

化工工人技术理论培训教材



化工测量仪表

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工测量仪表/化学工业部人事教育司, 化学工业部教育培训中心组织编写. -北京: 化学工业出版社, 1997. 9
化工工人技术理论培训教材
ISBN 7-5025-1946-7

I. 化… I. ①化… ②化… III. 化工仪表-技术培训-教材 IV. TQ056.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 09089 号

化工工人技术理论培训教材

化 工 测 量 仪 表

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

责任编辑: 王丽娜

责任校对: 陈 静

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市燕山联营印刷厂印刷

北京市燕山联营印刷厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 9½ 字数 266 千字

1997 年 9 月第 1 版 1997 年 9 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—8000

ISBN 7-5025-1946-7/G · 552

定 价: 16.50 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要，提高工人的技术理论水平和实际操作技能，我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划 and 教学大纲》的要求，组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中，遵循了“坚持标准，结合实际，立足现状，着眼发展，体现特点，突出技能，结构合理，内容精炼，深浅适度”的指导思想，以“等级标准”为依据，以“计划和大纲”为蓝图，从有利于教师教学和方便工人自学出发，力求教材内容能适应化工生产技术的发展 and 现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容，在编制教学计划和划定大纲时，在充分理解等级标准的基础上，吸取了国外职业教育的成功经验，对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解，作为理论教学的基本单位，称之为“单元”。在计划和大纲中，168 个工种按五个专业大类（及公共课）将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动，把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起，分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册：《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册：《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应（一）》、《有机化学反应（二）》、《有机化学反应（三）》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册：《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表（一）》、《化工分析仪表（二）》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册：《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册：《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册：《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写》、《标准化基础知

识》和《化工生产管理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材，尚是一种尝试，由于我们经验不足和教材编审时间的限制，部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意，为此建议：

一、各单位在组织教学过程中，应按不同等级的培训对象，根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求，以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外，还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况，制订相应的教学方案，确定相应的教学内容，以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题，可及时与我们联系，也可与教材的编者或出版单位联系，使教材中的问题得到及时更正，以利教学。

本套教材的组织编写，得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助，在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心

1996年3月

目 录

化工测量误差基础知识 (检 055)	1
第一章 化工测量与化工生产	2
第一节 化工生产的特点与化工测量	2
第二节 测量误差概念	2
第三节 误差产生的原因和计算	3
习题	4
第二章 测量误差的基础知识	6
第一节 误差的分类方法	6
第二节 误差的表示方法和计算	7
第三节 算术平均误差和均方根误差	9
第四节 多误差的合成与判断	10
第五节 数据处理	12
习题	13
第三章 测量仪表的技术性能	15
第一节 仪表的测量范围与精度	15
第二节 仪表的变差	16
第三节 线性误差和非线性误差	17
第四节 仪表的灵敏度与灵敏限	18
习题	18
参考文献	19
化工测量标准仪器及工具 (检 056)	20
第一章 压力仪表常用标准仪器及工具	21
第一节 活塞压力计	21
第二节 标准浮球压力计	26
第三节 数字压力计	30
习题	35
第二章 温度仪表常用标准仪器及工具	36

第一节	直流电阻箱和标准电阻	36
第二节	直流电位差计和标准电池	41
第三节	直流测温电桥	46
第四节	热电阻检定装置	52
第五节	热电偶检定装置	57
	习题	61
第三章	单元组合仪表常用标准仪器及工具	63
第一节	数字电压表	63
第二节	数字多用表	73
第三节	数字频率计	78
第四节	■ 型仪表综合校验仪	83
	习题	87
第四章	新型标准仪器简介	88
第一节	HG2030 型标准源	88
第二节	手持式高精度检验仪	90
第三节	DMC-109 型压力校验仪	95
	习题	96
	参考文献	96
温度测量 (检 057)		97
第一章 温度测量的基本概念		98
第一节	温度测量的基本概念	98
第二节	常用测温仪表	102
第二章 热电偶温度计		109
第一节	热电偶测温的基本原理	109
第二节	常用热电偶的种类、构造	114
第三节	补偿导线及冷端温度补偿	115
第四节	热电偶的校验	117
第三章 热电阻温度计		120
第一节	热电阻测温原理	120
第二节	热电阻的材料	120
第三节	热电阻的构造、型号及基本特性	121
	习题	122
压力测量 (检 058)		124

