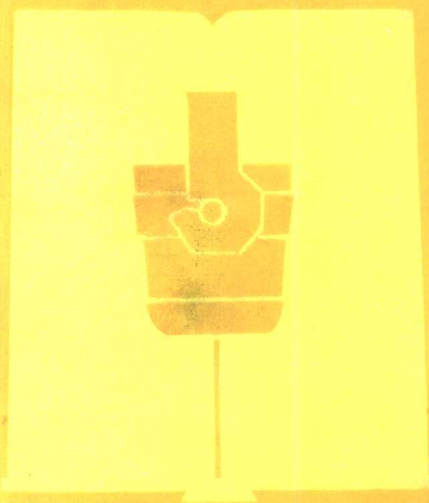
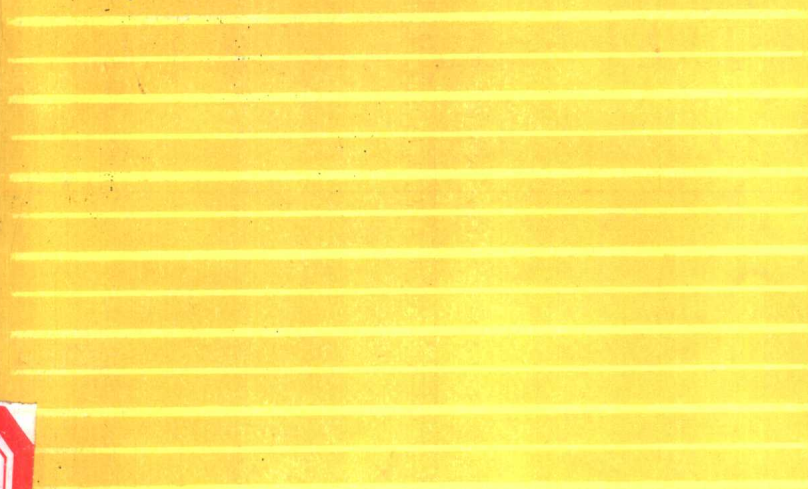


• 高等学校教学用书 •

安全检测技术与仪表

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

安全检测技术与仪表

武汉钢铁学院 罗怀永 主编

冶金工业出版社

(京) 新登字036号

高等学校教学用书

安全检测技术与仪表

武汉钢铁学院 罗怀永 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 15.5 字数 367 千字

1994年5月第一版 1994年5月第一次印刷

印数 00,001~1300 册

ISBN 7-5024-1417-7

TH·174 (课) 定价 7.30元

前 言

《安全检测技术与仪表》是根据“1991~1995年冶金、有色高等院校本科教材出版规划”的要求为安全工程专业编写的教材，供50学时的教学使用。

本教材介绍了检测仪表的基本知识，系统阐述测量误差的基本理论和数据处理基本方法，对传感器及安全工程中常用的主要参数如温度、湿度、压力、流速和流量等各种参量的检测进行系统介绍，并分类阐述粉尘、空气污染物、噪声、放射性、锅炉压力容器等各类检测技术及仪表。

全书共分9章，武汉钢铁学院罗怀永编写1、4、6、7、8、9章，东北大学孙熙编写2、3、5章。全书由罗怀永主编。

东北大学王金波、冶金部安全环保研究院葛云生、武汉钢铁学院赵述江和西安冶金建筑学院朱序璋等同志对全书进行了审阅。在编写过程中，武汉钢铁学院李维翰、李森栋、徐礼恭等给予热情指导和帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，教材中的缺点错误在所难免，敬请批评指正。

编者

1993年9月

目 录

1. 概论	1
1.1 安全检测的意义	1
1.2 仪表的组成、仪表的性能和测量方法	2
1.2.1 仪表的组成	2
1.2.2 仪表的主要性能指标	4
1.2.3 测量方法	6
1.2.4 精密度、准确度和精确度	7
1.2.5 有效数字	8
1.3 测量误差和误差理论	10
1.3.1 测量误差的概念	10
1.3.2 测量误差的分类和误差理论分析	10
1.4 误差的传递	24
1.4.1 误差传递原理	24
1.4.2 几种常用函数的绝对误差和相对误差	25
1.4.3 误差传递原理在测量系统设计中的应用	26
1.5 回归分析	27
1.5.1 最小二乘法原理	28
1.5.2 常用回归分析方法	28
1.5.3 相关系数及其显著性检验	30
习题与思考题	31
2 检测与转换	36
2.1 电阻传感器	36
2.1.1 电位器传感器	36
2.1.2 电阻应变传感器	38
2.1.3 热电阻传感器	40
2.1.4 气敏电阻传感器	42
2.2 变磁阻式传感器	43
2.2.1 电感传感器	43
2.2.2 差动式电感传感器	44
2.2.3 差动变压器式传感器	44
2.2.4 涡流传感器	45
2.2.5 压磁传感器	47
2.3 电容传感器	48
2.3.1 变极板间距式电容传感器	48
2.3.2 变重合面积式电容传感器	49
2.3.3 变介质介电常数式电容传感器	49

