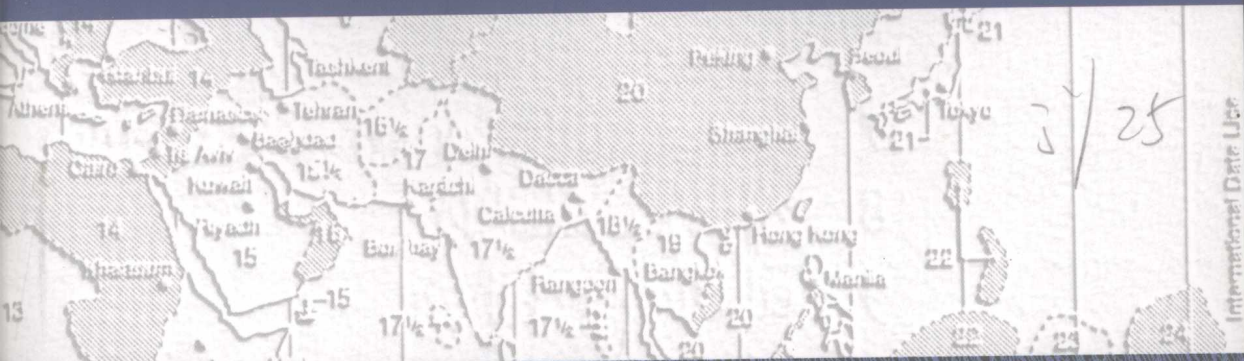




卓越系列 · 21 世纪高职高专精品规划教材



自动检测技术

AUTOMATIC DETECTION TECHNOLOGY

主 编 刘传玺 毕训银



自動檢測技術

ADVANCED DETECTION
TECHNOLOGY

主編 謝國治 編者 謝國治

卓越系列 · 21 世纪高职高专精品规划教材

自动检测技术

Automatic Detection Technology

主 编	刘传玺	毕训银
副主编	袁照平	刘秀杰
	李莉娜	高荣华
主 审	王进野	

 **天津大学出版社**
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书共七章,主要内容包括:检测技术的基础知识;常用传统传感器(如电阻式、电感式、电容式、磁电式、热电式等传感器)和新型传感器(如气敏、湿敏、磁栅、光电、光纤等传感器)的工作原理、基本结构及典型应用实例;信号变换与调理、抗干扰技术、检测技术的发展方向及检测技术综合应用实例。主要章节后面都附有习题与思考题,并结合一些主要章节的内容给出了部分实验、实训项目供学生选择参考。

本书可作为高职高专电气自动化、电子信息工程、机电一体化技术、测控技术与仪表等专业的教材,也可作为机电类其他相关专业学生的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术/刘传玺,毕训银主编. —天津:天津大学出版社,2008.8

ISBN 978-7-5618-2727-7

I. 自… II. ①刘…②毕… III. 自动检测 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 111956 号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742

印 刷 廊坊市长虹印刷有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 169mm×239mm

印 张 17

字 数 363 千

版 次 2008 年 8 月第 1 版

印 次 2008 年 8 月第 1 次

定 价 28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

高职高专教育的培养目标是培养能胜任专业技术岗位的应用型、技能型人才。针对这一培养目标的要求,本书从实用角度出发,坚持“理论联系实际,以技术应用为主”,着眼提高学生的应用能力和解决实际问题的能力。本书在编写过程中,力求做到体系结构完整、内容丰富精练、突出实用性与先进性,使学生通过本书的学习,能够掌握自动检测技术的基本知识和操作技能,了解其发展动向,成为适应生产一线需要的具有较高专业素质的技术应用型专门人才。

本书主要介绍了典型传统传感器和部分常用新型传感器的结构原理及应用实例、测量转换电路、抗干扰技术以及综合应用等内容。全书共分七章,参考学时为60~80学时。第一章介绍了检测技术的基本知识;第二章介绍了常用传统传感器;第三章介绍了新型传感器;第四章介绍了信号变换与调理电路;第五章介绍了抗干扰技术;第六章介绍了检测技术的发展方向;第七章介绍了检测技术的综合应用。为便于学生实验、实训参考,最后还附了部分实验、实训项目。

本书在取材方面,参照了国内外大量先进的测量技术,收集了各种先进的测试产品技术资料,融实践与理论于一体,保证了知识的先进性与前沿性。同时压缩了大量的理论推导,突出了高职高专教材的实用性。

