



普通高等教育“十二五”规划教材

化工测量与仪表

沈怀洋 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

化工测量与仪表

沈怀洋 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是自动化专业化工测量与仪表课程的教科书。共分5篇,重点介绍测量的基本知识、四大参数(压力、物位、流量和温度)的测量方法及测量仪表、自动平衡显示仪表、无纸记录仪和数字显示仪表。篇后附有定量的习题,以提高学生解决实际问题的能力。力求简单精炼,突出实践性,既保持知识的系统性,又注重浅显易懂。

本书既可作为本科学生的教学用书,又可作为专科学生的教学用书。此外,还可作为相近专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

化工测量与仪表 / 沈怀洋主编. —北京:中国石化出版社, 2011. 7

ISBN 978 - 7 - 5114 - 1023 - 8

I. ①化… II. ①沈… III. ①化工仪表 - 高等学校 - 教材 IV. ①TQ056. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 131450 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 22.25 印张 562 千字

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

定价: 43.00 元

前 言

化工测量与仪表是一门技术性和实践性很强的专业课，其理论与实践是高等院校自动化专业本科学生不可缺少的知识和技能。教材是课程内容的依据，合适的教材有助于学生更好地理解 and 掌握本门课程的知识，进而掌握本门课程的知识体系。近年来，由于社会对高等人才的要求越来越高，专业课的教材如何能满足课程的需要，且符合本科教育和就业的实际要求，已成为教材建设的课题。

为适应当前社会对高等人才实践能力的要求，编写出适合本科自动化专业学生的实用性教材，在本教材的编写过程中，研究了本门课程的不同教材，结合自动化领域中新型仪表的使用，增加了一些新型仪表的知识，如无纸记录仪、数字仪表的组成和典型的数字仪表电路等，尽可能使学生在学校期间学到的知识与生产实际相吻合，体现出自己的特色。以往使用的教材，理论上的内容比较深，而且又比较多，造成理论没有掌握好，实践的内容学得又少，满足不了应用型人才培养的要求。因此在教材处理上，删减一些理论比较深的繁琐内容，增加一些目前现场实际应用比较多的知识，避免将宝贵的时间和精力浪费在不重要的、非本质的东西上，提高教学效果。在篇后附有一定量的习题，有利于教师的教学和学生的自学。

本教材由沈怀洋担任主编，李桂君、卢芳菲、朱玉华担任副主编。

在本教材的编写过程中，得到了沈阳工业大学辽阳校区教科办、工程学院领导的关心和支持，以及中国石化出版社领导的鼓励和帮助，本书才得以顺利出版。

由于编者的时间及水平有限，书中难免有不妥或错误之处，恳请读者批评指正。

目 录

概述

第一节 测量及测量误差	(1)
第二节 测量仪表	(6)
习题	(9)

第一篇 压力测量

第一章 压力测量方法	(13)
第一节 应用液柱法测量压力	(13)
第二节 应用弹性变形法测量压力	(15)
第三节 应用电测法测量压力	(18)
第二章 压力测量仪表	(24)
第一节 弹簧管压力表	(24)
第二节 典型的压电式压力传感器	(26)
第三节 应变式压力传感器	(27)
第四节 压阻式压力传感器	(31)
第五节 霍尔式压力传感器	(34)
第六节 电容式差压变送器	(35)
第七节 压力表的选择、校验与安装	(40)
习题	(44)

第二篇 物位测量

第一章 物位测量方法	(46)
第一节 利用连通器原理的液位测量方法	(46)
第二节 应用浮力原理测量液位的方法	(47)
第三节 应用静压法测量液位	(48)
第四节 电容式液位测量方法	(52)
第五节 利用微波测量液位	(55)
第六节 应用超声波测量液位	(57)
第七节 应用放射性同位素物位测量方法	(61)
第二章 物位测量仪表	(63)
第一节 浮力式液位计	(63)
第二节 法兰式差压变送器测量液位	(70)
第三节 电容式物位计	(71)

第四节	雷达物位计	(73)
第五节	超声波液位计	(74)
习题	(76)

