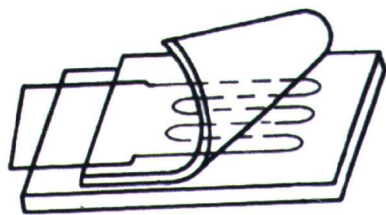




普通高等教育“十五”国家级规划教材



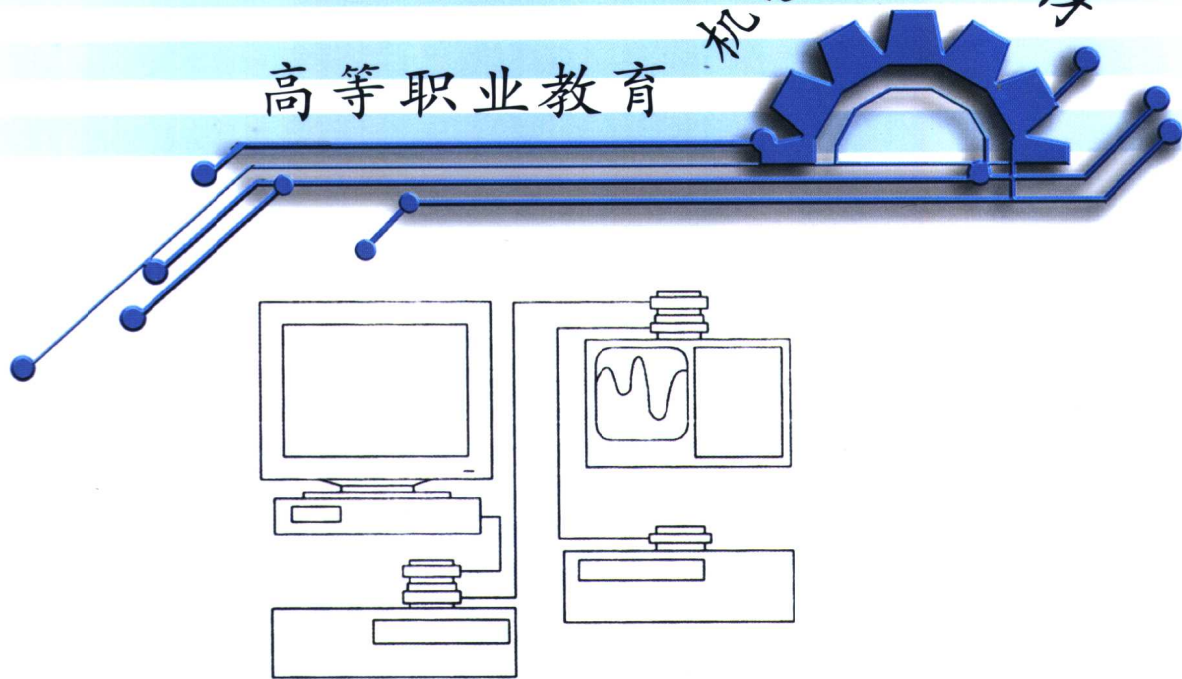
徐 洁 主编



检测技术与仪器

高等职业教育

机电类系列教材



清华大学出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

高等职业教育机电类系列教材

检测技术与仪器

徐 洁 主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了现代检测技术与测试仪器,主要内容包括现代检测技术发展概况和误差理论等基础知识,应变式、电感电容式、霍尔式、压电式和光电式等传感器技术及其应用,数据采集、A/D与D/A转换和数据通信等接口技术,信号源、万用表、示波器和频率计等常用仪器技术及其应用,智能仪器的基本构成、硬件及软件系统和智能仪器应用实例,GPIB总线系统、VXI总线系统、现场总线系统以及虚拟仪器等自动测量技术等。

本书是教育部普通高等教育高职高专“十五”国家级规划教材,可作为高职高专院校应用电子技术、机械制造及自动化、机电一体化等专业的专业课教材,也可用作企业培训及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

检测技术与仪器/徐洁主编. —北京:清华大学出版社,2004

(普通高等教育“十五”国家级规划教材. 高等职业教育机电类系列教材)

ISBN 7-302-07637-5

I. 检… II. 徐… III. ①电气测量—测量方法—高等学校:技术学校—教材②电气测量设备—使用—高等学校:技术学校—教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 103033 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 陈国新

文稿编辑: 马幸兆

印 刷 者: 北京顺义振华印刷厂

装 订 者: 三河市化甲屯小学装订二厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 12.25 字数: 278 千字

版 次: 2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-07637-5/TN·154

印 数: 1~4000

定 价: 19.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

前言

本书是教育部普通高等教育高职高专“十五”国家级规划教材。

现代检测技术是自动控制技术与工业自动化的核心技术。近 20 年来以信息技术为代表的科学技术革命,使得现代检测技术取得了突飞猛进的进展。传感技术、计算机技术、通信技术、自动测量技术等的发展与应用,将现代检测技术带入了一个新的发展阶段,检测技术与仪器正在向着精密化、集成化、自动化和智能化的方向发展。

