



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

GUOCHENG CANSHU
JIANCE JI YIBIAO

过程参数 检测及仪表

常太华 苏杰 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

GUOCHENG CANSHU
JIANCE JI YIBIAO

过程参数 检测及仪表

常太华 苏 杰 编
周 渭 潘 笑 主审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书首先介绍了检测技术的基本知识,然后按照测量参数的分类,分别介绍了温度、压力、流量、液位、成分量、机械量等参数的检测方法和相关仪表,最后介绍了检测装置的抗干扰技术以及检测技术的新发展及应用情况。

本书可作为高等院校相关专业的本科生教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程参数检测及仪表/常太华,苏杰编. —北京:中国电力出版社,2009

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5083-8720-8

I. 过… II. ①常…②苏… III. ①自动检测—高等学校—教材 ②检测仪表—高等学校—教材 IV. TP274 TP216

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第057207号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年6月第一版 2009年6月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 22.5印张 547千字

定价 36.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

近些年来,热力发电厂的机组不断向大容量、超高参数方向发展,新的检测方法和新的检测仪表不断地得到应用。为适应电力事业的发展,编者在多年教学实践的基础上,将历年讲稿、讲义不断修改补充,完成了《过程参数检测及仪表》的编写。

编者在编写本书时,除保留当前生产中使用较广的测量方法及仪表外,对一些最新应用的新技术和新型检测仪表也进行了介绍,力求做到叙述清楚、重点突出、体系完整、内容丰富及书中内容与实际生产过程的有机结合。本书第1章和第2章重点介绍了测量方法、测量系统、测量误差等方面的内容,使学生对测量技术有一个总体认识。第3~10章,主要介绍了温度、压力、流量、液位、分量、机械量等参数的检测方法和仪表,这些是本书的重点内容,学生要牢固掌握。第11章对检测装置的抗干扰技术进行了介绍,这部分内容对学生以后解决实际工程问题很有帮助。第12章介绍了检测技术的新发展及应用情况,有助于拓宽学生的知识面。

本书第1章至第11章由华北电力大学的常太华、苏杰编写,第12章由华北电力大学的全卫国编写,全书由常太华整理定稿。编者在编写这本书的过程中参考和引用了许多专家学者的有关著作,在此致以谢意。西安电子科技大学的周渭教授对全书进行了仔细的审阅,并提出了许多宝贵意见,在此也表示深深的谢意。

由于编者水平有限,书中不妥、疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2008年9月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 测量的意义及发展方向	1
1.2 测量方法	2
1.3 测量系统	3
1.4 测量仪表的主要性能指标	5
1.5 仪表的检定	8
本章小结	8
思考题与习题	9
第2章 测量误差分析与处理	11
2.1 测量误差的概念	11
2.2 直接测量误差的分析与处理	12
2.3 间接测量误差的分析与处理	22
2.4 测量不确定度	23
本章小结	28
思考题与习题	28
第3章 接触式温度检测及仪表	30
3.1 温度测量的基本知识	30
3.2 热电偶温度计	35
3.3 热电阻温度计	55
3.4 新型温度传感器	68
3.5 测温实例	74
本章小结	79
思考题与习题	80
第4章 非接触式温度检测及仪表	82
4.1 热辐射测温的基本知识	82
4.2 光学高温计及光电高温计	84
4.3 辐射高温计	87
4.4 比色高温计	89
4.5 红外测温仪	91
本章小结	93

思考题与习题	93
第 5 章 压力检测及仪表	95
5.1 压力测量的基本知识	95
5.2 液体压力计	98
5.3 弹性式压力计	102
5.4 压力(差压)变送器	112
5.5 压力表的选择和安装	123
5.6 工业压力表的校验与调整	125
本章小结	128
思考题与习题	129
第 6 章 流量检测及仪表	131
6.1 流量测量的基本知识	131
6.2 容积式流量计	134
6.3 速度式流量计	136
6.4 差压式流量计	144
6.5 质量流量计	157
6.6 其他流量计简介	162
6.7 流量标准装置	167
本章小结	170
思考题与习题	172
第 7 章 节流式流量计	174
7.1 概述	174
7.2 流量公式	175
7.3 标准节流装置的组成及适用范围	177
7.4 标准节流装置中有关系数的确定和误差估计	185
7.5 标准节流装置的计算	190
7.6 流量测量的温度、压力补偿	200
7.7 非标准节流装置	202
7.8 节流式流量计信号管路的安装	205
本章小结	206
思考题与习题	207
第 8 章 液位检测及仪表	209
8.1 液位测量概述	209
8.2 云母水位计及双色水位计	210
8.3 电接点水位计	213
8.4 差压式水位计	221
8.5 其他液位测量方法	228