2.4 电能转换传感器	50
2.4.1 压电传感器	50
2.4.2 磁电传感器	51
2.4.3 光电传感器	52
2.5 振弦传感器	56
2.5.1 振弦传感器张力测量原理	56
2.5.2 振弦传感器的激振	56
2.6 霍尔传感器	57
2.6.1 霍尔效应	57
2.6.2 霍尔元件的特性	58
2.6.3 霍尔传感器的应用	58
2.7 激光传感器	59
2.7.1 激光的本质和特性	59
2.7.2 激光检测	60
习题与思考题	61
3 气体温度和湿度检测	62
3.1 温度检测概述	62
3.1.1 温度和温标	62
3.1.2 温度检测原理及方法分类	63
3.2 温度检测仪表	64
3.2.1 膨胀式温度计	64
3.2.2 压力表式温度计	65
3.2.3 热电偶温度计	65
3.2.4 辐射式高温计	71
3.3 湿度检测	74
3.3.1 湿度概念	74
3.3.2 湿度检测	76
习题与思考题	79
4 气体压力及流速流量检测	80
4.1 气体压力检测	80
4.1.1 压力概述	80
4.1.2 压力检测仪表	82
4.2 气体流速检测	90
4.2.1 动力测压法	90
4.2.2 散热率法	97
4.2.3 机械法	99
4.2.4 超声波、激光测速简介	100
4.3 气体流量检测	101
4.3.1 流量测量方法概述	101

4.3.2 流速法测量流量	102
4.3.3 差压式流量计	103
4.3.4 转子流量计	105
4.3.5 涡轮流量计	107
4.3.6 涡街流量计	109
4.3.7 累积式流量计	111
4.3.8 流量计的校正	113
习题与思考题	115
5 粉尘检测	116
5.1 粉尘物性检测	116
5.1.1 粉尘密度检测	116
5.1.2 粉尘比电阻检测	117
5.1.3 粉尘爆炸特性检测	121
5.2 粉尘颗粒检测	123
5.2.1 粉尘颗粒概述	123
5.2.2 显微镜法	124
5.2.3 惯性分级法	128
5.3 粉尘浓度检测	136
5.3.1 作业场所粉尘浓度检测	136
5.3.2 作业者个体接触粉尘浓度检测	139
5.3.3 管道粉尘浓度检测	140
5.4 粉尘的游离二氧化硅检测	150
5.4.1 焦磷酸重量法	150
5.4.2 碱熔钼蓝比色法	150
5.4.3 X射线衍射法	151
5.4.4 红外分光光度法(比色法)	151
习题与思考题	152
6 常见空气中污染物检测	153
6.1 二氧化硫检测	153
6.1.1 四氯汞盐-盐酸副玫瑰苯胺比色法	153
6.1.2 钼试剂比色法	155
6.1.3 自动库仑滴定法	155
6.1.4 溶液电导率法	157
6.2 氮氧化物检测	157
6.2.1 盐酸萘乙二胺比色法	158
6.2.2 化学发光法	158
6.2.3 库仑原电池法	160
6.3 一氧化碳检测	161
6.3.1 非分散红外法	161