第三篇 流量测量

第一章	流量测量方法	(82)
第一节	差压式流量测量方法	(82)
第二节	应用动压原理测量流量	(126)
第三节	应用改变面积的方法测量流量	(128)
第四节	应用流体动量矩原理测量流量	(129)
第五节	应用电磁感应原理测量流量	(131)
第六节	应用流体振荡原理测量流量	(132)
第七节	应用超声波法测量流量	(135)
第八节	应用容积法测量流量	(138)
第九节	应用热能测量流量	(142)
第十节	质量流量测量方法	(144)
第二章	流量测量仪表	(151)
第一节	差压式流量计	(151)
第二节	靶式流量计	(165)
第三节	转子流量计	(167)
第四节	涡轮流量计	(171)
第五节	电磁流量计	(174)
第六节	漩涡流量计	(179)
第七节	超声波流量计	(184)
第八节	容积式流量计	(186)
第九节	质量流量计	(189)
第十节	流量计的校验	(191)
习题	(194)

第四篇 温度测量

第一章	温度测量方法	(199)
第一节	应用热膨胀原理测量温度	(199)
第二节	应用热电效应原理测量温度	(201)
第三节	应用热电阻测量温度	(205)
第四节	应用热辐射原理测量温度	(207)
第五节	应用其他方法测量温度	(208)
第二章	温度测量仪表	(210)
第一节	玻璃管温度计	(210)

第二节	双金属温度计	(210)
第三节	压力式温度计	(211)
第四节	热电偶温度计	(212)
第五节	热电阻温度计	(224)
第六节	测温元件的安装	(229)
第七节	非接触式温度计	(231)
	习题	(235)

第五篇 显示仪表

第一章	动圈式显示仪表	(237)
第一节	测量机构的工作原理	(237)
第二节	测量机构的组成	(239)
第三节	动圈仪表的误差分析	(242)
第四节	测量线路	(242)
第二章	自动平衡式显示仪表	(250)
第一节	电子电位差计的工作原理	(250)
第二节	电子平衡电桥的工作原理	(257)
第三节	仪表中的稳压电源	(261)
第四节	放大器	(261)
第五节	机械传动机构	(269)
第六节	自动平衡式显示仪表的干扰与抗干扰措施	(271)
第三章	无纸记录仪	(277)
第一节	无纸记录仪的基本组成	(277)
第二节	输入处理单元	(279)
第三节	无纸记录仪的使用	(281)
第四节	无纸记录仪的安装与接线	(284)
第五节	无纸记录仪的组态和操作	(285)
第四章	数字式显示仪表	(292)
第一节	数字显示仪表的主要技术指标	(292)
第二节	数字式显示仪表的原理及组成	(293)
第三节	数字式显示仪表各部分的工作原理	(294)
第五章	常见的数字显示仪表电路	(305)
第一节	由 A/D 转换器组成的数字显示仪表电路	(305)
第二节	由单片机构成的数字显示仪表电路	(309)
	习题	(319)
	附录	(320)
	参考文献	(348)

概 述

在化工生产过程中，一切生产过程都是在一定条件下进行的，即压力、物位、流量、温度等参数的数值保持在某一数值或某一范围内条件下进行的。为保证生产的安全、提高产品的质量、节约能源，必须及时准确地对压力、物位、流量、温度等参数进行测量与控制。随着科学技术的发展和生产工艺流程的大型化、复杂化以及计算机控制技术的应用，对测量技术的要求也愈来愈高。因此，只有测量技术发展了，才能实时、可靠地测量出被测参数，提高自动化水平。

第一节 测量及测量误差

一、测量的定义

测量就是借助仪器，并采用某一计量单位把待测量的大小表示出来。实际上，测量是确定某一参数量值的过程。这个过程分为两种情况：一是狭义上的测量，即将被测参数的量值与作为标准量的单位进行比较，从而确定被测参数的量值；二是广义上的测量，将信号检出、放大处理及显示的综合过程。我们所研究是广义上的测量。

一个完整的测量过程，一般应包括以下三个过程：

①信息的提取。传感器来完成，一般将被测信息转换成电信号，也就是说，把被测信息转换成电压、电流或电路参数(电阻、电感、电容)等电信号输出。

②信号的放大及处理。由于传感器输出的信号比较小，不足以驱动显示器显示或指示装置指示，所以一般是由放大器把信号进行放大处理。

③放大后的信号送入显示部分进行显示。

二、测量方法

在实际应用中，对于待测参数的测量，根据获得测量结果的方法分为两种：直接测量方法和间接测量方法。

直接测量方法：由仪器或量具可以直接读出测量值，即把待测量与作为标准量的单位进行比较，确定被测量是标准量的单位的倍数，直接得到测量结果方法叫做直接测量方法。

例如用刻度尺、天平等对长度和质量进行的测量就是直接测量。

间接测量方法：是通过测量与待测参数成某种函数关系的几个直接测量量，然后根据某种函数关系求出待测量。这种类型的测量就是间接测量方法。

例如人的体温的测量。这个测量过程中，首先是将温度的变化转换为水银的体积变化，再由玻璃管内部的腔体把水银的体积变化转化为水银柱高度的变化，根据水银柱高度便可知温度的高低。