检测技术与仪器是高职高专院校应用电子技术、机械制造及自动化、机电一体化工程等专业的专业重要课。本教材从检测方法、误差理论、传感器技术、仪器接口技术、常用电子测量仪器、智能仪器和自动测量技术等方面介绍了检测技术与仪器的总体概貌,涉及现代检测技术的主要内容。全书共分 6 章。第 1 章为检测技术与仪器概述,主要介绍测量方法与测量装置、误差理论基础、自动检测技术的发展趋势等;第 2 章为传感器技术,主要介绍传感器基本概念、应变式传感器、电感式与电容式传感器、霍尔式传感器、压电式传感器、光电传感器、热电偶等常用传感器及其应用;第 3 章为仪器接口技术,主要介绍数据采集、模拟量与数字量之间的转换、人机接口、数据通信接口等技术;第 4 章为常用测量仪器,主要介绍信号源、万用表、示波器、频率计等仪器及其应用;第 5 章为智能仪器,主要介绍智能仪器的基本构成、智能仪器的硬件系统和软件系统、智能仪器的典型处理功能以及智能仪器的应用实例等;第 6 章为自动测量技术,主要介绍自动测量技术的基本概念、GPIB 总线系统、VXI 总线系统、现场总线系统以及虚拟仪器等。

本书由北京信息职业技术学院徐洁担任主编并编写第 1、4、5、6 章,王芯编写第 2、3 章。承蒙广东工业大学自动化学院谢云副教授担任主审,对书稿提出了许多宝贵的修改意见,谨深表谢意。本书的编写得到了北京信息职业技术学院电子工程系、自动化工程系的领导和老师的大力支持与帮助,得到了清华大学出版社的大力支持和陈国新同志的热情关心和帮助,在此表示衷心的感谢!由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者
2003 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测量方法与检测装置	1
1.1.1 测量的基本概念	1
1.1.2 测量的基本方法	1
1.1.3 检测仪器的组成	3
1.1.4 检测装置的基本性能	3
1.2 误差理论基础	7
1.2.1 测量误差的表示方法及计算	7
1.2.2 误差来源分析及分类	10
1.2.3 误差数据的处理方法	11
1.3 检测技术的发展与展望	13
1.3.1 检测技术在工业自动化中的应用	13
1.3.2 检测技术研究的主要内容	13
1.3.3 自动检测系统的组成	14
1.3.4 自动检测技术的发展与展望	15
本章小结	15
习题	15
第 2 章 传感器技术	17
2.1 概述	17
2.1.1 传感器定义	17
2.1.2 传感器的基本组成	17
2.1.3 传感器的分类	18
2.1.4 传感器的特性	18
2.1.5 传感器的选用	20
2.2 应变式传感器	21
2.2.1 应变式传感器的工作原理	21
2.2.2 应变式传感器的应用	22
2.3 电感式与电容式传感器	25
2.3.1 电感式传感器	25
2.3.2 电容式传感器	28

2.4 霍尔传感器	31
2.4.1 霍尔元件的工作原理	31
2.4.2 温度补偿及不等位电势补偿	32
2.4.3 霍尔集成传感器	34
2.4.4 霍尔传感器的应用	34
2.5 压电式传感器	35
2.5.1 压电式传感器的工作原理	35
2.5.2 测量电路	37
2.5.3 压电式传感器的应用	39
2.6 光电传感器	40
2.6.1 光敏电阻	40
2.6.2 光敏晶体管	41
2.7 热电偶	46
2.7.1 热电偶的工作原理	46
2.7.2 基本定律	47
2.7.3 热电偶的结构	48
2.7.4 热电偶的冷端温度补偿	48
2.7.5 热电偶的测温电路	50
本章小结	50
习题	51
第3章 仪器接口技术	52
3.1 概述	52
3.2 数据采集技术	52
3.2.1 数据采集系统的组成	52
3.2.2 多路开关及采样/保持器	55
3.3 模拟量与数字量之间的转换	62
3.3.1 A/D转换器	62
3.3.2 D/A转换器及接口	69
3.4 人机接口	72
3.4.1 键盘接口	72
3.4.2 显示器接口	76
3.5 数据通信接口	82
3.5.1 并行数据通信接口	82
3.5.2 串行数据通信接口	86
本章小结	90
习题	90
第4章 常用测量仪器	91
4.1 概述	91