6.3.2 气相色谱法	162
6.3.3 汞置换法 (间接冷原子吸收法)	163
6.4 便携式气态污染物检测仪表	164
6.4.1 检气管	164
6.4.2 固体电解质原电池型检测器	164
6.5 苯并 (a) 芘检测	166
6.5.1 乙酰化滤纸层析荧光分光光度法	166
6.5.2 醋酸纤维素薄层层析荧光分光光度法	168
6.5.3 高压液相色谱法	169
习题与思考题	170
7 噪声检测	171
7.1 噪声的量度	171
7.1.1 噪声的物理量度	171
7.1.2 噪声的主观量度	176
7.2 噪声检测仪表分析	177
7.2.1 传声器	178
7.2.2 声级计	180
7.2.3 频率分析仪	184
7.2.4 记录仪器	185
7.3 噪声测量方法	185
7.3.1 工业企业现场机器设备噪声测量	186
7.3.2 生产环境 (车间) 噪声测量	189
7.3.3 厂矿区、界和厂矿内外生活区环境噪声测量	191
7.3.4 城市区域环境噪声普查方法	191
习题与思考题	192
8 放射性检测	194
8.1 辐射探测一般原理	194
8.1.1 气体探测器工作原理	194
8.1.2 固体探测器工作原理	195
8.1.3 照相效应	196
8.2 常用辐射探测器	197
8.2.1 电离室	197
8.2.2 正比计数器	198
8.2.3 盖革-弥勒计数器	199
8.2.4 闪烁探测器	201
8.2.5 电导率探测器	202
8.2.6 热释光探测器	203
8.3 氡及其子体的测量	204
8.3.1 空气中氡浓度的测定	204

8.3.2 氦子体 α 潜能的测定	209
8.4 核辐射传感器	211
8.4.1 核辐射传感器的理论基础	211
8.4.2 核辐射传感器的特点	211
8.4.3 核辐射传感器应用举例	211
习题与思考题	213
9 锅炉与压力容器缺陷检测	214
9.1 容器的缺陷和直观检验	214
9.1.1 容器的缺陷	214
9.1.2 容器直观检验	215
9.2 射线探伤	216
9.2.1 射线的性质	216
9.2.2 射线的产生	216
9.2.3 射线照相法原理	217
9.2.4 我国 γ 射线探伤情况介绍	218
9.2.5 现代射线探伤方法简介	219
9.3 超声波探伤	219
9.3.1 概述	219
9.3.2 超声波的发生和接收	220
9.3.3 超声波的特性	220
9.3.4 超声波的种类(波型)	221
9.3.5 超声波探伤方法	222
9.4 表面探伤	225
9.4.1 磁粉探伤	225
9.4.2 渗透探伤	226
习题与思考题	228
附录	229
附录 I 标准化热电偶分度表	229
附表 I-1 铂铑 ₁₀ -铂热电偶分度表	229
附表 I-2 铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆ 热电偶分度表	231
附表 I-3 镍铬-镍硅(镍铝)热电偶分度表	233
附表 I-4 镍铬-考铜热电偶分度表	234
附表 I-5 铜-康铜热电偶分度表	234
附录 II 标准化热电阻分度表	235
附表 II-1 铂热电阻温度与电阻值换算表	235
附表 II-2 铂热电阻温度与电阻值换算表	235
附表 II-3 铜热电阻温度与电阻值换算表	235
附录 III 相对湿度用表	236
附表 III-1 101325Pa 压力下空气饱和时水蒸汽压力和含湿量	236
附表 III-2 通风干湿表用相对湿度表	239
参考文献	240

1 概 论

1.1 安全检测的意义

在采矿、选矿、冶炼和金属压力加工及其它生产过程中,各种有关因素,如烟、尘、水、气、热辐射、噪声、放射线、电流、电磁波和超声波,以及化学因素,还有其它主客观因素等等,对生产环境污染,对生产产生不安全作用,对人体健康造成危害。查清、预测、排除和治理各种有害因素是安全工程的重要内容之一。作为安全管理,制定相应法规、了解各种不安全现状、预报其发展趋势、评价治理效果等都是十分重要的工作。

为了满足上述各项工作的要求,同其它各种自然学科一样,必须要确知各种有关的数量,探求其中质和量的变化规律并作理论升华。要想做到这一切,测量乃是必不可少的重要手段。

测量的目的,就是为了获取被测对象的某些表征其特性参数的定量信息。测量的过程,就是利用各种有关设备和仪表,以正确合理的方法,将被测量与其标准量进行比较,所得到的比值就是被测量的数值。当然,这一工作还应包括测量数据的处理和误差分析的过程在内。而且,只有包括了这一过程,测量数据才有科学性。

显然,实现测量过程一定具备必不可少的三个要素:1)测量的标准量;2)测量方法,这是实现被测量与测量单位进行比较的实施方案;3)测量仪器与设备,这是测量过程的具体执行和体现者。

在科学技术突飞猛进的今天,不论是科学实验,还是生产过程,甚至是日常生活,到处都离不开测量。否则,人们的工作和生活的困难就难以想象,造成各种混乱,人类社会就要倒退到原始状况。从这种角度看来,人类社会就是一个不断进步的测量社会。