8.6 液位仪表的选用	235
本章小结	236
思考题与习题	236
第9章 成分分析仪表	238
9.1 成分分析仪表概述	238
9.2 氧化锆氧分析仪	240
9.3 红外线气体分析仪	244
9.4 热导式气体分析仪	248
9.5 工业气相色谱仪	251
9.6 电导式分析仪	254
9.7 工业酸度计	258
9.8 硅酸根分析仪	262
9.9 成分分析仪表的特殊问题	265
本章小结	266
思考题与习题	267
第10章 机械量检测及仪表	269
10.1 位移测量	269
10.2 振动测量	276
10.3 转速测量	280
本章小结	284
思考题与习题	285
第11章 检测装置的干扰抑制技术	286
11.1 干扰的形成	286
11.2 差模干扰与共模干扰	290
11.3 抑制干扰的措施	292
本章小结	301
思考题与习题	302
第12章 检测新技术	303
12.1 现场信号的采集(信号的调理与采集)	303
12.2 软测量技术	308
12.3 多传感器数据融合	316
12.4 虚拟仪器	325
本章小结	330
思考题与习题	331
附录 I	333
附录 II	338
参考文献	349

第 1 章 绪 论

1.1 测量的意义及发展方向

所谓测量,就是用实验的方法和专门的工具,将被测量与同种性质的标准量(即测量单位)进行比较,求取二者比值,从而找到被测量数值大小的过程。测量的基本方程式为

$$X = \alpha U \quad (1-1)$$

式中 X ——被测量;
 U ——测量单位;
 α ——比值。

由于测量过程中不可避免地有误差存在,任何测得值都只能近似地反映被测量的真值,故式(1-1)变为

$$X \approx \alpha U \quad (1-2)$$

从式(1-1)可知,测量过程包含三要素,即测量单位、测量方法和测量工具。任何测量只有确定测量单位、选择测量器具和测量方法、设计测量系统和进行正确的操作,才能确定测量结果的可靠程度。

现代化的生产过程是高效、连续的过程,为了确保生产安全,保证产品的产量和质量,减少能源消耗和降低成本,必须对反映生产过程进行的各种参数如温度、压力、流量、物位、分量、机械量等进行自动检测和控制。完成工艺参数检测处理的仪表称为过程检测仪表。

例如,在热力发电厂中,通过对温度、压力等参数的测量,可及时反映热力设备的运行工况,为运行人员提供操作依据;为自动化装置准确、及时地提供信号;为运行的经济性计算提供数据。因此,对生产过程参数实时、可靠的检测,是保证热力设备安全、经济运行及实现自动化的必要条件,也是经济管理、环境保护、研究新型热力生产系统和设备的重要手段。

检测是意义更为广泛的测量。检测技术现已逐步成为一门完整的、独立的学科。这门学科研究的主要是测量原理、测量方法、测量工具和测量数据的处理。根据测量对象的差异,检测技术可分为若干分支,例如热工测量、电学测量、力学测量、光学测量等。检测技术的各个分支既有研究的共同点,如测量系统分析、测量误差的分析与处理理论;又有各自不同的特点,如各种不同物理参数的测量原理、测量方法和测量工具。

随着生产的发展,新的检测任务不断提出,而科学技术的发展,特别是新材料、新技术的出现,以及微处理机的广泛应用,加快了检测仪表的发展,在提高检测系统的测量精度、扩大测量范围、延长使用寿命、提高可靠性的同时,使检测技术向智能化的方向发展。具体来说,检测技术及仪表的发展趋势主要表现在以下几个方面。

