



高等学校试用教材

化工测量及仪表

华东石油学院等合编
范玉久 主编

化学工业出版社

81.18
330

高等学校试用教材

化工测量及仪表

华东石油学院等合编

范玉久 主编

34238/27

化学工业出版社

《化工测量及仪表》是石油、化工类高等院校化工自动化及仪表专业的教材。介绍压力、物位、流量、温度等参数的测量方法和典型仪表，以及成分和物性分析仪表。考虑到显示仪表的通用性，本书把它单独列为一篇进行介绍。全书力求加强测量原理的介绍，同时给以必要的实践知识。

本书除作大专院校自动化专业教材外，也可供工程技术人员和仪表工人阅读。

参加本书编写的有华东石油学院曹文举（概述、第一、二篇），范玉久（第三篇），奚立明（第四篇，第五篇一、二、四章），上海纺织工学院严隽道（第五篇第三章），上海化工学院章先楼（第六篇概述第一、二、三、六、七、八章），沈关梁（第六篇四、五章）。全书由浙江大学李海青（主审）、上海化工学院陈彦萼、天津大学张立儒审定，由范玉久整理。

高等学校试用教材
化工测量及仪表
华东石油学院等合编
范玉久 主编

化学工业出版社 出版
(北京和平里七区十六号楼)
化学工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

开本787×1092¹/₁₆ 印张30 字数730千字 印数1—15,050
1981年7月北京第1版 1981年7月北京第1次印刷
统一书号15663·3217(K-234) 定价3.05元

目 录

概述	1
一、测量过程及误差	1
二、测量仪表的基本技术性能	5
三、测量系统的动态误差	6
四、化工测量仪表的应用特点	7

第一篇 压力测量

概述	8
第一章 压力测量方法	10
第一节 应用液柱测量压力	10
第二节 应用弹性变形测量压力	11
第三节 应用电测法测量压力	13
一、压电式压力传感器	13
二、压磁式压力传感器	14
三、利用热电真空计测量气体的真空度	14
第二章 压力测量仪表	15
第一节 弹簧管压力表	15
一、弹簧管的测压原理	15
二、弹簧管压力表的结构	16
第二节 远传式测压仪表	16
一、霍尔片式远传压力表	16
二、应变片式远传压力表	18
三、电容式远传压力表	21
四、差动式电感压力传感器	21
第三节 压力表的选择、校验和安装	22
一、压力表的选择	22
二、压力表的校验	22
三、压力表的安装	23

第二篇 物位测量

第一章 物位测量方法	26
第一节 应用浮力原理测量物位	26
一、恒浮力法液位测量	26
二、变浮力法液位测量	27

第二节 应用静压原理测量物位	27
一、测量敞口容器液位	28
二、测量密闭容器液位	28
第三节 应用电容原理测量物位	31
第四节 应用放射性同位素测量物位	32
一、基本原理	32
二、测量物位的方法	33
第五节 应用超声波测量物位	34
一、基本原理	34
二、测量方法	35
三、测量电路的方块图及工作原理	37
四、超声波法测量物位的特点	39
第二章 物位测量仪表	40
第一节 浮筒式液位计	40
一、液位传感器	40
二、霍尔变送器	41
三、毫伏-毫安转换器	42
四、电动浮筒式液位变送器方块图	42
第二节 电容式物位计	43
一、电容式物位传感器	43
二、检测电容量的方法	44
第三节 储罐液体称量仪	47
一、变送器的工作原理和结构	48
二、码盘及编码	49
三、数字显示仪表	51
四、应用	56

第三篇 流量测量

概述	58
第一章 流量测量方法	60
第一节 应用容积法测量流量	60
一、测量原理	60
二、特性	62
三、特点和注意问题	65
第二节 应用动压能和静压能转换的原理测量流量	65
第三节 应用流体动压原理测量流量	69
一、应用靶测量流量	69
二、应用挡板测量流量	71
三、应用动压管测量流量	72