第一章 概述	125
第一节 压力的基本概念	125
第二节 压力单位换算	126
第二章 液柱压力计	127
第一节 U 型液柱压力计	127
第二节 单管液柱压力计	128
第三章 弹性式压力计	130
第一节 弹簧管式压力计	130
第二节 膜式微压计	132
第四章 活塞式压力计	134
第一节 活塞式压力计的工作原理	134
第二节 活塞式压力计的应用	135
第五章 压力计的选用及安装	137
第一节 压力表的选型	137
第二节 压力表的安装	137
习题	138
流量测量 (检 059)	140
第一章 概述	141
第一节 流量测量中的几个主要概念	141
第二节 单位制及单位换算	142
第二章 主要流量仪表	145
第一节 差压式流量计	145
第二节 容积式流量计	164
第三节 电磁流量计及转子流量计	170
第四节 涡街流量计及涡轮流量计	189
第五节 其他特殊流量计	198
第三章 节流装置计算	203
第一节 节流装置计算的基本理论	203
第二节 节流装置的实用计算	220
液位测量 (检 060)	234
第一章 浮力式液位计	235
第一节 浮标式液位计	235
第二节 浮筒式液位计	236

第三节 浮筒式液位计的校验	238
第二章 静压式液位计	240
第一节 压力式液位计	240
第二节 差压式液位计	241
第三节 吹气式液位计	245
习题	246
显示仪表（检 061）	248
第一章 动圈式显示仪表	249
第一节 测量桥路	249
第二节 动圈的测量机构	250
第三节 偏差测量机构	251
第四节 XCT 动圈式二位指示仪	251
第五节 动圈式显示仪表改量程及故障分析	253
第二章 电子自动平衡式显示仪表	258
第一节 电子自动电位差计的原理	259
第二节 测量桥路计算	261
第三节 稳压电源原理及计算	263
第四节 晶体管放大器原理及技术指标	266
第五节 常见故障分析	274
第三章 数字式显示仪表	278
第一节 概述	278
第二节 模数转换器	278
第三节 线性化器	283
第四节 计数、显示	283
第五节 热电阻式数字显示仪	287

化工测量误差基础知识 (检 055)

吉化公司化肥厂 王莹琪 编
吉化公司化肥厂 姜仁杰 审

第一章 化工测量与化工生产

第一节 化工生产的特点与化工测量

现代化工生产多为连续化大规模生产。为了保证生产过程的均衡与稳定，需要具备完善的检测手段，以便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，并有效地进行工艺操作和生产控制。化工生产多具有高温、高压、易燃、易爆、易腐蚀等特点，这就给化工测量带来极大的困难，也使得化工测量不同于其他任何测量。随着生产的发展，化工测量在生产中的地位和作用日益显露出来，测量值准确与否直接关系到产品质量的优劣和生产安全。人们依靠测量所得的数据分析、判断生产情况，调整负荷，寻找最佳工艺条件，以便合理组织生产，节能降耗，提高效益。测量贯穿于生产的全过程，成为现代化工生产不可缺少的重要环节。

第二节 测量误差概念

在化工生产过程中需要根据仪表指示的数据监视生产情况，进行工艺操作。由于在测量过程中始终存在着各种各样的影响因素，使得测量值与被测参数真实值之间存在着一定的差别，这种差别通常被称为测量误差。用公式表示为：

$$\Delta C = C_m - C_r \quad (1-1)$$

式中 C_m 代表测量值， C_r 代表真实值（以下简称真值）， ΔC 代表测量误差。 ΔC 可以是正值，也可以是负值，其符号取决于测量值的大小。当被测量相同时，测量误差的大小决定了测量的准确程度，对同一被测量而言，测量误差愈小，说明测量愈准确。事实上，式（1-1）中测量值 C_m 不可能绝对准确地等于被测参数 C_r ，只能力求使 C_m 接近 C_r 。

由于测量结果存在误差，就要人为地采取措施使其减少，这样就

引入修正值的概念。如果用 A 表示修正值，则有：

$$A = C_r - C_m \quad (1-2)$$

由式 (1-2) 可知，修正值 A 与测量误差 ΔC 大小相等，符号相反。即 $A = -\Delta C$ 。

测量误差是最为普遍和常见的误差，通常称为绝对误差。如果两个测量结果误差相同，是否可以说它们的测量精度也相同呢？事实上，测量精度与被测量的大小密切相关。比如某一测量误差值为 0.5，当被测量为 5 时，这个误差等于被测量的 1/10，一般来说其大小是不能忽略的，而当被测量为 5000 时，这个误差等于被测量的 1/10000，一般情况下完全可以忽略不计。这说明被测量相同时，用绝对误差可以表示不同测量精度的高低，而当被测量不同时，就不能用绝对误差表示其测量精度，并且当测量范围增大时，有些测量的绝对误差亦随之增大，为了能够客观地反映测量结果的精度，引进相对误差的概念。