- (1) 传感器逐渐向集成化、数字化、智能化、网络化、组合化方向发展;
- (2) 不断拓展测量领域和范围,努力提高检测精度和可靠性;
- (3) 软测量技术、数据融合处理方法等新技术得到迅速发展和广泛应用;

- (4) 非接触式检测技术得到重视和发展；
- (5) 检测系统智能化。

1.2 测量方法

测量方法是实现被测量与其测量单位相比较所采用的方法。它不同于测量原理。测量原理是指仪表工作所基于的物理效应和化学效应。

根据检测仪表与被测对象的特点，测量方法主要有以下几种分类方法。

1.2.1 按测量结果产生的方式来分类

(1) 直接测量：指应用测量仪表直接读取被测量的方法。如用压力表测量容器中气体的压力等。

(2) 间接测量：指通过测量与被测量有函数关系的其他量而得到被测量值的一种方法。例如为了测量某电阻值的大小，通过测量流过该电阻的电流和在该电阻上的电压降，通过计算便可求出其电阻值。

(3) 组合测量：指为了同时确定多个未知量，将各个未知量组合成不同的函数形式，用直接或间接的测量方法获得一组数据，通过求解方程组来求得被测量的方法。例如测量某电阻的电阻温度系数，其电阻与温度的关系为 $R_t = R_0(1 + at + bt^2)$ ，式中 R_t 、 R_0 分别为温度 $t^\circ\text{C}$ 和 0°C 时的电阻值，可以直接测得。要取得系数 a 和 b ，需要解一个二元一次方程组。

1.2.2 按被测量与单位的比较方式来分类

(1) 偏差法：在测量过程中，利用仪表指针相对于刻度线的位移来直接指示被测量大小的测量方法。例如使用单管压力计测量压力，管中水银柱偏离初始零刻度点的偏移量就显示了被测压力值。

(2) 零差法：在测量过程中，用指零机构的零位指示检测测量系统的平衡状态；通过比较被测量与已知标准量的差值或相位，调节已知标准量的大小，使两者达到完全平衡或全部抵消，从而得出测量值大小的方法。例如天平、平衡电桥和电位差计均采用此种方法。

(3) 微差法：通过将被测量与已知标准量进行比较，取得差值，再用偏差法测得此差值，测量结果是已知标准量和偏差法测得值的代数和。由于测量过程中无需调整标准量，因此，对被测量的反应较快。微差式仪表特别适用于在线控制参数的检测。

1.2.3 按被测量在测量中的状态来分类

(1) 静态测量：测量过程中，被测量不随时间变化。例如理想恒温水槽中水的温度的测量，风洞流场稳定状态下气流速度的测量等。

(2) 动态测量：被测量随时间变化的测量。例如发电机组启停过程中各参数的测量、爆炸时气体参数的测量。

需要说明的是，绝对不随时间变化的量是不存在的。实际测量中，只是将那些随时间变化较慢的量近似看成是静态的量，对这种量的测量可认为是静态测量。

1.2.4 按测量仪表与对象的关系来分类

(1) 接触测量：指仪表检测元件与被测对象直接接触，直接承受被测参数的作用或变化，从而获得测量信号，并检测其信号大小的方法。

(2) 非接触测量：指仪表不直接接触被测对象，而是间接承受被测参数的作用或变化，

从而达到检测目的的方法。其特点是不受被测对象影响,使用寿命长,适用于某些接触式检测仪表难以胜任的场合,但一般情况下,测量准确度较接触式仪表低。

1.2.5 按测量条件的不同来分类

(1) 等精度测量:对某一固定被测量进行重复测量,所取得的测量数据可以认为是在相同的测量精度条件下得到的。

(2) 非等精度测量:对某一被测量进行测量得到的数据,其精度可判定是不等的。造成精度不等的原因,可能是由于条件的改变、所用测量设备不同或更换,也可能是因为数据来源的不同。

在选择测量方法时,要综合考虑下列因素:①被测量本身的特性;②所要求的测量准确度;③测量环境;④现有测量设备等。对某一变量的测量来说,测量方法若选择不当,即使有精密的测量仪表和设备,也往往不能得到满意的结果。