四、应用皮托管测量流量	73
第四节 应用改变流通面积的方法测量流量	75
第五节 应用流体离心力原理测量流量	77
一、应用弯头测量流量	78
二、应用环形管测量流量	80
第六节 应用流体动量矩原理测量流量	81
第七节 应用流体振荡原理测量流量	83
一、应用卡曼漩涡测量流量	83
二、应用旋进型漩涡测量流量	86
第八节 应用电磁感应原理测量流量	87
第九节 应用超声波测量流量	87
一、应用时差测量流量	88
二、应用相位差测量流量	89
三、应用频差测量流量	90
第十节 应用热能测量流量	92
一、热量式流量测量方法	92
二、热导式流量测量方法	93
第十一节 质量流量测量方法	94
I. 直接式质量流量测量方法	95
一、差压式测量方法	95
二、角动量式测量方法	96
三、应用麦纳斯效应测量方法	97
II. 推导式质量流量测量方法	98
一、 ρQ^2 变送器和密度计的组合方式	98
二、 Q 变送器和密度计的组合方式	98
三、 ρQ^2 变送器和 Q 变送器的组合方式	98
第二章 差压式流量计	100
第一节 差压式流量计的组成	100
第二节 标准节流装置	102
一、标准节流件	103
二、标准取压装置	105
三、标准节流装置的管道和使用条件	107
第三节 实用流量公式及有关参数的确定方法	111
一、流量系数	111
二、流束膨胀系数	114
三、材质的热膨胀系数	116
四、压力损失	116
第四节 被测流体的物理参数的确定方法	116
一、流体的密度	117

二、可压缩流体的压缩系数	119
三、可压缩流体的等熵指数	120
四、流体的粘度	121
第五节 标准节流装置的设计计算	124
一、设计计算的任务和依据	124
二、设计计算程序	125
三、标准节流装置流量测量误差	129
四、计算举例	132
第六节 特殊节流装置	144
一、低雷诺数情况下的流量测量	145
二、脏污介质的流量测量	145
第七节 差压计	146
一、双波纹管差压计	146
二、膜片式差压计	149
第八节 差压式流量计的安装	153
一、标准节流装置的安装	153
二、差压信号管路的安装	154
三、差压计的安装	157
第九节 差压式流量计使用中的测量误差	158
一、被测流体工作状态的变动	158
二、节流装置安装不正确	158
三、孔板入口边缘的磨损	159
四、节流装置内表面的结垢和流通截面积的变化	159
第三章 涡轮流量计	160
第一节 涡轮变送器的结构	160
第二节 涡轮变送器的工作原理	161
第三节 涡轮流量计的显示仪表	162
第四节 涡轮流量计的特点	166
第四章 电磁流量计	167
第一节 基本原理和变送器的结构	167
第二节 转换器的构成原理	169
第三节 电磁流量计的特点和应注意事项	172
附录 流量测量常用公式及图表	175

第四篇 温度测量

概述	209
第一章 温度的测量方法	213
第一节 应用热膨胀原理测温	213
一、应用固体膨胀测量温度	213

二、应用液体膨胀测量温度.....	213
第二节 应用工作物质的压力随温度变化的原理测温.....	214
一、应用气体压力测量温度.....	214
二、应用饱和蒸气压测量温度.....	215
第三节 应用热电效应测温.....	216
第四节 应用热电阻原理测温.....	217
第五节 应用热辐射原理测温.....	218
一、热辐射.....	218
二、绝对黑体.....	219
三、普朗克定律.....	219
第六节 应用其它方法测温.....	220
第二章 测温仪表.....	222
第一节 热电偶温度计.....	222
一、有关热电偶回路的几个结论.....	222
二、热电偶冷端的温度补偿.....	223
三、热电偶的串、并联应用.....	225
四、热电偶材料和结构组成.....	226
五、热电偶的校验.....	231
六、热电偶测温误差分析.....	233
第二节 热电阻温度计.....	234
一、热电阻材料和结构.....	234
二、热电阻的校验.....	236
第三节 辐射式高温计.....	237
一、光学高温计.....	237
二、全辐射高温计.....	239
第四节 接触式温度计的安装.....	241
一、感温元件在管道(设备)上的安装.....	241
二、节省补偿导线的方法.....	243

第五篇 显示仪表

概述.....	253
第一章 动圈式显示仪表.....	254
第一节 测量机构的工作原理和组成.....	254
一、工作原理.....	254
二、特性.....	254
三、张丝支承式动圈仪表测量机构的组成.....	255
第二节 动圈仪表的误差.....	258
一、基本误差.....	258
二、附加误差.....	258