本书由刘传玺、毕训银任主编并统稿,由袁照平、刘秀杰、李莉娜、高荣华任副主编。其中刘传玺编写第二章,毕训银编写第三章,袁照平编写第四章及实验、实训部分,刘秀杰编写第一、五章,李莉娜编写第七章,高荣华编写第六章。全书由王进野主审,主审人对全书进行了认真审阅,并提出了许多宝贵意见。

本书在编写过程中,参考了一些相关教材和文献资料,在此向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。同时得到山东科技大学和淮海工学院以及有关部门的领导和同志们的大力支持与帮助,在此一并表示感谢。本书出版得到了教育部高职高专自动化教指委和天津大学出版社有关专家的指导和支持,在此也表示诚挚的谢意。

由于传感器技术发展较快,自动检测技术涉及知识面广,加之作者水平有限,所以在编写过程中难免有遗漏和不妥之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2008年3月

目 录

第一章 检测技术基本知识	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 检测系统的基本特性	(5)
第三节 测量误差	(8)
习题与思考题	(14)
第二章 常用传统传感器	(15)
第一节 电阻式传感器	(15)
第二节 电感式传感器	(27)
第三节 电容式传感器	(39)
第四节 压电式传感器	(49)
第五节 磁电式传感器	(60)
第六节 热电式传感器	(76)
第七节 常用流量计	(92)
习题与思考题	(104)
第三章 新型传感器	(106)
第一节 气敏电阻传感器	(106)
第二节 湿敏电阻传感器	(109)
第三节 感应同步器	(113)
第四节 磁栅式传感器	(116)
第五节 辐射式温度传感器	(119)
第六节 超声波传感器	(121)
第七节 光电式传感器	(126)
第八节 电荷耦合器	(137)
第九节 光纤传感器	(143)
习题与思考题	(147)
第四章 检测系统中信号的转换与调理	(149)
第一节 信号的放大与隔离	(149)
第二节 调制与解调	(155)
第三节 滤波电路	(161)
第四节 信号变换电路	(164)
第五节 线性化	(171)

习题与思考题	(173)
第五章 检测系统中的抗干扰技术	(175)
第一节 检测系统中的干扰	(175)
第二节 常用抗干扰技术	(178)
习题与思考题	(185)
第六章 自动检测技术发展方向	(186)
第一节 智能传感器	(186)
第二节 现场总线	(191)
第三节 虚拟仪器	(195)
习题与思考题	(201)
第七章 自动检测技术应用举例	(202)
第一节 电阻炉微机自动程序温度控制系统	(202)
第二节 智能气体流量测试系统	(205)
第三节 汽车电子防盗系统	(210)
第四节 传感器在数控机床中的应用	(213)
第五节 传感器在全自动洗衣机中的应用	(216)
第六节 传感器在智能楼宇中的应用	(225)
实验与实训	(231)
实验一 电阻传感器	(231)
实验二 差动变压器的应用——振动测量	(234)
实验三 电容式传感器的位移测量	(236)
实验四 霍尔传感器	(238)
实验五 压电式传感器振动测量	(241)
实验六 光纤传感器的位移特性	(242)
实训一 基于差动变面积式电容传感器的振幅测量装置的设计	(244)
实训二 集成温度传感器的温度检测与调理	(246)
实训三 光控、声控延时楼道照明灯电路安装	(250)
实训四 红外感应灯安装	(257)
实训五 水位指示及水满报警器	(259)
实训六 感应式防盗报警器	(261)
参考文献	(263)

第一章 检测技术基本知识

第一节 概 述

检测技术在国民经济各领域和国防建设中有着广泛的应用。检测技术是多门学科和多种技术的综合应用技术,它涉及信息论、数理统计、电子学、光学、精密机械等学科知识,以及传感技术、计量测试技术、自动化技术、微电子技术和计算机应用技术等近代技术。

一、检测技术的地位和作用

在人类的各项生产活动和科学实验中,为了了解和掌握整个过程的进展及其最后结果,经常需要对各种基本参数或物理量进行检查和测量,从而获得必要的信息作为分析判断和决策的依据,检测技术就是人们为了对被测对象所包含的信息进行定性了解和定量掌握所采取的一系列技术措施。随着人类社会进入信息时代,以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容的检测技术已经发展成为一门完整的技术学科,在促进生产发展和科技进步的广阔领域内发挥着重要作用。其主要应用如下。