1.3 测 量 系 统

1.3.1 测量系统的组成

在测量技术中,为了测量某一被测量的值,总要使用若干个测量设备,并按照一定的方式连接组合起来。这种连接组合即构成了一种测量系统。例如,在火电厂中测量锅炉给水流量时,常用标准孔板获得与流量有关的差压信号,然后将差压信号通过压力信号管路送入差压变送器,经过转换与运算变成电信号,再通过连接导线将电信号传送给显示仪表,最后显示出被测流量值。不同测量系统的复杂程度会有很大差异。简单的系统只包含一块仪表,例如用水银温度计测量温度,而复杂的系统要由若干个测量设备和测量仪表组成。

测量系统规模的大小及其复杂程度与被测量的多少、被测量的性质以及具体的被测对象密切相关。图1-1给出了一个涵盖各功能模块的测量系统的构成框图。它包含将被测量转换成电量或电路元件参数的检测部分;进行阻抗匹配、信号变换和放大等处理的变换部分;对变换得到的数字信号进行去伪存真和特征提取的分析处理部分;表达测量结果和对结果进行存储的显示记录部分;以及将信号传送到控制器、其他测量系统或上位机系统的通信接口部分。

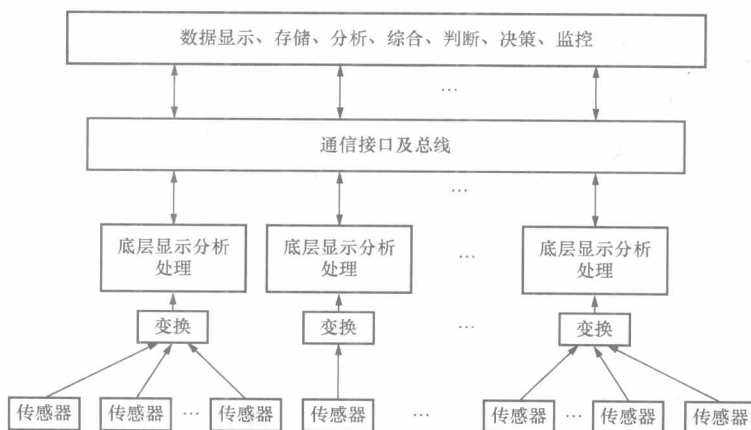


图 1-1 测量系统的一般构成

一个完整的检测过程，一般应包括：

(1) 信息的提取——用传感器来完成。信号是信息的载体。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、转换与传输——用中间转换装置来完成。一般是把信号放大并转换成传输方便、功率足够的电量（如电流、电压或频率）。信号的传输也包括通过网络的传输。

(3) 信号的显示和记录——用显示器、指示器或记录仪完成。

(4) 信号的处理和分析——用计算机、数据分析仪、频谱分析仪等来完成。找出被测信息的规律，为研究和鉴定工作提供有效依据，为控制提供信号。

1.3.2 测量系统各部分的作用

1.3.2.1 检测部分

检测 (Detection) 部分是测量系统中形式最多样、与被测对象关联最密切的部分。担当检测功能的器件统称为传感器 (Sensor)。

传感器也称为敏感元件、一次元件，是与被测对象直接发生联系的环节。它接收来自被测介质的能量，感受其变化并变换成相应的便于测量的其他量，作为输出信号。传感器性能的优劣将直接影响整个测量系统的质量，它是仪表的关键环节。

对传感器有以下几点要求。

(1) 传感器的输出信号与被测参数在数值上应呈单值关系，最好是线性关系；

(2) 传感器的输出信号应该只响应被测参数的变化，其他一切可能的输入信号（包括噪声信号）不能影响输出信号；

(3) 传感器对被测对象状态的影响应尽量小。

传感器负责把被测量作为信号提取出来并传输到信号变换部分。许多情况下，检测和变换并没有明确的界限，因为传感器实质上完成的也是一种变换，即将被测量或被测对象的特征参数转化为有用信号的变换。

传感器的合理选择建立在使用者对被测对象和各种传感器特性充分了解的基础上。选择时要充分考虑测量精度要求、被测量变化范围、被测对象所处的环境条件以及对传感器体积和整个检测系统的成本等的限制。