第三节 测量线路	259
一、XCZ型配热电偶的动圈仪表的测量线路	259
二、XCZ型配热电阻动圈仪表的测量线路	261
第二章 自动平衡式显示仪表	265
第一节 工作原理	265
一、电位差计电路的工作原理	265
二、平衡电桥电路的工作原理	266
三、差动线圈电路的工作原理	267
第二节 结构组成与特性分析	268
一、平衡式显示仪表的灵敏度和精度	271
二、测量范围的界限	272
三、快速动作仪表的稳定性	272
第三节 测量电路	274
一、电子电位差计的测量电路分析与计算	274
二、电子平衡电桥测量桥路分析与计算	281
第四节 放大器	288
一、放大器的作用与特点	288
二、JF型晶体管放大器	290
第五节 自动平衡显示仪表的校验	295
第三章 数字式显示仪表	298
第一节 数字式显示仪表的原理及组成	298
第二节 模数转换	299
一、双积分型	299
二、脉冲调宽式积分型	301
三、电压-频率型	305
四、逐次比较电压反馈编码型	308
第三节 非线性补偿及标度变换	311
一、模拟式非线性补偿法	311
二、数字式非线性补偿法	315
第四节 数字式显示仪表实例	328
第四章 显示仪表应用中的抗干扰措施	331
第一节 干扰的产生	331
第二节 干扰的抑制	334
一、串模干扰的抑制	334
二、共模干扰的抑制	337
三、电源引入干扰的抑制	342
四、自动平衡显示仪表的抗干扰能力	343
五、数字式显示仪表的抗干扰能力	344

第六篇 工业分析仪表

概述	346
第一节 工业分析仪表的分类及特点	346
一、工业分析仪表的分类	346
二、工业分析仪表的特点	347
第二节 工业分析仪表的基本组成部分	348
第三节 工业分析仪表的现状与发展趋势	349
第一章 热导式气体分析器	350
第一节 热导式气体分析器的工作原理	350
一、混合气体的导热系数与组分的关系	350
二、测量原理	351
第二节 热导式气体分析器的测量桥路	354
第三节 热导式气体分析器传感器的结构	356
一、传感器结构的类型	356
二、热导池电阻丝的支承方法	357
三、热导池池壁温度的影响	357
第四节 热导式气体分析器实例	357
一、测量电桥	358
二、稳压电源	359
三、传感器	359
四、恒温控制器	359
五、预处理装置	360
第二章 磁性氧分析器	361
第一节 热磁式氧分析器的基本原理	361
一、气体的磁化率	361
二、热磁式氧分析器的工作原理	363
第二节 热磁式氧分析器传感器的结构	364
一、具有环形及水平通道的内对流式传感器	365
二、具有环形及垂直通道的内对流式传感器	365
三、外对流式传感器	366
第三节 热磁式氧分析器的测量系统	368
一、直流不平衡电桥测量电路	368
二、交流双电桥测量电路	368
第四节 热磁式氧分析器的误差分析	369
一、热磁式氧分析器的基本误差	369
二、热磁式氧分析器的附加误差	370
第五节 磁力机械式氧分析器	371
第三章 红外线气体分析器	375

第一节	应用红外线分析气体的基本原理	375
第二节	红外线气体分析器的类型及工作原理	376
一、	直读式红外线气体分析器	377
二、	补偿式红外线气体分析器	378
第三节	红外线气体分析器的主要结构元件	379
一、	红外线辐射光源	380
二、	气室及滤波元件	380
三、	检测器	381
第四节	红外线气体分析器的电路	386
一、	前置放大器	386
二、	主放大器	388
第五节	红外线气体分析器的调校	389
一、	相位调整	389
二、	调光路平衡	390
三、	零点调节	391
第四章	气相色谱分析仪	392
第一节	色谱分析仪的基本原理	393
一、	分离原理	393
二、	定性和定量分析	399
第二节	气相色谱仪的主要部件	402
一、	气路部分的主要组件	403
二、	检测器的主要参数	405
三、	热导检测器	408
四、	氢火焰电离检测器	411
五、	电子俘获检测器	416
第三节	工业气相色谱	417
一、	工业气相色谱仪的特点	417
二、	基本原理及其应用线路	418
第四节	分析数据的自动处理	421
一、	数字积分仪的基本原理及组成	421
二、	采用计算机的定量数据处理	423
第五章	pH值的自动测定	425
第一节	概述	425
一、	pH计组成框图	425
二、	pH值的意义	426
第二节	电极电位与原电池	427
一、	电极电位	427
二、	原电池	428
三、	由氢电极组成的原电池	430

