换成液柱高度差进行测量。
2. 弹性式压力计 将被测压力转换成弹性元件弹性变形的位移进行测量。
3. 电气式压力计 将被测压力转换成各种电量进行测量。
4. 活塞式压力计 将被测压力转换成活塞上所加平衡砝码的重量进行测量。

压力表的精度等级有: 0.005、0.02、0.05、0.1、0.2、0.35、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0 等。一般, 0.35 级以上的作为工厂、实验室校验用的标准表, 生产现场一般采用 1.0、1.5、2.5、4.0 级的压力表。



# 第一章 液柱式压力计

液柱式压力计是以液体静力学原理为基础的。一般采用水银或水作为工作液，用于测量低压、负压或压力差。

## 第一节 U 型液柱压力计

如果玻璃 U 型管的一端通大气，而另一端接通被测压力，这时便可由左右两边管内液面高度差  $h$  测知被测压力的数值  $p$  (表压)，如图 1-1 所示。

根据静力平衡原理可知，在 U 型管 2-2 截面上，右边被测压力  $P$  作用在液面上的力为左边一段高度为  $h$  的液柱和大气压力  $P_0$  作用在液面上的力所平衡，当被测介质为气体时：

$$PA = (h\gamma + P_0)A$$

式中：  $A$ ——U 型管内孔截面积；

$\gamma$ ——U 型管内所充工作液的重度；

$P_0$ ——大气压力；

$h$ ——左右两边液面高度差， $h = h_1 + h_2$ ；

$P$ ——作用在 2-2 截面处液面上的被测压力。

由上式可得：

$$h = \frac{1}{\gamma} (P - P_0) = \frac{1}{\gamma} p \quad (1-1)$$

式中， $(P - P_0)$  为被测压力的表压  $p$ 。可见 U 型管内两边液面高度差  $h$  与被测压力的表压值成正比。比例系数  $\frac{1}{\gamma}$  取决于工作液的重度。因此，被测压力的表压值  $p$  可以用已知工作液高度  $h$  的毫米数来表示，例如 [mm Hg]、[mm H<sub>2</sub>O]。 $h$  可由左右两边液面高度的变化量  $h_1$  和  $h_2$  之和得到。U 型液柱压力计的测量准确度受读数精度和工作液体毛细作用的影响，绝对误差可达 2 mm。

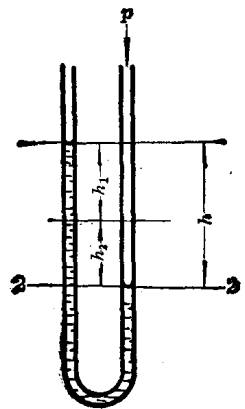


图 1-1  
U 型液柱压力计

## 第二节 单管液柱压力计

如果把 U 型管的一个管改换成大直径的杯，即成为单管液柱压力计，如图 1-2 所示。

单管液柱压力计的工作原理和 U 型液柱压力计相同，只是右边杯的内径  $D$  远大于左边管子的内径  $d$ 。由于右边杯内工作液体积的减小量始终是与左边管内工作液体积的增加量相等，所以右边液面的下降将远小于左边液面的上升（即  $h_2 \ll h_1$ ）。因为，

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