1.3.2.2 信号变换部分

信号变换 (Signal Conversion) 是使检测的信号变换成适合于分析处理的信号。进行变换时，重要的是考虑原始信号中哪些信息是希望了解的，以及如何不丢失和不歪曲有用信息。

完成信号变换的电路有时又称为信号调理电路 (Signal Conditioning Circuits)。信号变换部分的任务是多种多样的，例如，传感器的输出阻抗很高时，信号变换部分进行阻抗变换；传感器的输出信号微弱时，信号变换部分进行信号的放大；信号淹没在噪声中时，信号变换部分进行抑制噪声的处理；需要进行电流传输时，信号变换部分进行电压/电流变换；需要进行数字信号的传输时，变换部分进行模拟/数字转换（简称模数转换）。还可以变换信号的性质（最常见的是把非电量信号转换成电量信号）、信号的线性化、开方等。

对于信号变换部分，不仅要求其性能稳定、精确度高，而且应使信息损失最小。

1.3.2.3 分析处理显示部分

显示部分是测量系统的输出部分。测量系统通过它的显示元件向观察者反映被测参数的

数值。

显示元件按其显示方式的不同可分为模拟式显示元件、数字式显示元件和屏幕式显示元件三种。

(1) 模拟式显示元件：以指示器与标尺的相对位置来连续指示被测参数的值。其结构简单，价格低廉，但读数容易产生视差。记录时，以曲线形式给出数据。

(2) 数字式显示元件：直接以数字形式给出被测参数的值，不存在读数时的视差。与模拟式显示元件相比，其直观性较差。记录时，可以打印输出数据。

(3) 屏幕式显示元件：既可显示模拟曲线，又能显示数值，或两者同时显示，具有形象和易于读数的优点，并有利于进行被测参数之间的比较。它是目前最先进的显示方式。

显示元件按照显示功能的不同，可分为指示式、记录式、积算式、调节式显示元件。

常规的测量只是将传感器获得的信号进行放大和变换，以进行显示或传送，而分析处理则需由人工完成。以计算机为基础的分析处理（Data Analysis and Processing）部分的加入，使得现代检测系统具有强大的问题解析能力，且使得对复杂系统的实时控制成为可能。

随着计算机技术和信号处理技术的发展，现代检测系统在科学研究和工业生产中的地位日趋重要。通过信息论、系统论、控制论、预测论、智能与模糊推理、相关理论、谱分析、随机过程、卡尔曼滤波、自适应滤波、模式识别、故障诊断、神经网络和小波变换（时域、频域联合分析）等现代理论的运用，分析处理功能使得现代检测系统能解决过去常规检测无法解决的问题，真正实现检测的自动化和智能化。

1.3.2.4 通信接口与总线（Communication Interface and Bus）部分

通信接口与总线部分的基本功能是管理两个不同系统之间的数据、状态和控制信息的传输和交换。一个大型检测系统中有许多测量分系统或测量节点，分系统向上位机传送数据信息和测量状态、上位机向下发布命令或各分系统之间交换信息都通过接口进行。

总线是从任意一个源点到任意一个终点的一组传送数字信号的公共通道，它是各种信号线的集合。接口与总线是相辅相成的两个方面，总线更多的是指一种规范、一种结构形式；而接口多指完成通信的硬件系统。

1.4 测量仪表的主要性能指标

仪表的性能指标是评价仪表性能好坏、质量优劣的主要依据，也是正确选择和使用仪表所必须具备的知识，它与仪表的设计、制造质量有关，影响测量的准确度。

仪表的性能是多方面的，主要有计量性能、操作性能以及可靠性、经济性等。仪表操作性能主要是指操作维修是否方便、能否安全可靠运行以及抗干扰与防护能力的强弱等。仪表经济性方面的指标有功耗、价格、使用寿命等。

下面对仪表的计量方面的质量指标和可靠性指标加以介绍。

1.4.1 仪表的计量性能指标

1.4.1.1 测量范围与量程

测量范围是指在正常的工作条件下，测量系统或仪表能够测量的被测量值的总范围。其最低值和最高值分别称为测量范围的下限和上限，测量范围用下限值至上限值来表示；测量范围上限与下限的代数差称为测量量程。