第三节	参比电极与指示电极	430
一、	参比电极	430
二、	指示电极	432
第四节	高内阻毫伏信号源的测量	436
一、	测量线路的输入阻抗	436
二、	测量线路	437
第六章	工业电导仪	444
第一节	工业电导仪的测量原理	444
一、	电导率与溶液浓度的关系	444
二、	刻度方法和电极常数	445
三、	影响溶液电导测量的因素	446
第二节	工业电导仪实例	448
一、	电导传感器	449
二、	转换器的组成及工作原理	449
第七章	湿度的自动测量	454
第一节	湿度的表示方法	454
第二节	干湿球湿度计	455
一、	工作原理	455
二、	测量精度的影响因素	456
第三节	露点式湿度计	456
一、	光电式露点湿度计	456
二、	氯化锂露点湿度计	457
第四节	电解式湿度计	458
一、	基本原理	458
二、	电解池的类型	459
三、	电解池的脱水	459
四、	整机测量系统	460
第五节	电容式湿度计	461
第八章	密度的自动测量	462
第一节	浮力式密度计	462
一、	漂浮浮筒式密度计	462
二、	沉浸浮筒式密度计	463
第二节	压力式密度计	464
第三节	重力式密度计	465
第四节	振动式密度计	466
一、	基本工作原理	466
二、	仪表的组成示例	467

概 述

在工业生产中，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各个有关参数。目前，在化工、炼油生产中，对于压力、物位、流量和温度等四个参数，多数实现了自动测量，并与调节器、执行机构相配合实现了对生产过程的自动控制。

虽然压力、物位、流量和温度四个参数，对化工、炼油生产是必不可少而又极其重要的参数，但是，对保证产品质量来说，还是间接控制的参数。随着科学技术和生产的发展，在化工生产中，已经开始采用工业自动分析仪表，自动地、连续地给出与产品质量直接有关的物性和物质成分等参数，并直接地去控制产品质量。如果将工业分析仪表与计算机连用，对生产的发展将发挥更大的作用。

由于化工参数种类繁多，生产条件各有不同，化工测量仪表也是琳琅满目多种多样。但是，从化工测量仪表的组成来看，基本上是由三部分组成：即检测环节，传送、放大环节和显示部分，如图 0-1 所示。检测环节直接感受被测量，并将它变换成适于测量的信号，经传送、放大环节对信号进行放大、传送，最后由显示部分进行指示或记录。有关各部分的工作原理、结构将在以后各章中进行介绍。这里只就测量仪表的共同问题进行简略的介绍。

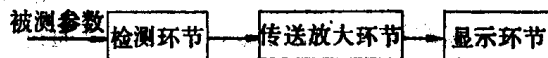


图 0-1 测量仪表的组成

一、测量过程及误差

1. 测量过程在化工和炼油生产中，虽然所应用的测量方法及仪表种类很多，但从测量过程的实质来看，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，是由于弹簧管受压后的弹性变形，把被测压力变换为弹性变形位移（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量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，把被测温度变换成直流毫伏信号（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，各种测量方法及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变换，最后获得便于测量的信号能量形式，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能量形式的一次或多次不断变换和传送，并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变换、比较的工具。

2. 测量误差 根据最终测量结果获得的方式不同，可将测量分为直接测量和间接测量两种。直接测量是将被测参数直接以一定的标准量比较出来，例如用米尺量出一根钢管的长度。间接测量是将直接测量得到的数据代入一定的公式，计算出所要求的被测参数值。例如用节流装置测量流量时（见第三篇），在测出节流装置前后的压差以后，代入流量方程式就

可以计算出所对应的流量值。

在工程技术或科学研究中，对一个参数进行测量时，人们总是要提出这样一个问题：所获得的测量结果是否就是被测参数的真实值？它的可信赖程度究竟如何？

人们对于被测参数真实值的认识，虽然随着实践经验的积累和科学技术的发展将会愈来愈接近，但绝不会达到完全相等的地步，这是由于在测量过程中始终存在着各种各样的影响因素，例如对被测对象本质认识的不全面，或采用的检测技术工具不十分完善，以及观测者的技术熟练程度不同等，使所获得的测量结果与真实值之间总是存在着一定的差别，这一差别就是测量误差。即仪表的测量值 x 不能绝对准确地等于被测参数的真实值 L ，人们总是力求使 x 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，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代表被测压力的真实值 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_x ，而压力测量的误差 $\Delta P = P_x - P_L$ 。 ΔP 愈小，被测压力指示值 P_x 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。