4.2 信号源	91
4.2.1 低频信号发生器	92
4.2.2 高频信号发生器	94
4.3 万用表	96
4.3.1 模拟式万用表	96
4.3.2 数字式万用表的结构及原理	99
4.4 示波器	104
4.4.1 示波器概述	104
4.4.2 通用示波器基本原理	105
4.4.3 通用示波器的组成及工作原理	107
4.5 数字频率计	114
4.5.1 电子计数器的分类	114
4.5.2 数字式频率计的基本组成	115
4.5.3 数字式频率计的主要性能	116
4.5.4 通用电子计数器	117
4.5.5 电子计数器的测量误差	121
本章小结	124
习题	124
第5章 智能仪器	126
5.1 概述	126
5.1.1 智能仪器的特点	126
5.1.2 智能仪器的基本构成	127
5.2 智能仪器的硬件系统	128
5.2.1 微型计算机及其应用系统	128
5.2.2 过程 I/O 通道	133
5.2.3 人机接口	133
5.3 智能仪器的软件系统	134
5.3.1 程序设计方法	134
5.3.2 程序的基本结构	134
5.3.3 智能仪器的软件结构	135
5.4 智能仪器的典型处理功能	138
5.4.1 自动测量功能	138
5.4.2 数字滤波功能	140
5.4.3 标度变换功能	142
5.4.4 非线性补偿功能	144
5.5 智能仪器应用实例	148
5.5.1 WDK-2 的总体结构	148
5.5.2 WDK-2 温度控制器的微机系统	149

5.5.3 温度测量和数据采集系统	151
5.5.4 控制接口	153
5.5.5 系统程序的结构	154
本章小结	154
习题	156
第6章 自动测量技术	157
6.1 概述	157
6.1.1 早期的自动测量技术	157
6.1.2 GPIB 总线和 VXI 总线系统	157
6.1.3 虚拟仪器	158
6.2 GPIB 标准接口总线系统	160
6.2.1 GPIB 标准接口系统的基本特性	160
6.2.2 GPIB 标准接口的总线结构	162
6.2.3 IEEE-488.2	163
6.3 VXI 总线系统	164
6.3.1 VXI 总线的产生背景	164
6.3.2 VXI 系统的结构	165
6.3.3 VXI 系统中的总线、器件和通信协议	168
6.3.4 VXI 总线系统的特殊功能	170
6.3.5 VXI 总线系统的组建	171
6.4 现场总线系统	173
6.4.1 现场总线的产生	173
6.4.2 现场总线的基本原理	173
6.4.3 现场总线的优点	175
6.4.4 现场总线仪器	175
6.4.5 5 种典型的现场总线	176
6.5 虚拟仪器	177
6.5.1 虚拟仪器的现状与特点	177
6.5.2 虚拟仪器的系统组成	178
6.5.3 虚拟仪器的软件结构	180
本章小结	183
习题	184
参考文献	185

第 1 章 绪 论

检测是采用现代科技方法与装置对工业现场的有关信息进行检查与测量并将结果加以全面利用的一项应用技术,它是工业自动化的核心技术之一。

检测技术与仪器,可以看作是人类感觉器官的延伸和扩展,是人们认识自然、改造自然的重要手段。人们通过检测实践,获得被测对象的信息,从而掌握其发生、发展的规律。检测就是根据被测对象的特点,选用合适的测量仪器仪表及实验方法,通过测量、数据处理和误差分析,准确地得到测量数据,为生产过程的自动化提供可靠的依据。可以说,一方面,现代化的检测技术在很大程度上决定了经济生产和科学技术的发展水平;另一方面,科学技术的发展也反过来进一步促进了检测技术的提高与进步。

1.1 测量方法与检测装置

1.1.1 测量的基本概念

测量是检测技术的主要组成部分,是借助于专门的技术和仪器装置,采用一定的方法获取某一客观事物定量数据资料的认识过程。测量能够帮助人们获得客观事物的定量或定性的认识及信息,寻找并发现客观事物发展的规律。在工业现场,测量更进一步的目的是利用测量所获得的信号来控制某一过程,通常这种控制作用是与测量系统紧密相关的。借助于仪器仪表,依靠实验和计算方法从被测量中取得定性或定量信息的过程就是测量。所谓“定性”,是指通过测量能大致判断出被测量存在与否,或者在某一个数量范围内;所谓“定量”,是指用一定精度等级的测量仪器仪表确定出被测量比较精确的数值大小。测量过程实质上是一个比较过程,即将被测量与同性质的标准量进行比较,从而确定被测量对标准量的倍数,并用数字表示这个结果。测量结果可以表现为一定的数字,也可以表示为一条曲线,或显示成某种图形;既包含数值(大小和符号),又包含单位。

1.1.2 测量的基本方法

测量的方法各种各样,从不同的角度出发,有不同的分类方法。

按测量手段的不同可分为直接测量和间接测量。直接测量就是用标定的仪表直接读取测量结果的方法,例如用电压表测量电压,用弹簧式压力表测量锅炉压力,用标准尺测量长度等都属于直接测量;间接测量则首先确定被测量的函数关系式,然后对关系式中的有关量进行直接测量,最后将测量值代入函数关系式经计算得出被测量的值,例如测量图 1-1 所示的长方体的密度 ρ ,其密度的单位为 kg/m^3 ,显然无法直接获得具有这种单位的量值,但是可以先测出长方体的边长 a 、 b 、 c 及其质量 m ,然后根据下式求得密度 ρ :