三、测量误差

在科研或实际生产中，每一个物理参数的量值都是客观存在，是不依人的意志为改变的客观量值，人们将它称为该物理参数的真值。我们在对某些参数进行测量时，是想要获得这个参数的真值。然而对某些参数的测量，总是要使用一定的仪器，依据一定的理论或方法，

在一定的环境中由具体的人进行测量的。由于仪器的制造是依据一定的理论，而这种理论存在着一定的近似性，即在方法上很难完善，实验仪器灵敏度和分辨能力有局限性，周围环境不稳定，待测参数的真值是不可能测得的，测量结果和被测量真值之间总会存在或多或少的偏差，这种偏差就叫做测量值的误差。

在实际测量过程中，被测参数的真值本身是难以知道的，而把对某一参数经过多次重复精细测量得到的数值认为是可靠的数值而已。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代表被测压力的真值，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，而压力测量的误差等于被校压力表上的指示值减去标准压力表的指示值。两者的差值愈小，则被校压力表的指示值可靠程度愈高。因此研究测量误差的目的就在于用来确定测量结果的可靠程度。

四、测量误差的分类

常用的测量误差分类方法有两种：一是按误差的性质分类；二是按误差的量纲分类。

1. 按误差的性质分类

按误差的性质分类有系统误差、随机误差、粗大误差。

(1) 系统误差

指在重复条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得到的测量结果的平均值与被测量真值之差。

系统误差是由于仪表本身缺陷、仪表使用不当或测量时外界条件变化等原因所引起的。

这种误差的特点有以下四种规律：

- ①恒定的系统误差：数值大小或符号(指正或负的误差)都相同的误差；
- ②误差按一定线性规律变化；
- ③误差按某一周期规律变化；
- ④误差变化没有规律。

必须指出，单纯地增加测量次数，无法减少系统误差对测量结果的影响，但在找出产生误差的原因之后，便可通过对测量结果引入适当的修正值而加以消除。例如采用标准孔板测量蒸汽流量时，如果工作时蒸汽压力和温度与设计孔板孔径时的数值不同，就会引起系统误差，如果已知变动工作状态后的蒸汽压力和温度值，则可以通过一定的函数关系计算，对仪表的指示值进行修正，以消除测量的系统误差。

(2) 随机误差(又称偶然误差)

指在重复条件下，对被测量进行测量时，测量值与真值之差。

随机误差是由许多复杂因素微小变化的综合作用引起的。指在相同的条件下，对某一参数进行重复多次测量时，多次测量的误差服从统计规律。这类误差的大小与测量次数有关，其算术平均值将随测量次数的增多而减小(但不是线性关系)。随机误差决定了测量的精密程度。它的平均值愈小，测量愈精密。

随机误差是指在相同的条件下，测量值与其真值之间的差值。即

$$\Delta = x - T$$

式中 Δ ——随机误差；

x ——测量值；

T ——被测量的真实值。

对于一次测量，其误差没有规律，即不可能消除；但进行重复多次测量时，其误差服从

统计规律，即正态分布，因此可用概率统计的数学方法来估计其影响。

假定对某一参数进行无限次的重复测量，其误差的大小与不同误差值出现的次数之间的关系可用图 0-1-1 所示的正态分布曲线表示。

图中 $f(x)$ ——不同误差值所出现的次数；

σ ——标准方差。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \dots + \Delta x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{n}} \quad (0-1-1)$$

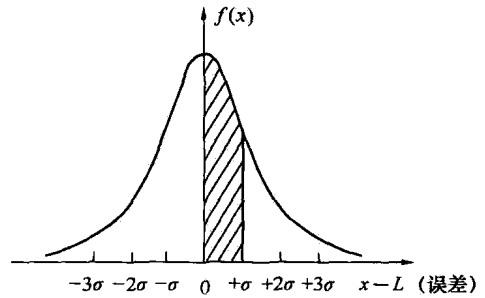


图 0-1-1 正态分布曲线

式中 $\Delta x_i^2 = x_i - L$;

n ——测量次数。

由曲线看出，随机误差有如下特点：

- ①对称性：正、负绝对值相等的误差出现的次数相同；
- ②抵偿性：由于正、负绝对值相等的误差出现的次数相同，因此对某一参数进行重复多次测量时，正、负绝对值相等的误差互相抵消。
- ③有界性：误差的绝对值不会超过某一值。
- ④单峰值：误差的绝对值较小时出现的次数较多，而且误差的绝对值愈小出现的次数愈多，因此曲线呈现出单峰性。