所谓相对误差，就是测量的绝对误差与被测量的真值之比。即：

$$C_a = \Delta C / C_r \quad (1-3)$$

式中 ΔC 为测量的绝对误差， C_r 为被测量的真值。由于通常真值 C_r 不易获得，因此相对误差通常表示为绝对误差与测量值之比，即：

$$C_a = \Delta C / C_m \quad (1-4)$$

由上式可见，相对误差 C_a 是一个比值，所以它是一个没有量纲的量，通常以百分数表示。

第三节 误差产生的原因和计算

在实际测量中，由于被测量、测量环境、测量原理和方法、测量仪表及测量者本身都要受许多主客观因素的影响，很难测得被测量的真值，这样就产生了测量误差。误差产生的原因，应对具体测试情况进行具体分析，不能一概而论。一般说来，有以下几种：

1. 方法误差：即测试方法本身不完善，如对测试结果进行分析时，采用公式错误或计算不准确等均属于此类。

2. 仪器误差：由于测试的仪器精度不够，达不到标定值或仪器长期使用造成磨损致使精度下降等。这类原因多产生系统误差。

3. 环境误差：由于环境不完全符合测试条件而引起的误差，如环境温度、湿度、电磁场、噪声、振动等对测量结果的影响均属于此类。

4. 操作误差：由于操作人员技术水平问题或生理机能上的缺陷等所引起的误差。操作原因产生的误差多为粗大或称疏忽误差。

总之，误差产生的原因是多种多样的，应根据不同的原因采取不同的方法，尽量使测量值接近其真值，减少误差。

在实际工作中，仅能掌握误差的产生原因是远远不够的，必须掌握其计算方法，经过几次测量之后，在给出测量结果的同时，必须同时指出其误差。否则这个测量结果将无任何实际意义。

【例1】 若被测介质的实际温度为 500°C ，仪表的示值为 498.5°C ，试确定测量温度的绝对误差，相对误差和对仪表示值的修正值。

解：测量的绝对误差

$$\Delta C = C_m - C_r = 498.5 - 500 = -1.5^{\circ}\text{C}$$

测量值的相对误差

$$C_s = \Delta C / C_r = \frac{-1.5}{500} = -0.3\%$$

仪表修正值

$$A = C_r - C_m = 500 - 498.5 = 1.5^{\circ}\text{C}$$

根据以上计算，在表示上例中介质的实际温度时，用

$$C_m = C_r \pm \Delta C = 500 \pm 1.5$$

由于真值很难获得，所以在实际计算时经常用一组测量值的算术平均值 $\bar{x}$ 来代表它。算术平均值不是唯一的，它随测量次数不同而改变，从而用不同的算术平均值算得的误差也就不同。

习 题

1. 什么叫化工测量？化工测量与生产的关系如何？
2. 什么叫测量误差？试用公式表示之。
3. 什么是相对误差？它的作用是什么？
4. 误差产生的原因大致有几种？都是什么？