在安全工程专业中,检测工作至为重要。检测也是一项测量工作,但是它有别于一般测量。它是对生产过程某些与不安全、不卫生因素有关的量连续或断续监视测量,有时还要取得反馈信息,用以对生产过程进行检查、监督、保护、调整、预测,或者累积数据,寻求规律。

检测是本学科的先导和眼睛。难以想象,没有检测技术,安全工程能够成为一门独立的学科存在。

各种科学技术和安全工程的发展与检测技术的发展密切相关,互为影响。

检测技术的现代化,大大提高了检测的精确度、灵敏度,扩大测量范围,促使各种学科的完善和飞跃,并发展愈为深广。从某种程度上讲,检测决定了现代科学技术的发展水平。现代化的科学仪表、超声波、电子测量技术的飞速发展,才使现代的安全工程专业得到诞生和发展。

反之,各种学科的发展亦为检测技术的发展提供新的手段和途径,同时也提出了新的课题。如各种除尘设备在保障生产安全的过程中不断发展、创新,正是这种发展和创新才为粉尘的检测提供了新的设备和方法。事实上,粒尘的检测采样系统有时就是除尘设备的

缩影。

微电子技术的发展,微处理机的推广使用,使检测仪表出现新的活力,推出各式新型的自动化仪表,它们能进行自动检测、自动调节、自动保护,或者带有程序控制、信号处理和屏幕显示等各种智能特性。这样,自动化检测就不仅仅是提供数据,而且在某些范围内,还可以代替人工参与调整、保护、治理等工作,检测将变成一项主动性的工作。

1.2 仪表的组成、仪表的性能和测量方法

在测量过程中,不仅使用仪器、仪表,而且还可能动用一整套测量装置,或者各种器材、元件及其它装置,这些都叫做测量设备。当今,科学技术现代化,研究和实验手段精确入微,各学科相互渗透,使测量设备迅猛发展,由原理各异、功能不同的仪表组合成套的综合测量装置已在各个领域广泛使用,使测量工作更加精确和迅速。

1.2.1 仪表的组成

各种仪表品种繁多,虽说外观、结构和原理千差万别,但就其组成部分所起的作用,一般都可划分为传感器、中间件和显示件三个基本部分,如图1-1所示。

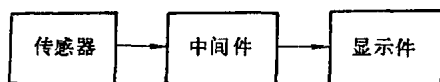


图 1-1 仪表的组成

1.2.1.1 传感器

传感器与被测对象直接相联系,但是并非一定直接接触。其作用是感受被测参数的变化,同时将此变化转换成可被中间件接收的信号,并且向中间件输出。传感器亦称作感受件、发送器、一次元件或敏感件。它是仪表的“感觉器官”。如水银温度计的传感器是水银包,它感受到被测介质的温度变化,并转换为水银包的伸缩变化并向中间件(毛细水银柱)传递。又如测量噪声用的声级计,其传感器是传声器,它将感受到的被测介质的声音变化转换为电信号,并传至中间件(有关电子线路)。

理想的传感器应满足如下要求:

(1) 可靠性。传感器的变化只依赖于被测参数的变化,而与被测参数无关的其它变化对传感器应该毫无影响。否则,就会带来附加的测量误差。

(2) 准确性。被测参数的变化与传感器所发出的信号之间应是单值函数关系。

另外,在测量过程中,传感器的存在不应对被测介质原有的变化带来附加影响。

寻求理想的传感器并非容易。实际上,常常是非被测参数变化时,对传感器也产生影响;或在测量过程中,传感器的插入,影响了被测介质,带来了附加的变化。对于前者,可以限制这种“干扰”信号的大小,使之比被测参数所带来的影响,最低限度要小两、三个数量级,并用理论计算或者实验手段将“干扰”消除。而对后者,则是在测量过程中,用人工的办法使测量系统状况尽量接近被测系统状况,或在传感器本身下功夫,以求得传感器的插入,在要求的测量误差内,不致影响被介质本身的变化。

1.2.1.2 显示件

显示件与测量人员相联系,其作用是根据传感器转换的信号大小,在显示件上显示被

测参数变化的数量值。显示可以是瞬时量指示、累积量指示、超越或极限指示（声、光报警），也可以是相应的记录，甚至有带反馈系统，具有调节功能用来控制被测系数的变化范围。