正态分布曲线所包围的面积为 100%，即等于 1，则有

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (0-1-2)$$

正态分布曲线可由下面的函数表示

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-L)^2}{2\sigma^2}} \quad (0-1-3)$$

由于曲线所包围的面积为 100%，故在图 0-1-1 中带斜线部分的面积就代表误差落在 $0 \sim \sigma$ 内的概率。

从公式可以计算出，误差在 $-\sigma \sim +\sigma$ 之间时，曲线所包的面积为 68.3%。说明当对某一参数进行了 n 次（无穷次）测量以后，随机误差的数值在 $0 \sim \pm\sigma$ 范围的测量次数有 68.3%，而有 31.7% 的测量值与真实值之差均超过 $\pm\sigma$ 。

同样也可以计算出误差在 $-2\sigma \sim +2\sigma$ 之间时，曲线所包的面积为 95.4%，说明当对某一参数进行了 n 次（无穷次）测量以后，随机误差的数值在 $0 \sim \pm 2\sigma$ 范围的测量值有 95.4%，而有 4.6% 的测量值与真实值之差均超过 $\pm 2\sigma$ 。

而当误差在 $-3\sigma \sim +3\sigma$ 之间时，曲线所包的面积为 99.7%。如果对某一参数进行了 n 次（无穷次）测量以后，随机误差的数值在 $0 \sim \pm 3\sigma$ 范围的测量值有 99.7%，而有 0.3% 的测量值与真实值之差超过 $\pm 3\sigma$ 。由此可见，几乎全部测量值都落在 $\pm 3\sigma$ 范围内，因此可近似地认为，对某一参数进行测量时，所可能产生的最大随机误差值等于 3σ 。

一般情况下，仪表生产厂家对生产的仪表进行标定时，都是以 3σ 作为极限误差，即作为此表的绝对最大误差，它的置信概率为 0.9973。

在实际测量中，被测参数的真值是很难或是不可能得到的，因此在计算标准方差的时候，用重复多次测量的算术平均值来代替真值，其标准方差 σ 的表达式为

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

把这个公式称为贝塞尔公式。

式中 $\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n}$ ——多次测量值的算术平均值；

x_i ——某一次测量值；

n ——测量次数，一般为 20 次；

$x - \bar{x}_i$ ——残差，用 v_i 表示。

(3) 粗大误差

测量误差明显超出正常测量条件下预期的范围，称为粗大误差，把这个测量值称为坏值或异常值。

粗大误差是由于工作人员在使用仪器或仪表对某一参数测量时，不能认真地读取或记录测量数据而造成的误差。这类误差数值的大小很难估计。如果测量值中含有这类误差，那么这样的测量结果毫无意义，因此，必须认真工作，避免产生这类误差。

在对某一参数进行测量时，采用适当的方法来确定在测量的过程中是否存在系统误差和粗大误差，以提高测量的准确性。下面介绍消除系统误差和粗大误差的方法。

①消除和削弱系统误差的影响，常用实验对比法和残差校核法。

a. 实验对比法

该方法采用高一级的准确度的标准仪表对被校仪表进行校验。即在相同的条件下，用标准仪表和被校仪表对同一个恒定的量进行测量，然后比较两种测量结果。

设：用被校仪表及标准仪表对某一恒定的量进行重复测量的次数都是 n 次，则可得到标准表的一系列示值 T_i 和被校验表的一系列示值 x_i ，由此可得到系统误差 Q 。

$$Q = \bar{x} - \bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad (0-1-5)$$