1. 检测技术是产品检验和质量控制的重要手段

借助于检测工具对产品进行质量评价是人们十分熟悉的,也是检测技术重要的应用领域。但传统的检测方法只能将产品分为合格品和废品,起到产品验收和废品剔除的作用。这种被动检测方法,对废品的出现并没有预先防止的能力。在传统检测技术基础上发展起来的主动检测技术或称之为在线检测技术使检测和生产加工同时进行,及时地用检测结果对生产过程主动地进行控制,使之适应生产条件的变化或自动地调整到最佳状态。这样检测的作用已经不只是单纯地检查产品的最终结果,而且要过问和干预造成这些结果的原因,从而进入质量控制的领域。

2. 检测技术在大型设备安全经济运行监测中得到广泛应用

矿山、电力、石油、化工、机械等行业的一些大型设备通常在高温、高压、高速和高功率状态下运行,保证这些关键设备安全运行在国民经济中具有重大意义。为此,通常设置故障监测系统对温度、压力、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行长期的动态监测,以便及时发现异常情况,加强故障预防,达到早期诊断的目的。这样可以避免严重的突发事故,保证设备和人员的安全,提高经济效益。

另外,在日常运行中,这种连续监测可以及时发现设备故障前兆,采取预防性检

修。随着计算机技术的发展,这类监测系统已经发展到故障自诊断系统,即可以采用计算机来处理检测信息,进行分析和判断,及时诊断出设备故障并自动报警或采取相应的对策。

3. 检测技术和装置是自动化系统中不可缺少的组成部分

人们为了有目的地进行控制,首先必须通过检测获取有关信息,然后才能进行分析判断以便实现自动控制。所谓自动化,就是用各种技术工具代替人来完成检测、分析、判断和控制工作。一个自动化系统通常由多个环节组成,分别完成信息获取、信息转换、信息处理、信息传送及信息执行等功能。在实现自动化的过程中,信息的获取与转换是极其重要的组成环节,只有精确及时地将被控对象的各项参数检测出来并转换成易于传送和处理的信号,整个系统才能正常工作。因此,自动检测与转换是自动化技术中不可缺少的组成部分。

4. 检测技术的完善和发展推动着现代科学技术的进步

人们在自然科学各个领域内从事的研究工作,一般是利用已知的规律对观测、试验的结果进行概括和推理,从而对所研究的对象取得定量的概念并发现它的规律性,然后上升到理论。因此,现代化检测手段所达到的水平在很大程度上决定了科学研究的深度和广度。检测技术达到的水平愈高,提供的信息愈丰富、愈可靠,科学研究取得突破性进展的可能性就愈大。

从另一方面看,现代化生产和科学技术的发展也不断地对检测技术提出新的要求,促进检测技术向前发展。科学技术的新发现和新成果不断应用于检测技术中,也有力地促进了检测技术自身的现代化。

检测技术与现代化生产和科学技术的密切关系,使它成为一门十分活跃的技术学科,几乎渗透到人类的一切活动领域,发挥着愈来愈大的作用。

二、检测系统的组成

检测系统由对被检测对象进行检出、变换、传输、分析、处理、判断和显示等不同功能的环节组成。检测系统最基本的组成原理如图 1.1 所示。

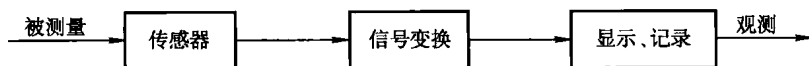


图 1.1 检测系统组成原理框图

传感器作为检测系统的第一个环节,将检测系统或检测过程中检测到的信息转化为人们熟悉的各种信号,这是检测过程的第一步。通常,传感器将被测量转换成以电量为主要形式的电信号,例如将机械位移转换为电阻、电容或电感等电参数的变化;又如将振动或声音转换成电压或电荷的变化。

信号变换部分是对传感器所送出的信号进行加工,如将电阻抗变为电压或电流、对信号进行放大等。为了用传感器输出的信号进一步推动显示、记录仪器和控制器,或将此信

号输入计算机进行信号的分析 and 处理,需对传感器输出的信号作进一步变换。信号变换的具体内容很多,如:用电桥将电路参量(如电阻、电容、电感)转换为可供传输、处理、显示和记录的电压或电流信号;利用滤波电路抑制噪声,选出有用信号;对在传感器及后续各环节中出现的一些误差作必要的补偿和校正;信号送入计算机以前需经模数转换及在计算机处理后送出时需经数模转换等。经过这样的加工使传感器输出的信号变为符合要求,便于传输、显示或记录和可作进一步处理的信号。