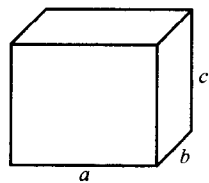


图 1-1 长方体的
密度测量

$$\rho = \frac{m}{abc} (\text{kg/m}^3)$$

间接测量的手续比较麻烦,一般在直接测量很不方便或直接测量误差较大或缺乏直接测量仪器时才被使用。一般地说,间接测量法所需要测量的量较多,测量和计算的工作量很大,引起误差的因素也较多。但是如果对误差进行分析并选择和确定具体的优化测量方法,在比较理想的条件下进行间接测量时,测量结果的精确度不一定低,有的甚至有较高的精确度。

按测量结果的显示方式不同,测量还可分为模拟式测量和数字式测量。精密测量时一般采用数字式测量方法。

按被测量变化的快慢可分为静态测量和动态测量。

按测量时是否与被测对象接触可分为接触式测量和非接触式测量。一般非接触式测量不影响被测对象的运行情况。

为了监视生产过程或在生产流水线上监测被加工工件的质量的测量称为在线测量;反之,称为离线测量。

进一步,根据测量的具体手段的不同,还可以分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量。下面简单介绍这3种测量方式的特点。

(1) 偏差式测量

以仪表指针的偏移量表示被测量的测量方式称为偏差式测量。在偏差式测量仪器中,被测量对仪器产生某种物理效应,此物理效应引起仪器的某一部件产生与它大小相等但方向相反的反作用。在测量过程中,反作用与被测量所产生的物理效应相平衡。位移或偏移所对应的标尺刻度值就表示被测量值。例如:用磁电式电流表测量电路中的电流,当有电流流入电流表时,在电磁力的作用下,经传动机构带动指针转动,并压缩表内的弹性元件,若弹性元件的反作用力矩与电磁力矩平衡,指针就稳定指示在刻度盘的某个位置。若该电流表的刻度已用标准量具进行校准,则该位置就对应于所测电流的值。目前在工程测量中,大多数的测量仪表都依据这个原理。这种仪表结构简单、直观、经济、应用较广,但精度不高。在这种测量方式中,必须事先用标准量具对仪表刻度进行校正。显然,采用偏差式测量的仪表内不包括标准量具。偏差式测量易产生灵敏度漂移和零点漂移,例如,随着时间的推移,弹性元件的刚度发生变化,读数就会产生误差。所以,必须定期对偏差式仪表进行校验和校准。

(2) 零位式测量

在检测过程中,将被测量与仪表内部的标准量进行比较,当测量系统达到平衡时,用已知标准量的值决定被测量的值,由指零仪表的零位指示来检测测量系统的平衡状态。这种测量方式称为零位式测量。很明显,在零位式测量仪表中,标准量具是装在测量仪表内的。同样,零位式仪器要求适当施加一种像被测量在偏差式仪器中所引起的反作用。但此反作用是力图使零位式仪器的偏差保持在零值状态。所以,零位式仪器需要一只指零器即不平衡检测器和一个使测量系统恢复平衡的装置。这样,在测量过程中,指零器就能指示出测量系统处于平衡状态还是处于不平衡状态。不平衡时,可通过平衡恢复装置使系统达到平衡。同时,平衡恢复装置能准确地指示出反作用的数值,该数值就是被测量

的量值。例如:用天平测量物体质量;用平衡式电桥测量电阻值等均属于零位式测量。这种测量方法的优点是可以获得高的测量精度,但测量过程中要进行平衡运行,速度不快,平衡复杂,适用于测量变化较为缓慢的信号,在工程实践和实验室中应用也很普遍。

(3) 微差式测量

微差式测量法综合了偏差式测量方法速度快和零位式测量方法精度高的优点,测量时预先使被测量与测量装置内部的标准量取得平衡,当被测量有微小变化时,测量装置失去平衡,并指示出其变化部分的数值。也就是说,整个测量分两步进行:第一步将被测量基本工作点与标准量进行比较,即被测量与测量装置内部的标准量进行比较,调节达到平衡状态。第二步,在前面的基础上,当被测量有微小变化时,测量装置便失去平衡,此时仪表的指示值就是变动部分的值。由于不需要平衡调整,因而大大提高了测量速度。例如用天平测量药品的质量,当天平平平衡之后,又增添少许药品,天平将失去平衡。这时,即使使用最小的砝码也称不出这一微小的差值,但我们可以从天平指针在标尺上移动的格数来读取这一微小差值。

1.1.3 检测仪器的组成

检测装置就是确定被测量大小的仪器,它既可由许多单独的部件组成,也可以是一个不可分的整体。前者多用于复杂的仪器或实验装置中;后者多为工业用的简单仪表。无论是简单的仪表,还是复杂的仪器,工程上使用的现代检测装置总体上都是由传感器、测量电路、显示/面板等部分组成,如图 1-2