如果 Q 不等于 0，说明在用被校仪表进行测量时存在系统误差，否则就不存在系统误差。如果存在系统误差，就找出存在系统误差的原因后加以修正。

b. 残差校核法

如果采用某一块仪表对某一参数进行重复多次测量时，可得到一系列的测量值 x_1, x_2, \dots, x_n ，将其残差 v_1, v_2, \dots, v_n 按测量次序的先后排列，把残差 v_i 分为前后数目相等的两部分，各为 k 次，当 n 为偶数时， $k = n/2$ ，当 k 为奇数时，令 $k = (n+1)/2$ 。求残差 v_i 的两部分之和的差值

$$\Delta = \sum_{i=1}^k v_i - \sum_{i=n-k+1}^n v_i \quad (0-1-6)$$

若 Δ 不等于零，则测量中含有线性规律变化的系统误差。这种判断是否存在系统误差的方法称为马利科夫判据。

如果在测量中发现系统误差时，除了从产生系统误差的原因（测量人员、测量设备、测量方法、测量条件 4 个环节）进行分析找出原因，设法消除外，还可以采用对测量结果进行修正，以消除系统误差的影响。

②消除粗大误差的依据一般是以检验测得的数据是否偏离正态分布为基础而建立的。有拉依达准则和格拉布斯准则两种方法。

a. 拉依达准则

在相同的条件下，对被测量进行重复 n 次测量，则 n 次测量值分别为 x_1, x_2, \dots, x_n 。计算出其平均值为 \bar{x} 和残差 $v_i = x_i - \bar{x}$ ，并按贝塞尔公式计算出测量列的标准方差 σ 。如果某个测得值 x_k 的残差 v_k 满足下式

$$|v_k| > 3\sigma \quad (0-1-7)$$

则认为 x_k 的测得值中含有粗大误差，是坏值，应剔除。并重新计算标准方差 σ ，再进行检验。直到判断无粗大误差为止。

b. 格拉布斯准则

如果对被测量重复进行 n 次测量，则 n 次的测量值分别为 x_1, x_2, \dots, x_n 。计算出其平均值为 \bar{x} 、残差 v_i 及标准方差 σ 。如果某个残差 v_k 满足下式

$$|v_k| > \lambda(\alpha, n) \cdot 3\sigma \quad (0-1-8)$$

时，则该测得值 v_k 为坏值，应剔除。并重新计算标准方差 σ ，再进行检验。直到判断无粗大误差为止。

式(0-1-8)中的 $\lambda(\alpha, n)$ 为格拉布斯系数，由表 0-1-1 中给出，表中的 n 为测量次数， $\alpha = 1 - p$ 为显著水平。

表 0-1-1 格拉布斯 $\lambda(\alpha, n)$ 数值表

$n \backslash \alpha$	0.01	0.05	$n \backslash \alpha$	0.01	0.05	$n \backslash \alpha$	0.01	0.05
3	1.15	1.15	12	2.55	2.29	21	2.91	2.58
4	1.49	1.46	13	2.61	2.33	22	2.94	2.60
5	1.75	1.67	14	2.66	2.37	23	2.96	2.62
6	1.94	1.82	15	2.70	2.41	24	2.99	2.64
7	2.10	1.94	16	2.74	2.44	25	3.01	2.66
8	2.22	2.03	17	2.78	2.47	30	3.10	2.74
9	2.32	2.11	18	2.82	2.50	35	3.18	2.81
10	2.41	2.18	19	2.85	2.53	40	3.24	2.87
11	2.48	2.24	20	2.88	2.56	50	3.34	2.96

2. 按误差的量纲分类

按误差的量纲分类有绝对误差、相对误差和引用误差三种。

(1) 绝对误差

在一定条件下，某一物理量所具有的客观量值称为真值。测量的目的就是力图得到真值。但由于受测量方法、测量仪器、测量条件以及观测者水平等多种因素的限制，测量结果与真值之间总有一定的差异，即总存在测量误差。这个差值称为绝对误差。

设测量值为 y ，测量值的真值为 y_T ，绝对误差为 Δy ，则

$$\Delta y = y - y_T \quad (0-1-9)$$

它的量纲与被测量相同，且有正、负之分。显然，绝对误差 Δy 越小，测量结果 y 与被测量的真值 y_T 就越接近，表明测量的准确度越高。绝对误差可能是由多种原因产生的，因此引起绝对误差的原因可能有：测量装置的基本误差、非标准工作条件下所增加的附加误

差、被测量随时间的变化、测量原理、影响量(不是被测量,但对测量结果有影响的量)引起的误差、观测人员的疏忽产生的误差。

(2) 相对误差

用相对误差表示测量过程中某一测量值的精确程度是比较合适的。相对误差是测量范围内某一点的绝对误差 Δy 与该点真值 y_T 之比的百分数。

$$\delta = \frac{\Delta y}{y_T} \times 100\% \quad (0-1-10)$$

(3) 引用误差

引用误差是描述仪表本身的测量准确程度的参数。它是在仪表量程范围内的最大绝对误差 Δy 与量程 B 之比的百分数。

$$A\% = \frac{\Delta y}{B} \times 100\% \quad (0-1-11)$$

式中, A 作为仪表的准确度等级。

第二节 测量仪表

由于化工生产过程中需要监视和控制的参数种类繁多,生产条件各有不同(如高温低温、高压低压、大流量小流量等),于是测量仪表的种类也很多。但是从测量的角度看,基本上都由三部分组成:即检测环节、放大环节及显示环节。如图 0-2-1 所示。