1.4.1.2 准确度

仪表的准确度是表示测量结果与被测真值之间的接近程度。

1. 仪表示值误差

绝对误差：仪表的测量值与真实值之间的代数差，即

$$\delta = x - \alpha \quad (1-3)$$

式中 δ ——绝对误差；

x ——被测量的测量值；

α ——被测量的真实值。

在工程中，往往很难知道被测变量的真实值。一般采用标准表的指示值作为测量的“真实值”。

若将测量值加上一个与绝对误差大小相等，而符号相反的代数值 C ，便可求得被测量的真实值，即

$$\alpha = x + C \quad (1-4)$$

式中 C ——该示值的修正值，在实际工作时通过示值加修正值的方法对示值进行修正，可提高测量结果的精确度。

相对误差：测量值的绝对误差与其真实值的比值，以百分数表示，即

$$\gamma = \frac{\delta}{\alpha} \times 100\% \quad (1-5)$$

引用误差：测量值的绝对误差与测量仪表的量程之比的百分数，即

$$\gamma_A = \frac{\delta}{A} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 γ_A ——引用误差；

A ——仪表的量程。

2. 仪表的基本误差

在规定的正常工作条件下（例如环境温度、湿度、振动、电源电压、频率等），仪表在全量程范围内各点示值误差中绝对值最大的误差称为仪表的基本误差。一般可用绝对误差（ δ_j ）和引用误差（ γ_j ）两种形式表示。

仪表的基本误差可通过对仪表的实际检定求得，不同的仪表其基本误差一般不同。

仪表不在规定的正常工作条件下工作时，由外界条件变动引起的额外误差，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。

3. 仪表的允许误差和精度等级

仪表的允许误差是指在正常工作条件下，为了保证仪表的质量，国家规定的各类仪表的基本误差不能超过的限值，称为允许误差。某台仪表的基本误差小于或等于该表规定的允许误差时，为合格仪表，否则为不合格仪表。

以引用误差（ γ_y ）形式表示的允许误差去掉百分号余下的数值就称为仪表的精度等级。例如仪表的允许误差 $\gamma_y = 1.5\%$ ，则仪表精度等级为 1.5 级。仪表的精度等级通常用一定的形式标在仪表的标尺上。如在等级数字 1.5 外加一个圆圈或三角形。我国工业仪表精度等级的国家标准系列为：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4，共七个等级。

1.4.1.3 灵敏度

仪表的灵敏度是指当输入量变化很小时，其输出信号的变化值 Δy 与引起这种变化的对

应输入信号变化值 Δx 的比值, 用 S 表示, 即

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx} \quad (1-7)$$

1.4.1.4 线性度 (非线性误差)

线性度反映了仪表的输入—输出特性曲线与选用的对比直线之间的偏离程度。仪表的线性度用实测输入—输出特性曲线与理想拟合直线之间的最大偏差与量程之比的百分数来衡量。线性度又称为非线性误差。人们希望仪表的输入—输出关系最好呈线性特性。对模拟仪表, 具有线性特性则分度均匀、读数方便; 对数字仪表, 则不用另加线性化处理环节。实际仪表很难实现理想的线性特性。

选定的理想拟合直线不同, 所得的线性度也不同。如有端基线性度、零基线性度、最小二乘线性度等。

1.4.1.5 变差 (回差、滞后误差)

在外界条件不变的情况下, 仪表上、下行程输入—输出曲线之间的最大偏差对量程范围的百分比称为仪表的变差。变差又称为回差或滞后误差。

变差反映了仪表工作时所得的上升曲线与下降曲线经常出现不重合的现象。引起变差的原因很多, 例如仪表各机械元件间的间隙与摩擦、弹性元件的不完全弹性、磁性元件的磁滞现象等均会引起变差。变差是反映仪表精密度的一个指标, 合格的仪表要求变差不得大于仪表的允许误差。

1.4.1.6 重复性

同一工作条件下, 按同一方向输入信号, 并在全量程范围多次变化信号时, 对应于同一输入值, 仪表输出值的一致性称为重复性。重复性是以全量程上最大的不一致值相对于量程范围的百分数来表示的。