显示件（或者显示仪表）亦称作二次元件（二次仪表），它的结构应使观察者便于认读，并且可以限制使用者产生较大的主观误差。其目的在于使测量工作迅速、准确、不易疲劳。

按显示方式，显示仪表可分为模拟式、数字式、记录式和信号式几种。

A 模拟式仪表

模拟式仪表常称为指示式仪表，它的指示器（指针、液面或光线）在刻度标尺（或刻度盘）上移动，以其相对位置来显示被测参数及其变化。指示器的位移量是模拟量的单值函数。此类仪表结构简单、直观、成本低，可作要求不高的普及型仪表。常见的普通压力计、温度计和声级计……，都属此类。

模拟式仪表有一个严重不足之处，就是在判读时，常易产生较大的主观视读误差，尤其是长时间测量，会更加降低读数精度，甚至错读，费时费事。

B 数字式仪表

数字显示仪表是将模拟量用模数变换器转换成数字量，然后使用数字电路，并通过数码管显示被测参数的数值和单位。

数字式仪表用数字显示被测参数的量值，无论何人认读，结果完全一样，克服了主观误差。需要记录时，亦可打印出数字。这种优点也常常被用到数据的自动化处理上。正是由于这种优点，使它在测量工作中受到欢迎。现在数字式仪表已经得到大力发展和推广，广泛使用于各类学科和国民经济部门。但是数字式仪表直观性较差。

C 记录式仪表

记录式仪表的优点是其测量值可以长期保存备查，并可避免因视读和人工记录造成的失误。

经典的记录式仪表安装在模拟式仪表内，它将被测参数模拟量的瞬时值，随时间的推移，由记录仪的记录笔尖连续记录在专用的记录纸上，表现为被测参数随时间变化的曲线形式。

数字式仪表一般可以直接接打印机，打印记录数字结果。现在数字式仪表亦可以先连接数模变换器，将数字量转换为模拟量，然后仍然可以用记录仪描绘出被测参数随时间变化的曲线。

还有一种 $x-y$ 记录仪，同样属于记录式仪表。其特点是包含两组输入和自动记录机构，可以记录 x 、 y 两组量之间的函数关系。输入 x 值，使记录笔尖沿导轨作上下移动。与此同时，输入 y 值，使导轨作左右移动，从而笔尖所描绘的曲线正是 $x-y$ 之间的函数关系。

D 信号式仪表

除以上三种仪表外，还有一种报警仪表，也称作信号式仪表。这类仪表并不一定指示被测参数每一时刻的数值，只是当被测参数超越某一极限值，危及设备和人身安全时，它才以声音或灯光的形式告知工作人员及时采取措施，起到安全防护作用。如火灾报警仪、射线报警仪等等都属于报警仪表。一般在普通仪表上附加一电气线路便可实现报警功能。

有时这种报警仪表与保护装置联动，作成设备的自动保护系统。

E 屏幕显示

目前最先进的显示方式要算屏幕显示，它通过电视技术来实现。这种显示方式形象直观、易于读数，既能显示模拟曲线，也能显示数字，或者二者兼有，亦能在屏幕上同时显示大量数据，便于比较和判断，工作简捷省时。

1.2.1.3 中间件

中间件介于传感器和显示件之间，是二者的桥梁和纽带，也称作变换器。由传感器所发出的信号并不都直接被显示件所接收，一般要经过中间件的变换加工处理，改变信号的性质或者强弱，才能输送给显示件。如测量噪声的声级计，其传感器是传声器，它将感受到的声压转换为电压。但是，这种电压信号极其微弱，不能直接传送给显示件——电表，只有通过中间件——一系列的电子学线路，将微弱的电压信号放大至相当的倍数，经过检波器变为直流，才能为电表所接收，显示出被测噪声的声压级。

中间件采取什么方式主要由显示件所决定。如用U形压力计进行压力测量，其显示件是附有刻度的U形管，而中间件就是一根体积不变的管子，用来连接测压管和U形管。但有时显示件要求甚高，中间件则做成比较复杂的系统，比如声级计即是如此。中间件或者是一个独立的仪表，或者是一部分组件，有时甚至合并于传感器或显示件上，很难严格区分它们的界线，例如水银温度计。不论是否能够区分出中间件，它的作用则总是存在的。