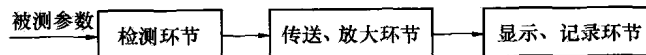


图 0-2-1 检测仪表的组成

由检测环节把被测参数转换成电信号,再由传送和放大环节把信号放大后传送到显示、记录环节进行显示和记录。

测量仪表的性能指标包括:静态特性、动态特性、可靠性、经济性。我们只讨论静态特性中常用的技术性能和术语,如准确度、稳定性、输入/输出特性。

一、静态特性

1. 测量仪表的准确度与准确度等级

测量仪表的准确度(旧称精度),描述了测量值与真值的一致程度。它包含了两个方面的内容,即精密度与正确度。对于具体的测量,精密度高的测量仪表其正确度不一定高,正确度高的精密度也不一定高,但准确度高,则精密度和正确度都高。

精密度是指对同一被测量进行多次测量,测量值重复的一致程度。或者说测量值分布的密集程度。精密度反映随机误差的影响,随机误差愈小,精密度愈高。

正确度是指对同一被测值进行多次测量,测量值偏离被测量的真值的程度。正确度反映了系统误差的影响,系统误差愈小,正确度愈高。

测量仪表的准确度等级是按仪表引用误差的大小来划分的。一块仪表准确度一定时,仪表的最大绝对误差就确定了。所以,在工业测量过程中,单次测量值的误差就是根据仪表准确度等级来计算的。我们国家规定了统一的仪表准确度等级的系列值(如 0.005、0.01、0.02、0.04、0.05、0.1、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0、5.0 等)。在仪表的面板上用 Ⓢ 符号

表示，其数值愈小，则准确度等级愈高。

【例0-2-1】有一台准确度等级为0.5级的温度测量仪表，其测温范围为0~1000℃，试确定该仪表的最大绝对误差。

解：因为 $A\% = 0.5\%$ 、量程 $B = 1000\text{ }^\circ\text{C}$

根据
$$A\% = \frac{\Delta y}{B} \times 100\%$$

所以
$$\Delta y = B \times A\% = 1000 \times 0.5\% = 5\text{ }^\circ\text{C}$$

答：该仪表的最大绝对误差为 $\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ 。

2. 测量仪表的误差

(1) 测量仪表的示值误差 测量仪表的示值与对应的输入量的真值之间的差值。

(2) 测量仪表的最大允许误差 对于某块测量仪表，在规范、规程中所允许的误差极限值。有时也称允许误差。

(3) 测量仪表的固有误差(基本误差) 在参考条件下确定的测量仪表的误差。参考条件也称为标准条件。

(4) 附加误差 测量仪表在非标准条件下所增加的误差。

3. 测量范围和量程

测量范围 在规定的误差极限内，测量仪表所能测得的被测参数的最小值到最大值的范围。

量程 测量范围的上限与下限的代数差。

4. 稳定性

在规定的时间内，测量仪表的示值保持不变的能力。

5. 重复性与再现性

重复性 在相同的条件下，对同一被测量进行重复测量，测量仪表提供相近示值的能力称为测量仪表的重复性。

再现性 在相同的条件下、规定的时间内，对同一输入值在两个相反方向重复测量时，示值之间的相互一致程度。

6. 测量仪表的输入、输出特性

(1) 灵敏度(S) 是指仪表对被测量变化的反应能力，定义为测量仪表输出的变化量除以对应的输入的变化量。

$$S = \Delta y / \Delta x \quad (0-2-1)$$

式中 Δy —— 仪表输出的变化量；

Δx —— 对应输入的变化量。

一般情况下，采用增大放大系统(机械的或电子的)的放大倍数来提高测量仪表的灵敏度(或分辨率)。但是，必须指出仪表的性能主要取决于仪表的构成原理及元器件的性能，如果单纯地从加大仪表的放大倍数来提高灵敏度，达到更准确的读数，这是不合理的，反而可能出现似乎灵敏度很高，而准确度却下降。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：是指引起仪表示值发生可见变化的被测参数的最小变化量。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。