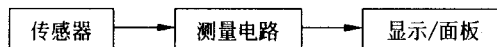


图 1-2 检测仪器的基本组成

所示。传感器是一种能够感受被测量,并按一定的精度将被测量转换为与之有确定关系的、便于处理的另一种物理量

的装置。传感器的输出信号多为易于处理的电压、电流、频率等电量。测量电路的作用是将传感器的输出信号进行变换,如放大、滤波、线性化、隔离、偏置、阻抗变换、电平转换等,使测量信号转变为满足显示电路要求的信号,最终加以显示和输出。而显示与面板,一方面,检测仪器的测量结果最终需要通过显示器反映出来;另一方面,人们也需要通过按键、旋钮等对检测仪器进行操作。

1.1.4 检测装置的基本性能

检测装置的基本性能是指仪器仪表的输出对输入响应质量,它包含静态特性和动态特性两大类。当被测量是恒定量时或缓慢变化量时,可通过一些静态指标衡量;当被测量变化较快时,必须研究输入量变化过程中输出响应的动态误差,这时,必须通过检测仪器的动态性能指标来衡量。

1. 静态特性

所谓静态特性是指被测量处于稳定状态下,仪器仪表输出与输入之间的关系。其基本性能可通过如下性能指标表示。

(1) 精度

检测装置的精度包括精密度、准确度和精确度 3 个内容。

① 精密度:它指在相同的条件下,对同一个量进行重复测量时,这些测量值之间的相互接近程度即分散程度,反映了随机误差的大小。

② 准确度:它表示测量仪器指示值对真值的偏离程度,它反映了系统误差的大小。

③ 精确度:它是精密度和准确度的综合反映,它反映了系统综合误差的大小,并且常用来表示测量误差的相对值。

为加深对精密度、准确度和精确度的理解,用打靶事例来说明。打靶结果如图 1-3 所示。子弹落在靶心周围有 3 种情况:图(a)的弹着点很分散,它的精密度很低;图(b)的弹着点集中但偏向一方,相当于精密度高但准确度低;图(c)的弹着点集中靶心,相当于既精密又准确,精确度高。

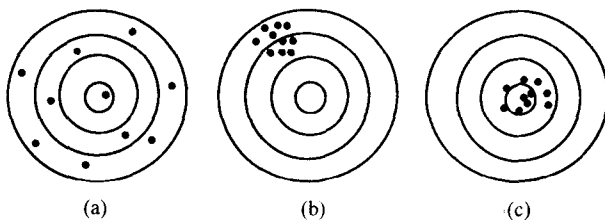


图 1-3 打靶弹着点分布图

精度反映了测量中各类误差的综合。测量精度越高,测量结果中所包含的系统误差和随机误差越小,当然测量装置的价格就越昂贵。因此,应从被测对象的实际情况出发,选用精度合适的测量仪器,以获得最佳的技术经济效益。误差理论分析表明,由若干台不同精度的测量仪器组成的测试系统,其测试结果的最终精度主要取决于精度最低的那台仪器。所以,应当选用同等精度的测量仪器。

(2) 测量范围与量程

测量范围指被测量可按规定精确度进行测量的范围。量程是指测量装置允许测量的输入量的上、下极限值。使用时,要求被测量应在量程范围内,如量程为 5 A 的电流表不能测 8 A 的电流。与量程有关的另一个指标是测量装置的过载能力。超过允许承受的最大输入量时,测量装置的各种性能指标得不到保证,这种情况称为过载。过载能力通常用一个允许的最大值或用满量程值的百分数表示。

(3) 灵敏度

灵敏度是指单位输入量所引起的输出量的大小。如水银温度计输入量是温度,输出量是水银柱高度,若温度每升高 1°C ,水银柱高度升高 2 mm,则它的灵敏度可以表示为 $2\text{ mm}/^{\circ}\text{C}$ 。测量装置的静态灵敏度是由静态标定来确定的,即由实测该装置的输入、输出来确定。这种关系曲线叫标定曲线,而灵敏度可以定义为标定曲线的斜率,灵敏度的定义可表示为

$$S_s = \Delta y / \Delta x$$

式中: S_s 表示测量装置的静态灵敏度; Δy 表示输出信号的变化量; Δx 表示被测参数的变化量。

原则上说,测量装置的灵敏度应尽可能高,这意味着它能检测到被测参量极微小的变

化,即被测参量稍有变化,测量装置就有较大的输出,并显示出来。因此,在要求高灵敏度的同时,应特别注意与被测信号无关的外界噪声的侵入。为达到既能检测微小的被测参量,又能控制噪声使之尽量低,要求测量装置的信噪比越大越好。一般来讲,灵敏度越高,测量范围越窄,稳定性也越差。