中间件的作用一般有下列几种：

(1) 简单的传输作用。如U形压力计，其信号不用另作加工处理，中间件只起传输信号的作用。

(2) 将传感器发出的信号放大或衰减，线性化或归一化，以满足显示件的需要或者便于远距离传输。

(3) 传感器输出信号形式多样，声、光、电、力种种，显示件并非都能适应，这时信号必须经过适当变换，显示件方可接收。

中间件处理由传感器而来的信号，必须尽可能使信号损失减少，即尽量减少误差。

1.2.1.4 传输通道

仪表各环节的输入和输出信号之间的联系要经过传输通道，当传感器、中间件与显示件之间的距离较长时，传输通道更显重要。传输通道可能是导线、管道、光导管或无线电通讯等形式。信号传输通道比较简单，所以往往被人忽视。实际上，不按规定要求布置和选择传输通道而造成信号失真、信息损失和引入干扰的例子很多，严重时根本无法进行测量。例如传输电量时，如果导线的阻抗不匹配，可能导致仪表灵敏度降低，电压或电流信号失真，甚至信号难以传送。

1.2.2 仪表的主要性能指标

当某项课题中包括有测量任务时，必须精心选择仪表以求合理适用，这往往是一项课题成败的关键。为此，应该了解测量仪表的各种性能指标，使用仪表之前，须仔细查阅使用说明书。

1.2.2.1 量程

仪表能测量的最大输入量和最小输入量的范围叫做仪表的量程，也叫做测量范围，以

$\Delta x_{\max}$ 表示。对于模拟式仪表，其刻度范围加上允许误差量就是量程。

选用仪表量程，应当事先对被测量有个粗略估计，使被测量之值与仪表量程相符，最好是量程的三分之二附近。如果不能估计被测量之值，一般先选用较大量程档，然后改用较小量程档，以满足测量要求。如果仪表量程选用偏小，则被测量值超过仪表的量程，常常使仪表损坏。

1.2.2.2 精确度

精确度表示仪表指示值与被测真值的离异程度，有的称作准确度。确切而言，应该叫做不精确度。精确度常常简称为精度。

如果仪表的指示值为 x ，被测真值为 x_0 ，则仪表对被测量的误差可表示为

$$\text{绝对误差 } \delta = x - x_0$$

$$\text{相对误差 } \eta = \frac{x - x_0}{x_0} \times 100\%$$

绝对误差和相对误差是精确度的两种表示方法。其中以相对误差更能说明仪表的精确程度。

一般仪表不采用绝对误差，而用仪表标尺范围的百分数表示其相对误差，叫做仪表误差的折合值 η_A ，或叫做引用误差：

$$\eta_A = \pm \frac{\text{仪表指示值的最大绝对误差}}{\Delta x_{\max}} \times 100\%$$

式中 $\Delta x_{\max}$ ——量程范围。

允许误差的折合值去掉百分号的数字就是精确度等级。一般工业仪表的精确度等级应符合规定的国家系列(0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0等等)。如精确度为1.5级的仪表，允许误差不超过 $\pm 1.5\%$ （以折合值表示），即该仪表各点的指示值的误差均不允许超过量程范围的 $\pm 1.5\%$ ，并在该仪表的表盘上，以圆圈内的数字标明(1.5)。

被测量之真值不可能准确知道。常用的是以仪表校验方法，即将较高级标准仪表指示值视为真值。

1.2.2.3 灵敏度

灵敏度指的是仪表静态下，输出信号变化量 $\Delta \alpha$ 与被测参数变化量 Δx 的比值，即 $\frac{\Delta \alpha}{\Delta x}$ 。

灵敏度表示仪表对被测参数变化反映的灵敏程度。

有的仪表其灵敏度并不符合以上定义，它指的是可使仪器正常工作的最小输入量，与仪表的输出量无关。

仪器的分辨率是仪器能分辨出被测参数最小变化的本领。分辨率也称作灵敏度限。一般仪表的灵敏度限应不大于仪表允许绝对误差值的一半。

要注意区分分辨率与灵敏度的差别和相近之处。

1.2.2.4 线性度（非线性误差）

有的仪表按其原理特性，输出量与被测参数之间呈线性关系。但是实际上各种因素会造成其特性偏离直线（如图1-2），用线性度来定量描述这种偏离。仪表实际示值与线性原理值，它们的最大偏差与量程范围之比的百分数叫做线性度，以 L_N 表示

$$L_N = \frac{\Delta'_{\max}}{\Delta x_{\max}} \times 100\%$$

式中 $\Delta'_{\max}$ ——实际示值 x 与线性原理值 x_i 之间的最大偏差, $\Delta'_{\max} = (x - x_i)_{\max}$ 。

动态测量仪表感受件的线性度要求较严格。因为非线性误差在动态测量中使输出示值附加一个直流分量和二次谐波, 出现虚假成分。

1.2.2.5 迟滞

仪表从量程的起始值至满量程的测量过程叫做正行程, 相反的过程则是反行程。实际测量时, 在正、反两行程中测量同样的一个输入量, 输出示值常常出现差异 (如图1-3),