(2) 鉴别力 引起仪表指针发生可见变化的最小输入变化量。

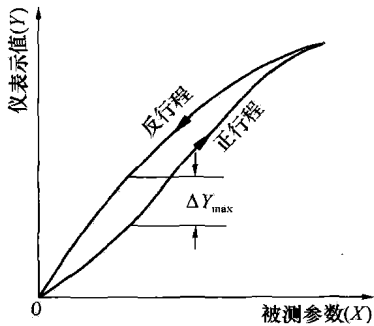


图 0-2-2 测量仪表的变差

(3) 分辨力 显示装置能有效辨别的最小的视值。对于模拟式仪表规定为最小刻度分格值的一半；对于数字式仪表规定为最小有效数字变化 1 其示值的变化量，常称为“步进量”。

(4) 死区 仪表的输入量的变化不致引起输出量可察觉的变化的有限区间称为死区。

(5) 变差 在外界条件不变的情况下，使用同一仪表对某一参数进行正反行程（即逐渐由小到大和逐渐由大到小）测量时，相同的被测参数值所得到的仪表指示值不相等，二者之差即为变差，如图 0-2-2 所示。

二、动态特性

测量仪表的动态特性是指测量仪表在被测参数处于变化时仪表示值与被测参数实际值之间的差异。造成这一误差的原因是在任何一个实际测量仪表中，将被测参数进行转换和传输，都会存在各种运动惯性和时间上的滞后，即对被测参数的测量需要一定时间。特别是在测量快速变化的参数时，由于参数测量滞后时间的存在，将会导致显著的动态误差，为此必须引起足够的注意。

习惯上常用时间常数和滞后时间来描述动态特性。

1. 时间常数

主要是由测量元件或传感器本身的惯性引起的。例如采用带保护套的热电偶测量温度时，是根据冷热不同的物体之间热交换原理进行测温的，被测介质的温度是通过热电偶的保护套和中间的空气传递到热电偶，直到热电偶指示出实际温度，这需要一定的时间，产生了时间滞后。如果被测温度变化比较快，就会产生动态误差。对于显示仪表，习惯上不用时间常数，而用惰性时间（响应时间）或全行程时间来表达，即给仪表输入满量程信号（阶跃信号）时，仪表指针由刻度下限移动到刻度上限的 95%，或由仪表刻度上限移动到刻度下限（一般取全量程的 5%）所需要的时间。

2. 滞后时间

主要是由信号在处理的过程中需要一定的时间。例如在成分分析系统中，被分析试样首先要经过取样装置、传输和预处理环节才能进入成分传感器，再由成分传感器把被分析试样转换成可测的信号。在成分分析仪器中，这个过程往往需要几分钟到几十分钟的时间，这就是滞后时间，显然时间上的滞后将会带来更大的动态误差。

综上所述，在一个实际测量系统中，除了必须考虑仪表及测量系统的静态误差外，还必须考虑到测量系统的动态误差。特别是在温度测量和化学成分分析系统中，以及被测参数变化较快的场合，更应给予足够的重视。

三、化工测量仪表的应用特点

化学工业是一生产方法各异，产品种类繁多的工业。其主要特点是，在大多数生产过程中，各物料常以液体或气体的状态连续地在密闭的容器和设备中，在高压、真空、高温、深度冷冻等不同的条件下进行各种形式的物理变化或化学变化，并且有些介质还有毒、易燃、易爆、腐蚀、有刺激性。另外从被测参数的变化来考虑，有缓慢变化和有助于工艺过程的快速变化参数，因此就要求某些测量仪表具有耐高温耐高压，耐低温及防腐，防堵塞，防爆等性能和较好的动态特性。