显示与记录部分将所测信号变为一种能为人们所理解的形式,以供人们观测和分析。

上述检测系统各组成部分都是“功能块”的含义,在实际工作中,这些功能块所表达的具体装置或仪器的伸缩性是很大的。例如信号变换部分可以是由很多仪器组合而成的一个完成特定功能的复杂群体,也可以简单到一个变换电路,甚至可能仅是一根导线。

随着信号分析和处理理论以及信息处理技术的迅速发展,特别是计算机技术在信号处理中的广泛应用,近年来已将信号的后继处理部分引入到检测系统,成为检测系统的有机组成部分,形成如图 1.2 所示的较为复杂的检测系统。这些信号处理部分无论是运用模拟信号处理技术,还是数字信号处理技术,都是将所测信号作进一步变换、运算等,从原始的检测信号中提取表征被测对象某一方面信息的特征量,以利于人们更深入地认识客观事物的动态过程。

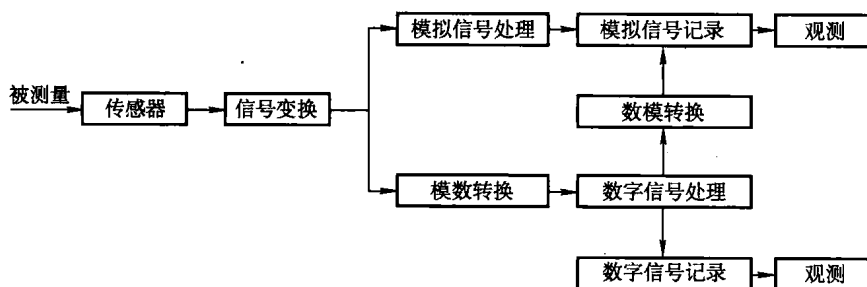


图 1.2 包含信号处理功能的检测系统框图

检测系统是要检测出被测对象中为人们所需要的某些特征性参量信号,不管中间经过多少环节的变换,在这些过程中必须忠实地把所需信息通过其载体信号传输到输出端。整个过程要求既不失真,也不受干扰。这就要求系统本身既具有不失真传输信号的功能,还具有在外界各种干扰情况下提取和辨识信号中所包含的有用信息的能力。

检测系统在一定程度上是人类感官的某种延伸,但它能获得比人的感官更客观、更准确的量值,具有更为宽广的量程,反应更为迅速。不仅如此,检测系统通过对所测结果的处理和分析,把最能反映研究对象本质的特征量提取出来并加以处理,这不仅是单纯的感官的延伸,而且具有了选择、加工、处理以及判断的能力,也可以认为

是一种智能的复制和延长。

三、检测技术的发展趋势

检测技术虽然已经得到广泛的应用,但随着科学技术的发展,人们对它提出了愈来愈高的要求。目前,除不断提高精度、扩展功能、扩大应用范围外,检测技术总的发展趋势是一体化、小型化、智能化和网络化,具体地说可以有以下几个方面。

1. 提高系统性能,扩大应用范围

生产和科学技术的发展,对检测系统及仪器性能提出了愈来愈高的要求,需要研制能检测生产和工艺过程中极端参数的检测系统和仪器。例如,纳米量级的长度和位移测量、液态金属温度的连续测量、固体物质表面高温测量、极低温度测量(超导)、混相流量测量、脉动流量测量、微差压测量、分子量测量、高精度质量测定、大吨位测量、超高压大电流测量等。因此,要求检测系统及仪器在原有的基础上不断提高技术性能指标,扩大应用范围。

检测系统及仪器的可靠性已成为表征其质量的一个重要的指标。仪器仪表可靠性的研究包括仪器仪表可靠性和故障率的数学模型和计算方法的研究,仪器仪表可靠性设计、预测、检测和分析试验研究,仪器仪表组件可靠性对整机性能的影响和确定整机可靠性的方法研究等。