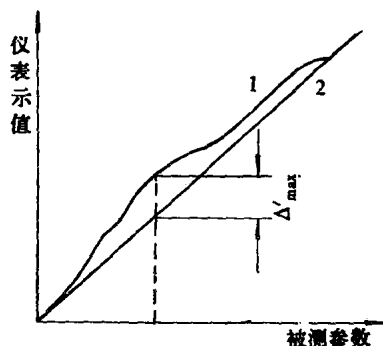


图 1-2 非线性误差
曲线1—实际值; 直线2—理论值

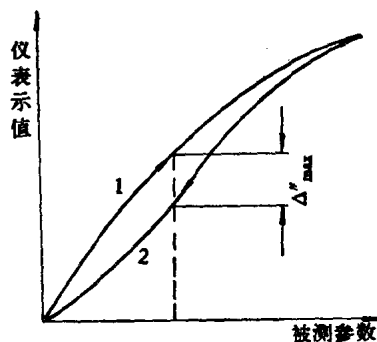


图 1-3 迟滞误差
1—正行程; 2—反行程

称作迟滞差值, 以 Δ'' 表示。通常以迟滞误差 H_r 描述仪表的这一性质

$$H_r = \frac{\Delta''_{\max}}{\Delta x_{\max}} \times 100\%$$

式中 $\Delta''_{\max}$ ——迟滞差值的最大值。

迟滞误差就是全量程中最大的迟滞差值 $\Delta''_{\max}$ 与量程范围 $\Delta x_{\max}$ 之比的百分数。迟滞误差亦称滞后误差或变差, 这是由仪表内运动部件的摩擦和油滞、传动机械的间隙和弹性元件的弹性滞后作用等因素造成。

1.2.2.6 重复性

在相同条件下, 多次测量相同数值的输入量, 仪表输出示值的一致性就称作重复性。重复性以重复性误差 R_N 定量描述, 它是全量程中最大的重复性差值 $\Delta R_{\max}$ 与量程范围 $\Delta x_{\max}$ 之比的百分数

$$R_N = \frac{\Delta R_{\max}}{\Delta x_{\max}} \times 100\%$$

如果以重复性来表征仪表长时间的恒定特性, 那么稳定性和重复性意义相同。仪表的长期不稳定性就是漂移。漂移常常是由于仪表内各种元件的老化、污染、磨损、时效、变质和保管使用不当所造成。

1.2.3 测量方法

测量方法就是求取被测参数数量大小的方法。其中包括仪器仪表的种类选择和正确合理测量方法的设计。从不同的角度出发, 测量方法有不同的分类。

按测量结果产生的方式分类，测量方法可以分为直接测量法、间接测量法和组合测量法。这样分类，有利于研究误差的来源和误差的综合理论分析。

1.2.3.1 直接测量法

用已经标定了的测量仪器进行测量，使被测量与被称作标准量的量直接比较，由此判断出被测量的数量。这就是直接测量法。

直接测量法使用最为普遍，如温度、压力、流速等，有许多直接测量的方法供选用。

1.2.3.2 间接测量法

欲求得的未知量与其它若干量之间存在互相联系的关系式。首先对这些相关的其它量分别直接测量出相应的数值，然后根据其间的关系式计算，即可得到欲求得的未知量数值。这就是间接测量法。

有的被测量不直接使用直接测量法求得，往往要采用间接测量法。如测定粉尘的分散度，首先必须直接测出试样中各个不同粒径范围内的粉尘各自的重量和试样的总重量，然后计算它们在试样总重量中所占的百分数，这就是要测定的分散度。

1.2.3.3 组合测量法

若待求知的被测量不直接使用直接测量法和间接测量法得到数值，但是它与另外若干量之间存在某种函数关系。一次测量后，不能计算出被测量的数值，必须改变测量条件进行多次测量，以获取函数关系式的不同组合形式，形成联立方程组，求解后方可得到被测量的数值。这种方法叫做组合测量法。在组合测量法中，用最小二乘法作回归分析代替联立方程组求解，所得到的测量数据更加精确。

如铂电阻温度计，温度在 $0\sim 650^{\circ}\text{C}$ 之间时，其电阻值和温度之间存在函数关系

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

式中 R_t 和 R_0 ——铂电阻分别在 $t^{\circ}\text{C}$ 和 0°C 时的电阻值；

A 、 B ——铂电阻的温度系数。

对于温度系数 A 、 B 的确定，是不能直接测量或间接测量办得到的。为此，应在不同温度下测得铂电阻不同的电阻值，然后列出联立方程并求解，以获取 A 、 B 数值。