(4) 分辨率

有些测量装置(如数字式仪表),当输入量连续变化时,输出量作阶梯变化。在这种情况下,分辨率表示输出量的每个“阶梯”(最小变化量)所代表的输入量的大小。例如,用显示保留小数点后两位的数字仪表测量时,输出量的变化“阶梯”为 0.01,那么 0.01 的输出对应的输入量的大小即为分辨率。对于数字式测量仪表,分辨率就等于数字式仪表最后一位数字所代表的值。

(5) 非线性度

在理想状况下,测量装置的输入量和输出量之间呈线性关系。但实际中标定曲线往往不是理想的直线,非线性度就是用来表示标定曲线偏离理想直线的程度。任何测量装置都有一定的线性范围,在线性范围内,输入输出成比例关系,线性范围越宽,表明测量装置的有效量程越大。测量装置在线性范围内工作是保证测量精度的基本条件。在某些情况下,也可以在近似线性的区间内工作。必要时,可进行非线性补偿,目前的自动测量系统通常都已具备非线性补偿功能。

(6) 稳定性

稳定性表示测量装置在一个较长的时间内保持其性能参数的能力,也就是在规定的条件下,测量装置的输出特性随时间的推移而保持不变的能力。一般以室温条件下经过一个规定的时间后,测量装置的输出与起始标定时的输出差异程度来表示其稳定性。影响稳定性的因素主要是时间、环境、干扰和测量装置的器件状况。因此,选用测量装置时应考虑其抗干扰能力和稳定性,特别是在复杂环境下工作时,应考虑各种干扰如磁辐射,电网干扰等的影响。

2. 动态特性

所谓动态特性是指测量装置或系统的输出对于随时间快速变化的输入量的动态响应。对于测量动态信号的测量系统,要求它能迅速而准确地测出信号的大小和真实地再现信号的波形变化。即要求测量系统在输入量改变时,其输出量能立即不失真地改变。在实际测试中,由于测量装置选择不当,输出量不能很好地追随输入量的快速变化而产生较大的测量误差。

(1) 阶跃响应

目前对测量装置或系统进行动态分析和定标时,输入信号常用阶跃信号或正弦信号。阶跃输入信号引起的时间响应称为阶跃响应,如图 1-4 所示。

(2) 动态指标

测量装置或系统的输出与输入实际值的差异称为动态误差。引起动态误差的原因是由于测量元件或系统中各种运动惯性及能量传递需要时间所造成的。衡量运动惯性和能量传递快慢常用时间常数 T 和传递滞后时间 τ 表示,对于衰减振荡的对象常用上升时间、峰值时间、建立时间及瞬时过冲等指标来衡量。

① 时间常数 T : 它是由阶跃输入引起的一阶线性系统的输出完成总上升或下降的 63.2% 所需的时间。 T 值越大, 响应越慢, 动态误差存在的时间长, 数值大; T 值越小, 响应越快, 动态误差存在的时间短, 数值小。如图 1-4(a) 所示。

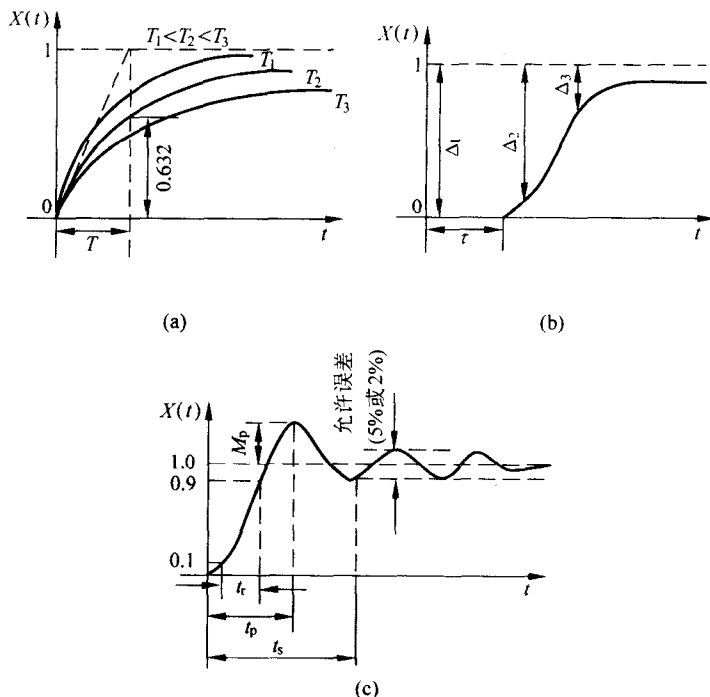


图 1-4 单位阶跃响应曲线

② 时滞 τ : 在线成分分析系统中, 由于存在较长的取样管线, 样品信号从取样点到测量装置需要经过一段传递滞后时间 τ 。时滞 (即传递滞后时间) τ 的定义为: 从输入变量产生变化的瞬间起到它所引起的输出变量开始变化的瞬间为止的时间间隔。如图 1-4(b) 所示。在时滞 τ 以内, 动态误差 Δ_1 为最大, 且一直存在到 τ 结束。在检测和控制系统中, τ 的不利影响远远超过时间常数 T , 因此, 通常希望 τ 越小越好。