2. 仪器仪表的一体化和小型化

在自动检测系统中,由于传感器与测量电路分开,使系统时常受到电磁干扰信号的影响,而且使用也不方便,所以人们希望把传感器和测量电路结合在一起。近年来研制成功的一种物性型检测传感器,就是在半导体技术的基础上,进一步实现材料、器件、电路、系统一体化的新型仪表。它利用某些固件材料的物性(力学特性、电特性、磁特性、光特性、化学特性等)变化,实现信息的直接变换。也就是说,利用不同材料的物理、化学、生物效应做成器件,直接测量被测量的信息,而且把电路也做在一起。这样,它与一般传感器相比,有构造简单、体积小、质量轻、无可动部件、反应快、灵敏度高、稳定性好、可靠性高等特点,能解决许多原先难于实现的参数测量、成分测量和非接触测量等问题。

光机电一体化仪器仪表的研制是一体化仪器仪表发展的一个重要标志。在检测过程中,把传感器置于被测对象上,相当于加一负载在上面,这样或多或少会影响测量精度,而且有些被测对象和检测环境中根本不可能安装传感器,例如高速回转轴的振动、转矩测量、人体血液测量等。因此基于光学测量原理的非接触测量设备、光机电一体化传感器和检测系统应运而生。

3. 检测仪器及系统的智能化

自20世纪70年代以来,以大规模集成电路为基础的微处理器大量应用于检测技术中,使检测仪器及系统智能化走上了快速发展的道路。带微处理器的检测仪器与传统的仪器相比,除精度提高外,还有下列功能扩展的特点。

1)自校正功能 可以通过功能键送入的指令,按预先编制并在机内存储的操作程序,完成自校准、自调零、自选量程、自动测试和自动分选功能。这样就能对传感器的非线性及仪器零点进行校准,能根据机内或机外基准定期作自校准,提高仪器的精度,而且可降低对元器件长期稳定性的要求。

2)信息交换功能 可以根据参数之间的关系式,通过计算进行参数变换,因而可以通过某些参数的检测自动求出一系列其他有关的未知数,便于实现多功能、多参数检测,或者通过最易测的参数测量,获得难测甚至无法测出的参数。

3)统计处理功能 可根据误差理论对测得的数据进行处理,求出误差,并从测量结果中扣除该误差,提高了仪器的测量精度。它可以根据工作条件(例如环境温度、相对湿度、大气压力等)的变化,按照一定公式计算修正值,并修正测量结果,提高测量精度,使结果更为可靠。它还可以采用多次读数的平均值或相关计算方法扣除噪声,以检测出被噪声完全淹没的信号。

4)记录、存储功能 可根据需要把瞬时测量值、中间结果等按时间存储或记录输出,以供事后进行分析改进。

5)远程输入输出功能 可配置远程通信接口,传递检测数据和各种操作命令、控制信息、输入参数等,可方便地接入自动检测、控制的大网络系统。

6)故障检测、诊断和自恢复功能 经过合理的设计,均可使智能仪器、智能检测系统具有故障自诊断及检测功能;经冗余设计的智能仪器、智能检测系统,还能具备一定的故障自恢复能力。

另外,由于包括微处理器、单片机在内的大规模集成电路的成本和价格不断降低,功能和集成度不断提高,智能仪器、智能检测系统与传统仪表和相应的传统检测系统相比具有更高的性价比。

正是由于采用微处理器、单片机的智能检测仪器和系统具有上述优点,所以有关它们的研制、生产和应用与日俱增。

4. 虚拟仪器和检测系统网络化

虚拟仪器概念的引入使传统仪器仪表的面貌发生了革命性的变化。基于虚拟仪器的计算机辅助检测技术成为检测技术领域中具有极强生命力的新军。“软件就是仪器”已成为现实。应用图形化编程语言 LabVIEW、LabWindows、CVI、VEE 等开发软件,用户可以自己定义自己的仪器,方便地创建仪器的软面板,或通过 VXI、PXI、PCI 仪器总线自由地将各测试模块组成完整的检测系统,或将 RS232、GPIB 等接口的仪器自由组合起来,从而大大扩展了仪器的功能,节省了大量的硬件资源。

第二节 检测系统的基本特性

检测系统的基本特性一般是指检测系统输入量和输出量关系的特性。它分为静态特性和动态特性。

当被测量不随时间变化或变化很慢时,可以认为检测系统的输入量和输出量都与时间无关,表示输入量和输出量之间的关系是一个不含时间变量的代数方程,由此方程确定的检测系统性能参数称为静态特性。

当被测量随时间变化很快时,输入量和输出量就有一个动态关系,表示这一关系是一个含时间变量的微分方程,由此方程确定的检测系统对快速变化的被测量的响应特性称为动态特性。