在评定测量数据中包含有随机误差时，其数据处理方法取决于测量方法。一般说来，对直接测量数据的处理方法是基于正态分布律而求出未知量的最佳估计值（算术平均值）和它所包含的误差；对于间接测量数据的处理尚需借助于误差传递原理；对于组合测量的数据普遍地使用回归分析确定相关系数，最后求得未知参量和评定误差。

测量方法还可以其它因素进行分类，如绝对测量法和相对测量法；等精度测量法和非等精度测量法；零示法、微差法和替代法；接触测量法和非接触测量法等等。

1.2.4 精密度、准确度和精确度

精密度是指在测量中所测数值重复一致的程度。准确度是指测量值与真值偏离的程度。精密度和准确度是两种不同的概念，不能混为一谈，二者之间的区别可以用打靶时的弹着点分布情况来说明，如图1-4所示。

射击精密度的高低在靶纸上体现弹着点分布区域的大小。当弹着点都密集于一个很小的区域中时，则精密度很高；如果弹着点十分稀疏地散布于靶纸的各个部分，则精密度很差。因此精密度与弹着点是否落在靶心没有关系，即精密度与测量值偏离真值的程度无

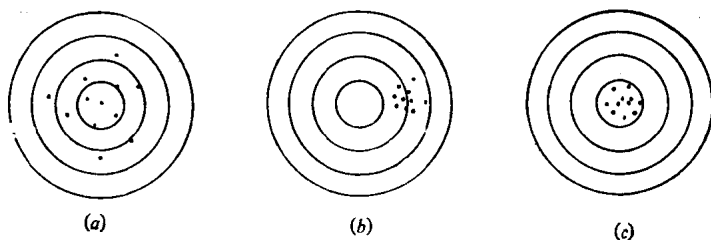


图 1-4 精密度、准确度与精确度含示意图

关。射击准确度则体现在所有弹着点相对于靶心的偏离程度，显然，弹着点相对于靶心分布得愈对称则准确度愈高。图1-4中的（a）显示射击准确度较好而精密度差，（b）显示射击的精密度较好而准确度差，因此，二者的成绩都不理想。而（c）显示射击准确度和精密度两方面都很好。在测量中，被测量的真值相当于靶纸上的靶心。为了获得精确的测量结果，对于测量的方法，不仅要看它的精密度，也要注意它的准确度。精密度与准确度的综合指标称为精确度，简称精度。

还可以进一步分析靶情。如果三个射手都使用同一支经过校验的枪，则对射手（a）来说还有待于刻苦训练，减少射击时造成枪身不稳定的因素，这在测量中称之为减少随机误差提高精密度；对于射手（b）则需要克服和纠正业已习惯了的错误瞄准方法，这在测量技术中称之为更正系统误差。应该指出的是，用未校验的枪射击，准确度亦不会很好。

1.2.5 有效数字

1.2.5.1 有效数字的概念

测量的结果及其有关数据处理的结果，都是以数字作定量表示的，是不是结果的数值位数越多就越精确、越好呢？

所谓“有效数字”，是指在表示的数值中，全部有意义的数字。仪表读数、测量结果和数据处理结果应该依据科学的原则来用恰当的几位数字表示，这就是关于有效数字研究的内容。

A 有效数字的位数和估读数

测量结果表示的数字最后一位应该与仪表精确度相一致，超过精确度的更精细数字表示无意义。一般来说，表示的数值最后一位数字是估读数（或叫做欠准数、存疑数），这一位数字是大约估计读出，前面几位的数字是准确读数。至于更下一位的数字就不应该考虑。对于模拟式仪表，一般以仪表最小分格的下一位作为估读数；至于数字式仪表，数字显示的最后一位是估读数。估读数连同前几位的所有数字都被看作有效数字，它们合在一起表示测量结果。如米尺的最小分格是1mm，可以将某长度的测量结果表示为127.6mm，有四位有效数字，数字6是估读数，可能是5或4也可能是7或8；而五位数字速率表如测出某速率为27009，则测量结果有五位有效数字，数字9是估读数，可能是0，也可能是8。

B “0”的作用

特别应该指出的是，“0”在有效数字表示中的作用：

（1）有效数字中，尾部的“0”仍然是有效数字，不得随意舍去，也不能随意加上，因为它表示了测量结果的精确度，如220V，2300Hz，12.600cm和12.60cm等。显