5. 测得某物理量的值分别为 3.75、3.78、3.76、3.75，试用本章所学计算方法求每个测量值的绝对误差、相对误差和修正值。

6. 已知某仪表输入电压为 100V，实际测得输入电压值分别为 99.8V、99.9V、100.2V、100.1V，求每个测量电压值的绝对误差和相对误差。

第二章 测量误差的基础知识

第一节 误差的分类方法

误差的分类有多种方法。一般来说，可分为如下几种：

1. 按测量误差出现的规律来分，可分为系统误差、偶然误差和疏失误差。这是最基本的，也是应用最普遍的分类方法。

系统误差又称规律误差，其大小和方向均按一定规律变化或不改变，主要特点是容易消除或修正。系统误差反映了测量值对真值的偏离程度。

偶然误差又称随机误差，其出现完全是随机的，无规律可言，其主要特点是不易发觉，不好分析，难于修正，但它服从统计规律，随机误差反映测量值之间的离散程度。

疏失误差，顾名思义主要是人为因素造成的误差，它的出现完全无规律性，且明显地与事实不符，又可称之为粗大误差。

2. 按误差的数值表示来分，有绝对误差、相对误差和引用误差。

测量误差（又称绝对误差或示值误差）与相对误差在第一章中已有描述，此处不再赘言。引用误差即绝对误差与测量范围上限值或测量表量程的比值，以百分数表示。

$\text{引用误差} = \text{示值误差} / \text{满刻度值}$

引用误差和相对误差均用来表示测量结果的准确程度。

3. 按仪表使用条件来分，有基本误差、附加误差。

基本误差：仪表在规定的条件下使用时，在其全量程范围内可能产生的最大引用误差。仪表使用条件包括环境温湿度、电源电压、频率、气源压力、大气压力、安装方式等。

附加误差：在仪表实际使用中，由于仪表工作条件改变而产生的额外误差称为附加误差。附加误差使仪表测量的准确性受到影响，为

了减少附加误差，应当尽量使仪表在正常条件下工作。

4. 按被测变量随时间变化的关系来分，有静态误差、动态误差。

被测量的误差不随时间的推移而改变的称为静态误差。被测量的误差随时间推移而改变称为动态误差。

5. 按与被测变量的关系来分，有定值误差、累计误差。

在整个测量过程中，误差大小和方向始终不变的称为定值误差。如仪器仪表的零位误差即为此类。随着时间的推移，误差的大小和方向不断变化，这种误差可称为累计误差。

第二节 误差的表示方法和计算

误差可以用绝对误差，相对误差和不确定度等表示，不确定度是一个描述尚未确定的误差特征的量，不是具体的误差值，总的不确定度是由系统不确定度和随机不确定度两个分量合成而得，当不确定度分量合成为总不确定度时，常常用概率合成的方法。系统不确定表示了该项系统误差绝对不会超过某个界限或半区间宽度。

除了上述几种表示方法外，误差还可以用以下几种表示方法：

1. 算术平均值

若在同一条件下对某温度 C_0 进行多次测量，其结果为 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ ，则它们的误差分别为：

$$\delta_1 = C_1 - C_0, \delta_2 = C_2 - C_0, \delta_3 = C_3 - C_0, \dots, \delta_n = C_n - C_0$$

取其算术平均值作为多次测量结果的最佳值，即

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum C_i$$

$\bar{x}$ 与每个测量值相比，精度最高，最能代表测量的准确程度。

2. 残余误差与贝塞尔公式

我们已知道，测量误差用测量值与真实值之差来表示，由于在一般情况下，真实值很难求得，故用测量值与其算术平均值之差来表示。测量值与算术平均值之差称为残余误差或剩余误差，简称残差，用 V_i 表示。

$$V_i = X_i - \frac{\sum X_i}{n} \quad (2-1)$$

式中 X_i ——一次测量值；

$$\frac{\sum X_i}{n} \text{——算术平均值 } \bar{x}, \text{ 则 } V_i = X_i - \bar{x}. \quad (2-2)$$

在计算误差的时候，经常要用到残差，著名的贝塞尔公式如下：

$$\delta = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1}} \quad (2-3)$$

在测量实践中，贝塞尔公式被广泛应用于评价测量列的精度。

3. 极差

在一个测量列中，最大测量值与最小测量值之差即为极差，用 R 表示。

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

极差可以用来表示一组测量值的分散程度，极差越大，表明测量数据越分散。

【例 1】 在同一条件下多次测量某物理量所得数据如下，求该测量列每个值的残差。

498.5, 499.1, 498.7, 498.6, 498.3, 499.0

$$\text{解: } \bar{x} = \frac{\sum X_i}{n} = 498.7$$

由 $V_i = X_i - \bar{x}$ 得：

$$V_1 = -0.2; V_2 = 0.4; V_3 = 0; V_4 = 0.1; V_5 = -0.4; V_6 = 0.3$$

【例 2】 一块 10MPa 压力表在 5MPa 处检定值为 4.97MPa，求在 5MPa 处压力表的示值误差，相对误差和引用误差。

$$\text{解: 示值误差 } \Delta C = C_m - C_r = 4.97 - 5$$

$$= -0.03 \text{MPa} = -30 \text{kPa}$$

$$\text{相对误差 } C_s = \Delta C / C_r = -0.03 / 5 = -0.6\%$$

$$\text{引用误差} = \Delta C / \text{满刻度值} = -0.03 / 10 = -0.3\%$$

所以该压力表在 5MPa 处的示值误差为 -30kPa，相对误差为 -0.6%，引用误差为 -0.3%。