一、静态特性

1. 灵敏度

灵敏度是指传感器或检测系统在稳态下,输出量变化与输入量变化值的比值。用 K 来表示灵敏度,即

$$K = \frac{dy}{dx} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1.1)$$

式中: x 为输入量; y 为输出量。

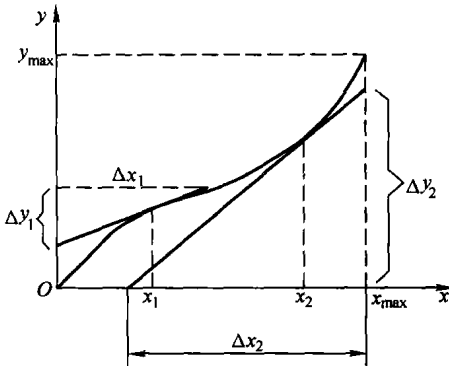


图 1.3 检测系统灵敏度

如果检测系统的输出和输入之间是线性关系,则灵敏度 K 是一个常数,否则,它将对对应曲线上不同的位置有不同的值。由图 1.3 可见,曲线越陡,灵敏度越高,曲线上任一点处的灵敏度就是由该点所作的曲线切线的斜率。

如果输入和输出的变化量有不同的量纲,则灵敏度也是有量纲的。例如,输入量为温度($^{\circ}\text{C}$),输出量为电压(mV),则灵敏度的量纲为 $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。如果输入量和输出量是同类量,则灵敏度是无量纲的,此时也可

把灵敏度理解为放大倍数。

提高灵敏度,可得到较高的测量精度,但测量范围窄,稳定性也会变差。

2. 分辨力

分辨力是指检测仪表能精确检测出被测量的最小变化的能力。输入量从某个任意值(一般为非零值)缓慢增加,直到可以测量到输出量的变化为止,此时的输入量就是该测量仪表的分辨力。

分辨力可用绝对值表示,也可用量程的百分数表示。一般模拟式仪表的分辨力规定为最小刻度分度值的一半;数字式仪表的分辨力一般可以认为是该表最后一位数。有时也可把仪表的最大绝对误差看作该仪表的分辨力。

分辨力说明检测仪表响应与分辨输入量微小变化的能力,分辨力越好,其灵敏度越高。

3. 线性度

线性度又称非线性误差,是指检测系统实际的输入输出特性曲线与拟合直线之间最大偏差和满量程输出的百分比。即

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1.2)$$

式中: γ_L 为线性度; $\Delta L_{\max}$ 为非线性最大误差; $y_{\max} - y_{\min}$ 为量程范围。

如图 1.4 所示,由于线性度是以拟合直线为基准线而得出的,所以选取的拟合直线不同,其线性度也不同。拟合直线的选取有多种方法,如拟合直线通过实际特性曲线的起点和满量程点,称为端基拟合直线,由此得到的线性度称为端基线性度;连接理论曲线坐标零点和满量程输出点的直线称为理论拟合直线,由此得到的线性度称为理论线性度。

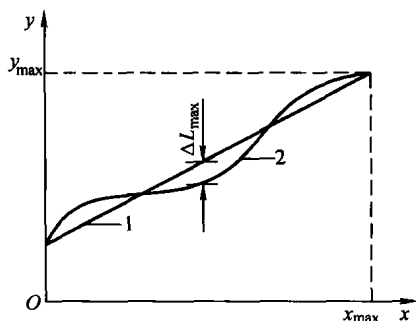


图 1.4 线性度示意图

1—拟合直线;2—实际特性曲线

4. 迟滞

迟滞是指检测系统在输入量增大(正向)和输入量减小(反向)行程间,输入输出特性曲线不一致的程度。即同样大小的输入量,检测系统在正反行程中,往往对应两个大小不同的输出量,这两个不同输出量的最大差值 Δ_m 与满量程输出量的百分比即为迟滞量,如图 1.5 所示。