③ 其他主要动态性能指标, 如图 1-4(c) 所示。下面对 t_r 、 t_p 、 t_s 和 M_p 作一介绍。

上升时间 t_r : 从稳态值的 10% 到第一次达到稳态值的 90% 的时间间隔定义为上升时间 t_r 。

峰值时间 t_p : 从输入信号阶跃变化起, 到出现第一个峰值为止的时间间隔定义为峰值时间 t_p 。

建立时间 t_s : 从输入信号阶跃变化起, 到输出信号偏离最终稳态值不超过规定的允许误差 (例如规定为 5%) 时为止的时间间隔定义为建立时间 t_s 。在具有指示装置的仪表中, 建立时间亦称为阻尼时间, 在控制系统中常称为稳定时间。

瞬时过冲 M_p : 对于阶跃响应, 输出变量超出其最终稳态值的最大瞬间偏差定义为瞬时过冲 M_p 。

一般希望检测装置或系统具有良好的动态特性,即 t_r 、 t_s 和 M_p 较小。

1.2 误差理论基础

误差理论是测量技术的理论基础。它主要研究测量误差如绝对误差、相对误差、随机误差、系统误差、容许误差等特点及所服从的规律和运算方法。误差理论和它的实际应用是紧密地联系的,误差理论仅概括地指出误差的性质、计算方法及数据处理的程序等,对具体的测量项目或测量装置可能存在的误差因素,还必须联系专业知识来解决,否则很难得出一个合理的测量方法以及分析出一台测量装置的各项误差因素,从而估计其精度。但是误差理论又是解决这些实际问题的理论基础,学习误差理论对解决生产实际问题是具有指导意义的。随着科学技术的发展,测量误差可以控制到很小,但误差绝对不可能为零。对于自动检测系统,其主要精度取决于传感器和 A/D 的精度。误差理论主要包括测量误差的表示方法及计算,误差来源分析及分类和误差数据的处理方法等方面。

1.2.1 测量误差的表示方法及计算

在日常生活或生产实践中,人们常会接触到各种量,而且要对它们进行测量、比较、计算,并研究量与量之间的关系。测量的目的就是获得被测量的真值。所谓真值,就是一个物理量在一定的时间和环境条件下,被测量所呈现的客观大小或真实数值。真值是利用理想的量具或测量仪器仪表进行无误差的测量得到的。实际上,真值只是一个理想的概念,实际中无法得到。因为无论利用何种量具或仪器,采用何种测量方法,误差总是不可避免的。

关于误差,还需要介绍几个基本概念,即实际值、标称值和示值。

实际值的意义是在每一级误差测量和比较中,都是以上一级标准所体现的值当作准确无误的值。所以,在实际测量中,常用高一级标准仪器的示值来代替真值,通常称为实际值,也叫做相对真值。

标称值的意义是测量器具上标定的数值。如标准电阻标出的 $1\ \Omega$,信号发生器度盘上标出的输出正弦波的频率 $100\ \text{kHz}$ 等。由于制造和测量精度不够及环境因素的影响,标称值并不一定等于它的真值或实际值。为此,在标出测量器具的标称值时,通常还要标出它的误差范围或准确度等级。例如某电阻标称值为 $1\ \text{k}\Omega$,误差 $\pm 1\%$,即意味该电阻的实际值在 $990\ \Omega \sim 1\ 010\ \Omega$ 之间。

示值的意义是由测量器具指示的被测量的量值也称测量器具的测量值,它包括数值和单位。一般地说,示值与测量仪表的读数有区别,读数是仪器刻度盘上直接读到的数字。例如以 100 分度表示 $50\ \text{mA}$ 的电流表,当指针指在刻度盘上的 50 处时,读数是 50 ,而值是 $25\ \text{mA}$ 。对于数字式显示仪表,通常示值和读数是统一的。

测量就是通过实验手段求出被测量与计算单位的比值的过程,所以测量结果就包括数字和计量单位两部分。测量误差就是测量值与真值之间存在的差异,误差伴随于测量过程的始终。人们只能根据需求和可能,将其限制在一定范围内而不可能完全加以消除。因此,测量结果不可能准确地等于被测量的真值,而只是近似值。在实际测量中,应分析