1.4.2 仪表的可靠性

随着现代工业生产自动化程度的日益提高, 测量仪表的任务不仅是提供精确的读数, 而且常常是自动化生产过程中的一个组成部分。测量仪表的故障会影响控制系统, 甚至会导致整个生产装置的严重事故。衡量检测仪表的可靠性还没有专门的尺度, 目前主要用三个指标来描述, 它们是保险期、有效期和狭义可靠性。

(1) 保险期: 仪表使用后能有效地完成规定任务的期限, 超过了这一期限可靠性就逐渐降低。

(2) 有效性: 仪表在规定时间内能正常工作的概率。概率的大小取决于系统故障率的高低、发现故障的快慢和故障修复时间的长短。

(3) 狭义可靠性: 由结构可靠性和性能可靠性两部分组成。前者指仪表在工作时不出故障的概率, 后者指仪表能满足原定要求的概率。

定量描述检测仪表可靠性的度量指标有可靠度、故障率、平均无故障工作时间、平均故障修复时间等。可靠度 $R(t)$ 是指仪表在规定工作时间内无故障的概率。如有 100 台同样的仪表, 工作了 1000h 后只坏了一台, 就可以说这批仪表在 1000h 后的可靠度是 99%。反之这批仪表的不可靠度 $F(t)$ 就是 1%。显然 $R(t) = 1 - F(t)$ 。故障率 λ 是指仪表工作到 t 时刻时单位时间内发生故障的概率。可靠度和故障率的关系是 $R(t) = e^{-\lambda t}$ 。所谓平均无故障工作时间是指仪表在相邻两次故障间隔内有效工作时的平均时间, 用 MTBF (Mean Time

Between Failure) 来代表。对于不可修复的产品来说, 把从开始工作到发生故障前的平均工作时间用 MTTF (Mean Time to Failure) 代表。两者可统称为“平均寿命”, 它的倒数就是故障率。例如, 某种检测仪表的故障率为 $2\%/kh$, 就是说 100 台这样的检测仪表在工作 1000h 后, 可能有 2 台仪表发生故障。或者说, 这种仪表的平均无故障工作时间是 50000h。平均故障修复时间 MTTR (Mean Time to Repair) 是指仪表出现故障到恢复工作时的平均时间。

1.5 仪表的检定

为评定仪表的计量性能 (准确度、灵敏度等), 并确定其性能是否合格所进行的全部工作称为检定, 又称校验。检定是计量工作的主要任务之一, 仪表出厂、验收时要检定, 使用过程中检定工作也要定期进行。检定工作应依照国家法定的检定技术文件进行。

按产生被测量标准量值的方法不同, 仪表的检定方法可归纳成标准物质法和示值比较法两种。

(1) 标准物质检定法。标准物质是指能提供某一种参数的标准量值的物质。例如在某种标准条件下, 纯金属的固-液相平衡点 (熔点) 温度为恒定值即可作为温度检定的标准量值。一种标准物质一般只能提供一个标准量值。用被检定仪表去测标准物质提供的标准量以确定其性能的方法就称为标准物质检定法。用这种方法检定的精确度较高, 但操作复杂, 而且只能检定一个点。它适于对精密仪器、标准器具的检定。

(2) 示值比较检定法。这种方法是用标准表对被检定仪表进行检定。被检表和标准表同时测同一被测量, 把标准表的示值当成真值 (约定真值), 比较二者的示值以确定被检仪表有关性能指标, 这就是示值比较检定法。为保证检定工作的质量, 一是要求标准表的精确度要足够高, 一般要求其允许误差应小于 $(1/4 \sim 1/10)$ 被检表的允许误差; 二是在检定时, 应严格保证标准表与被检表测量的是同一参数值。

本章小结

一、测量的基本概念

测量的过程就是比较变换的过程。测量是用实验的方法和专门的工具, 将被测量与同种性质的标准量 (即测量单位) 进行比较, 求取二者比值, 从而找到被测量数值大小的过程。它是利用各种物理和化学效应, 将物质世界的有关信息通过测量的方法赋予定性或定量结果的途径。测量包含三要素, 即测量单位、测量方法和测量工具。