(1) 测量误差的分类 根据误差本身的性质，可将测量误差分为下列三类：

a. 系统误差 这种误差是指对同一被测参数进行多次重复测量时所出现的数值大小，或符号（指正或负的误差）都相同的误差，或者虽不相同，但却是按一定规律变化的误差。它是由于在测量中仪表使用不当或测量时外界条件变化等原因所引起的。

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，如果已知变动后的工作状态下的蒸汽压力和温度数值，则可以通过一定的关系式的计算，对仪表的指示值进行修正，以消除测量的系统误差。

b. 疏忽误差 疏忽误差是由于工作人员在读取或记录测量数据时的疏忽大意所造成的，这类误差的数值很难估计，带有这类测量误差的测量结果也毫无意义，因此，必须加强责任感，细心工作，避免发生这类误差。

c. 偶然误差 在对某一参数进行多次重复测量时，即使消除了上述两项误差，每一次的测量结果彼此仍不可能完全相等，每一个测量值与被测参数的真实值之间或多或少仍然存在着差别，这类误差就称为偶然误差。偶然误差的存在主要是由于客观事物内部的矛盾运动非常复杂，平常我们只注意认为对测量影响较大的那些因素，而其它还有一些小的因素不是我们尚未认识，就是我们无法控制（如电子线路中的噪声干扰），而这些因素正是造成偶然误差的原因。

(2) 测量误差的计算方法

a. 真实值与算术平均值 通常一个参数的真实值是不知道的，需要去测定它。但由于测量方法，测量仪器，人的观测能力等等都不能做到完美无缺，故真实值是无法得到的，为了使真实值这个词不致太玄虚，可以这样定义测量技术中的真实值：设在测量中，观测的次数无限多，且无系统误差存在时，各测量值的算术平均值就是被测参数的真实值。

平常观测的次数都是有限次的，因此用有限次的测量值求得的算术平均值只能是近似真实值，或称最佳值。

设 x_1, x_2, \dots, x_n 代表各次测量值， n 代表测量次数，则算术平均值为：

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (0-1)$$

可以证明，当一组测量值的分布类型服从正态分布规律时，用算术平均值表示该参数时，所具有的误差值是最小的。

b. 标准误差——又称为均方根误差 当对某一参数进行测量时，从每一次测量结果来看，偶然误差出现的大小和方向似乎是没有规律的，但对该参数进行多次重复测量时，把各次测量的偶然误差联系起来看，就发现一种严格的，非偶然的规律性。如果从测量的结果来看，发现与真实值相差较小的测量值出现次数较多，而且相差愈小的出现的次数愈多；反之亦然。如果按误差的大小和出现的次数绘成图形，如图0-2所示。表明它服从统计规律。

从图0-2可知，绝对值相等的正误差和负误差在多次测量过程中出现的次数几乎相等；误差的绝对值小的较误差的绝对值大的出现的次数多，而且误差越小出现的次数越多；在一定条件下，偶然误差的绝对值不会超过某一限度；对同一参数做等精度测量时，其偶然误差的算术平均值随着测量次数的增加而逐渐减小。

假定对某一参数进行无限次的重复测量，其结果可以用一条与图0-2上的包络线相似的对称曲线来表示误差的分布情况，这一曲线即为正态分布曲线，见图0-3。

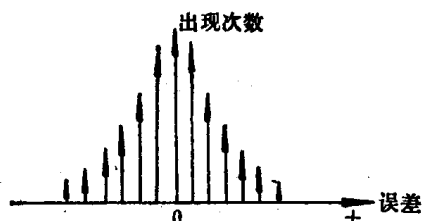


图 0-2 测量误差分布情况

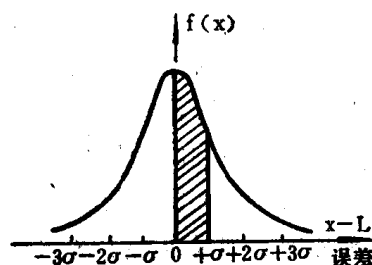


图 0-3 正态分布曲线

假定正态分布曲线下的面积为100%，即等于1的话，即

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

这条曲线可用下边的函数式表示：

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

式中 $f(x)$ —— 某一误差出现的次数；

x —— 测量值；

L —— 被测参数的真实值；

σ —— 均方根误差。

$$\text{均方根误差 } \sigma = \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \cdots + \Delta x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{n}}$$