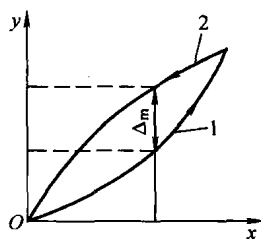


图 1.5 迟滞特性示意图

1—正向特性;2—反向特性

产生迟滞的主要原因是仪表元件存在能量的吸收和传动机构的摩擦、间隙及紧固件的松动等。一般希望检测系统的迟滞越小越好。

5. 稳定性

稳定性包含稳定度和环境影响量两个方面。稳定度是指检测装置在所有条件恒定不变的情况下,在规定时间内能维持其示值不变的能力,一般用示值的变化量和时间长短的比值来表示。例如,某仪表示值电压在所有条件不变的情况下,在 8 h 内的最大变化量为 1.3 mV,其稳定度可写为 1.3 mV/8 h。环境影响量是指由于外界环境因素的变化而引起仪表示值变化的变化量。造成环境影响量的因素有温度、湿度、气压、电源电压或频率、电磁场等。表示环境影响量时要同时写出示值偏差及造成这一偏差的影响因素的大小。例如,温度每变化 1 °C 引起示值变化 0.3 mV,其环境影响量可表示为 0.3 mV/°C;又如电源电压变化 $\pm 5\%$ 时,引起示值变化 0.02 mA,可表示为 0.02 mA/ $\pm 5\%U$ 。检测系统的稳定性越好,其抗干扰能力越强。

检测系统的静态特性还包括重复性、可靠性和死区等参数。

二、动态特性

检测系统要具有良好的动态特性,才能较精确地测出被测量的大小和随时间变化的规律;否则,会引起较大的动态误差。

在实际检测工作中,检测系统的动态特性通常是用实验的方法得出的。系统对标准输入信号的响应与对任意输入信号的响应之间存在一定的关系,可根据系统对一些标准信号的响应评定它的动态特性。例如,在时域内,常采用阶跃信号分析系统的瞬态响应;在频域内,常采用正弦输入信号分析系统的频率响应等。

对检测系统的动态特性的理论研究,通常是先建立系统的数学模型,通过拉氏变换找出传递函数表达式,再根据输入条件得到响应的频率特性,并以此来描述系统的动态特性。大部分检测系统可以简化为单自由度一阶或二阶系统,因此可方便地应用自动控制原理的分析方法和结论。

第三节 测量误差

一、测量误差的概念

在检测过程中,被测对象、检测系统、检测方法和检测人员都会受到各种变动因素的影响;而且,对被测量的转换有时也会改变被测对象原有的状态。这就造成了检测结果和被测量的客观真值之间存在一定的差别,这个差值称为测量误差。误差公理告诉我们:任何实验结果都是有误差的,误差自始至终存在于一切科学实验和测量之中,被测量的真值是永远难以得到的。尽管如此,我们仍然可以设法改进检测工具和实验手段,并通过检测数据的误差分析和处理,使测量误差处在允许的范围之内,或者说,达到一定的测量精度。这样的测量结果就被认为是合理的、可信的。

二、测量误差有关术语

1)真值 真值是指在一定的时间及空间条件下某被测量的真实数值。通常认为,真值是客观存在但不可测量的,是一个理想的概念。在测量中,一方面无法获得真值,而另一方面又往往需要运用真值。因此,在实际测量中,经常采用“约定真值”和“相对真值”。约定真值对给定的目的而言充分接近于真值,因而可以代替真值使用。在实际测量中,被测量的实际值、已修正过的算术平均值可作为约定真值。相对真值叫实际值,是在满足规定准确度时用来代表真值使用的值。

2)标称值 标称值是指测量器具(仪器)上标志的量值。如标准砝码上标出的1 kg,受制造、测量(或检定)及环境条件变化的影响,标称值不一定等于它的实际值。为此,在给出标称值的同时,通常也给出它的误差范围或精度等级。

3)示值 示值是指由测量仪器(系统)给出或提供的量值,也称测量值。

4)测量结果 测量结果是指由测量所得的测量值。在测量结果的表述中,还应包括测量不确定度和有关影响量的值。

5)测量精度 测量精度,即测量结果的精度,是指反映测量结果与真值接近程度的量。它与测量误差相对应,即误差大,精度低;误差小,精度高。也就是说,测量精度是从另一角度评价测量误差大小的量。

测量精度可细分为准确度(反映测量中系统误差的大小,即测量结果偏离真值的程度)、精密度(反映测量中随机误差的大小,即测量结果的分散程度)和精确度(反映测量结果中系统误差和随机误差综合影响的程度)。