习 题

1. 什么是测量？测量过程的实质是什么？
2. 测量方法有哪两种？常用的玻璃体温计属于哪种测量方法？
3. 检测仪表由哪几部分组成？试述各部分的作用。
4. 什么是测量误差？什么是绝对误差、相对误差、引用误差？
5. 误差的分类方法有哪两种？每种方法中有几种误差？
6. 系统误差的特点是什么？
7. 随机误差的特点是什么？
8. 仪表的准确度等级是由哪种误差确定的？
9. 在仪表的量程范围内，各点相对误差是否相等？
10. 用电流表测量变送器输出电流时，由于使用温度超过仪表规定值而产生的误差属于何种误差？
 11. 在测量某一参数时，由一些随机因素引起的误差属于何种误差？
 12. 标准电池的电动势随环境温度变化造成的误差属于何种误差？
 13. 有一测量范围为 $0 \sim 6.0\text{MPa}$ ，准确度为 1.5 级的压力变送器，问量程的 10%、20%、50%、100% 各点的允许误差是()MPa、()MPa、()MPa、()MPa。
 14. 有 A、B 两台测温仪表，测量范围分别为 $0 \sim 800^\circ\text{C}$ 和 $600 \sim 1200^\circ\text{C}$ ，已知最大允许误差均为 $\pm 6^\circ\text{C}$ 。问：A 表的准确度为()级，B 表的准确度为()级。
 15. 有一温度测量仪表，其测温范围为 $0 \sim 500^\circ\text{C}$ 、准确度为 0.5 级，其最大允许误差为多少 $^\circ\text{C}$ ？
 16. 下列温度测量数据是用同一仪表多次测量同一温度时的测量结果，其中测量值 243°C 怀疑为含粗大误差的数据，请判断是否应该剔除该值。如果要剔除，求剔除前后的平均值和标准误差。
 167°C ， 171°C ， 243°C ， 192°C ， 176°C ， 186°C ， 163°C ， 189°C ， 195°C ， 178°C

第一篇 压力测量

在工业生产中,许多生产工艺过程经常要求在一定的压力或在一定的压力变化范围内进行,这就需要对压力进行测量或控制,以保证生产工艺过程的正常进行。

化工生产过程中,由于生产的产品或生产工艺不同,压力在很大的范围内变化,有时比大气压高几百甚至上千倍,或比大气压力低很多(负压)。例如氨的合成需要在 $1.47 \times 10^7 \sim 3.14 \times 10^7 \text{ Pa}$ 的压力下进行,而某些精馏或蒸发过程却要在很高的真空条件下操作。因为压力可以改变化学平衡,影响反应速度,也可改变物质性质,改善和提高过程质量;还可通过对压力或压差的测量来反映液位、流量、温度等参数的变化。因此,为了保证化工生产始终处于优质、高产、安全、低耗的工作状态,以获得最好的技术经济指标,故对压力进行测量或控制就有十分重要的意义。

测量压力的仪表常称压力表或压力计。根据生产工艺的不同要求,它可进行指示、记录,也可带有远传、报警、调节等附加装置。

被测压力的显示方式,一般多采用指针的机械位移,但也有采用数字显示的。

一、压力的基本概念

压力 P 是指均匀而垂直地作用在单位面积上的力。它由受力面积 S 和垂直作用力 F 的大小决定。方向则指向受压物体。可表示为

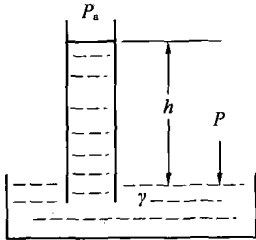


图 1-0-1 用液柱高度表示压力

$$P = \frac{F}{S} \quad (1-0-1)$$

压力也可用液柱高度来表示。如图 1-0-1 所示。则被测压力

$$P = \frac{F}{S} = \frac{(P_a + h\gamma)S}{S} = P_a + h\gamma \quad (1-0-2)$$

P —被测压力;
 h —液柱高度;
 γ —液体的重度, N/m^3 , 水的重度在 4°C 和标准重力加速度情况下为 9806.65 N/m^3 ;
 P_a —大气压。

$$P_{\text{表}} = h\gamma \quad (1-0-3)$$

由式(1-0-3)可知,被测压力的表压等于液体重度与液柱高度的乘积。

二、压力的单位

在工程上常使用的压力单位有:工程大气压、标准大气压、毫米汞柱和毫米水柱等。各种单位之间的换算详见表 1-0-1。

1. 国际单位制(SI制) 在国际单位制中,压力的单位是牛顿/平方米(用符号 N/m^2 表示),又称帕斯卡(简称帕,用符号 Pa 表示。1帕约等于0.1毫米水柱的压力)。

2. 工程大气压 一个工程大气压,是指一公斤的力,垂直而均匀地作用在一个平方厘米的面积上。用 kgf/cm^2 表示。1 kgf/cm^2 约等于 $9.81 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

3. 毫米水柱或毫米汞柱 这类压力单位常用来表示低压。即在重力加速度为 980.665 cm/s^2 , 温度为 4°C (水)或 0°C (水银)时,由 1mm 的水或水银液柱作用在底面积上的压力。