式中 $\Delta x_i = x - L$ ； n 为测量次数。

由于曲线下总面积假定为100%，故在图0-3上带斜线部分的面积就代表误差落在 $0 \sim +\sigma$ 内的概率。

从公式可以算出，误差在 $-\sigma \sim +\sigma$ 之间时，曲线所包的面积为68.3%。这个事实说明当对某一参数进行了 n 次（无穷次）测量以后，偶然误差的数值在 $0 \sim \pm\sigma$ 范围的测量值有68.3%，而剩下的31.7%的测量值，它们与真实值之差均超过 $\pm\sigma$ 。这就是均方根误差的物理意义。

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%；误差在 $-3\sigma \sim +3\sigma$ 之间时，曲线所包的面积为99.7%。由此可见，几乎全部测量值都落在 $L \pm 3\sigma$ 范围内，因此可近似地认为，对某一参数进行测量时，所可能产生的最大偶然误差值等于 3σ 。一般是将 3σ 取为极限误差，它的置信概率为0.9973。

在实际测量中，不可能对被测参数进行无限次的重复测量，而只能是进行有限次数的重复测量，另外，也只能用一组测量数据的算术平均值去代替被测参数的真实值，因此有限次重复测量的均方根误差应按下式计算：

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

式中 $\bar{x} = \sum x_i / n$ —— 该组测量数据的算术平均值；

x_i —— 某一测量值；

n —— 测量次数， n 为有限值，一般取20以上。

然而，对同一个参数进行多次（有限次）测量，也只有实验室条件下才有可能实现，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 3σ 范围内。

因此，从上面的叙述可以得出的结论是：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 σ ，就不难估计出测量值的最大可能误差的数值为 3σ ，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。

c. 间接测量误差的计算 上面讲的是直接测量的误差计算方法，下面讨论间接测量值即函数的测量误差的计算方法。

① 系统误差的计算 设有函数为：

$$y = f(x_1, x_2 \cdots x_n) \quad (0-5)$$

若令 $\Delta x_1, \Delta x_2 \cdots \Delta x_n$ 分别代表直接测量 $x_1, x_2 \cdots x_n$ 时所产生的误差， Δy 代表由 $\Delta x_1, \Delta x_2 \cdots \Delta x_n$ 引起的 y 的误差，则有

$$y + \Delta y = f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2 \cdots x_n + \Delta x_n) \quad (0-6)$$

将上式右边按泰勒级数展开并略去高次项后，得函数 y 的绝对测量误差为：

$$\Delta y = \frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \cdot \Delta x_n \quad (0-7)$$

函数 y 的相对测量误差为

$$\delta y = \frac{\Delta y}{y} = \frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \frac{\Delta x_1}{y} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \frac{\Delta x_2}{y} + \cdots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \cdot \frac{\Delta x_n}{y} \quad (0-8)$$

② 偶然误差的计算 如果对 $x_1, x_2 \cdots x_n$ 分别进行 n 次测量，对应的均方根误差为 $\sigma_{x_1}, \sigma_{x_2} \cdots \sigma_{x_n}$ ，则函数 y 的均方根误差可按下式计算：

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \cdot \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \cdot \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \cdot \sigma_{x_n}^2} \quad (0-9)$$

例如 $y = x_1 + x_2$ $\sigma_y = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2}$
 $y = kx_1 \cdot x_2$ $\sigma_y = k\sqrt{x_2^2 \cdot \sigma_{x_1}^2 + x_1^2 \cdot \sigma_{x_2}^2}$
 $y = k \frac{x_1}{x_2}$ $\sigma_y = \frac{k}{x_2} \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \frac{x_1^2}{x_2^2} \cdot \sigma_{x_2}^2}$

二、测量仪表的基本技术性能

1. 仪表的精度 任何测量过程中既然存在着测量误差，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精度，既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(精度较高)和被校表(精度较低)同时对同一个参数进行测量时所得到的两个读数值之差。一般不用绝对误差来判断仪表的质量，因为仪表的精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，标尺范围大的仪表精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，称为相对误差 δ ，即

$$\delta = \frac{x - x_0}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \quad (0-10)$$

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：

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

仪表的精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百分比误差的最大值。例如，某台测温仪表的允许误差值为 $\pm 1.5\%$ ，则该仪表的精度等级为1.5级；允许误差为 $\pm 1\%$ ，则其精度等级为1级，或称1级表。

如果上述测温仪表的精度原为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。仪表的精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，也用百分比误差表示。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。

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。所以非线性误差就是校验曲线与相应的直线之间的最大偏差。这种非线性现象如图0-4所示。