6)测量不确定度 测量不确定度是表征被测量的真值在某量值范围内不能肯定的程度,是对测量误差极限估计值的评价。

7)测量误差 测量误差是测量结果与被测量真值之差,即:测量误差=测量结果-真值。

三、测量误差的表示方法

测量误差的表示方法多种多样,下面介绍几种基本的表示方法。

1. 绝对误差

绝对误差可定义为

$$\Delta = X - L \quad (1.3)$$

式中: Δ 为绝对误差; X 为测量值; L 为真值。

对测量值进行修正时要用绝对误差。修正值实际上是与绝对误差符号相反、大小相等的值。实际值等于测量值加上修正值。

采用绝对误差表示测量误差,有时并不能准确地反映测量质量的好坏。例如,测量温度时,仅有测量的绝对误差是不够的,因为绝对误差并没有反映出多大范围内得到的误差。如,绝对误差 $\Delta = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,这个误差对拉制单晶硅($1420\text{ }^{\circ}\text{C}$)测量而言是一个好的测量结果,但对人体体温测量来讲,这个测量误差是不允许的。

2. 相对误差

相对误差可定义为

$$\delta = \frac{\Delta}{L} \times 100\% \quad (1.4)$$

式中: δ 为相对误差,通常用百分数表示; Δ 为绝对误差; L 为真值。

当实际测量中被测量的真值 L 无法知道时,则用测量值 X 代替真值 L 进行误差计算,得出的相对误差定义为标称相对误差,即

$$\delta = \frac{\Delta}{X} \times 100\% \quad (1.5)$$

3. 引用误差

引用误差是表示相对满量程的一种误差表示方法,用仪表测量时常采用这种误

差表示方法。引用误差也用百分数表示,即

$$r = \Delta / (\text{测量范围上限} - \text{测量范围下限}) \quad (1.6)$$

式中: r 为引用误差; Δ 为绝对误差。

仪表精度等级是根据引用误差来确定的。例如,某一个仪表的精度等级的0.1级,表示该仪表的引用误差的最大值不超过 $\pm 0.1\%$;同样,1.0级仪表的引用误差的最大值不超过 $\pm 1\%$ 。我国常用模拟电工仪表的模有下列7种等级:0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。

4. 基本误差

基本误差是指仪表在规定的标准使用条件下所具有的误差。仪表的基本误差是在电源电压 $220(\pm 5)\text{V}$ 、电网频率 $50(\pm 2)\text{Hz}$ 、环境温度 $20(\pm 5)\text{℃}$ 、环境相对湿度 $65\%(\pm 5\%)$ 的条件下标定的。如果仪表在这个规定条件下工作,那么仪表所具有的误差就是基本误差。测量仪表的精度等级就是由基本误差决定的。

5. 附加误差

附加误差是指当仪表的工作条件偏离额定工作条件时出现的误差。当工作条件的温度、频率、电源电压波动时,引起的误差分别表示为温度附加误差、频率附加误差、电源电压波动附加误差等。

四、测量误差的分类及消除

测量误差有着多种不同的分类方式,按误差出现的规律可分为系统误差、随机误差和粗大误差;按误差的来源可分为工具误差、方法误差;按使用条件可分为基本误差、附加误差;按被测量随时间变化的速度可分为静态误差和动态误差。在此按误差出现的规律介绍误差的分类及消除方法。

1. 系统误差(系差)

系统误差表示测量结果偏离真值或实际值的程度,分为恒定系统误差和变化系统误差。恒定系统误差是误差大小和符号恒定不变的误差,例如仪表零点的偏高或偏低。变化系统误差是按照一定规律变化的系统误差,变化系统误差又分为累积系差(在测量过程中随着时间的增长逐渐加大或减小)、周期系差(在测量过程中误差大小和符号均按一定周期发生变化的系差)和复杂变化系差(变化规律仍未掌握的系差)。系统误差产生的原因主要是检测装置本身性能不完善、测量方法不完善、测量者对仪器使用不当、环境条件的变化等,系统误差越小,测量越准确。例如,某仪表刻度盘分度不准确,就会造成读数偏大或偏小,从而产生恒定系统误差。温度、气压等环境条件的变化和仪表电池电压随使用时间的增长而逐渐下降,则可能产生变化系统误差。

判别系统误差的方法是凡误差的数值固定或按一定规律变化,均属于系统误差。

系统误差的特点是可以通过实验或分析的方法查明其变化规律和产生原因,通过对测量值的修正或者采取一定的预防措施,就能够消除或减少它对测量结果的影