误差产生的原因,合理选用仪器和测量方法,正确处理数据,使测量结果尽可能逼近真值。

1. 绝对误差

若被测量的真值为 A_0 , 测量仪器的示值为 x , 则得到绝对误差 Δx 为

$$\Delta x = x - A_0$$

由于真值 A_0 一般无法求得, 故常用高一级的标准仪器的示值 A 代替真值, x 与 A 之差称为仪器的示值误差, 记为

$$\Delta x = x - A \quad (1-1)$$

由于式(1-1)以代数差的形式给出了误差绝对值的大小及符号, 故通常称为绝对误差。它是有大小、有单位的量。

绝对值与 Δx 相等但符号刚好相反的值, 称为修正值, 一般用 C 表示

$$C = -\Delta x = A - x$$

受检仪器的修正值一般是通过检定(校准)由上一级标准(或基准)以表格、曲线或公式的形式给出。

在测量时, 利用示值与已知的修正值相加, 即可计算出被测量的实际值。即

$$A = x + C$$

例 1-1 某电流表测得的电流示值为 0.83 mA, 查该电流表检定证书, 得知该电流表在 0.8 mA 及其附近的修正值都为 -0.02 mA, 那么被测电流的实际值为

$$A = [0.83 + (-0.02)] \text{ mA} = 0.81 \text{ mA}$$

2. 相对误差

为了说明测量的准确程度, 经常采用相对误差的形式。相对误差可分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

(1) 实际相对误差

因为一般情况下得不到真值, 所以用绝对误差与实际值之比来表示相对误差, 称为实际相对误差, 用 γ_A 表示

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\%$$

如前例, 已知 $\Delta x = -C = 0.02 \text{ mA}$, $A = 0.81 \text{ mA}$, 故

$$\gamma_A = \frac{0.02}{0.81} \times 100\% = 2.47\%$$

(2) 示值相对误差

在误差较小、要求不太严格的场合, 也可以用仪器测得值代替实际值, 这时的相对误差称为示值相对误差, 用 γ_x 表示

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-2)$$

同前例, 已知 $\Delta x = 0.02 \text{ mA}$, $x = 0.83 \text{ mA}$, 故

$$\gamma_x = \frac{0.02}{0.83} \times 100\% = 2.41\%$$

(3) 满度相对误差

满度相对误差定义用仪器量程内最大绝对误差 Δx_m 与测量仪器满度值(量程上限

值) x_m 之比来表示的相对误差,用 γ_m 表示,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

我国电工仪表的准确度等级 S 就是按满度误差 γ_m 分级的,按 γ_m 的大小依次划分成0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5及5.0七级。例如2.5级的电表,就表示其 $\gamma_m \leq \pm 2.5\%$,并在面板上标以2.5的符号。

比较式(1-3)和式(1-2)可以看出,为了减少测量中的示值误差,在选择量程时应使指针尽可能接近于满度值。一般最好工作在不小于满度值 $2/3$ 以上的区域。

3. 容许误差

测量装置的误差是产生测量误差的主要因素。为了保证测量结果的准确可靠,必须对测量仪器本身的误差有一定要求。容许误差是指测量装置在规定的使用条件下可能产生的最大误差范围。容许误差有时就称做仪器误差,它是衡量测量仪器仪表质量的最重要的指标。容许误差的表示方法既可以用绝对误差形式,也可以用各种相对误差形式,或者将两者结合起来表示。在指针式仪表中,容许误差就是满度相对误差 γ_m 。

容许误差是指某一类仪器设备不应超出的误差最大范围,并不是指某一台确定仪器的实际误差。假如有几台合格的毫伏表,技术说明书给出的容许误差是 $\pm 2\%$,则只能说明这几台毫伏表的误差不超过 $\pm 2\%$,并不能由此判断其中每一台的误差。

一般测量仪器的容许误差有4种:

(1) 工作误差

工作误差是在额定工作条件下仪器误差的极限值,即来自仪器外部的各种影响量和仪器内部的影响特性为任意可能的组合时,仪器误差的极限值。这种表示方法的优点是:对使用者非常方便,可以利用工作误差直接估计测量结果误差的最大范围。缺点是:工作误差是在最不利的组合条件下给出的,而实际使用中构成最不利组合的可能性很小。因此,用仪器的工作误差来估计测量结果的误差会偏大。

(2) 固有误差

固有误差是当仪器的各种影响量和影响特性处于基准条件时,仪器所具有的误差。这些基准条件是比较严格的,所以这种误差能够更准确地反映仪器所固有的性能,便于在相同条件下,对同类仪器进行比较和校准。

(3) 影响误差

影响误差是当一个影响量在其额定使用范围内(或一个影响特性在其有效范围内)取任意值,而其他影响量和影响特性均处于基准条件时所测得的误差,例如温度误差、频率误差等。只有当某一影响量在工作误差中起重要作用时才给出,它是一种误差的极限。

(4) 稳定误差

稳定误差是仪器的标称值在其他影响量和影响特性保持恒定的情况下,于规定时间内产生的误差极限。习惯上以相对误差形式给出或者注明最长连续工作时间。

使用者可能还会遇到以前规定的仪器的误差表示方法,如基本误差和附加误差。基本误差就是固有误差,只是基准条件宽一些。附加误差类似于影响误差,但又不完全相同。它是指规定工作条件中的一项或几项发生变化时,仪器产生的附加误差。所谓规定