二、测量方法

测量方法是实现被测量与其测量单位比较所采用的方法。根据检测仪表与被测对象的特点, 测量方法可分为直接测量、间接测量、组合测量; 偏差法、零差法、微差法; 静态测量、动态测量等。

三、测量系统

测量系统包含检测部分、分析处理部分、显示记录部分以及通信接口部分。

检测部分: 将被测量转换成电量或电路元件参数, 有时称为传感器;

分析处理部分：进行阻抗匹配、信号变换和放大等处理的变换部分，对变换得到的数字信号进行去伪存真和特征提取；

显示记录部分：表达测量结果和对结果进行存储；

通信接口部分：将信号传送到控制器、其他测量系统或上位机系统。

四、测量仪表的主要性能指标

仪表的计量性能指标包括量程、准确度、线性度、变差、灵敏度、重复性等。

仪表的准确度表示测量结果与被测真值之间的接近程度。准确度合格的仪表，其基本误差不能大于允许误差。

仪表的变差反映了仪表工作时所得的上升曲线与下降曲线不重合的程度。

在检验一台仪表时，如果该表的准确度或变差不满足规定的要求，则该表为不合格仪表。

在使用仪表时，必须明确：仪表的精度等级高，不一定代表测量结果准确度高。它们之间相互依存，但有区别。

仪表的可靠性目前主要有三个指标来描述，它们是保险期、有效期和狭义可靠性。

五、仪表的检定

为评定仪表的计量性能（准确度、灵敏度等），并确定其性能是否合格所进行的全部工作称为检定，又称校验。仪表的检定方法有标准物质法和示值比较法两种。

思考题与习题

1. 测量过程包含哪三要素？测量方法与测量原理各是什么含义？
2. 什么是真值？什么是约定真值？
3. 完整的检测系统包括哪几部分？各部分有什么作用？
4. 仪表的精度等级是如何规定的？请列出常用的一些等级。
5. 什么是检测装置的静态特性？其主要技术指标有哪些？
6. 什么是仪表的测量范围及上、下限和量程？彼此有什么关系？
7. 什么是仪表的变差？造成仪表变差的因素有哪些？合格的仪表对变差有什么要求？
8. 有人想通过减小表盘标尺刻度分格间距的方法来提高仪表的精度等级，这种做法能否达到目的？
9. 用标准压力表来校准工业压力表时，应如何选用标准压力表精度等级？可否用一台精度等级为 0.2 级、量程为 0~25MPa 的标准表来检验一台精度等级为 1.5 级、量程为 0~2.5MPa 的压力表？为什么？
10. 某弹簧管压力表的测量范围为 0~1.6MPa，精度等级为 2.5 级。校验时在某点出现的最大绝对误差为 0.05MPa，问这块仪表是否合格？为什么？
11. 现有两台压力检测仪表甲和乙，其测量范围分别为 0~100kPa 和 -80~0kPa，已知这两台仪表的最大绝对误差均为 0.9kPa，试分别确定它们的精度等级。
12. 某位移传感器，在输入位移变化 1mm 时，输出电压变化 300mV，求其灵敏度。
13. 某压力表，量程范围为 0~25MPa，精度等级为 1.0 级，表的标尺总角度为 270°，给出检定结果如表 1-1 所示。

表 1-1

检 定 结 果

被测压力 p (MPa)	0	5	10	15	20	25
示值 X (MPa)	0.1	4.95	10.2	15.1	19.9	24.9

试求：

- (1) 各示值的绝对误差；
- (2) 仪表的基本误差，该仪表是否合格？
- (3) 仪表的平均灵敏度。

14. 现有 2.5 级、2.0 级、1.5 级三块测温仪表，对应的测量范围分别为 $-100 \sim +500^{\circ}\text{C}$ 、 $-50 \sim +550^{\circ}\text{C}$ 、 $0 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，现要测量 500°C 的温度，其测量值的相对误差不超过 2.5%，问选用哪块表合适？

15. 有一台精度等级为 2.5 级、测量范围为 $0 \sim 10\text{MPa}$ 的压力表，其刻度标尺的最小分格应为多少格？